

Ứng dụng mạng cảm biến không dây để điều khiển và giám sát các bộ điều khiển đèn tín hiệu giao thông

Cao Nguyễn Khoa Nam^{1*}, Nguyễn Thị Kim Trúc², Võ Đại Bình³

¹Trường Cao đẳng Công nghệ Đà Nẵng

²Trường Đại học Bách khoa Đà Nẵng

³Sở Giao thông Vận tải Tp Đà Nẵng

Ngày nhận bài 10.9.2015, ngày chuyển phản biện 15.9.2015, ngày nhận phản biện 20.10.2015, ngày chấp nhận đăng 26.10.2015

Trong những năm gần đây, mạng cảm biến không dây (wireless sensor networks - WSN) ngày càng được sử dụng rộng rãi trong hệ thống giao thông thông minh. Bài báo trình bày về hệ thống điều khiển và giám sát các bộ điều khiển đèn tín hiệu giao thông (THGT) tại các nút giao thông sử dụng WSN và truyền thông qua mạng 3G. Với sự kết hợp của phần mềm điều khiển và giám sát được cài đặt tại trung tâm và các cảm biến lắp đặt tại các tủ điều khiển, hệ thống cho phép thay đổi chế độ hoạt động của các nút giao thông, cài đặt chu kỳ đèn cũng như phát hiện các sự cố của các bộ điều khiển. Nhờ đó, nâng cao độ tin cậy và chất lượng trong công tác quản lý và vận hành đối với mạng lưới các nút điều khiển THGT.

Từ khóa: điều khiển đèn giao thông, mạng cảm biến không dây, truyền thông 2G/3G.

Chỉ số phân loại 2.2

APPLYING WIRELESS SENSOR NETWORK TO CONTROL AND SUPERVISE TRAFFIC LIGHT NODE CONTROLLERS

Summary

Recent years, Wireless Sensor Networks - WSN have been widely used in Intelligent Traffic System. This paper introduces an observing and controlling system of traffic light node by using WSN and 3G communication network. The proposed system can change operation modes (normal, yellow blink and system-off) as well as the cycle time of traffic light of each node. Based on collected data of the traffic light cycle and current measurements, this system offers warning and determines which node has error (corrupt light, communication error, power-off, etc). As a result, the management and operation of the traffic light system will be improved.

Keywords: traffic light controller, wireless sensor networks, 2G/3G.

Classification number 2.2

Đặt vấn đề

Hiện nay, nhiều tỉnh/thành phố trong cả nước đã và đang thực hiện các dự án giao thông thông minh, kết nối các nút THGT về trung tâm điều khiển. Tại thành phố Đà Nẵng, ngoài 64 nút đèn THGT thuộc dự án do Chính phủ Tây Ban Nha tài trợ được kết nối và điều khiển tại trung tâm thông qua phần mềm Adimot, còn 22 nút nằm ngoài dự án đang hoạt động độc lập không được kết nối về trung tâm và nằm ở vị trí khá xa so với trung tâm điều khiển. Việc kết nối 22 nút THGT độc lập này về trung tâm đòi hỏi kinh phí đầu tư cao và lệ thuộc vào công nghệ của nhà thầu cung cấp phần mềm Adimot. Do đó, công tác quản lý và vận hành đối với 22 nút THGT này hiện gặp rất nhiều khó khăn. Chính từ thực tế đó, nhóm nghiên cứu đã đưa ra giải pháp kết nối các bộ điều khiển của 22 nút THGT này về trung tâm điều khiển bằng phần mềm do nhóm thiết kế với mục tiêu: tận dụng lại các thiết bị trong tủ điều khiển đèn tín hiệu hiện có; đảm bảo hoạt động ổn định, làm chủ công nghệ, có tính mở rộng, phát triển nâng cấp trong tương lai; chi phí vận hành thấp nhất. Trên cơ sở ứng dụng WSN và truyền thông qua mạng 3G sẽ đem

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

lại hiệu quả đầu tư.

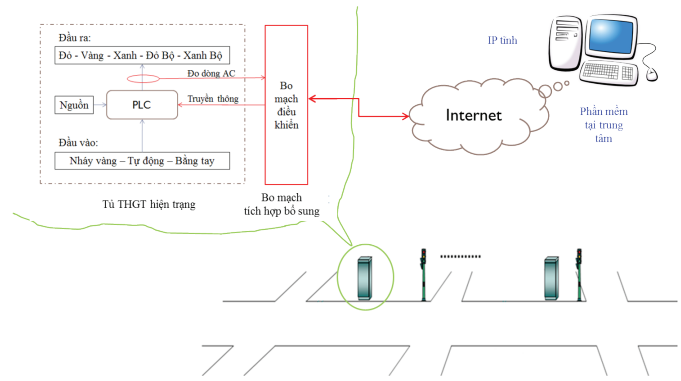
Trước đây, các tủ THGT sử dụng bộ điều khiển logic khả trình (PLC) Logo 230RC vì chúng thuận lợi cho việc cài đặt lại thông số chu kỳ đèn mà không cần thêm bất kỳ thiết bị phụ trợ nào khác như máy tính, cáp nạp... Tuy nhiên, với xu hướng điều khiển, giám sát từ xa như hiện nay thì các tủ điều khiển THGT sử dụng PLC Logo 230RC trở nên hạn chế vì 2 lý do sau: PLC Logo 230RC không có chức năng kết nối với thiết bị khác để truyền nhận dữ liệu; lệnh timer (bộ thời gian) và counter (bộ đếm) chỉ cho phép nhập thông số trực tiếp từ bàn phím của PLC Logo 230RC và không cho phép gán biến số nên việc lập trình thay đổi chu kỳ đèn rất phức tạp. Vì vậy, phần lớn các nút điều khiển THGT lắp đặt mới sau này đều sử dụng PLC S7-200 hoặc PLC S7-1200 vì một số nguyên nhân sau: có tập lệnh hỗ trợ truyền thông; các lệnh timer và counter cho phép lập trình linh hoạt; có cổng giao tiếp RS485.

Trong phạm vi nghiên cứu này, nhóm tác giả thực hiện kết nối mạng các bộ điều khiển THGT sử dụng bộ điều khiển PLC S7-200 CPU 224. Giải pháp được đề xuất bao gồm việc thi công mạch điều khiển được tích hợp với tủ điều khiển hiện có và thiết kế phần mềm quản lý cài đặt tại máy tính điều khiển trung tâm. Nội dung được tóm tắt như sau: 1) mạch điều khiển được tích hợp tại mỗi tủ điều khiển có cấu tạo và hoạt động như một nút trong WSN. Các cảm biến này phục vụ cho việc đo dòng điện cấp cho các đèn THGT, phát hiện mở cửa tủ điều khiển, phát hiện mất điện hệ thống cũng như trạng thái của các nút nhấn chọn chế độ hoạt động đèn THGT. 2) phần mềm quản lý cho phép điều khiển hệ thống như thay đổi chu kỳ đèn THGT, bật/tắt và thay đổi chế độ làm việc của các bộ điều khiển THGT. Ngoài ra, phần mềm thực hiện giám sát các thông số, trạng thái, chế độ làm việc cũng như sự cố tại các tủ điều khiển THGT.

Nội dung nghiên cứu

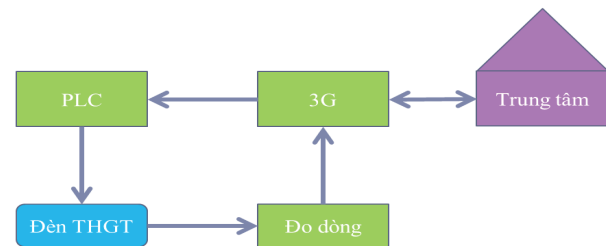
Giải pháp kỹ thuật và phần cứng

Mô hình tổng quát của hệ thống được mô tả ở hình 1.



Hình 1: mô hình tổng quát của hệ thống

Hình 1 trình bày mô hình tổng quát của hệ thống điều khiển và giám sát các bộ điều khiển đèn THGT. Ngoài bộ điều khiển PLC S700-200ICPU224 hiện có, mô hình tích hợp thêm mạch điều khiển bổ sung, thực hiện giao tiếp với phần mềm quản lý tại trung tâm điều khiển thông qua mạng 3G.



Hình 2: nguyên lý điều khiển và giám sát hệ thống

Nguyên lý điều khiển và giám sát hệ thống đèn THGT tại mỗi nút tín hiệu được thể hiện ở hình 2 và làm việc như sau:

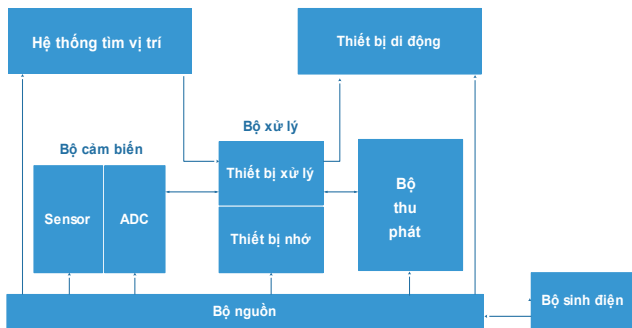
Bộ điều khiển PLC điều khiển đèn THGT theo chương trình đã được cài đặt sẵn.

Bộ đo dòng thực hiện việc đo dòng điện cấp nguồn cho đèn THGT, đồng thời các giá trị dòng điện này sẽ được chuyển đổi sang ADC và gửi về máy tính trung tâm thông qua bộ truyền nhận 3G.

Ngoài ra, tín hiệu điều khiển từ máy tính trung tâm đưa đến PLC cũng thông qua bộ truyền nhận 3G. Máy tính này có kết nối với mạng internet và được đăng ký thuê bao IP tĩnh để thực hiện chức năng điều khiển và giám sát.

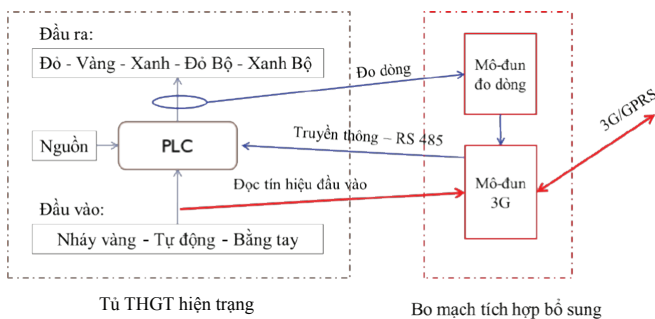
Mạch điều khiển bổ sung

Cấu tạo chung: một nút cảm biến không dây có vai trò và cấu tạo được giới thiệu ở hình 3, bao gồm 4 thành phần cơ bản là bộ cảm biến, bộ xử lý, bộ thu phát không dây và nguồn điện [1].



Hình 3: các thành phần của nút cảm biến không dây

Trong nghiên cứu này, mạch điều khiển bổ sung có cấu tạo tương tự một nút cảm biến không dây, bao gồm mô-đun đo dòng, mô-đun 3G và nguồn cấp được thể hiện ở hình 4.



Hình 4: cấu trúc mạch điều khiển hệ thống

Mô-đun đo dòng: các thông số của mô-đun cảm biến như sau: nguồn hoạt động: 24VDC; bộ xử lý chính: PIC18F46K20 (có 13 kênh ADC 10 bit); cổng giao tiếp với mô-đun 3G: RS232; giá trị dòng có thể đo được: 0-3A.

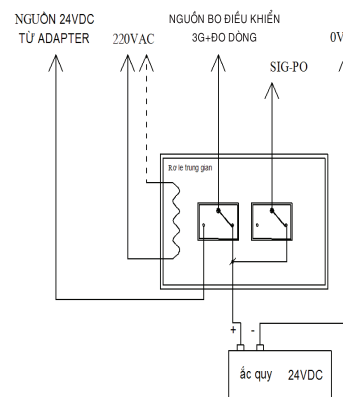
Mô-đun đo dòng sử dụng các biến dòng điện để đo dòng điện cấp cho các đèn THGT. Thứ cấp của các biến dòng được nối với các chân đầu vào ADC của vi điều khiển PIC18F46K20. Vi điều khiển thực hiện lấy mẫu tín hiệu, đồng thời truyền dữ liệu sau khi xử lý đến mô-đun 3G.

Mô-đun 3G: các thông số của mô-đun 3G như sau: nguồn hoạt động: 24VDC; đơn vị xử lý trung tâm: PIC32MX795F512L; cổng giao tiếp với mô-đun đo dòng: RS232; cổng giao tiếp với PLC: RS485; đầu vào số: 3 DI (12-24VDC); mô-đun SIM900 truyền nhận dữ liệu bằng giao thức TCP/IP [2-5]; mô-đun thời gian thực (RTC): MCP 79410.

Mô-đun 3G làm chức năng đo đếm thời gian chu kỳ đèn, phát hiện chế độ làm việc của hệ thống, đóng gói dữ liệu và thực hiện truyền thông. Mô-đun này truyền nhận các dữ liệu sau: nhận giá trị dòng điện từ mô-

đun đo dòng (truyền thông RS485) để xác định chu kỳ cũng như chế độ hoạt động hiện tại của nút THGT; các tín hiệu từ công tắc hành trình được lắp đặt trên cửa tủ điều khiển, tín hiệu từ role trung gian để phát hiện mất nguồn AC, tín hiệu từ các công tắc chọn chế độ hoạt động của chương trình điều khiển đèn THGT cùng với gói dữ liệu từ mô-đun đo dòng được đóng gói và gửi về server. Ngoài ra, mô-đun 3G này còn thực hiện nhiệm vụ trích xuất dữ liệu cài đặt chu kỳ đèn, chế độ hoạt động từ server để cập nhật các thông số này cho PLC (truyền thông RS485), giúp thay đổi trạng thái hoạt động hay chu kỳ của đèn THGT.

Nguồn cấp cho mạch điều khiển bổ sung: mạch điều khiển bổ sung được cấp điện từ nguồn 24VDC của Adapter và nguồn dự phòng acquy như hình 5.



Hình 5: sơ đồ nguồn cấp cho mạch điều khiển bổ sung

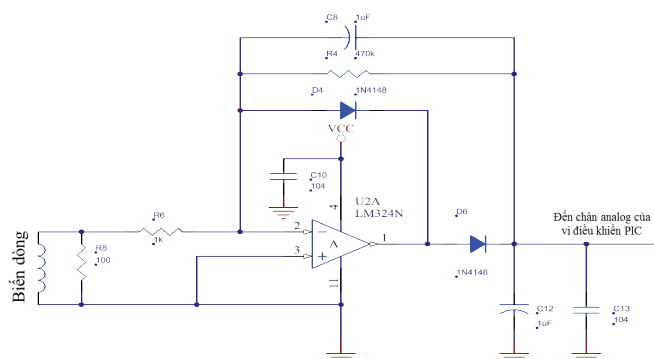
Nguyên lý làm việc: khi bị mất điện nguồn hoặc có sự cố chạm chập trong tủ điều khiển THGT, aptomat tổng của tủ điều khiển tác động. Thông qua các tiếp điểm của role trung gian, hệ thống sẽ tự động chuyển đổi nguồn cung cấp từ nguồn Adapter 24VDC sang nguồn ắc quy 24VDC để duy trì mạch điều khiển. Ngoài ra, tín hiệu từ tiếp điểm của role cũng được sử dụng làm tín hiệu báo mất nguồn hoặc sự cố chạm chập trong tủ điều khiển THGT. Khi tiếp điểm này tác động, vi điều khiển sẽ gửi tín hiệu báo mất nguồn về mô-đun 3G để truyền cảnh báo về trung tâm.

Tần số lấy mẫu tín hiệu: tần số tín hiệu cực đại của hệ thống chính là tần số của đèn THGT vàng ở chế độ nhảy vàng $f_v = 1$ (Hz). Do đó, theo định lý lấy mẫu tín hiệu Nyquist [3], tần số lấy mẫu tín hiệu f_m trong hệ thống này được chọn bằng 8 lần tần số của đèn vàng.

$$f_m = 8f_v = 8.1 = 8(\text{Hz}) \quad (1)$$

Giải pháp đo dòng điện cấp cho đèn THGT: đèn THGT sử dụng điện áp xoay chiều 220VAC, nên việc

đo dòng điện cấp cho các đèn này được đo thông qua biến dòng. Vì mỗi kênh đèn THGT (xanh, vàng, đỏ, xanh đi bộ, đỏ đi bộ của mỗi tuyến) có thể là 1 hay nhiều đèn mắc song song với nhau. Do đó, giá trị biến dòng đo được phản ánh giá trị dòng điện tổng của mỗi kênh đèn THGT. Giá trị dòng điện này được chuyển đổi thành điện áp rơi điện trở có trị số 100 Ω trước khi đưa vào bộ ADC của vi điều khiển PIC18F46K20. Sơ đồ nguyên lý được thể hiện trong hình 6.



Hình 6: sơ đồ mạch đệm tín hiệu từ biến dòng

Khi giá trị ADC từ biến dòng lớn hơn giá trị ngưỡng thì đèn THGT được xem là đang có điện, ngược lại đèn THGT được xem là tắt. Bằng kết quả thực nghiệm, giá trị ngưỡng ADC được chọn bằng 10 để bù offset của các bộ khuếch đại thuật toán.

Kiểm tra chế độ làm việc của đèn THGT: các chế độ làm việc của đèn THGT được kiểm tra như sau: chế độ làm việc bình thường (chế độ ba màu): chu kỳ của đèn THGT được xác định bằng thời gian giữa hai sườn xuống của cùng một đèn THGT. Tại các sườn xuống này, bộ đếm thời gian của các đèn THGT khác được đặt về giá trị 0. Thời gian sáng của các đèn THGT trong một chu kỳ được xác định thông qua thời gian có điện của các đèn đó. Thời gian này được xác định theo công thức sau:

$$LIGHT_TIME = N.T_m (s) \quad (2)$$

Trong đó:

N là số lần lấy mẫu mà giá trị ADC lớn hơn giá trị ngưỡng trong một chu kỳ.

T_m là chu kỳ lấy mẫu:

$$T_m = \frac{1}{f_m} = \frac{1}{8} (s) \quad (3)$$

Chế độ nháy vàng được xác định khi 8 kênh đèn

THGT có giá trị dòng điện cực đại bằng 0 và hai kênh đèn THGT có giá trị dòng điện cực đại khác 0 liên tục trong thời gian đủ lớn (để tải chọn thời gian này là 15s). Chế độ nghỉ được xác định khi giá trị dòng điện cực đại đo được ở tất cả các kênh bằng 0 trong thời gian đủ lớn (tương tự, nghiên cứu này chọn thời gian này là 15s).

Thuật toán phát hiện sự cố đèn THGT: trong thực tế, tùy theo quy mô của nút giao thông nên số lượng đèn lắp đặt cho mỗi kênh đèn THGT có thể khác nhau. Vì vậy, để xác định được sự cố đèn THGT, ta cần đổi chiều giá trị dòng điện đo được với giá trị dòng điện cực đại chuẩn và cực tiểu chuẩn của các kênh đèn THGT. Giá trị cực đại chuẩn này là giá trị dòng điện tổng cấp cho tất cả các đèn của mỗi kênh đèn THGT khi các kênh hoạt động ở chế độ 3 màu. Giá trị dòng điện cực tiểu chuẩn là giá trị dòng điện tương ứng với giá trị offset của ADC. Các trạng thái sự cố có thể được xác định như sau: khi giá trị dòng điện cực đại đo được nhỏ hơn giá trị dòng điện cực đại chuẩn thì nút THGT bị cháy một hoặc nhiều đèn trong cùng một kênh đèn; khi giá trị dòng điện cực tiểu đo được luôn lớn hơn giá trị dòng điện cực tiểu chuẩn thì nút THGT không ngắt điện được một hoặc nhiều đèn trong một kênh (nghĩa là cùng một thời điểm có hai đèn khác kênh cùng sáng).

Phần mềm giám sát và điều khiển

Cơ chế trao đổi dữ liệu: việc điều khiển hệ thống đèn THGT không cần tốc độ đáp ứng tức thời và dữ liệu truyền nhận có dung lượng nhỏ. Vì vậy, nhằm đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật mà vẫn đảm bảo kinh phí vận hành thấp nhất có thể (kinh phí này phần lớn là chi phí cho việc truyền nhận dữ liệu qua mạng 3G), nhóm nghiên cứu lựa chọn mô hình Server/Client làm cơ chế trao đổi dữ liệu trong hệ thống. Client là các bộ điều khiển tại nút THGT đã được tích hợp mạch điều khiển bổ sung. Server là máy tính chủ tại trung tâm, được cài đặt mô-đun truyền thông nhằm quản lý các kết nối từ Client, nhận và lưu trữ dữ liệu trạng thái của các nút THGT vào cơ sở dữ liệu. Ngoài ra, server còn được cài đặt một giao diện người dùng cho phép giám sát và điều khiển hệ thống các nút THGT. Server được kết nối internet và đăng ký thuê bao địa chỉ IP tĩnh.

Nội dung bức điện từ client:

SIM ID	LIGHT TIME	MIN CURRENT	MAX CURRENT	CABINET STATUS
11 bytes	2 x 10 bytes	4 x 10 bytes	4 x 10 bytes	3 bytes

Hình 7: cấu trúc bức điện từ Client

SIM ID là số cố định của SIM được lắp cho mỗi bộ điều khiển tại mỗi nút giao thông. SIM ID gồm 11 chữ số được quy định bởi nhà mạng viễn thông, vì vậy để thể hiện con số này cần dùng 11 byte dữ liệu.

LIGHT TIME là thời gian có điện của các kênh đèn THGT theo thứ tự như sau: đèn xanh, đèn đỏ, đèn vàng tuyến 1; đèn xanh, đèn đỏ, đèn vàng tuyến 2; đèn xanh đi bộ, đèn đỏ đi bộ tuyến 1; đèn xanh đi bộ và đèn đỏ đi bộ tuyến 2. Mỗi giá trị thời gian này được biểu diễn tương ứng với 2 byte dữ liệu cho mỗi đèn.

MIN CURRENT là các giá trị dòng điện cực tiểu của các kênh đèn theo thứ tự trên và được thể hiện tương ứng với 4 byte dữ liệu cho mỗi đèn.

MAX CURRENT là giá trị dòng điện cực đại của các kênh đèn tương ứng với 4 byte dữ liệu cho mỗi đèn.

CABINET STATUS là các trạng thái đóng/mở cửa tủ điều khiển, trạng thái của công tắc chọn chế độ bằng tay và công tắc chọn chế độ tự động, tương ứng với 3 byte dữ liệu.

Nội dung bức điện từ máy chủ:

TIME	DATE	COMMAND
6 bytes	8 bytes	15-20 bytes

Hình 8: cấu trúc bức điện từ máy chủ

TIME: thời gian nhận dữ liệu

DATE: ngày nhận dữ liệu

COMMAND: mã lệnh điều khiển

Lệnh cài đặt chương trình hoạt động trong ngày: \$REDTIME + thời gian chu kỳ của từng giờ trong ngày (24h)

Lệnh tắt nút THGT: \$SYSTEM_OFF,0,0,*

Lệnh bật nút THGT: \$SYSTEM_ON,0,0,*

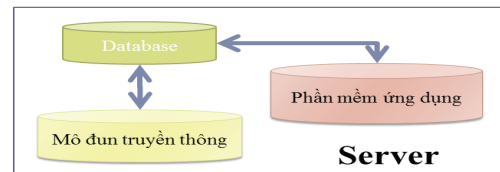
Lệnh chọn chương trình nhấp vàng: \$YELLOW_BLINK,0,0,*

Nguyên lý trao đổi dữ liệu trong hệ thống: ở chế độ hoạt động bình thường (chế độ 3 màu), mỗi bộ điều khiển THGT (Client) sẽ tự động gửi dữ liệu mang

thông tin về trạng thái của nút điều khiển THGT đến máy chủ theo cấu trúc bức điện đã được trình bày ở hình 7. Chu kỳ gửi dữ liệu bằng chu kỳ của đèn THGT. Đối với chế độ nhấp vàng và chế độ nghỉ, chu kỳ được chọn trong khoảng 5-15s nhằm tiết kiệm chi phí truyền thông.

Khi nhận được bức điện từ Client, căn cứ vào địa chỉ SIM ID có trong bức điện, máy chủ sẽ gửi trở lại Client bức điện có cấu trúc như hình 8. Nếu không có yêu cầu cài đặt hoặc điều khiển từ máy chủ thì số lượng byte trong trường dữ liệu COMMAND của bức điện là 0. Ngược lại, số lượng byte này từ 15 đến 20 byte. Dữ liệu trong các trường TIME và DATE được Client dùng để tham chiếu và đồng bộ thời gian với hệ thống.

Cấu trúc Server:



Hình 9: cấu trúc phần mềm

Nghiên cứu sử dụng hệ quản trị cơ sở dữ liệu SQL Server 2008 để lưu trữ tất cả dữ liệu vào ra của hệ thống.

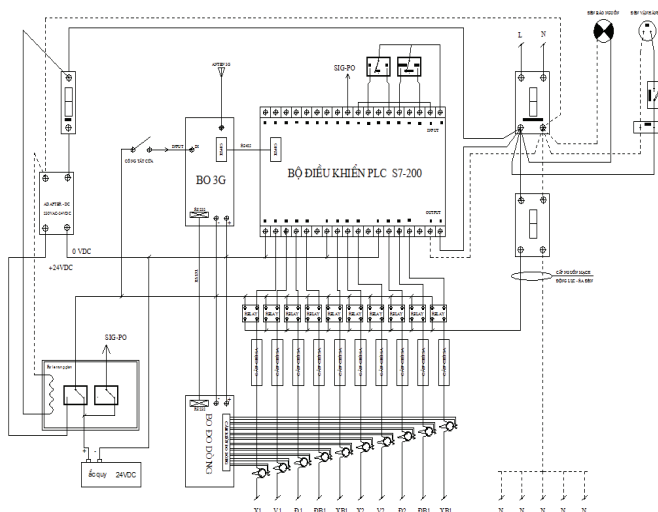
Phần mềm ứng dụng: được lập trình bằng phần mềm Visual C# - Microsoft Visual Studio 2010 [6]. Giao diện người dùng cho phép điều khiển và giám sát hệ thống các nút THGT như sau: cho phép đăng nhập quản lý thông qua giao diện khởi động hệ thống; cho phép cài đặt chu kỳ và chế độ hoạt động của mỗi nút THGT theo từng giờ trong ngày thông qua giao diện cài đặt hệ thống; hiển thị trạng thái của các nút THGT thông qua giao diện giám sát và vận hành hệ thống. Giao diện này bao gồm các trường dữ liệu như tên giao lộ, thời gian cài đặt, thời gian thực tế, dòng điện cực tiểu và cực đại thực tế, trạng thái cửa tủ, người phụ trách; trích xuất các báo cáo về sự cố và trạng thái đóng/mở cửa tủ điều khiển THGT theo ngày, tháng, quý, năm.

Mô-đun truyền thông: là phần mềm quản lý kết nối với các Client theo giao thức TCP/IP và quản lý việc truyền nhận và lưu trữ dữ liệu vào cơ sở dữ liệu (Database). Khi Client kết nối thành công với máy

chủ, mô-đun truyền thông sẽ cấp phát một luồng xử lý mới nhằm quản lý kết nối này. Với cách tổ chức như vậy, mô-đun truyền thông có thể quản lý đa kết nối cùng một thời điểm, tự động ngắt kết nối và giải phóng luồng khi Client không truyền thông trong thời gian đủ dài (time-out). Chức năng này nhằm giải phóng tài nguyên máy chủ.

Kết quả thực nghiệm

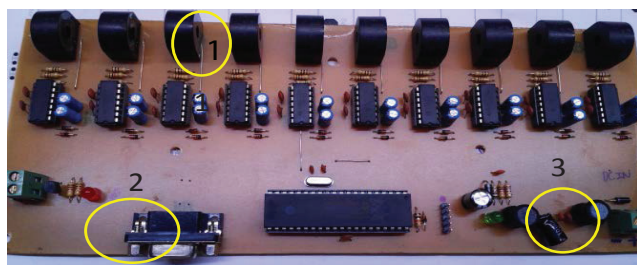
Để kiểm tra tính ổn định và tối ưu hệ thống trước khi đưa vào lắp đặt thực tế, hệ thống đã được lắp đặt trên một tủ thật đang được áp dụng cho điều khiển THGT ở Đà Nẵng và một tủ ở dạng mô hình, mô hình này chỉ khác tủ thật ở phần tải, tức các đèn giao thông, công suất tải được chọn tương đương với công suất thật đang được áp dụng tại các nút THGT. Hình 10 thể hiện sơ đồ mạch điện của một tủ điều khiển và giám sát THGT từ xa.



Hình 10: sơ đồ mạch điện của tủ điều khiển sau khi cải tạo

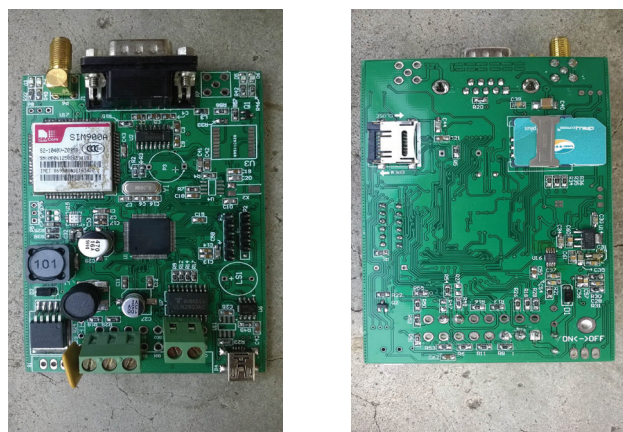
Phần cứng

Mô-đun đo dòng gồm các phần tử chính sau: (1) Biến dòng điện, (2) Cổng giao tiếp với mô-đun 3G theo chuẩn RS232, (3) Cấp nguồn 24VDC.



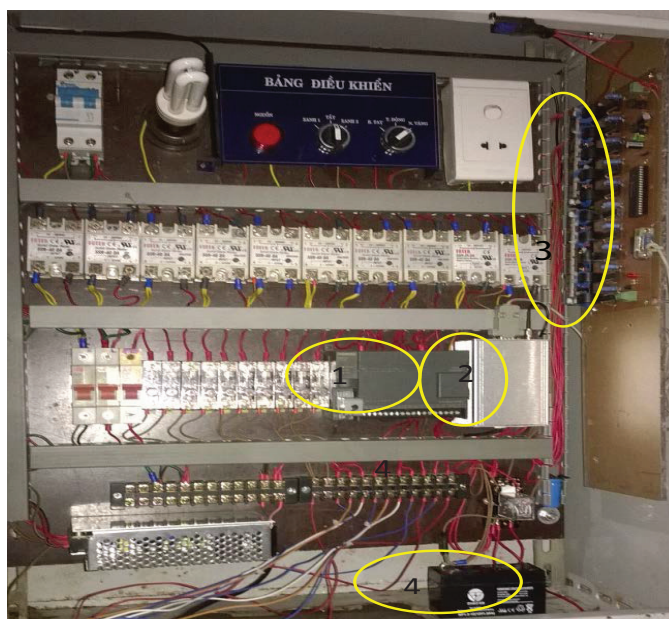
Hình 11: hình ảnh mô-đun đo dòng

Mô-đun 3G có cấu tạo như trình bày ở hình 12.



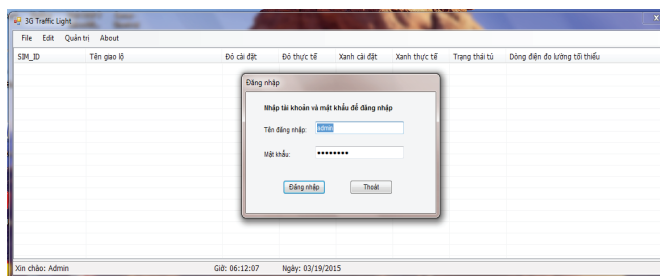
Hình 12: mặt trước và sau mô-đun 3G

Bên trong tủ điều khiển sau khi cải tạo: (1) Bộ PLC, (2) Mô-đun 3G, (3) Mô-đun đo dòng điện, (4) Acquy dự phòng.

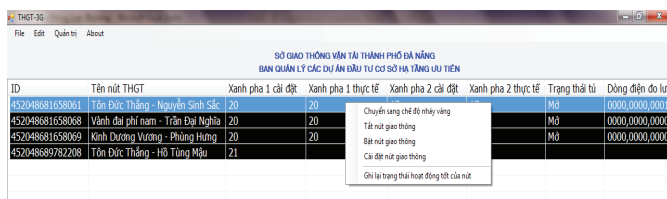


Hình 13: bên trong tủ điều khiển sau khi cải tạo

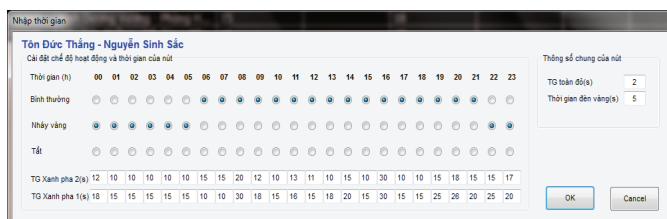
Phần mềm



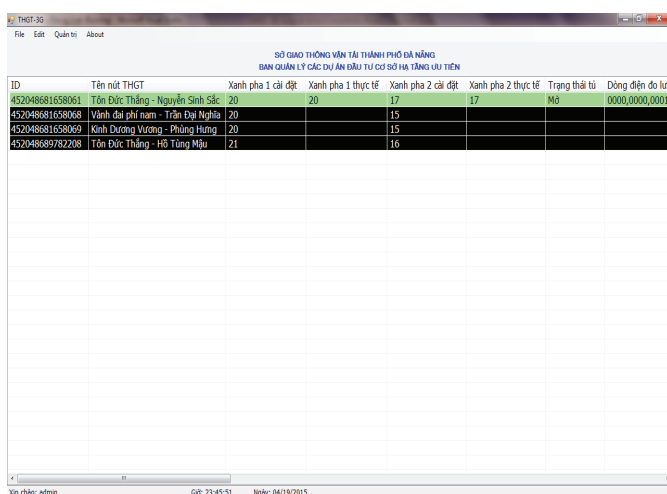
Hình 14: giao diện khởi động hệ thống



Hình 15: giao diện điều khiển hệ thống



Hình 16: giao diện cài đặt hệ thống



Hình 17: giao diện giám sát và vận hành hệ thống

Kết luận

Bài báo đã trình bày giải pháp điều khiển và giám sát hệ thống THGT từ xa sử dụng mạng cảm biến không dây trên cơ sở nâng cấp các tủ THGT hiện có chưa được kết nối về trung tâm. Nhờ đó, giúp nâng cao chất lượng vận hành và quản lý hệ thống, kinh phí đầu tư thấp, giảm chi phí vận hành cũng như đáp ứng được nhu cầu hiện đại hóa hệ thống giao thông của thành phố, phù hợp cho sự phát triển hệ thống giao thông bền vững cho nhiều tỉnh/thành phố ở Việt Nam. Dựa trên hệ thống mà nhóm nghiên cứu đã thực hiện, rất cần bổ sung thêm các thuật toán để hệ thống có thể tự động tính toán tối ưu thời gian chu kỳ đèn THGT tương ứng với mật độ giao thông từng thời điểm trong ngày và giữa các nút có sự phối hợp với nhau, đảm bảo giao thông thông suốt trên tuyến.

Tài liệu tham khảo

- [1] I.F Akyildiz, W Su, Y Sankarasubramaniam, E Cayici (2002), "Wireless sensor networks: a survey", *Computer Networks*, **38(4)**, pp.393-492.
- [2] Phạm Thượng Hàn, Bùi Đăng Thành, Đào Đức Thịnh, Nguyễn Anh Tuấn (2010), *Hệ thống thông tin công nghiệp*, Nxb Giáo dục.
- [3] SIMCOM, SIM900 Reference Design Guide_V1.02, 2010.
- [4] SIMCOM, SIM900_AT Command Manual_V1.11, 2010.
- [5] SIMCOM, SIM900_AN_TCPIP_V1.00, 2010.
- [6] Joyce Farrell (2011), *Microsoft Visual C# 2010: An Introduction to Object-Oriented Programming*, 4th Edition, Course Technology, Cengage Learning.