

6LoWPAN - Giao thức phù hợp cho IoT

> **TRẦN VĂN HƯNG***

Internet kết nối vạn vật (Internet of Things - IoT) sẽ điều khiển thế giới tương lai, nơi tất cả các thiết bị sẽ được kết nối với nhau. Đây là một xu hướng công nghệ mới đang phát triển rất nhanh và là một chủ đề nóng thu hút được nhiều sự quan tâm của các nhà khoa học trên thế giới. Nhiều chuẩn giao thức khác nhau đã được đề xuất cho mô hình mạng IoT. Một trong những chuẩn đó chính là việc sử dụng giao thức IPv6 trên môi trường liên kết vô tuyến theo chuẩn IEEE 802.15.4.

6LoWPAN - IPv6 TRONG MẠNG KHÔNG DÂY CÔNG SUẤT THẤP

Khi nhu cầu về số lượng thiết bị và kết nối ngày càng tăng, IPv6 có thể đáp ứng được yêu cầu kết nối và định danh cho từng thiết bị, nó đảm bảo khả năng mở rộng gần như không giới hạn. Đồng thời, khả năng kết nối đầu cuối - đầu cuối cũng được cải thiện mà không cần dùng đến NAT, cho phép tự động cấu hình mà không cần máy chủ DHCP. Tất cả những kỹ thuật này có thể được thực hiện thông qua 6LoWPAN (IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Networks), đây chính là kỹ thuật triển khai IPv6 cho mạng không dây có công suất hạn chế.

6LoWPAN nhằm đến mục tiêu là các mạng vô tuyến năng lượng thấp và có các đặc tính như hỗ trợ địa chỉ

16 bit và 64 bit, hỗ trợ nén mào đầu gói tin IPv6 cũng như UDP, tự động cấu hình, tự động phát hiện nút lân cận, hỗ trợ unicast, multicast và broadcast, v.v.. Đây là giao thức được đánh giá thực sự phù hợp cho IoT. Kỹ thuật 6LoWPAN đã được chuẩn hóa trong các tiêu chuẩn RFC, cụ thể:

- RFC 4944 (Năm 2007): Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks.
- RFC 6282 (Năm 2011): Compression Format for IPv6 Datagrams over IEEE 802.15.4-Based Networks.
- RFC 6775 (Năm 2012): Neighbor Discovery Optimization for IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks (6LoWPANs)
- RFC 8066 (Năm 2017): IPv6

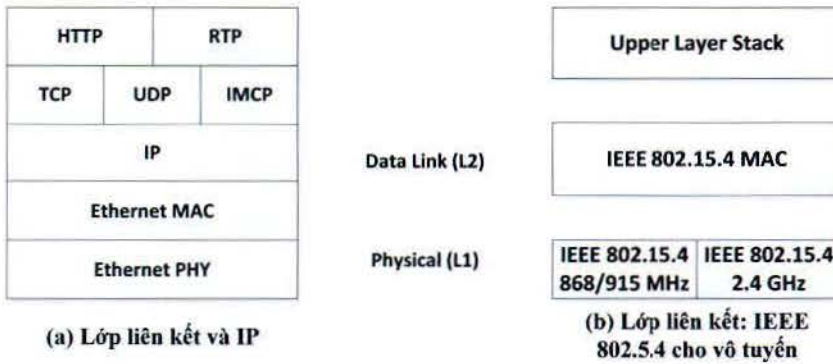
over Low-Power Wireless Personal Area Network (6LoWPAN) - ESC Dispatch Code Points and Guidelines.

LIÊN KẾT DỮ LIỆU TRONG 6LoWPAN

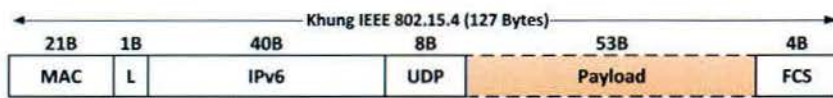
1. Lớp liên kết dữ liệu

Giao thức kết nối liên mạng có nhiệm vụ kết nối tất cả các loại liên kết không đồng nhất. Tầng liên kết dữ liệu cung cấp các phương tiện chức năng và thủ tục để truyền dữ liệu giữa các thực thể mạng, đồng thời cũng có thể cung cấp phương tiện để phát hiện hay sửa các lỗi này sinh từ tầng vật lý. Các đặc tính chủ yếu được hỗ trợ bởi giao thức IP như là định khung, kiểm soát lỗi, địa chỉ hóa, unicast hay broadcast. Một ví dụ của giao thức lớp liên kết dữ liệu là trong Ethernet, nó còn được gọi là lớp điều khiển truy nhập kênh truyền

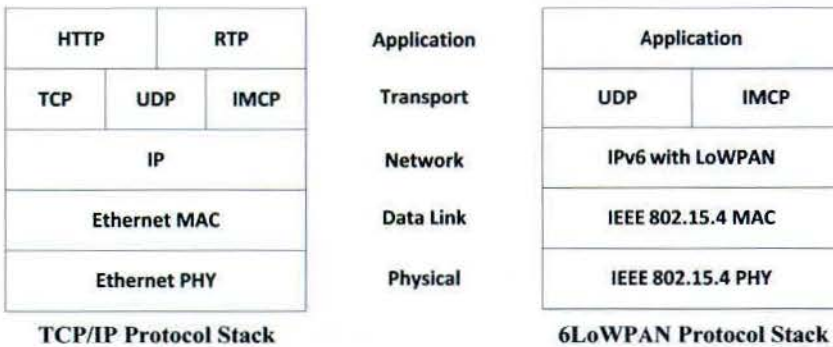
* Khoa Điện - Điện tử, Trường ĐH Giao thông vận tải



Hình 1. Lớp liên kết dữ liệu của 6LoWPAN



Hình 2. Cấu trúc khung IEEE 802.15.4



Hình 3. Ngăn xếp giao thức TCP/IP và 6LoWPAN

MAC (Media Access Control) như trong Hình 1(a).

Với mục đích truyền thông không dây ở công suất thấp, giao thức truyền thông IEEE 802.15.4 là một giao thức quan trọng trong lĩnh vực điều khiển công nghiệp, mạng gia đình và tự động hóa tòa nhà. Phương thức truy cập kênh truyền có thể sử dụng CSMA-CA, CSMA-CA có chia khe, hoặc TDMA. Lớp liên kết dữ liệu hỗ trợ 64.000 nút mạng, mỗi nút sử dụng 16 bit địa chỉ. Các băng tần và tốc độ truyền dữ liệu tương ứng là: châu Âu với băng tần 868 - 868,6 MHz, tốc độ 20 kb/s, cho phép

1 kênh truyền; Bắc Mỹ với băng tần 902 - 928 MHz, tốc độ 40 kb/s, cho phép lên tới 13 kênh truyền; Những nơi khác sử dụng băng tần 2400 - 2483,5 MHz, tốc độ 250 kb/s, cho phép lên tới 16 kênh truyền. Ngoài ra còn có các mở rộng của tiêu chuẩn này, lớp liên kết của IEEE 802.15.4 được mô tả trong ngăn xếp như Hình 1(b).

2. Kích thước khung và tải dữ liệu

Giao thức truyền thông vô tuyến công suất thấp luôn cố gắng giảm thiểu kích thước khung dữ liệu. Tuy nhiên kích thước của khung phụ

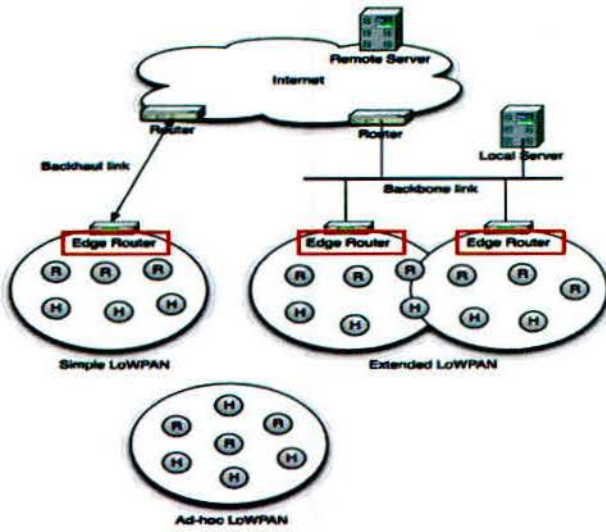
thuộc vào tải dữ liệu và các tín hiệu báo hiệu cần thiết để truyền gói tin. Hình 2 là một ví dụ về khung dữ liệu trong tiêu chuẩn IEEE 802.15.4 có kích thước tổng là 127 byte, trong đó tải dữ liệu là 53 byte. Ta thấy rằng bổ sung phần mào đầu IPv6 làm tăng đáng kể kích thước gói tin.

ĐẶC TÍNH CỦA 6LoWPAN

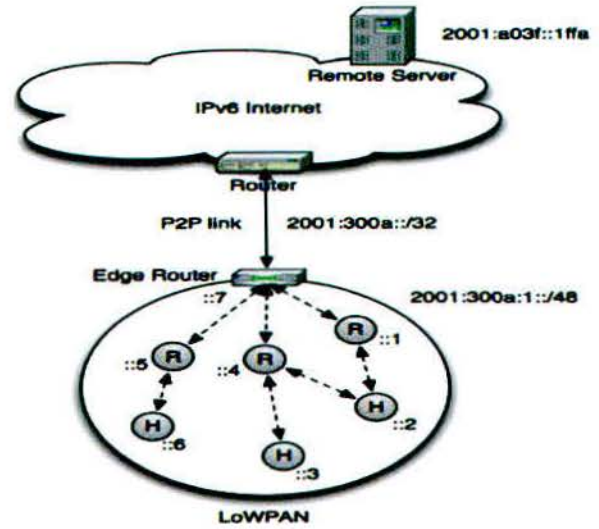
Đặc tính chủ yếu của 6LoWPAN là hỗ trợ chế độ địa chỉ hóa 16 bit và 64 bit. Đây là đặc tính dành cho truyền thông không dây công suất thấp, mà một trong số đó là chuẩn Bluetooth thông minh hay Bluetooth năng lượng thấp đã tận dụng được lợi thế của việc nén tiêu đề cho IPv6 cũng như tiêu đề UDP. Trong 6LoWPAN cho phép tự động cấu hình tất cả các thiết bị riêng lẻ tham gia mạng và cho phép mỗi thiết bị có khả năng tự động phát hiện các nút "hàng xóm" lân cận. 6LoWPAN hỗ trợ các phương thức truyền unicast, multicast và broadcast, đồng thời cũng đưa ra khái niệm phân đoạn hay phân mảnh dữ liệu. Kích cỡ khung cơ sở trong tiêu chuẩn IEEE 802.15.4 là 127 byte trong khi một đơn vị truyền của IPv6 có kích cỡ 1280 byte. Do đó cần thực hiện phân mảnh 1280 byte vào tập các khung 127 byte và điều này đã được hỗ trợ trong 6LoWPAN. 6LoWPAN cũng hỗ trợ định tuyến IP, hỗ trợ kết nối mạng dưới lớp liên kết và hỗ trợ bảo mật. Hình 3 mô tả ngăn xếp giao thức 6LoWPAN tối thiểu và được so sánh với ngăn xếp giao thức TCP/IP truyền thống.

KIẾN TRÚC CỦA 6LoWPAN

Hình 4 mô tả ví dụ triển khai IPv6 trên kiến trúc của 6LoWPAN. Mạng



Hình 4. Kiến trúc mạng 6LoWPAN



Hình 5. Địa chỉ hóa 6LoWPAN

6LoWPAN có kiến trúc dạng Stub network và hỗ trợ kết nối mắt lưới toàn phần (full mesh). Các phần tử trên mạng bao gồm:

- Router là thiết bị đầu cuối và tham gia thực hiện định tuyến dữ liệu đến các thiết bị đầu cuối khác.
- Host là thiết bị đầu cuối nhưng không tham gia thực hiện định tuyến dữ liệu đến các thiết bị khác.
- Edge router (gateway) là thiết bị kết nối giữa mạng 6LoWPAN và mạng Internet bên ngoài. Edge router thực hiện các chức năng như: định tuyến, thu thập dữ liệu cục bộ giữa các thiết bị 6LoWPAN với nhau, NAT64, MTU, firewall, security, phát và duy trì mạng con.

Các thiết bị sử dụng địa chỉ IPv6 để kết nối trong mạng không dây công suất thấp phải tuân theo các yêu cầu cơ bản trong môi trường IEEE 802.15.4 về cấu trúc khung dữ liệu, phương thức kết nối, truy nhập đường truyền, cũng như cách thức truyền dữ liệu (MTU 127 bytes). Tuy

nhiên do đặc điểm các thiết bị có công suất thấp, khả năng xử lý hạn chế nên kỹ thuật nén mào đầu gói tin đã được áp dụng nhằm lược bỏ các thông tin không cần thiết, từ đó làm giảm kích thước gói tin và giảm bớt quá trình xử lý tại các thiết bị mạng.

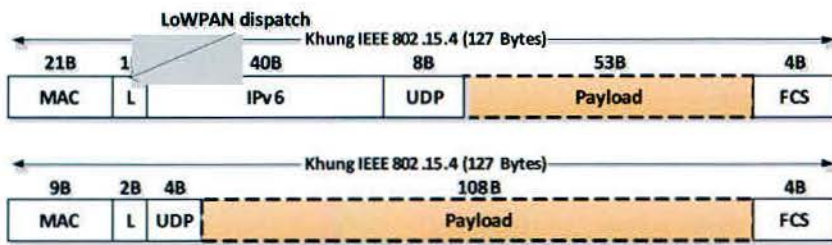
ĐỊA CHỈ HÓA 6LoWPAN

Địa chỉ hóa trong 6LoWPAN khác với địa chỉ hóa IPv6 thông thường. Về cơ bản các địa chỉ IPv6 được nén cho các mục đích của 6LoWPAN. Vì thế LoWPAN hoạt động theo nguyên tắc có một không gian địa chỉ nền, điều đó có nghĩa là mạng vô tuyến bên trong mạng con IPv6 có duy nhất địa chỉ MAC. Địa chỉ này có chiều dài 16 bit hoặc 64 bit. Vì vậy việc nén các địa chỉ IPv6 được thực hiện bằng cách loại bỏ tiền tố IPv6, nén IID (Interface Identifier) và nén các địa chỉ multicast. Về cơ bản tiền tố toàn cục được tắt cả các nút trong mạng biết đến và tiền tố lớp liên kết được chỉ ra bởi các định dạng tiêu đề. Qua ví dụ về địa chỉ hóa được thể

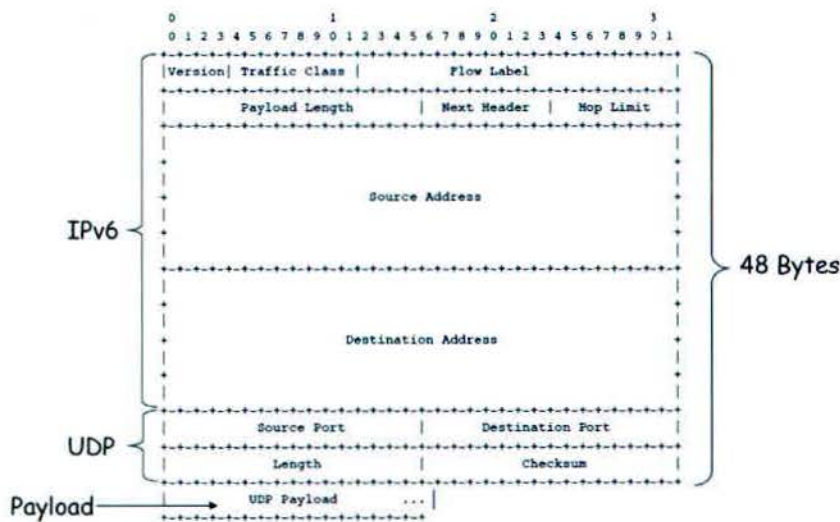
hiện trong Hình 5, bao gồm mạng lõi IPv6 kết nối thông qua 1 router và 1 router cạnh hỗ trợ 6LoWPAN. Router thực hiện phân phát địa chỉ cụ thể đến mạng 6LoWPAN, và địa chỉ của router cạnh là địa chỉ chung cho toàn bộ mạng 6LoWPAN.

1. Nén tiêu đề trong 6LoWPAN theo tiêu chuẩn 802.15.4

Tiêu đề trong 6LoWPAN được thay đổi dựa trên tiêu chuẩn IEEE 802.15.4 và so sánh tiêu đề của 6LoWPAN với IEEE 802.15.4 được mô tả trong Hình 6. Ta thấy rằng trong tiêu chuẩn 802.15.4 chỉ có 53 byte tải dữ liệu trong khung 127 byte. Trong 6LoWPAN đã thực hiện nén tiêu đề để có được tải dữ liệu là 108 byte. Trường 40 byte của IPv6 không còn khi địa chỉ hóa UDP/6LoWPAN. Một minh họa của UDP/IPv6 truyền thống được mô tả trong Hình 7, trong đó phần lớn dung lượng dành cho địa chỉ nguồn và địa chỉ đích còn phần tải dữ liệu rất nhỏ, 6LoWPAN đã khắc phục được vấn đề này.



Hình 6. So sánh tiêu đề của 6LoWPAN với tiêu chuẩn 802.15.4



Hình 7. Header trong UDP/IPV6

Bước 1: Commissioning - Lốp liên kết dữ liệu được thiết lập giữa các nút

Bước 2: Bootstrapping - Địa chỉ lớp mạng được cấu hình, các nút lân cận được phát hiện và quá trình đăng ký hoàn tất.

Bước 3: Route Initialization - Các thiết lập của thuật toán định tuyến được thực hiện để thực hiện định tuyến.

2. Phát hiện các nút lân cận trong 6LoWPAN

Việc phát hiện các nút lân cận trong IPv6 không giống như trong 6LoWPAN. Lý do là trong IPv6 giả thiết tất cả các liên kết đều sử dụng một tiền tố duy nhất, giả định khác là tất cả các nút đều luôn ở trạng thái sẵn sàng, điều này là không đúng với 6LoWPAN. Lưu lượng lớn Multicast trong IPv6 không phải dễ dàng được hỗ trợ trong 6LoWPAN, và cuối cùng truyền thông đa chặng cũng không được hỗ trợ hiệu quả trong tiêu chuẩn IEEE 802.15.4 vốn được dùng cho 6LoWPAN. Do vậy việc phát hiện các nút lân cận trong 6LoWPAN cần cung cấp mô hình mạng con và liên kết thích hợp để giảm thiểu lưu lượng điều khiển giữa các nút, cung cấp các thủ tục đăng ký, xác nhận, nhận dạng/phát hiện các địa chỉ trùng lặp và phục hồi từ các vấn đề tương tự, tất cả được hỗ trợ bởi cấu trúc định tuyến router cạnh mở rộng.

BẢO MẬT TRONG 6LoWPAN

6LoWPAN hỗ trợ bảo mật, đây là vấn đề rất quan trọng đối với các hệ thống IoT. Các sóng vô tuyến radio

2. Phân mảnh gói tin 6LoWPAN

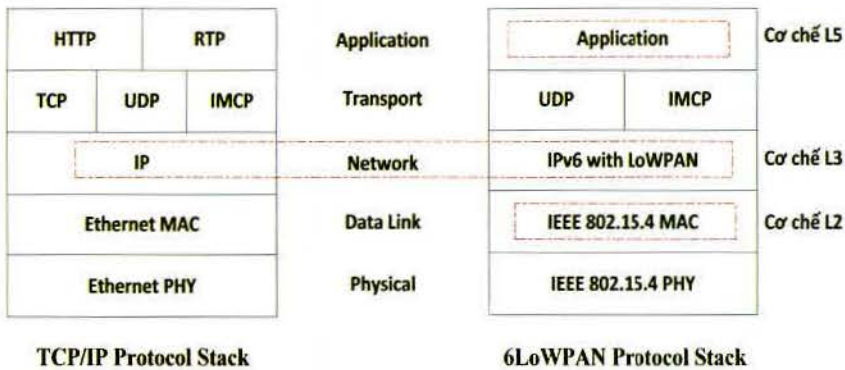
Một vấn đề cần giải quyết là kích thước của gói tin IP lớn hơn kích thước của gói tin trong tiêu chuẩn 802.15.4. Làm thế nào để 1280 byte của MTU trong IPv6 có thể được chuyển đi bởi tiêu chuẩn 802.15.4 với kích thước chỉ có từ 80 byte đến 100 byte. Vì thế sự phân mảnh là cần thiết và nó thực hiện chia MTU thành số lượng lớn các khung có kích thước nhỏ. Áp dụng phân mảnh sẽ mang lại hiệu quả về mặt truyền dẫn khi triển khai trong các mạng vô tuyến công suất thấp. Tuy nhiên việc phân mảnh sẽ kéo theo các vấn đề phát sinh như các gói tin phân mảnh dễ bị

lỗi khi tái lập bản tin ban đầu. Chỉ cần một phân mảnh bị lỗi thì toàn bộ bản tin bị lỗi và phải thực hiện truyền lại đến khi nhận được MTU hoàn chỉnh. Đây là vấn đề phát sinh trong khi kênh có băng thông nhỏ và trễ lớn. Vì vậy khi sử dụng giao thức, nếu có thể, cố gắng tránh phân mảnh bằng cách sử dụng các thuật toán nén hoặc biện pháp tương tự.

THIẾT LẬP VÀ HOẠT ĐỘNG CỦA 6LoWPAN

1. Khởi động 6LoWPAN

Các bước khởi động 6LoWPAN theo trình tự như sau, các bước này được duy trì thực hiện liên tục.



Hình 8. Các lớp cung cấp cơ chế bảo mật trong 6LoWPAN

trên thực tế rất dễ bị nghe trộm và có năng lực xử lý hạn chế. Ví thế, với hệ thống bất kỳ thường có ba mục tiêu chính cần đảm bảo là tính toàn vẹn, tính bảo mật và tính khả dụng. Tất cả các mục tiêu an toàn này đều được hỗ trợ trong 6LoWPAN thông qua ba lớp khác nhau, cụ thể là lớp ứng dụng, lớp MAC và lớp mạng như thể hiện trong Hình 8.

1. Cơ chế bảo mật - Lớp 2 (MAC)

Mặc dù bảo mật Internet được coi là đầu cuối - đầu cuối, tuy nhiên các kênh trong mạng vô tuyến rất dễ bị tấn công, bị nghe lén hoặc giả mạo các gói tin tại các nút. Vì vậy tại lớp liên kết dữ liệu phải được bảo vệ để chống lại các cuộc tấn công. IEEE 802.15.4 cho phép xây dựng mã hóa sử dụng AES 128 (Advanced Encryption Standard) và

kiểm tra mã hóa toàn vẹn CCM (Counter with CBC-MAC mode). Các chip LoWPAN bán trên thị trường cũng được tích hợp mã hóa phần cứng cho AES 128.

2. Cơ chế bảo mật - Lớp 3 (Lớp mạng)

Tại lớp 3 (Lớp mạng), tính năng bảo mật đầu cuối - đầu cuối được cung cấp bởi IPSec. Về cơ bản, toàn bộ kênh truyền giữa hai điểm đầu cuối được bảo vệ. Với việc sử dụng IPSec nhằm đảm bảo tính toàn vẹn, xác thực và bảo mật dữ liệu. Có hai kiểu mã hóa khác nhau được định nghĩa: mã hóa xác thực AH (Authentication Header) và mã hóa mã hóa ESP (Encrypted Security Payload). Hai mã hóa này có thể được sử dụng chung hay riêng để hỗ trợ nhiều chức năng bảo mật. Một phiên bản đặc biệt của ESP được

định nghĩa sử dụng AES/CCM thích hợp cho các nút 6LoWPAN. Lỗi phần cứng dùng cho lớp 2 trong IEEE 802.15.4 cũng có thể sử dụng cho mục đích bảo mật ở Lớp 3.

KẾT LUẬN

Thông qua phân tích kiến trúc và các đặc điểm của 6LoWPAN, có thể khẳng định rằng giao thức này có nhiều tính năng phù hợp với môi trường IoT. Lớp liên kết của 6LoWPAN có thể hỗ trợ nhiều "Thing" cùng tham gia. Giao thức stack của 6LoWPAN thích hợp cho IoT. Ngoài ra, 6LoWPAN còn có nhiều tính năng khác như: hỗ trợ địa chỉ 16 bit hoặc 64 bit nhằm vào các mạng vô tuyến công suất thấp bao gồm tiêu chuẩn Bluetooth thông minh hay Bluetooth năng lượng thấp, nén tiêu đề đối với IPv6 hay UDP, tự động cấu hình mạng, cho phép tự động phát hiện các nút mạng lân cận, hỗ trợ unicast, multicast và broadcast, hỗ trợ phân mảnh. 6LoWPAN có hầu hết các tính năng của IPv6 nhưng dành cho các thiết bị nhỏ và có năng lực xử lý hạn chế. Có thể kết luận rằng 6LoWPAN là một giao thức liên quan đến các vấn đề hạn chế trong các hệ thống IoT và nó hoàn toàn phù hợp với IoT. ❖

Tài liệu tham khảo

- [1] C. LAKSHMI DEVASENA, IPv6 Low Power Wireless Personal Area Network (6LoWPAN) for Networking Internet of Things (IoT) - Analyzing its Suitability for IoT, Indian Journal of Science and Technology, Vol 9(30), DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i30/98730, August 2016
- [2] OLSSON J, 6LoWPAN demystified, Texas Instruments. Available from: <http://www.ti.com.cn/cn/lit/wp/swry013/swry013.pdf>
- [3] N. KUSHALNAGAR, G. MONTENEGRO, C. SCHUMACHER, IPv6 over low-power wireless personal area networks (6LoWPANs): overview, assumptions, problem statement, and goals, Tech. rep, 2007
- [4] GHADA GLISSA, AREF MEDDEB, 6LowPsec: An End-to-End Security Protocol for 6LoWPAN, Ad Hoc Networks, 2018