



ISSN 1859-4794

TẠP CHÍ

KHOA HỌC & CÔNG NGHỆ Việt Nam

**Vietnam Journal of
Science and Technology - MOST**

B

Tập 58 - Số 2 - Tháng 2 năm 2016

HỘI ĐỒNG BIÊN TẬP

Nguyễn Văn Hiệu - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam
Nguyễn Việt Anh - Trường Đại học Xây dựng
Bùi Chí Bửu - Viện Khoa học Kỹ thuật Nông nghiệp Miền Nam
Vũ Dũng - Hội Tâm lý học Việt Nam
Trần Thọ Đạt - Trường Đại học Kinh tế Quốc dân
Nguyễn Đình Đức - Trường Đại học Công nghệ - Đại học Quốc gia Hà Nội
Vũ Minh Giang - Đại học Quốc gia Hà Nội
Trương Nam Hải - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam
Từ Quang Hiến - Trường Đại học Nông lâm Thái Nguyên
Phạm Huy Khang - Trường Đại học Giao thông Vận tải
Phạm Gia Khánh - Chủ tịch Hội Ghép tạng Việt Nam
Hồ Đắc Lộc - Trường Đại học Kỹ thuật Công nghệ TP Hồ Chí Minh
Nguyễn Thị Mỹ Lộc - Trường Đại học Giáo dục - Đại học Quốc gia Hà Nội
Bành Tiến Long - Trường Đại học Bách khoa Hà Nội
Lê Quan Nghiêm - Đại học Y Dược TP Hồ Chí Minh
Mai Trọng Nhuận - Đại học Quốc gia Hà Nội
Nguyễn Thanh Phương - Trường Đại học Cần Thơ
Nguyễn Thanh Thủy - Trường Đại học Công nghệ - Đại học Quốc gia Hà Nội
Phạm Hùng Việt - Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - Đại học Quốc gia Hà Nội

TỔNG BIÊN TẬP

Đặng Ngọc Bảo

PHÓ TỔNG BIÊN TẬP

Nguyễn Thị Hải Hằng
Nguyễn Thị Hương Giang

TRƯỞNG BAN BIÊN TẬP

Phạm Thị Minh Nguyệt

TRƯỞNG BAN TRỊ SỰ

Lương Ngọc Quang Hưng

TRÌNH BÀY

Đinh Thị Luận

EDITORIAL COUNCIL

Nguyen Van Hieu - Vietnam Academy of Science and Technology
Nguyen Viet Anh - National University of Civil Engineering
Bui Chi Bui - Institute of Agricultural Science for Southern Vietnam
Vu Dung - Vietnam Association of Social Psychology
Tran Tho Dat - National Economics University
Nguyen Dinh Duc - University of Engineering and Technology - Vietnam National University, Hanoi
Vu Minh Giang - Vietnam National University, Hanoi
Truong Nam Hai - Vietnam Academy of Science and Technology
Tu Quang Hien - Thai Nguyen University of Agriculture and Forestry
Pham Huy Khang - University of Transport and Communications
Pham Gia Khanh - President of Vietnam Society of Organ Transplantation
Ho Duc Loc - Ho Chi Minh City University of Technology
Nguyen Thi My Loc - University of Education, Vietnam National University, Hanoi
Banh Tien Long - Hanoi University of Science and Technology
Le Quan Nghiem - University of Medicine and Pharmacy of Ho Chi Minh City
Mai Trong Nhuan - Vietnam National University, Hanoi
Nguyen Thanh Phuong - Can Tho University
Nguyen Thanh Thuy - University of Engineering and Technology - Vietnam National University, Hanoi
Pham Hung Viet - VNU University of Science

EDITOR-IN-CHIEF

Dang Ngoc Bao

DEPUTY EDITORS

Nguyen Thi Hai Hang
Nguyen Thi Huong Giang

HEAD OF EDITORIAL BOARD

Pham Thi Minh Nguyet

HEAD OF ADMINISTRATION

Luong Ngoc Quang Hung

ART DIRECTOR

Dinh Thi Luan

TÒA SOẠN

113 Trần Duy Hưng - Cầu Giấy - Hà Nội
Tel: (84.24) 39436793; Fax: (84.24) 39436794
Email: khcnvn@most.gov.vn
Tạp chí điện tử: b.vjst.vn

EDITORIAL OFFICE

113 Tran Duy Hung Str. - Cau Giay Dist. - Hanoi
Tel: (84.24) 39436793; Fax: (84.24) 39436794
Email: khcnvn@most.gov.vn
E-journal: b.vjst.vn

GIẤY PHÉP XUẤT BẢN

Số 1153/GP-BTTTT ngày 26/7/2011
Số 2528/GP-BTTTT ngày 26/12/2012

Giá: 18000^d

PUBLICATION LICENCE

No.1153/GP-BTTTT 26th July 2011
No.2528/GP-BTTTT 26th December 2012

Giải pháp tái cấu hình cho bộ tổ hợp tần số công nghệ CMOS trong thiết bị thông tin vô tuyến nhận thức

Vũ Lê Hà*, Trần Việt Hải, Lưu Thị Thu Hồng, Phan Hồng Minh

Viện Điện tử, Viện Khoa học Công nghệ Quân sự, Bộ Quốc phòng

Ngày nhận bài 1.7.2015, ngày chuyển phản biện 13.7.2015, ngày nhận phản biện 17.8.2015, ngày chấp nhận đăng 24.8.2015

Bài báo đề xuất một giải pháp tái cấu hình cho bộ tổ hợp tần số (THTS) có cấu trúc lai giữa DDS (Direct Digital Synthesizer) với PLL (Phase Locked Loop). Trong đó, khối DDS được thực thi trên nền FPGA (Field Programmable Gate Array), tạo tần số tham chiếu cho khối PLL; khối PLL sử dụng công nghệ CMOS, có khả năng tái cấu hình để tăng tốc độ điều chỉnh, không cần sử dụng bộ phát hiện khóa và được điều khiển bằng phần mềm. Giải pháp này cho phép bộ THTS hoạt động trong các chế độ khác nhau, từ đó có thể tối ưu về tốc độ điều chỉnh, năng lượng tiêu thụ hoặc công suất tiêu thụ trung bình. Bộ PLL được sử dụng trong mô hình thiết bị thông tin vô tuyến nhận thức (Cognitive Radio - CR) thực hiện chức năng cảm nhận phổ.

Từ khóa: cảm nhận phổ, DDS, điều chỉnh nhanh, PLL, tiết kiệm năng lượng, vô tuyến nhận thức.

Chỉ số phân loại 1.2

A RECONFIGURATION SOLUTION FOR CMOS FREQUENCY SYNTHESIZER IN COGNITIVE RADIO DEVICES

Summary

This article proposes a reconfiguration solution for CMOS frequency synthesizer with a hybrid architecture which is a combination of a DDS and a PLL. The DDS is implemented in FPGA platform functioning a reference frequency for the PLL. The PLL is designed using CMOS technology, and is reconfigurable to accelerate tuning speed. Instead of employing a hardware-based lock detector, a software algorithm is used to determine the switching time and to optimize the tuning speed, consumption energy or average power. This PLL is used in cognitive radio for spectrum sensing function.

Keywords: cognitive radio, DDS, energy saving, fast tuning, PLL, spectrum sensing.

Classification number 1.2

Mở đầu

CR đang là một trong những xu hướng phát triển đầy hứa hẹn trong lĩnh vực thông tin liên lạc vô tuyến thông minh thế hệ mới. Một trong những đặc điểm chính của CR là khả năng thích nghi với môi trường xung quanh, nơi mà các tham số như tần số, công suất tiêu thụ, phương thức điều chế, băng thông... có thể thay đổi phụ thuộc vào môi trường, tình huống của người dùng, điều kiện mạng vô tuyến, vị trí địa lý... CR hoạt động theo một chu trình khép kín thích nghi gọi là chu kỳ nhận thức (cognitive cycle) [1]. Trong chu kỳ nhận thức này, cảm nhận phổ (spectrum sensing) là một trong những chức năng quan trọng. Trong một công bố trước đó [2], tác giả đã đề xuất một mô hình bộ cảm nhận phổ băng rộng tốc độ nhanh cho CR. Trong mô hình đề xuất này, bộ PLL có nhiệm vụ tạo tần số dao động ngoại sai để đưa tín hiệu vô tuyến từ cao tần về băng gốc ở tuyến thu cảm nhận phổ. Tốc độ khóa tần số của bộ PLL là tham số ảnh hưởng lớn tới thời gian cảm nhận phổ tổng thể của hệ thống, đặc biệt đối với hệ thống thu dải rộng. Bên cạnh đó, trong ngữ cảnh CR, vấn đề tiết kiệm năng lượng tiêu thụ trở nên rất quan trọng [3]. Các khối chức năng nói chung hay bộ PLL nói riêng trong CR cần phải có khả năng tái cấu hình tham số hoạt động để tối ưu hóa hoạt động chung của CR [4]. Bài báo này đề xuất một mô hình bộ PLL bậc 3 kiểu bơm điện tích (Charge Pump - CP) có thể tái cấu hình, hoạt động trong 3 chế độ khác nhau: (i) khóa tần số nhanh, (ii) tiết kiệm năng lượng, (iii) giới hạn công suất tiêu thụ đỉnh.

*Tác giả liên hệ: Tel: 0983250175, Email: vulehuongha@yahoo.com

Bộ PLL điều hướng nhanh và tiết kiệm năng lượng

Kỹ thuật khóa nhanh bộ tổ hợp tần số là rất cần thiết đối với các hệ thống thông tin liên lạc hiện đại, ví dụ như các hệ thống di động tế bào số, các hệ thu vô tuyến trên xe hay các hệ thống nhảy tần. Kỹ thuật này được chia ra thành 2 dạng: kỹ thuật dịch băng thông bộ lọc vòng (Loop Filter - LF) và kỹ thuật tiền điều hướng VCO, trong đó kỹ thuật dịch băng thông LF phổ biến hơn. Ý tưởng cơ bản đối với cơ chế dịch băng thông là sử dụng một băng thông LF lớn trong quá trình điều hướng để tăng tốc độ khóa, và dịch băng thông LF tới giá trị nhỏ hơn sau khi tần số đầu ra bộ PLL đã được khóa để giữ ổn định tần số [5-12]. Trong các phương pháp này, cơ chế phát hiện khóa đều được thực hiện bằng các cấu trúc mạch điện tử, phổ biến nhất là mạch phát hiện khóa (Lock Detector - LD). Việc có thêm một mạch LD làm tăng độ phức tạp thiết kế, đồng thời cũng tăng dòng tiêu thụ tổng thể của bộ PLL. Một vấn đề nảy sinh nữa đối với việc sử dụng bộ LD là vấn đề phát hiện giả, khi bộ LD phát hiện sai do tạp âm hoặc hài bậc cao tạo ra từ các tín hiệu so sánh đầu vào. Khi đó việc sử dụng trạng thái đầu ra của bộ LD để điều khiển chuyển khóa sẽ bị sai. Một số bài báo đã đề cập đến vấn đề chuyển mạch bằng phần mềm [13, 14], nhưng không có tính toán tham số cụ thể. Đối với việc tính toán thời gian khóa để thực hiện chuyển mạch đúng thời điểm bằng phần mềm, hiện chưa có những công bố chi tiết.

Như đã phân tích về xu hướng phát triển của CR, bên cạnh mục tiêu sử dụng tài nguyên phổ tần số một cách hiệu quả, vấn đề tiết kiệm năng lượng tiêu thụ cho CR cũng rất quan trọng, đặc biệt đối với những thiết bị cầm tay sử dụng pin. Đối với các khối điện tử tương tự, cần phải có khả năng tái cấu hình để có thể hoạt động trong hai chế độ khác nhau: chế độ hiệu năng thực thi cao, và chế độ tiết kiệm năng lượng [4]. Các phương pháp tiếp cận giải quyết bài toán tiết kiệm năng lượng hiện nay có thể phân chia thành hai xu hướng: (i) tối ưu tại thời điểm thiết kế bằng các giải pháp thiết kế mạch hoặc công nghệ chế tạo IC để giảm thiểu mức tiêu thụ năng lượng, và (ii) tối ưu trong khi hệ thống hoạt động bằng các thuật toán phần mềm điều khiển tái cấu hình. Các nghiên cứu tập trung nhiều vào bộ khuếch đại công suất, thường là khối tiêu thụ năng lượng lớn nhất trong thiết bị thu phát vô tuyến [15-17]. Đối với các bộ PLL, các nghiên cứu cho bài toán tiết kiệm năng lượng đều tập trung vào vấn đề thiết kế chip, như thiết kế mạch quản lý nguồn cho PLL [18], thiết kế bộ PLL dải rộng

công suất tiêu thụ thấp [19, 20]. Các nghiên cứu về bộ PLL có thể tái cấu hình như đã trình bày ở trên chỉ tập trung giải quyết bài toán tăng tốc độ khóa. Chưa thấy có các nghiên cứu về bộ PLL tái cấu hình giải quyết cả hai mục tiêu tăng tốc độ khóa và tiết kiệm năng lượng. Đây là mục tiêu bộ PLL đề xuất giải quyết.

Giải pháp tái cấu hình cho bộ THTS

DDS trong THTS có thể tái cấu hình

Khi tần số tham chiếu đầu vào bộ PLL là f_{ref} với hệ số chia N nguyên, thì tần số đầu ra bộ PLL khi đạt được trạng thái khóa là $f_{out} = Nf_{ref}$. Công thức này cho

thấy độ phân giải tần số đầu ra chính bằng tần số tham chiếu f_{ref} . Nếu tần số tham chiếu này quá nhỏ (với mong muốn để đạt được độ phân giải tần số đầu ra tốt), thì băng thông bộ lọc vòng cũng cần phải nhỏ, dẫn đến thời gian khóa tần số kéo dài. Ngược lại, nếu f_{ref} quá lớn thì không đảm bảo độ phân giải tần số để có thể điều hướng tới toàn bộ các kênh tần (nếu băng thông kênh nhỏ). Giả sử đối với bộ PLL hệ số chia phân hồi $N = 4$, với tần số tham chiếu $f_{ref} = 20 \text{ MHz}$, các tần số đầu ra f_{out} quanh giá trị N này có thể có là:

Bảng 1: tần số ra bộ PLL với hệ số N nguyên f_{ref} cố định

$f_{ref} \text{ (MHz)}$	N	$f_{out} \text{ (MHz)}$
20	1	20
20	2	40
20	3	60
20	4	80

Giả sử băng thông của các kênh thông tin trong dải tần làm việc (từ DC đến 80 MHz) là 5 MHz, tức là sẽ có 160 kênh, hiển nhiên cấu trúc THTS này không thể áp dụng được, vì độ phân dải tần số đầu ra bằng 20 MHz.

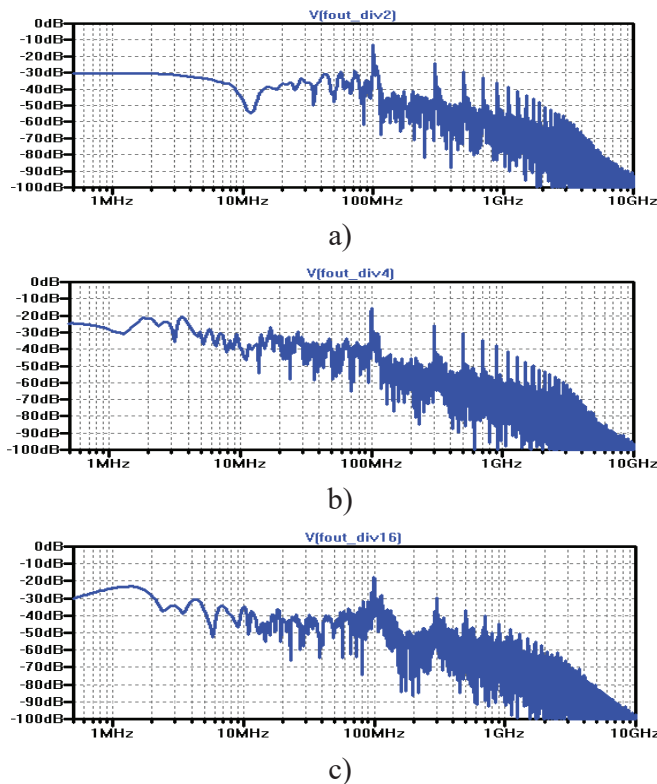
Một giải pháp để vượt qua vấn đề này là sử dụng bộ DDS làm tần số tham chiếu cho bộ PLL. Bộ DDS có thể tạo ra các tần số trong dải tần từ DC đến $f_{clock}/2$, trong đó f_{clock} là tần số xung nhịp đầu vào bộ DDS, với độ phân dải tần số rất nhỏ, bằng $f_{clock}/(2 \cdot 2^N)$ (N là số bit của thanh ghi tích lũy pha). Ví dụ: với một tần số f_{clk} bằng 100 MHz và một thanh ghi tích lũy pha 32 bit, độ phân giải tần số đầu ra bộ DDS đạt được là 0,023 Hz. Để tăng độ phân giải tần số của bộ PLL, sao cho đầu ra đạt được các tần số cách nhau 200 kHz, điều chỉnh tần số f_{ref} tương ứng với N. Để giữ N đủ nhỏ, chọn $N = 2$. Gọi n là số thứ tự kênh thông tin trong băng tần, tần số

làm việc của kênh n là $f_n = n * 0,2$ (MHz). Để đạt được $f_{out} = f_n$, cần tần số tham chiếu f_{ref} là:

$$f_{ref} = f_{out} / N = 0,2 * n / N$$

Với $N = 2$, giả sử $n = 201$ sẽ có $f_{ref} = 20,1$ MHz. Cấu hình lại bộ DDS bằng giá trị mới, sẽ đạt được tần số đầu ra mong muốn.

Vấn đề thứ hai đối với bộ PLL hệ số N nguyên là khi N thay đổi, tạp âm nền từ bộ tách sóng pha - tần số (PFD - Phase Frequency Detector) cũng thay đổi với hệ số bằng $20 \log N$. Như vậy, việc giữ một hệ số N nhỏ sẽ là cần thiết để đảm bảo mức tạp âm nền trong mạch không quá lớn. Đương nhiên khi N nhỏ đồng nghĩa với giới hạn trên của tần số f_{out} cũng bị hạn chế.

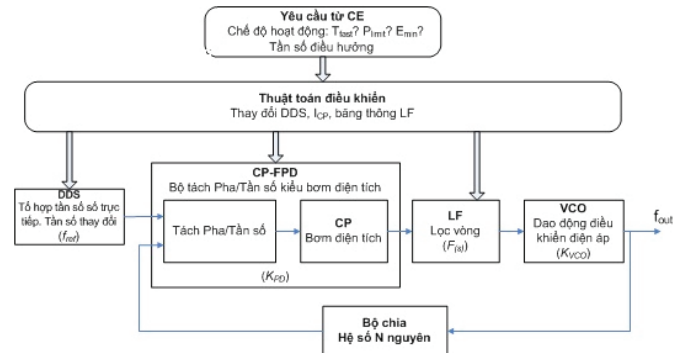


Hình 1: nhiễu nền tăng lên khi hệ số chia N tăng

Hình 1 mô tả bộ PLL tạo ra tần số 100 MHz bằng 3 cách: (a) sử dụng tần số tham chiếu 50 MHz và bộ chia N bằng 2; (b) sử dụng tần số tham chiếu 25 MHz và bộ chia N bằng 4; và (c) sử dụng tần số tham chiếu 6,25 MHz và bộ chia N bằng 16, phổ tín hiệu cho thấy nhiễu nền trong bộ PLL tăng lên khi hệ số chia N tăng. Nhiễu nền (tạp âm pha) trong (a) khoảng -30 dB, với tín hiệu -12 dB, tốt hơn so với phổ trong (b) và (c). Vì vậy việc giữ một hệ số N nhỏ và thay đổi tần số tham chiếu sẽ đạt được tần số đầu ra sạch hơn so với khi sử dụng một bộ chia hệ số N lớn.

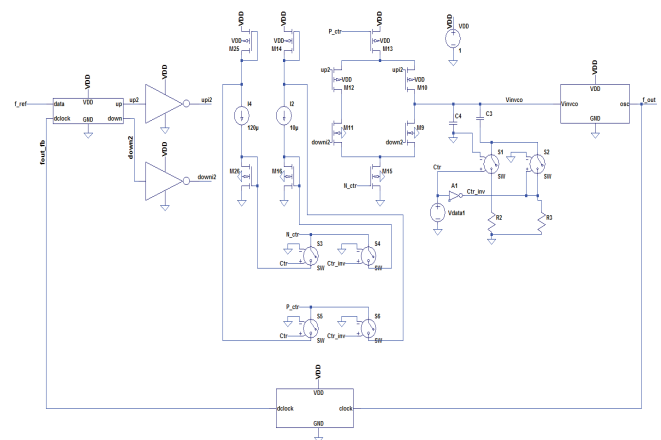
PLL trong tổ hợp tần số có thể tái cấu hình

Bộ PLL được đề xuất dựa trên nền tảng bộ PLL dạng bơm điện tích CP kinh điển, có những điểm mới: (i) bộ CP-PFD và bộ lọc vòng được cấu hình động trong quá trình đưa bộ PLL về trạng thái khóa tần số; (ii) bộ PLL không sử dụng bộ PD bằng phần cứng để giảm năng lượng tiêu thụ; (iii) thuật toán điều khiển các khối chức năng có thể tái cấu hình (CP-FPD, LF) để tối ưu hóa 1 trong 3 tham số: tốc độ khóa, năng lượng tiêu thụ nguồn cung cấp, công suất đỉnh. Sơ đồ mô hình bộ PLL như hình 2.



Hình 2: mô hình bộ PLL đề xuất, cấu hình động FPD và LF

Bộ PLL được thiết kế sử dụng công nghệ CMOS. Sơ đồ nguyên lý cơ bản của bộ PLL như hình 3.



Hình 3: sơ đồ nguyên lý bộ PLL công nghệ CMOS

Với mô hình này, các tham số đặc trưng cơ bản của bộ PLL bao gồm [21]: hệ số khuếch đại của bộ PFD: $K_{PD} = I_{CP} / 2\pi$ (ampe/radian), trong đó I_{CP} là dòng điện đầu ra của bộ bơm điện tích (CP), được nạp vào các tụ điện của bộ lọc vòng thụ động (LF), với C_z và R_z là các tụ điện và điện trở xác định điểm zero và C_p là tụ điện xác định điểm cực của bộ LF. Tần số tự nhiên

của bộ PLL: $\sqrt{\frac{I_{CP} K_{VCO}}{NC}}$ (radian). Hệ số tắt dần:

$\zeta = \frac{1}{2} R_z C_z \sqrt{\frac{I_{CP} K_{VCO}}{2\pi N C_z}}$. Tần số cắt của bộ PLL:

$\omega_c = \frac{I_{CP} K_{VCO} R_z}{2\pi N} \frac{C_z}{C_z + C_P}$. Thời gian kéo vào trạng

thái khóa tương ứng với độ lệch tần số $\Delta\omega = 2\pi\Delta f$ ở

đầu vào bộ tách sóng pha - tần số:
 $T_{pull-in} = \frac{2C_z\Delta\omega}{I_{CP}K_{VCO}} = \frac{4\pi C_z\Delta f}{I_{CP}K_{VCO}}$ (giây). Thời gian khóa:

$T_{lock} = \frac{2\pi}{\omega_n}$ (giây), trong đó: N là hệ số chia của bộ chia

phản hồi; K_{VCO} (radian/giây). V là hệ số khuếch đại của bộ VCO.

Trong bộ PLL, điện trở R_z của bộ lọc vòng và dòng I_{CP} khối bơm điện tích được điều khiển đồng bộ để đảm bảo: (a) hệ số ζ được giữ bằng hằng số để giữ ổn

định cho bộ PLL. Như vậy, phải chọn R_z để $R_z\sqrt{I_{CP}}$ là một hằng số; (b) tần số ω_n đặt với trị số lớn trong giai

đoạn điều hướng để tăng tốc độ khóa, và giảm nhỏ trong giai đoạn đạt khóa để giữ ổn định tần số đầu ra. Để phát hiện thời điểm khóa trong chế độ tăng tốc và chuyển về chế độ giữ ổn định, thay vì sử dụng một bộ phát hiện khóa LD như các mô hình phổ biến hiện nay, bộ PLL được điều khiển bằng thuật toán phần mềm. Thời gian điều hướng được tính toán và lưu trong bộ nhớ.

Có thể thấy, với một hệ số K_{vco} cố định, để đạt được thời gian điều hướng nhanh thì cần một dòng I_{cp} lớn. Tuy nhiên, có hai nhược điểm khi tăng dòng I_{cp} : (a) tần số tự nhiên ω_n tăng, dẫn đến băng thông bộ lọc vòng

tăng lên, kết quả là nhiễu, tạp nền và độ mất ổn định trong bộ PLL tăng lên; (b) dòng I_{cp} tăng đồng nghĩa với công suất tiêu thụ của mạch tăng lên. Đối với một bộ PLL khóa nhanh theo nguyên lý dịch băng thông LF, dòng I_{CP} có thể được đặt bằng một giá trị trong dải động $[I_{CP_min}, I_{CP_max}]$. Bộ PLL đề xuất hoạt động với mục tiêu xác định điểm làm việc của dòng I_{CP} để đạt

được các giá trị tối ưu trong các chế độ hoạt động khác nhau: (i) hiệu năng cao: ưu tiên tốc độ khóa nhanh, không có ràng buộc về năng lượng tiêu thụ, thời gian điều hướng nhanh nhất có thể, $T_{PLL_tune_opt}$. (ii) tiết kiệm năng lượng: điểm làm việc mà năng lượng tiêu thụ là tối thiểu trong quá trình điều hướng, E_{PLL_min} ; (iii) giới hạn công suất tiêu thụ đỉnh: công suất tiêu thụ trong khi điều hướng không vượt quá giá trị P_{PLL_limit} đặt trước.

Để giải quyết bài toán này, cần xác định mối liên hệ của các tham số T, E và P với dòng bơm điện tích I_{CP} . Gọi P_{PLL} là công suất tiêu thụ tức thời của mạch PLL. Hàm

quan hệ giữa P_{PLL} và dòng I_{CP} là $P_{PLL} = f_1(I_{CP}, \dots)$. Với

cấu trúc bộ PLL dạng bơm điện tích, công suất tiêu thụ trung bình của bộ PLL bằng tổng công suất tiêu thụ của mạch tạo nguồn dòng (P_{CP}) và công suất tiêu thụ của các mạch khác (P_{others}). Nguồn dòng I_{CP} được tạo ổn định với điện áp nguồn V_{DD} cố định, vì vậy P_{CP} là một hàm bậc nhất với đối số I_{CP} , vậy:

$$P_{PLL} = P_{CP} + P_{others} = aI_{CP} + b \quad (1)$$

Trong đó, a và b là hai hệ số cố định đối với từng mạch PLL cụ thể. Việc xác định giá trị của hai hệ số này có thể được thực hiện bằng mô phỏng cho từng cấu trúc mạch khác nhau. Từ (1) có: $I_{CP} = \frac{P_{PLL} - b}{a}$. Vì thời

gian khóa $T_{lock} = 2\pi / \omega_n$ và $\omega_n = \sqrt{I_{CP} K_{VCO} / (2\pi N C_z)}$,

nên mối quan hệ giữa T_{lock} và I_{cp} là:

$$T_{lock} = 2\pi / \sqrt{I_{CP} K_{VCO} / (2\pi N C_z)} = \sqrt{8\pi^2 N C_z / K_{VCO}} \sqrt{1/I_{CP}} \quad (2)$$

Thời gian điều hướng chuyển tần của bộ PLL là khoảng thời gian bộ PLL cần thực hiện để kéo tần số dao động đầu ra vào dải khóa, và sau đó thực hiện khóa, nên: $T_{PLL_tune} = T_{PLL_pull-in} + T_{PLL_lock}$, trong đó:

T_{PLL_tune} là thời gian điều hướng, $T_{PLL_pull-in}$ là thời gian kéo vào, T_{PLL_lock} là thời gian khóa. Từ đó, mối liên hệ giữa các tham số công suất tiêu thụ tức thời P_{PLL} , độ lệch tần số đầu vào $\Delta\omega$ và thời gian điều hướng là:

$$T_{PLL_tune} = T_{PLL_pull-in} + T_{PLL_lock} = 4\pi C_z \Delta f / (I_{CP} K_{VCO}) + \sqrt{8\pi^2 N C_z / K_{VCO}} \sqrt{1/I_{CP}} \quad (3)$$

Vậy:

$$T_{PLL_tune} = \left(\frac{aC_z f}{(P_{PLL} - b)K_{VCO}} + \sqrt{\frac{aNC_z}{K_{VCO}(P_{PLL} - b)}} \right) \quad (4)$$

Công thức (4) là công thức tổng quát tính toán thời gian T_{PLL_tune} phù hợp để chuyển bộ PLL từ giai đoạn kéo và khóa tần số nhanh sang giai đoạn giữ ổn định tần số sau khi khóa. Như vậy, để đạt tới trạng thái khóa khi làm việc ở chế độ khóa nhanh, năng lượng tiêu thụ của mạch PLL là:

$$E_{PLL} = P_{PLL} T_{PLL_tune} = 4\pi \left(\frac{aC_z \Delta f P_{PLL}}{(P_{PLL} - b)K_{VCO}} + \sqrt{\frac{aNC_z}{2K_{VCO}(P_{PLL} - b)}} P_{PLL} \right) \quad (5)$$

Khi không có một ràng buộc nào về vấn đề tiết kiệm năng lượng tiêu thụ trong quá trình làm việc, bộ PLL sẽ đặt chế độ điều hướng tần số nhanh nhất có thể, tức là đặt giá trị I_{CP} cao nhất có thể được. Tuy nhiên, khi có một ràng buộc về tiết kiệm năng lượng, dòng I_{CP} cần phải được đặt tại điểm mà E_{PLL} là tối thiểu hoặc tại giá trị P_{PLL_limit} là ngưỡng tối đa được phép thiết lập. Để xác định được điểm làm việc tối ưu theo ràng buộc về mức năng lượng tiêu thụ, cần giải phương trình.

$$\text{Đặt } Q = \sqrt{P - b}, \quad A = aC_z \Delta f / K_{VCO}, \quad B = 4\pi \sqrt{aNC_z / (2K_{VCO})},$$

phương trình (5) được viết lại :

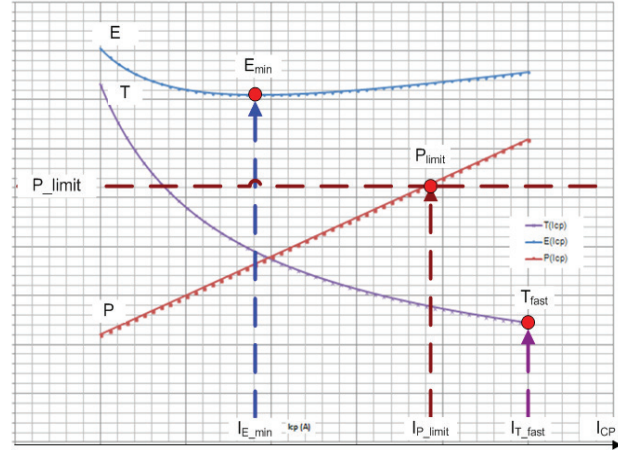
$$E_{PLL} = A \frac{Q^2 + b}{Q^2} + B \frac{Q^2 + b}{Q} = \frac{Ab}{Q^2} + \frac{Bb}{Q} + A + BQ \quad (6)$$

Để xác định điểm cực tiểu của E_{PLL} cần giải phương trình (6) với biến Q . Để đảm bảo tính toán thời gian thực nhanh, giải pháp là xây dựng các đường cong với các tham số xác định trước và lưu trữ trong bảng tham chiếu. Trong phương trình, tham số B là tham số đặc trưng riêng của cấu trúc mạch PLL, tham số A phụ thuộc vào cấu trúc mạch PLL và độ lệch tần số Δf đầu vào bộ PFD, vì vậy các đường cong cần được xác định trước theo các giá trị Δf khác nhau.

Phương pháp chọn điểm làm việc và thuật toán tái cấu hình cho PLL

Từ các công thức liên hệ giữa dòng I_{CP} và các giá trị thời gian điều hướng $T_{PLL_tune_fast}$ theo (3), công suất tiêu thụ trong thời gian tăng tốc P_{PLL_fast} theo (1), và năng

lượng tiêu thụ E_{PLL_fast} trong thời gian tăng tốc theo (5), các đường đặc tính hoạt động tổng quát cho 3 tham số T, P, E có hình dạng như trong hình 4. Từ đó, chúng tôi đề xuất phương pháp chọn điểm làm việc cho bộ PLL (mà bản chất là chọn điểm làm việc cho dòng I_{CP}) như sau:



Hình 4: các đường đặc trưng theo T, P, E

Bước 1: đặt chế độ hoạt động cho bộ THTS, xác định dòng I_{CP} tối ưu:

a. Nếu bộ THTS hoạt động trong chế độ điều hướng nhanh: điểm làm việc tối ưu là tại I_{T_fast} vì tại điểm này, thời gian điều hướng đạt nhanh nhất bằng T_{fast} .

b. Nếu bộ THTS hoạt động trong chế độ tiết kiệm năng lượng: điểm làm việc tối ưu là tại I_{E_min} vì tại điểm này năng lượng tiêu thụ nhỏ nhất, bằng E_{min} .

c. Nếu bộ THTS hoạt động trong chế độ giới hạn công suất trung bình tại P_{limit} : điểm làm việc tối ưu $I_{CP} = I_{P_limit}$ vì tại điểm này công suất tiêu thụ trung bình không vượt quá giới hạn P_{limit} , và tốc độ khóa là nhanh nhất có thể được.

Bước 2: chọn điện trở R_z tương ứng với dòng I_{CP} đã được xác định trong bước 1, sao cho $R_z \sqrt{I_{CP}}$ là hằng số.

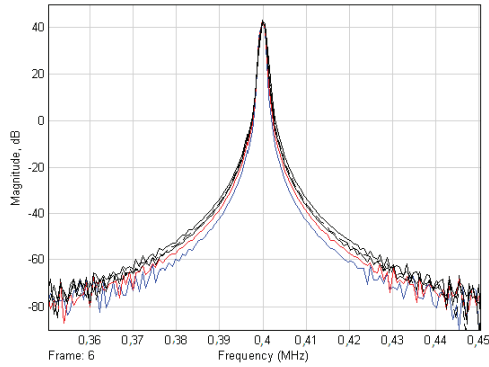
Bước 3: xác định khoảng thời gian điều hướng T_{PLL_tune} cho bộ PLL trong giai đoạn kéo nhanh. Khoảng thời gian này được xác định từ đường đặc tuyến T trong hình trên.

Bước 4: thực thi thuật toán điều khiển bộ PLL điều hướng nhanh trong thời gian T_{PLL_tune} . Sau đó chuyển về trạng thái khóa và giữ ổn định tần số đầu ra. Kết thúc chu trình thuật toán.

Kết quả mô phỏng

Tạo tần số tham chiếu DDS cho khối PLL

Bộ DDS được thiết kế bằng công nghệ FPGA, sử dụng công cụ phần mềm thiết kế và mô phỏng *System Generator for DSP* của Xilinx.

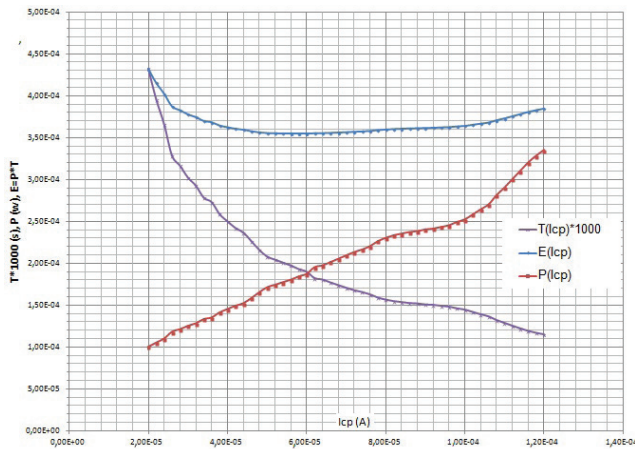


Hình 5: tần số đầu ra DDS làm tham chiếu cho PLL

Biểu đồ hình 5 thể hiện tần số đầu ra bộ DDS được sử dụng làm tần số tham chiếu cho PLL. DDS có thể tạo ra bước tần rất nhỏ với độ chính xác cao. Hình vẽ mô tả 5 tần số quanh tần số trung tâm 400 kHz, bước tần 27 Hz.

Hoạt động của khối PLL

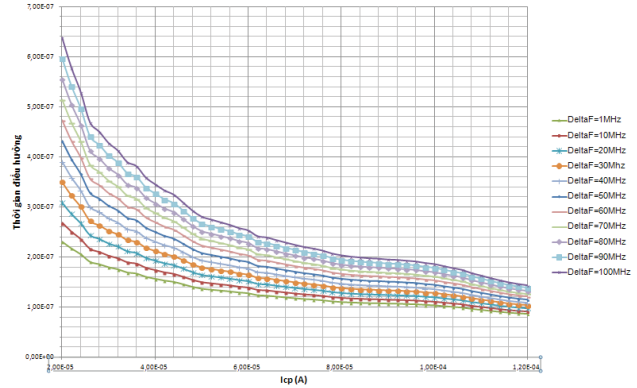
Để thực hiện các tính toán và mô phỏng, các tham số định lượng của từng khối chức năng như sau [22]: tần số đầu ra VCO: $f_{VCO_{out}} = 100 \text{ MHz}$; hệ số chia: $N = 2$; điện áp nguồn cung cấp: $VDD = 1 \text{ V}$; hệ số khuếch đại bộ VCO: $K_{VCO} = 1,57 \times 10^9 \text{ rad/V.s}$; dòng I_{CP} thay đổi trong dải từ 10 μA đến 120 μA . Xây dựng đường các đặc tuyến của các tham số T_{tune} , P và E cho thiết kế trong hình 3 thể hiện như trong hình 6.



Hình 6: đặc tuyến của T_{PLL_tune} , P_{PLL} , E_{PLL}

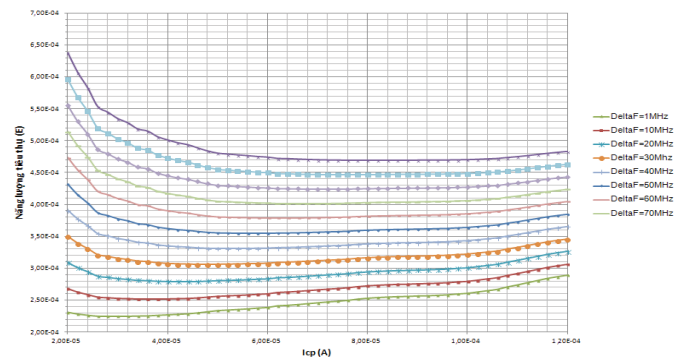
So sánh hình 6 và hình 4, các giá trị thực tế phản ánh đúng so với các kết quả tính toán lý thuyết. Tuy

nhiên, đối với từng cấu trúc mạch PLL khác nhau cần xây dựng tập dữ liệu đặc trưng riêng, giá trị công suất tiêu thụ sẽ không phụ thuộc vào tham số Δf , nhưng thời gian điều hướng và năng lượng tiêu thụ tổng cộng thì phụ thuộc vào tham số này. Vì vậy, cơ sở dữ liệu cần xây dựng cho hai tham số này sẽ là họ đường cong phụ thuộc vào tham số Δf trong dải hoạt động của bộ PLL. Vì T_{tune} và E có quan hệ tuyến tính với Δf nên các giá trị ứng với các Δf không nằm trong cơ sở dữ liệu có thể được tính toán từ các đường đặc tuyến lân cận.



Hình 7: T_{PLL_tune} với độ lệch tần khác nhau

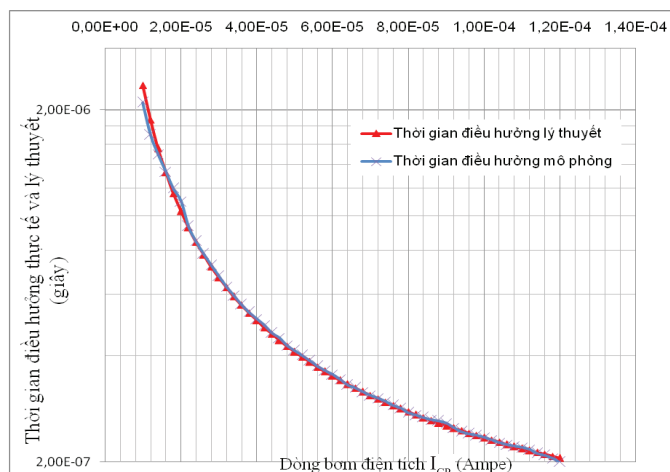
Biểu đồ hình 7 mô tả đặc tuyến thời gian điều hướng T_{PLL_tune} theo dòng I_{CP} với các giá trị Δf từ 1 đến 100 MHz. Có thể thấy sự khác biệt lớn về thời gian này khi sử dụng dòng I_{CP} nhỏ với các Δf khác nhau. Tại I_{CP} bằng 20 μA cần 0,22 μs để kéo Δf bằng 1 MHz, nhưng cần tới 0,64 μs để kéo Δf bằng 100 MHz. Khi sử dụng dòng I_{CP} lớn, sự khác biệt này giảm xuống. Để kéo Δf trong dải từ 1 đến 100 MHz, T_{PLL_tune} thay đổi trong dải từ 0,08 đến 0,15 μs .



Hình 8: E_{PLL} trong thời gian điều hướng

Biểu đồ hình 8 mô tả năng lượng tiêu thụ E_{PLL} trong thời gian điều hướng ứng với các Δf từ 1 đến 100 MHz. Có thể thấy, năng lượng tiêu thụ tối thiểu đối với các Δf khác nhau xảy ra tại các giá trị I_{CP} khác nhau. Với Δf bằng 1 MHz, E_{PLL} đạt E_{PLL_min} tại I_{CP_1MHz} bằng 30 μA ; với Δf bằng 10 MHz, E_{PLL} nhỏ nhất tại I_{CP_10MHz}

bằng 36 μA ; tương tự $I_{CP, 20\text{MHz}}$ bằng 42 μA , $I_{CP, 100\text{MHz}}$ bằng 88 μA . Các giá trị này sẽ được lưu trong cơ sở dữ liệu để xác định điểm làm việc tối ưu về năng lượng tiêu thụ cho bộ PLL.

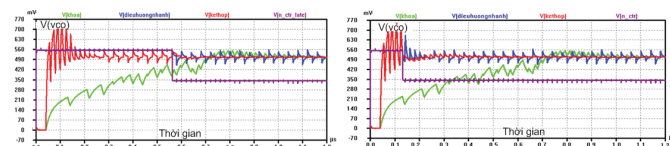


Hình 9: so sánh thời gian điều hướng lý thuyết và mô phỏng

So sánh kết quả mô phỏng thời gian khóa tổng cộng với tính toán lý thuyết như hình 9. Kết quả mô phỏng cho thấy có sự sai khác nhỏ giữa thời gian khóa tính toán lý thuyết và thời gian khóa mô phỏng khi dòng I_{CP} thay đổi. Điều này có thể giải thích được vì mô hình tính toán bộ PLL bậc 3 được xây dựng gần đúng từ mô hình bộ PLL bậc 2.

Trên cơ sở đường đặc tuyến từ hình 9, thuật toán điều khiển sẽ xác định được thời gian chuyển tối ưu khi chuyển từ giai đoạn điều hướng sang giai đoạn giữ ổn định. Việc chọn lựa được đúng thời điểm chuyển mạch là rất quan trọng, ảnh hưởng trực tiếp đến thời gian khóa tổng cộng.

Mô phỏng thời điểm chuyển mạch trong giai đoạn điều hướng nhanh:



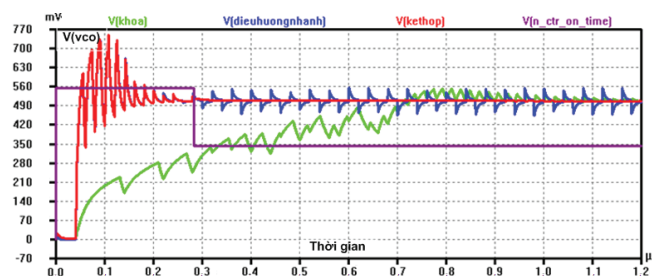
Hình 10: (a) chuyển mạch quá chậm (b) chuyển mạch quá nhanh

So sánh thời gian khóa khi các thời điểm chuyển mạch khác nhau. Hình 10 mô phỏng phản ứng của mạch khi: (a) chuyển mạch quá trễ tại 5,6 μs , và (b) chuyển mạch quá sớm tại 0,13 μs . Khi chuyển mạch quá trễ, giai đoạn điều hướng đạt được trạng thái khóa tại 0,3 μs . Tuy nhiên, vì chưa chuyển sang trạng thái giữ, mạch có xu hướng mất ổn định, đến thời điểm 5,6

μs , mạch chuyển sang trạng thái khóa chậm, kéo tần số đầu ra về trạng thái khóa, và đạt được trạng thái khóa tại thời điểm 0,7 μs .

Khi chuyển mạch quá sớm, mạch khóa nhanh chưa đưa tần số đầu ra về trạng thái khóa nhưng đã chuyển sang mạch giữ, tần số được khóa tại thời điểm 0,6 μs .

Hình 11 mô phỏng phản ứng của mạch khi chuyển mạch đúng thời điểm tại 0,29 μs , khi mạch khóa nhanh vừa đưa tần số về trạng thái khóa, chuyển sang mạch giữ để giữ ổn định tần số. Thời gian khóa là nhỏ nhất, bằng 0,35 μs .



Hình 11: chuyển mạch đúng thời điểm

Kết luận

Bài báo đã đề xuất một giải pháp tái cấu hình cho bộ THTS có cấu trúc lai DDS - PLL cho CR. Bộ PLL hoạt động với mục tiêu đạt được điểm làm việc tối ưu trong các chế độ hoạt động khác nhau: (i) hiệu năng cao; (ii) tiết kiệm năng lượng; (iii) giới hạn công suất. Các đường đặc tuyến tổng quát cho các tham số thời gian điều hướng tần số, công suất tiêu thụ trung bình và năng lượng tiêu thụ trong khi điều hướng của bộ PLL đã được xây dựng và phương pháp chọn điểm làm việc cho bộ PLL trong các chế độ hoạt động khác nhau đã được đề xuất. Bộ PLL có thể tái cấu hình, được điều khiển bằng thuật toán phần mềm. Thời điểm chuyển trạng thái khóa tần số được tính toán bằng phần mềm thay vì sử dụng một bộ phát hiện khóa bằng mạch phân cứng như các bộ PLL khóa nhanh khác, làm giảm mức tiêu thụ năng lượng của bộ PLL nhưng vẫn đảm bảo đạt được thời gian khóa nhanh. Bộ DDS được sử dụng làm tần số tham chiếu cho bộ PLL, cho phép bộ PLL sử dụng bộ chia phản hồi có hệ số N nhỏ, làm giảm nền tạp và đạt được độ phân giải tần số đầu ra nhỏ, vượt qua nhược điểm giới hạn độ phân giải bằng tần số tham chiếu trong các bộ PLL sử dụng tần số tham chiếu cố định.

Tài liệu tham khảo

- [1] Josef Mitola (2000), "Cognitive Radio: An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio", *Ph.D. dissertation*, Royal Inst. of Tech., Sweden.
- [2] Vũ Lê Hà (2014), "Bộ cảm nhận phổ thích nghi cho hệ thống vô tuyến thông minh (cognitive radio)", *Tạp chí Nghiên cứu khoa học và công nghệ quân sự*, số 30, trang 46-52.
- [3] Vamshi Krishna Manthena (2011), "Ultra Low Power CMOS Phase-Locked Loop Frequency Synthesizers", *PhD thesis*, Nanyang University, Singapore.
- [4] Liesbet V.P, Jan C, Antoine D (2009), "Green Software Defined Radios - Enabling seamless connectivity while saving on hardware and energy", *Springer Science*.
- [5] Sidiropoulos S, Liu D, Kim J, Wei G, Horowitz M (2000), "Adaptive bandwidth DLLs and PLLs using regulated supply CMOS buffers", *Symp. on VLSI Circuits Digest Technical Papers*, Honolulu, HI, pp.124-127.
- [6] Bishop A.J, Roberts G.W, Blostein M.L (1992), "Adaptive phase locked loop for video signal sampling", in *Proc. IEEE ISCAS'92*, San Diego, pp.1664-1667.
- [7] Lee J, Kim B (2000), "A low-noise fast-lock phase-locked loop with adaptive bandwidth control", *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol.35, pp.1137-1145.
- [8] Shirahama H, Taniguchi K, Nakashi K, "A new very fast pull-in PLL system with anti-pseudo-lock function", in *Proc. Symp. VLSI Circuits Dig. Tech. Papers*, Kyoto, Japan, pp.75-76.
- [9] Yang C, Yuan S (2000), "Fast-switching frequency synthesizer with a discriminator-aided phase detector", *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol.35, pp.1445-1452.
- [10] Vaucher C (2000), "An adaptive PLL tuning system architecture combining high spectral purity and fast settling time", *IEEE Solid-State Circuits*, vol.35, pp.490-502.
- [11] Tang Y, Zhou Y, Bibyk S, Ismail M (2001), "A low-noise fast settling PLL with extended loop bandwidth enhancement by new adaptation technique", in *Proc. IEEE ASIC/Soc Conf.*, pp.93-97.
- [12] Tang Y, Ismail M, Bibyk S (2002), "A new fast-settling gearshift adaptive PLL to extend loop bandwidth enhancement in frequency synthesizers", in *Proc. ISCAS'02*, vol.4, Phoenix, AZ, pp.787-790.
- [13] Roh G, Lee Y, Kim B (1997), "Optimum phase-acquisition technique for charge-pump PLL", *IEEE Solid-State Circuits*, vol.32, pp.729-740.
- [14] Thoka S (2005), "Fast-Switching Adaptive Bandwidth Frequency Synthesizer using a Loop Filter with Switched Zero Resistor Array", *IEEE*.
- [15] Hassani J.Y, Kamarei M (2001), "A Flexible Method of LUT Indexing in Digital Predistortion Linearization of RF Power Amplifiers", *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, vol.1, Sydney, pp. 53-56.
- [16] Koch R (2001), "Linearization: Reducing distortion in power amplifiers", *IEEE Microw.*, vol.2, pp.37-49.
- [17] Park J, Park S.R, Roh H.J, Koo K.H (2001), "Power Amplifier Back-off Analysis with AM-to-PM for Millimeter-wave OFDM Wireless LAN", in *Proc. IEEE Radio and Wireless Conference*, Waltham, USA, pp.189-192.
- [18] Austin Harney, Grzegorz Wawrzola (2011), "Power Management Design for PLLs", *Analog Dialogue 45-09*.
- [19] Jan D (2009), "Power Efficiency Optimization of Fully Integrated Dickson Charge Pumps", *Proceedings of the 9th WSEAS International Conference on Microelectronics, Nanoelectronics*.
- [20] Kang C.W (2013), "Low voltage charge pump circuit using 0.18 μm CMOS technology", *Électronique et transmission de l'information*.
- [21] Keliu Shu, Edgar Sanchez-Sinencio (2005), "CMOS PLL Synthesizers: Analysis and Design", *Springer Science + Business Media, Inc*.
- [22] Baker R Jacob (2011), "CMOS: Circuit Design, Layout and Simulation", *John Wiley and Sons*.

Thiết kế bộ điều biến vi tích phân bậc 3, tỷ số tín hiệu trên nhiễu đạt 110 dB và tỷ lệ quá lấy mẫu 512 cho chip ADC 24-bit ở công nghệ CMOS 130 nm

Hồ Quang Tây*, Ngô Thị Thu Nga, Đoàn Duy

Trung tâm Nghiên cứu và Đào tạo thiết kế vi mạch

Ngày nhận bài 10.7.2015, ngày chuyển phản biện 24.7.2015, ngày nhận phản biện 28.8.2015, ngày chấp nhận đăng 31.8.2015

Bài báo này trình bày một thiết kế bộ điều biến vi tích phân bậc 3 (3rd order delta-sigma modulator) có tỷ số tín hiệu trên nhiễu (Signal to noise ratio - SNR) đạt 110 dB, tỷ lệ quá lấy mẫu (Oversampling rate - OSR) 512 và số bit hiệu dụng (Effective number of bits - ENOB) lớn hơn 18 bit với tần số tín hiệu ngõ vào 8 KHz. Bộ điều biến vi tích phân là thành phần quan trọng được sử dụng trong thiết kế chip chuyển đổi tín hiệu tương tự sang tín hiệu số (Analog to digital converter - ADC) có độ phân giải 24 bit. Thiết kế này đã được tích hợp thành công vào chip ADC 24-bit trên nền công nghệ 130 nm với công suất tiêu thụ gần 4 mW và nguồn cấp 3,3 V.

Từ khóa: ADC 24-bit, điều biến vi tích phân, điều biến vi tích phân bậc 3, tỷ số quá lấy mẫu ADC 24-bit, tỷ số tín hiệu trên nhiễu của ADC 24-bit.

Chỉ số phân loại 1.2

A 110 DB SNR, 512 OSR, THIRD ORDER DELTA-SIGMA MODULATOR FOR 24-BIT ADC IN 130 NM CMOS PROCESS

Summary

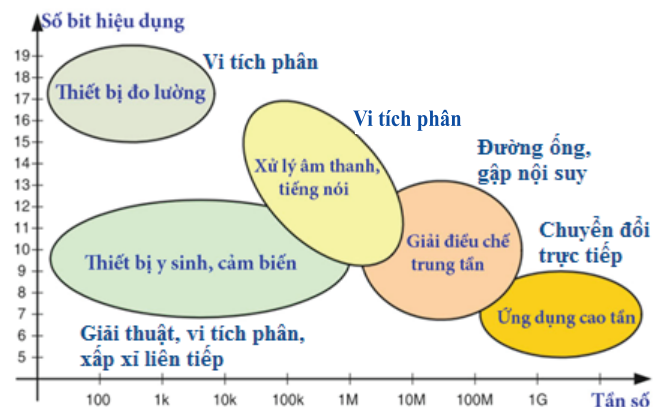
In this paper, a design with simulation results of the 3rd order delta-sigma modulator will be presented. The post-layout simulations show that the modulator achieves SNR of 110 dB, OSR of 512 and more than 18 effective bits ENOB at 8 KHz input frequency. This modulator is a significant part of the 24-bit Analog-to-digital converter (ADC) chip. Furthermore, this delta-sigma modulator is successfully integrated into a complete 4 mW power consumption 24-bit resolution ADC chip in 130 nm TSMC technology.

Keywords: delta-sigma modulator, OSR of 24-bit ADC, SNR of 24-bit ADC, third order delta-sigma modulator, 24-bit ADC.

Classification number 1.2

Đặt vấn đề

Ngày nay, ADC được sử dụng trong hầu hết các thiết bị điện tử hoặc trong các thiết bị đo lường các đại lượng điện hay phi điện nói chung. ADC là thành phần có vai trò cực kỳ quan trọng trong hầu hết các thiết bị này. Do đa dạng trong kiến trúc thiết kế [1], ADC có thể được thiết kế ở những kiến trúc khác nhau tùy thuộc vào yêu cầu của ứng dụng thực tế. Hình 1 là sơ đồ phân loại một số kiến trúc thiết kế ADC cơ bản theo tần số lấy mẫu (sampling frequency) và số bit hiệu dụng (Effective number of bits - ENOB) [2]. Mỗi loại kiến trúc phù hợp với những lĩnh vực ứng dụng thực tế riêng, trong đó kiểu kiến trúc delta-sigma phù hợp cho nhiều ứng dụng nhất như lĩnh



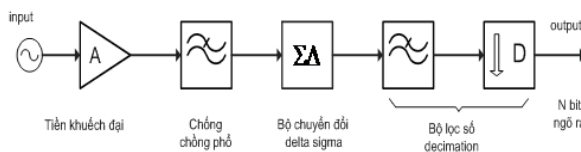
Hình 1: mô hình phân loại kiến trúc ADC theo tần số lấy mẫu và số bit hiệu dụng [2]

*Tác giả liên hệ: Tel: 0909445256; Email: tay.hoquang@icdrec.edu.vn

vực y sinh, thiết bị di động và các phương tiện nghe nhìn. Do nhu cầu ứng dụng rộng rãi nên kiểu kiến trúc thiết kế này thu hút được sự quan tâm nghiên cứu của nhiều nhà khoa học [3-6] cùng nhiều hãng sản xuất như Analog Devices [7], Texas Instruments [8]. Tuy nhiên, tại Việt Nam, thiết kế chip ADC có độ phân giải cao 24 bit và số bit hiệu dụng lớn chỉ thực sự được quan tâm trong một đề tài cấp nhà nước từ năm 2011 tại Trung tâm Nghiên cứu và Đào tạo thiết kế vi mạch (ICDREC) [9]. Vì thế, những nghiên cứu về thiết kế liên quan đến chip ADC rất cấp thiết đối với sự phát triển của ngành điện tử Việt Nam nói chung và ngành thiết kế vi mạch tương tự nói riêng.

Giới thiệu chung về thiết kế ADC và bộ điều biến delta-sigma

Mô hình thiết kế cơ bản của một bộ chuyển đổi ADC theo kiến trúc delta-sigma được trình bày trong hình 2, với các thành phần chính gồm: bộ tiền khuếch đại, bộ lọc chống chồng phổ, bộ chuyển đổi delta-sigma, bộ lọc số decimation và N bit ngõ ra.



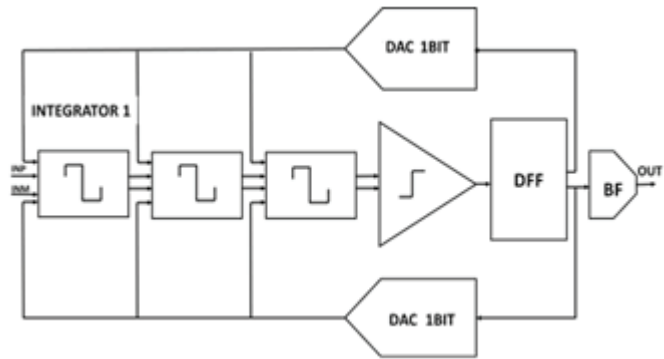
Hình 2: cấu trúc thiết kế cơ bản của bộ chuyển đổi delta-sigma ADC

Như mô tả trong hệ thống ở hình 2, sau khi được xử lý ở bộ tiền khuếch đại, tín hiệu sẽ đi qua một bộ lọc thông thấp hoạt động như một bộ lọc chống chồng phổ. Sau đó, tín hiệu sẽ được mã hóa từ dạng tương tự sang dạng số bởi bộ chuyển đổi delta-sigma trước khi được đưa qua bộ lọc số để tạo thành chuỗi bit ngõ ra. Thành phần chuyển đổi cơ bản và quan trọng nhất của hệ thống là một bộ chuyển đổi delta-sigma. Do vậy, việc thiết kế thành công bộ chuyển đổi delta-sigma cho chip ADC 24-bit đã trở thành đối tượng và mục tiêu nghiên cứu của nhóm tác giả, và sẽ được trình bày chi tiết trong phần tiếp theo của bài báo. Hướng tiếp cận cho thiết kế bắt đầu từ xây dựng và mô phỏng hệ thống bằng chương trình Matlab; xây dựng và mô phỏng mạch trên công cụ thiết kế vi mạch chuyên dụng; thực hiện thiết kế layout và mô phỏng sau layout; cuối cùng là tích hợp thiết kế vào hệ thống chip ADC.

Thiết kế bộ điều biến delta-sigma

Thiết kế bộ điều biến delta-sigma bậc 3 được nghiên cứu và đề xuất cho thiết kế ADC 24-bit như trình bày trong hình 3 thiết kế hệ thống bao gồm các

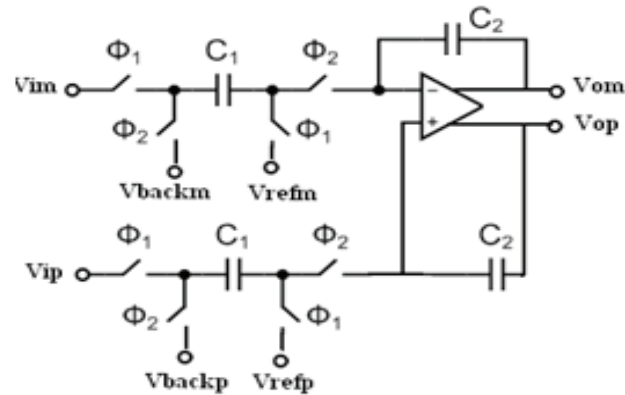
thành phần chính: chuỗi nối tiếp các mạch tích phân (integrator) kiểu switched-capacitor (SC), bộ so sánh, bộ chuyển đổi DAC (Digital to analog converter) 1 bit, mạch DFF và bộ đếm ngõ ra. Trong phạm vi bài báo này xin được trình bày chi tiết thiết kế bộ tích phân và bộ so sánh. Các thiết kế cơ bản của bộ DAC 1 bit, DFF và bộ đếm ngõ ra có thể tham khảo trong thiết kế của Schreier [10].



Hình 3: cấu trúc bộ điều biến delta-sigma bậc 3

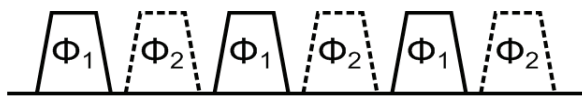
Thiết kế mạch SC integrator

Mục tiêu của mạch tích phân là: lấy tích phân với tín hiệu ngõ vào lớn nhất là 8 KHz, tần số xung nhịp 8,192 MHz, điện áp làm việc 3,3 V. Thiết kế sử dụng mạch tích phân có cấu trúc Non-Inverting SC với sơ đồ mạch được mô tả trong hình 4.



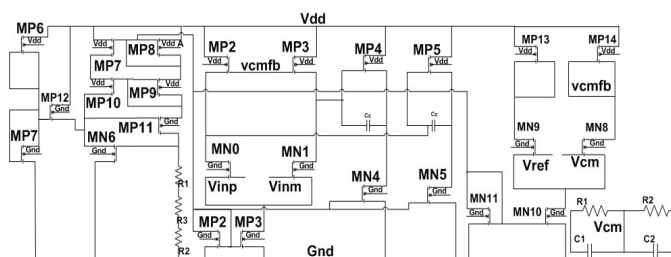
Hình 4: sơ đồ mạch bộ tích phân integrator

Mạch SC integrator gồm: 2 tụ C1, 2 tụ C2, 1 bộ op-amp và 8 switched capacitor. Tỷ lệ tụ C1 và C2 của integrator 1, integrator 2 và integrator 3 được xác định thông qua mô phỏng hệ thống trên Toolbox Matlab. Ngoài ra, cấu trúc này cũng đã được đề cập nhiều trong sách tham khảo của Schreier [10]. Trong hình 4, xung nhịp của Φ_1 và Φ_2 có dạng như được mô tả trong hình 5.



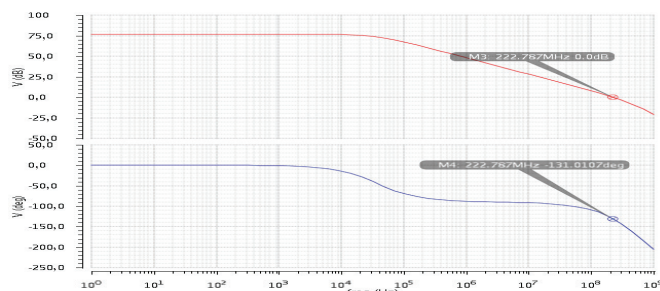
Hình 5: dạng sóng của 2-phase clock của Φ_1 và Φ_2

Thành phần quan trọng của bộ integrator là mạch khuếch đại. Để sử dụng cho bộ integrator, mục tiêu của bộ khuếch đại là: độ lợi (gain) đạt 70 dB, tần số độ lợi đơn vị (unity gain frequency) là 200 MHz và độ dự trữ pha (phase margin) là 60° . Mạch khuếch đại được thiết kế theo kiến trúc fully differential two-stage như sơ đồ trong hình 6.



Hình 6: sơ đồ mạch fully differential two-stage op-amp

Kết quả mô phỏng trên phần mềm phân tích thiết kế vi mạch chuyên dụng được trình bày trong hình 7 cho thấy, mạch khuếch đại đã đạt được độ lợi khoảng 75 dB, tần số độ lợi đơn vị là 222 MHz và biên pha là 60° . Kết quả này phù hợp với yêu cầu thiết kế các bộ integrator.



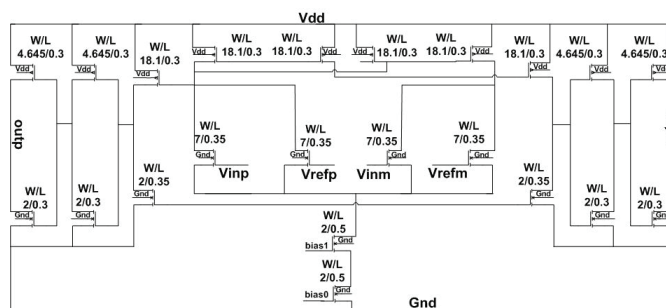
Hình 7: kết quả mô phỏng gain và phase margin của op-amp

Thiết kế bộ so sánh

Bộ so sánh (comparator) được sử dụng để chuyển đổi giá trị điện áp được lấy mẫu ở mạch tích phân thành các giá trị logic bằng cách so sánh giá trị điện áp này với một tín hiệu điện áp tham chiếu.

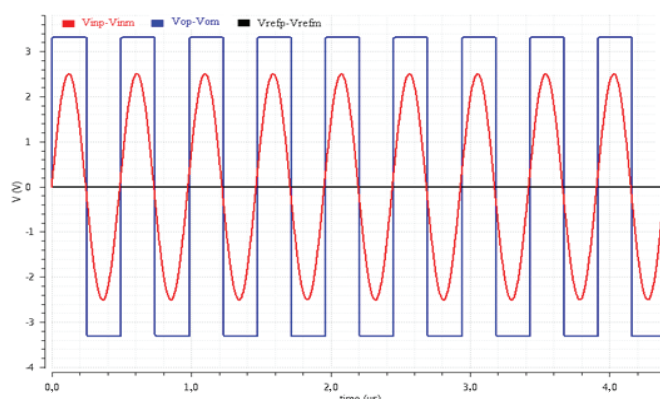
Để sử dụng cho bộ điều biến delta-sigma trong chip ADC 24-bit, mục tiêu của bộ so sánh là: tần số ngõ vào

lớn nhất 8 KHz, tần số xung nhịp 8,192 MHz, ngõ ra được chuyển đổi về dạng logic với các giá trị biên độ là $\pm 3,3$ V. Bộ so sánh được thiết kế theo mô hình fully differential two-stage, như sơ đồ hình 8.



Hình 8: sơ đồ mạch so sánh fully differential two-stage

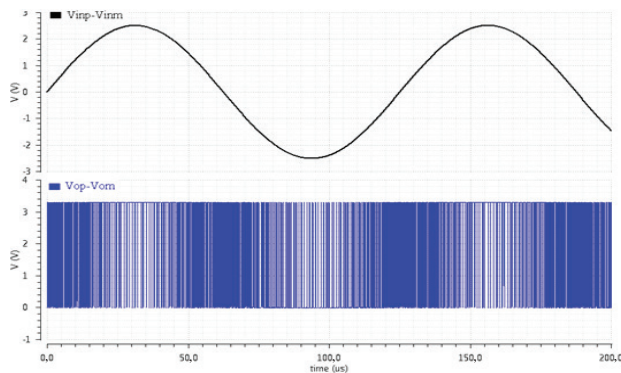
Kết quả mô phỏng hoạt động của mạch so sánh trên phần mềm thiết kế vi mạch chuyên dụng ở tần số xung nhịp 8,192 MHz (hình 9) cho thấy, mạch hoạt động ổn định, ngõ ra được chuyển đổi về dạng logic với các giá trị biên độ là $\pm 3,3$ V.



Hình 9: kết quả mô phỏng dạng sóng ngõ ra của mạch so sánh

Kết quả mô phỏng hệ thống và thiết kế layout hoàn chỉnh

Như đã đề cập trong phần đầu của bài báo, ngõ ra của bộ điều biến là một chuỗi bit (bit stream) dưới dạng logic. Mô phỏng hệ thống trên phần mềm cho kết quả của chuỗi bit ngõ ra như trong hình 10. Mô phỏng được thực hiện trong miền thời gian từ 0 đến 200 us với tần số tín hiệu ngõ vào là 8 KHz và tốc độ xung nhịp là 8,192 MHz. Việc đánh giá kết quả chuỗi bit là không thể thực hiện bằng quan sát mà phải thông qua việc tính toán các thông số về độ chính xác của tín hiệu trên kết quả ngõ ra như tỷ số tín hiệu trên nhiễu (Signal to Noise Ratio - SNR) và số bit hiệu dụng (ENOB).



Hình 10: kết quả mô phỏng dạng sóng trong miền thời gian của bộ delta-sigma modulator

Tỷ số SNR tương ứng với một bộ ADC m bit (tín hiệu ngõ vào dạng sóng sine) được xác định như sau:

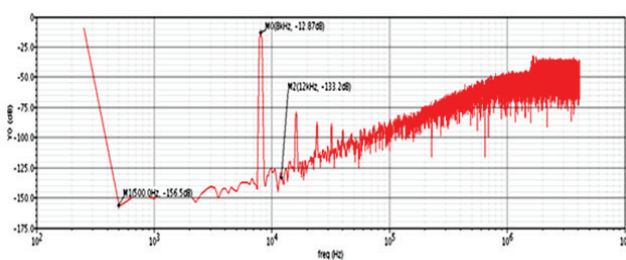
$$SNR = 6,02m + 1,76 \quad (1)$$

Trong đó, SNR (đơn vị dB) là tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu của hệ thống, m là độ phân giải của hệ thống. Kết quả tính toán SNR của hệ thống dựa trên kết quả chuỗi bit ngõ ra được trình bày trong hình 11. Căn cứ vào các giá trị tạo hình nhiễu trong hình 11, ta có thể xác định tỷ số SNR là 110 dB.

Ngoài ra, với tín hiệu ngõ vào có dạng sóng sine, tỷ số SNR có thể được biểu diễn bởi số lượng bit hiệu dụng theo công thức sau:

$$N = (SNR - 1,76)/6,02 \quad (2)$$

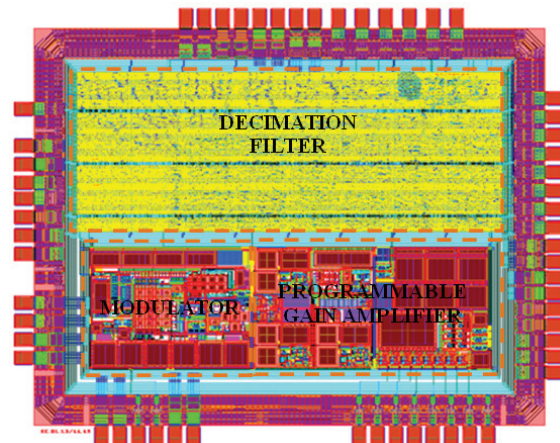
Trong đó, N được gọi là số bit hiệu dụng (ENOB) của hệ thống. Thay giá trị thực đo của SNR vào phương trình (2), ta có thể xác định được số bit hiệu dụng của thiết kế là 19 bit.



Hình 11: kết quả mô phỏng hệ số SNR của bộ điều biến delta-sigma

Thiết kế bộ điều biến delta-sigma sau khi được mô phỏng đánh giá hoạt động đầy đủ trên sơ đồ mạch theo nhiệt độ lẫn sai số chế tạo đã được thực hiện thiết kế layout hoàn chỉnh và thực hiện các mô phỏng sau layout để đánh giá kết quả thiết kế. Cùng với bộ lọc số (decimation filter) và bộ khuếch đại lập trình (programmable gain amplifier), bộ điều biến cũng đã được

tích hợp vào chip ADC 24-bit hoàn chỉnh như kết quả trong hình 12. Bảng 1 trình bày chi tiết các kết quả đạt được khi mô phỏng chip ADC ở các điều kiện hoạt động khác nhau như điện áp, nhiệt độ và công nghệ.



Hình 12: kết quả tích hợp thiết kế layout bộ điều biến delta-sigma vào chip ADC 24-bit

Bảng 1: kết quả mô phỏng sau layout của bộ điều biến delta-sigma

STT	Thông số	Kết quả
1	Tỷ số SNR	110 dB
2	Tỷ lệ quá lấy mẫu - OSR	512
3	Tần số ngõ vào	8 KHz
4	Số bit hiệu dụng	18 bit
5	Tốc độ xung nhịp	8,192 MHz
6	Điện áp nguồn	3,3 V
7	Nhiệt độ hoạt động	0-80°C
8	Công nghệ thiết kế	130 nm

Kết luận

Kết quả được trình bày ở trên cho thấy, tại tần số xung nhịp là 8,192 MHz, bộ điều biến được thiết kế đã đạt được các tính năng và hoạt động ổn định với tỷ số SNR là 110 dB và ENOB lớn hơn 18 bit với tín hiệu ngõ vào tần số 8 KHz và tầm điện áp ngõ vào là 2,5 V. Đặc biệt, OSR của thiết kế lên đến 512 đã giúp cho thiết kế đạt được tỷ số SNR cao chỉ với kiến trúc bậc 3.

Việc tích hợp thành công bộ điều biến delta-sigma vào thiết kế chip ADC 24-bit hoàn chỉnh là thành công đặc biệt của nghiên cứu. Đây có thể được đánh giá là một trong những thành công đầu tiên trong phát triển thiết kế vi mạch tương tự trên nền công nghệ 130 nm tại Việt Nam.

Một nghiên cứu thiết kế bộ điều biến delta-sigma hoàn chỉnh cho chip chuyển đổi tín hiệu ADC có độ

phân giải 24 bit đã được trình bày một cách ngắn gọn và chi tiết. Công trình nghiên cứu này có thể được dùng như một tài liệu có giá trị tham khảo mang tính thực tế cao trong lĩnh vực vi mạch tương tự tại Việt Nam.

Bên cạnh đó, việc xây dựng các hệ thống mô phỏng trên Matlab, các thiết kế mạch Integrator, mạch Opamp cũng có nhiều điểm cải tiến có thể tiếp tục phát triển trong tương lai.

Lời cảm ơn

Chúng tôi xin chân thành cảm ơn Bộ KH&CN, Ban chủ nhiệm Chương trình KH&CN trọng điểm cấp nhà nước KC01/11-15 đã cho triển khai thực hiện đề tài KC01.13/11-15. Xin chân thành cảm ơn Ban giám đốc và tập thể kỹ sư tại Trung tâm ICDREC đã hỗ trợ thực hiện công trình nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/Analog-to-digital_converter
[2] Amaya J.R, Restituto M.D, Vazquez A Ro (2011), "Device-Level Modeling and Synthesis of High-Performance Pipeline ADCs",

Springer Science.

- [3] Dorrer, Lukas (2003). "10-bit, 3mW continuous-time sigma-delta ADC for UMTS in a 0.12/spl mu/m CMOS process", *Solid-State Circuits Conference, ESSCIR '03*, Proceedings of the 29th European, IEEE.

- [4] Lujun Ji (2009), "A 2nd Order Sigma-Delta Modulator as Readout Circuit for SOI MEMS Accelerometers", *Ph.D Thesis.*

- [5] Hsu, Issac Kuan Chun (1999), "A 70 MHz CMOS Band-pass Sigma-Delta Analog-to-Digital Converter for Wireless Receivers", *Master Phil. Thesis*, Hong Kong University of Science and Technology.

- [6] Fujimori, Ichiro (2000), "A 90-dB SNR 2.5-MHz output-rate ADC using cascaded multibit delta-sigma modulation at 8/spl times/oversampling ratio", *Solid-State Circuits, IEEE Journal of* 35.12, pp.1820-1828.

- [7] <http://www.analog.com>

- [8] <http://www.ti.com>

- [9] Nguyễn Minh Khánh Ngọc (2012-2014), Đề tài Nghiên cứu, thiết kế và chế tạo thử nghiệm chip nén ảnh theo tiêu chuẩn JPEG2000 và chip ADC đa năng ứng dụng trong y tế, mã số KC01.13/11-15, thuộc Chương trình KH&CN trọng điểm cấp nhà nước KC01/11-15.

- [10] Schreier R, Gabor Temes C (2005), "Understanding Delta-Sigma Data Converters", Chapter 3 and 4, *A John Wiley & Sons, Inc., Publication.*

Một quy luật thay đổi ma trận trọng số trong hàm mục tiêu của bộ điều khiển dự báo để xét tính ổn định hệ thống TRMS dựa trên phương pháp quy hoạch động của Bellman

Nguyễn Thị Mai Hương*, Mai Trung Thái, Lê Thị Thu Hà, Lại Khắc Lãi

Đại học Thái Nguyên

Ngày nhận bài 4.5.2015, ngày chuyển phản biện 7.5.2015, ngày nhận phản biện 10.6.2015, ngày chấp nhận đăng 16.6.2015

Năm 2014, nhóm nghiên cứu của các tác giả này đã đưa ra kết quả áp dụng điều khiển dự báo trực tiếp trên nền quy hoạch động để xét tính ổn định của hệ thống TRMS khi cửa sổ dự báo tiến ra vô cùng [1]. Các kết quả trong nghiên cứu nêu trên đã chứng minh được tính ổn định của hệ thống nhưng chưa giải quyết trực tiếp được các điều kiện ràng buộc của các tham số trạng thái. Trong bài này, các tác giả đề xuất quy luật thay đổi các ma trận trọng số của hàm mục tiêu nhằm thỏa mãn các điều kiện ràng buộc đầu vào, đầu ra và tham số trạng thái của hệ. Các kết quả mô phỏng khi cửa sổ dự báo tiến đến vô cùng, các tham số trạng thái của đối tượng tiến về 0 và thỏa mãn các điều kiện ràng buộc, hệ thống ổn định toàn cục, chứng tỏ tính hợp lý của quy luật được đề xuất.

Từ khóa: điều khiển dự báo, điều kiện ràng buộc, hệ thống hai cánh quạt nhiều đầu vào nhiều đầu ra, quy hoạch động, sự ổn định, tham số trạng thái.

Chỉ số phân loại 1.2

A RULE OF CHANGE OF WEIGHT MATRIX IN OBJECTIVE FUNCTION IN MODEL PREDICTIVE CONTROL IN ORDER TO CONSIDER STABILITY FOR TRMS BASED ON BELLMAN'S DYNAMIC PROGRAMMING METHOD

Summary

A paper [1] indicated the survey results of applying Model Predictive Control for the TRMS based on Bellman's dynamic programming method in order to consider the stability with the predictive horizon going to infinity. The results of [1] has proved the stability of system, but they did not satisfy constraint conditions of state parameters. In this article, the authors provided a rule of change of weight matrix in objective function in order to satisfy constraint conditions of the inputs, the outputs and the state parameters of this system. All of the state parameters reached to zero and satisfied constraint conditions, the global stability of the system when the predictive horizon (N_p) went to infinity showed a reasonable rule with simulation results.

Keywords: constraint conditions, dynamic programming, model predictive control, stability, state parameters, Twin rotor MIMO system (TRMS).

Classification number 1.2

Giới thiệu chung

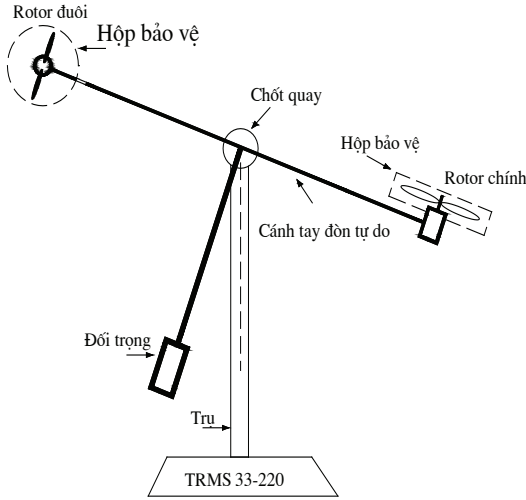
Tối ưu hóa trong điều khiển dự báo là một vấn đề khó, đang được nhiều nhà khoa học trong và ngoài nước quan tâm nghiên cứu. Từ trước đến nay, người ta chủ yếu sử dụng các phương pháp tìm nghiệm có hướng trên cửa sổ dự báo hữu hạn để tối ưu hóa trong điều khiển dự báo như phương pháp gradient, Newton - Raphson (Newton - Optimization, Newton type), hay Gauss - Newton vì các phương pháp này khá thuận lợi cho dạng các bài toán tối ưu bị ràng buộc. Cũng có một vài phương pháp tối ưu hóa khác không sử dụng hướng tìm như Levenberg - Marquardt hay trust region, song tất cả các phương pháp tối ưu hóa đã được sử dụng đều chỉ có thể được cài đặt với cửa sổ dự báo hữu hạn, do đó không đảm bảo được tính toàn cục của nghiệm tối ưu tìm được và dẫn đến việc khó đảm bảo được tính ổn định trong hệ thống [2].

Phương pháp quy hoạch động có ưu điểm nổi bật khi áp dụng giải bài

*Tác giả liên hệ: Email: maihuongnguyen79@gmail.com

toán tối ưu nhiều biến là đảm bảo được tính toàn cục của nghiệm tối ưu (phương pháp này rất phù hợp cho lớp đối tượng có mô hình toán dạng song tuyến). Tuy nhiên, hiện nay phương pháp này mới được áp dụng để giải bài toán tối ưu cho hệ tuyến tính có tham số là hằng số hoặc tham số biến đổi theo thời gian. Bên cạnh ưu điểm nổi bật trên thì phương pháp này cũng bộc lộ hạn chế nhất định là chưa thỏa mãn trực tiếp điều kiện ràng buộc. Trong nghiên cứu này, chúng tôi áp dụng phương pháp quy hoạch động để giải bài toán tối ưu cho hệ thống có tham số phụ thuộc trạng thái TRMS. Đây là hệ thống thí nghiệm về khí động lực học tại phòng thí nghiệm, có nguyên lý làm việc tương tự như máy bay trực thăng, hệ có mô hình toán dạng song tuyến, đồng thời đề xuất quy luật thay đổi ma trận trọng số của hàm mục tiêu để khắc phục hạn chế trên.

Mô hình TRMS



Hình 1: hệ thống TRMS

Xét hệ thống TRMS có mô hình dự báo như sau:

$$\begin{cases} \hat{x}(k+i+1|k) = A(x(k+i|k))\hat{x}(k+i|k) + B(x(k+i|k))u(k+i|k) \\ \hat{y}(k+i|k) = C(x(k+i|k))\hat{x}(k+i|k) \end{cases} \quad (1)$$

$$i = 0, 1, \dots, N_p - 1$$

Để xác định được tín hiệu điều khiển $\underline{u}_k$ tại cửa dự báo hiện tại, sao cho sự ảnh hưởng của sai lệch mô hình $\underline{\varepsilon}_k$ tới chất lượng ổn định $\underline{x}_k \rightarrow \underline{0}$ là nhỏ nhất ứng với mô hình dự báo (1), ta sẽ sử dụng hàm mục tiêu dạng toàn phương [1]:

$$J = \sum_{i=0}^{N_p-1} \|\underline{x}_{k+i}\|_{Q_k}^2 + \|\underline{u}_{k+i}\|_{R_k}^2 \rightarrow \min \quad (2)$$

Trong đó:

$$\|\underline{x}_{k+i}\|_{Q_k}^2 = \underline{x}_{k+i}^T Q_k \underline{x}_{k+i} \quad \text{và} \quad \|\underline{u}_{k+i}\|_{R_k}^2 = \underline{u}_{k+i}^T R_k \underline{u}_{k+i}$$

với Q_k, R_k là hai ma trận đối xứng xác định dương tùy chọn. Để tăng tính mềm dẻo cho bộ điều khiển sau này, ta có thể thay đổi Q_k, R_k theo k , tức là thay đổi dọc theo trục thời gian $t = kT_a$.

Khi cửa sổ dự báo là vô hạn ($N_p = \infty$) thì việc tối ưu hóa được thực hiện như sau: hàm mục tiêu (2) sẽ viết lại được thành:

$$J = \sum_{i=0}^{\infty} \|\underline{x}_{k+i}\|_{Q_k}^2 + \|\underline{u}_{k+i}\|_{R_k}^2 \rightarrow \min \quad (3)$$

Phương pháp quy hoạch động cho ra kết quả sau [1]:

$$\underline{u}_k = -\left(R_k + B_k^T L B_k\right)^{-1} B_k^T L A_k \underline{x}_k \quad (4)$$

trong đó L là nghiệm đối xứng của:

$$L = Q_k + A_k^T L \left[I - B_k \left(R_k + B_k^T L B_k \right)^{-1} B_k^T L \right] A_k \quad (5)$$

Các biến trạng thái, các đầu vào và các đầu ra của TRMS như sau:

$$\underline{x}(k) = \begin{bmatrix} i_{ah}(k) & \omega_h(k) & S_h(k) & \alpha_h(k) \\ i_{av}(k) & \omega_v(k) & S_v(k) & \alpha_v(k) \end{bmatrix}^T \quad (6)$$

$$\underline{u}(k) = \begin{bmatrix} U_h(k) & U_v(k) \end{bmatrix}^T \quad (7)$$

$$\underline{y}(k) = \begin{bmatrix} \alpha_h(k) & \alpha_v(k) \end{bmatrix}^T \quad (8)$$

Trong đó: i_{ah} : dòng điện phản ứng của động cơ đuôi (A); ω_h : vận tốc góc của cánh quạt đuôi (rad/s); S_h : vận tốc góc của cánh tay đòn TRMS trong mặt phẳng ngang mà không bị ảnh hưởng bởi cánh quạt chính (rad/s); i_{av} : dòng điện phản ứng của động cơ đuôi (A); ω_v : vận tốc góc của cánh quạt chính (rad/s); S_v : vận tốc góc của cánh tay đòn TRMS trong mặt phẳng thẳng dọc mà không bị ảnh hưởng của cánh quạt đuôi (rad/s); α_h : vị trí theo phương ngang (yaw angle) của cánh tay đòn TRMS (rad); α_v : vị trí theo phương thẳng đứng (pitch angle) của cánh tay đòn TRMS (rad); U_h : tín hiệu điện áp đầu vào của động cơ đuôi (V); U_v : tín hiệu điện áp đầu vào của động cơ chính (V).

Các phương trình không gian trạng thái liên tục phi tuyến của TRMS được đưa ra trong [3-6]:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{ah} \\ \omega_h \\ S_h \\ \alpha_h \\ i_{av} \\ \omega_v \\ S_v \\ \alpha_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_{ah}}{L_{ah}} i_{ah} - \frac{k_{ah} \varphi_h}{L_{ah}} \omega_h + \frac{1}{L_{ah}} f_6(U_h) \\ \frac{k_{ah} \varphi_h}{J_{tr}} i_{ah} - \frac{B_{tr}}{J_{tr}} \omega_h - \frac{f_1(\omega_h)}{J_{tr}} \\ \frac{l_f f_2(\omega_v) \cos \alpha_v - f_7(\Omega_h) - f_3(\alpha_v)}{D \cos^2 \omega_v + E \sin^2 \alpha_v + F} \\ S_h + \frac{k_m \omega_v \cos \alpha_v}{D \cos^2 \omega_v + E \sin^2 \alpha_v + F} \\ -\frac{R_{av}}{L_{av}} i_{av} - \frac{k_{av} \varphi_v}{L_{av}} \omega_v + \frac{1}{L_{av}} f_8(U_v) \\ \frac{k_{av} \varphi_v}{J_{mr}} i_{av} - \frac{B_{mr}}{J_{mr}} \omega_v - \frac{f_4(\omega_v)}{J_{mr}} \\ \frac{f_5(\omega_v)(l_m + k_g \Omega_h \cos \alpha_v) - f_9(\Omega_v)}{J_v} \\ + g \left[(A - B) \cos \alpha_v - C \sin \alpha_v \right] - 0.5 \Omega_h^2 H \sin 2\alpha_v \\ S_v + \frac{k_t}{J_v} \omega_h \end{bmatrix} \quad (9)$$

Trong đó: $R_{ah}, L_{ah}, k_{ah}, J_{tr}, B_{tr}, l_f, D, E, F, k_m, R_{av}, L_{av}, k_{av}, J_{mr}, B_{mr}, l_m, k_g, g, A, B, C, H, J_v, k_t$ là các hằng số dương, φ_v : từ thông của động cơ một chiều cánh quạt

chính (Wb); φ_h : từ thông của động cơ một chiều cánh quạt đuôi (Wb). Ω_h và Ω_v được tính như sau:

$$\Omega_h = S_h + \frac{k_m \omega_v \cos \alpha_v}{D \cos^2 \omega_v + E \sin^2 \alpha_v + F} \quad (10)$$

$$\Omega_v = S_v + \frac{k_t \omega_h}{J_v} \quad (11)$$

f_1 đến f_9 là các hàm phi tuyến. Khi $L_{ah} \ll R_{ah}$ và $L_{av} \ll R_{av}$ mà không mất đi tính chính xác, số bậc của hệ thống có thể giảm xuống bậc 6 như sau:

$$x(k) = [\omega_h(k) \ S_h(k) \ \alpha_h(k) \ \omega_v(k) \ S_v(k) \ \alpha_v(k)]^T \quad (12)$$

$$\frac{dx}{dt} = \begin{bmatrix} \dot{\omega}_h \\ \dot{S}_h \\ \dot{\alpha}_h \\ \dot{\omega}_v \\ \dot{S}_v \\ \dot{\alpha}_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_{ah}}{L_{ah}} \omega_h - \frac{B_{tr}}{J_{tr}} \omega_h - \frac{f_1(\omega_h)}{J_{tr}} + \frac{k_{ah} \varphi_h}{J_{tr}} S_h \\ \frac{k_{ah} \varphi_h \cos \alpha_h - f_7(\Omega_h) - f_3(\alpha_h)}{D \cos^2 \omega_h + E \sin^2 \alpha_h + F} \\ S_h + \frac{k_m \omega_v \cos \alpha_h}{D \cos^2 \omega_h + E \sin^2 \alpha_h + F} \\ -\frac{R_{av}}{L_{av}} \omega_v - \frac{B_{mr}}{J_{mr}} \omega_v - \frac{f_4(\omega_v)}{J_{mr}} + \frac{k_{av} \varphi_v}{J_{mr}} S_v \\ \frac{f_5(\omega_v)(l_m + k_g \Omega_h \cos \alpha_v) - f_9(\Omega_v)}{J_v} + \\ \frac{g[(A-B) \cos \alpha_v - C \sin \alpha_v] - 0.5 \Omega_h^2 H \sin 2\alpha_v}{J_v} \\ S_v + \frac{k_t}{J_v} \omega_h \end{bmatrix} \quad (13)$$

Số bậc của mô hình giảm xuống thì không ảnh hưởng đến độ chính xác của mô hình, nhưng giảm tải cho bộ xử lý và tăng tốc độ tính toán của bài toán tối ưu. Phương trình không gian trạng thái phi tuyến của hệ thống TRMS có thể xấp xỉ và được biểu diễn như phương trình không gian trạng thái phụ thuộc sau:

$$\frac{dx}{dt} = A(x)x + B(x)u \quad (14)$$

Trong đó:

$$A(x) = \begin{bmatrix} -\frac{(k_{ah} \varphi_h)^2}{J_{tr} R_{ah}} - \frac{B_{tr}}{J_{tr}} - \frac{k_{trp/n}}{J_{tr}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{l_f k_{trp/n} |\omega_h| \cos \alpha_h}{f_{10}(\alpha_v)} & -\frac{k_{tr}}{f_{10}(\alpha_v)} & -\frac{k_{trp/n}}{f_{10}(\alpha_v)} & -\frac{k_{tr} k_m \cos \alpha_h}{(f_{10}(\alpha_v))^2} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \frac{k_m \cos \alpha_h}{f_{10}(\alpha_v)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{(k_{av} \varphi_v)^2}{J_{mr} R_{av}} - \frac{B_{mr}}{J_{mr}} - \frac{k_{mrp/n}}{J_{mr}} |\omega_v| & 0 & 0 \\ -\frac{k_{tr} k_t}{J_v} & 0 & 0 & \frac{k_{trp/n} |\omega_v| (l_m + k_g \Omega_h \cos \alpha_v)}{J_v} & -\frac{k_{tr}}{J_v} & f_{11}(\alpha_v) \\ \frac{k_t}{J_v} & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B(x) = \begin{bmatrix} \frac{k_1 k_{ah} \varphi_h}{J_{tr} R_{ah}} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \frac{k_2 k_{av} \varphi_v}{J_{mr} R_{av}} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Ma trận $A(x)$ và $B(x)$ phụ thuộc vào các tham số trạng thái.

Thiết kế bộ điều khiển dự báo cho TRMS trên nền quy hoạch động

Xét phương trình không gian trạng thái phụ thuộc của TRMS (14)

$$\frac{dx}{dt} = A(x)x + B(x)u$$

Tại $t = k.T_s$

Trong đó: T_s là chu kỳ trích mẫu (đủ nhỏ)

$$x(t) = x_k \text{ với } (k-1)T_s \leq t < kT_s$$

$$u(t) = u_k \text{ với } (k-1)T_s \leq t < kT_s$$

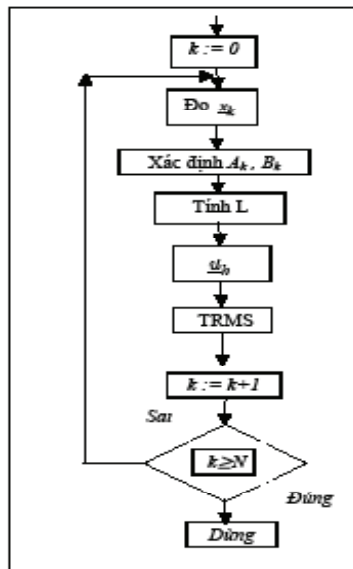
Suy ra:

$$\frac{dx}{dt} = A(x_k)x + B(x_k)u \text{ với } (k-1)T_s \leq t < kT_s$$

Thay $\frac{dx}{dt} = \frac{x_{k+1} - x_k}{T_s}$ ta được:

$$\begin{cases} x_{k+1} = x_k + T_s A(x_k) x_k + T_s B(x_k) u_k \\ = [I + T_s A(x_k)] x_k + T_s B(x_k) u_k \\ = \hat{A}(x_k) x_k + \hat{B}(x_k) u_k \\ = A_k x_k + B_k u_k \end{cases} \quad (15)$$

Lưu đồ thuật toán của phương pháp quy hoạch động được biểu diễn trong hình 2.



Hình 2: lưu đồ thuật toán phương pháp quy hoạch động

Kết quả mô phỏng

Bảng 1: các tham số hệ thống

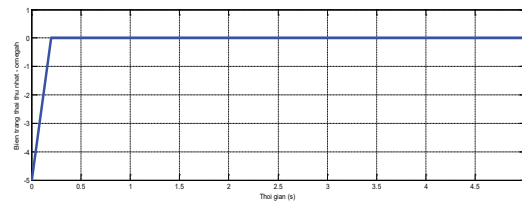
Tham số	Giá trị	Tham số	Giá trị
$I_l(m)$	0,282	$R_a(\Omega)$	8
$I(m)$	0,246	$L_a(mH)$	0,86
$I_b(m)$	0,290	$k_{av}\varphi_v(Nm/A)$	0,0202
$I_{cb}(m)$	0,276	$J_{mr}(gcm^2)$	1272
$r_{ms}(m)$	0,155	$J_{tr}(gcm^2)$	248
$r_{ts}(m)$	0,100	$B_{tr}(kgm^2/s)$	$2,3 \times 10^{-5}$
$m_{tr}(kg)$	0,221	$B_{mr}(kgm^2/s)$	$4,5 \times 10^{-5}$
$m_{mr}(kg)$	0,236	k_{th}	$3,6 \times 10^{-7}$
$m_{cb}(kg)$	0,068	k_{tv}	$8,7 \times 10^{-7}$
$m_t(kg)$	0,015	k_{mp}	$1,84 \times 10^{-6}$
$m_m(kg)$	0,014	k_{fnn}	$2,20 \times 10^{-7}$
$m_b(kg)$	0,022	k_{fvp}	$1,62 \times 10^{-5}$
$m_{ts}(kg)$	0,119	k_{fvm}	$1,08 \times 10^{-5}$
$m_{ms}(kg)$	0,219	k_t	$2,6 \times 10^{-5}$
kg	0,2	k_{rm}	2×10^{-4}
$k_{ah}\varphi_h(Nm/A)$	0,0202		

Chu kỳ trích mẫu và các ma trận trọng số có các thông số:

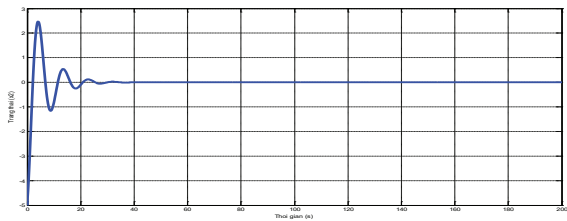
$$T = 0,2, R_k = [0,01 \ 0; 0 \ 0,01],$$

$$Q_k = [10 \ 0 \ 0 \ 0; 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0; 0 \ 0 \ 0,01 \ 0 \ 0 \ 0; 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0; 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0; 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0,01]$$

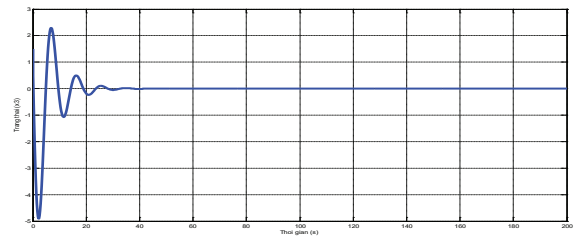
Với mô hình toán của hệ TRMS được xây dựng trong (13) và các tham số của hệ thống như trong bảng 1, lưu đồ thuật toán đưa ra trong hình 2, tiến hành mô phỏng trên Matlab thu được đáp ứng thời gian của các biến trạng thái của hệ TRMS được đưa ra trong các hình từ 3 đến 8 trong [7].



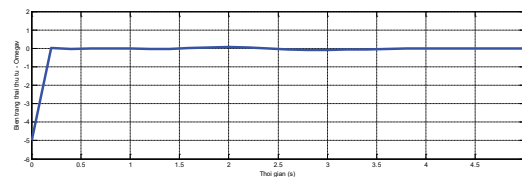
Hình 3: đáp ứng thời gian của biến trạng thái thứ nhất



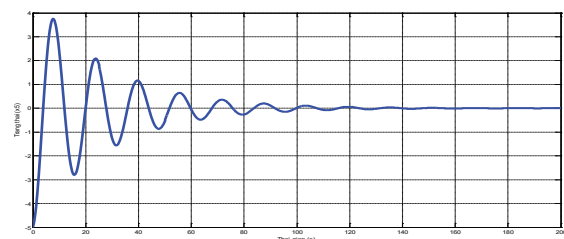
Hình 4: đáp ứng thời gian của biến trạng thái thứ hai



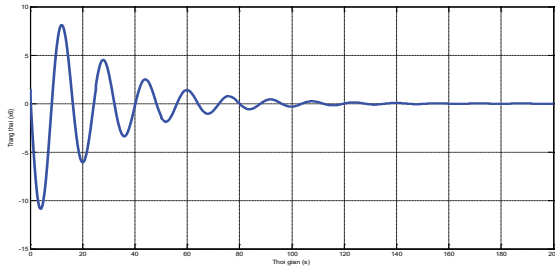
Hình 5: đáp ứng thời gian của biến trạng thái thứ ba



Hình 6: đáp ứng thời gian của biến trạng thái thứ tư



Hình 7: đáp ứng thời gian của biến trạng thái thứ năm



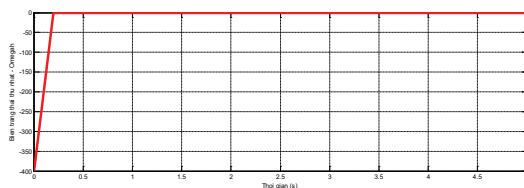
Hình 8: đáp ứng thời gian của biến trạng thái thứ sáu

Với thời gian mô phỏng là 5 s, các kết quả mô phỏng cho thấy: biến trạng thái thứ nhất (ω_h) và biến trạng thái thứ tư (ω_v) tiến về 0 ngay ở 0,2 s của quá trình mô phỏng và thỏa mãn điều kiện ràng buộc trạng thái của chúng. Khi thời gian mô phỏng là 200 s, biến trạng thái thứ hai và thứ ba (S_h, α_h) tiến về 0 ở thời điểm khoảng giây thứ 30 và 2 biến trạng thái thứ năm và thứ sáu (S_v, α_v) cũng tiến về 0 ở thời gian mô phỏng khoảng giây thứ 100. Vậy khi cửa sổ dự báo (N_p) tiến ra vô cùng, cả 6 tham số trạng thái của hệ thống TRMS đều tiến dần về 0, điều đó chứng tỏ hệ thống ổn định toàn cục. Tuy nhiên, các biến trạng thái $S_h; S_v; \alpha_h$ và α_v có độ quá điều chỉnh còn khá lớn

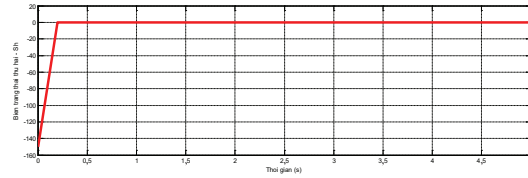
cho thấy phương pháp này chưa giải quyết trực tiếp được các điều kiện ràng buộc đầu vào của các biến trạng thái, biến trạng thái thứ năm và thứ sáu có số lần dao động khá nhiều. Nên chúng tôi đề xuất việc thay đổi ma trận trọng số trong hàm mục tiêu như sau: giữ nguyên ma trận R_k và thay đổi giá trị của ma trận trọng

số Q_k theo quy luật $Q_{k+1} = i^2 Q_k$, trong đó $i = 1 \div 2$ nhằm

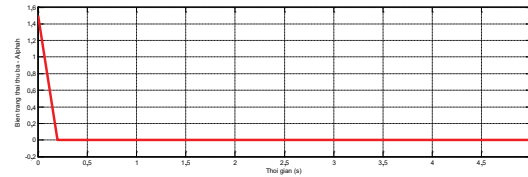
thỏa mãn các điều kiện ràng buộc của các biến trạng thái của hệ thống được đưa ra trong các hình từ 9 đến 14.



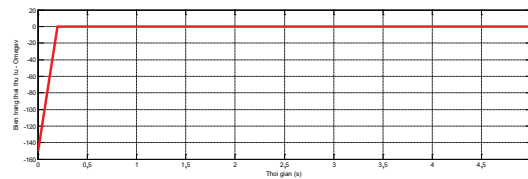
Hình 9: đáp ứng thời gian của biến trạng thái thứ nhất



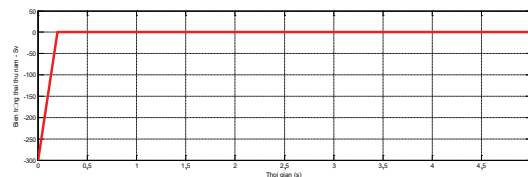
Hình 10: đáp ứng thời gian của biến trạng thái thứ hai



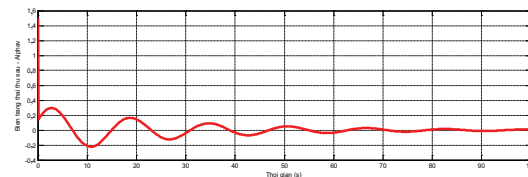
Hình 11: đáp ứng thời gian của biến trạng thái thứ ba



Hình 12: đáp ứng thời gian của biến trạng thái thứ tư



Hình 13: đáp ứng thời gian của biến trạng thái thứ năm



Hình 14: đáp ứng thời gian của biến trạng thái thứ sáu

Nhận xét: với thời gian mô phỏng là 5 s, các kết quả mô phỏng đưa ra trong các hình từ 9 đến 14 cho ta thấy: các biến trạng thái $\omega_h, S_h, \alpha_h, \omega_v$ và S_v đều tiến về 0 ngay ở giây thứ 0,2 trong quá trình mô phỏng và thỏa mãn điều kiện ràng buộc đầu vào và đầu ra của các tham số trạng thái so với chúng mà đã được đưa ra trong các hình từ 3 đến 7. Đặc biệt, tham số trạng thái thứ 6 (α_v), mặc dù chưa tiến về 0 ngay ở những giây đầu tiên của quá trình mô phỏng như các biến trạng thái khác nhưng độ quá điều chỉnh chỉ ở mức từ -0,2 rad đến 0,35 rad so với điều kiện ràng buộc thực tế đầu

ra của đối tượng là -2 rad đến 2 rad.

Kết luận

Bằng phương pháp quy hoạch động của Bellman, chúng tôi đã xây dựng bộ điều khiển dự báo cho hệ thống TRMS để xét tính ổn định của hệ thống khi cửa sổ dự báo là vô hạn. Đồng thời khắc phục được hạn chế của phương pháp này khi đề xuất quy luật thay đổi các ma trận trọng số trong hàm mục tiêu nhằm thỏa mãn các điều kiện ràng buộc của các tham số trạng thái của hệ. Kết quả mô phỏng trên Matlab chứng tỏ hệ thống ổn định toàn cục và cũng giải quyết được các điều kiện ràng buộc, kết quả này cũng chứng minh tính đúng đắn của phương pháp luận đã được xây dựng trong tài liệu [7] và tính hợp lý của quy luật thay đổi ma trận trọng số đã được đề xuất.

Tài liệu tham khảo

[1] Nguyễn Thị Mai Hương, Mai Trung Thái, Đỗ Thị Tú Anh, Lại Khắc Lãi (2014), “Ổn định hóa hệ thống hai cánh quạt nhiều đầu vào nhiều đầu ra dựa trên phương pháp quy hoạch động của Bellman”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Thái Nguyên*, **128(14)**, trang

161-165.

[2] Grüne L, Pannek J (2010), “Nonlinear model predictive control”, *Theory and Algorithms*, Springer.

[3] Rahideh A, Shaheed M.H (2007), “Mathematical dynamic modelling of a twin rotor multiple input-multiple output system”, *Proceedings of the IMechE, Part I, Journal of Systems and Control Engineering*, **221**, pp.89-101.

[4] Rahideh A, Shaheed M.H (2011), “State model predictive control for a nonlinear system”, *Journal of the Franklin Institute*, **348**, pp.1983-2004.

[5] Rahideh A, Shaheed M.H (2012), “Constrained output feedback model predictive control for nonlinear systems”, *Control Engineering Practice*, **20**, pp.431-443.

[6] Nguyễn Thị Mai Hương, Mai Trung Thái, Nguyễn Hữu Chính, Lại Khắc Lãi (2014), “Nghiên cứu ảnh hưởng của các tham số trạng thái trong hệ thống hai cánh quạt nhiều đầu vào nhiều đầu ra”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Thái Nguyên*, **6(120)**, trang 87-92.

[7] Đỗ Thị Tú Anh, Nguyễn Doãn Phước (2014), “Ổn định hóa hệ song tuyến liên tục với bộ điều khiển dự báo”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Thái Nguyên*, **6(120)**, trang 73-79.

Cấu trúc, tính chất từ và hiệu ứng từ nhiệt của hệ mẫu băng $\text{La}_{1+x}\text{Fe}_{10,5-x}\text{CoSi}_{1,5}$

Nguyễn Hải Yến^{1*}, Lê Việt Hùng², Đinh Chí Linh¹, Phạm Thị Thanh¹, Trần Đăng Thành¹, Nguyễn Huy Dân¹

¹ Viện Khoa học vật liệu, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam

² Trường Đại học Sư phạm Hà Nội 2

Ngày nhận bài 2.3.2015, ngày chuyển phản biện 9.3.2015, ngày nhận phản biện 13.4.2015, ngày chấp nhận đăng 28.4.2015

Bài báo giới thiệu những kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng của nồng độ La lên cấu trúc, tính chất từ và hiệu ứng từ nhiệt của hệ hợp kim $\text{La}_{1+x}\text{Fe}_{10,5-x}\text{CoSi}_{1,5}$ ($x = 0; 0,5; 1$ và $1,5$) được chế tạo bằng phương pháp phun băng nguội nhanh với vận tốc trống quay $v = 20$ m/s, sau đó, các mẫu băng được ủ tại các nhiệt độ khác nhau (từ 1223 đến 1323 K) trong 1 h. Kết quả cho thấy, cấu trúc và tính chất từ của hợp kim phụ thuộc đáng kể vào nồng độ La và chế độ ủ nhiệt. Khi nồng độ La tăng, khả năng hình thành trạng thái vô định hình (GFA) của hợp kim tăng. Nhiệt độ Curie của hợp kim giảm theo nồng độ La. Độ biến thiên entropy (ΔS_M) của hợp kim đạt được xung quanh nhiệt độ phòng $> 1 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ (với biến thiên của từ trường $\Delta H = 12 \text{ kOe}$).

Từ khóa: biến thiên entropy từ, công nghệ làm lạnh bằng từ trường, hiệu ứng từ nhiệt, nhiệt độ Curie, phương pháp nguội nhanh.

Chỉ số phân loại 1.3

Structure, magnetic properties and magnetocaloric effect of $\text{La}_{1+x}\text{Fe}_{10,5-x}\text{CoSi}_{1,5}$ ribbons

Summary

In this work, the authors investigated the influences of La-concentration and annealing process on structure, magnetic properties and magnetocaloric effect of $\text{La}_{1+x}\text{Fe}_{10,5-x}\text{CoSi}_{1,5}$ ($x = 0, 0.5, 1$ and 1.5) ribbons prepared by melt-spinning method with tangential velocity of copper wheel of 20 m/s. The ribbons were subsequently annealed at different temperatures (from 1223 K to 1323K) for 1 hour. The results showed that the structure and magnetic properties of the alloy remarkably depended on the concentration of La and annealing process. With increasing La-concentration, the glass forming ability (GFA) of the alloy was increased. Curie temperature of the alloy reduced with increasing La-concentration. The magnetic entropy change (ΔS_M) of the alloy achieved around room temperature was larger than $1 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ (under magnetic change $\Delta H = 12 \text{ kOe}$).

Keywords: curie temperature, magnetic entropy change, magnetic refrigeration technology, magnetocaloric effect, melt-spinning method.

Classification number 1.3

Mở đầu

Từ khi được phát hiện, hiệu ứng từ nhiệt (MCE) đã thu hút sự nghiên cứu của nhiều nhà khoa học bởi khả năng ứng dụng của hiệu ứng này trong lĩnh vực làm lạnh bằng từ trường. Hiện nay, sự làm lạnh bằng từ trường xung quanh nhiệt độ phòng dựa trên hiệu ứng từ nhiệt là một công nghệ đầy hứa hẹn. Công nghệ làm lạnh này có hiệu suất cao (tiết kiệm năng lượng) và không gây ô nhiễm môi trường. Việc làm lạnh bằng từ trường dựa trên nguyên lý làm thay đổi entropy của vật liệu. Để hiệu suất làm lạnh cao thì hiệu ứng từ nhiệt của vật liệu phải lớn (độ biến thiên entropy từ ΔS_M phải lớn). Trong những năm gần đây, một vài hệ vật liệu có hiệu ứng từ nhiệt lớn đã được khám phá như: các hợp kim chứa Gd, các hợp kim chứa As, các hợp kim chứa La, các hợp kim Heusler, các hợp kim nguội nhanh nền Fe và Mn... [1-8]. Trong số các hợp kim này, hợp kim nền La-Fe loại NaZn_{13} được quan tâm nghiên cứu đặc biệt bởi chúng có hiệu ứng từ nhiệt lớn (GMCE), giá thành thấp, không độc hại và

*Tác giả liên hệ: Email: yennh@ims.vast.ac.vn

độ dẫn nhiệt cao [9-11]. Vì vậy, chúng là một ứng cử viên sáng giá cho các chất làm lạnh từ. Các vật liệu này đã được sử dụng để chế tạo thử nghiệm máy làm lạnh và được xác định là có khả năng cho hiệu suất cao [12]. Tuy nhiên, các hợp kim nền La-Fe vẫn có một số nhược điểm như: khó tạo pha mong muốn (pha có cấu trúc kiểu NaZn_{13}), nhiệt độ hoạt động thấp (nhiệt độ Curie T_C thấp). Để nâng cao nhiệt độ Curie T_C của loại vật liệu này, các nhà nghiên cứu thường pha thêm Co thay thế cho Fe. Hơn thế nữa, Co có thể cải thiện GFA của các vật liệu này [13-14]. Từ trạng thái vô định hình, pha loại NaZn_{13} có thể được tạo nên thông qua quá trình ủ nhiệt. Để điều khiển sự hình thành của các pha tinh thể, sự thay đổi của tỷ phần các nguyên tố như Fe:Si thường được áp dụng. Trong bài báo này, chúng tôi trình bày kết quả khảo sát ảnh hưởng của sự thay đổi nồng độ La và chế độ ủ nhiệt lên cấu trúc, tính chất từ và hiệu ứng từ nhiệt của hệ mẫu $\text{La}_{1+x}\text{Fe}_{10,5-x}\text{CoSi}_{1,5}$ ($x = 0; 0,5; 1$ và $1,5$) được chế tạo bằng phương pháp nguội nhanh.

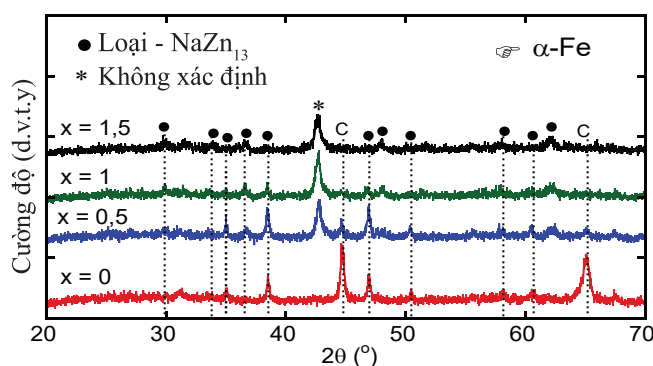
Phương pháp nghiên cứu

Các hợp kim ban đầu với hợp phần $\text{La}_{1+x}\text{Fe}_{10,5-x}\text{CoSi}_{1,5}$ ($x = 0; 0,5; 1$ và $1,5$) được nấu từ các nguyên tố La, Fe, Co và Si trên lò hồ quang vài lần để tạo sự đồng đều của mẫu. Các băng hợp kim được chế tạo trên thiết bị phun băng nguội nhanh đơn trục. Tốc độ nguội của hợp kim được chọn thông qua tốc độ quay của trống. Trong nghiên cứu này, các mẫu băng được chế tạo với vận tốc trống quay $v = 20$ m/s. Sau đó, các mẫu băng được ủ ở các nhiệt độ khác nhau (từ 1223 đến 1323 K) trong 1 h. Tất cả các quá trình nấu hồ quang, phun băng nguội nhanh và ủ nhiệt đều được thực hiện trong môi trường khí Ar để tránh sự ôxy hóa. Cấu trúc của các mẫu được phân tích bởi phương pháp nhiễu xạ tia X (XRD). Các phép đo từ được thực hiện trên hệ từ kế mẫu rung (VSM) với từ trường cực đại là 1,2 T. Dải nhiệt độ đo là 77÷350 K. Giá trị của biến thiên entropy từ ΔS_M được gây bởi sự thay đổi của từ trường ngoài được tính theo công thức:

$$\Delta S_M = \int_{H_1}^{H_2} \left(\frac{\partial M}{\partial T} \right) dH \quad (1)$$

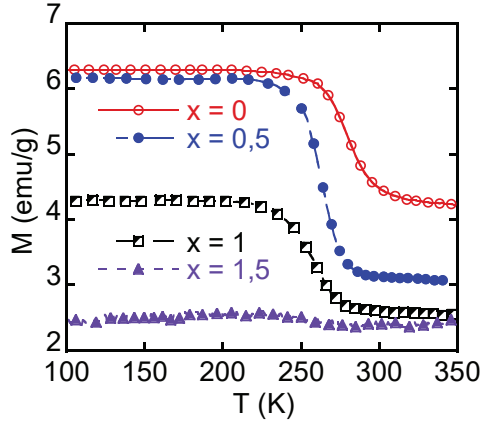
Kết quả và bàn luận

Các băng hợp kim $\text{La}_{1+x}\text{Fe}_{10,5-x}\text{CoSi}_{1,5}$ ($x = 0; 0,5; 1$ và $1,5$) được chế tạo với vận tốc trống quay $v = 20$ m/s có độ dày khoảng 40 μm . Hình 1 là phổ XRD của hợp kim. Kết quả cho thấy, cấu trúc của các mẫu băng rõ ràng phụ thuộc vào nồng độ La. Với sự tăng lên của nồng độ La, GFA cũng tăng. Các đỉnh nhiễu xạ tương ứng với các pha loại NaZn_{13} và $\alpha\text{-Fe}$ đã được quan sát thấy. Điều đáng chú ý là cường độ của các đỉnh của pha $\alpha\text{-Fe}$ giảm dần theo nồng độ La. Tuy nhiên, một đỉnh nhiễu xạ tương đối mạnh, không xác định được, xuất hiện tại góc nhiễu xạ $2\theta \sim 42^\circ$ ở các mẫu với $x = 0,5$ ÷ $1,5$.



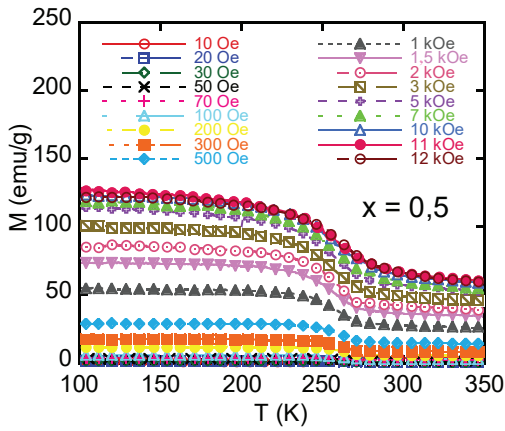
Hình 1: phổ XRD của các mẫu băng hợp kim $\text{La}_{1+x}\text{Fe}_{10,5-x}\text{CoSi}_{1,5}$ ($x = 0; 0,5; 1$ và $1,5$)

Hình 2 biểu diễn các đường cong từ nhiệt của mẫu băng hợp kim $\text{La}_{1+x}\text{Fe}_{10,5-x}\text{CoSi}_{1,5}$ ($x = 0; 0,5; 1$ và $1,5$) được đo ở từ trường $H = 100$ Oe. Chúng tôi nhận thấy rằng, nồng độ La ảnh hưởng rõ rệt lên nhiệt độ chuyển pha (nhiệt độ Curie, T_C) của hợp kim. Các đường cong từ nhiệt của các mẫu có hình dạng rất khác nhau. Đặc biệt, mẫu $x = 0,5$ có chuyển pha từ khá sắc nét. Điều này là do sự hình thành của các pha từ trong hợp kim phụ thuộc vào nồng độ La. Chuyển pha từ của các mẫu băng này nằm trong khoảng 250÷300 K. Sau chuyển pha từ, từ độ của các mẫu băng không giảm về 0 mà vẫn giữ tại một giá trị nào đó. Điều đó có thể là do từ độ của các pha có nhiệt độ Curie cao như pha tinh thể $\alpha\text{-Fe}$. Kết quả đo từ độ này hoàn toàn phù hợp với các phân tích cấu trúc ở trên. Nhiệt độ Curie T_C tại vùng nhiệt độ phòng giảm khi x tăng từ 0 tới 1. Giá trị T_C của mẫu $x = 0$ là 297 K, còn đối với các mẫu $x = 0,5$ và 1 có các giá trị T_C tương ứng là 276 và 273 K.



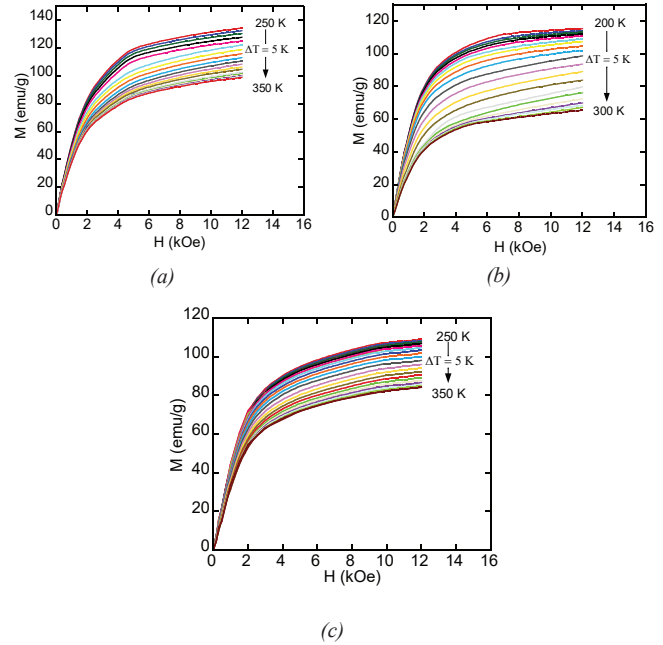
Hình 2: các đường cong từ nhiệt của hệ mẫu bằng

$La_{1+x}Fe_{10,5-x}CoSi_{1,5}$ ($x = 0; 0,5; 1$ và $1,5$) được đo trong từ trường $H = 100$ Oe



Hình 3: các đường cong từ nhiệt ở các từ trường khác nhau của mẫu bằng $La_{1,5}Fe_{10}CoSi_{1,5}$

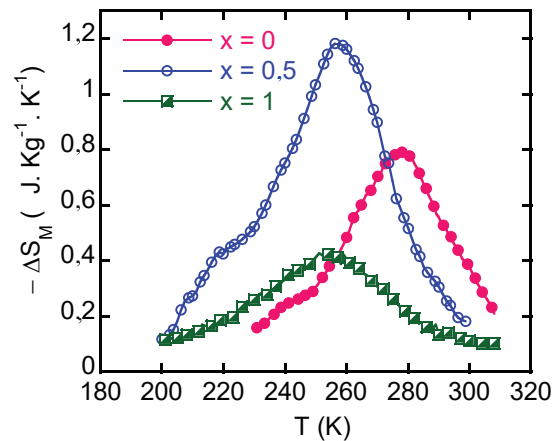
Để nghiên cứu ảnh hưởng của La lên MCE của các mẫu bằng hợp kim $La_{1+x}Fe_{10,5-x}CoSi_{1,5}$ ($x = 0; 0,5; 1$ và $1,5$), chúng tôi đã chọn 3 mẫu với $x = 0; 0,5$ và 1 bởi vì chúng có nhiệt độ chuyển pha từ gần với nhiệt độ phòng. Chúng tôi đã tính biến thiên entropy từ (ΔS_M) dựa trên các đường cong từ nhiệt của các mẫu bằng tại các từ trường khác nhau trong khoảng từ 0,01 đến 12 kOe (hình 3). Từ các đường cong từ nhiệt của các mẫu trong các từ trường khác nhau, chúng tôi có thể suy ra các đường biến thiên từ độ theo từ trường, $M(H)$, tại các nhiệt độ khác nhau (hình 4). Trong các nghiên cứu trước [13, 15], để kiểm tra lại sự chính xác của phép biến đổi này, chúng tôi đã so sánh số liệu lấy từ các đường cong từ hóa ban đầu và các số liệu lấy từ các đường cong từ nhiệt. Kết quả cho thấy, các số liệu lấy từ 2 cách này là hoàn toàn phù hợp. Sau đó, ΔS_M được xác định từ các số liệu $M(H)$ bằng cách sử dụng phương trình (1).



Hình 4: các đường cong từ độ phụ thuộc từ trường được biến đổi từ các đường cong từ nhiệt ở các từ trường khác nhau của các mẫu bằng

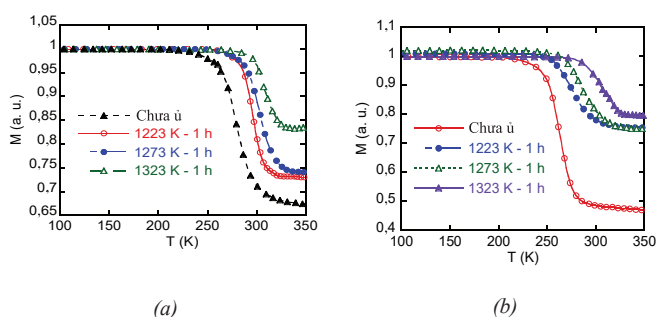
hợp kim $La_{1+x}Fe_{10,5-x}CoSi_{1,5}$ với $x = 0$ (a), $0,5$ (b) và 1 (c)

Hình 5 là đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc vào nhiệt độ của ΔS_M của các mẫu với $x = 0; 0,5$ và 1 trong biến thiên từ trường từ 0 đến 12 kOe. Kết quả cho thấy, ΔS_M cực đại phụ thuộc vào nồng độ La. Giá trị $|\Delta S_M|_{\max}$ được xác định cho các mẫu với $x = 0; 0,5$ và 1 tương ứng là 0,8; 1,2 và 0,43 J.kg⁻¹.K⁻¹.



Hình 5: các đường cong $-\Delta S_M(T)$ ($\Delta H = 12$ kOe) của các mẫu bằng hợp kim $La_{1+x}Fe_{10,5-x}CoSi_{1,5}$ ($x = 0; 0,5$ và 1)

Với mục đích khảo sát ảnh hưởng của chế độ ủ nhiệt lên tính chất từ của hợp kim, các mẫu băng hợp kim đã được ủ tại các nhiệt độ khác nhau (từ 1223 đến 1323 K) trong 1 h. Hình 6 biểu diễn các đường cong từ nhiệt của các mẫu băng hợp kim $\text{La}_{1+x}\text{Fe}_{10,5-x}\text{CoSi}_{1,5}$ ($x = 0$ và $0,5$) sau khi ủ nhiệt. Kết quả thu được cho thấy, nhiệt độ chuyển pha của các mẫu băng đã được tăng lên sau khi ủ nhiệt. Trước khi ủ nhiệt, các giá trị T_C của các mẫu $x = 0$ và $x = 0,5$ tương ứng chỉ là 297 và 276 K. Tuy nhiên, các giá trị này đạt tới xung quanh 300 K sau khi ủ nhiệt. Cần chú ý rằng, T_C của các mẫu băng này cũng tăng theo nhiệt độ ủ. Khi nhiệt độ ủ tăng từ 1223 đến 1323 K thì nhiệt độ Curie của các mẫu này tăng trong khoảng 280÷330 K.



Hình 6: các đường cong từ nhiệt của các mẫu băng hợp kim $\text{La}_{1+x}\text{Fe}_{10,5-x}\text{CoSi}_{1,5}$ với $x = 0$ (a) và $x = 0,5$ (b) sau khi ủ nhiệt

Kết luận

Ảnh hưởng của nồng độ La và chế độ xử lý nhiệt lên cấu trúc, tính chất từ và hiệu ứng từ nhiệt của $\text{La}_{1+x}\text{Fe}_{10,5-x}\text{CoSi}_{1,5}$ ($x = 0; 0,5, 1$ và $1,5$) đã được nghiên cứu. Với sự tăng lên của nồng độ La, khả năng hình thành trạng thái vô định hình của hợp kim tăng và sự hình thành pha tinh thể $\alpha\text{-Fe}$ giảm. Chuyển pha từ và hiệu ứng từ nhiệt được cải thiện đáng kể với giá trị $x = 0,5$. Giá trị lớn nhất của biến thiên entropy từ thu được xung quanh nhiệt độ phòng là $1,2 \text{ J.Kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ (với $\Delta H = 12 \text{ kOe}$). Nhiệt độ Curie của hợp kim có thể điều chỉnh về vùng nhiệt độ phòng bằng cách ủ nhiệt.

Lời cảm ơn

Công trình này được thực hiện với sự hỗ trợ kinh phí của đề tài cấp Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam mã số VAST03.04/14-15. Công việc thực nghiệm được thực hiện tại Phòng thí nghiệm trọng điểm về vật liệu và linh kiện điện tử và Phòng vật lý vật liệu từ và siêu dẫn, Viện Khoa học vật liệu. Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn.

Tài liệu tham khảo

- [1] Zhou X, Li W, Kunkel H.P, Williams G (2004), "A criterion for enhancing the giant magnetocaloric effect: (Ni-Mn-Ga) - a promising new system for magnetic refrigeration", *J. Phys.: Condens. Matter*, **16**, p.L39.
- [2] Xixiang Zhang, Bei Zhang, Shuyun Yu, Zhuhong Liu, Wenjin Xu, Guodong Liu, Jinglan Chen, Zexian Cao, Guangheng Wu (2007), "Combined giant inverse and normal magnetocaloric effect for room-temperature magnetic cooling", *Phys. Rev. B: Condens. Matter*, **76**, p.132403.
- [3] Wang Yong Tian, Bai Hai Yang, Pan Ming Xiang, Zhao De Qian, Wang Wei Hua (2008), "Giant enhancement of magnetocaloric effect in metallic glass matrix composite", *Sci. China. Ser. G-Phys. Mech. Astron.*, **51**(4), p.337.
- [4] Liu Min and Yu Bing-feng (2009), "Development of magnetocaloric materials in room temperature magnetic refrigeration application in recent six years", *J. Cent. South Univ. Technol.*, **16**, p.1.
- [5] Sharma V.K and Chattopadhyay M.K (2010), "Large magnetocaloric effect in $\text{Ni}_{50}\text{Mn}_{33,66}\text{Cr}_{0,34}\text{In}_{16}$ alloy", *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **43**, p.225001.
- [6] Yüzüak E, Emre B, Elerman Y, Yüce A (2010), "Giant magnetocaloric effect in $\text{Tb}_5\text{Ge}_{2-x}\text{Si}_{2-x}\text{Mn}_{2x}$ compounds", *Chinese Phys. B*, **19**, p.057501.
- [7] Klimczak M, Talik E (2010), "Magnetocaloric effect of GdTX ($T = \text{Mn, Fe, Ni, Pd, X} = \text{Al, In}$) and GdFe_6Al_6 ternary compounds", *J. Phys.: Conf. Ser.*, **200**, p.092009.
- [8] Mathew S.P, Kaul S.N, Nigam A.K, Probst A.C, Birringer R (2010), "Magnetic irreversibility, spin-wave excitations and magnetocaloric effect in nanocrystalline Gadolinium", *J. Phys.: Conf. Ser.*, **200**, p.072047.
- [9] Du J, Zheng Q, Li Y.B, Zhang Q, Li D, Zhang Z.D (2008), "Large magnetocaloric effect and enhanced magnetic refrigeration in ternary Gd-based bulk metallic glasses", *J. Appl. Phys.*, **103**, p.023918.
- [10] Dong Q.Y, Shen B.G, Chen J, Shen J, Wang F, Zhang H.W, Sun J.R (2009), "Large magnetic refrigerant capacity in $\text{Gd}_{71}\text{Fe}_3\text{Al}_{26}$ and $\text{Gd}_{65}\text{Fe}_{20}\text{Al}_{15}$ amorphous alloys", *J. Appl. Phys.*, **105**, p.053908.
- [11] Wang F.W, Zhang X.X, Hu F.X (2000), "Large magnetic entropy change in TbAl_2 and $(\text{Tb}_{0,4}\text{Gd}_{0,6})\text{Al}_2$ ", *Appl. Phys. Lett.*, **77**, p.1360.
- [12] Fujita, Koiwai S, Fujieda S, Fukamichi K, Kobayashi T, Tsuji H, Kaji S, Takahashi Saito A (2007), "Active magnetic regeneration behavior of spherical hydrogenated $\text{La}(\text{FeO:86SiO:14})_{13}$ fabricated by rotating electrode process", *Jpn. J. Appl. Phys.*, **Part 2** **46**, p.L154.
- [13] Nguyen Hai Yen, Pham Thi Thanh, Nguyen Huu Duc, Tran Dang Thanh, The Long Phan, Seong Cho Yu, Nguyen Huy Dan (2013), "Magnetic and magnetocaloric properties in $\text{La}(\text{Fe.Co})\text{Si}$ ", *Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol.*, **4**, p.025018.
- [14] Yan A, Muller K.H, Gutfleisch O (2008), "Magnetocaloric effect in $\text{LaFe}_{11,8-x}\text{Co}_x\text{Si}_{1,2}$ melt-spun ribbons", *J. Alloys Compd.*, **450**, p.18.
- [15] Nguyen Huy Dan, Nguyen Huu Duc, Tran Dang Thanh, Nguyen Hai Yen, Pham Thi Thanh, Ngac An Bang, Do Thi Kim Anh, The Long Phan, Seong Cho Yu (2013), "Magnetocaloric effect in Fe-Ni-Zr alloys prepared by using the rapidly-quenched Method", *Journal of the Korean Physical Society*, **62**, p.1715.

Thiết kế và mô phỏng hoạt động của vi chấp hành nhiệt điện silicon-polymer

Chữ Đức Trình*, Nguyễn Ngọc Việt, Đặng Văn Hiếu

Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội

Ngày nhận bài 28.4.2015, ngày chuyển phản biện 6.5.2015, ngày nhận phản biện 17.6.2015, ngày chấp nhận đăng 22.6.2015

Bài báo trình bày về thiết kế và mô phỏng hoạt động của một vi chấp hành nhiệt điện silicon-polymer với kích thước nhỏ; điện áp hoạt động thấp; lực và độ dịch chuyển đầu ra lớn; tương thích với quy trình chế tạo CMOS. Hoạt động của cấu trúc được phân tích dựa trên lý thuyết cơ học cổ điển và phương pháp mô hình hóa phần tử hữu hạn. Các kết quả phân tích lý thuyết và mô phỏng phù hợp với các kết quả thực nghiệm. Cấu trúc vi chấp hành cải tiến được thiết kế dựa trên các mô hình đạt được về cơ học và truyền nhiệt. Vi chấp hành nhiệt điện silicon-polymer này có tiềm năng ứng dụng trong các bộ vi thao tác, mổ nội soi...

Từ khóa: phân tích phần tử hữu hạn, phương pháp Maxwell-Mohr, vi chấp hành nhiệt điện, vi kẹp.

Chỉ số phân loại 1.3

DESIGN AND SIMULATION OF A SILICON-POLYMER ELECTROTHERMAL MICROACTUATOR

Summary

This paper presents the design and simulation of a silicon-polymer electrothermal microactuator with small size; low driving voltage; large force and deflection; compatibility with CMOS technology... This proposed microelectromechanical silicon-polymer gripper has been analyzed based on traditional mechanical theories and finite element simulation. The analyzed and simulated results have met the experimental results. The proposed structure has been optimized using mechanical and heat transfer theories. This silicon-polymer microgripper has a high potential of applying in micromanipulator, minimally invasive surgery, and so on.

Keywords: electrothermal microactuator, FEA, Maxwell-Mohr method, microgripper.

Classification number 1.3

Giới thiệu

Là một lĩnh vực công nghệ tiên phong, hệ thống vi cơ điện tử (MEMS) có thể tích hợp một số thành phần tưởng chừng không liên quan như y sinh với cơ học kết cấu và vi điện tử [1]. Nhiều ứng dụng mới về MEMS sẽ xuất hiện, vượt ra khỏi những hiểu biết trong hiện tại. Một trong các nghiên cứu đó là vi cơ cấu chấp hành - một phần tử quan trọng. Các ứng dụng tiềm tàng của thiết bị này thể hiện trong một số lĩnh vực như vi hệ thống, vi robot và công nghệ y sinh [2, 3]. Một số phương pháp thiết kế vi chấp hành được sử dụng phổ biến trong công nghệ MEMS, như tĩnh điện [4-6], áp điện [7, 8], điện từ [9, 10] và nhiệt điện [11, 12]. Các cơ chấp hành kiểu tĩnh điện thường có đáp ứng nhanh, nhưng có một số nhược điểm là điện áp sử dụng lớn, kích thước lớn trong khi lực chuyển vị thấp. Các vật liệu áp điện có khả năng cho lực chuyển vị cao tại điện áp tương đối thấp. Tuy nhiên, cơ cấu chấp hành áp điện thường phức tạp, không phù hợp với quy trình chế tạo mạch tích hợp, nên khó cho các ứng dụng xâm lấn tối thiểu. Các cơ cấu chấp hành kiểu điện từ cũng tương tự, nghĩa là hiệu quả chuyển vị cao nhưng cơ cấu phức tạp, khó chế tạo và ít phù hợp với vi hệ thống. Do các ưu điểm về kích thước, giá thành và độ tin cậy, các cơ cấu chấp hành nhiệt điện ngày càng được ưa thích hơn. Vi chấp hành nhiệt điện silicon [13] có thể phát sinh biến dạng và chuyển vị lớn với

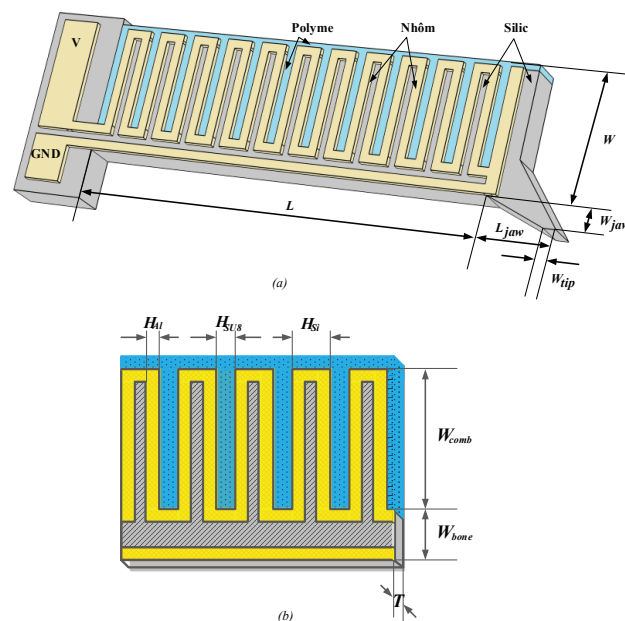
*Tác giả liên hệ: Tel: 0936686156; Email: trinhcd@gmail.com

điện áp tác dụng thấp và quy trình chế tạo tương thích với công nghệ CMOS. Tuy nhiên, nhược điểm chính của cơ cấu chấp hành này là nhiệt độ hoạt động trên cấu trúc có thể rất cao.

Cơ cấu chấp hành nhiệt điện polymer [14] đã được quan tâm đến trong công nghệ MEMS bởi nhiệt độ hoạt động thấp hơn. Hơn nữa, nó có khả năng hoạt động trong chất lỏng và khả năng tương thích sinh học. Hầu hết các vi chấp hành nhiệt điện polymer sử dụng cấu trúc hai vật liệu. Lớp gia nhiệt bằng kim loại được lắng đọng trên mặt lớp polymer có hệ số giãn nở nhiệt cao. Cấu trúc này bị uốn cong khi nóng. Để tăng độ cứng và hiệu quả truyền nhiệt vào polymer, một thiết kế mới về vi chấp hành tạo nên bởi các ngăn silicon-polymer xếp chồng lên nhau đã được đưa ra [15]. Thiết kế bao gồm 3 vật liệu: kim loại dẫn điện, silicon có độ dẫn nhiệt cao và polymer với một hệ số giãn nở nhiệt lớn. Khi hoạt động, nhiệt được truyền hiệu quả từ lớp kim loại gia nhiệt tới polymer nhờ sự dẫn nhiệt cao theo chiều dày của khung silicon, và khung silicon lại có giao diện tiếp xúc lớn với polymer xung quanh. Hơn nữa, các lớp polymer bị giam giữ giữa các ngăn silicon. Sự giãn nở nhiệt của polymer khi bị giam giữ lớn hơn 3 lần so với không bị giam giữ [16].

Bài báo trình bày phương pháp phân tích cấu trúc và mô phỏng hoạt động của một thiết kế vi chấp hành nhiệt điện silicon-polymer. COMSOL Multiphysics - một công cụ mô hình hóa phần tử hữu hạn đã được sử dụng để mô phỏng vi chấp hành. Các kết quả phân tích và mô phỏng được so sánh là khá phù hợp với thực nghiệm. Bởi vậy, các phương pháp trên cũng được sử dụng để xem xét một cải tiến mới. Cải tiến mới về cấu trúc cơ học bằng cách thay đổi tỷ số chiều rộng (tỷ số về chiều rộng giữa đầu tự do và đầu cố định của thanh dầm chấp hành) sẽ được trình bày trong bài báo này. Với cùng kết quả chuyển vị ở đầu gấp, thiết kế mới sử dụng điện áp kích thích nhỏ hơn và nhiệt độ hoạt động thấp hơn so với thiết kế thường. Cuối cùng, bài báo đưa ra một cấu trúc vi kẹp tối ưu. Kết quả cho thấy, với cùng một đáp ứng dịch chuyển $40\text{ }\mu\text{m}$, cấu trúc tối ưu chỉ sử dụng điện áp xấp xỉ bằng một nửa và nhiệt độ hoạt động trung bình là 85°C so với 150°C trên cấu trúc thường. Như vậy, cấu trúc tối ưu không chỉ làm tăng dịch chuyển, mà còn góp phần giảm tiêu thụ năng lượng và kích thước vi chấp hành.

Nguyên lý hoạt động và thiết kế vi chấp hành nhiệt điện silicon-polymer

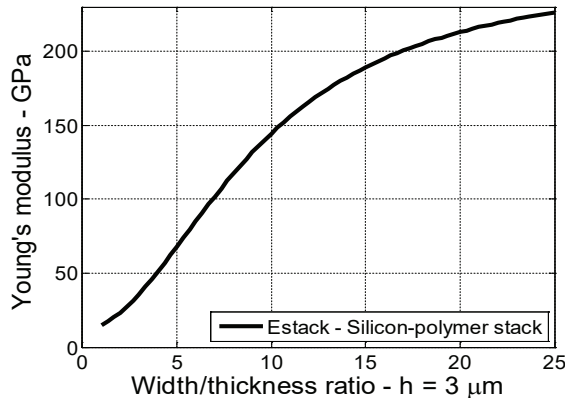


Hình 1: a) Thiết kế cơ cấu vi chấp hành nhiệt điện; b) Phác thảo cấu trúc khung silicon và các ngăn silicon-polymer xếp chồng lên nhau

Hình 1a biểu diễn thiết kế của một vi chấp hành nhiệt điện silicon-polymer. Hình 1b phác thảo cấu trúc khung xếp chồng các ngăn silicon-polymer. Cơ cấu chấp hành này gồm 3 thành phần chủ đạo. Phần thứ nhất là khung silic: giống như một khung xương sống, khung silicon giúp làm tăng độ cứng và độ dẫn nhiệt bên trong cấu trúc. Phần thứ hai là polymer: các lớp polymer SU8 được điền vào các khoảng trống giữa các ngăn silicon. Các lớp này giúp tăng cường hiệu quả biến dạng do polymer có độ dẫn nở nhiệt cao. Hai thành phần silicon và polymer được chế tạo tương tự như hai chiếc lược đan xen vào nhau tạo nên dạng cấu trúc các ngăn silicon-polymer xếp chồng lên nhau. Thành phần thứ ba giống như một nguồn nhiệt, là một lớp nhôm mỏng. Lớp nhôm được gắn trên mặt của khung silicon, tạo thành một dây điện trở. Lớp nhôm này được kết nối với một nguồn điện và hoạt động dựa trên hiệu ứng tỏa nhiệt Jun-Lenxơ.

Khi lớp nhôm được kích thích bởi một nguồn điện V, năng lượng điện được chuyển hóa thành năng lượng nhiệt bởi điện trở của dây nhôm. Nguồn nhiệt phát sinh được truyền vào khung silicon. Do độ dẫn nhiệt cao và bề mặt tiếp xúc rộng với polymer của cấu trúc silicon-polymer, năng lượng nhiệt được truyền hiệu quả vào các lớp polymer, làm polymer dẫn nở mạnh. Do sự dẫn nở nhiệt khác nhau giữa silicon và polymer, cộng với việc cố định thanh dầm chấp hành tại một đầu, làm

cho thanh dầm chấp hành bị uốn cong ở đầu còn lại. Hơn nữa, do tác dụng giam giữ các lớp polymer giữa các lớp cứng silicon [17] làm cho độ uốn của dầm tăng gấp ba lần so với khi không có giam giữ. Theo đó, hiệu quả giam giữ đạt được ổn định khi tỷ số w/h lớn hơn hoặc bằng 10. Với w, h lần lượt là độ dài và rộng của lớp polymer. Hình 2 cho thấy, môđun đàn hồi Young của cấu trúc xếp chồng các ngăn silicon-polymer tăng theo hàm mũ hai với tỷ số w/h [18].



Hình 2: môđun Young hiệu dụng của cấu trúc silicon-polymer với tỷ số w/h [19]

Mỗi cấu trúc xếp chồng silicon-polymer bao gồm một gân silicon với 41 răng lược và các lớp polymer SU8 ở giữa. Độ rộng gân silicon là 10 μm và mỗi răng lược silicon có độ rộng 6 μm , dài 75 μm , dày 30 μm . Mỗi lớp polymer rộng 3 μm . Tỷ số dài/rộng và cao/rộng của mỗi lớp polymer lần lượt là 25 và 10. Các giá trị này đã thỏa mãn hiệu quả giam giữ như đã nêu ở trên. Lớp dây nhôm có độ rộng 2 μm và dày 600 nm. Các kích thước này được trình bày trong bảng 1.

Bảng 1: thông số kích thước của vi chấp hành [15]

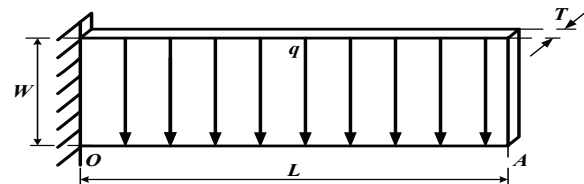
Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Chiều dài vi chấp hành	L	390	μm
Độ dày vi chấp hành	T	30	μm
Độ dày lớp nhôm	T_{Al}	600	nm
Độ rộng ngón lược silicon	H_{Si}	6	μm
Độ rộng lớp polymer SU8	H_{SU8}	3	μm
Độ rộng dây gia nhiệt nhôm	H_{Al}	2	μm
Độ dài ngón lược	L_{comb}	75	μm
Độ rộng xương silicon	W_{bone}	10	μm
Độ hở giữa vi chấp hành và thanh dầm	W_{gap}	22	μm
Độ rộng thanh dầm	W_{can}	12	μm
Độ dài đầu gấp	L_{jaw}	100	μm
Độ rộng đầu gấp	W_{jaw}	28	μm
Độ rộng đầu gấp	W_{tip}	20	μm
Khoảng cách ban đầu giữa hai mô vi kẹp	d_{int}	50	μm

Mô hình hóa và mô phỏng vi chấp hành

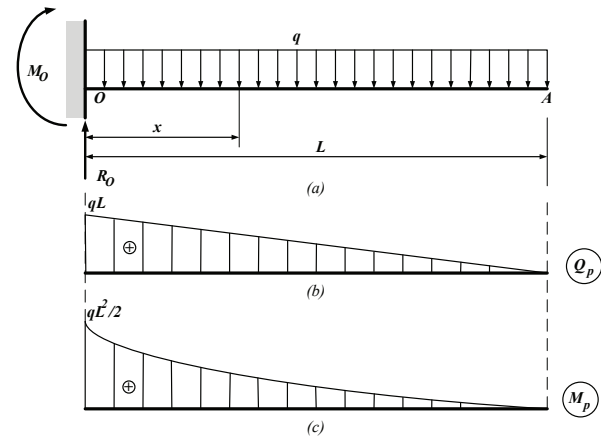
Tính toán chuyển vị sử dụng phương pháp Maxwell-Mohr

Một dầm công sơn được sử dụng để mô hình hóa cho thanh chấp hành nhiệt điện (như trên hình 3). Dầm cố định tại một đầu O và đầu tự do A. Các thông số E, G lần lượt là môđun Young và môđun trượt của vật liệu. Mặt cắt ngang của dầm có hình dạng chữ nhật và kích thước không thay đổi dọc theo chiều dài của thanh dầm. Do đó, diện tích và momen quán tính chính trung tâm mặt cắt ngang của dầm được xác định lần lượt là

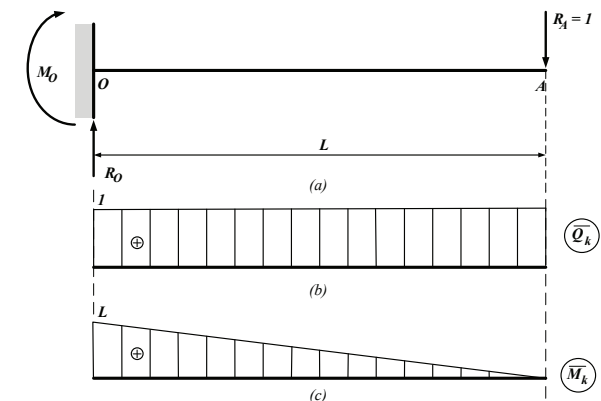
$$A_0 = TW; \text{ và } I_0 = \frac{TW^3}{12}.$$



Hình 3: mô hình thanh dầm vi chấp hành



Hình 4: biểu diễn thanh dầm chịu tải trọng cơ bản: (a) Biểu đồ phân bố lực và momen, (b) Biểu đồ lực cắt, (c) Biểu đồ momen uốn



Hình 5: biểu diễn thanh dầm chịu tải trọng tập trung: (a) Biểu đồ phân bố lực và momen, (b) Biểu đồ lực cắt, (c) Biểu đồ momen uốn

Ta giả sử lực phát sinh bởi nguồn nhiệt từ dây nhôm làm thanh dầm biến dạng, tương đương với một lực phân bố đều q dọc theo chiều dài dầm. Phương pháp Maxwell-Mohr được sử dụng để tính chuyển vị đứng tại đầu tự do A. Các biểu đồ phân tích ở trạng thái cơ bản và trạng thái chịu tải trọng tập trung tại đầu A, lần lượt được thể hiện trên hình 4 và hình 5.

Giả sử rằng, môđun Young (E) và môđun trượt (G) của thanh dầm là các hằng số. Áp dụng phương pháp Maxwell-Mohr, chuyển vị đứng tại đầu A được xác định bao gồm chuyển vị uốn và trượt là: $y_A = y_1 + y_2$.

Trong đó:

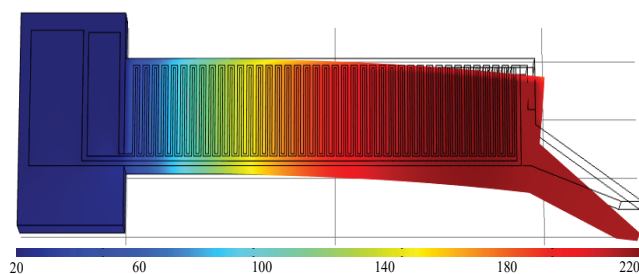
$$y_1 = \int \frac{M_p \overline{M_k}}{EI_0} dx = \frac{qL^4}{8EI_0}$$

$$y_2 = \int \mu \frac{Q_p \overline{Q_k}}{GA_0} dx = \frac{\mu qL^2}{2GA_0}$$
(1)

Với μ là hệ số kích thước, phụ thuộc vào hình dạng của mặt cắt ngang.

Từ biểu thức trên nhận thấy, chuyển vị tại A sẽ phụ thuộc các thông số kích thước, phụ thuộc vào vật liệu chế tạo và phụ thuộc cả tải trọng phân bố (ở đây chính là điện áp kích thích V).

Mô phỏng sử dụng công cụ COMSOL

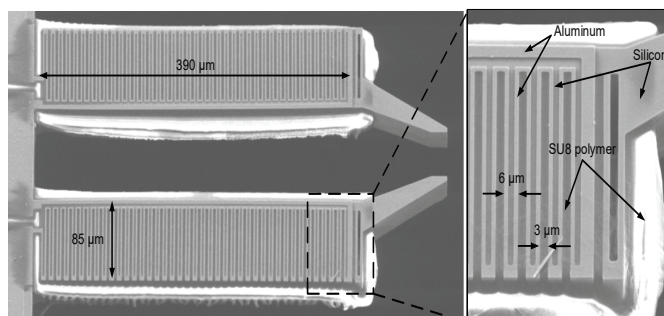


Hình 6: hình ảnh kết quả mô phỏng nhiệt độ và chuyển vị của thanh chấp hành

COMSOL Multiphysics, một công cụ tính toán số dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn được sử dụng để mô phỏng hoạt động của vi chấp hành này. Mô hình cấu trúc ba chiều đã được thiết kế để theo dõi chuyển vị và nhiệt độ phân bố trên thanh chấp hành. Hình 6 là một hình ảnh kết quả mô phỏng đã đạt được. Các thông số kích thước của thanh vi chấp hành được chọn như trong bảng 1.

Khi chạy mô phỏng, một điện áp một chiều được kích thích cho hai đầu dây nhôm trong dải từ 0 đến 4 V, theo từng nấc là 0,25 V. Chuyển vị tối đa tại đầu gấp của vi chấp hành lên tới 50 μm và nhiệt độ lớn nhất là 220°C tại điện áp kích thích là 4 V.

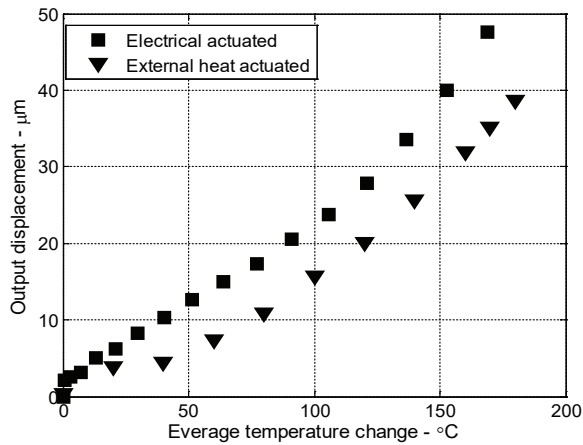
Kết quả thực nghiệm và thảo luận



Hình 7: hình ảnh chế tạo thực nghiệm vi kẹp nhiệt điện silicon-polymer [20]

Một vi kẹp được thiết kế dựa trên vi chấp hành nhiệt điện silicon-polymer được thể hiện trên hình 7. Vi kẹp được chế tạo ở chế độ thường mở. Thiết kế gồm hai thanh chấp hành giống hệt nhau và đặt đối xứng nhau. Khi kích thích điện áp lên mỗi thanh chấp hành, các thanh này sẽ bị uốn cong, dẫn đến các mỏ kẹp đóng lại. Giả sử rằng, ta kích thích điện áp như nhau trên mỗi thanh chấp hành, thì độ gấp hay dịch chuyển của vi kẹp được tính bằng hai lần chuyển vị trên đầu gấp của mỗi thanh chấp hành.

Trong thực nghiệm, hai phương pháp đã được sử dụng để làm thay đổi nhiệt độ trên vi chấp hành, đó là kích thích trực tiếp bằng nguồn nhiệt bên ngoài hoặc kích thích một điện áp đặt vào hai đầu dây nhôm. Sau đó, xác định chuyển vị của đầu gấp và nhiệt độ trung bình trên vi chấp hành dưới kính hiển vi quang học. Bằng phương pháp sử dụng nguồn nhiệt bên ngoài, từng nấc nhiệt độ 20°C được tác động trực tiếp lên vi chấp hành, trong dải từ 20°C đến 200°C. Độ gấp tối đa đo được là 39 μm với nhiệt độ trung bình khi đó là 180°C. Phương pháp này cho thấy, tiêu hao năng lượng nhiệt nhiều làm cho độ dịch chuyển thấp. Phương pháp kích thích bằng điện áp được sử dụng với dải điện áp từ 0 đến 4 V. Kết quả đo được cho thấy, dịch chuyển tối đa lên tới 48 μm , trong khi nhiệt độ trung bình lớn nhất trên vi chấp hành là 176°C. So sánh giữa hai phương pháp được thể hiện trên hình 8.



Hình 8: dịch chuyển của mô kẹp với nhiệt độ trung bình trên vi chấp hành silicon-polymer bằng các phương pháp thực nghiệm [15]

Bằng phương pháp cơ học truyền thống, chuyển vị đứng tại A tính được là:

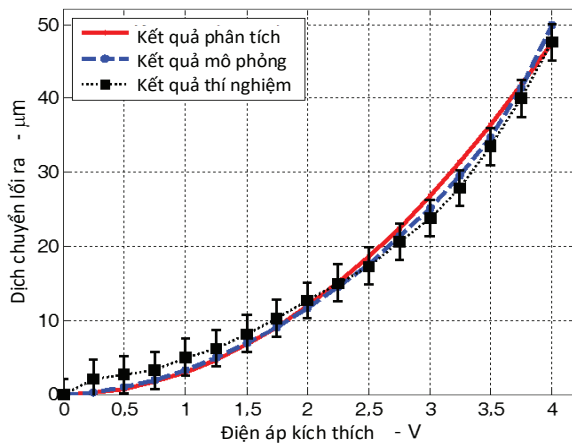
$$\Delta = \frac{qL^4}{8EI_0} + \frac{\eta qL^2}{2GA_0} \quad (2)$$

Đối với mặt cắt ngang là hình chữ nhật, hệ số hình dạng được chọn là: $\eta = 1,2$

Quan hệ giữa mô đun trượt và mô đun Young được xác định:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (3)$$

Với ν là hệ số Poisson (với đa số vật liệu thì hệ số này xấp xỉ bằng 0,25). Từ hình 2, mô đun Young được chọn là $E = 225 \text{ GPa}$, do đó mô đun trượt $G = 50 \text{ GPa}$.

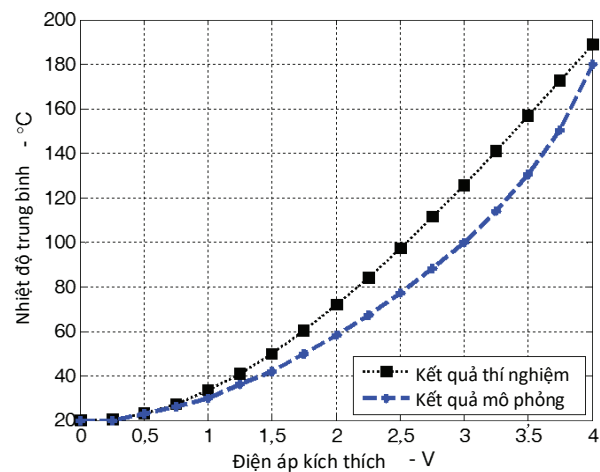


Hình 9: dịch chuyển của vi kẹp theo điện áp kích thích trên mỗi thanh chấp hành

Chiều dài dầm tương đương được chọn như trong bảng 1 với cường độ lực phân bố q được chọn tỷ lệ với một hàm bậc hai của điện áp tác dụng, bởi công suất tỏa nhiệt trên kim loại tuân theo định luật Jun-Lenxo

($Q = V^2 / R$). Độ dịch chuyển của vi kẹp với điện áp tác

dụng trên mỗi thanh vi chấp hành điện nhiệt silicon-polymer được thể hiện trên hình 9. Dịch chuyển ở đây được tính bằng tổng chuyển vị của hai đầu gấp khi cả hai thanh chấp hành cùng hoạt động. Dịch chuyển lớn nhất lên tới $50 \mu\text{m}$ khi đặt điện áp 4 V trên bộ chấp hành. Vì vậy, vi kẹp được dự kiến gấp được các đối tượng có đường kính nhỏ hơn $50 \mu\text{m}$.



Hình 10: nhiệt độ trung bình vi kẹp theo điện áp kích thích trên mỗi thanh chấp hành

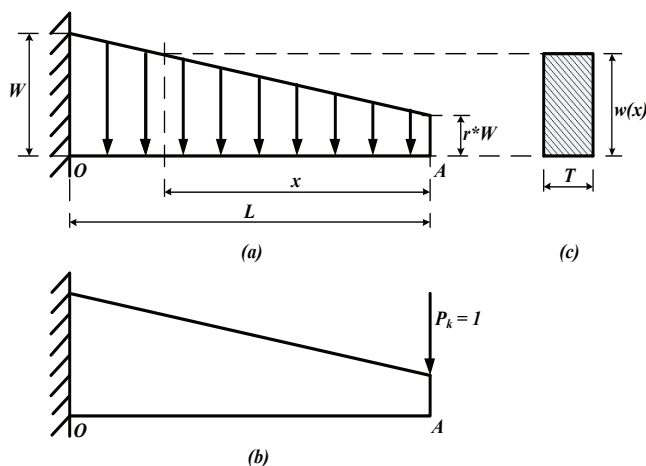
Hình 10 biểu diễn nhiệt độ hoạt động trung bình trên vi kẹp theo điện áp tác dụng trên mỗi thanh chấp hành. Như trên hình, nhiệt độ trung bình tối đa là khoảng 190°C khi kích thích điện áp 4 V. So sánh các kết quả tính toán bằng lý thuyết cơ học, kết quả mô phỏng và kết quả đo của chế tạo thực nghiệm được biểu diễn ở các hình trên là khá tương đồng nhau. Các đồ thị đều có dạng xấp xỉ của một hàm bậc hai. Điều đó cho thấy, phương pháp phân tích và mô hình hóa mô phỏng là khá chính xác và có thể sử dụng tiếp trên các mô hình thiết kế trong phần tiếp theo.

Cải tiến cấu trúc cơ học vi chấp hành

Phân tích cơ học

Theo như thiết kế ban đầu, chiều rộng vi chấp hành là không đổi và mặt cắt ngang của thanh dầm chấp hành là hình chữ nhật. Như vậy, chiều cao mặt cắt ngang là không đổi trên toàn bộ vị trí dọc theo thanh

dầm. Xét thanh dầm có chiều rộng thay đổi tuyến tính dọc theo chiều dài (xem hình 11a). Giả thiết cơ hệ chịu tác dụng của một lực phân bố trong mặt phẳng đứng tương đương một lực phân bố đều với cường độ không đổi (q) trên toàn bộ chiều dài và coi môđun đàn hồi Young (E), môđun trượt (G) của thanh dầm là các hằng số. Sử dụng các lý thuyết cơ học cổ điển để tính chuyển vị tại đầu A theo phương thẳng đứng. Hình 11b biểu diễn trạng thái thanh dầm chịu tải trọng tập trung theo phương thẳng đứng tại vị trí tính chuyển vị A.



Hình 11: thanh dầm với độ rộng thay đổi dọc theo chiều dài:
(a) Cơ hệ chịu tải trọng cơ bản, (b) Cơ hệ chịu tải trọng tập trung tại đầu tự do A,
(c) Tiết diện mặt cắt ngang thanh dầm tại vị trí x

Xét thanh dầm có đầu cố định tại O, đầu tự do tại A và tiết diện là hình chữ nhật, với chiều dày T không đổi và chiều rộng thay đổi tuyến tính từ O tới A. Ta biết rằng, diện tích và momen quán tính chính trung tâm mặt cắt ngang tại ngàm O lần lượt là A_0, I_0 .

Nếu chọn gốc tọa độ tại đầu tự do A và trục x hướng từ phải sang trái thì chiều cao mặt cắt ngang tại vị trí x :

$$w_{(x)} = W \left[(1-r) \frac{x}{L} + r \right] \quad (4)$$

Trong đó, r là tỷ số chiều rộng (tỷ số chiều rộng thanh dầm giữa hai đầu A và O).

Khi đó, diện tích và momen quán tính chính trung tâm mặt cắt ngang tại vị trí x tương ứng là:

$$\begin{aligned} A_{(x)} &= T w_{(x)} = A_0 \left[(1-r) \frac{x}{L} + r \right] \\ I_{(x)} &= \frac{T w_{(x)}^3}{12} = I_0 \left[(1-r) \frac{x}{L} + r \right]^3 \end{aligned} \quad (5)$$

Cường độ lực tại vị trí x :

$$\frac{2q}{(1+r)} \left[(1-r) \frac{x}{L} + r \right] \quad (6)$$

Biểu thức mômen uốn và lực cắt tại trạng thái chịu tải trọng cơ bản:

$$\begin{aligned} M_p &= -q \frac{(1-r)x^3 + 3Lrx^2}{3L(1+r)} \\ Q_p &= q \frac{(1-r)x^2 + 2Lrx}{L(1+r)} \end{aligned} \quad (7)$$

Biểu thức momen uốn và lực cắt tại trạng thái chịu tải trọng tập trung:

$$\begin{aligned} \overline{M}_k &= -x \\ \overline{Q}_k &= 1 \end{aligned} \quad (8)$$

Áp dụng công thức Maxwell-Mohr, tính chuyển vị đứng tại A lần lượt theo biến dạng uốn và biến dạng trượt, ta được:

$$\begin{aligned} y_1 &= \sum \int \frac{M_p \overline{M}_k}{EI_{(x)}} dx = \frac{qL^2}{EI_0} \int_0^L \frac{(1-r)x^4 + 3Lrx^3}{3(1+r)[(1-r)x + Lr]^3} dx \\ y_2 &= \sum \int \mu \frac{Q_p \overline{Q}_k}{GA_{(x)}} dx = \frac{\mu q}{GA_0} \int_0^L \frac{(1-r)x^2 + 2Lrx}{(1+r)[(1-r)x + Lr]} dx \end{aligned} \quad (9)$$

Vậy chuyển vị đứng tổng cộng tại A là:

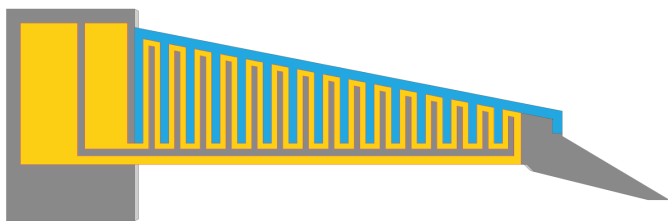
$$\Delta = y_1 + y_2 = \frac{qL^2}{EI_0} \int_0^L \frac{(1-r)x^4 + 3Lrx^3}{3(1+r)[(1-r)x + Lr]^3} dx + \frac{\mu q}{GA_0} \int_0^L \frac{(1-r)x^2 + 2Lrx}{(1+r)[(1-r)x + Lr]} dx \quad (10)$$

Chọn chuyển vị tại A khi $r = 1$ làm chuẩn. Nghĩa là, độ rộng thanh chấp hành không đổi, chuyển vị khi đó như cho trong biểu thức (2).

Mô phỏng

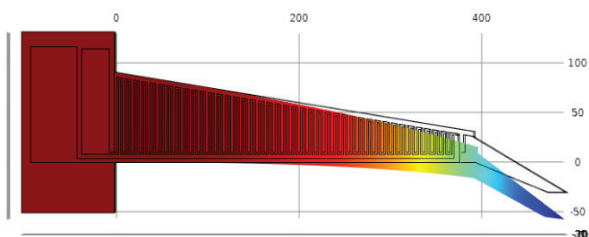
Như chúng ta đã biết, với cấu trúc vi chấp hành đã chế tạo, kết quả mô phỏng có sự phù hợp tốt với kết quả chế tạo thực nghiệm. Vì vậy trong phần này, mô phỏng hoạt động của cấu trúc cải tiến bằng phần mềm COMSOL Multiphysics tiếp tục được sử dụng. Với yêu cầu là các thông số vật lý của vật liệu và môi trường xung quanh đã thiết lập trong quá trình chạy

các mô phỏng cấu trúc thường được giữ nguyên.



Hình 12: mô hình vi chấp hành có độ rộng thay đổi dọc theo chiều dài

Hình 12 thể hiện một cấu trúc vi chấp hành có chiều rộng thay đổi dọc theo chiều dài thanh chấp hành. Các thông số kích thước về chiều dài và độ dày của vi chấp hành, các kích thước của đầu gấp, độ rộng, dày của dây nhôm, polymer, silicon vẫn được lấy theo bảng 1. Một hình ảnh kết quả mô phỏng chuyển vị và nhiệt độ trên cấu trúc cải tiến của thanh chấp hành thể hiện trên hình 13.



Hình 13: kết quả mô phỏng trên một cấu trúc cải tiến của vi chấp hành

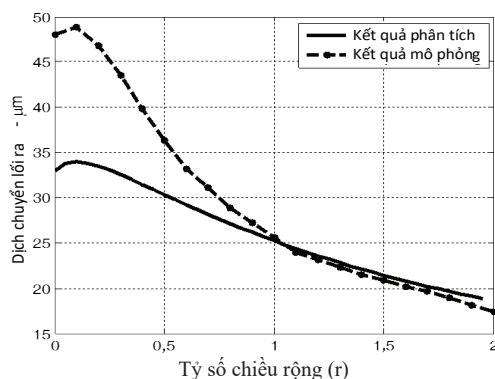
Chạy một số mô phỏng về cấu trúc đưa ra ứng với mỗi thay đổi về chiều rộng thanh chấp hành, với tỷ số chiều rộng r thay đổi theo từng nấc 0,1 từ 0 đến 2, cùng với thay đổi giá trị của r là điều chỉnh giá trị điện áp tác dụng, sao cho nhiệt độ trung bình trên thanh chấp hành xấp xỉ 100°C .

Áp dụng kết quả phân tích lý thuyết, tương ứng với điện áp tác dụng 3 V và nhiệt độ trung bình trên vi chấp hành là 100°C , ta chọn $q = 1,25 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ khi $r = 1$. Khi

đó, quan hệ giữa độ dịch chuyển của vi chấp hành với tỷ số r được thể hiện trên hình 14.

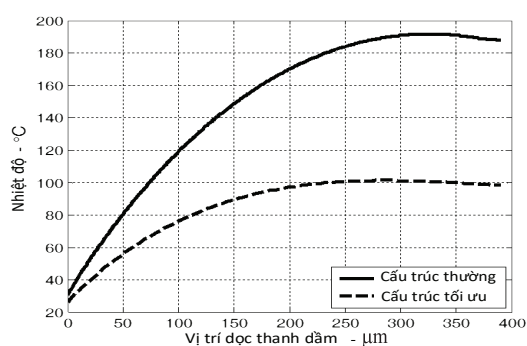
Như vậy, đường cong kết quả dựa trên mô hình lý thuyết và mô hình mô phỏng là có dạng tương tự nhau. Có sự khác biệt giữa hai kết quả (khi $r < 1$) được cho bởi một số nguyên nhân. Thứ nhất, trong mô hình tính toán lý thuyết, chúng ta bỏ qua ảnh hưởng bởi một vài thông số kích thước và vật liệu. Thứ hai, các thiết kế khi $r < 1$, hiệu quả giam giữ polymer giữa hai tấm cứng không còn tác dụng trên một phần đầu tự do của kẹp,

dẫn đến tính toán mô đun đàn hồi Young và hệ số giãn nở nhiệt không còn chính xác. Đặc biệt, một số tính chất nhiệt của vi kẹp sẽ phụ thuộc vào silicon nhiều hơn so với polymer. Bởi vì hệ số dẫn nhiệt của silicon lớn, nên độ uốn của dầm sẽ tăng cao khi $r < 1$. Tuy nhiên, ta không xét đến trường hợp đồng thời tỷ số $r < 1$ và các tỷ số kích thước khác vẫn thỏa mãn hiệu quả giam giữ polymer, vì như vậy kích thước của vi kẹp sẽ rất lớn, không phù hợp với bài toán MEMS.



Hình 14: quan hệ giữa dịch chuyển của vi chấp hành với tỷ số chiều rộng (r)

Nói chung, cả mô hình lý thuyết và mô hình mô phỏng đều cho kết quả tốt nhất khi $r = 0,1$. Nếu như ở cấu trúc thông thường trước đây ($r = 1$), để vi chấp hành dịch chuyển $40 \mu\text{m}$, thì mỗi thanh chấp hành cần có một điện áp tác dụng là trên 3,75 V. Khi đó, nhiệt độ cao nhất trên thanh có thể lên tới gần 200°C và nhiệt độ trung bình trên thanh khoảng 150°C . Cũng với dịch chuyển $40 \mu\text{m}$, đối với cấu trúc mới khi $r = 0,1$ thì mỗi thanh chấp hành chỉ cần một điện áp tác dụng là 2 V, nhiệt độ hoạt động tối đa còn khoảng 100°C và nhiệt độ hoạt động trung bình khoảng 85°C . Điều đó có nghĩa, công suất và nhiệt độ đều giảm đi xấp xỉ một nửa. Nhận xét trên được rút ra khi so sánh phân bố nhiệt độ giữa hai thiết kế cấu trúc thường và cấu trúc tối ưu trên hình 15.



Hình 15: phân bố nhiệt độ trên đường trung bình dọc thanh chấp hành của các vi chấp hành tương ứng với các tỷ số $r = 1$ và $r = 0,1$ khi đều cho kết quả dịch chuyển là $40 \mu\text{m}$

Cải tiến mới về cấu trúc cơ học của vi chấp hành là chiều rộng thay đổi tuyến tính dọc theo chiều dài của thanh chấp hành. Các kết quả phân tích cơ học mô hình lý thuyết và mô phỏng mô hình thiết kế đã được đưa ra. Nói chung, khi tỷ số chiều rộng $r < 1$ thì chuyển vị tại đầu gấp là cao hơn so với cấu trúc thường khi $r = 1$. Giá trị của r xấp xỉ bằng 0,1 được đề xuất lựa chọn là tối ưu. Như vậy, cấu trúc tối ưu không chỉ tăng chuyển vị tại đầu gấp, mà còn giảm điện áp tác dụng và giảm kích thước vi chấp hành.

Kết luận

Bài báo đề cập đến vi chấp hành nhiệt điện silicon-polymer và các phương pháp khảo sát dựa trên lý thuyết cơ học cổ điển, công cụ mô hình hóa phần tử hữu hạn COMSOL Multiphysics. Phân tích các kết quả so với một số chế tạo thực nghiệm cho thấy các phương pháp sử dụng là thích hợp. Do đó, các phương pháp này tiếp tục được sử dụng xem xét cải tiến mới về cấu trúc cơ học.

Trong cấu trúc mới này, chiều rộng thanh dần dần thay đổi tuyến tính theo chiều dài thanh. Ở đây, tỷ số chiều rộng r được quan tâm, là tỷ số chiều rộng tại đầu tự do và đầu cố định thanh dần. Các kết quả có được là rất tích cực. Tóm lại, khi giảm dần chiều rộng thanh xếp chồng các ngăn silicon-polymer về phía đầu gấp (tức là $r < 1$) sẽ cho hiệu quả cao hơn về độ chuyển vị và cấu trúc khi $r = 0,1$ được chỉ ra là tốt nhất. Điện áp tác dụng và nhiệt độ hoạt động đều giảm xấp xỉ 50% khi sử dụng cấu trúc tối ưu, được so sánh với cấu trúc thường $r = 1$ khi cho cùng một chuyển vị là 40 μm . Cấu trúc tối ưu không chỉ tăng dịch chuyển của vi kẹp, mà còn giảm điện áp tác dụng, đồng nghĩa với giảm năng lượng tiêu thụ và giảm kích thước chế tạo, đồng nghĩa với tiêu tốn vật liệu cũng giảm.

Vi chấp hành nhiệt điện silicon-polymer tiếp tục được hứa hẹn là một đề tài nghiên cứu hấp dẫn. Các thông số của vi chấp hành cần tiếp tục được tối ưu, nhằm tăng lực dịch chuyển, giảm nhiệt độ hoạt động và nâng cao độ chính xác, tính ổn định của nó. Một số định hướng nghiên cứu như cải tiến cấu trúc cơ học, phân bố truyền nhiệt, cách ly nhiệt với môi trường, tích hợp điều khiển phản hồi... cần được nghiên cứu đầy đủ trong hệ thống vi chấp hành và đáp ứng được yêu cầu cao nhất như trong ứng dụng thao tác với tế bào sống.

Tài liệu tham khảo

- [1] T James, M.S Mannoorm, D.V Ivanov (2008), "BioMEMS-Advancing the Frontiers of Medicine", *Sensors. J*, **8**, pp.6077-6107.
- [2] J Cecil, D Vasquez, D Powell (2005), "A review of gripping and manipulation techniques for micro-assembly applications", *Int. J. Prod. Res*, **43**, pp.819-828.
- [3] F Beyeler, A Neild, S Oberti, D.J Bell, Y Sun, J Dual, B.J Nelson (2007), "Monolithically fabricated microactuator with integrated force sensor for manipulating microobjects and biological cells aligned in an ultrasonic field", *J. Microelectromech. Syst*, **16**, pp.7-15.
- [4] Rob Legtenberg, A.W Groeneveld, M Elwenspoek (1996), "Comb-drive actuators for large displacements", *J. Micromech. Microeng*, **6**, pp.320-329.
- [5] Y Sun, D Piyabongkarn, A Sezen, B.J Nelson, R Rajamani (2002), "A high-aspect-ratio two-axis electrostatic microactuator with extended travel range", *Sensors and Actuators A: Phys*, **102**, pp.49-60.
- [6] Chihchung Chen, Chengkuo Lee (2004), "Design and modeling for comb drive actuator with enlarged static displacement", *Sensors and Actuators A: Phys.*, **115**, pp.530-539.
- [7] R Salim, H Wurmus, A Harnisch, D Hulsenberg (1997), "Microactuators created in microstructure glass", *Microsystem Technologies*, **4**, pp.32-34.
- [8] R.B Evans, J.S Griesbach, W.C Messner (1999), "Piezoelectric microactuator for dual stage control", *J. IEEE Transactions on Magnetics*, **35**, pp.977-982.
- [9] D.J Sadler, T.M Liakopoulos, C.H Ahn (2000), "A universal electromagnetic microactuator using magnetic interconnection concepts", *Microelectromech. Syst.*, **9**, pp.460-468.
- [10] D.H Kim, M.G Lee, B Kim, Y Sun (2005), "A superelastic alloy microgripper with embedded electromagnetic actuators and piezoelectric force sensors: A numerical and experimental study", *Smart Mater. Struct.*, **14**, pp.1265-1272.
- [11] D Yan, A Khajepour, R Mansour (2004), "Modeling of two-hot-arm horizontal thermal actuator", *J. Micromech. Microeng.*, **13**, pp.312-322.
- [12] N Chronis, L.P Lee (2005), "Electrothermally activated SU-8 microactuator for single cell manipulation in solution", *J. Microelectromech. Syst.*, **14**, pp.857-863.
- [13] C.J Kim, A.P Pisano, R.S Muller (1992), "Silicon-processed overhanging microgripper", *J. Microelectromech. Syst.*, **1**, pp.31-36.
- [14] J.W.L Zhou, H.Y Chan, T.K.H To, K.W.C Lai, W.J Li (2004), "Polymer MEMS actuators for underwater micromanipulation", *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, **9**, pp.334-342.
- [15] T Chu Duc, G.K Lau, J.F Creemer, P.M Sarro (2008), "Electrothermal microactuator with large jaws displacement and integrated force sensors", *J. Microelectromech. Syst.*, **17**, pp.1546-1555.
- [16] T Chu Duc, G.K Lau, P.M Sarro (2007), "Polymer constraint effect for electrothermal bimorph microactuators", *Appl. Phys. Lett.*, **91**, pp.101902-101903.
- [17] A.N Gent, E.A Meinecke (1970), "Compression, bending and shear of bonded rubber blocks", *Polym. Eng. Sci*, **10**, pp.48-53.
- [18] G.K Lau, J.F.L Goosen, F van Keulen, T Chu Duc, P.M Sarro (2007), "Powerful polymeric thermal microactuator with embedded silicon microstructure", *Appl. Phys. Lett.*, **90**, pp.214103-214113.
- [19] P Phan Huu, V Nguyen Ngoc, N Nguyen Minh, H Vu Ngoc, T Chu Duc (2012), "Simulation and optimization of a silicon-polymer bimorph microgripper", *Vietnam J. Mech.*, **34**, pp.247-259.
- [20] F Krecinic, T Chu Duc, G.K Lau, P.M Sarro (2007), "Simulation and measurement of a comb-structure silicon-polymer thermally actuated microgripper", *18th MicroMechanics Europe Workshop*, pp.215-218.

ở Việt Nam. Tuy nhiên, trong những năm gần đây, tại khu vực này đã xảy ra hiện tượng xói lở bờ - bãi biển hết sức phức tạp, nhất là đoạn bờ biển từ phía cửa Hới kéo dài tới bãi C (xã Quảng Cư) đã xảy ra hiện tượng xói bãi và sạt lở bờ khá nghiêm trọng. Đã có một số nghiên cứu về thủy động lực và vận chuyển bùn cát phục vụ giải thích nguyên nhân xói lở khu vực này (Lê Mạnh Hùng và nnk, 2013) [1], tuy vậy kết quả nghiên cứu mới tính toán với một số kịch bản nhất định (bão Damrey, sóng hướng đông nam - ĐN, sóng hướng đông bắc - ĐB). Ngoài ra, do phạm vi tính toán của mô hình nhỏ, thời gian tính toán ngắn nên kết quả nghiên cứu chưa phản ánh hoàn toàn sát với thực tế. Bài báo này sử dụng mô hình MIKE21/3 Coupled để tính toán với miền tính lớn và thời gian tính toán dài nên kết quả tính toán khả quan hơn, khắc phục được những nhược điểm của nghiên cứu trước với việc tính toán mô phỏng liên tục một năm đại diện để phân tích chi tiết sự biến động theo mùa của chế độ thủy lực khu vực cửa sông ven biển Thanh Hóa. Ngoài ra, còn xét đến sự tương tác giữa yếu tố dòng chảy từ các cửa sông với các yếu tố thủy triều, sóng biển... Kết quả của nghiên cứu đã xác định được các đặc trưng chi tiết về sóng, dòng chảy theo mùa cho các khu vực cụ thể, từ khu vực nước sâu đến khu vực cửa sông và ven bờ, trên cơ sở đó đưa ra được những nhận định về sự biến đổi của các yếu tố động lực có tính quy luật theo mùa cho khu vực nghiên cứu, làm cơ sở đưa ra các giải pháp bảo vệ bờ, phòng chống sạt lở... phục vụ phát triển bền vững kinh tế - xã hội.

Tài liệu và công cụ tính toán

Tài liệu

Tài liệu phục vụ quá trình nghiên cứu gồm địa hình, thủy hải văn tại khu vực:

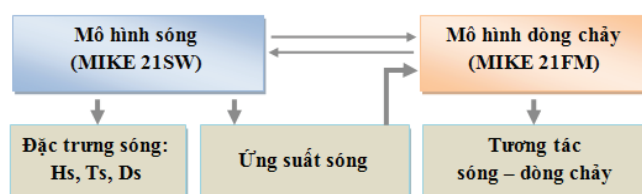
- Địa hình khu vực tính toán được xây dựng dựa trên các hải đồ tỷ lệ 1/100.000 và 1/200.000, các số liệu ven bờ được thu thập từ các bình đồ đo đạc tỷ lệ 1/5.000 các năm 2009 và 2011 do Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam thực hiện [2, 3], các số liệu địa hình này được đưa về cùng hệ tọa độ VN 2000 và cao độ chuẩn quốc gia...

- Sử dụng số liệu khí tượng thủy văn của một số trạm quan trắc khu vực cửa sông Mã: trong cửa sông Mã có trạm Quảng Châu quan trắc mực nước, thượng nguồn trạm Quảng Châu 20 km có trạm Giàng quan trắc mực nước. Số liệu của các trạm này có thể phân tích biến động theo mùa của dòng chảy trong sông.

Tuy nhiên, vùng cửa sông không có các trạm quan trắc hải văn nên các đặc trưng thủy động lực vùng cửa sông ven biển được tính toán thông qua mô hình toán.

Công cụ tính toán

Nghiên cứu sử dụng mô hình số MIKE21/3 Coupled Model FM của DHI để mô phỏng thủy động lực vùng cửa sông ven biển Thanh Hóa. Module liên hợp MIKE 21/3 Coupled là hệ thống liên kết động có thể liên kết các module tính toán dòng chảy (MIKE 21FM) và sóng (MIKE 21SW). Việc liên kết động các module cho phép tính toán sự tác động qua lại lẫn nhau giữa các quá trình như tương tác sóng và dòng chảy (hình 2).



Hình 2: sơ đồ kết nối module sóng và dòng chảy trong mô hình MIKE 21/3 Coupled

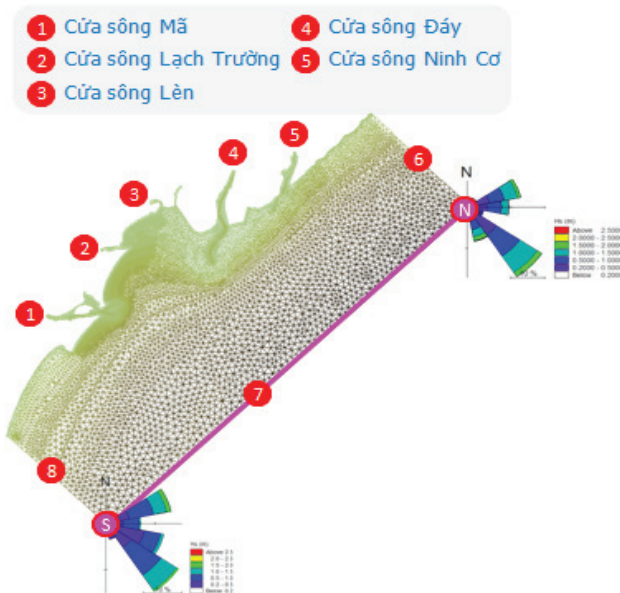
Thiết lập mô hình MIKE21/3 Coupled Model FM cho khu vực cửa sông ven biển lưu vực sông Mã

Phạm vi thiết lập mô hình: nghiên cứu được tập trung vào khu vực cửa sông ven biển Thanh Hóa có giới hạn phía bắc từ vị trí cửa Lạch Sung, phía nam đến bờ biển khu vực Quảng Thái - huyện Quảng Xương. Tuy nhiên, khu vực nghiên cứu có nhiều cửa sông gần nhau, có sự tương tác về dòng chảy giữa các cửa sông nên phạm vi mô hình đã được mở rộng về phía bắc lên đến cửa Hà Lạn (sông Sò), phía nam mở rộng đến khu vực cửa Lạch Ghép (sông Yên) đủ không gian để đảm bảo tính ổn định mô hình cho khu vực nghiên cứu.

Thiết lập địa hình, lưới tính và điều kiện biên: phạm vi thiết lập lưới địa hình miền tính của mô hình được giới hạn: chiều dọc bờ tính từ vị trí biên phía bắc tại khu vực cửa sông Sò đến biên phía nam gần tới khu vực cửa sông Yên có chiều dài khoảng 100 km; chiều rộng miền lưới tính từ bờ ra phía biển khoảng 50 km tới độ sâu 30 m. Lưới tính mô hình sử dụng số liệu bản đồ địa hình khu vực nghiên cứu tỷ lệ 1/5.000 đến 1/25.000, có số liệu đo bổ sung địa hình khu vực các cửa sông từ năm 2009 đến 2011. Mô hình sử dụng lưới tam giác linh hoạt (lưới phi cấu trúc) có độ phân giải thay đổi tăng dần từ ngoài biển sâu vào sát bờ và các cửa sông. Lưới tính toán của mô hình có tổng số nút lưới là 22.764 và số phần tử là 42.883, lưới tính được

chia nhỏ tại khu vực các cửa sông và ven biển với chiều dài cạnh ô lưới khoảng 30 m.

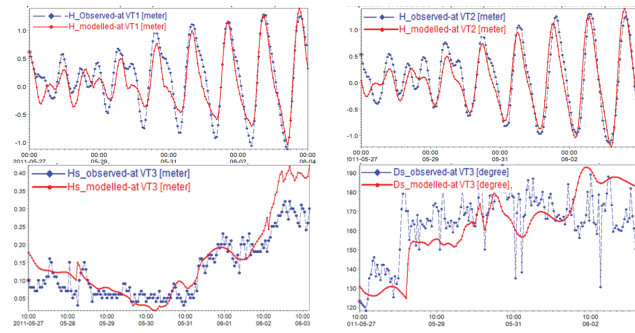
Điều kiện biên mô hình: các biên cửa sông thuộc hệ thống sông Mã sử dụng số liệu biên lưu lượng tại các cửa Hới, Lạch Trường, Lạch Sung được trích xuất từ kết quả của mô hình MIKE11 tính thủy lực một chiều cho hệ thống sông Mã đã được hiệu chỉnh và kiểm định (Nguyễn Thanh Hùng và nnk, 2015) [4], các biên cửa sông Đáy, Ninh Cơ lấy theo số liệu mực nước thực đo tại trạm Như Tân và Phú Lễ. Các biên phía nam, phía bắc và biên ngoài khơi sử dụng số liệu mực nước dự tính từ mô hình triều toàn cầu với bước lưới $0,125^0 \times 0,125^0$ và số liệu biên sóng và gió ngoài khơi sử dụng sóng toàn cầu tái phân tích của NOAA với bước lưới $0,5^0 \times 0,5^0$.



Hình 3: phạm vi, địa hình lưới tính mô hình khu vực nghiên cứu

Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình: mô hình được hiệu chỉnh với bộ số liệu đo mực nước, sóng ven bờ tại khu vực cửa sông Mã trong khoảng thời gian từ 27.5.2011 đến 2.6.2011 (Lê Mạnh Hùng và nnk, 2013) [1] và được kiểm định trong khoảng thời gian từ 12.10.2014 đến 17.10.2014 (Nguyễn Thanh Hùng và nnk, 2015) [4].

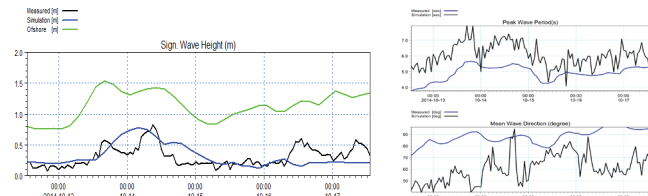
- Hiệu chỉnh mô hình: với các số liệu đầu vào cho mô hình, tiến hành điều chỉnh các thông số của mô hình sao cho kết quả thu được phù hợp với số liệu thực đo nhất. Kết quả hiệu chỉnh về mực nước và sóng được thể hiện ở hình 4.



Hình 4: kết quả hiệu chỉnh mực nước, sóng tính toán với thực đo tại các vị trí

Với bộ số liệu thực đo từ 27.5.2011 đến 2.6.2011 tại khu vực cửa sông Mã, mô hình đã phản ánh gần đúng sự biến thiên mực nước, sóng: mực nước phù hợp về pha và trị số tại các trạm kiểm tra với sự sai khác về trị số lớn nhất là 20 cm ở giai đoạn triều kém và nhỏ hơn 5 cm ở giai đoạn triều cao; sóng tại các trạm kiểm tra cũng có sự phù hợp về pha và trị số, sai số lớn nhất về chiều cao sóng khoảng 10 cm.

- Kiểm định mô hình: trong khoảng thời gian từ 12.10.2014 đến 17.10.2014, kết quả được thể hiện ở hình 5.



Hình 5: kết quả kiểm định các đặc trưng sóng tính toán với thực đo

Nhìn chung các sai số của mô hình về mực nước và mô hình sóng nằm trong phạm vi cho phép. Mô hình đã được hiệu chỉnh đảm bảo độ tin cậy, có thể sử dụng để tính toán mô phỏng theo các kịch bản nghiên cứu.

Kết quả và thảo luận

Một số đặc trưng thủy hải văn khu vực nghiên cứu qua tài liệu đo đạc

Đặc trưng dòng chảy vùng cửa sông Mã: phân tích chuỗi số liệu mực nước tại hai trạm Giàng và Quảng Châu có thể nhận thấy ảnh hưởng của lũ sông đến khu vực cửa sông Mã:

- Các trận lũ lớn (năm 1973, 1980, 2007) làm dâng mực nước vùng cửa sông Mã đáng kể: tại trạm Giàng Hmax các trận lũ đạt trên 7,2 m so với mực nước trung bình mùa lũ là 0,93 m, tại trạm Hoàng Tân đạt trên 2,5 m so với mực nước trung bình mùa lũ là 0,26 m.

- Do ảnh hưởng của thủy triều, mực nước trung bình mùa lũ và mùa kiệt tại hai trạm cửa sông không khác nhau nhiều: mực nước trung bình mùa lũ so với mùa kiệt tại trạm Hoàng Tân lần lượt là 0,09 m và 0,26 m (chênh 0,15 m), tại trạm Giàng là 0,15 m và 0,93 m (chênh 0,78 m); mực nước nhỏ nhất tại Hoàng Tân đạt -1,81 m, trong khi trạm Giàng cách biển 25 km mực nước nhỏ nhất cũng đạt -1,45 m (bảng 1).

Bảng 1: đặc trưng mực nước nhiều năm tại trạm Giàng và Hoàng Tân

Trạm thủy văn Đặc trưng H	Hoàng Tân	Giàng	Thời gian
$H_{\max}$ (m)	2,59	7,26	8.1973
	2,86	7,51	9.1980
	2,66	7,28	10.2007
H_{TB} mùa lũ (m)	0,26	0,93	1970-2014
H_{TB} mùa kiệt (m)	0,09	0,15	1970-2014
$H_{\min}$ (m)	-1,81	-1,45	1970-2014

Phân tích thủy triều khu vực nghiên cứu: vùng cửa sông ven biển Thanh Hóa có chế độ nhật triều. Phân tích số liệu mực nước tại trạm Hoàng Tân thời kỳ mùa kiệt trong 5 năm (2010-2014) cho thấy, trị số của các hằng số điều hòa thủy triều tại trạm khá ổn định, điều này chứng tỏ ảnh hưởng rõ rệt của thủy triều trong mùa kiệt đối với khu vực cửa sông (bảng 2).

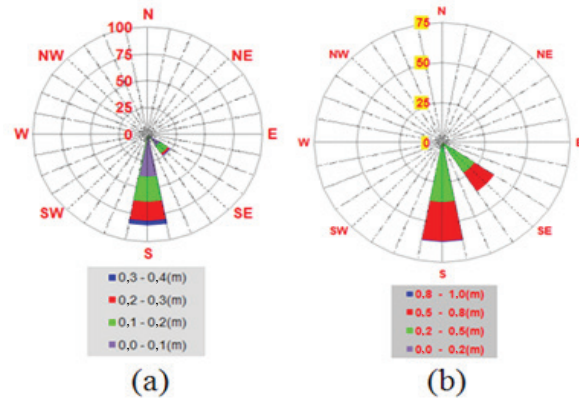
Bảng 2: các hằng số điều hòa thủy triều tại trạm Hoàng Tân của sông Mã

Tên	Độ lớn (m)					Pha (độ)				
	2010	2011	2012	2013	2014	2010	2011	2012	2013	2014
Z0	0,07	0,08	0,12	0,15	0,13					
Toàn nhật	O1	0,64	0,65	0,64	0,68	40	36	39	35	37
	K1	0,48	0,50	0,50	0,51	110	106	110	107	108
	Q1	0,14	0,14	0,12	0,13	11	8	8	2	1
Bán nhật	M2	0,23	0,23	0,25	0,25	23	18	20	16	14
	S2	0,11	0,11	0,11	0,12	104	96	102	97	100
	N2	0,04	0,04	0,03	0,04	342	7	331	333	341

Đặc điểm gió: phân tích số liệu gió tại trạm đo Sầm Sơn cho thấy, hướng gió thịnh hành phân hoá theo mùa: mùa hè (tháng 5-10) chủ yếu là gió nam, ĐN, tốc độ trung bình 4 m/s; mùa đông (tháng 11 năm trước - tháng 4 năm sau) chủ yếu là gió đông, ĐB, tốc độ trung bình 3,75 m/s. Tốc độ gió lớn nhất xuất hiện khi có bão, khoảng 40 m/s (bão Darmey ngày 27.9.2005 có tốc độ 50 m/s), các đợt gió mùa mạnh có thể đạt 15-20 m/s.

Phân tích sóng khu vực nghiên cứu: khu vực ven biển Thanh Hóa không có trạm quan trắc sóng nên

nghiên cứu đã sử dụng số liệu đo sóng trong hai đợt khảo sát ngắn ngày từ 27.5-2.6.2011 (Lê Mạnh Hùng và nnk, 2013) [1] và từ 5.5-10.5.2014 (Nguyễn Thanh Hùng và nnk, 2015) [4] để phân tích. Qua kết quả phân tích có thể rút ra một số kết luận như sau: chiều cao sóng quan trắc trong khoảng 0,1-0,5 m, chu kỳ sóng lớn nhất 12 s, chu kỳ sóng trung bình 5,6 s; sóng có chu kỳ khá lớn trong khi chiều cao sóng nhỏ, chứng tỏ có sự xuất hiện của sóng lừng, khu vực cửa sông Mã khá thoáng không bị che chắn nên thuận lợi cho sóng ngoài khơi truyền vào, hướng sóng chủ yếu là hướng nam và hướng ĐN (xem hình 6).



Hình 6: hoa sóng khu vực cửa sông Mã

(a) Khảo sát 27.5 - 2.6.2011

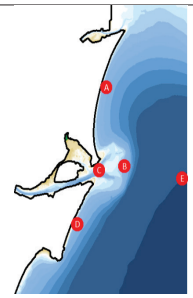
(b) Khảo sát 5.5 - 10.5.2014

Phân tích sự biến đổi theo mùa của chế độ thủy động lực khu vực nghiên cứu

Để có thể đánh giá được sự biến đổi chế độ động lực, nghiên cứu đã phân tích kết quả tính toán tại một số điểm đại diện cho từng khu vực cửa sông ven biển Thanh Hóa (điểm A - phía bắc cửa sông Mã, điểm D - phía nam cửa sông Mã, điểm B - trước cửa sông Mã, điểm C - trong cửa sông Mã, điểm E - ngoài nước sâu). Vị trí cụ thể của các điểm ở bảng 3.

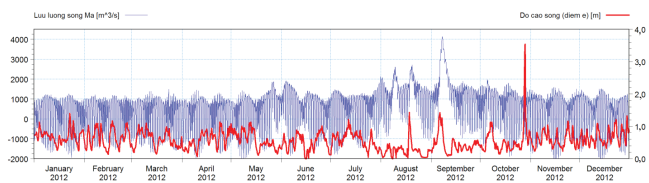
Bảng 3: vị trí các điểm trích kết quả tính toán

Điểm	Tọa độ X	Tọa độ Y	Vị trí	Cao độ đáy (m)
A	599380	2197013	Bờ biển Hoàng Hóa	-3
B	600318	2188631	Trước bãi bồi cửa Hới	-3
C	598223	2188230	Sau bãi bồi cửa Hới	-3
D	596446	2185495	Bờ biển Sầm Sơn	-3
E	608000	2188000	Vùng nước sâu	-15



Vị trí các điểm trích sóng, đồng chảy

Phân tích lựa chọn thời gian tính toán: như đã phân tích ở trên, các nghiên cứu trước đây thường chỉ tập trung tính toán đánh giá chế độ thủy động lực trong khoảng thời gian ngắn theo các kịch bản điển hình (một trận bão, một trận lũ, hướng sóng cố định). Cách tiếp cận này chỉ phản ánh đúng được các đặc trưng thủy động lực trong những trạng thái cực đoan nhất định mà không phản ánh được sự biến đổi liên tục của chế độ thủy động lực theo không gian và thời gian. Nghiên cứu này đã phân tích lựa chọn mô phỏng một năm liên tục sóng, dòng chảy cho năm điển hình 2012 để đánh giá sự biến động chế độ thủy lực theo mùa [năm 2012 là năm điển hình vì lũ trong sông lớn tương đối lớn, đỉnh lũ sông Mã tại Cẩm Thủy $Q_{max} = 4.740 \text{ m}^3/\text{s}$ ứng với tần suất khoảng 10%, lũ nhánh sông Chu tương đối lớn được hồ Cửa Đạt cắt lũ; vùng biển bị ảnh hưởng trực tiếp của cơn bão Sơn Tinh (27-29.10.2012) có cường độ mạnh gây sóng lớn, chiều cao sóng vùng cửa sông Mã xấp xỉ 4 m] (hình 7).

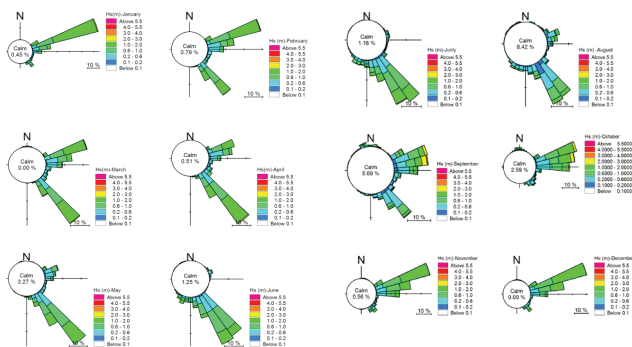


Hình 7: lưu lượng, độ cao sóng tại khu vực cửa sông Mã năm 2012

Đặc trưng sóng, dòng chảy trong mùa hè:

+ Đặc trưng sóng:

Mùa hè, sóng ngoài khơi vùng biển Thanh Hóa có hướng ĐN với chiều cao (significant wave height - H_s) tới 1,5 m, tiếp đó là các hướng đông đông nam (ĐĐN) và nam đông nam (NĐN) với chiều cao sóng nhỏ hơn, chiều cao sóng có nghĩa đạt 1-1,2 m (điểm E - hình 8).



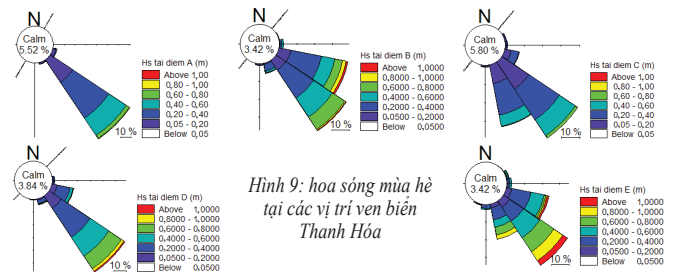
Hình 8: hoa sóng ngoài khơi khu vực ven biển cửa sông Thanh Hóa (từ tháng 1 đến tháng 12)

Khu vực ven bờ phía bắc cửa sông Mã (điểm A - hình 9) sóng có hướng chủ đạo là ĐN (chiếm tới 89% - bảng 4) với chiều cao sóng H_s có thể đạt 1,0 m; các

hướng sóng còn lại là ĐĐN và NĐN chỉ chiếm tỷ lệ rất nhỏ và chiều cao sóng H_s đạt dưới 0,5 m. Khu vực ven bờ phía nam cửa sông Mã (điểm D - hình 9) có hướng sóng chính là ĐN (chiếm 60% - bảng 4) với chiều cao sóng H_s có thể đạt 1,2 m; sóng hướng ĐĐN có chiều cao sóng H_s nhỏ hơn 0,5 m và chiếm tỷ lệ nhỏ, khoảng 18%.

Sóng khu vực cửa sông (điểm B - hình 9) có chiều cao H_s khá lớn, có thể đạt 1,2 m, sóng hướng chính ĐN chiếm tỷ lệ 46% trong khi sóng hướng ĐĐN cũng chiếm tỷ lệ khá lớn, khoảng 37%.

Cửa sông Mã hiện có bãi cát ngầm chắn cửa nên làm suy giảm sóng khá lớn, sóng từ biển vào bị vỡ phía trước bãi, dẫn đến chiều cao sóng H_s khu vực cửa sông phía sau cồn nổi (điểm C - hình 9) chỉ khoảng 0,5 m, gặp điều kiện triều lên sóng có thể đạt 0,8 m. Sóng hướng ĐN và NĐN chiếm ưu thế với tỷ lệ khoảng 83%.



Hình 9: hoa sóng mùa hè tại các vị trí ven biển Thanh Hóa

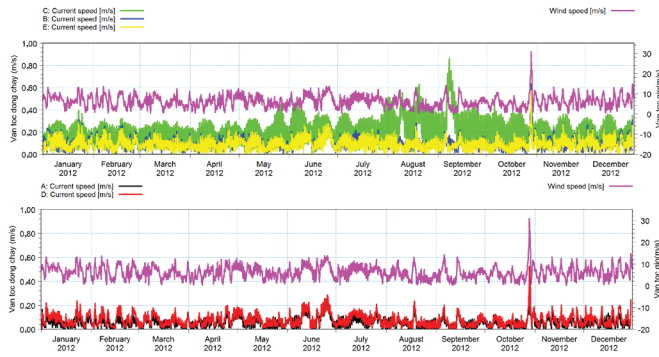
Thông kê chi tiết về tỷ lệ phần trăm, chiều cao sóng ứng với các hướng chính như bảng 4.

Bảng 4: phân bố chiều cao sóng theo các hướng trong mùa hè

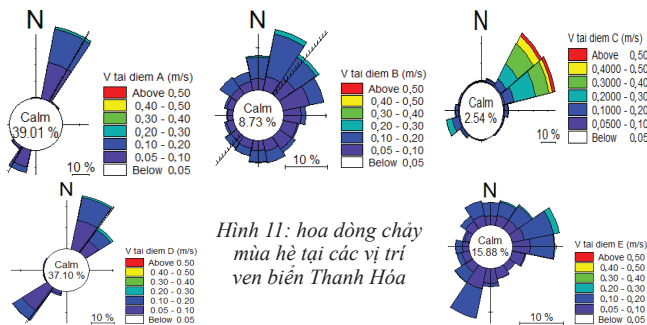
Vị trí	H_s (m)	Hướng (độ)	Tỷ lệ %	H_s (m)	Hướng (độ)	Tỷ lệ %	H_s (m)	Hướng (độ)	Tỷ lệ %
Điểm A	0,2-1,0	ĐN	89	0,2-0,4	ĐĐN	4	0,2-0,4	NĐN	2
Điểm B	0,2-1,2	ĐN	46	0,2-1,2	ĐĐN	37	0,2-0,5	NĐN	7
Điểm C	0,2-0,8	ĐN	50	0,2-0,4	ĐĐN	10	0,2-0,6	NĐN	33
Điểm D	0,2-1,2	ĐN	60	0,2-0,5	ĐĐN	18	0,2-0,6	NĐN	6
Điểm E	0,2-1,5	ĐN	48	0,2-1,2	ĐĐN	25	0,2-1,0	NĐN	21

+ Đặc trưng dòng chảy (hình 10 và 11): tại khu vực ven biển Thanh Hóa dòng chảy ven bờ không lớn. Tại điểm E (vùng nước sâu) dòng chảy từ sông ra không đủ lớn để tới điểm này, do đó dòng chảy ở đây chủ yếu là dòng triều nên dòng chảy nhỏ (vận tốc dưới 0,3 m/s), có hướng chính là ĐB-TN, trong đó hướng ĐB chiếm ưu thế. Trong mùa hè, do tác động của sóng có hướng chính là ĐN nên dòng chảy ven bờ phía bắc và phía nam cửa sông Mã có hướng chính là hướng từ phía nam lên phía bắc dọc theo hướng đường bờ. Dòng chảy ven bờ có trị số không lớn, chỉ đạt dưới 0,5

m/s. Tại khu vực cửa sông, do có sự tương tác giữa dòng chảy sông và sóng nên hướng dòng chảy không ổn định, trị số dòng chảy cũng chỉ khoảng 0,5 m/s. Khu vực phía trong cồn cát chắn cửa sông, dòng chảy từ sông ra nên có hướng chủ yếu là ĐB. Dòng chảy khu vực này có trị số khá lớn, có thể đạt 0,5-1,0 m/s, khi có lũ từ sông ra dòng chảy có thể đạt lớn hơn nữa.



Hình 10: vận tốc dòng chảy tại các điểm trong năm 2012



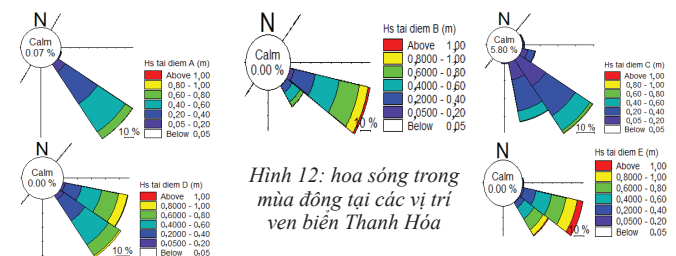
Hình 11: hoa dòng chảy mùa hè tại các vị trí ven biển Thanh Hóa

Đặc trưng sóng, dòng chảy trong mùa đông:

+ Đặc trưng sóng: vào mùa đông, sóng ngoài vùng nước sâu khu vực biển Thanh Hóa có hướng gió thịnh hành là hướng ĐN và ĐĐN với chiều cao sóng Hs có thể đạt 1,4 m, sóng hai hướng này chiếm tỷ lệ lớn (trên 90%). Khu vực ven bờ phía bắc cửa sông Mã có hướng sóng chủ đạo là ĐN, chiếm tỷ lệ đến 95% với chiều cao sóng Hs đạt dưới 1,0 m; hướng sóng ĐĐN chỉ chiếm tỷ lệ rất nhỏ, khoảng 3% và chiều cao sóng Hs chỉ đạt dưới 0,5 m. Khu vực ven bờ phía nam cửa sông Mã sóng có hướng chính là ĐN và ĐĐN, chiếm tỷ lệ trên 90% với chiều cao sóng Hs có thể đạt 1,2 m. Khu vực trước cửa sông Mã có hai hướng sóng chính là ĐN và NĐN với tỷ lệ lần lượt là 70% và 22%, chiều cao sóng Hs có thể đạt 1,2 m với hướng ĐN và 0,6 m với hướng NĐN. Chiều cao sóng Hs khu vực trong cửa sông phía sau cồn nổi chỉ đạt dưới 0,8 m, sóng hướng ĐN và NĐN chiếm ưu thế với tỷ lệ khoảng 86%. Chi tiết về tỷ lệ phần trăm, chiều cao sóng ứng với các hướng chính như bảng 5 và hình 12.

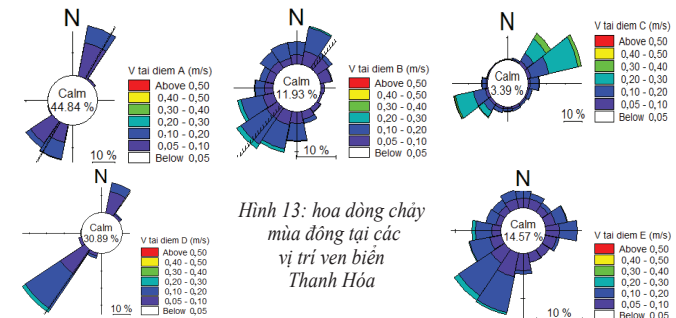
Bảng 5: phân bố chiều cao sóng theo các hướng chính trong mùa đông

Vị trí	Hs (m)	Hướng (độ)	Tỷ lệ %	Hs (m)	Hướng (độ)	Tỷ lệ %	Hs (m)	Hướng (độ)	Tỷ lệ %
Điểm A	0,2-0,9	ĐN	95	0,2-0,4	ĐĐN	3			
Điểm B	0,2-1,2	ĐN	70				0,2-0,6	NĐN	22
Điểm C	0,2-0,8	ĐN	51	0,2-0,6	ĐĐN	10	0,2-0,6	NĐN	35
Điểm D	0,2-1,0	ĐN	52	0,2-1,2	ĐĐN	47			
Điểm E	0,2-1,4	ĐN	34	0,2-1,4	ĐĐN	63			



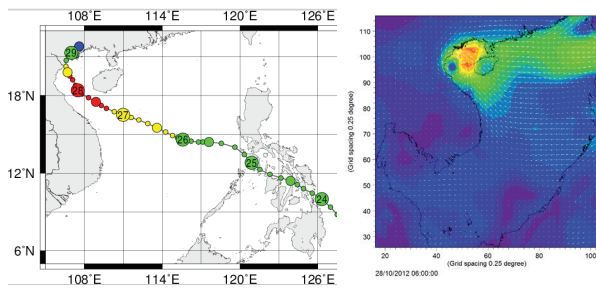
Hình 12: hoa sóng trong mùa đông tại các vị trí ven biển Thanh Hóa

+ Đặc trưng dòng chảy: dòng chảy khu vực cửa sông ven biển Thanh Hóa trong mùa đông có xu thế giảm nhỏ so với dòng chảy trong mùa hè. Dòng chảy khu vực biển sâu có hướng chiếm ưu thế là TN, trị số dòng chảy nhỏ, chỉ đạt dưới 0,4 m/s. Khu vực ven bờ phía bắc và phía nam cửa sông Mã dòng chảy có hướng chính là ĐB-TN theo hướng đường bờ, dòng chảy hướng TN chiếm ưu thế, trị số dòng chảy nhỏ (chỉ đạt dưới 0,4 m/s). Khu vực cửa sông Mã, do mùa đông trùng với mùa khô nên lượng nước từ sông ra nhỏ (điểm C) (xem hình 13).



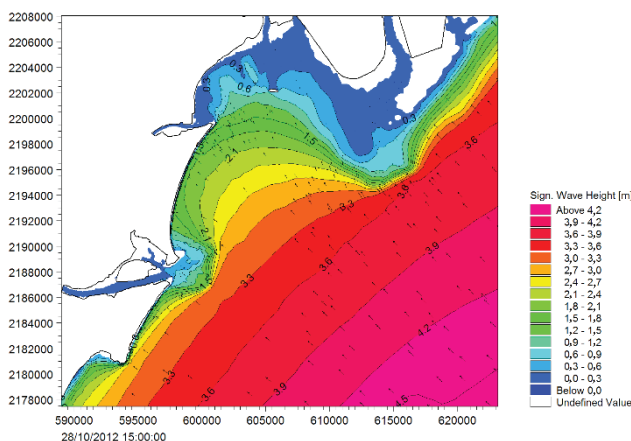
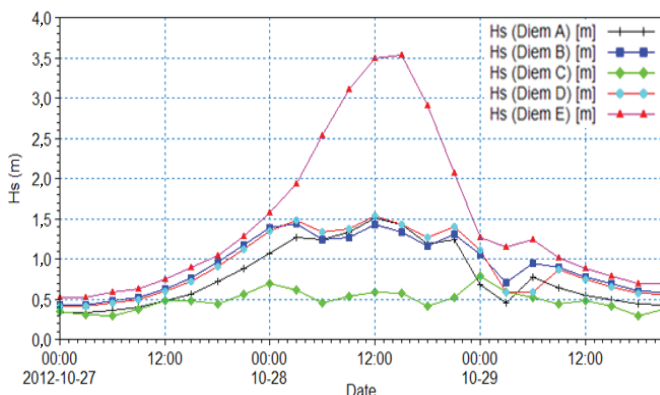
Hình 13: hoa dòng chảy mùa đông tại các vị trí ven biển Thanh Hóa

Đặc trưng sóng trong bão: vào mùa mưa bão, khu vực biển Thanh Hóa thường xuyên chịu ảnh hưởng của các cơn bão đổ bộ vào các tỉnh ven biển vịnh Bắc Bộ, các cơn bão mạnh thường xảy ra vào khoảng thời gian cuối mùa mưa bão. Cơn bão Sơn Tinh (27-29.10.2012) có cường độ mạnh (đạt 205 km/h khi tiến vào vịnh Bắc Bộ), tuy không đổ bộ trực tiếp vào địa phận tỉnh Thanh Hóa nhưng do đường đi của cơn bão phức tạp, chạy dọc theo ven biển các tỉnh miền Trung rồi đổ bộ vào các tỉnh từ Thái Bình đến Hải Phòng nên đã gây ra sóng lớn cho vùng biển Thanh Hóa.



Hình 14: đường đi và trường gió của cơn bão Sơn Tinh (bão số 8 năm 2012)
Nguồn: Tổ chức khí tượng Nhật Bản và ECMWF

Kết quả tính toán cho thấy, chiều cao sóng H_s trong bão khu vực ngoài vùng nước sâu (điểm E) có thể đạt 3,5 m. Sóng trong bão khi vào vùng ven bờ bị suy giảm rất nhanh, vùng ven bờ chiều cao sóng H_s trong bão cũng chỉ đạt 1,5 m, ven bờ phía nam cửa sông Mã sóng có chiều cao lớn hơn ven bờ phía bắc cửa sông Mã. Khu vực trong cửa sông Mã do có cồn nổi chắn cửa nên sóng lớn trong bão bị suy giảm khá nhanh, không truyền được vào sâu trong cửa sông, chiều cao sóng H_s trong cửa sông chỉ đạt 0,5 m.



Hình 15: chiều cao sóng và trường sóng trong bão Sơn Tinh
thời điểm bão tiến gần bờ

Kết luận

Các kết quả tính toán phân tích trong nghiên cứu

này cho thấy, chế độ thủy động lực khu vực cửa sông ven biển Thanh Hóa khá phức tạp do tương tác giữa dòng chảy sông với biển, khu vực có chế độ thủy động lực biến đổi theo mùa rõ rệt. Xét về chế độ thủy động lực thì khu vực cửa sông ven biển Thanh Hóa có thể chia làm 4 khu vực chính có các đặc điểm về sóng và dòng chảy khác nhau:

- Khu vực nước sâu (cao độ đáy dưới -10 m): trong mùa hè, sóng có hướng từ ĐĐN đến NĐN, trong đó hướng chính là ĐN, chiều cao sóng H_s từ 0,2-1,2 m. Trong mùa đông, sóng có hướng từ ĐĐN đến ĐN, trong đó hướng chính là ĐĐN, chiều cao sóng H_s từ 0,2-1,4 m. Sóng trong bão có chiều cao sóng lớn, H_s đạt 3,5-4,0 m, tuy nhiên khu vực ven bờ có địa hình đáy nông nên chiều cao sóng giảm mạnh khi tiến vào bờ. Khu vực này dòng triều nhỏ, chỉ đạt dưới 0,5 m/s.

- Khu vực trước cửa sông Mã: do có dòng chảy từ sông ra và có bãi cát ngầm chắn cửa nên sóng khu vực này không cao, chiều cao sóng H_s chỉ đạt 0,5-0,8 m, sóng trong bão và triều cường có thể đạt dưới 1,5 m. Dòng chảy từ sông ra trong mùa đông (mùa kiệt) có trị số đạt khoảng dưới 0,5 m/s, trong mùa hè (mùa lũ) có thể đạt khoảng 1 m/s.

- Khu vực ven bờ phía bắc cửa sông Mã (từ cửa sông Mã đến cửa Lạch Trường): sóng có hướng chính là ĐN, chiều cao sóng mùa hè lớn hơn mùa đông nhưng cũng chỉ đạt dưới 1 m, chiều cao sóng trong bão đạt dưới 1,5 m. Dòng chảy ven bờ mùa hè có hướng dọc bờ lên phía bắc với trị số đạt dưới 0,5 m/s, trong mùa đông dòng chảy có hướng cân bằng, với trị số nhỏ hơn 0,4 m/s.

- Khu vực ven bờ phía nam cửa sông Mã (từ cửa sông Mã đến cửa sông Yên, có bãi biển Sầm Sơn): sóng khu vực này có chiều cao lớn hơn ven bờ phía bắc, trong bão chiều cao sóng H_s có thể đạt trên 1,5 m. Trong mùa hè sóng có hướng chính là ĐN, mùa đông sóng hướng chính là ĐĐN và ĐN, chiều cao sóng có thể đạt 1,2 m. Dòng chảy dọc bờ mùa hè có hướng bắc thiên lớn, mùa đông hướng nam thiên lớn hơn, trị số dòng chảy đạt dưới 0,5 m/s.

Lời cảm ơn

Các tác giả xin được cảm ơn PGS.TS Nguyễn Thọ Sáo - người đã có những ý kiến đóng góp quý báu trong quá trình chỉnh sửa, hoàn thiện bài báo. Bài báo cũng là kết quả của đề tài “Nghiên cứu đánh giá tác động của các hồ chứa thượng nguồn đến biến động lòng dẫn hạ du, cửa sông ven biển hệ thống sông Mã

và đề xuất giải pháp hạn chế tác động bất lợi nhằm phát triển bền vững” thuộc Chương trình nghiên cứu khoa học cấp nhà nước KC08/11-15, được tài trợ bởi Văn phòng Các chương trình trọng điểm cấp nhà nước (Bộ Khoa học và Công nghệ).

Tài liệu tham khảo

[1] Lê Mạnh Hùng, Hồ Việt Cường (2013), “Nghiên cứu tác động của chế độ thủy động lực vùng ven bờ, ảnh hưởng đến diễn biến xói lở bờ biển Sầm Sơn - Thanh Hóa”, *Tạp chí KH&CN Thủy lợi*, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.

[2] Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam (2009), *Dự án điều tra cơ bản “Điều tra hiện trạng cửa sông Mã tỉnh Thanh Hóa và kiến nghị các giải pháp bảo vệ khai thác hoàn thiện”*.

[3] Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam (2011), *Dự án “Khảo sát, nghiên cứu đánh giá nguyên nhân, đề xuất giải pháp và lập dự án đầu tư công trình chống sạt lở, bảo vệ bờ biển thị xã Sầm Sơn”*.

[4] Nguyễn Thanh Hùng và nnk (2015), “Nghiên cứu đánh giá tác động của các hồ chứa thượng nguồn đến biến động lòng dẫn hạ du, cửa sông ven biển hệ thống sông Mã và đề xuất giải pháp hạn chế tác động bất lợi nhằm phát triển bền vững”, *đề tài KC08.32/11-15*, Phòng Thí nghiệm trọng điểm quốc gia về động lực học sông biển.

Nghiên cứu sự hình thành và tuổi nước dưới đất Đồng bằng Nam Bộ bằng kỹ thuật đồng vị

Đoàn Văn Cánh^{1*}, Đặng Đức Nhận¹, Phạm Hoàng Anh²,
Nguyễn Thị Thanh Thủy², Nguyễn Kiên Chính³, Châu Trần Vĩnh⁴

¹Hội Địa chất Thủy văn Việt Nam

²Trường Đại học Mỏ - Địa chất

³Trung tâm Kỹ thuật Hạt nhân, Viện Năng lượng Nguyên tử Việt Nam

⁴Cục Quản lý Tài nguyên nước, Bộ Tài nguyên và Môi trường

Ngày nhận bài 17.6.2015, ngày chuyển phản biện 19.6.2015, ngày nhận bản biên 17.7.2015, ngày chấp nhận đăng 24.7.2015

Sự hình thành nước nhạt dưới đất vùng Đồng bằng Nam Bộ đã được nghiên cứu bằng kỹ thuật đồng vị với việc xác định tỷ số các đồng vị $\delta^2\text{H}$ và ^{18}O của 84 mẫu nước lấy từ 5 tầng chứa nước qp_{2-3} , qp_1 , n_2^2 , n_2^1 và n_1^3 theo ba mặt cắt AA: Tp Hồ Chí Minh - Cà Mau, BB: Tây Ninh - Tp Hồ Chí Minh và CC: dọc theo sông Tiền (từ Đồng Tháp về Trà Vinh). Đồng thời, công trình nghiên cứu cũng đã sử dụng 24 mẫu nước mưa lấy ở Tp Hồ Chí Minh và 24 mẫu nước sông Tiền và sông Hậu trong những năm 2012-2014. Mẫu hóa nước dưới đất của 5 tầng chứa nước cũng được thu thập từ mạng quan trắc động thái nước dưới đất quốc gia. Tuổi nước dưới đất được xác định theo hoạt độ carbon-14 và tỷ số đồng vị $\delta^{13}\text{C}$. Kết quả nghiên cứu cho thấy, các thấu kính nước nhạt được hình thành từ nước khí tượng cổ có tuổi từ 300 năm đến 40.000 năm. Phương pháp thống kê Mann-Whitney sử dụng giá trị trung bình $\delta^{18}\text{O}$ và sai số chuẩn đối với hai nhóm nước dưới đất là nước ở miền Tây Nam Bộ và nước sông Tiền, sông Hậu cho thấy, tầng chứa nước qp_{2-3} không có quan hệ thủy lực với nước sông và như vậy, các tầng chứa nước phân bố sâu hơn cũng không có quan hệ với nước sông (có nghĩa là nước dưới đất ở đây không nhận được bổ cập từ nước sông, mà hoàn toàn được hình thành từ nước thấm cổ). Đây là một phần kết quả nghiên cứu của đề tài cấp nhà nước mã số KC08.06/11-15: “Nghiên cứu đề xuất các tiêu chí và phân vùng khai thác bền vững, bảo vệ tài nguyên nước dưới đất vùng Đồng bằng Bắc Bộ và Đồng bằng Nam Bộ”.

Từ khóa: carbon-14, Đồng bằng Nam Bộ, tan lửa, thấm xuyên, xâm nhập mặn.

Chỉ số phân loại 1.5

Đặt vấn đề

Nước trên trái đất vận động trong vòng khép kín được gọi là vòng tuần hoàn nước trong thiên nhiên. Vòng tuần hoàn nước có thể được bắt đầu từ nước biển bốc hơi lên cao đến khoảng nhiệt độ đủ thấp thì phần lớn hơi nước ngưng tụ gây mưa trở lại biển, phần khác vận động vào sâu lục địa và trên đường đi tạo mưa rơi xuống mặt đất. Nước mưa xuống mặt đất, một phần sẽ chảy tràn trên bề mặt ra sông, hồ rồi lại đổ ra biển kèm theo bốc hơi ngược lại khí quyển, một phần nước mưa sẽ ngấm xuống đất và được giữ lại trong đất ở đới thông khí để thấm thực vật tiêu thụ rồi thải ra không khí trong quá trình phát tán hơi qua lá, một phần không nhỏ ngấm xuống các tầng chứa nước dưới sâu. Như vậy, về cơ bản, nước dưới đất có nguồn gốc từ nước mưa, hay còn gọi là nước khí tượng. Thực tế cho thấy, nước dưới đất

còn có một số nguồn khác, ví dụ nước tách ra từ mạng tinh thể khoáng vật, hoặc chôn vùi trong quá khứ (nước cổ), hoặc nước biển mới xâm nhập do các tác động của tự nhiên cũng như của con người.

Nguồn gốc nước trong các tầng chứa nước có thể phân biệt được dựa trên cơ sở thành phần đồng vị nặng là deuteri (^2H) và oxy 18 (^{18}O) của phân tử nước. Nguyên lý của phương pháp này dựa vào sự khác biệt về thành phần đồng vị giữa các loại nước do có hiệu ứng phân tách đồng vị (đồng vị nặng ^2H và ^{18}O so với đồng vị nhẹ ^1H và ^{16}O) trong phân tử nước trong quá trình chuyển pha: từ lỏng sang hơi (quá trình bốc hơi) và từ hơi sang lỏng (quá trình mưa) [1]. Mức độ phân tách đồng vị của nước khí tượng phụ thuộc vào nhiệt độ khí quyển cũng như khoảng cách từ nguồn phát sinh hơi nước, tức là từ biển vào lục địa nơi có mưa. Hiệu

*Tác giả liên hệ: Tel: 0903422671; Email: doanvancanh@gmail.com

THE FORMATION AND AGE OF GROUNDWATER OF THE NAM BO PLAIN AS STUDIED BY ISOTOPE TECHNIQUE

Summary

The formation of groundwater from five aquifers (qp_{2-3} , qp_1 , n_2^2 , n_2^1 and n_1^3) in the Nam Bo Plain was investigated by using isotope technique with the determination of water isotopic composition, namely δ^2H and $\delta^{18}O$. For this purpose, 84 groundwater samples from the five aquifers (qp_{2-3} , qp_1 , n_2^2 , n_2^1 and n_1^3) were taken by three transects AA: HoChiMinh city-CaMau, BB: Tay Ninh-HoChiMinh city and CC: Dong Thap-Tra Vinh. Additionally, 24 samples of precipitation in Ho Chi Minh city and 24 water samples from the Tien and Hau rivers were also taken during 2012-2014 for the study of their isotopic composition. The age of water from the aquifers was determined by the carbon-14 dating technique with $\delta^{13}C$ correction based on the Gonfiantini's model. Results of the isotopic composition of the samples showed that the groundwater in the region was originated from the local meteoric water as its isotopic composition was very close to that of the local meteorological water line. However, the age of the study water was determined predominantly to be old and ranged from 300 up to more than 40,000 years which suggests that the groundwater in the Nam Bo Plain is paleo-water. The Mann-Whitney statistical treatment with the mean $\delta^{18}O$ value and its standard deviation for the two groups of groundwater in the western Nam Bo plain and water from both Tien and Hau rivers revealed that the river's water did not have hydraulic interaction with water in the qp_{2-3} aquifer. The same phenomena was found for most aquifers in the region, which means that the groundwater in the region has no or very weak recharge from surface. Since the groundwater resource in the Nam Bo Plain, especially in the western region is limited, it requires the local managers to pay particular attention to the groundwater exploitation in order to have enough clean water for the public as well as to maintain the water abstraction be sustainable. This is part of the state-level scientific research project coded KC08.06/11-15.

Keywords: carbon-14 dating, dissolution, groundwater leakage, Nam Bo Plain, salt intrusion.

Classification number 1.5

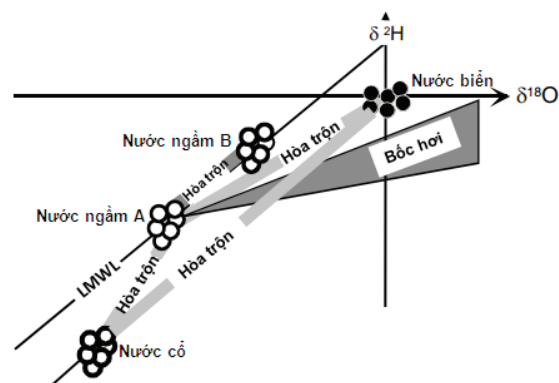
ứng phân tách đồng vị trong quá trình bốc hơi và ngưng tụ xảy ra song song giữa 2H và ^{18}O và được đặc trưng bởi đường nước khí tượng toàn cầu (GMWL: Global Meteorological Water Line). Craig là người đầu tiên phát hiện ra hiện tượng này [2]. Thành phần đồng vị được thể hiện qua ký hiệu delta (δ) và đường GMWL có dạng:

$$\delta^2H = 8.\delta^{18}O + 10$$

Trong đó, δ^2H và $\delta^{18}O$ tương ứng là thành phần đồng vị deuteri và oxy-18 trong mẫu nước mưa.

Giá trị hệ số góc của đường quan hệ $\delta^2H \div \delta^{18}O$ và mức dư deuteri của đường nước khí tượng địa phương (LMWL) có ý nghĩa quan trọng. Hệ số góc có thể nhỏ hơn 8, tức là thành phần đồng vị oxy-18 trong mẫu nước nghiên cứu giàu hơn thành phần đồng vị deuteri nếu tính theo nhiệt độ trung bình năm ở phạm vi toàn cầu. Điều này là do nhiệt độ bốc hơi cũng như ngưng tụ hơi nước ở vùng nghiên cứu cao hơn mức trung bình. Đường nước khí tượng ở các khu vực có nhiệt độ khí quyển trung bình năm cao, chẳng hạn ở vùng Vịnh có hệ số góc nhỏ hơn 8 (trong khoảng từ 5 đến 7). Đường nước khí tượng ở Bangkok có hệ số góc là 7,55.

Nghiên cứu chi tiết thành phần đồng vị của phân tử nước trong các mẫu nước khác nhau, các nhà địa chất thủy văn đồng vị nhận thấy mối tương quan giữa δ^2H và $\delta^{18}O$ của các loại nước được thể hiện trên hình 1 [1-3].



Hình 1: giản đồ mô tả các quá trình hình thành các loại nước khác nhau trên cơ sở mối tương quan giữa 2H và ^{18}O [4]

Theo mối tương quan $\delta^2H \div \delta^{18}O$ (hình 1) thì trong chu trình nước có 4 nhóm nước cơ bản: a) Nước khí tượng địa phương đặc trưng bởi đường LMWL/MWL; b) Nước cổ đặc trưng bởi nhóm

điểm và đường bên dưới đường LMWL; c) Nước biển có thành phần đồng vị tập trung xung quanh gốc tọa độ (theo định nghĩa); d) Nước mặt (sông, hồ...) đặc trưng bởi một dải đường bốc hơi vì góc nghiêng phụ thuộc vào nhiệt độ không khí khu vực. Nhiệt độ không khí càng cao, góc nghiêng càng nhỏ. Từ 4 nhóm nước cơ bản sẽ hình thành nhiều loại nước dưới đất.

- Nước dưới đất loại A và B thuộc 2 tầng, ví dụ Holocene và Pleistocene, cách ly hoàn toàn với nhau và có nguồn gốc từ nước khí tượng địa phương. Giữa chúng có thể có loại nước tạo ra do hòa trộn giữa nước của 2 tầng thông qua các cửa sổ thủy văn. Trong thực tế, có thể có nhiều nhóm nước hòa trộn từ nhiều tầng khác nhau.

- Nước dưới đất nhóm A, cũng có thể cả nhóm B, xâm nhập vào tầng nước cổ tạo ra nước hòa trộn giữa nước khí tượng và nước cổ.

- Nước biển xâm nhập vào tầng nước dưới đất loại A hoặc B tạo ra nước lợ có tuổi tương đối trẻ.

- Nước biển xâm nhập vào tầng nước cổ tạo ra nước lợ có tuổi tương đối già.

- Ngoài ra, nguồn bổ cấp cho nước dưới đất loại A hoặc B có thể là từ nhóm nước bốc hơi, đó là nước từ sông, hồ...

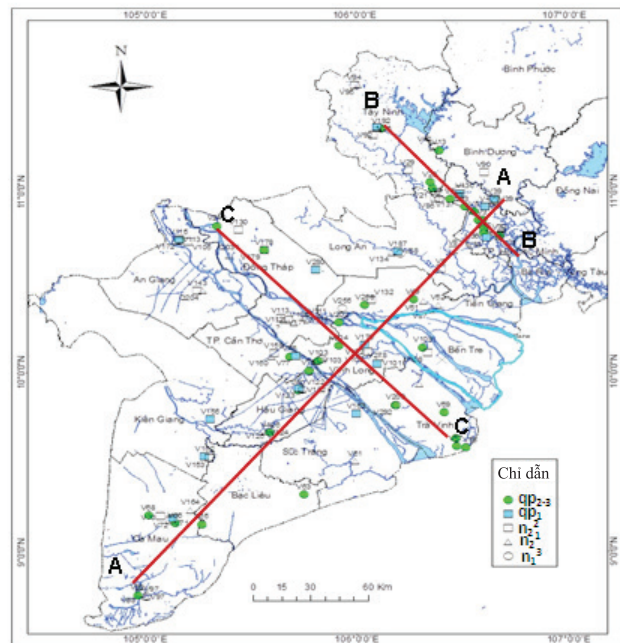
Giản đồ ở hình 1 là cơ sở để thảo luận về nguồn gốc và sự hình thành các tầng chứa nước dưới đất bằng phương pháp đồng vị.

Kết quả nghiên cứu và thảo luận

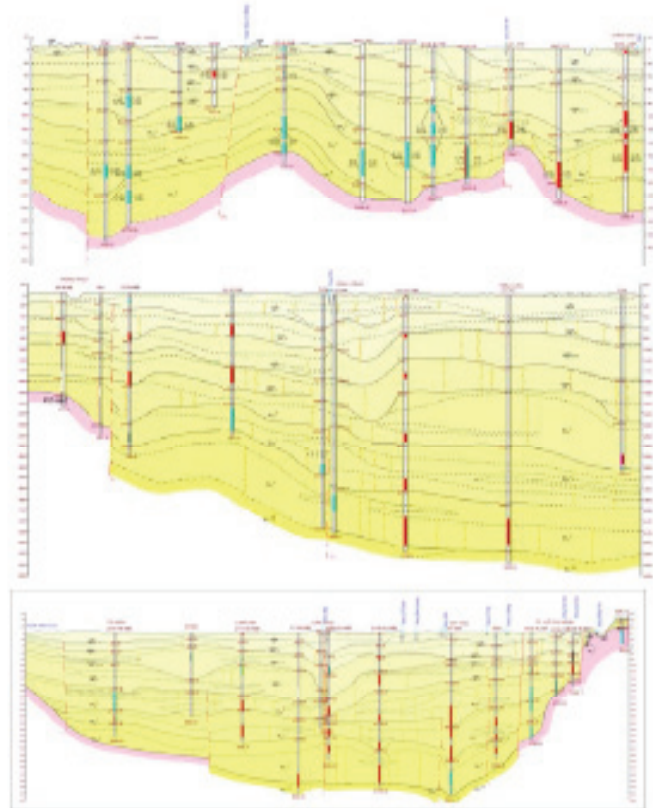
Tuyến lấy mẫu

Mẫu nước dưới đất ở Đồng bằng Nam Bộ được lấy từ 5 tầng chứa nước hiện đang được khai thác sử dụng (xem mặt cắt địa chất thủy văn trên hình 3 [5]): Pleistocen giữa trên (qp_{2-3}), Pleistocen dưới (qp_1), Pliocen trên (n_2^2), Pliocen dưới (n_2^1), Miocen (n_1^3) và được lấy theo 3 tuyến. Tuyến AA theo hướng từ Đông Nam Bộ xuống Tây Nam Bộ (từ Bình Dương đến Cà Mau). Tuyến BB xuyên qua miền Đông Nam Bộ, từ Tây Ninh đến Tp Hồ Chí Minh. Tuyến CC dọc theo sông Tiền (từ Đồng Tháp đến Trà Vinh). 84 mẫu nước từ 84 giếng khoan quan trắc động thái nước dưới đất quốc gia vùng Đồng bằng Nam Bộ đã được lấy để xác định thành phần đồng vị deuteri (δ^2H) và oxy-18 ($\delta^{18}O$) và xác định tuổi bằng phương pháp cacbon-14 có hiệu chỉnh dựa trên mô hình do Gofiantini đề xướng, sử dụng giá trị thành phần đồng vị cacbon-13 ($\delta^{13}C$). 60 mẫu trong số 84 vị trí lấy mẫu được phân

tích thành phần hóa học. Hình 2 trình bày vị trí lấy mẫu theo tuyến. Hình 3 trình bày mặt cắt địa chất thủy văn tương ứng đối với tuyến AA, BB và CC.



Hình 2: sơ đồ vị trí tuyến lấy mẫu nước vùng Đồng bằng Nam Bộ

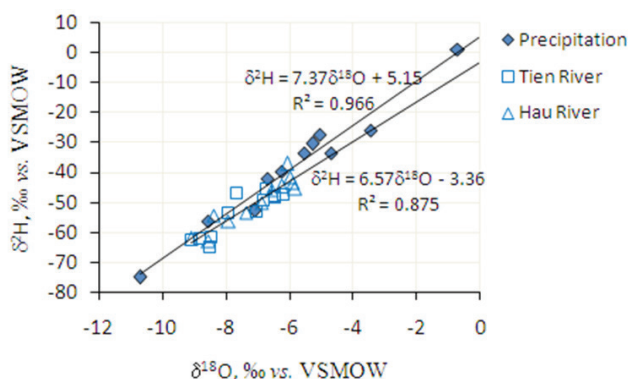


Hình 3: mặt cắt địa chất thủy văn tuyến lấy mẫu: mặt cắt thứ nhất trùng với tuyến BB; mặt cắt thứ hai trùng với tuyến CC và mặt cắt dưới cùng trùng với tuyến lấy mẫu AA (nguồn: Liên đoàn Quy hoạch và Điều tra Tài nguyên nước miền Nam)

Xác lập đường nước khí tượng địa phương và đường nước sông Tiền, sông Hậu

Lần đầu tiên, từ các mẫu nước mưa thu góp theo tháng tại Tp Hồ Chí Minh trong các năm 2012-2014, chúng tôi đã thiết lập được đường nước khí tượng (nước mưa) địa phương đại diện cho vùng Đồng bằng Nam Bộ (hình 4). Đây là mối tương quan giữa thành phần đồng vị deuteri ($\delta^2\text{H}$) và oxy-18 ($\delta^{18}\text{O}$) trong các mẫu nước mưa.

Trên hình 4 cũng trình bày mối tương quan tương tự của nước sông Tiền và sông Hậu làm cơ sở để đánh giá mối quan hệ thủy lực giữa nước sông và nước dưới đất vùng nghiên cứu. Đường nước khí tượng vùng Đồng bằng Nam Bộ đặc trưng bởi đường thẳng có hệ số góc là 7,37 và điểm cắt trục tung là 5,15. Nước sông Tiền và sông Hậu không có sự khác biệt mấy ($\alpha = 0,05$) về thành phần đồng vị bền và đặc trưng bởi đường bốc hơi với hệ số góc nghiêng là 6,57 và điểm cắt trục tung là -3,36 (hình 4).



Hình 4: đường nước khí tượng địa phương vùng Đồng bằng Nam Bộ và đường nước sông Tiền, sông Hậu

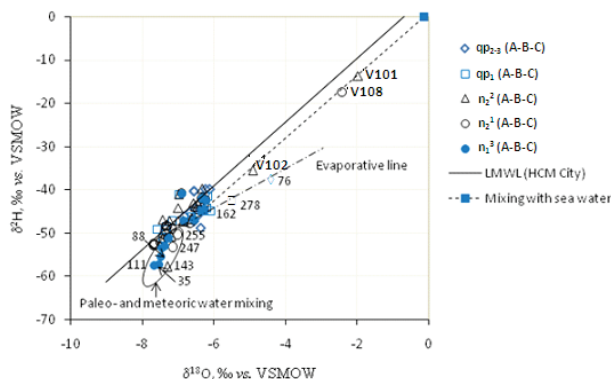
Nước sông Tiền, sông Hậu có nồng độ hoạt độ triti trong các năm 2012-2014 là $(1,54 \pm 0,26)$ TU, trùng với giá trị nồng độ triti trong nước mưa ở các vùng có cùng vĩ độ. Nước sông vùng Bangkok (Thái Lan) vào năm 1990 có hoạt độ ^3H thay đổi từ 6,5 đến 7,5 TU. Như vậy, hiện nay sau 2 chu kỳ bán phân rã hoạt độ ^3H trong nước sông cũng chỉ còn trong khoảng từ 1,6 đến 1,8 TU [6]. Số liệu này cho thấy, hiện tại ở các khu vực phía Nam bán cầu, triti nhân tạo đã phân rã hết chỉ còn có triti tự nhiên tạo ra từ phản ứng $^{14}\text{N}(n,^3\text{H})^{12}\text{C}$ trong vũ trụ [7].

Thành phần đồng vị deuteri và oxy-18 trong các mẫu nước dưới đất

Hình 5 thể hiện tổng hợp thành phần đồng vị bền của phân tử nước trong 84 mẫu nước lấy từ 5 tầng chứa nước qp_{2-3} , qp_1 , n_2^2 , n_2^1 và n_1^3 của Đồng bằng Nam Bộ trong mối tương quan với nước khí tượng địa phương

nước nghiên cứu cùng với đường nước khí tượng địa phương và nước sông Tiền, sông Hậu. Đường gạch liền là đường nước khí tượng địa phương ($\delta^2\text{H} = 7,37 \delta^{18}\text{O} + 5,15$), đường gạch ngắt quãng là đường nước hòa trộn giữa nước dưới đất và nước biển (điểm hình là ba điểm V102, V101, V108), đường gạch - chấm là đường bốc hơi đi qua 3 điểm 162, 278 và 76 nhưng không trùng với đường nước của sông Tiền, sông Hậu ($\delta^2\text{H} = 6,57\delta^{18}\text{O} - 3,36$). Xử lý thống kê theo giá trị $\delta^{18}\text{O}$ trung bình trong nước hai sông và $\delta^{18}\text{O}$ trung bình của các mẫu nước trong tầng qp_{2-3} vùng Đồng bằng Nam Bộ theo phương pháp Mann-Whitney với $\alpha = 0,05$, cho giá trị $|z| = 2,81 > z_{\text{critical}} = 1,96$. Kết quả này cho thấy, thành

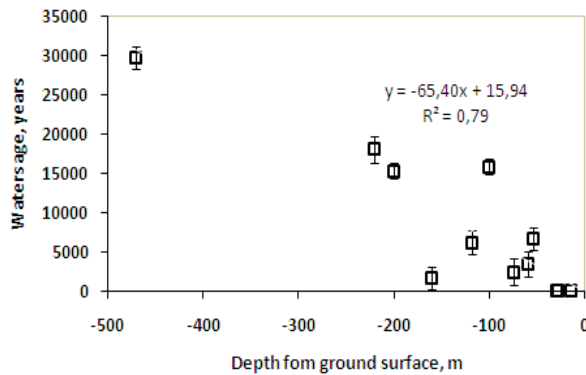
phần đồng vị ^{18}O trong nước dưới đất tầng qp_{2-3} vùng Tây Nam Bộ là khác thành phần đồng vị ^{18}O trong nước sông, có nghĩa là nước sông không có quan hệ thủy lực với nước tầng qp_{2-3} . Điều này cũng có nghĩa là, nước các tầng sâu hơn tầng qp_{2-3} cũng không có quan hệ thủy lực với nước sông. Một số mẫu đặc trưng cho loại nước hòa trộn giữa nước cổ chôn vùi và nước khí tượng được nhóm thành một nhóm, đại diện là các điểm 35, 88, 111, 143, 247, 255.



Hình 5: thành phần đồng vị deuteri và oxy-18 trong 84 mẫu nước dưới đất lấy từ 5 tầng chứa nước qp_{2-3} , qp_1 , n_2^2 , n_2^1 và n_1^3 của Đồng bằng Nam Bộ trong mối tương quan với nước khí tượng địa phương

Tuổi của các tầng nước nghiên cứu và phân bố tuổi nước theo chiều sâu

Theo kết quả phân tích mẫu nước, đại bộ phận các mẫu nước dưới đất trên địa bàn nghiên cứu có nồng độ triti thấp hơn ngưỡng phát hiện (0,4 TU) nên tuổi của các mẫu nước được xác định bằng phương pháp cacbon-14. Hình 6, 7 và 8 trình bày phân bố tuổi tuyệt đối của các mẫu nước theo chiều sâu giếng khoan quan trắc tương ứng đối với tuyến BB, AA và CC.

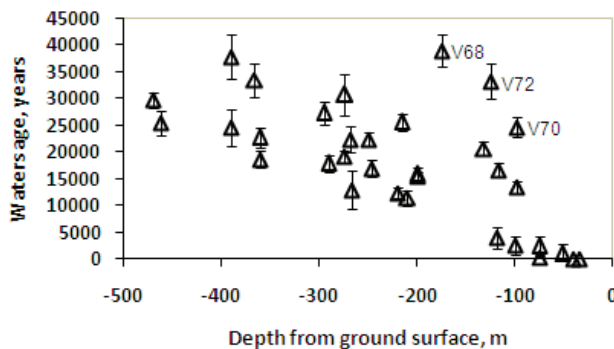


Hình 6: mối tương quan giữa tuổi tuyệt đối của nước dưới đất và độ sâu giếng khoan (độ sâu phân bố tầng chứa nước) của các mẫu nước nghiên cứu lấy theo tuyến BB (Đông Nam Bộ). Các vạch vẽ hai phía của các điểm là sai số tuyệt đối (tính bằng năm) của giá trị tuổi

Theo tuyến BB, càng xuống sâu tuổi của nước càng già. Mối tương quan giữa tuổi và độ sâu tầng nước được biểu diễn bằng đường hồi quy:

$$y = -65,40.x + 15,94$$

Trong đó: y là tuổi tuyệt đối tính bằng năm; x là độ sâu giếng khoan tính bằng mét. Mối tương quan khá chặt chẽ, có hệ số tương quan $R^2 = 0,79$.

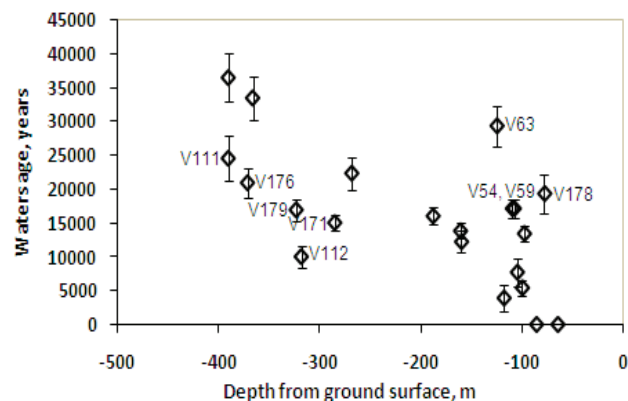


Hình 7: mối tương quan giữa tuổi tuyệt đối và độ sâu giếng khoan (tầng chứa nước) của các mẫu nước nghiên cứu lấy theo tuyến AA (từ Đông sang Tây Nam Bộ). Các vạch vẽ hai phía của các điểm là sai số tuyệt đối (tính bằng năm) của giá trị tuổi

Theo tuyến AA, sự phân tầng chứa nước không thấy rõ như ở tuyến BB, đặc biệt là ở vùng sau sông Tiền. Mối quan hệ tuổi - độ sâu giếng khoan theo tuyến AA không chặt chẽ, hệ số tương quan $R^2 = 0,42$ (hình 7). Nếu như loại trừ 3 mẫu lấy từ tầng qp_{2-3} (V68), qp_1 (V72) và n_2^2 (V70) có tuổi già hơn 20.000 năm ra khỏi tập thể mẫu thì mối tương quan tuổi - độ sâu của các mẫu nước tuyến AA sẽ khá chặt chẽ, $R^2 = 0,70$. 3 điểm lấy mẫu nêu trên thuộc địa phận tỉnh Cà Mau. Việc loại 3 mẫu V68, V72 và V70 ra khỏi tập hợp mẫu trong mối tương quan tuổi - độ sâu là có cơ sở, nếu có hiện tượng nước từ các tầng phía dưới, ví dụ Pliocene có tuổi cao thấm xuyên lên các tầng qp phân bố phía trên đang

được khai thác quá mức ở Cà Mau.

Theo tuyến CC, sự phân tầng giữa các tầng chứa nước cũng không tốt nên mối tương quan giữa tuổi và chiều sâu giếng khoan không chặt chẽ (hình 8), $R^2 = 0,4$. Cũng với cách tiếp cận như trường hợp tuyến AA, loại trừ 2 nhóm tầng chứa nước tuy nông (qp) nhưng tuổi cao như V54, V59, V63, V178 và nhóm khác, tuy sâu nhưng tuổi lại thấp hơn so với các giếng khoan quan trắc khác, nhưng cùng tầng như V111(n_1^3), V112(n_1^3), V171(n_2^1), V176(qp_1) và V179(n_2^2) thì mối tương quan tuổi - độ sâu là rất chặt chẽ, $R^2 = 0,93$ (đồ thị không thể hiện ở đây). Có thể các vị trí V111(n_1^3), V112(n_1^3), V171(n_2^1), V176(qp_1) và V179(n_2^2) đang bị nhiễm mặn bởi nước biển có tuổi hiện đại. Thực tế là nước trong các giếng khoan này có hàm lượng clo cao (>10 mmol/l, cao hơn tiêu chuẩn cho phép đối với nước ăn uống là 7 mmol/l và nước sinh hoạt là 8,5 mmol/l, tương ứng, theo QCVN 01 và 02/2009/BYT của Bộ Y tế). Hiện tượng nhiễm mặn nước trong các tầng sâu khu vực Đồng bằng Nam Bộ có thể cũng do khai thác quá mức nước tầng trên gây thấm xuyên ngược từ nê-m nước mặn lên, hoặc đứt gãy Bassac dọc theo sông Tiền và sông Hậu đóng vai trò như đường dẫn nước biển vào tầng nước ngọt khi nước ngọt bị khai thác quá mức.



Hình 8: mối tương quan giữa tuổi tuyệt đối và độ sâu giếng khoan (tầng chứa nước) của các mẫu nước nghiên cứu lấy theo tuyến CC (đọc theo tuyến giữa hai sông Tiền và sông Hậu). Các vạch vẽ hai phía của các điểm là sai số tuyệt đối (tính bằng năm) của giá trị tuổi

Từ kết quả trình bày ở trên cho thấy, đại bộ phận nước dưới đất trong các tầng chứa nước qp_{2-3} , qp_1 , n_2^2 , n_2^1 và n_1^3 đều có nguồn gốc là nước khí tượng vì thành phần đồng vị deuteri và oxy-18 của chúng đều nằm sát đường nước khí tượng địa phương. Một số mẫu nước lấy từ tầng n_1^3 có δ^2H và $\delta^{18}O$ nằm cách biệt khỏi đường nước khí tượng có thành phần 2H nghèo hơn so với nước khí tượng với cùng giá trị $\delta^{18}O$. Có thể coi

nhóm nước này là nước rất cổ, cần phải được kiểm tra lại tuổi của chúng bằng phương pháp khác phương pháp cacbon-14. Phương pháp cacbon-14 có sai số lớn nếu mẫu có tuổi già hơn 40.000 năm vì sai số đo hoạt độ thấp của cacbon-14 (<10 pMC) là khá cao, đến 20-25% với thời gian đo 24 giờ. Tuy là nước khí tượng nhưng tuổi của các mẫu nước nghiên cứu đều khá cao, trừ những mẫu lấy từ những vùng xuất lộ (miền Đông Nam Bộ hoặc Đồng Tháp). Như vậy, nước trong các tầng chứa nước nghiên cứu được hình thành từ nước khí tượng nhưng là nước khí tượng cổ, chôn vùi từ quá khứ cùng với những giai đoạn biển tiến - biển lùi diễn ra trong suốt kỷ Đệ Tứ.

Kết luận

Nước nhạt dưới đất ở Đồng bằng Nam Bộ, đặc biệt là ở miền Tây Nam Bộ phân bố dưới dạng thấu kính có nguồn gốc khí tượng cổ. Nguồn bổ cập tự nhiên từ nước mưa và nước mặt chỉ diễn ra ở miền Đông Nam Bộ; ở miền Tây Nam Bộ, các thấu kính nước nhạt bị đóng kín, hầu như không nhận được sự bổ cập tự nhiên. Bởi vậy, để có thể khai thác tài nguyên nước nhạt lâu dài và bền vững phục vụ kinh tế dân sinh cần phải đặc biệt quan tâm đến việc khai thác sử dụng hợp lý kết hợp các giải pháp bổ sung nhân tạo cho nước dưới đất, nhằm giảm thiểu cạn kiệt nguồn nước và hạn chế xâm nhập mặn. Một vấn đề vẫn còn chưa được

làm sáng tỏ là liệu nước dưới đất Tây Nam Bộ có nhận được bổ cập từ phía Campuchia hay không? Trong thời gian tới cần có sự hợp tác giữa hai Chính phủ cũng như giữa các nhà khoa học hai nước để tìm hiểu khả năng bổ cập xuyên biên giới của các tầng nước ở vùng Đồng bằng Nam Bộ.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn Bộ Khoa học và Công nghệ, Văn phòng Chương trình KC08/11-15 về sự hỗ trợ kinh phí cho nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

- [1] Clark I.D and Fritz P (1997), *Environmental Isotopes in Hydrogeology*, Lewis Publishers, New York, 328 pp.
- [2] Craig H (1961), "Isotopic variations in meteoric waters", *Science*, **133**, pp.1702-1708.
- [3] Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam (1998), *Nước dưới đất Đồng bằng Nam Bộ*, 163 trang.
- [4] Yurtsever Y, Payne B.R (1979), "Application of environmental isotopes to groundwater investigations in Qatar", *Isotope Hydrology*, **II**, pp.465-490.
- [5] IAEA (2001), *Sampling procedure for hydrology*, Water Resources Programme.
- [6] Buapeng S (1990), *The use of environmental isotopes on groundwater hydrology in the selected areas in Thailand*, Report No.IAEA-R-4803-F. IAEA, p.76.
- [7] Libby W.F (1946), "Atmospheric helium three (^3He) and radiocarbon from cosmic radiation", *Phys. Rev.*, **69**, pp.671-672.

Phân tích biến dị trong hệ gen của 99 cá thể người dân tộc Kinh

Nguyễn Cường*, Nguyễn Đức Long, Nguyễn Nhật Hưng
Trịnh Thị Xuân, Chu Hoàng Hà, Trương Nam Hải

Viện Công nghệ sinh học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Ngày nhận bài 27.7.2015, ngày chuyển phản biện 29.7.2015, ngày nhận phản biện 31.8.2015, ngày chấp nhận đăng 3.9.2015

Nghiên cứu này khai thác thông tin về các biến dị di truyền trong bộ gen của 99 người Kinh, được chiết xuất từ dữ liệu của dự án 1.000 hệ gen. Hai tập biến dị đã được lọc ra: tập các biến dị xuất hiện duy nhất trong hệ gen người Kinh (1.895.398 biến dị) (KHVonly) và tập biến dị xuất hiện với tần suất cao hơn 90% trong hệ gen người Kinh (1.556.750 biến dị) (KHV90). Trong đó, biến dị đa hình đơn nucleotide (SNP - Single Nucleotide Polymorphism) chiếm gần 99% tổng số biến dị; có sự tương đồng về phân bố của biến dị trên các nhiễm sắc thể (NST) trong 2 tập KHVonly và KHV90 với NST số 2 mang nhiều biến dị nhất lần lượt là 161.224 và 132.508 biến dị. Mật độ của các biến dị trên các NST không đồng đều, thể hiện ở độ biến động cao về mật độ biến dị tại các vị trí khác nhau trên NST (0-70 ngàn SNP/1 Mb) và có xu hướng tập trung cao ở 2 đầu mút của NST thường hoặc ở giữa NST giới tính. Phân tích vùng chức năng của hệ gen đã dự đoán rằng, chức năng gen nằm trong vùng exon sẽ bị tác động bởi các biến dị trong tập KHVonly nhiều hơn bởi các biến dị trong tập KHV90, lần lượt là 157.311 và 66.123 chức năng, nhưng không tìm thấy SNP gây bệnh trong 2 tập biến dị liên quan đến 27 bệnh di truyền, có thể là do tiêu chí chọn cá nhân có kiểu hình khỏe mạnh tham gia dự án 1.000 hệ gen. Các kết quả trong nghiên cứu này đã được tải lên cơ sở dữ liệu trực tuyến về biến dị di truyền của người Việt tại địa chỉ <https://vsnp.ibt.ac.vn>. Kết quả của nghiên cứu là nền tảng cho việc mô tả chi tiết toàn bộ hệ gen của người Kinh, là nguồn tài nguyên phong phú và có giá trị cho những nghiên cứu sắp tới về các biến dị di truyền, bệnh di truyền cũng như xác định danh tính ở cộng đồng người Việt.

Từ khóa: bệnh di truyền, dự án 1.000 hệ gen, giải trình tự gen thế hệ mới, hệ gen người Kinh, khoa học hình sự, tin sinh học.

Chỉ số phân loại 1.6

Đặt vấn đề

Các biến dị di truyền trong hệ gen người [bao gồm SNP, các đoạn chèn/xóa (DIP/Indel - Deletion/Insertion Polymorphism) cũng như những biến dị cấu trúc] có mối liên hệ mật thiết với các bệnh di truyền và sự đa dạng của loài người [1-3]. Các nghiên cứu chỉ ra rằng, có những biến dị hiếm gặp, gây ra những biểu hiện rõ rệt và chỉ ở những tính trạng nhất định như bệnh Huntington hay bệnh xơ nang (Cystic fibrosis), tuy nhiên có những căn bệnh gây ra bởi các biến dị di truyền mà cơ chế ảnh hưởng của chúng tới các chức năng của cơ thể rất phức tạp như bệnh đái đường, bệnh tim và các bệnh khác liên quan đến nhận thức [4, 5]. Các biến dị di truyền ảnh hưởng đến sự phát triển bệnh cũng như phản ứng của bệnh nhân đối với các loại thuốc và chất hóa học khác nhau [6, 7].

Nhằm tìm hiểu đầy đủ sự liên kết cũng như tác động

tổng hợp của các biến dị di truyền lên chức năng của hệ gen người, dự án 1.000 hệ gen đã được triển khai thực hiện. Dự án là sự hợp tác của các nhóm nghiên cứu đa ngành từ các viện nghiên cứu hàng đầu trên thế giới nhằm xây dựng một bản đồ hệ gen hoàn chỉnh của con người, áp dụng công nghệ giải trình tự gen thế hệ mới (NGS - Next Generation Sequencing) [8]. Với công nghệ NGS, việc giải trình tự các hệ gen có kích thước lớn như hệ gen người đã tiết kiệm được chi phí, thời gian và có độ chính xác cao hơn phương pháp giải trình tự thế hệ cũ [9, 10]. Được bắt đầu từ năm 2008, dự án đến nay đã hoàn thành giai đoạn 3, giải mã hơn 2.500 hệ gen người thuộc các cộng đồng, dân tộc khác nhau trên thế giới [8]. Trong tương lai, việc kết hợp đồng thời dữ liệu về các biến dị di truyền, các chú giải chức năng đầy đủ của hệ gen người cùng với dữ liệu về hệ phiên mã sẽ là lời giải cho tác động của các biến dị

*Tác giả liên hệ: Email: cuongnguyen@ibt.ac.vn

GENOME ANALYSIS OF 99 KINH PEOPLE

Summary

The authors report the whole genome analysis of 99 Kinh people extracted from 1,000 Genome Project data. They classified variants into two sets: variants that were uniquely present in Kinh genomes (KHVonly -1,895,398 variants) and variants that were present in more than 90% of Kinh samples (KHV90 -1,556,750 variants), in which 99% were SNP - Single Nucleotide Polymorphism. Both of the variants sets shared a similar pattern in the distribution of variants across chromosomes with chromosome 2 carrying highest number of variants (KHVonly: 161,224; KHV90: 132,508). The distribution of variants in a chromosome was not even, presented by the wide range of density values 0-70,000 SNP/1 Mb with the trend of focusing on both ends of chromosomes (autosomal chromosomes) or focusing in the center (sex chromosomes). Functional region analysis predicted that gene functions located in the exon regions were affected more by variants in KHVonly (157,311 functions) than by variants in KHV90 (66,123 functions). The authors found that no pathogenic SNP related to 27 genetic diseases, due to the criteria of choosing individuals with healthy appearance for sequencing of 1,000 genomes project. All the results of this study were uploaded to the web browser developed by the research group at the address "https://vsnp.ibt.ac.vn". The results are the foundation for detailed characterization of whole genome of Kinh people, providing an informative and valuable resource for upcoming researches on genetic variations, identification, and genetic diseases of Vietnamese population.

Keywords: bioinformatics, forensics, genetic diseases, Kinh people genome, Next Generation Sequencing (NGS), 1,000 genome project.

Classification number 1.6

di truyền đối với sự biểu hiện gen [11].

Việt Nam là nước có dân số đứng thứ 13 trên thế giới, chủ yếu là người Kinh (chiếm trên 85%) nên bộ gen của người Kinh cũng đã được giải trình tự trong dự án 1.000 hệ gen. Việc giải trình tự và lắp ráp đầy đủ hệ gen là bước đầu tiên trong việc thông hiểu các thông tin chứa trong các trình tự của hệ gen [12]. Vì vậy, trong nghiên cứu này chúng tôi đã thực hiện khai thác dữ liệu của dự án 1.000 hệ gen nhằm trích xuất các thông tin về biến dị di truyền trong hệ gen của người Kinh được giải trình tự trong dự án và tiến hành các phân tích cơ bản về phân bố và chức năng của các loại biến dị trong hệ gen của người Kinh. Việc chú giải hệ gen một cách đầy đủ và chất lượng sẽ là một định hướng tốt cho những nghiên cứu sau này.

Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

Dữ liệu

Dữ liệu được công bố về hệ gen người Kinh trong dự án 1.000 hệ gen (<http://www.1000genomes.org/>) phiên bản 20130502 (<ftp://ftp-trace.ncbi.nih.gov/1000genomes/ftp/release/>) đáp ứng được các tiêu chuẩn chất lượng của dự án (độ bao phủ trên 4x). Những phân tích sâu đối với 2 tập biến dị: các biến dị chỉ xuất hiện ở cộng đồng người Kinh (KHVonly) và các biến dị xuất hiện với tần suất trên 90% ở cộng đồng người Kinh (KHV90) được thực hiện.

Phương pháp nghiên cứu

Tổng quan dữ liệu: công cụ VCFtools [13] được dùng để tách riêng dữ liệu di truyền của 99 người Kinh khỏi tập dữ liệu biến dị của thế giới. Từ dữ liệu trích xuất được, chúng tôi sử dụng công cụ được phát triển bởi Phòng Tin sinh học, Viện Công nghệ sinh học để lọc và phân loại các biến dị di truyền thành hai tập: KHVonly và KHV90. Các phân tích và so sánh cơ bản về phân bố và tần suất xuất hiện của biến dị trên NST được thực hiện.

Chú giải ảnh hưởng chức năng: công cụ SNPeff [14] được sử dụng với tùy chỉnh mặc định nhằm phân tích ảnh hưởng chức năng của hai tập biến dị. Các ảnh hưởng này được chú giải theo mức độ ảnh hưởng, vùng chức năng và tác động cụ thể đến chức năng hệ gen dựa vào thuật ngữ mô tả trình tự tiêu chuẩn (Sequence Ontology) [15].

Biến dị liên quan đến bệnh di truyền: nhằm xác định biến dị liên quan tới bệnh di truyền, danh sách 27 bệnh di truyền đang được nghiên cứu tại Việt Nam tham khảo từ danh mục của Lê Đình Lương (bảng 1). Từ cơ sở dữ liệu ClinVar (NCBI) [16], thông tin về các biến dị được phân loại là biến dị gây bệnh liên quan đến danh sách 27 bệnh trên được trích xuất ra nhờ công cụ phát triển tại Phòng Tin sinh học trước khi đem so sánh với các tập biến dị KHVonly và KHV90. Chúng tôi cũng đã xây dựng và phát triển cơ sở dữ liệu trực tuyến nhằm tạo thuận tiện cho việc tra cứu, dựa trên hệ thống phần mềm Gbrowser (Generic Genome Browser) [17].

Bảng 1: danh sách các bệnh di truyền hiện đang được tập trung nghiên cứu tại Việt Nam tham khảo danh mục của Lê Đình Lương

STT	Bệnh di truyền	STT	Bệnh di truyền
1	Alpha-1-antitrypsin deficiency	15	Fragile X syndrome
2	Amyotrophic lateral sclerosis	16	Hemophilia
3	Alzheimer's disease	17	Hereditary Hemochromatosis
4	Ataxia telangiectasia	18	Huntington's disease
5	Gaucher disease	19	Myotonic dystrophy
6	Inherited breast and ovarian cancer	20	Neuro fibromatosis type 1
7	Hereditary nonpolyposis colon cancer	21	Phenylketonuria
8	Charcot - Marie - Tooth	22	Adult Polycystic Kidney Disease
9	Congenital adrenal hyperplasia	23	Sickle cell disease
10	Cystic fibrosis	24	Spinocerebellar ataxia, type 1
11	Duchenne muscular dystrophy	25	Spinal muscular atrophy
12	Dystonia	26	Thalassemias
13	Fanconi anemia	27	Tay-Sachs Disease
14	Factor V		

Kết quả nghiên cứu

Tổng quan dữ liệu

Trong lần công bố gần nhất của dự án 1.000 hệ gen, chỉ có dữ liệu về hệ gen của 99 người Kinh trong số 124 người được đưa vào danh sách giải trình tự, với độ bao phủ trung bình của dữ liệu lên hệ gen người tham chiếu (GChR37) theo báo cáo của dự án là 8,7x với độ bao phủ tối thiểu là 4x và tối đa là 19x. Dữ liệu từ file giải trình tự được trích xuất và đối chiếu với thông tin liên quan đến những người trong danh sách thì thấy 99 người Kinh được công bố chỉ bao gồm các cặp bố mẹ và các cá nhân độc lập (bảng 2). Trong số 25 hệ gen không được công bố, có 23 hệ gen không có bất kỳ thông tin nào về việc giải trình tự, 2 hệ gen còn lại có thông tin về việc giải trình tự nhưng không đạt chất lượng, 22/25 hệ gen không được công bố là của người con trong các gia đình tham gia dự án. Ngoài ra, hệ gen

của người anh/em trong cặp anh - em đã không được công bố. Chính vì thế, việc phân tích các tính trạng di truyền dựa vào huyết thống (bộ ba bố - mẹ - con) đã không thể thực hiện được.

Bảng 2: tổng quan dữ liệu về cộng đồng người Kinh trong dự án 1.000 hệ gen

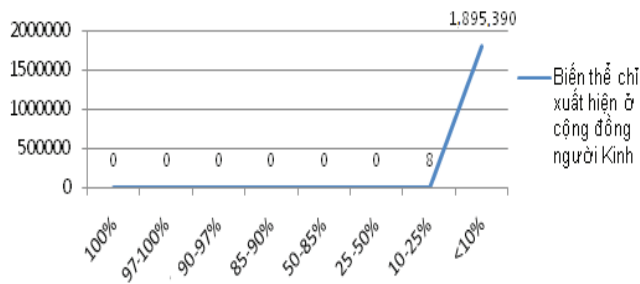
Dữ liệu	Tổng số	Gia đình	Nam			Nữ			Anh/Chị/Em	
Số mẫu giải trình tự	124	65	Bố	Con	Cá nhân*	Mẹ	Con	Cá nhân	Nam	Nữ
			22	14	25	21	8	34	1	1
			61			63			2	
Số mẫu công bố	99	21	Bố	Con	Cá nhân	Mẹ	Con	Cá nhân	Nam	Nữ
			21	0	25	20	0	33	1	0
			46			53			1	

*Cá nhân là những người độc lập, không có quan hệ huyết thống với những người Kinh còn lại được giải trình tự hệ gen trong dự án

Tổng quan về tập biến dị KHVonly được trích xuất từ file dữ liệu chung của dự án được thể hiện trong bảng 3. Số lượng biến dị là gần 1,9 triệu, trong đó số lượng SNP chiếm gần 99% (1,89 triệu), số lượng Indel và biến dị cấu trúc ít hơn rất nhiều, lần lượt là 5.942 và 1.045. Trong số những NST thường, NST số 2 chứa nhiều biến dị nhất, chiếm 8,5% tổng số biến dị, trong đó có 160.901 SNP; 239 Indel và 84 biến dị cấu trúc. NST 22 chứa ít biến dị nhất với 23.849 SNP, 33 Indel và 7 biến dị cấu trúc. NST giới tính X mang lượng Indel nhiều nhất trong tất cả các NST, gần 3.500 Indel, chiếm khoảng 60% tổng số lượng Indel, nhiều gấp 350 lần số lượng Indel trên NST giới tính Y và gấp hơn 14 lần lượng Indel trên NST số 2. Tổng biến dị của toàn bộ các cá thể được giải trình tự trong dự án 1.000 hệ gen cũng được chúng tôi tổng hợp từ file dữ liệu chung và đưa vào so sánh trong bảng 3.

Bảng 3: số lượng các biến dị trong tập KHVonly so sánh với số lượng biến dị trên thế giới

NST	SNP	Indel	Biến dị cấu trúc	Tổng biến dị	Tổng biến dị trên thế giới
1	144.467	186	83	144.736	6.468.094
2	160.901	239	84	161.224	7.081.600
3	130.323	151	67	130.541	5.832.276
4	126.336	164	71	126.571	5.732.585
5	118.541	166	66	118.773	5.265.763
6	110.514	147	61	110.722	5.024.119
7	104.016	152	63	104.231	4.716.715
8	103.169	140	73	103.382	4.597.105
9	79.524	95	43	79.662	3.560.687
10	87.191	118	48	87.357	3.992.219
11	90.289	145	60	90.494	4.045.628
12	84.742	124	50	84.916	3.868.428
13	62.919	97	27	63.043	2.857.916
14	57.776	91	37	57.904	2.655.067
15	54.355	86	20	54.461	2.424.689
16	61.103	83	58	61.244	2.697.949
17	51.080	62	25	51.167	2.329.288
18	50.075	58	32	50.165	2.267.185
19	39.245	54	22	39.321	1.832.506
20	41.265	52	23	41.340	1.812.841
21	24.351	41	13	24.405	1.105.538
22	23.849	33	7	23.889	1.103.547
X	82.392	3.447	11	85.850	3.468.093
Y	1.716	11	1	1.728	62.042
Tổng	1.888.423	5.942	1.045	1.895.398	84.739.838



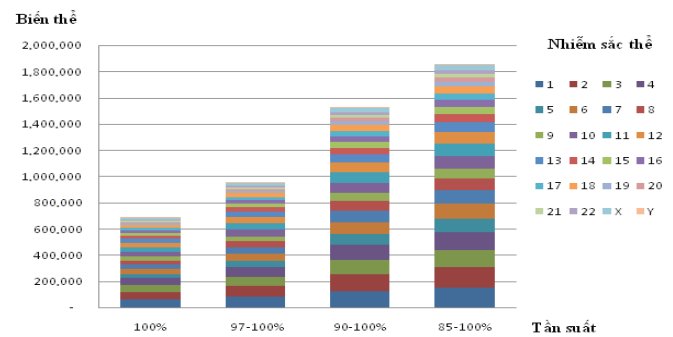
Hình 1: tần suất các biến dị chỉ xuất hiện trong cộng đồng người Kinh

Tần suất xuất hiện của các biến dị trong tập KHVonly đã được tính toán và kết quả cho thấy không có biến dị nào xuất hiện với tần suất 100% trong hệ gen của cộng đồng người Kinh được giải trình tự (hình 1). Biến dị chỉ bắt đầu xuất hiện ở khoảng tần suất dưới 25% và chủ yếu là ở dưới 10%. Trong khoảng từ 10-25%, chỉ có 8 biến dị xuất hiện (bảng 4), số lượng biến dị với tần suất dưới 10% là rất lớn, khoảng 1,8 triệu biến dị.

Bảng 4: danh sách 8 biến dị xuất hiện trong tập KHVonly với tần suất 10-25%

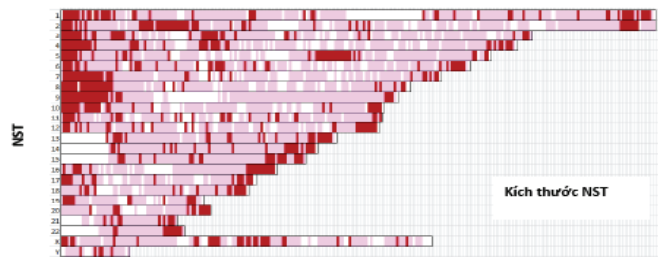
Biến dị	NST	Vị trí	Tần suất (%)	Dự đoán ảnh hưởng chức năng
rs373032880	7	18796400	10,1	Rất thấp
rs372829488	7	155810198	12,1	Rất thấp
rs377210607	9	21158496	10,1	Rất thấp
rs371006249	11	8333813	11,1	Rất thấp
rs367788580	11	112037409	10,1	Rất thấp
rs373524703	13	66185412	12,1	Rất thấp
rs371883058	14	51908186	11,1	Rất thấp
rs547676368	15	72111947	10,1	Rất thấp

Thống kê cho thấy, khoảng 685 ngàn biến dị xuất hiện ở 100% hệ gen người Kinh tham gia dự án (hình 2), bằng một nửa lượng biến dị có tần suất xuất hiện từ 90-100% (1,55 triệu) và bằng 1/3 lượng biến dị có tần suất xuất hiện từ 85% (1,85 triệu). Chúng tôi thực hiện phân tích sâu đối với tập 1,53 triệu biến dị có tần suất xuất hiện trên 90% (KHV90).



Hình 2: tần suất xuất hiện biến dị di truyền trong cộng đồng người Kinh được giải trình tự trong dự án 1.000 hệ gen

Kết quả phân tích mật độ biến dị trên các NST thể hiện sự không đồng đều, có những khu vực trên NST có mật độ biến dị rất cao (50-70 ngàn SNP/1 Mb), trong khi có những vùng không có sự xuất hiện của một biến dị nào như phần đầu của NST 13, 14 và 15 (hình 3). Các NST thường đều có xu hướng tập trung cao biến dị ở hai đầu mút của NST, trừ các NST 13-15, 21, 22 (biến dị xuất hiện ít ở đầu NST), còn các NST giới tính X và Y có biến dị tập trung ở vị trí giữa NST.



Hình 3: phân bố của biến dị di truyền trên NST

Giá trị một ô tương đương 1 Mb. Các ô màu đỏ thể hiện vùng NST tập trung nhiều biến dị (nằm trong 20% các ô có lượng biến dị nhiều nhất của NST đó). Các ô màu trắng thể hiện vùng NST tập trung ít biến dị (nằm trong 20% các ô có lượng biến dị ít nhất của NST đó). Các ô màu hồng thể hiện vùng NST có mật độ trung bình.

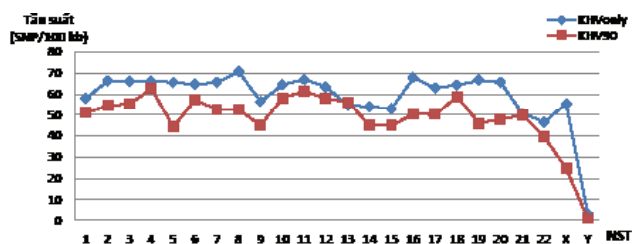
Bảng 5 thể hiện sự tương quan giữa tập biến dị KHV90 với tập KHVonly. Lượng biến dị trong tập KHV90 (1,53 triệu) ít hơn so với tập KHVonly (1,89 triệu), tuy nhiên có sự tương đồng về phân bố các biến dị trên NST. Riêng NST 13, lượng biến dị trong tập KHV90 (64.711) tập trung nhiều hơn so với lượng biến dị trong tập KHVonly (63.043). Số lượng biến dị tập trung trên NST giới tính của tập KHV90 (X: 38.461; Y: 446) ít hơn nhiều lần so với số lượng biến dị của tập KHVonly (X: 85.850; Y: 1.728).

Bảng 5: so sánh số lượng các biến dị trong tập KHV90 và KHVonly

NST	SNP	Indel	Biến dị cấu trúc	Tổng biến dị KHV90	Tổng biến dị KHVonly
1	106.944	19.973	95	127.012	144.736
2	111.843	20.601	64	132.508	161.224
3	92.622	16.891	53	109.566	130.541
4	101.990	17.714	41	119.745	126.571
5	67.197	12.715	48	79.960	118.773
6	83.050	14.579	76	97.705	110.722
7	70.747	13.225	56	84.028	104.231
8	65.836	10.798	40	76.674	103.382
9	54.209	9.228	41	63.478	79.662
10	66.487	12.339	61	78.887	87.357
11	70.147	12.782	42	82.971	90.494
12	65.150	12.335	37	77.522	84.916
13	54.546	10.139	26	64.711	63.043
14	40.344	7.762	28	48.134	57.904
15	38.472	7.568	54	46.094	54.461
16	38.766	6.639	52	45.457	61.244
17	33.584	7.189	23	40.796	51.167
18	33.999	6.923	31	40.953	50.165
19	22.615	4.590	12	27.217	39.321
20	25.669	4.556	17	30.242	41.340
21	19.501	4.426	17	23.944	24.405
22	16.902	3.328	9	20.239	23.889
X	31.376	7.058	27	38.461	85.850
Y	430	16	0	446	1.728
Tổng	1.312.426	243.374	950	1.556.750	1.895.398

Do các NST khác biệt về kích thước nên tần suất xuất hiện của biến dị trên các NST được sử dụng để xác định độ tập trung của các biến dị KHV90 và KHVonly (hình 4). Tần suất xuất hiện của biến dị trên một NST được tính theo công thức:

$$\text{Tần suất} = \frac{\text{Tổng số biến thể}}{\text{Kích thước NST}}$$



Hình 4: so sánh tần suất xuất hiện trên NST của các biến dị trong 2 tập KHV90 và KHVonly

Do có lượng biến dị ít hơn, nên tần suất xuất hiện trung bình của các biến dị KHV90 so với các biến

dị KHVonly cách biệt nhau rất nhiều, lần lượt là 59,1 SNP/100 kb và 48,6 SNP/100 kb. Phần lớn các biến dị KHVonly xuất hiện trên các NST thường với cùng tần suất (NST 2-7; 10-12; 18-20), trong khoảng 65 SNP/100 kb. Tần suất biến dị cao nhất trong tập KHVonly là trên NST số 8, khoảng 70 SNP/100 kb. Tần suất thấp nhất ghi nhận được là 46 SNP/100 kb ở NST thường số 22.

Tần suất trung bình của biến dị KHV90 trên NST thường có sự dao động lớn, từ 44,84 SNP/100 kb (NST 14) đến 58,86 SNP/100 kb (NST 18). Tần suất xuất hiện của biến dị KHV90 trên NST 4, 13 và 21 lần lượt là 62,66 SNP/100 kb; 56,2 SNP/100 kb và 49,75 SNP/100 kb, tương đương với tần suất xuất hiện của biến dị KHVonly (lần lượt là 66,3 SNP/100 kb; 54,76 SNP/100 kb và 50,71 SNP/100 kb). Đối với NST giới tính, tần suất xuất hiện biến dị của tập KHV90 và KHVonly rất khác biệt, lần lượt là 55,3 SNP/100 kb và 24,7 SNP/100 kb trên NST X.

Phân tích ảnh hưởng của SNP lên chức năng của hệ gen

SNP là dạng biến dị phổ biến nhất, chiếm hơn 90% tổng số biến dị của hệ gen, vì thế việc phân tích ảnh hưởng chức năng của các biến dị trong tập KHVonly và tập KHV90 đã được thực hiện. Ý nghĩa của các mức độ ảnh hưởng chức năng được tóm lược trong bảng 6.

Bảng 6: mức độ ảnh hưởng của biến dị lên hệ gen

Ảnh hưởng	Ý nghĩa	Ví dụ
Nghiêm trọng	- Ảnh hưởng nghiêm trọng tới protein, gây ra sự cắt cụt protein, mất chức năng hoặc khởi động quá trình phân hủy các protein chưa trưởng thành	- Mất đoạn lớn trên NST (hơn 1%) - Mất đoạn lớn exon - Biến dị chèn codon kết thúc
Trung bình	- Làm giảm hiệu năng của protein	- Biến dị gây thay đổi acid amin - Biến dị gây thay đổi acid amin, đồng thời gây mất một hoặc nhiều acid amin khác
Thấp	- Ảnh hưởng không đáng kể hoặc không làm thay đổi hoạt động của protein	- Biến dị gây thay đổi bộ ba mã hóa nhưng không làm thay đổi acid amin
Rất thấp	- Xảy ra ở các biến dị không mã hóa protein hoặc nằm trong vùng không mã hóa - Việc dự đoán là rất khó khăn hoặc không có bằng chứng về ảnh hưởng	- Biến dị ở trong vùng gen không có phiên mã - Biến dị ở vùng intron - Biến dị ở vùng Downstream của một gen

Kết quả phân tích các ảnh hưởng chức năng của tập biến dị KHVonly được tóm tắt trong bảng 7. Hầu hết các biến dị có mức độ ảnh hưởng thấp hoặc rất

thấp tới chức năng của hệ gen. Với 1,9 triệu biến dị có thể khiến cho khoảng 2,2 ngàn chức năng của hệ gen có nguy cơ bị ảnh hưởng nghiêm trọng và hơn 53 ngàn chức năng có mức độ ảnh hưởng trung bình. NST số 1 có số lượng các chức năng bị ảnh hưởng nghiêm trọng lớn nhất (211 chức năng) trong khi NST giới tính Y ít bị các ảnh hưởng nghiêm trọng (1 chức năng). Tổng cộng có hơn 49 ngàn gen có khả năng đột biến Missense, hơn 28 ngàn gen có khả năng bị đột biến Silent. Đột biến Nonsense khá ít (995 tác động), trong đó 2 NST giới tính X và Y là thấp nhất, lần lượt là 7 và 0. Đặc biệt, số lượng các chức năng có khả năng xảy ra đột biến Nonsense cao nhất ở NST 19 (130 chức năng), cao hơn 30% so với NST có kích thước lớn nhất là NST số 1 (105 chức năng) và cao hơn mức trung bình 6,19 lần (21 chức năng/NST).

Bảng 7: ảnh hưởng chức năng của các biến dị trong tập KHVonly

NST	Mức độ ảnh hưởng*				Tác động về chức năng		
	Nghiêm trọng	Trung bình	Thấp	Rất thấp	Missense	Nonsense	Silent
1	211	5.045	392.682	504.776	4.751	105	2.541
2	136	4.219	520.757	539.777	3.872	65	2.177
3	130	3.300	371.313	475.477	2.869	54	1.583
4	78	2.009	225.453	368.108	1.927	49	1.058
5	79	2.434	232.650	359.840	1.959	38	1.252
6	114	2.663	270.815	314.500	2.483	38	1.357
7	128	2.383	299.083	360.598	2.220	50	1.351
8	113	2.257	269.603	346.947	2.063	39	1.047
9	66	2.017	199.796	235.743	1.955	34	1.030
10	111	2.060	223.831	268.688	1.947	45	999
11	118	3.181	190.163	358.616	3.110	32	1.966
12	116	2.806	258.513	338.662	2.558	57	1614
13	26	815	77.587	133.066	787	16	394
14	50	1.979	116.775	233.196	1.772	19	930
15	76	1.760	162.695	225.180	1.571	18	855
16	141	2.594	121.838	278.575	2.280	50	1.492
17	92	3.094	137.558	269.896	2.823	62	1.743
18	42	983	112.578	168.774	853	28	391
19	251	3.669	87.359	221.158	3.456	130	1.986
20	69	1.223	1.081	131.103	1.226	34	750
21	24	601	58.193	80.889	568	12	449
22	56	1.186	59.683	107.710	1.161	13	601
X	29	1.404	119.659	196.610	1.143	7	796
Y	1	12	340	2.871	12	0	3
Tổng	2.257	53.694	4.510.005	6.520.760	49.366	995	28.365

*Các mức độ ảnh hưởng được mô tả dựa vào thuật ngữ miêu tả trình tự gen tiêu chuẩn (Sequence Ontology)

Ảnh hưởng chức năng của các biến dị trong tập KHV90 cũng đưa ra những kết quả tương tự nhưng với số lượng ít hơn rất nhiều (bảng 8). Cụ thể, số lượng các ảnh hưởng chức năng ở mức nghiêm trọng và trung bình có thể xảy ra bởi các biến dị này lần lượt là 711 và 13.853, bằng 30% số lượng chức năng bị ảnh hưởng

cùng mức gây ra bởi các biến dị trong tập KHVonly. Trong khi đó, các ảnh hưởng chức năng bị ảnh hưởng ở mức thấp và rất thấp gây ra do các biến dị trong tập KHV90 giảm không đáng kể (lần lượt là 3,7 triệu và 5,07 triệu chức năng) so với các ảnh hưởng cùng mức gây ra bởi các biến dị trong tập KHVonly (lần lượt là 4,5 triệu và 6,5 triệu chức năng).

Khi tiến hành so sánh về cơ chế tác động, chúng tôi nhận thấy sự khác biệt rất rõ rệt về tỷ lệ các đột biến ở 2 tập biến dị. Với tập biến dị KHV90, số lượng chức năng bị đột biến Silent và Missense là gần tương đương nhau (lần lượt là 11.973 chức năng và 10.108 chức năng). Các tác động gây đột biến Silent nhiều hơn tác động gây đột biến Missense, đối ngược với tác động của biến dị trong tập KHVonly. Các biến dị cũng ít có khả năng gây ra đột biến Nonsense trên NST thường và giới tính. Số lượng các chức năng có khả năng bị đột biến Nonsense cao đặc biệt ở NST 11 (12 chức năng), trong khi ở các NST khác, số lượng các chức năng bị cùng tác động về chức năng chỉ dao động từ 0-4.

Bảng 8: ảnh hưởng chức năng của các biến dị trong tập KHV90

NST	Mức độ ảnh hưởng*				Tác động về chức năng		
	Nghiêm trọng	Trung bình	Thấp	Rất thấp	Missense	Nonsense	Silent
1	60	1.346	403.884	419.322	1.061	2	1.189
2	36	1.264	515.794	431.967	794	3	812
3	24	860	261.376	381.048	606	0	680
4	20	569	202.175	319.224	410	0	515
5	31	565	146.005	225.776	337	0	435
6	7	1.486	258.686	268.319	691	1	778
7	39	790	240.370	271.057	457	1	458
8	38	547	211.854	243.188	326	0	381
9	22	441	150.502	181.048	389	2	453
10	45	500	194.751	230.691	376	0	521
11	82	791	142.353	300.910	753	12	907
12	33	607	189.333	274.479	508	1	645
13	10	179	86.279	131.915	123	2	181
14	21	365	82.309	182.468	310	0	421
15	24	389	139.571	181.935	339	0	486
16	29	500	89.889	205.899	395	1	594
17	55	786	130.466	210.414	576	4	692
18	11	235	89.893	141.678	184	0	201
19	44	755	49.195	141.229	680	4	679
20	18	239	456	87.271	232	0	308
21	16	162	41.718	75.806	134	0	104
22	32	279	43.544	86.659	274	1	344
X	14	198	40.952	82.115	153	0	189
Y	0	0	119	751	0	0	0
Tổng	711	13.853	3.711.474	5.075.169	10.108	34	11.973

*Các mức độ ảnh hưởng được mô tả dựa vào thuật ngữ miêu tả trình tự gen tiêu chuẩn (Sequence Ontology)

Ảnh hưởng của hai tập biến dị đến chức năng hệ gen được thể hiện ở bảng 9. Phân tích vùng phân bố của các biến dị trong tập KHVonly cho thấy, phần lớn các SNP nằm trong vùng intron, chiếm đến gần 40% số lượng SNP. Các biến dị có vùng chức năng chưa phân định (NONE) chiếm hơn 36% tổng số SNP. Chỉ khoảng 1,5% số lượng biến dị nằm trong vùng exon (157.311 chức năng). Dựa vào thuật ngữ mô tả trình tự gen, các biến dị ở các vùng khác nhau sẽ có những mức độ ảnh hưởng tới chức năng khác nhau. Các biến đổi trong vùng exon và vùng cắt intron (splice site) được đánh giá là có mức độ ảnh hưởng nghiêm trọng tới chức năng của hệ gen.

Bảng 9: so sánh về phân bố của các ảnh hưởng chức năng gây bởi các biến dị

Vùng chức năng	KHVonly		KHV90	
	Tổng số chức năng	Trung bình (%)	Tổng số chức năng	Trung bình (%)
Downstream	651.640	6,363	498.909	6,264
Exon	157.311	1546	66.123	0,862
Intergenic	865.951	9,702	771.995	10,818
Intron	4.230.085	38,927	3.308.411	38,282
None	4.473.256	36,520	3.696.253	36,939
Splice Site Acceptor	437	0,005	230	0,003
Splice Site Donor	673	0,008	159	0,002
Splice Site Region	11.568	0,125	6.685	0,081
Transcript	26.111	0,184	25	0,001
Upstream	607.973	6,034	503.599	6,283
UTR 3'	45.640	0,439	26.949	0,337
UTR 5'	16.804	0,167	9.853	0,133

Phân tích các SNP liên quan đến các bệnh di truyền

Hiện nay, có rất nhiều cơ sở dữ liệu sinh học lưu trữ thông tin về các biến dị liên quan đến các bệnh di truyền. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng cơ sở dữ liệu ClinVar (NCBI) để lọc ra những biến dị gần nhãn “gây bệnh” trong danh sách 27 bệnh di truyền đang được nghiên cứu tại Việt Nam từ 2 tập biến dị KHV90 và KHVonly. Kết quả cho thấy, không có biến dị nào trong 2 tập biến dị này có nguy cơ gây bệnh trong danh sách 27 bệnh đã được liệt kê.

Cơ sở dữ liệu trực tuyến về gen người Việt

Dữ liệu về hệ gen người Kinh có thể truy cập tại địa chỉ <https://vsnp.ibt.ac.vn>. Người dùng có thể tìm kiếm dữ liệu bằng nhiều cách khác nhau như nhập mã biến dị, vị trí trên NST, tên bệnh di truyền, tên gen... Hệ thống sẽ tự động liên kết với các cơ sở dữ liệu quốc tế như OMIM, NCBI, dbSNP và trích xuất dữ liệu cho

người dùng dễ dàng tra cứu các thông tin liên quan. Hiện tại, các chức năng cơ bản của hệ thống cơ sở dữ liệu trực tuyến đã hoạt động, các chức năng nâng cao vẫn đang được phát triển.

Thảo luận

Như vậy, 99 hệ gen của người Kinh đã được giải trình tự và công bố trong dự án 1.000 hệ gen. Tuy nhiên, dữ liệu hệ gen của 23 người con trong các gia đình tham gia dự án chưa được công bố khiến cho việc phân tích các SNPs và Indels liên quan đến huyết thống vẫn chưa thực hiện được. Với 8 biến dị xuất hiện với tần suất 10-25% (khoảng tần suất cao nhất được ghi nhận) và 1,89 triệu biến dị xuất hiện với tần suất dưới 10%, thể hiện sự đặc trưng cho từng cá thể trong cộng đồng người Việt. Kết quả cho thấy sự đa dạng cao trong hệ gen của các cá thể trong cộng đồng người Kinh, nhưng cũng rất đặc trưng khi so với các cộng đồng khác. Các biến dị trong tập KHVonly có tần suất không cao, tuy nhiên việc kiểm chứng ở một quần thể lớn hơn cần được thực hiện để kết quả đạt được có độ tin cậy cao và có ý nghĩa thống kê hơn nữa. Chúng tôi kỳ vọng rằng khi triển khai ở quần thể lớn, những biến dị KHVonly có tần suất cao trên 75% đặc trưng cho người Kinh sẽ được phát hiện thêm.

Mỗi biến dị có thể bị biến đổi theo nhiều hướng, mà sự biến đổi đó có tác động tới hệ gen ở các mức độ khác nhau. Với công cụ SNPEff, thông tin thực nghiệm về các biến đổi được thu thập từ các cơ sở dữ liệu như dbSNP, OMIM... sau đó được tổng hợp lại, tính toán và báo cáo một cách chi tiết về vị trí, mức độ ảnh hưởng cũng như tác động cụ thể của từng biến đổi xảy ra ở những biến dị mong muốn [14]. Tuy nhiên, sự liên kết giữa vị trí của biến dị với mức độ ảnh hưởng của nó tới chức năng hệ gen đã được thực hiện nhưng chỉ mang tính tương đối, nhằm mục đích chuẩn hóa và đồng bộ hóa kết quả của quá trình phân loại các ảnh hưởng chức năng [18]. Trong thời gian tới, chúng tôi sẽ tiến hành so sánh các chương trình chú giải chức năng khác nhau để tìm ra câu trả lời đúng nhất.

Khi so sánh về ảnh hưởng chức năng của 2 nhóm biến dị, chúng tôi nhận thấy các biến dị trong tập KHVonly gây ra nhiều ảnh hưởng nghiêm trọng hơn so với các biến dị xuất hiện trong tập KHV90. Kết quả này có thể được giải thích dựa vào tiêu chí lựa chọn cá nhân tham gia giải trình tự của dự án 1.000 hệ gen, đó là lựa chọn những cá nhân có kiểu hình khỏe mạnh, không có biểu hiện mắc một loại bệnh nào rõ rệt [8].

Việc tìm kiếm các biến dị gây bệnh dựa vào cơ sở dữ liệu ClinVar đã không đưa lại kết quả nào. Điều này có thể được lý giải bằng phương pháp lựa chọn biến dị trên ClinVar: chỉ những biến dị được gắn nhãn “gây bệnh” mới được chọn, tức là những người mang biến dị này chắc chắn sẽ mắc các căn bệnh di truyền được liệt kê.

Những kết quả của nghiên cứu này là bước đi đầu tiên trong việc xây dựng một bản mô tả chi tiết về toàn bộ hệ gen của người Việt, phục vụ cho các nghiên cứu sau này về biến dị như bệnh di truyền và xác định danh tính. Trong các nghiên cứu sắp tới, thông tin từ các Indel liên quan đến bệnh di truyền về giới tính trên NST X sẽ được đi sâu phân tích. Việc so sánh các biến dị của người Kinh với những bộ kit sử dụng chỉ thị biến dị cũng sẽ được tiến hành để phát hiện đầy đủ các SNP và Indel có nguy cơ gây bệnh ở cộng đồng người Kinh.

Những hiểu biết về các biến dị di truyền, đặc biệt là về SNP, mang đến hy vọng về các phương pháp điều trị đích và phát triển thuốc cá thể hóa [19]. Chúng tôi mong rằng, những thông tin thu thập được sẽ giúp định hướng các nghiên cứu thực nghiệm nhằm phát triển và chuẩn hóa các bộ kit chẩn đoán bệnh di truyền, lai ghép di truyền và ung thư, từ đó nâng cao sức khỏe của người Kinh nói riêng và người Việt nói chung. Các kết quả và thông tin liên quan sẽ được cập nhật thường xuyên trên cơ sở dữ liệu trực tuyến của Viện Công nghệ sinh học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam tại địa chỉ <https://vsnp.ibt.ac.vn>.

Lời cảm ơn

Chúng tôi xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ về kinh phí từ nhiệm vụ KH&CN theo chức năng của Phòng thí nghiệm trọng điểm công nghệ gen, Viện Công nghệ sinh học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam (mã số: NV05-PTNTĐ 2015).

Tài liệu tham khảo

[1] The ENCODE Project Consortium (2012), “An integrated encyclopedia of DNA elements in the human genome”, *Nature*, **489**(7414), pp.57-74.

[2] Gonzaga-Jauregui C, Lupski J.R, Gibbs R.A (2012), “Human Genome Sequencing in Health and Disease”, *Annual Review of Medicine*, **63**(1), pp.35-61.

[3] Korbel J.O, et al (2007), “Paired-End Mapping Reveals Extensive Structural Variation in the Human Genome”, *Science*, **318**(5849), pp.420-426.

[4] Singh M, et al (2011), “SNP-SNP interactions within APOE gene influence plasma lipids in postmenopausal osteoporosis”, *Rheumatol Int*, **31**(3), pp.421-423.

[5] Manolio T.A, Brooks L.D, Collins F.S (2008), “A HapMap harvest of insights into the genetics of common disease”, *The Journal of Clinical Investigation*, **118**(5), pp.1590-1605.

[6] Rauch A, et al (2010), “Genetic variation in IL28B is associated with chronic hepatitis C and treatment failure: a genome-wide association study”, *Gastroenterology*, **138**(4), pp.1338-1345, pp.1345.e1-7.

[7] Pang G.S, et al (2009), “Predicting potentially functional SNPs in drug-response genes”, *Pharmacogenomics*, **10**(4), pp.639-653.

[8] Khurana E, et al (2013), “Integrative annotation of variants from 1092 humans: application to cancer genomics”, *Science*, **342**(6154), p.1235587.

[9] McKernan K.J, et al (2009), “Sequence and structural variation in a human genome uncovered by short-read, massively parallel ligation sequencing using two-base encoding”, *Genome Res*, **19**(9), pp.1527-1541.

[10] Soon W.W, Hariharan M, Snyder M.P (2013), “High-throughput sequencing for biology and medicine”, *Molecular Systems Biology*, **9**, pp.1-14.

[11] Haraksingh R.R, Snyder M.P (2013), “Impacts of Variation in the Human Genome on Gene Regulation”, *Journal of Molecular Biology*, **425**(21), pp.3970-3977.

[12] Moore B, Fan G, Eilbeck K (2010), “SOBA: sequence ontology bioinformatics analysis”, *Nucleic Acids Research*, **38**(suppl 2), pp.W161-W164.

[13] Danecek P, et al (2011), “The variant call format and VCFtools”, *Bioinformatics*, **27**(15), pp.2156-2158.

[14] Pablo Cingolani A.P, Le Lily Wang, Melissa Coon, Tung Nguyen, Luan Wang, Susan J Land, Xiangyi Lu, Douglas M Ruden (2012), “A program for annotating and predicting the effects of single nucleotide polymorphisms, SnpEff: SNPs in the genome of *Drosophila melanogaster* strain w1118; iso-2; iso-3”, *Fly (Austin)*, **6**(2), pp.80-92.

[15] Gene Ontology Consortium (2015), “Gene Ontology Consortium: going forward”, *Nucleic Acids Res*, **43**(Database issue), pp.D1049-D1056.

[16] Melissa J, Landrum J.M.L, George R Riley, Wonhee Jang, Wendy S Rubinstein, Deanna M Church, Donna R Maglott (2013), “ClinVar: public archive of relationships among sequence variation and human phenotype”, *Nucleic Acids Research*, pp.1-6.

[17] Donlin M.J (2009), “Using the Generic Genome Browser (GBrowse)”, *Current Protocols in Bioinformatics*, **28**.

[18] Eilbeck K, et al (2009), “Quantitative measures for the management and comparison of annotated genomes”, *BMC Bioinformatics*, **10**(1), p.67.

[19] Laing R.E, et al (2011), “The role and impact of SNPs in pharmacogenomics and personalized medicine”, *Curr Drug Metab*, **12**(5), pp.460-486.

Nghiên cứu mức độ biểu hiện của gen *OsHKT2;1* đáp ứng điều kiện mặn ở cây lúa bằng phương pháp RT-PCR bán định lượng

Đỗ Thị Phúc*, Phạm Quỳnh Hoa

Khoa Sinh học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

Ngày nhận bài 28.8.2015, ngày chuyển phản biện 10.9.2015, ngày nhận phản biện 20.10.2015, ngày chấp nhận đăng 26.10.2015

Lúa là cây lương thực quan trọng và có giá trị kinh tế của Việt Nam. Do ảnh hưởng của biến đổi khí hậu toàn cầu mà nguy cơ đất bị nhiễm mặn đã và sẽ trở thành yếu tố gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến năng suất, chất lượng lúa gạo ở nước ta. Vì vậy, việc chọn tạo giống lúa chịu mặn là vấn đề cần được quan tâm nghiên cứu. HKT (high affinity potassium transporter) là họ protein có vai trò vận chuyển ion ở thực vật. Protein HKT được chứng minh tham gia vận chuyển ion Na^+ vào tế bào và có liên quan đến khả năng chịu mặn của cây lúa. Trong nghiên cứu này, các tác giả tiến hành đánh giá mức độ biểu hiện của gen *OsHKT2;1* mã hóa cho protein HKT2;1 ở cây lúa bằng phương pháp RT-PCR bán định lượng. Thí nghiệm được tiến hành trên giống lúa Nipponbare (giống chuẩn nhiễm mặn) và Pokkali (giống chuẩn kháng mặn) với điều kiện xử lý mặn ở nồng độ 50 và 100 mM NaCl trong dải thời gian là 24, 48 và 72 giờ. Kết quả cho thấy, mức độ biểu hiện của gen *OsHKT2;1* ở giống Nipponbare tăng lên sau 24 giờ xử lý mặn ở nồng độ 100 mM NaCl nhưng lại giảm dần và trở về mức bình thường sau 72 giờ xử lý mặn. Tuy nhiên, ở giống Pokkali thì mức độ biểu hiện của gen *OsHKT2;1* lại không thay đổi trong điều kiện mặn. Trong điều kiện bình thường (không xử lý mặn), mức độ biểu hiện của *OsHKT2;1* ở mô lá của giống Nipponbare là cao hơn so với giống Pokkali. Như vậy, sự khác biệt trong mức độ biểu hiện của gen *OsHKT2;1* có thể có liên quan đến mức độ kháng mặn khác nhau ở hai giống lúa nghiên cứu. Kết quả của nghiên cứu bước đầu cung cấp thông tin hữu ích cho công tác chọn tạo giống lúa chịu mặn.

Từ khóa: biểu hiện gen, HKT, lúa, *OsHKT2;1*, RT-PCR bán định lượng, stress mặn.

Chỉ số phân loại 1.6

Đặt vấn đề

Lúa là cây lương thực đóng vai trò quan trọng của nền kinh tế Việt Nam. Tuy nhiên, hiện tượng đất nhiễm mặn do biển xâm thực đã và đang ảnh hưởng nghiêm trọng đến năng suất và diện tích canh tác lúa. Nồng độ Na^+ cao trong đất làm tăng cao áp suất thẩm thấu khiến cho rễ cây không hút được nước và Na^+ tích tụ trong các mô lá gây ảnh hưởng đến bộ máy quang hợp, hoạt động của khí khổng, chức năng của các enzyme và mất cân bằng nồng độ ion K^+ [1]. Do vậy, để tồn tại và phát triển trong điều kiện mặn, cây trồng có cơ chế chống mất nước, hạn chế sự vận chuyển của Na^+ từ rễ lên lá và cô lập Na^+ vào các túi nội bào nhằm hạn chế nồng độ của Na^+ trong mô, đặc biệt là mô giậu [2].

HKT là họ protein có vai trò vận chuyển ion Na^+ ở thực vật. Các nghiên cứu cho thấy mối liên quan giữa HKT protein và khả năng kháng mặn ở thực vật [3, 4]. Đột biến mất chức năng của gen *AtHKT1;1* ở *A. thaliana*

được tìm thấy ở những dòng mất cảm mặn [5] và biểu hiện quá mức của *AtHKT1;1* ở *A. thaliana* và lúa làm tăng sức kháng mặn của cây [6]. Đột biến chèn yếu tố di truyền vận động *Tos17* vào gen *OsHKT1;1* ở lúa gây gián đoạn khung đọc mở của gen làm cây đột biến trở nên mất cảm hơn với điều kiện mặn [7]. Gen *HKT1;5* và *HKT1;4* ở ngũ cốc đóng vai trò cô lập Na^+ ở rễ và các lá già, tế bào quanh bó mạch nhằm hạn chế sự vận chuyển Na^+ lên lá non [8]. Biểu hiện quá mức của gen *HvHKT2;1* ở lúa mạch giúp tăng tốc độ sinh trưởng của cây lên 25-30% trong điều kiện mặn và thiếu K^+ so với kiểu dại [9].

Ở lúa, họ gen *HKT* gồm 9 thành viên nằm trên các nhiễm sắc thể khác nhau [10]. Gen *OsHKT2;1* là một thành viên của họ gen *HKT* ở lúa mã hóa cho protein HKT2;1 vận chuyển Na^+/K^+ . Thí nghiệm lai tại chỗ cho thấy, gen *OsHKT2;1* có biểu hiện ở lớp ngoại bì của rễ và mạch rây (cả yếu tố mạch và tế bào quanh bó mạch)

*Tác giả liên hệ: Email: dothiphuc13380@yahoo.com

STUDY ON EXPRESSION LEVEL
OF OSHKT2;1 GENE IN RESPONSE
TO SALT STRESS IN RICE
BY SEMI-QUANTITATIVE RT-PCR ANALYSIS

Summary

Rice is one of the most important and high economic value food crops in Vietnam. Due to the global climate change, the negative effects of salted soil on yield and quality of rice have become more seriously; therefore, the enhancement in salt tolerant rice is always the research topic of interest. HKT (high affinity potassium transporter) is a protein family which plays role in ion transport in plants. It is proven that HKT proteins involve in ion Na^+ influx and salt tolerance in rice plants. In this study, the expression level of *OsHKT2;1* gene coding HKT protein in rice was investigated using semi-quantitative RT-PCR technique. Experiments were conducted on two rice cultivars, including Nipponbare (the standard salt sensitive cultivar) and Pokkali (the standard salt resistant cultivar) with two different salt concentrations of 50 mM and 100 mM NaCl for different periods of exposure time (24, 48, and 72 hrs of salt treatment). The results showed that in Nipponbare cultivar the expression level of *OsHKT2;1* gene was increased after 24 hours of 100 mM-salt treatment, but decreased to normal level after 72 hours of treatment. However, the *OsHKT2;1* expression level was unchanged over different salt stress conditions and at different time periods in Pokkali cultivar. In control condition, the expression level of *OsHKT2;1* gene in leaves of Nipponbare was higher than that in Pokkali. It might be likely that the differences in *OsHKT2;1* gene expression level involve in the differences in salt tolerance in two investigated rice cultivars. The results of initial studies provide useful information for salt tolerant rice breeding in the future.

Keywords: gene expression, HKT, *OsHKT2;1*, rice, salt stress, Semi-quantitative RT-PCR.

Classification number 1.6

[11]. Hiện tại, ở Việt Nam chưa có nghiên cứu nào liên quan đến gen *OsHKT2;1* trong khả năng kháng mặn ở lúa. Do vậy trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng phương pháp RT-PCR bán định lượng để phân tích mức độ biểu hiện của gen *OsHKT2;1* ở cây lúa trong các điều kiện mặn khác nhau trên đối tượng là hai giống lúa chuẩn kháng mặn Pokkali và chuẩn mặn cảm mặn Nipponbare.

Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

Vật liệu

Hai giống lúa Nipponbare và Pokkali (cung cấp bởi Viện Di truyền Nông nghiệp); các cặp mồi đặc hiệu cho phản ứng PCR (cung cấp bởi hãng IDT - Hoa Kỳ). Trình tự các cặp mồi được trình bày ở bảng 1.

Bảng 1: trình tự các cặp mồi sử dụng trong nghiên cứu

Tên mồi	Trình tự
IntHKT2;1-F	TAAGTTACTGCGCATCAAGC
IntHKT2;1-R	GCTTGCTCTGGCAGATGCT
HKT2;1-F	TGGCCTTATGGCTTCCTTG
HKT2;1-R	CCCTACATTCCTATGCACTGAT
ACT-F	CTGATGGACAGGTTATCACC
ACT-R	CAGGTAGCAATAGGTATTACAG

Phương pháp nghiên cứu

Trồng lúa thủy canh và xử lý mặn: hạt lúa được ngâm ủ trong tối trong 48 giờ. Sau khi nảy mầm, hạt lúa được đặt vào trong các ô trên tấm xốp có đan lưới, đặt trong hộp chứa dung dịch dinh dưỡng Yoshida [12]. Độ pH của dung dịch dinh dưỡng được điều chỉnh trong khoảng 5,0-5,5. Dung dịch dinh dưỡng được thay mới hàng tuần. Thí nghiệm được bố trí thành 2 nhóm: nhóm cây đối chứng (không xử lý mặn) và nhóm cây bị xử lý mặn. Sau 14 ngày trồng trong dung dịch dinh dưỡng, thí nghiệm xử lý mặn được tiến hành ở nhóm cây bị xử lý mặn bằng cách bổ sung NaCl vào dung dịch dinh dưỡng để đạt nồng độ 50 hoặc 100 mM; trong khi ở nhóm cây đối chứng không bổ sung NaCl vào dung dịch dinh dưỡng. Mẫu lá được thu thập tại các thời điểm 24, 48 và 72 giờ sau khi xử lý mặn ở cả 2 nhóm cây và cất giữ ở -80°C .

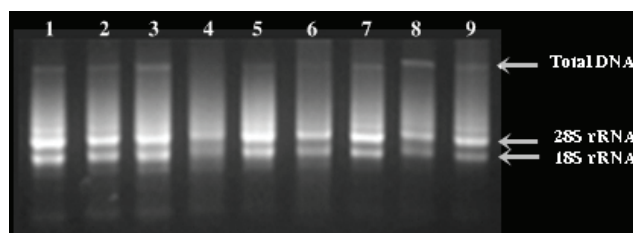
Kỹ thuật RT-PCR bán định lượng: mẫu lá lúa thu thập được nghiền bằng máy nghiền mẫu Mixer mill (Retsch, CHLB Đức) trong nito lỏng. Sau đó, ARN tổng số được tách chiết bằng kit GeneJET Plant RNA

Purification Mini Kit (Thermo Scientific). ADN hệ gen lẫn trong các mẫu ARN được xử lý với enzyme DNase I và được kiểm tra sau xử lý enzyme bằng cặp mồi IntHKT2;1 (nhân bản vùng intron của gen *OsHKT2;1*) (bảng 1) với chu kỳ nhiệt: 94°C 3 phút; 35 chu kỳ (94°C 15 giây, 58°C 30 giây, 72°C 30 giây), 72°C trong 5 phút. 2 µg ARN tổng số sau khi xử lý DNase I được sử dụng để tổng hợp cDNA bằng kit RevertAid First Strand cDNA Synthesis Kit (Thermo Scientific). cDNA tổng hợp được sử dụng làm khuôn cho phản ứng PCR sử dụng các cặp mồi đặc hiệu HKT2;1F/R (nhân bản gen *OsHKT2;1*) và ACTF/R (nhân bản gen *Actin1* - đối chứng) (bảng 1). Chu kỳ nhiệt của phản ứng PCR: 94°C 3 phút, các chu kỳ lặp lại (94°C 10 giây, 55°C 30 giây, 72°C 40 giây), 72°C 5 phút. Sản phẩm PCR được điện di trên gel agarose 2%. Sản phẩm PCR của cả 2 gen được tinh sạch bằng GeneJET PCR Purification Kit (Thermo Scientific) và gửi đi giải trình tự tại Công ty 1st base, Singapore. Độ sáng của các băng điện di trên gel agarose được phân tích bằng phần mềm ImageJ.

Kết quả và thảo luận

Hạt của hai giống lúa Nippobare và Pokkali được ngâm ủ và trồng trong dung dịch dinh dưỡng Yoshida. Thí nghiệm xử lý mặn được tiến hành khi cây lúa được 14 ngày tuổi ở 2 mức nồng độ muối khác nhau là 50 và 100 mM NaCl. Kết quả cho thấy, sau khi xử lý mặn được 24 giờ, hiện tượng xoắn nhẹ ở đầu lá được quan sát thấy ở giống Nipponbare ở nhóm thí nghiệm xử lý mặn 100 mM NaCl và tăng hơn 1/3 lá bị xoắn sau 72 giờ xử lý mặn. Tuy nhiên, ở giống chuẩn kháng Pokkali, cây có kiểu hình giống cây ở nhóm đối chứng, không thấy xuất hiện dấu hiệu bị ảnh hưởng của điều kiện mặn.

Mức độ biểu hiện của gen *OsHKT2;1* được phân tích sử dụng kỹ thuật RT-PCR bán định lượng. Kết quả điện di sản phẩm tách chiết ARN tổng số cho thấy, các mẫu ARN thu được đều có băng ARN riboxom sáng rõ, chứng tỏ ARN thu được có chất lượng tốt (hình 1). Đồng thời kết quả đo OD bằng máy đo Nanodrop Spectrophotometer (Nanodrop Technologies, Mỹ) cho thấy, các mẫu ARN có chỉ số A260/A280 trong khoảng 1,9~2,2 và A260/A230>2. Như vậy, ARN tách chiết được có chất lượng tốt để sử dụng cho các bước tiếp theo của thí nghiệm.



Hình 1: kết quả điện di sản phẩm tách chiết ARN tổng số (1-9) từ mô lá trên gel agarose 1%

Để loại bỏ ADN hệ gen trong mẫu ARN, tất cả các mẫu ARN đều được xử lý với enzyme DNase I. Kết quả điện di sản phẩm PCR nhân bản đoạn intron của gen *OsHKT2;1* cho thấy, không có băng nào ở các mẫu đã xử lý DNase I (hình 2, mẫu 3-8). Như vậy, sau khi xử lý DNase I, các mẫu ARN không còn lẫn ADN hệ gen, do đó đảm bảo chất lượng để tiến hành tổng hợp cDNA.

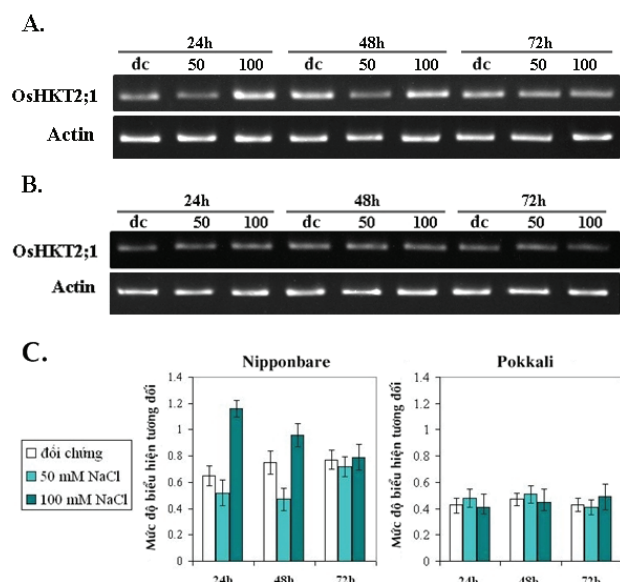


Hình 2: kết quả PCR sử dụng khuôn là ARN tách chiết và cặp mồi IntHKT2;1
1: Marker 100 bp; 2: mẫu ARN chưa xử lý DNase I; 3-8: các mẫu ARN đã xử lý DNase I; (-): đối chứng âm không có khuôn

cDNA được tổng hợp và làm khuôn cho phản ứng PCR nhân bản gen *OsHKT2;1* sử dụng cặp mồi đặc hiệu. Vì mục đích của nghiên cứu là đánh giá mức độ biểu hiện của gen *OsHKT2;1*, so sánh mức độ biểu hiện của gen giữa các điều kiện mặn khác nhau, tại các thời điểm xử lý mặn khác nhau và giữa hai giống lúa khác nhau, nên việc kiểm soát lượng khuôn cDNA dùng cho phản ứng PCR, hiệu suất phản ứng PCR, lượng mẫu để điện di là rất quan trọng và cần thiết để đảm bảo tính chính xác của kết quả thu được. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng gen *Actin1* làm đối chứng để kiểm soát kết quả thu được. Do đó, phản ứng PCR nhân bản gen *Actin1* được tiến hành đồng thời với phản ứng PCR nhân bản gen *OsHKT2;1*. Sản phẩm PCR được gửi đi giải trình tự để kiểm tra đúng là đã nhân bản gen *OsHKT2;1* và gen *Actin1*.

Kết quả sản phẩm PCR nhân bản gen *OsHKT2;1* và gen *Actin1* ở các điều kiện môi trường (0, 50 và 100 mM NaCl), ở các thời điểm xử lý mặn (sau 24, 48 và 72 giờ) được trình bày ở hình 3 (3A: giống Nipponbare, 3B: giống Pokkali). Trong kỹ thuật RT-PCR bán định lượng, độ sáng của băng điện di sản phẩm PCR được

sử dụng để đánh giá tương đối mức độ biểu hiện của gen. Do đó, đồng thời với việc đánh giá độ sáng của băng điện di ở hình 3 bằng mắt thường, chúng tôi tiến hành phân tích hình ảnh bằng phần mềm ImageJ (hình 3C).



Hình 3: phân tích biểu hiện của gen *OsHKT2;1* ở 2 giống lúa Nipponbare và Pokkali ở các điều kiện mặn khác nhau theo thời gian

A: ảnh điện di sản phẩm PCR nhân bản gen *OsHKT2;1* và gen *Actin1* (đối chứng) ở Nipponbare; B: ảnh điện di sản phẩm PCR nhân bản gen *OsHKT2;1* và gen *Actin1* (đối chứng) ở Pokkali;

C: kết quả phân tích với ImageJ trong đó độ sáng của băng điện di gen *OsHKT2;1* được chuẩn hóa với băng điện di gen *Actin1* tương ứng

Kết quả cho thấy, mức độ biểu hiện của gen *Actin1* là không thay đổi ở các điều kiện nghiên cứu và ở cả hai giống lúa. Điều này cho phép chúng tôi hoàn toàn tin tưởng vào kết quả đánh giá mức độ biểu hiện của gen *OsHKT2;1*, vì gen *Actin1* là gen quản gia đã được chứng minh là không thay đổi mức độ biểu hiện ở điều kiện mặn và ở các mô khác nhau [13]. Kết quả ở hình 3A và 3C cho thấy, mức độ biểu hiện của gen *OsHKT2;1* ở giống Nipponbare trong điều kiện bình thường là không có sự thay đổi theo thời gian (so sánh giữa các thời điểm thu mẫu), nhưng mức độ biểu hiện của gen này có sự thay đổi đáp ứng với điều kiện mặn. Cụ thể, khi điều kiện mặn là 50 mM NaCl, thì mức độ biểu hiện của gen *OsHKT2;1* bị giảm dần so với mức độ biểu hiện ở cây đối chứng (ở thời điểm 24 và 48 giờ sau xử lý mặn), sau đó trở về mức độ biểu hiện tương đương với mức độ biểu hiện ở cây đối chứng. Khi nồng độ muối tăng lên 100 mM NaCl thì mức độ biểu hiện của gen *OsHKT2;1* lại tăng mạnh (gấp 2 lần) so với cây đối chứng ở 24 giờ sau xử lý, sau đó giảm dần và trở về mức biểu hiện giống với cây đối chứng. Ngược lại với giống Nipponbare, ở giống Pokkali, chúng tôi

không quan sát thấy sự thay đổi mức độ biểu hiện của gen *OsHKT2;1* trong điều kiện mặn. Đồng thời, mức độ biểu hiện của gen *OsHKT2;1* ở giống Pokkali thấp hơn so với mức độ biểu hiện của gen này ở giống Nipponbare (so sánh giữa các cây đối chứng). Sự khác biệt trong mức độ biểu hiện của gen *OsHKT2;1* giữa hai giống Nipponbare và Pokkali có thể liên quan đến sự khác biệt về mức độ kháng mặn. Protein *OsHKT2;1* được chứng minh có khả năng vận chuyển Na^+ từ môi trường vào tế bào [14]. Vì vậy, ở giống Pokkali gen *OsHKT2;1* không tăng cường biểu hiện nên lượng Na^+ đi vào tế bào sẽ được duy trì ổn định hơn, không gây hại cho tế bào; trong khi đó ở giống Nipponbare, sự tăng cường biểu hiện của gen *OsHKT2;1* sẽ là bất lợi vì có thể dẫn tới sự tăng cường vận chuyển Na^+ vào tế bào, gây độc cho tế bào. Mặc dù cần những nghiên cứu sâu tiếp theo để làm sáng tỏ cơ chế, chức năng của *OsHKT2;1* trong khả năng chịu mặn ở lúa, nhưng kết quả thu được trong nghiên cứu này đã bước đầu cho thấy sự biểu hiện của gen *OsHKT2;1* có liên quan đến tính chống chịu mặn ở cây lúa.

Kết luận

Như vậy, chúng tôi đã đánh giá được mức độ biểu hiện của gen *OsHKT2;1* đáp ứng với các điều kiện mặn ở cây lúa bằng kỹ thuật RT-PCR bán định lượng. Ở giống lúa mặn cảm mặn. Nipponbare, gen *OsHKT2;1* có mức độ biểu hiện cao hơn so với giống lúa kháng mặn Pokkali. Sự biểu hiện của gen *OsHKT2;1* đáp ứng lại điều kiện mặn có mức độ thay đổi tùy thuộc nồng độ muối và thời gian xử lý mặn ở giống lúa mặn cảm mặn Nipponbare và không có thay đổi về mức độ ở giống kháng mặn Pokkali.

Lời cảm ơn

Tập thể tác giả trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ tài chính từ Quỹ Phát triển KH&CN quốc gia thông qua đề tài mã số 106-NN.02-2013.47.

Tài liệu tham khảo

- [1] Narendra Tuteja (2007), "Mechanisms of High Salinity Tolerance in Plants", *Methods in Enzymology*, **428**, pp.421-422.
- [2] Rana Munns (2008), "Mechanisms of Salinity Tolerance", *Annual Review of Plant Biology*, **59**, pp.651-658.
- [3] Zhong-Hai Ren, Ji-Ping Gao, Le-Gong Li, Xiu-Ling Cai, Wei Huang, Dai-Yin Chao, Mei-Zhen Zhu, Zong-Yang Wang, Sheng Luan, Hong-Xuan Lin (2005), "A rice quantitative trait locus for salt tolerance encodes a sodium transporter", *Nature Genetics*, **37**, pp.1141-1146.

- [4] Berthomieu P, Conéjéro G, Nublat A, Brackenbury W.J, Lambert C, Savio C, Uozumi N, Oiki S, Yamada K, Cellier F, Gosti F, Simonneau T, Essah P.A, Tester M, Véry A.A, Sentenac H, Casse F (2003), “Functional analysis of AtHKT1 in Arabidopsis shows that Na⁺ recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance”, *The EMBO Journal*, **22**, pp.2004-2014.
- [5] Ana Rus, Shuji Yokoi, Altanbadralt Sharkhuu, Muppala Reddy, Byeong-ha Lee, Tracie K Matsumoto, Hisashi Koiwa, Jian-Kang Zhu, Ray A Bressan (2001), “AtHKT1 is a salt tolerance determinant that controls Na⁺ entry into plant roots”, *PNAS*, **98(24)**, pp.14150-14155.
- [6] Darren Plett, Darren Plett, Gehan Safwat, Matthew Gilliam, Inge Skrumager Møller, Stuart Roy, Neil Shirley, Andrew Jacobs, Alexander Johnson, Mark Tester (2010), “Improved salinity tolerance of rice through cell type-specific expression of *AtHKT1;1*”, *PLoS ONE*, **5(9)**, e12571.doi:10.1371/journal.pone.0012571.
- [7] Rong Wang, Wen Jing, Longyun Xiao, Yakang Jin, Like Shen, Wenhua Zhang (2015), “The Rice High-Affinity Potassium Transporter1;1 Is Involved in Salt Tolerance and Regulated by an MYB-Type Transcription Factor”, *Plant Physiology*, **168(3)**, pp.1076-1090.
- [8] Michael V Mickelbart, Paul M Hasegawa, Julia Bailey-Serres (2015), “Genetic mechanisms of abiotic stress tolerance that translate to crop yield stability”, *Nature Reviews Genetics*, **16**, pp.224-236.
- [9] Afaq Mian, Ronald J.F.J Oomen, Stanislav Isayenkov, Hervé Sentenac, Frans J.M Maathuis, Anne-Aliénor Véry (2011), “Over-expression of an Na⁺- and K⁺-permeable HKT transporter in barley improves salt tolerance”, *Plant Journal*, **68(3)**, pp.468-479.
- [10] Blanca Garciadeblás, María E Senn, María A Bañuelos, Alonso Rodríguez-Navarro (2003), “Sodium transport and HKT transporters: The rice model”, *The Plant Journal*, **34**, pp.788-801.
- [11] Horie T, Costa A, Kim T.H, Han M.J, Horie R, Leung H.Y (2007), “Rice OsHKT2,1 transporter mediates large Na⁺ influx component into K⁺-starved roots for growth”, *The EMBO Journal*, **26**, pp.3003-3014.
- [12] Shouichi Yoshida, Douglas A Forno, James H Cock, Kwanchai A Gomez (1976), *Laboratory manual for physiological studies of rice*, pp.61-62.
- [13] Mukesh Jain, Aashima Nijhawan, Akhilesh K Tyagi, Jitendra P Khurana (2006), “Validation of housekeeping genes as internal control for studying gene expression in rice by quantitative real-time PCR”, *Biochemical and Biophysical Research Communications*, **345**, pp.646-651.
- [14] Dortje Golldack, Hua Su, Françoise Quigley, Uma R Kamasani, Carlos Muñoz-Garay, Enrique Balderas, Olga V Popova, John Bennett, Hans J Bohnert, Omar Pantoja (2002), “Characterization of a HKT-type transporter in rice as a general alkali cation transporter”, *The Plant Journal*, **31(4)**, pp.529-542.

Nước ảo - một hướng nhìn mới trong quản lý tài nguyên nước

Lương Hữu Dũng*

Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu

Ngày nhận bài 3.8.2015, ngày gửi phản biện 12.8.2015, ngày nhận phản biện 10.9.2015, ngày chấp nhận đăng 18.9.2015

Nước ảo là một khái niệm còn khá mới ở Việt Nam, tính đến nay có thể nói mới chỉ có 2 nghiên cứu chính thức có tính hệ thống về nước ảo. Năm 2010, Bộ Tài Nguyên và Môi trường phê duyệt cho Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường (nay là Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu) thực hiện đề tài cấp bộ “Nghiên cứu đề xuất phương pháp và áp dụng thử nghiệm tính toán lượng nước ảo của Việt Nam”. Đề tài nghiệm thu vào năm 2012, được hội đồng khoa học các cấp nghiệm thu đánh giá cao về tính khoa học, thực tiễn và kiến nghị cần được phát triển thêm để có thể đưa vào ứng dụng trong thực tế công tác quản lý tài nguyên nước (TNN). Trên cơ sở đó, đề tài “Nghiên cứu cơ sở khoa học, đề xuất điều chỉnh cơ cấu sử dụng nước theo quan điểm nước ảo đối với một số sản phẩm nông nghiệp chủ yếu” được phê duyệt thực hiện năm 2013 nhằm bổ sung những vấn đề về ứng dụng trong quản lý TNN. Với kết quả nghiên cứu từ đề tài, bài báo trình bày cách tính nước ảo và một hướng tiếp cận mới trong quản lý TNN.

Từ khóa: nước ảo, tài nguyên nước.

Chỉ số phân loại 1.7

VIRTUAL WATER - A NEW VIEW IN WATER RESOURCES MANAGEMENT

Summary

Virtual water is a new concept in Vietnam. Up to present, there are only two official studies on virtual water. In 2010, the Ministry of Natural Resources and Environment approved for Institute of Meteorology, Hydrology and Environment (now the Institute of Meteorology, Hydrology and Climate Change) to implement a research project named “Research, propose virtual water calculation methods and applications for Vietnam”. The project was completed and highly appreciated in 2012 by the scientific councils at all levels. The projects’ results were found necessary to be extended and applied in reality in water management. Based on this project, the project “Study the scientific basis of water use adjustment under the virtual water perspective for some main crops and animal products” was approved for implementation in 2013 to supplement the practical issues in water resource management. From the results of this project, this paper presents the virtual water calculation methods and a new approach in water resources management.

Keywords: virtual water, water resources.

Classification number 1.7

Mở đầu

Nước luôn được xem là đặc biệt quan trọng trong cuộc sống và gần đây nó đã được coi là hàng hóa. Theo nghĩa đen thì nước khó có thể trao đổi, buôn bán. Nhưng khi xem xét nước dưới góc nhìn nước ảo thì việc trao đổi buôn bán là hoàn toàn có thể. Việc “trao đổi, buôn bán” các loại hàng hóa đều chứa đựng nước để sản xuất ra hàng hóa đó và đó chính là nước ảo. Do vậy, khi xem xét nước dưới dạng nước ảo thì quá trình trao đổi này hoàn toàn có thể xác định được, và như vậy tính toán cân bằng nước trong bài toán quản lý TNN là hoàn toàn thực hiện được khi xem xét trên quan điểm nước ảo.

Khái niệm “nước ảo” ra đời vào giữa những năm 80 của thế kỷ trước khi các nhà kinh tế Ixraen tiến hành nghiên cứu về việc xuất khẩu cam và lê ở đất nước của họ [1]. Khái niệm này sau đó được nhà kinh tế Tony Allan thuộc Trường Nghiên cứu Phương Đông và Châu Phi, Viện Đại học Luân Đôn phát triển. Khi đó, những hiểu biết về nước ảo còn khá là mới và lạ lẫm, đặc biệt trong lĩnh vực quản lý TNN. Phải mất gần một thập kỷ để thế giới công nhận tầm quan trọng của khái niệm này trong vấn

*Email: dungluonghuu@gmail.com

đề an ninh nguồn nước trên toàn thế giới. Với sự đóng góp đó, John Anthony Allan được nhận giải thưởng Stockholm về nước năm 2008.

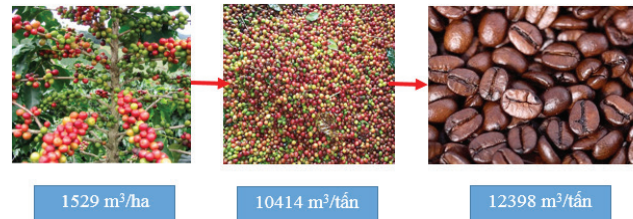
Quản lý TNN dưới góc nhìn nước ảo

Trong quản lý TNN, công việc xác định đối tượng, nhu cầu nước của mỗi đối tượng sử dụng nước và tính toán cân bằng nước của vùng hay lưu vực sông là không thể thiếu. Từ trước đến nay, xác định nhu cầu nước của một đối tượng sử dụng nước mới chỉ xét đến lượng nước thực cần cho cây trồng và vật nuôi (ví dụ như nhu cầu tưới cho cây cà phê, cây lúa lấy từ nước mưa và sông suối hoặc nước ngầm) mà chưa xét đến lượng nước cần cho sản phẩm của đối tượng sử dụng nước đó, vì thế bài toán cân bằng nước dường như mới chỉ xét ở “dạng thô” - cân bằng giữa lượng nước đến và lượng nước dùng “chưa đầy đủ và tối thiểu”. Rõ ràng bài toán cân bằng nước với đầu vào như vậy là chưa đầy đủ khi xem xét đến giá trị lợi ích của sản phẩm và giá trị của nước. Thêm nữa, với bài toán cân bằng như vậy đối với một vùng hay quốc gia thì mới chỉ xem xét một chiều là mất đi ở nhu cầu nước thực, chưa xem xét được lượng nhập vào; chưa xem xét cân bằng đến nguồn nước sử dụng để tạo ra sản phẩm cuối cùng. Do vậy, nếu chúng ta nhìn nhận nhu cầu nước dưới dạng nước ảo, thì bài toán cân bằng nước hoặc bài toán tổng thể nghiên cứu lợi ích giữa kinh tế - nguồn nước - xã hội sẽ đầy đủ, toàn diện hơn, đó là chúng ta có thể xác định nhu cầu nước xét đến sản phẩm cuối được sử dụng trong xã hội và từ đó bài toán cân bằng nước cũng xem xét được cả khía cạnh lượng nước nhập vào từ nguồn nước ảo của sản phẩm nhập khẩu, mà theo phương pháp thông thường lượng nước nhập vào chỉ được xét từ nguồn nước thực chuyển đến. Mặt khác, khi xét đến nước ảo thì bài toán về tính thuế của sản phẩm, thuế nước và bài toán quy hoạch sử dụng đất, quy hoạch sử dụng nước sẽ mang lại lợi ích, sự phát triển bền vững kinh tế - xã hội và tài nguyên nước.

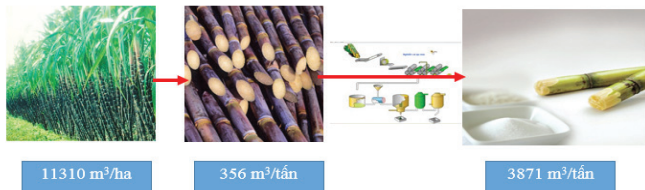
Sự khác biệt của bài toán xác định nhu cầu nước và cân bằng nước như nêu ở trên có thể lý giải từ ý nghĩa của nước ảo:

- Khái niệm nước ảo: là lượng nước cần thiết để sản xuất một đơn vị sản phẩm hàng hóa, nó không thực sự có trong sản phẩm hay hàng hóa. Ví dụ, đối với sản phẩm hạt cà phê, nước ảo chính là lượng nước cần thiết để sản xuất ra một đơn vị sản phẩm (1 tấn cà phê hạt) mà không phải lượng nước thực sự tồn tại trong 1 tấn cà phê đó. Với khái niệm này, bằng cách quy đổi thì

nước ảo có thể được ứng dụng trong tất cả các ngành và giúp chúng ta nhận biết được lượng nước thực cần thiết để sản xuất những sản phẩm và hàng hóa khác nhau [2]. Hình 1, 2 là minh họa về lượng nước cần dùng để tạo ra một sản phẩm.



Hình 1: lượng nước sử dụng để tạo thành sản phẩm trong sản xuất cà phê [2]



Hình 2: lượng nước sử dụng để tạo thành sản phẩm trong sản xuất đường [2]

- Liên quan đến “nước ảo” còn có khái niệm dấu ấn nước (*Water footprint*), là tổng lượng nước được sử dụng trong tất cả các khâu sản xuất để tạo ra sản phẩm. Dấu ấn nước thay đổi theo không gian và thời gian và được chia ra 3 thành phần:

Thành phần dấu ấn nước xanh lá (green water footprint) là lượng nước mưa tiêu hao trong suốt quá trình sản xuất ra sản phẩm (đối với nông nghiệp là lượng nước mưa dùng trong quá trình sinh trưởng và phát triển của cây trồng, gồm lượng bốc hơi nước cây trồng và mặt ruộng trong suốt quá trình sinh trưởng, phát triển của cây trồng).

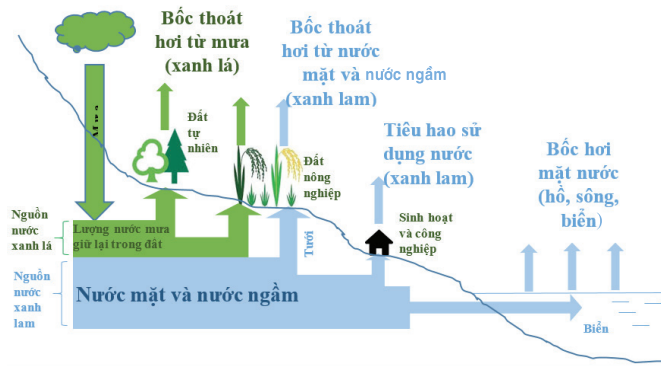
Thành phần dấu ấn nước xanh lam (blue water footprint) là lượng nước tiêu hao trong quá trình sử dụng nguồn nước mặt hay nước ngầm trong suốt quá trình sản xuất ra sản phẩm (đối với nông nghiệp là lượng nước dùng cho sự phát triển của động thực vật và để sản xuất hàng hóa).

Thành phần dấu ấn nước xám (gray water footprint) là lượng nước bị ô nhiễm trong quá trình sản xuất (hoặc lượng nước cần để pha loãng nước bị ô nhiễm để đạt tiêu chuẩn cho phép).

Đối với sản xuất nông nghiệp, “nước xanh lam” của cây trồng là tổng lượng bốc thoát hơi của nước tưới từ ruộng và lượng bốc hơi từ hệ thống tưới và lượng nước mặt hay nước ngầm thoát sang lưu vực khác hoặc hồi quy trong lưu vực nhưng không cùng một thời gian.

Trong trường hợp sản xuất công nghiệp và cấp nước sinh hoạt, thành phần của nước xanh lam trong hàng hóa hay dịch vụ là phần nước bị bốc hơi và không quay trở lại hệ thống.

Hình 3 phân biệt giữa dòng nước xanh lam và xanh lá trong tự nhiên cũng như trong sản xuất. Việc phân biệt giữa dấu ấn nước xanh lam và xanh lá là rất cần thiết. Nó thể hiện quá trình sử dụng nước từ nước mặt và nước dưới đất hoặc nước mưa. Ngoài ra, chi phí sử dụng các loại nguồn nước này cũng khác nhau. Cả 2 thành phần này của nước ảo đều đề cập đến bốc hơi, trong khi nhân tố nước xám lại đề cập đến ô nhiễm. Cả bốc hơi và ô nhiễm đều thể hiện lượng nước được sử dụng không hoàn lại trong quá trình sản xuất (hoặc lượng nước bị tiêu hao). Như vậy, lượng nước ảo trong sản xuất nông nghiệp có thể chia ra làm 3 thành phần tương ứng là lượng nước xanh lá, xanh lam và xám.



Hình 3: phân biệt thành phần dấu ấn nước xanh lam và xanh lá [2]

- Buôn bán nước ảo: song hành với khái niệm nước ảo là buôn bán nước. Đây là sự trao đổi sản phẩm, hàng hóa hàm chứa lượng nước để tạo ra sản phẩm. Trong thị trường hàng hóa, đặc biệt là lương thực, thực phẩm, có một “dòng nước ảo” (virtual water flow) dịch chuyển từ các nước xuất khẩu hàng hóa tới các nước nhập khẩu những hàng hóa đó. Thay vì phải tự sản xuất, những nước nhập khẩu có thể sử dụng lượng nước này cho những mục đích khác cần thiết hơn. Điều này có tác dụng tiết kiệm nguồn nước sử dụng của quốc gia cho mục đích khác (đem lại lợi ích cao hơn về mặt kinh tế và xã hội) mà không gây áp lực lên TNN của quốc gia.

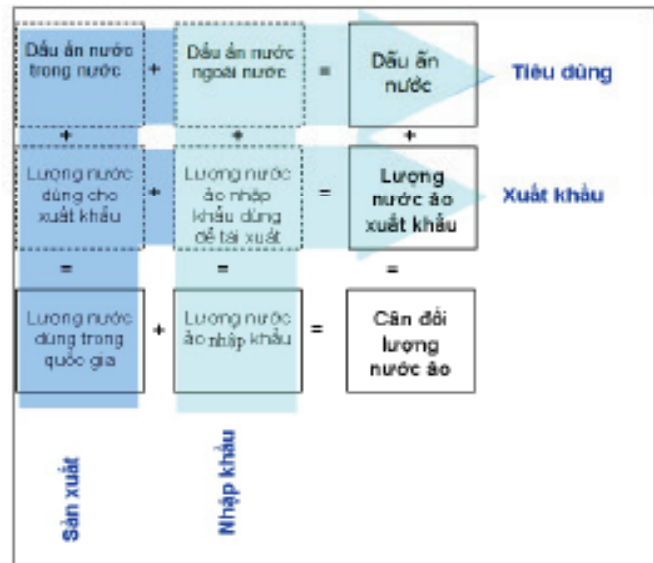
Đối với một quốc gia, tổng “dấu ấn nước” được xem là tổng lượng nước được sử dụng để sản xuất hàng hóa, dịch vụ (nước ảo) và lượng nước sinh hoạt được tiêu dùng bởi dân cư sống trong quốc gia đó. Lượng này được chia thành 2 thành phần:

Dấu ấn nước nội tại (internal water footprint) của

một vùng/quốc gia: là lượng nước dùng trong vùng/quốc gia đó để sản xuất hàng hóa và dịch vụ phục vụ dân cư trong nước.

Dấu ấn nước bên ngoài (external water footprint) của một vùng/quốc gia: là lượng nước được sử dụng ở một vùng/quốc gia khác để sản xuất hàng hóa và dịch vụ được nhập khẩu phục vụ dân cư trong nước.

Tổng lượng nước nhập khẩu/xuất khẩu khi xét đến nước ảo (gross virtual water import/export) của một quốc gia là tổng lượng nước hàm chứa trong hàng hóa mà quốc gia đó nhập khẩu hay xuất khẩu. Hiệu số giữa lượng nước ảo nhập khẩu và xuất khẩu cho ta biết trạng thái nhập khẩu/xuất khẩu nước ảo ròng của một quốc gia (*net virtual import*). Nhập khẩu nước ảo ròng nếu nhỏ hơn không, khi đó gọi là xuất khẩu nước ảo ròng (*net virtual export*) và ngược lại (hình 4).



Hình 4: khung kiểm toán sử dụng nước quốc gia trên quan điểm buôn bán nước ảo [3]

TNN không những có giá trị về mặt kinh tế - xã hội, nó là một loại nguyên liệu không thể thiếu trong sinh hoạt, sản xuất nông nghiệp, công nghiệp, thủy sản..., mà còn có giá trị về mặt môi trường và duy trì đa dạng sinh học và hệ sinh thái. Dân số tăng nhanh và kinh tế phát triển dẫn đến nhu cầu sử dụng nước cho các ngành tăng, chất lượng nước mặt suy giảm do lượng chất thải đổ vào nguồn nước tăng, trong khi đó TNN là hữu hạn và nảy sinh mâu thuẫn, cạnh tranh trong hưởng lợi từ nguồn nước và sử dụng nước. Thêm nữa, sự thay đổi khí hậu làm cho nguồn nước ở nhiều nơi đang trong tình trạng khan hiếm. Điều này dẫn đến những cạnh tranh giữa các ngành/các vùng/các quốc gia trong sử dụng nước.

Theo một số nghiên cứu của Bộ Tài nguyên và Môi trường [2, 3], trong thời gian qua nhiều khu vực đang thiếu nước như miền Trung, Tây Nguyên và Đông Nam Bộ. Lượng nước trong mùa khô có những vùng gần như không đáp ứng đủ nhu cầu sử dụng. Bên cạnh đó, sức ép gia tăng dân số và phát triển kinh tế sẽ tiếp tục làm gia tăng ảnh hưởng tiêu cực đến môi trường và đặc biệt là gia tăng khan hiếm nguồn nước, từ đó dẫn đến gia tăng mâu thuẫn về chia sẻ lợi ích tài nguyên nước. Ở một số sông Bắc Bộ, Nam Trung Bộ, Đông Nam Bộ và Tây Nguyên, tình trạng khan hiếm nguồn nước vào mùa khô trong những năm gần đây đã xảy ra và có vùng hết sức gay gắt. Theo tính toán, vào mùa khô thì chỉ số khai thác nguồn nước cho một số khu vực có thể vượt trên ngưỡng 100% [3]. Điều này có nghĩa là sử dụng nước quá lớn so với lượng nước có, gây áp lực lên nguồn nước trong mùa khô. Thực tế này đòi hỏi có chính sách quản lý TNN bền vững và hiệu quả để tránh tình trạng mâu thuẫn lợi ích trong sử dụng nước (nước cho thủy điện, nông nghiệp, sinh hoạt và công nghiệp mùa khô), đem lại hiệu quả sử dụng nước và an ninh về nước cho phát triển kinh tế - xã hội bền vững.

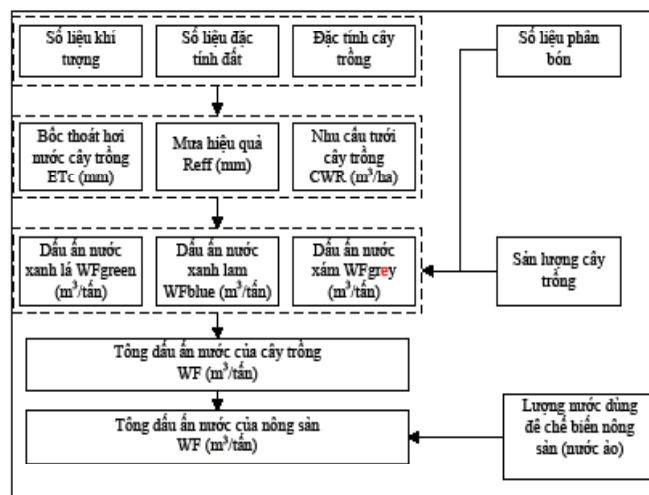
Hiện nay trên thế giới, trong khi nhiều quốc gia đã tính đến giá trị của nước trong sản phẩm thì Việt Nam dường như vẫn chỉ tính và xem xét “giá trị thực” mà TNN mang lại. Trong khi nước ta đang đứng trước nguy cơ thiếu nước, mà ngoài sự lãng phí tài nguyên, thì nguyên nhân chính là do chính sách của chúng ta dường như chưa nhìn thấy giá trị to lớn của nước theo quan điểm nước ảo. Theo nghiên cứu [2], thì Tây Nguyên hàng năm xuất khoảng 7,8 tỷ m³ nước ảo, chủ yếu từ việc xuất khẩu cà phê; vùng Đồng bằng sông Cửu Long xuất khẩu khoảng 19,3 tỷ m³/năm từ xuất khẩu cá tra và gạo. Điều đó có nghĩa, chúng ta xuất khẩu 27,1 tỷ m³ nước (gấp 4,5 lần dung tích hồ Hòa Bình) ra thế giới nhưng dường như chưa mang lại sự giàu có, chưa mang lại nhiều lợi ích to lớn, lâu dài từ giá trị của TNN - vàng trắng.

Với các khái niệm như vậy về nước ảo, trong quản lý TNN khi xác định nhu cầu nước, chúng ta có thể xác định được nhu cầu nước đến từng sản phẩm của đối tượng sử dụng nước; việc cân bằng nước sẽ xét được cả bài toán vĩ mô liên ngành và liên vùng; thành phần cân bằng của phương trình cân bằng nước sẽ xem xét được cả lượng nước nhập vào từ sản phẩm nhập khẩu; và trên hết là trong quá trình tính toán cân bằng có cơ sở để xác định được giá trị kinh tế của nguồn nước khi

có sự trao đổi. Như vậy, có thể nói việc tính toán đó có thể là toàn diện hơn, đầy đủ hơn, và nước được nhìn nhận là sử dụng rất nhiều để tạo ra sản phẩm, từ đó có cơ sở hơn trong việc định giá sản phẩm. Từ đó, theo quan điểm của tác giả, thì “Nước ảo” sẽ giúp cho các nhà hoạch định có cái nhìn cụ thể hơn trong quản lý TNN và trong phát triển kinh tế vĩ mô cũng như đưa ra quy hoạch phát triển kinh tế dài hạn. Ví dụ như trong sản xuất lúa, khi đã quan tâm đến nước ảo, nhà quy hoạch sẽ phải lưu tâm đến vùng nào nên trồng và vùng nào không nên trồng lúa nước, trồng bao nhiêu là phù hợp với nguồn nước hiện có trong tổng thể phát triển kinh tế. Bên cạnh đó, nhà quy hoạch sẽ phải tính đến chuyện phát triển sản xuất gì ở trên vùng ít nước vừa mang lại hiệu quả vừa đảm bảo sự cân bằng của TNN.

Phương pháp tính toán nước ảo cho lúa và nông sản

Phương pháp tính toán nước ảo cho lúa và nông sản ở Việt Nam được thực hiện theo sơ đồ dưới đây (hình 5) [2, 3].



Hình 5: sơ đồ phương pháp tính toán nước ảo cho lúa và nông sản ở Việt Nam

Tính toán dẫn ấn nước xanh lá và xanh lam [1, 3, 4]

Dẫn ấn nước xanh lá tồn tại trong quá trình sinh trưởng của cây trồng ($WF_{proc, green}$, m³/tấn) được tính từ lượng nước mưa (nước xanh lá) sử dụng cho cây trồng (CWR_{green} , m³/ha) chia cho năng suất thu hoạch (Y , tấn/ha). Lượng nước xanh lam ($WF_{proc, blue}$, m³/tấn) cũng được tính theo cách tương tự, tính từ lượng nước mặt hay nước ngầm (nước xanh lam) sử dụng cho cây trồng (CWR_{blue} , m³/ha) chia cho năng suất thu hoạch (Y , tấn/ha):

$$WF_{proc,green} = \frac{CWR_{green}}{Y} \quad (1)$$

$$WF_{proc,blue} = \frac{CWR_{blue}}{Y} \quad (2)$$

Trong đó, lượng nước xanh lá (CWR_{green} , m³/ha) bằng tích lũy tổng lượng bốc thoát hơi nước ngày từ nước mưa (ET_{green} , mm/ngày) trong suốt quá trình sinh trưởng. Thành phần nước xanh lam bao gồm lượng bốc thoát hơi nước xanh lam và tổng lượng nước tổn thất trong quá trình tưới:

$$CWR_{green} = 10 \times \sum_{i=1}^{Lgp} ET_{green} \quad (3)$$

$$CWR_{blue} = 10 \times (\sum_{i=1}^{Lgp} ET_{blue} + W_{loss}) \quad (4)$$

Trong đó: CWR_{green} là lượng nước xanh lá cây trồng sử dụng biểu thị lượng mưa đã bốc hơi từ mưa trong suốt quá trình sinh trưởng; CWR_{blue} : lượng nước xanh lam cây trồng sử dụng biểu thị lượng nước tưới đã bốc hơi trong suốt quá trình sinh trưởng; ET_{green} : lượng bốc thoát hơi nước xanh lá; ET_{blue} : lượng bốc thoát hơi nước xanh lam; W_{loss} : lượng nước tổn thất trong quá trình tưới và lượng nước tưới không hồi quy trở lại sông và nước ngầm; Lgp : độ dài sinh trưởng của cây trồng.

Tính lượng bốc thoát hơi nước xanh lá và xanh lam từ ET_c [1, 3, 4]

Trong một trận mưa, chỉ một phần lượng mưa được giữ lại trong đất và được cây trồng sử dụng để sinh trưởng và phát triển. Lượng mưa này được gọi là lượng mưa hiệu quả (R_{eff} , mm). Khi lượng mưa hiệu quả vượt quá lượng bốc thoát hơi nước tiềm năng ET_c của cây trồng thì tổng lượng bốc thoát hơi nước tiềm năng chính là tổng lượng bốc thoát hơi nước xanh lá. Ngược lại, khi bốc thoát hơi nước tiềm năng lớn hơn tổng lượng mưa hiệu quả thì lượng bốc thoát hơi nước xanh lá bằng tổng lượng mưa hiệu quả:

$$\sum_{i=1}^{Lgp} ET_{green} = \min \left(\sum_{i=1}^{Lgp} R_{eff}, \sum_{i=1}^{Lgp} ET_c \right) \quad (5)$$

Trên cơ sở kết hợp các công thức (1), (3) và (5), dấu ấn nước xanh lá được tính theo công thức sau :

$$WF_{proc,green} = \frac{10 \times \min \left(\sum_{i=1}^{Lgp} R_{eff}, \sum_{i=1}^{Lgp} ET_c \right)}{Y} \quad (6)$$

Đối với thành phần bốc thoát hơi nước xanh lam ET_{blue} , trong trường hợp lượng mưa hiệu quả lớn hơn lượng nước tưới, thì ET_{blue} được lấy bằng 0. Trong trường hợp ngược lại, ET_{blue} được lấy bằng hiệu số giữa ET_c và R_{eff} :

$$\sum_{i=1}^{Lgp} ET_{blue} = \min \left(\sum_{i=1}^{Lgp} ET_c - \sum_{i=1}^{Lgp} R_{eff}, 0 \right) \quad (7)$$

Thành phần ET_{blue} có ý nghĩa khi chỉ xem xét ảnh hưởng của lượng bốc thoát hơi nước từ mưa và lượng nước bốc thoát hơi nước từ tưới của cây trồng. Trong bài toán tính tổng dấu ấn nước của nông sản, để rút gọn khối lượng tính toán, dấu ấn nước xanh lam có thể xác định trực tiếp theo tổng nhu cầu tưới của cây trồng, không cần tính tách biệt giữa ET_{blue} và W_{loss} .

Tính toán lượng nước xám [1, 3, 4]

Công thức tính dấu ấn nước theo Hoekstra và Chapagain [5]:

$$WF_{grey} = \frac{\alpha \times AR(c_{max} - c_{nat})}{Y} \quad (8)$$

Trong đó: α là hệ số thâm thấu; AR (kg/ha): lượng phân bón sử dụng trên một hecta đất canh tác; c_{max} , c_{nat} (kg/m³): nồng độ tối đa cho phép và nồng độ tự nhiên của chất hóa học gây ô nhiễm; Y (tấn/ha) là năng suất cây trồng.

Các chất gây ô nhiễm thường có trong phân bón (nitơ, photpho...), thuốc trừ sâu và thuốc diệt cỏ. Để đơn giản trong quá trình tính toán, coi như chỉ có duy nhất một “dòng nước thải” chảy vào nguồn nước ngọt, theo tỷ lệ tổng lượng phân bón hoặc thuốc trừ sâu sử dụng trên đồng ruộng. Khi đó, chỉ cần tính cho chất ô nhiễm nghiêm trọng nhất hay có dấu ấn nước xám cao nhất.

Kết luận

Bài báo đã trình bày khái niệm về nước ảo, cách tính toán từng thành phần đầu ấn nước xanh lá, xanh lam và nước xám của nước ảo trong nông nghiệp, đồng thời đã đưa ra quan điểm về việc ứng dụng khái niệm nước ảo trong tính toán nhu cầu nước và cân bằng nước. Với cách nhìn như vậy, theo quan điểm của tác giả, việc tính toán nhu cầu nước của các đối tượng sử dụng nước trong bài toán cân bằng nước trong quản lý TNN sẽ đầy đủ hơn; và tính toán cân bằng nước sẽ bao quát hơn (do thành phần của phương trình cân bằng sẽ có cả thành phần nước nhập khẩu từ sản phẩm).

Bài báo này gợi ý một hướng tiếp cận mới về quản lý, cân đối TNN dựa trên quan điểm kinh tế nước. Đây là một vấn đề mới, do vậy hướng tiếp cận quản lý TNN theo quan điểm nước ảo và việc ứng dụng vào thực tiễn cần phải có thời gian kiểm chứng và đầu tư nghiên cứu hơn nữa.

Lời cảm ơn

Tác giả xin chân thành cảm ơn Bộ Tài nguyên và Môi trường, Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu và các chuyên gia đã giúp đỡ trong quá trình nghiên cứu.

Tài liệu tham khảo

[1] Allan J.A (1997), “Virtual Water: A long term solution for water short Middle Eastern economies”, *Paper presented at the 1997 British Association Festival of Science*, Roger Stevens Lecture Theatre, University of Leeds, Water and Development Session.

[2] Lương Hữu Dũng (2015), *Nghiên cứu cơ sở khoa học đề xuất điều chỉnh cơ cấu sử dụng nước theo quan điểm nước ảo đối với một số sản phẩm nông nghiệp chủ yếu*, Đề tài khoa học thuộc Bộ Tài nguyên và Môi trường.

[3] Lương Hữu Dũng (2010), *Nghiên cứu đề xuất phương pháp và áp dụng thử nghiệm tính toán lượng nước ảo của Việt Nam*, Đề tài khoa học thuộc Bộ Tài nguyên và Môi trường.

[4] Hoekstra A.Y & Hung P.Q (2002), “Virtual water trade. A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade”, *Value of water research report series*, No.11, UNESCO-IHE.

[5] Aldaya M.M, Chapagain A.K, Hoekstra A.Y, Mekonnen M.M (2012), “The water footprint assessment manual: Setting the global standard”, *Routledge*.

QUY ĐỊNH VỀ BÀI VIẾT ĐĂNG TẢI TRÊN TẠP CHÍ

Yêu cầu chung

Bài viết gửi đăng trên Tạp chí phải là bài viết nguyên thủy (chưa được công bố trước đó). Tác giả không được gửi đăng bài viết trên các tạp chí khác cho đến khi có quyết định xét duyệt của Ban Biên tập.

Bài báo dài không quá 10 trang (bao gồm cả bảng biểu, ghi chú, tài liệu tham khảo và phụ lục); font chữ: Times New Roman; cỡ chữ 13; khổ giấy A4, lề trên 2 cm, lề dưới 2 cm, lề trái 3 cm, lề phải 2 cm.

Bài viết gửi về Tòa soạn dưới dạng file mềm và bản in; có thể gửi trực tiếp đến Tạp chí (Phòng 507, số 113 Trần Duy Hưng, Cầu Giấy, Hà Nội) hoặc qua hòm thư điện tử, địa chỉ: khcnvn@most.gov.vn.

Tên bài báo

- Tên bài báo được viết bằng tiếng Việt và tiếng Anh, trên trang đầu của bài báo, không gạch chân hay viết nghiêng.

- Tên bài báo phải ngắn gọn, rõ ràng và phù hợp với nội dung bài báo.

- Phía dưới tên bài báo là tên tác giả không viết chức danh và học hàm, học vị. Nếu có nhiều tác giả làm việc ở các cơ quan khác nhau thì tên tác giả được đánh số (^{1,2...}) ở phía trên. Dấu hoa thị (*) chỉ tác giả liên hệ, được viết ở cuối trang đầu tiên của bài báo.

Tóm tắt

Tóm tắt bằng tiếng Việt và tiếng Anh. Nêu được mục đích, phương pháp nghiên cứu chính, kết quả nghiên cứu và kết luận chủ yếu. Từ khoá bằng cả tiếng Việt và tiếng Anh theo thứ tự alphabet. Chỉ số phân loại (theo hướng dẫn).

Dẫn nhập/đặt vấn đề

Định nghĩa vấn đề, tóm lược vấn đề nghiên cứu đã được công bố trong và ngoài nước, nêu mục tiêu nghiên cứu và giải thích sự lựa chọn đề tài và mục tiêu nghiên cứu để thấy được tính thời sự, tính khoa học và sự cần thiết của vấn đề nghiên cứu.

Đối tượng và phương pháp

Đối tượng nghiên cứu cần trình bày tiêu chuẩn lựa chọn, đặc điểm đối tượng nghiên cứu.

Phương pháp nghiên cứu cần nêu rõ cách tiếp cận nghiên cứu, loại hình nghiên cứu, phương pháp đo lường, công thức tính cỡ mẫu, phương pháp xử lý số liệu, mô tả kỹ các kỹ thuật tiến hành trong nghiên cứu; các quan điểm, lập luận, ý kiến tranh luận, các dẫn chứng...

Kết quả

Trình bày đầy đủ, khách quan các kết quả thu được sau nghiên cứu, các kết quả này phải phục vụ cho mục tiêu nghiên cứu. Các số liệu phải chính xác và khớp với nhau.

Phần kết quả nghiên cứu chỉ trình bày các kết quả nghiên cứu của đề tài, không giải thích, so sánh và bàn luận.

Bàn luận

Chủ yếu bàn luận các vấn đề liên quan đến mục tiêu đề tài.

Nhận xét, đánh giá một cách khách quan các kết quả nghiên cứu, có so sánh với các tác giả khác để khẳng định hoặc phủ định những hiểu biết đã có, qua đó nêu được những điểm mới và đóng góp của đề tài.

Dự báo hướng nghiên cứu tiếp và khả năng ứng dụng các kết quả nghiên cứu vào thực tiễn.

Kết luận

Nêu kết quả nghiên cứu chủ yếu của đề tài có tính khái quát liên quan đến mục tiêu nghiên cứu, đề xuất các vấn đề tiếp tục nghiên cứu.

Chú thích và tài liệu tham khảo

Chú thích được đánh số theo thứ tự xuất hiện (^{1,2,3...}) và được trình bày ngay ở cuối trang viết (footnote). Các tài liệu tham khảo được đánh số theo thứ tự xuất hiện để chỉ dẫn chúng được trích dẫn ở đâu trong bài báo. Số thứ tự được đánh trong ngoặc vuông, ví dụ: [3] với 1 hoặc [2, 5, 7-9] với nhiều số chỉ dẫn.

Tác giả (Năm xuất bản), "Tên tài liệu được trích dẫn", *Tên nguồn*, **tập (số)**, pp<trang đầu-trang cuối>

Tác giả: là tác giả/các tác giả của tài liệu được tham khảo, trích dẫn.

Năm xuất bản: năm xuất bản của tài liệu được tham khảo, trích dẫn.

Tên tài liệu được trích dẫn: là tên bài báo, chương/phần sách...

Tên nguồn có thể là tên tạp chí, tên sách, hay tên tài liệu gốc của tài liệu được trích dẫn (phần này được in nghiêng).

Tập (số): dành cho nguồn trích là tạp chí, sách hoặc các xuất bản phẩm khác (phần này in đậm).

Trang đầu-trang cuối là số thứ tự các trang phản ánh nơi cư trú của tài liệu được trích dẫn trong tài liệu nguồn.

Chú ý: nếu có ≥ 2 tài liệu tham khảo do cùng 1 tác giả/nhóm tác giả, cùng năm công bố, thì các tài liệu tham khảo này cần được đánh dấu a, b... sau năm xuất bản (ví dụ: 1986a).

Nếu có một số tài liệu tham khảo trong cùng 1 bài báo được trích dẫn có số trang khác nhau thì cần trích dẫn thêm số trang, ví dụ: Kitchen (1982, p 39).

Các yêu cầu khác

- Bài viết không đạt yêu cầu, Tòa soạn không trả lại bản thảo.

- Bài viết chỉ được đăng khi phản biện nhận xét về chất lượng bài báo đồng ý cho đăng.

- Bản quyền: tác giả đồng ý trao bản quyền bài viết (bao gồm cả phần tóm tắt) cho Ban Biên tập Tạp chí.

PHÂN LOẠI LĨNH VỰC KHOA HỌC

1. Khoa học tự nhiên

- 1.1. Toán học và thống kê
- 1.2. Khoa học máy tính và thông tin
- 1.3. Vật lý
- 1.4. Hóa học
- 1.5. Khoa học trái đất và môi trường
- 1.6. Khoa học sự sống
- 1.7. Khoa học nano
- 1.8. Khoa học tính toán
- 1.9. Các lĩnh vực khác của khoa học tự nhiên

2. Khoa học kỹ thuật và công nghệ

- 2.1. Kỹ thuật dân dụng: kỹ thuật kiến trúc; kỹ thuật xây dựng; kỹ thuật kết cấu và đô thị; kỹ thuật giao thông vận tải; kỹ thuật thủy lợi; kỹ thuật địa chất công trình
- 2.2. Kỹ thuật điện, kỹ thuật điện tử, kỹ thuật thông tin
- 2.3. Kỹ thuật cơ khí, chế tạo máy
- 2.4. Kỹ thuật hóa học
- 2.5. Kỹ thuật vật liệu và luyện kim
- 2.6. Kỹ thuật y học
- 2.7. Kỹ thuật môi trường
- 2.8. Công nghệ sinh học công nghiệp
- 2.9. Công nghệ nano
- 2.10. Kỹ thuật thực phẩm và đồ uống
- 2.11. Các lĩnh vực khác của khoa học kỹ thuật và công nghệ

3. Khoa học y - dược

- 3.1. Y học cơ sở
- 3.2. Y học lâm sàng
- 3.3. Y học dự phòng
- 3.4. Dược học
- 3.5. Các lĩnh vực khác của Y - dược học

4. Khoa học nông nghiệp

- 4.1. Trồng trọt
- 4.2. Chăn nuôi
- 4.3. Thú y
- 4.4. Lâm nghiệp
- 4.5. Thủy sản
- 4.6. Công nghệ sinh học trong nông nghiệp, thủy sản
- 4.7. Các lĩnh vực khác của khoa học nông nghiệp

5. Khoa học xã hội và nhân văn

- 5.1. Tâm lý học
- 5.2. Kinh tế và kinh doanh
- 5.3. Khoa học giáo dục
- 5.4. Xã hội học
- 5.5. Pháp luật
- 5.6. Khoa học chính trị
- 5.7. Địa lý kinh tế và xã hội
- 5.8. Thông tin đại chúng và truyền thông
- 5.9. Lịch sử và khảo cổ học
- 5.10. Ngôn ngữ học và văn học
- 5.11. Triết học, đạo đức và tôn giáo
- 5.12. Nghiên cứu về khu vực và quốc tế
- 5.13. Các lĩnh vực khác của khoa học xã hội và nhân văn

TẠP CHÍ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM

Vietnam Journal of Science and Technology - MOST

Volume 58 - Number 2 - February 2016

Giải pháp tái cấu hình cho bộ tổ hợp tần số công nghệ CMOS trong thiết bị thông tin vô tuyến nhận thức.

Vũ Lê Hà, Phan Hồng Minh...

Thiết kế bộ điều biến vi tích phân bậc 3, tỷ số tín hiệu trên nhiễu đạt 110 dB và tỷ lệ quá lấy mẫu 512 cho chip ADC 24-bit ở công nghệ CMOS 130 nm.

Hồ Quang Tây, Đoàn Duy...

Một quy luật thay đổi ma trận trọng số trong hàm mục tiêu của bộ điều khiển dự báo để xét tính ổn định hệ thống TRMS dựa trên phương pháp quy hoạch động của Bellman.

Nguyễn Thị Mai Hương, Lại Khắc Lãi...

Cấu trúc, tính chất từ và hiệu ứng từ nhiệt của hệ mẫu băng $\text{La}_{1+x}\text{Fe}_{10,5-x}\text{CoSi}_{1,5}$.

Nguyễn Hải Yến, Nguyễn Huy Dân...

Thiết kế và mô phỏng hoạt động của vi chấp hành nhiệt điện silicon-polymer.

Chữ Đức Trình, Đặng Văn Hiếu...

Nghiên cứu sự biến động theo mùa của chế độ thủy động lực khu vực cửa sông ven biển lưu vực sông Mã.

Nguyễn Thanh Hùng, Vũ Đình Cường...

Nghiên cứu sự hình thành và tuổi nước dưới đất Đồng bằng Nam Bộ bằng kỹ thuật đồng vị.

Đoàn Văn Cảnh, Châu Trần Vĩnh...

Phân tích biến dị trong hệ gen của 99 cá thể người dân tộc Kinh.

Nguyễn Cường, Trương Nam Hải...

Nghiên cứu mức độ biểu hiện của gen OsHKT2;1 đáp ứng điều kiện mặn ở cây lúa bằng phương pháp RT-PCR bán định lượng.

Đỗ Thị Phúc, Phạm Quỳnh Hoa

Nước ảo - một hướng nhìn mới trong quản lý tài nguyên nước.

Lương Hữu Dũng

1 A reconfiguration solution for CMOS frequency synthesizer in cognitive radio devices.

Vu Le Ha, Phan Hong Minh...

9 A 110 dB SNR, 512 OSR, third order delta-sigma modulator for 24-bit ADC in 130 nm CMOS process.

Ho Quang Tay, Doan Duy...

14 A rule of change of weight matrix in objective function in model predictive control in order to consider stability for TRMS based on Bellman's dynamic programming method.

Nguyen Thi Mai Huong, Lai Khac Lai...

20 Structure, magnetic properties and magnetocaloric effect of $\text{La}_{1+x}\text{Fe}_{10,5-x}\text{CoSi}_{1,5}$ ribbons.

Nguyen Hai Yen, Nguyen Huy Dan...

24 Design and simulation of a silicon-polymer electrothermal microactuator.

Chu Duc Trinh, Dang Van Hieu...

32 Seasonal changes of hydrodynamic regime at the estuarine and coastal area of Ma river basin.

Nguyen Thanh Hung, Vu Dinh Cuong...

40 The formation and age of groundwater of the Nam Bo plain as studied by isotope technique.

Doan Van Canh, Chau Tran Vinh...

46 Genome analysis of 99 Kinh People.

Nguyen Cuong, Truong Nam Hai...

54 Study on expression level of OsHKT2;1 gene in response to salt stress in rice by semi-quantitative RT-PCR analysis.

Do Thi Phuc, Pham Quynh Hoa

59 Virtual water - a new view in water resources management.

Luong Huu Dung