

GIẢI PHÁP KẾT HỢP GIỮA THƯỚC ĐO ĐỊNH TUYẾN CHẤT LƯỢNG LIÊN KẾT VÀ NĂNG LƯỢNG TRONG GIAO THỨC IRPL

Vũ Chiến Thắng^{1*}, Nguyễn Văn Tảo¹, Vũ Văn San², Lê Nhật Thăng²

Tóm tắt: Các thiết bị Internet of Things sẽ được triển khai với một số lượng lớn các nút mạng hoạt động bằng pin. Trong các mạng không dây công suất thấp, vấn đề tiết kiệm năng lượng nhằm nâng cao thời gian sống của mạng là một yêu cầu quan trọng. Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một giải pháp kết hợp giữa thước đo định tuyến chất lượng liên kết và chỉ số năng lượng còn lại trong giao thức IRPL. Chúng tôi kết hợp hai thước đo định tuyến này dựa theo một trọng số α . Từ đó, chúng tôi đã thực thi và đánh giá mô phỏng giải pháp mới đề xuất. Kết quả đánh giá mô phỏng cho thấy, giải pháp mới do chúng tôi đề xuất cho phép tăng thời gian sống của mạng và tăng tỷ lệ chuyển phát bản tin dữ liệu trong mạng.

Từ khóa: Mạng cảm biến không dây, Đánh giá hiệu năng mạng, Hệ điều hành Contiki, Giao thức định tuyến RPL cải tiến.

1. GIỚI THIỆU

Mạng Internet kết nối vạn vật (IoT – Internet of Things) là một kịch bản trong đó hàng tỷ thiết bị được kết nối với nhau, mỗi thiết bị có một địa chỉ duy nhất toàn cầu. Các ứng dụng của mạng cảm biến không dây như tự động hóa tòa nhà, ngôi nhà thông minh... với mô hình kết nối đa chặng chạy trên nền chuẩn truyền thông không dây IEEE 802.15.4 cũng sẽ là một thành phần của IoT.

Giao thức định tuyến RPL (IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks) được đề xuất cho mạng tổn hao công suất thấp nói chung và cảm biến không dây nói riêng [1]. RPL là một giao thức vectơ khoảng cách. Giao thức này xây dựng cấu trúc mạng gồm một/nhiều đồ thị không có chu trình được định hướng tới một/nhiều đích đến - DODAG (Destination Oriented Direct Acyclic Graph) [2]. Giao thức RPL hiện tại sử dụng thước đo định tuyến chất lượng liên kết ETX (Expected Transmission) để lựa chọn tuyến đường tối ưu trong mạng. Tuy nhiên, thước đo định tuyến ETX không đảm bảo được vấn đề cân bằng năng lượng giữa các nút trong mạng. Vì vậy, một nhược điểm của giao thức RPL hiện tại đó là sự mất cân bằng năng lượng giữa các nút mạng. Các nút mạng thuộc những tuyến đường có chất lượng liên kết tốt được sử dụng nhiều trong quá trình chuyển tiếp bản tin dữ liệu đến nút gốc. Các nút này sẽ hết năng lượng nhanh hơn và tạo thành các lỗ hổng trong mạng, làm giảm thời gian sống của mạng [3].

Trong thời gian qua, nhiều giao thức định tuyến có sự nhận thức về năng lượng đã được đề xuất nhằm tối thiểu năng lượng tiêu thụ và tăng thời gian sống của các nút mạng. Giao thức định tuyến có sự nhận thức về năng lượng EAR (Energy Aware Routing) [4] được đề xuất bởi Rahul C. Shah và các cộng sự duy trì một tập các tuyến đường tốt thay vì chỉ lựa chọn một tuyến đường tối ưu. Giao thức EAR sử dụng thước đo năng lượng để xác định các tuyến đường tốt. Thước đo năng lượng này được xác định bởi cả chi phí chuyển phát một bản tin và năng lượng còn lại của các nút chuyển tiếp. Giao thức EAR tồn tại hai nhược điểm chính đó là: Thứ nhất, giao thức EAR dựa vào năng lượng còn lại của cả tuyến đường mà bỏ qua sự khác nhau về năng lượng của từng nút riêng lẻ trên tuyến đường. Một tuyến

đường còn nhiều năng lượng không có nghĩa là tất cả các nút trên tuyến đường đó còn nhiều năng lượng. Thứ hai, giao thức EAR xác định thước đo chi phí năng lượng dựa trên sự hỗ trợ về phần cứng trên các nút cảm biến. Tuy nhiên, không phải mọi phần cứng đều hỗ trợ khả năng này.

Trong bài báo [5], Kamgueu và cộng sự đã đề xuất việc sử dụng thước đo định tuyến năng lượng còn lại cho giao thức RPL. Tuy nhiên, các tác giả lại bỏ qua thước đo định tuyến chất lượng liên kết. Trong bài báo [6], các tác giả đã đề xuất thước đo định tuyến thời gian sống kỳ vọng (ELT - Expected LifeTime) để ước lượng thời gian sống của các nút thất cổ chai. Các tác giả đã sử dụng cả lưu lượng bản tin và độ tin cậy của liên kết để ước lượng năng lượng tiêu thụ trung bình của của một nút thất cổ chai.

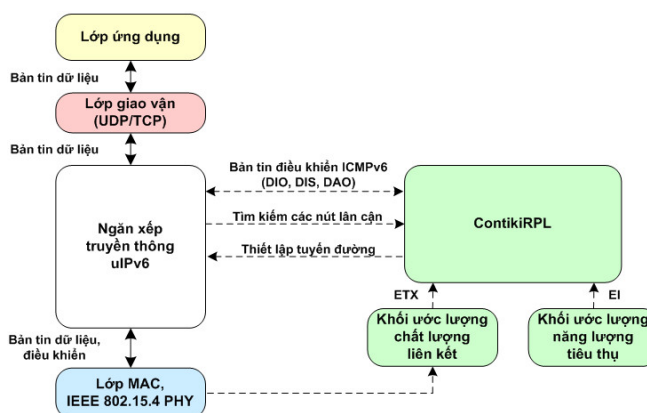
Trong bài báo [7], chúng tôi đã đề xuất một giải pháp kết hợp giữa hai thước đo định tuyến là chất lượng liên kết và trạng thái năng lượng còn lại của nút chuyển tiếp để lựa chọn tuyến đường tối ưu. Mỗi nút mạng sẽ ước lượng được chỉ số năng lượng còn lại. Chỉ số năng lượng còn lại này được so sánh với một ngưỡng cho trước. Khi chỉ số năng lượng còn lại của một nút mạng thấp hơn một ngưỡng cho trước thì nút mạng đó sẽ không tham gia vào quá trình chuyển tiếp bản tin dữ liệu. Giải pháp này có ưu điểm đó là thước đo về chỉ số năng lượng còn lại được ước lượng bằng phần mềm và có thể thực hiện được trên nhiều kiến trúc phần cứng khác nhau mà không làm phát sinh thêm bất kỳ một chi phí mới nào về phần cứng. Kết quả mô phỏng cho thấy, giải pháp đề xuất trong bài báo [7] cho phép tăng thời gian sống của mạng nhưng lại làm giảm tỷ lệ chuyển phát bản tin dữ liệu.

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một giải pháp kết hợp mới giữa thước đo định tuyến ETX và EI nhằm cải thiện tỷ lệ chuyển phát bản tin dữ liệu trong mạng đối với giao thức IRPL. Phần còn lại của bài báo được bố cục như sau: Đầu tiên, chúng tôi trình bày đề xuất mới về giải pháp kết hợp giữa hai thước đo định tuyến ETX và EI trong giao thức IRPL; Tiếp theo, chúng tôi đánh giá hiệu năng của giao thức định tuyến IRPL theo giải pháp đề xuất mới và so sánh với giải pháp kết hợp ban đầu; Cuối cùng, chúng tôi đưa ra một số kết luận cho bài báo.

2. GIAO THỨC IRPL VÀ GIẢI PHÁP ĐỀ XUẤT

Hình 1 là cấu trúc thực thi giao thức IRPL trên hệ điều hành Contiki [7].

Module ContikiRPL sử dụng thước đo định tuyến chất lượng liên kết ETX và chỉ số năng lượng còn lại của các nút lân cận để thiết lập tuyến đường trong mạng. Thông tin phản hồi về chất lượng liên kết được thực hiện bởi khối ước lượng chất lượng liên kết. Khối ước lượng năng lượng



Hình 1. Thực thi giao thức IRPL trên Contiki.

tiêu thụ có nhiệm vụ xác định chỉ số năng lượng còn lại của nút mạng.

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất giải pháp kết hợp giữa hai thước đo định tuyến chất lượng liên kết (ETX) và chỉ số năng lượng còn lại (EI) theo công thức sau:

$$metric_{ETX_EI}(\%) = \alpha \frac{ETX}{ETX_{max}} \cdot 100 + (1 - \alpha)(100 - EI) \quad (1)$$

Trong đó: α là trọng số cho phép điều chỉnh hai thông số ETX , EI để tính toán thước đo định tuyến kết hợp, giá trị α nằm trong khoảng từ 0 đến 1; ETX_{max} là giá trị chất lượng liên kết lớn nhất của tuyến đường trong mạng.

Thước đo định tuyến kết hợp $metric_{ETX_EI}$ được mang đi bởi trường dự trữ trong bản tin điều khiển DIO [8]. Hình 2 trình bày thuật toán lựa chọn nút cha tốt nhất dưới dạng mã giả. Nút cha tốt nhất phải thỏa mãn đồng thời hai yêu cầu: Thứ nhất, nút đó phải có chỉ số năng lượng còn lại (EI) ở mức cao để đảm bảo sự cân bằng năng lượng trong mạng; Thứ hai, chất lượng liên kết của tuyến đường (ETX) đi qua nút đó ở mức thấp để tiết kiệm năng lượng (do số lần truyền bản tin đến nút gốc là thấp). Khi kết hợp cả hai yêu cầu trên trong công thức (1), nút cha tốt nhất được lựa chọn phải là nút có thước đo định tuyến kết hợp $metric_{ETX_EI}$ nhỏ nhất.

Thuật toán 1: Lựa chọn nút cha tốt nhất

```

Đầu vào: Bảng định tuyến của nút N
Output: Nút cha tốt nhất của nút N
best = NULL;
max_metricETX_EI = 100;
for n = RoutingTable[i]
    if (n.metricETX_EI < max_metricETX_EI) then
        max_metricETX_EI = n.metricETX_EI;
        best = n;
    end if
end for
if best != NULL then
    return best;
else
    send(DIS);
end if
    
```

Hình 2. Thuật toán lựa chọn nút cha tốt nhất.

3. ĐÁNH GIÁ GIẢI PHÁP ĐỀ XUẤT VỚI GIAO THỨC IRPL

3.1. Các tham số đánh giá

3.1.1. Tỷ lệ chuyển phát bản tin dữ liệu

Tỷ lệ chuyển phát bản tin dữ liệu DDR (Data Delivery Ratio) được xác định bằng tỷ số giữa số bản tin dữ liệu nhận được tại nút gốc và tổng số bản tin dữ liệu được gửi đi bởi tất cả các nút trong mạng.

$$DDR(\%) = \frac{N_{received}}{N_{data}} \cdot 100\% \quad (2)$$

Trong đó: $N_{received}$ là tổng số bản tin dữ liệu nhận được tại nút gốc; N_{data} là tổng số bản tin dữ liệu được gửi đi bởi tất cả các nút trong mạng. Tỷ lệ chuyển phát bản tin dữ liệu DDR càng cao thì hiệu quả truyền thông trong mạng càng tốt.

3.1.2. Sự cân bằng năng lượng giữa các nút mạng

Để đánh giá sự cân bằng năng lượng giữa các nút mạng, chúng tôi dựa vào chỉ số năng lượng còn lại EI trên các nút mạng. Thước đo đánh giá sự cân bằng năng lượng EBI (Energy Balance Indicator) giữa các nút trong mạng được xác định theo

công thức sau:
$$EBI = \sqrt{\sum_{i=1}^N (\overline{EI} - EI_i)^2} \quad (3)$$

Trong đó: \overline{EI} là chỉ số năng lượng còn lại trung bình trên các nút mạng, N là số nút mạng.

3.1.3. Thời gian sống của mạng

Thời gian sống của mạng có thể được định nghĩa là khoảng thời gian bắt đầu một truyền dẫn đầu tiên ở trong mạng và kết thúc khi tỷ lệ phần trăm các nút hết năng lượng dưới một ngưỡng cho trước. Giá trị ngưỡng được thiết lập tùy thuộc vào từng ứng dụng.

Định nghĩa này có liên quan đến thời gian sống của một nút mạng và không xét đến vai trò cụ thể của các nút mạng bị hết năng lượng. Nếu tỷ lệ phần trăm được thiết lập là 100% thì thời điểm nút đầu tiên trong mạng hết năng lượng cũng là thời điểm kết thúc thời gian sống của mạng.

3.2. Kết quả đánh giá

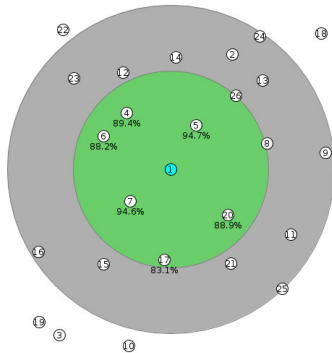
Chúng tôi xét một DODAG bao gồm 26 nút mạng được phân bố ngẫu nhiên trong trường cảm biến có kích thước (100m x 100m). Bảng 1 tóm tắt kịch bản đánh giá mô phỏng với hai giao thức IRPL và RPL. Chúng tôi thay đổi trọng số α để đánh giá ảnh hưởng của trọng số này đến hiệu năng mạng. Giá trị trọng số α lần lượt bằng 0.8, 0.85, 0.9, 0.95.

Hình 3 là mô hình triển khai mạng gồm 26 nút. Các nút mạng định kỳ gửi bản tin dữ liệu về nút gốc (DODAG root) là nút số 1. Hình 4, 5, 6 lần lượt là kết quả đánh giá mô phỏng so sánh tỷ lệ các nút còn sống trong mạng (ANR), tỷ lệ chuyển phát bản tin dữ liệu (DDR), sự cân bằng năng lượng (EBI) giữa giao thức IRPL với các giá trị trọng số α khác nhau và giao thức RPL.

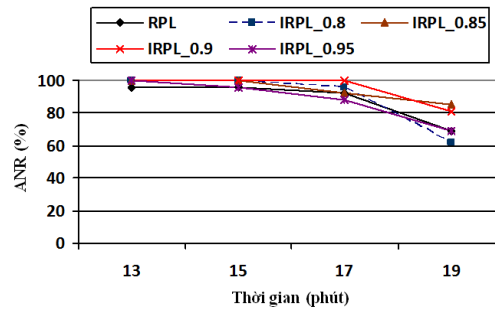
Bảng 1. Kịch bản đánh giá mô phỏng.

Các tham số	Giá trị
Mô hình truyền thông vô tuyến	UDI (Unit Disk Graph with Distance Interference)
Số nút mạng	26
Kích thước mạng	100m x 100m
Phạm vi phủ sóng của nút	Phạm vi truyền hiệu quả: 30m Phạm vi ảnh hưởng của nhiễu: 50m
Năng lượng ban đầu	10J
Chu kỳ gửi bản tin dữ liệu	15s
Nguồn gửi bản tin dữ liệu	Tất cả các nút trong mạng
Giao thức lớp MAC	CSMA/ContikiMAC

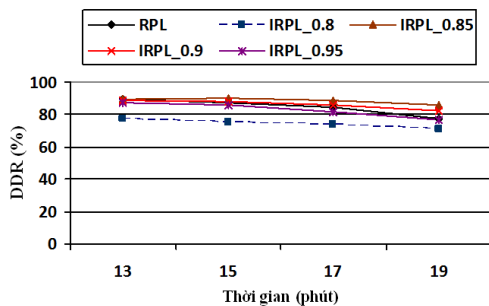
Kết quả đánh giá mô phỏng cho thấy, giao thức IRPL với giá trị trọng số $\alpha = 0.9$ đạt được hiệu quả tốt nhất khi xét về tỷ lệ các nút còn sống trong mạng (hình 4). Thời gian sống của mạng tăng 46% so với giao thức RPL ban đầu. Kết quả mô phỏng hình 5 cho thấy giao thức IRPL với giá trị trọng số $\alpha = 0.9$ đạt được hiệu quả về tỷ lệ chuyển phát bản tin dữ liệu (DDR) cao hơn so với giao thức RPL ban đầu. Tổng hợp kết quả hình 4, 5 cho chúng ta thấy giao thức IRPL với giá trị trọng số $\alpha = 0.9$ đảm bảo được sự cân bằng tốt nhất về thời gian sống của mạng cũng như tỷ lệ chuyển phát bản tin dữ liệu trong mạng.



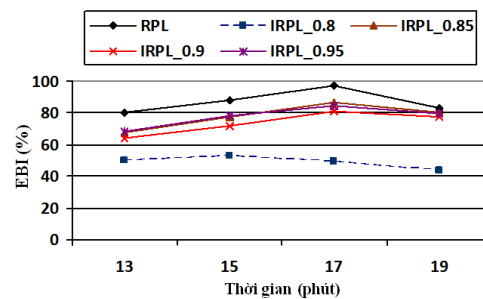
Hình 3. Mô hình triển khai mạng gồm 26 nút.



Hình 4. So sánh tỷ lệ các nút còn sống.



Hình 5. So sánh tỷ lệ chuyển phát bản tin dữ liệu.

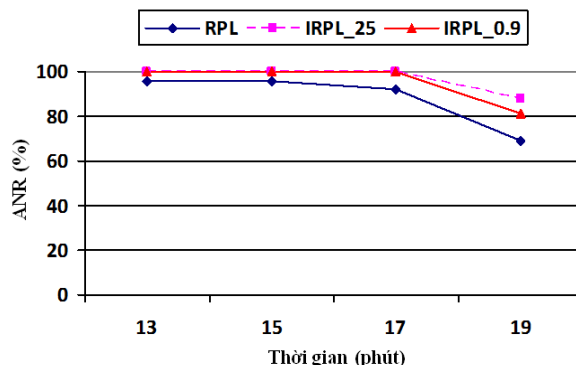


Hình 6. So sánh sự cân bằng năng lượng.

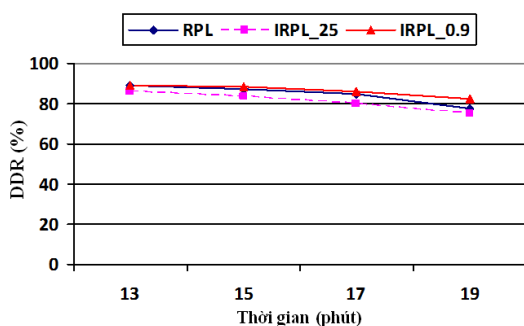
Chúng tôi so sánh kết quả mô phỏng trong bài báo này với kết quả mô phỏng đã được đề xuất trong bài báo [7]. Hình 7, 8, 9 lần lượt là kết quả đánh giá mô phỏng so sánh giữa giao thức IRPL theo giải pháp ngưỡng EI = 25% [7] và giao thức IRPL theo giải pháp trọng số $\alpha = 0.9$ với giao thức RPL ban đầu.

Kết quả đánh giá mô phỏng ở hình 7 cho thấy giao thức IRPL theo giải pháp trọng số $\alpha = 0.9$ (IRPL_0.9) cho hiệu quả về thời gian sống của mạng tương đương so với giải pháp chọn ngưỡng EI = 25% (IRPL_25). Cả hai giải pháp đều cho phép tăng thời gian sống của mạng lên đến 46% so với giao thức RPL ban đầu.

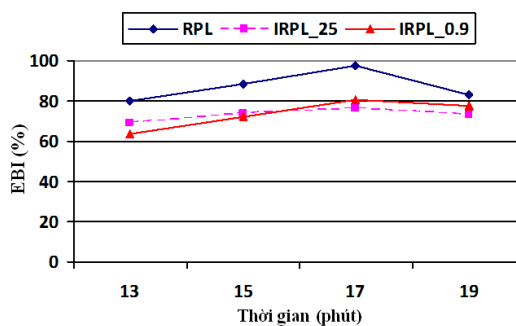
Kết quả mô phỏng ở hình 8 cho thấy giải pháp cải tiến theo trọng số $\alpha = 0.9$ đem lại hiệu quả về tỷ lệ chuyển phát bản tin dữ liệu DDR cao hơn so với giải pháp chọn ngưỡng EI = 25%. Hình 8 cũng cho thấy, càng về cuối quá trình mô phỏng thì sự khác biệt về tỷ lệ DDR càng tăng lên. Tại phút thứ 19, tỷ lệ DDR của giao thức IRPL_0.9 bằng 82,4% trong khi tỷ lệ DDR của giao thức IRPL_25 chỉ bằng 74,9%. Đây là ưu điểm của giải pháp mới được đề xuất trong bài báo này. Kết quả mô phỏng này hoàn toàn phù hợp với phân tích lý thuyết. Ở giải pháp chọn ngưỡng EI = 25%, mặc dù trong khoảng thời gian cuối của quá trình mô phỏng, giao thức IRPL_25 có số lượng các nút còn sống trong mạng cao hơn so với giao thức RPL nhưng một số nút mạng có chỉ số năng lượng còn lại < 25% sẽ không tham gia vào quá trình định tuyến bản tin dữ liệu trong mạng. Trong khi đó, với giao thức IRPL_0.9 thì tất cả các nút vẫn tham gia vào quá trình định tuyến trong mạng. Do vậy, số lượng bản tin dữ liệu nhận được tại nút gốc ứng với giao thức IRPL_25 thấp hơn so với giao thức RPL ban đầu và thấp hơn so với giao thức IRPL_0.9.



Hình 7. So sánh tỷ lệ các nút còn sống.



Hình 8. So sánh tỷ lệ chuyển phát bản tin dữ liệu.



Hình 9. So sánh sự cân bằng năng lượng.

Hình 9 cũng cho thấy giải pháp mà chúng tôi đề xuất đảm bảo được sự cân bằng năng lượng giữa các nút trong mạng tốt hơn so với giao thức RPL ban đầu.

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, chúng tôi đã đề xuất giải pháp kết hợp giữa thước đo định tuyến chất lượng liên kết và chỉ số năng lượng còn lại trong giao thức IRPL. Chúng tôi kết hợp hai thước đo định tuyến này theo một trọng số α . Chúng tôi đã thực thi giải pháp đề xuất trên hệ điều hành Contiki. Từ đó, chúng tôi đánh giá giải pháp đề xuất dựa trên mô phỏng trong một mô hình mạng cảm biến không dây đa chặng. Kết quả đánh giá mô phỏng cho thấy giải pháp mới do chúng tôi đề xuất đạt được hiệu quả cao hơn so với giao thức RPL ban đầu về cả thời gian sống của mạng và tỷ lệ chuyển phát bản tin dữ liệu. Thời gian sống của mạng tăng 46% so với giao thức RPL ban đầu khi trọng số $\alpha = 0.9$.

Trong thời gian tới, chúng tôi sẽ tiếp tục thực hiện một số đánh giá thực nghiệm với giao thức IRPL nhằm kiểm chứng lại các kết quả mô phỏng đã thực hiện.

Lời cảm ơn: Chúng tôi xin chân thành cảm ơn Đề tài mã số ĐH 2015-TN07-05 đã tài trợ kinh phí cho công trình này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. N. Tsiftes, J. Eriksson, and A. Dunkels, "Low-Power Wireless IPv6 Routing with ContikiRPL," in Proceedings of the International Conference on Information Processing in Sensor Networks (ACM/IEEE IPSN), Stockholm, Sweden, 2010.

- [2]. JeongGil Ko, Andreas Terzis, Stephen Dawson-Haggerty, David E. Culler, Jonathan W. Hui, Philip Levis, “*Connecting Low-Power and Lossy Networks to the Internet*,” IEEE Communications Magazine, pp. 96 – 101, April 2011.
- [3]. Vũ Chiến Thắng, Lê Nhật Thăng, “*Đánh giá hiệu năng giao thức định tuyến IPv6 cho mạng cảm biến không dây*,” Tạp chí Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ quân sự, ISSN 1859-1043, số 38, 8/2015.
- [4]. Rahul C. Shah, Jan M. Rabaey, “*Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks*,” in proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC’02), Orlando, FL, USA, March 2002, pp. 350.
- [5]. P. Kamgoue, E. Nataf, T. Ndié, O. Festor, “*Energy-Based Routing Metric for RPL*,” Research Report RR-8208, INRIA, 2013.
- [6]. O. Iova, Fabrice Theoleyre, and Thomas Noel, “*Improving network lifetime with energy-balancing routing: Application to RPL*,” in Proceedings of Wireless and Mobile Networking Conference, 2014.
- [7]. Vũ Chiến Thắng, Nguyễn Văn Tảo, Lê Nhật Thăng, và các cộng sự, “*IRPL: Giao thức định tuyến IPv6 có sự nhận thức về năng lượng cho mạng cảm biến không dây*,” Hội nghị toàn quốc lần thứ 3 về Điều khiển và Tự động hóa – VCCA 2015, ISBN 978-604-913-429-6, Thái Nguyên 11/2015.
- [8]. Tsvetko Tsvetkov, “*RPL: IPv6 Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks*,” Seminar SN SS2011 : Network Architectures and Services, pp. 59–66, July 2011.

ABSTRACT

A SOLUTION FOR COMBINATION OF LINK QUALITY AND RESIDUAL ENERGY IN IRPL PROTOCOL

Internet of Things devices will be deployed with a large number of nodes which are battery-operated. In a low-power wireless network, power-efficiency issue in order to improve the network lifetime is an important requirement. In this paper, we propose a solution for combination of two routing metrics that are the link quality and the residual energy indicator in IRPL protocol. We combine two routing metrics based on an alpha weight. Then, we implement and evaluate IRPL protocol. The simulation results show that our solution provides a longer network lifetime and a higher data delivery ratio.

Keywords: Performance evaluation of network, Wireless sensor networks, Contiki operating system, Improved RPL protocol.

*Nhận bài ngày 28 tháng 06 năm 2016
Hoàn thiện ngày 01 tháng 11 năm 2016
Chấp nhận đăng ngày 14 tháng 12 năm 2016*

Địa chỉ: ¹ Trường Đại học Công nghệ thông tin và Truyền thông Thái Nguyên;

² Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông;

* Email: vcthang@ictu.edu.vn.