

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ GIAO THỨC XUYỀN LỚP PHY, MAC, NETWORK NÂNG CAO HIỆU NĂNG MẠNG AD-HOC ĐA CHẶNG

RESEARCH ON THE PHY, MAC, NETWORK CROSS-LAYER PROTOCOL DESIGN TO IMPROVE THE PERFORMANCE OF MULTI-HOP AD-HOC NETWORKS

Nguyễn Quang Khánh*, Nguyễn Văn Đức**

Trường Đại học Bách khoa Hà Nội; *khanhnq1@vms.com.vn, **duc.nguyenvan1@hust.vn

Tóm tắt - Trong bài báo, một giao thức xuyên lớp giữa 3 lớp PHY (vật lý), MAC (liên kết dữ liệu), NET (mạng) sẽ được đề xuất. Trong mạng ad-hoc, khi một đường kết nối được thiết lập, những vấn đề cấp phát nguồn tài nguyên kênh tại lớp MAC và nhiễu vật lý tại lớp PHY có thể làm giảm hiệu năng của các kết nối. Những vấn đề xung đột tại lớp PHY và lớp MAC có thể là nguyên nhân dẫn tới để đảm bảo chất lượng đường truyền, giao thức định tuyến tại lớp NET sẽ phải tìm những kết nối mới và cập nhật bảng định tuyến. Thiết kế xuyên lớp cho phép các lớp có thể trao đổi các thông tin trạng thái nhằm mục đích giải quyết các vấn đề trên và nâng cao hiệu năng mạng. Kết quả mô phỏng thu được sẽ chứng minh giao thức xuyên lớp giữa 3 lớp PHY, MAC, NET, trong đó lớp PHY dựa trên tham số SINR, lớp MAC dựa trên thuật toán cấp phát kênh động, lớp NET dựa trên thuật toán Dijkstra sẽ đảm bảo nâng cao hiệu năng mạng ad-hoc đa chặng.

Từ khóa - thiết kế xuyên lớp; giao thức lớp PHY; giao thức lớp MAC; giao thức lớp NET; mạng ad-hoc đa chặng.

1. Đặt vấn đề

Mô hình OSI, TCP/IP Internet ngày nay đều dựa trên nguyên tắc phân lớp rõ ràng về mặt chức năng đã đóng một vai trò quan trọng trong các thiết kế của lĩnh vực mạng máy tính. Theo nguyên tắc này, mỗi lớp thực hiện các chức năng riêng biệt không phụ thuộc vào các lớp khác. Khi một lớp cập nhật, thay đổi các giao thức thì các lớp còn lại không cần thay đổi mà vẫn đảm bảo hoạt động của mô hình. Theo nguyên tắc trên, mô hình OSI truyền thống, TCP/IP Internet đã bỏ qua các tác động qua lại của các lớp. Mô hình OSI truyền thống, TCP/IP được áp dụng rất hiệu quả trong mạng có dây [1].

Tuy nhiên, trong mạng không dây cũng như mạng ad-hoc sự tác động lẫn nhau giữa các lớp là quá lớn và ảnh hưởng qua lại rất rõ. Trong mạng không dây, ad-hoc, những vấn đề tại lớp dưới ảnh hưởng chức năng của lớp trên thường xuyên xảy ra như: các xung đột kênh truyền tại lớp liên kết dữ liệu là nguyên nhân dẫn tới các giao thức định tuyến tại lớp mạng cần thực hiện cập nhật và tìm lại đường kết nối mới. Do đó, yêu cầu xây dựng một cơ chế trao đổi thông tin giữa các lớp hay thiết kế xuyên lớp là rất cần thiết. Hiện nay, các nghiên cứu thiết kế xuyên lớp trong mạng không dây chưa thực sự phát triển. Thuật toán cấp phát kênh động tại lớp MAC trong mạng OFDMA/TDD giải quyết các vấn đề của mạng không dây như node ẩn, node hiện, nhiễu xuyên kênh (CCI), tham số SINR tại lớp PHY đảm bảo chất lượng mạng, thuật toán Dijkstra tại lớp NET được sử dụng rất nhiều trong các giao thức tìm đường trong mạng. Chúng tôi sẽ sử dụng các tham số, thuật toán tại các lớp để thực hiện liên kết thiết kế các giao thức xuyên lớp mới. Hiện nay, chúng tôi đã thực hiện nghiên cứu thiết kế xuyên lớp giữa hai lớp PHY+NET [3] và giữa hai lớp MAC+NET [4], các giao thức đề xuất đều đã chứng minh nâng cao chất lượng mạng ad-hoc đa chặng.

Abstract - This paper proposes a new cross layer protocol of PHY layer, MAC layer and NET layer. In ad-hoc network, when a route is established, the radio resource allocation problems at MAC layer and the physical interference at PHY layer may decrease the end to end performance proportionally. The contention at MAC layer and PHY layer may cause routing protocol to respond by finding new routes and routing table updates. The cross layer design allows layers to exchange state information in order to solve the problem and obtain higher performance. Numerical results show significant improvements in the proposed cross layer protocol of PHY layer, MAC layer and NET layer, besides the PHY layer based on SINR parameter, the MAC layer based on the Dynamic Sub-channel Assignment algorithm, the NET layer based on Dijkstra algorithm ensure the performance of multi-hop ad-hoc networks.

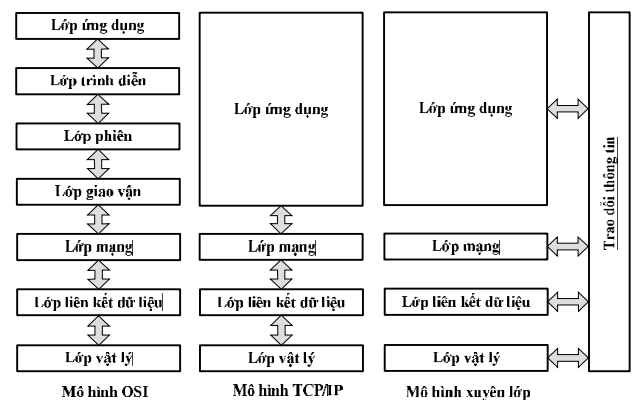
Key words - cross layer design; PHY layer protocol; MAC layer protocol; NET layer protocol; Ad-hoc multi-hop network.

Trong bài báo này, chúng tôi sẽ đề xuất giao thức xuyên lớp giữa 3 lớp PHY+MAC+NET. Giao thức đề xuất sẽ nâng cao hiệu năng mạng ad-hoc đa chặng so với các giao thức xuyên lớp đã tồn tại.

2. Giải quyết vấn đề

2.1. So sánh mô hình phân lớp và xuyên lớp

Trong kiến trúc mạng gói, các chức năng mạng được tổ chức thành các tầng độc lập được gọi là các lớp giao thức, các dữ liệu điều khiển trong các gói được đóng gói trong phần header của giao thức, đây gọi là mô hình phân lớp. Mô hình tham chiếu OSI được cấu trúc thành 7 lớp, mô hình tham chiếu TCP/IP được cấu trúc thành 4 lớp. Mô hình OSI chỉ thực sự hiệu quả trong mạng có dây, do tính ổn định, sự tin cậy cao, đường kết nối giữa các node là độc lập với nhau.



Hình 1. So sánh mô hình xuyên lớp và phân lớp

Mô hình xuyên lớp là kiến trúc cho phép các lớp có thể trao đổi thông tin nhằm mục đích nâng cao hiệu năng của

mạng. Trong mô hình xuyên lớp, các lớp sử dụng thông tin của lớp khác để thực hiện các chức năng qua đó có thể cung cấp các tính năng tối ưu. Nhược điểm của mô hình xuyên lớp là sự phức tạp khi thực hiện cải tiến các giao thức trên các lớp do sự ảnh hưởng qua lại giữa các lớp. Mô hình xuyên lớp được sẽ được áp dụng hiệu quả trong các môi trường không có sự ổn định, tin cậy như mạng không dây. Sự khác nhau giữa mô hình xuyên lớp và phân lớp được mô tả trong Hình 1 [2].

2.2. Giải thuật cấp phát kênh động tại lớp MAC

Trong mục này, chúng tôi sẽ mô tả giải thuật cấp phát kênh động tại lớp MAC đã được công bố tại [7, 8]. Giải thuật cấp phát kênh động được xây dựng trên cơ chế cấp phát kênh dựa trên tín hiệu báo bận. Giải thuật được mô tả chi tiết trong hai giai đoạn sau:

2.2.1. Giai đoạn thiết lập liên kết

Giả thiết, trong mạng truyền dữ liệu có rất nhiều node, trong đó, node thứ m là node muốn truyền dữ liệu đến node nhận – node thứ k trong mạng. Giai đoạn thiết lập liên kết xảy ra khi node thứ m thực hiện gia nhập mạng và muốn truyền dữ liệu cho node thứ k trong mạng. Đầu tiên, node thứ m lắng nghe tất cả các tín hiệu bận trên tất cả các kênh và so sánh công suất của từng tín hiệu đó với một ngưỡng đề xuất để thiết lập tập A. A là tập các kênh có công suất nhỏ hơn ngưỡng và đây sẽ là tập các kênh mà node thứ m có thể sử dụng để truyền dữ liệu. Mô hình toán học (1) để quyết định kênh nào sẽ ấn định được truyền dữ liệu.

$$a_{l,i-1}^{k,m} = \begin{cases} 1 & |\hat{B}_{l,i-1}^m| \leq I_{thr} \\ 0 & \end{cases} \quad (1)$$

Mức ngưỡng I_{thr} là một giá trị cho trước thể hiện mức nhiều lớn nhất mà sự truyền dẫn này có thể gây ra cho các node ở trong mạng. $a_{l,i-1}^{k,m}$ là ký hiệu ấn định kênh thứ l trong tập tất cả các kênh trong mạng sẽ được sử dụng khi node thứ m truyền khung MAC thứ $(i-1)$ đến node thứ k hay không. Nếu $a_{l,i-1}^{k,m} = 1$ kênh thứ l sẽ được cấp phát, ngược lại $a_{l,i-1}^{k,m} = 0$. Trong giai đoạn thiết lập liên kết, node thứ m sẽ thực hiện truyền khung MAC đầu tiên đến node thứ k .

2.2.2. Giai đoạn truyền dữ liệu

Tại khung MAC thứ $(i-1)$, node nhận – node thứ k ước lượng SINR trên các kênh của tập A ở giai đoạn thiết lập liên kết và quyết định các kênh này trong tập A có được duy trì hay không. Dựa trên yêu cầu QoS truyền dữ liệu, node nhận – node thứ k sẽ quyết định duy trì hoặc giải phóng các kênh xác định trong tập A. Node nhận sẽ chỉ quảng bá tín hiệu bận trên các kênh trong tập A được lựa chọn duy trì. Kết quả của việc ra quyết định được mô tả bởi $b_{l,i-1}^{k,m}$ trong đó $b_{l,i-1}^{k,m} = 1$ thì kênh l sẽ được duy trì và ngược lại. Mô hình toán học (2) sẽ thực hiện quyết định xem kênh i sẽ được node nhận duy trì để truyền khung MAC thứ i hay không. $\tilde{\gamma}_{l,i-1}^k$ và γ_{req} là SINR được ước lượng bởi node nhận – node thứ k trên kênh l khi truyền khung MAC thứ $(i-1)$ và QoS yêu cầu.

$$b_{l,i-1}^{k,m} = \begin{cases} 1 & (|\hat{B}_{l,i-1}^m| \leq I_{thr}) \& (\tilde{\gamma}_{l,i-1}^k \geq \gamma_{req}) \\ 0 & \end{cases} \quad (2)$$

Việc quyết định giá trị của $a_{l,i-1}^{k,m}$ do node truyền – node

thứ m thực hiện để loại trừ CCI, trong khi việc quyết định giá trị của $b_{l,i-1}^{k,m}$ lại do node nhận – node thứ k đảm nhiệm để đảm bảo SINR yêu cầu được duy trì. Tập B là tập bao gồm tất cả các kênh được ấn định bởi mô hình (2).

Bắt đầu từ khung MAC thứ i , tập A – tập các kênh được cấp phát bao gồm tập các kênh được duy trì – tập B của khung MAC thứ $(i-1)$ và các kênh mới có công suất tín hiệu báo bận nhỏ hơn ngưỡng I_{thr} . Điều kiện để một kênh được cấp phát sẽ được quyết định theo mô hình sau:

$$a_{l,i-1}^{k,m} = \begin{cases} 1 & (\bar{a}_{l,i-1}^{k,m} |\hat{B}_{l,i-1}^m| \leq I_{thr}) \parallel b_{l,i-1}^{k,m} = 1 \\ 0 & \end{cases} \quad (3)$$

Trong đó: $\hat{B}_{l,i-1}^m$ tương ứng là tín hiệu bận được gửi đi và nhận được trên kênh con thứ l và trong khung MAC thứ i của node truyền – node thứ m và node nhận – node thứ k . $\bar{a}$ là phần bù của a được quyết định theo mô hình toán học sau:

$$\bar{a}_{l,i-1}^{k,m} = \begin{cases} 1 & a_{l,i-1}^{k,m} = 0 \\ 0 & \end{cases} \quad (4)$$

2.3. Giao thức xuyên lớp giữa các lớp PHY+MAC+NET

Trong mạng truyền dữ liệu, trước khi truyền dữ liệu, mỗi node đều phải tìm đường tối ưu đến đích. Ở mục này, chúng tôi sẽ sử dụng các tham số SINR tại lớp PHY, tham số số lượng kênh cấp phát tại lớp MAC (được tính toán bằng cách sử dụng thuật toán cấp phát kênh động tại mục 2.2), thuật toán tìm đường ngắn nhất Dijkstra [5, 6] tại lớp NET là các tham số xây dựng giao thức xuyên lớp.

Các giao thức định tuyến trong mạng không dây đều phụ thuộc vào vùng phủ sóng của mỗi node trong mạng. Trong mạng ad-hoc, do các node thực hiện di chuyển, sự kết nối giữa tất cả các node thay đổi rất nhanh theo thời gian. Các giao thức định tuyến trong mạng không dây đều căn cứ vào các kết nối trong vùng phủ sóng của tất cả các node. Chúng tôi xây dựng mô hình toán học mô phỏng các liên kết trong mạng như sau:

$$m_{i,j} = \begin{cases} d(i,j) & d(i,j) \leq \min(R_i, R_j) \\ 0 & \end{cases} \quad (5)$$

Trong đó:

- R_i là bán kính vùng phủ sóng của node thứ i ;
- $d(i,j)$ là khoảng cách giữa lớp hai node thứ i và j ;
- $m_{i,j}$ là phần tử hàng i , cột j của ma trận kết nối M của mạng các node;
- $\min(R_i, R_j)$ được mô hình theo:

$$\min(R_i, R_j) = \begin{cases} R_i & R_i \leq R_j \\ R_j & \end{cases} \quad (6)$$

Trong giao thức xuyên lớp đề xuất, chúng tôi định nghĩa các tham số như sau:

- *channel_thr* là một giá trị mức ngưỡng cho trước thể hiện số lượng kênh tối ưu khi thực truyền các khung dữ liệu.
- *route_loop* là tham số điều khiển vòng lặp trong thuật toán.
- *Average SINR* là trung bình các SINR của các kênh trên đường kết nối ngắn nhất từ nguồn đến đích trên mạng bằng cách sử dụng thuật toán Dijkstra.
- *SINR_thr* là một giá trị mức ngưỡng cho trước thể hiện chất lượng kênh truyền tại lớp PHY.

- N_route là số lượng các đường kết nối từ nguồn đến đích trên mạng bằng cách sử dụng ma trận kết nối M .

- N_ch là số lượng kênh được cấp phát trên đường kết nối ngắn nhất từ nguồn đến đích trên mạng bằng các sử dụng thuật toán Dijkstra.

Bằng cách sử dụng tham số SINR tại lớp PHY, thuật toán cấp phát kênh động tại lớp MAC, thuật toán tìm đường ngắn nhất Dijkstra tại lớp NET chúng tôi đã đề xuất và chứng minh sự tối ưu của các giao thức xuyên lớp:

- Giao thức xuyên lớp giữa lớp PHY+NET [3]: sử dụng tham số $Average\ SINR$ so sánh tham số ngưỡng $SINR_thr$. Nếu có một đường kết nối có tham số $Average\ SINR$ lớn hơn tham số ngưỡng $SINR_thr$ thì sẽ được chọn là đường tối ưu. Nếu tất cả đường truyền đều có $Average\ SINR$ lớn hơn hoặc nhỏ hơn ngưỡng $SINR_thr$ thì đường có độ dài nhỏ nhất sử dụng thuật toán Dijkstra sẽ là được lựa chọn là đường tối ưu.

- Giao thức xuyên lớp giữa lớp MAC+NET [4]: sử dụng tham số số lượng kênh cấp phát N_ch tại lớp MAC so sánh tham số ngưỡng $channel_thr$. Nếu có một đường kết nối có tham số N_ch lớn hơn tham số ngưỡng $channel_thr$ thì sẽ được chọn là đường tối ưu. Nếu tất cả đường truyền đều có N_ch lớn hơn hoặc nhỏ hơn ngưỡng $channel_thr$ thì đường có độ dài nhỏ nhất sử dụng thuật toán Dijkstra sẽ là được lựa chọn là đường tối ưu.

Trong mục này chúng tôi đề xuất giao thức xuyên 3 lớp PHY+MAC+NET, giao thức xuyên lớp sẽ sử dụng các tham số $Average\ SINR$ tại lớp PHY, tham số N_ch tại lớp MAC so sánh với các tham số ngưỡng $SINR_thr$ và $channel_thr$. Nếu có một đường kết nối có tham số N_ch lớn hơn tham số ngưỡng $channel_thr$ và $Average\ SINR$ lớn hơn tham số ngưỡng $SINR_thr$ thì sẽ được chọn là đường tối ưu. Nếu tất cả đường truyền đều có N_ch lớn hơn hoặc nhỏ hơn ngưỡng $channel_thr$ và $Average\ SINR$ lớn hơn tham số ngưỡng $SINR_thr$ thì đường có độ dài nhỏ nhất sử dụng thuật toán Dijkstra sẽ là được lựa chọn là đường tối ưu. Hình 2 mô tả chi tiết các bước giao thức xuyên lớp được đề xuất:

Bước 1: Xây dựng ma trận kết nối dựa trên mô hình (5). Giá trị điều khiển vòng lặp $route_loop$ được thiết lập = 0.

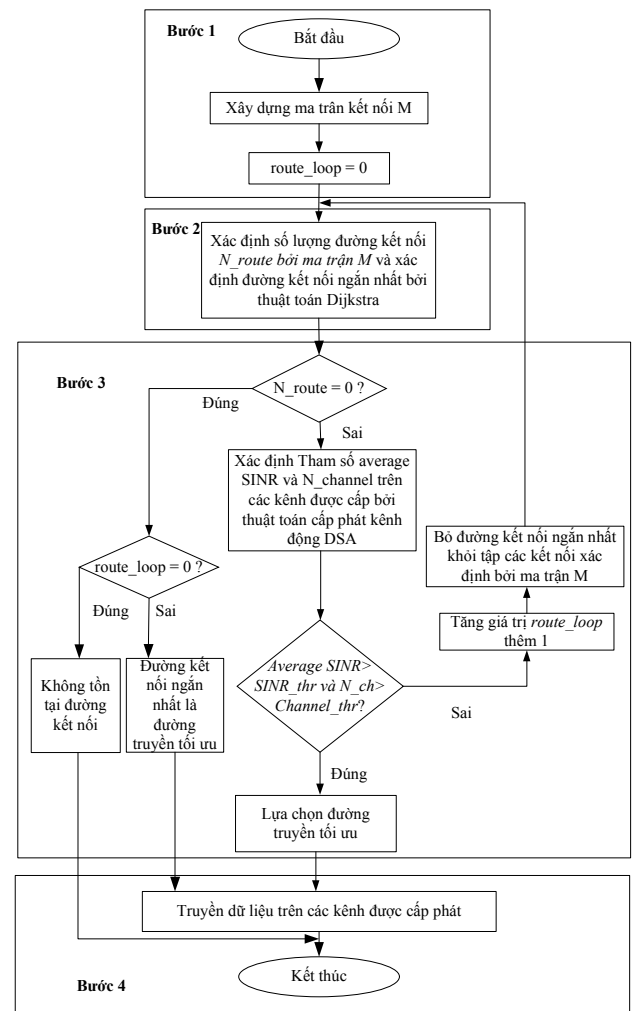
Bước 2: Trong bước này, đường kết nối ngắn nhất được xác định bằng các sử dụng thuật toán Dijkstra và số lượng đường kết nối N_route được xác định bằng cách sử dụng ma trận kết nối M .

Bước 3: Mục đích của bước này để thực hiện tìm đường truyền tối ưu để truyền dữ liệu. Đầu tiên, tham số N_route sẽ được kiểm tra. Nếu $N_route=0$ và $route_loop=0$ thì không có đường truyền nào từ node nguồn đến node đích, quá trình truyền dữ liệu không thể thực hiện. Ngược lại, nếu N_route khác 0 thì sẽ có tối thiểu một đường kết nối từ node nguồn đến node đích.

Dựa vào thuật toán cấp phát kênh động chúng ta số lượng các kênh cấp phát qua đó tính được tham số $Average\ SINR$ và số lượng kênh cấp phát N_ch của đường kết nối ngắn nhất (đường kết nối này được xác định ở bước 2). Nếu " $Average\ SINR$ lớn hơn hoặc bằng giá trị ngưỡng $SINR_thr$ " đồng thời " N_ch lớn hơn hoặc bằng giá trị ngưỡng N_thr ", điều này có nghĩa đường kết nối này đảm bảo yêu cầu chất lượng thông lượng của mạng. Kết quả là

đường kết nối ngắn nhất này sẽ được lựa chọn là đường truyền tối ưu. Ngược lại, nếu " $Average\ SINR$ nhỏ hơn giá trị ngưỡng $SINR_thr$ " hoặc " N_ch nhỏ hơn giá trị ngưỡng N_thr ", chúng ta sẽ phải tìm đường kết nối khác. Tham số $route_loop$ sẽ được tăng thêm 1, giá trị này sẽ chỉ có tối thiểu một đường kết nối không được lựa chọn là đường truyền tối ưu. Chúng tôi thực hiện loại bỏ đường truyền vừa rồi tập các đường kết nối được xác định bởi ma trận kết nối M và chu kỳ thuật toán được quay lại bước 2. Tại bước 2, thuật toán Dijkstra sẽ tìm đường kết nối ngắn nhất không tính các đường kết nối cũ có " $Average\ SINR$ nhỏ hơn giá trị ngưỡng $SINR_thr$ " hoặc " N_ch nhỏ hơn giá trị ngưỡng N_thr ". Tại cuối bước 2, nếu tham số " $Average\ SINR$ của tất cả các đường kết nối đều nhỏ hơn ngưỡng $SINR_thr$ " hoặc " N_ch nhỏ hơn giá trị ngưỡng N_thr ", trong trường hợp này đường kết nối ngắn nhất sẽ được lựa chọn là đường truyền tối ưu đến thực hiện truyền dữ liệu.

Bước 4: Sau khi thực hiện tìm được đường truyền tối ưu, dữ liệu sẽ được truyền trên các kênh được cấp phát của đường truyền tối ưu.



Hình 2. Giải thuật giao thức xuyên lớp PHY+MAC+NET

3. Kết quả nghiên cứu và bàn luận

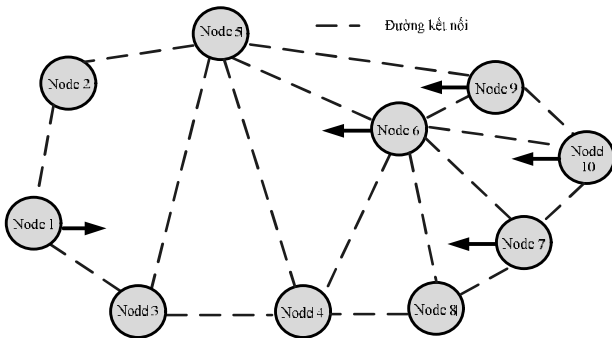
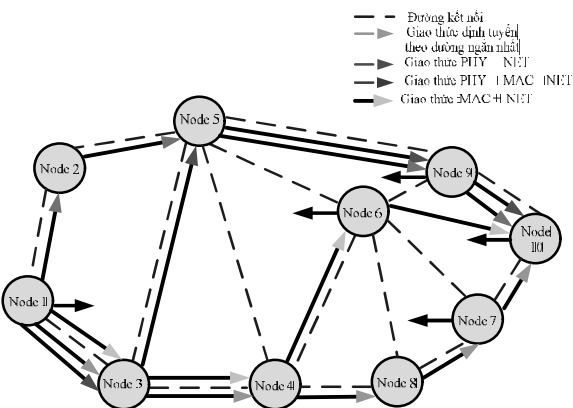
Trong kịch bản mô phỏng, các tham số OFDM sẽ được lựa chọn như trong Bảng 1.

Bảng 1. Các tham số OFDM trong kịch bản mô phỏng

Tham số	Giá trị
Băng thông (B)	20 MHz
Khoảng thời gian lấy mẫu ($t_a=1/B$)	50 ns
Độ dài FFT (NFFT)	256
Độ dài OFDM symbol (TS)	12.8 μ s
Khoảng Guard (TG)	2 μ s
Tần số (f_c)	1.9 GHz
Phương pháp điều chế	16-QAM
SINR yêu cầu tối thiểu (γ_{req})	16 dB
SINR_thr	24 dB
Channel_thr	42

3.1. Kịch bản mô phỏng

Chúng tôi xây dựng một kịch bản mô phỏng cho mạng ad-hoc như sau: Mô hình mạng ad-hoc đa chặng với sáu node, trong đó node thứ 1 sẽ truyền dữ liệu đến node thứ 10. Trong mô hình này, Node thứ 1, 6, 7, 9, 10 di chuyển cùng tốc độ với bước di chuyển bằng 10m nhưng theo các chiều khác nhau, còn node thứ 2, 3, 4, 5, 8 cố định. Hình 3 mô tả các đường kết nối của các node trong mạng.

**Hình 3.** Kịch bản mô phỏng**Hình 4.** Các đường kết nối tối ưu được lựa chọn bởi các giao thức

Trước khi truyền dữ liệu tại mỗi bước di chuyển, node thứ 1 sử dụng các thuật toán định tuyến để truyền dữ liệu node thứ 10. Trong kịch bản mô phỏng chúng tôi sử dụng các giao thức để tìm đường như sau:

- Giao thức định tuyến truyền thống tìm đường ngắn nhất dựa trên thuật toán Dijkstra;
- Giao thức xuyên lớp MAC+NET;
- Giao thức xuyên lớp PHY+NET;
- Giao thức xuyên lớp PHY+MAC+NET.

Sau quá trình tìm đường truyền tối ưu sử dụng bốn giao thức tìm đường trên, tại lớp liên kết mạng, dữ liệu đều được truyền dựa trên giải thuật cấp phát kênh động tại mục 2.2. Hình 4 mô tả các đường truyền tối ưu sử dụng bốn giao thức tìm đường. Với các giao thức tìm đường khác nhau, dữ liệu được truyền trên các đường truyền tối ưu khác nhau như là:

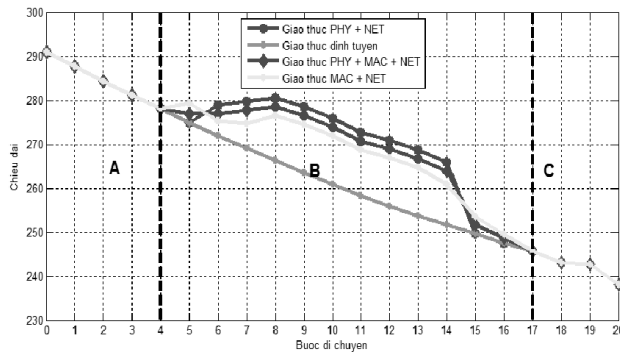
- Giao thức định tuyến truyền thống:
(Node1→Node3→Node4→Node8→Node7→Node10)
- Giao thức xuyên lớp PHY+NET:
(Node1→Node3→Node5→Node9→Node10)
- Giao thức xuyên lớp MAC+NET:
(Node1→Node3→Node4→Node6→Node10)
- Giao thức xuyên lớp đề xuất PHY+MAC+NET:
(Node1→Node2→Node5→Node9→Node10)

3.2. Phân tích kết quả

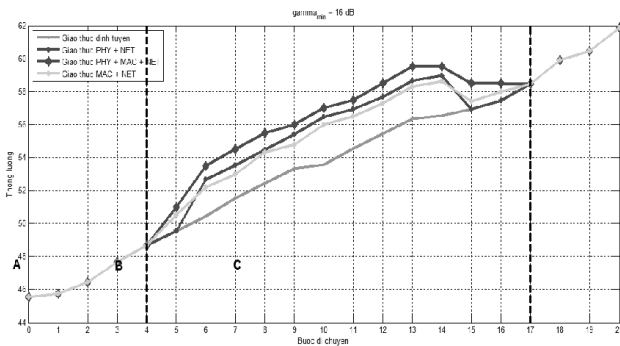
Hình 5 mô tả độ dài của đường kết nối tối ưu được lựa chọn bởi bốn giao thức tìm đường theo từng bước di chuyển là “Giao thức định tuyến tìm đường ngắn nhất dựa trên thuật toán Dijkstra”, “Giao thức xuyên lớp MAC+NET”, “Giao thức xuyên lớp PHY+NET” và “Giao thức xuyên lớp PHY+MAC+NET”. Chúng tôi chia cả tiến trình thành 3 nhóm A, B và C. Trong Hình 5, 6 chúng ta nhận thấy rằng hiệu năng của mạng phụ thuộc vào khoảng cách của đường kết nối giữa node nguồn và đích. Trong nhóm A, khi mà node nguồn và đích cách nhau xa, số lượng node trung gian lớn. Do đó, việc truyền dữ liệu bị ảnh hưởng lớn bởi các nhiễu xuyên kênh (CCI) cũng như các vấn đề về node ẩn, node hiện. Kết quả là SINR của các đường kết nối từ node nguồn đến node đích đều nhỏ hơn giá trị ngưỡng $SINR_thr$ và đồng thời số lượng kênh được cấp phát của các đường kết nối từ node nguồn đến node đích đều nhỏ hơn giá trị ngưỡng $channel_thr$. Vì vậy, đường truyền ngắn nhất cũng là đường truyền tối ưu, không có sự khác nhau giữa thông lượng mạng của các giao thức tìm đường này. Trong nhóm C, khi mà node nguồn và đích rất gần nhau, node nguồn có thể truyền dữ liệu trực tiếp đến node đích hoặc qua một vài node trung gian. Sự ảnh hưởng của các vấn đề nhiễu xuyên kênh (CCI) cũng như node ẩn, node hiện rất nhỏ, do đó không ảnh hưởng đến số lượng kênh được cấp phát. Tham số SINR của các đường kết nối đều lớn hơn giá trị ngưỡng $SINR_thr$ và số lượng kênh được cấp phát của các đường kết nối từ node nguồn đến node đích đều lớn hơn giá trị ngưỡng $channel_thr$. Vì vậy, đường truyền ngắn nhất cũng là đường truyền tối ưu, không có sự khác nhau giữa thông lượng mạng của hai giao thức tìm đường này. Ở nhóm B, một vài đường kết nối có số tham số SINR lớn hơn giá trị ngưỡng $SINR_thr$, trong khi đó các đường kết nối khác có tham số SINR nhỏ hơn giá trị ngưỡng $SINR_thr$ và một vài đường kết nối có số lượng kênh được cấp phát từ node nguồn đến node đích lớn hơn giá trị ngưỡng $channel_thr$, các đường kết nối khác có tham số số lượng kênh cấp phát từ nhỏ hơn giá trị ngưỡng $channel_thr$. Một vài trường hợp, các đường kết nối có chiều dài ngắn nhất không có tham số SINR lớn hơn giá trị ngưỡng $SINR_thr$ và không có tham số số lượng kênh cấp phát lớn hơn giá trị ngưỡng $channel_thr$, do đó chúng không được chọn là đường kết nối tối ưu. Trong khi đó các đường kết nối có tham số SINR lớn hơn giá trị ngưỡng $SINR_thr$ hoặc có số lượng kênh cấp phát lớn hơn giá trị ngưỡng $channel_thr$ sẽ được lựa chọn là đường kết nối tối ưu phụ thuộc giao thức

định tuyến lựa chọn. Trong nhóm B, chúng ta có thể thấy độ dài đường kết nối được tìm bởi giao thức truyền thống có chiều dài nhỏ nhất, còn chiều dài của đường kết nối của các giao thức xuyên lớp xấp xỉ gần bằng nhau, giao thức xuyên lớp PHY+NET nhỏ hơn giao thức xuyên lớp PHY+MAC+NET, nhỏ hơn giao thức xuyên MAC+NET.

Theo Hình 5, 6 chúng ta có thể nhận thấy trong nhóm B, các đường kết nối tối ưu được lựa chọn bởi các giao thức xuyên lớp đề xuất có chiều dài lớn hơn so với đường kết nối tối ưu được lựa chọn bởi giao thức định tuyến theo đường ngắn nhất, trong khi đó thông lượng của mạng sử dụng giao thức xuyên lớp đề xuất được nâng cao hơn nhiều. Kết quả mô phỏng chứng minh rằng giao thức xuyên lớp giữa 3 lớp PHY+MAC+NET nâng cao thông lượng mạng cao nhất so với hai giao thức xuyên lớp PHY+NET và giao thức xuyên lớp MAC+NET, giao thức định tuyến truyền thống. Các giao thức xuyên lớp PHY+NET và giao thức xuyên lớp MAC+NET có kết quả thông lượng tương tự nhau nhưng cũng thực hiện nâng cao thông lượng so với giao thức định tuyến truyền thống.



Hình 5. Chiều dài các đường kết nối tối ưu được lựa chọn bởi các giao thức



Hình 6. Thông lượng mạng các đường kết nối tối ưu được lựa chọn bởi các giao thức

(BBT nhận bài: 10/11/2014, phản biện xong: 10/12/2014)

4. Kết luận

Trong bài báo, chúng tôi đã đề xuất giao thức xuyên lớp giữa ba lớp PHY+MAC+NET. Giao thức xuyên lớp sử dụng tham số đánh giá chất lượng đường truyền SINR tại lớp PHY, tham số số lượng kênh cấp phát dựa trên thuật toán cấp phát kênh tối ưu tại lớp MAC và thuật toán tìm đường ngắn nhất Dijkstra tại lớp NET. Thuật toán cấp phát kênh tối ưu hỗ trợ giảm các vấn đề nhiễu xuyên kênh và node ẩn, node hiện trong mạng ad-hoc đa chặng. Bằng các mô hình thực nghiệm, chúng tôi đã chứng minh rằng giao thức xuyên lớp giữa ba lớp PHY+MAC+NET được đề xuất đảm bảo nâng cao hiệu năng mạng ad-hoc đa chặng so với các giao thức xuyên lớp PHY+NET, MAC+NET và giao thức định tuyến tìm đường ngắn nhất. Trong tương lai, chúng tôi sẽ nghiên cứu xây dựng mô hình toán học tối ưu giá trị ngưỡng kênh *channel thr*, giá trị ngưỡng SINR *thr* để đảm bảo tối ưu hiệu năng của mạng ad-hoc đa chặng, ngoài ra chúng tôi sẽ xây dựng các giao thức xuyên lớp giữa các lớp PHY, lớp MAC và lớp TRANSPORT để cải tiến hiệu năng mạng ad-hoc đa chặng và mạng không dây nói chung.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bourgroun.Z, Zeaaraoui.A, "Classification of the metric in ISO model by oriented object properties", *INTECH*, Sept 2012, pp.128–132.
- [2] Vuran, Mehmet C, "XLP: A Cross-Layer Protocol for Efficient Communication in Wireless Sensor Networks", *Mobile Computing*, Nov 2010, pp.1578–1591.
- [3] Khanh Nguyen Quang, Van Duc Nguyen, "Performance improvement of Multihop Adhoc Networks based on Cross layer design and DSA Algorithm", *International Journal of Research in Wireless Systems (IJRWS)*, vol.2 (3), 2013, pp.01–10.
- [4] Khanh Nguyen Quang, Van Duc Nguyen Hyunseung Choo, "Dynamic Subchannel Assignment based cross layer MAC and Network protocol for multihop adhoc networks", Hindawi Publishing Corporation, *Journal of Computer Networks and Communications*, vol.2013, Article ID 962643.
- [5] Ji-xian Xiao, Fang-Ling Lu, "An improvement of the shortest path algorithm based on Dijkstra algorithm", *ICCAE 2010*, Feb 2010, pp.383–385.
- [6] Noto.M, Sato.H, "A method for the shortest path search by extended Dijkstra algorithm", *ICSMC*, Oct 2010, pp.2316–2320.
- [7] V. D. Nguyen, P. E. Omiyi, and H. Haas, "Decentralised dynamic channel assignment for cellular OFDM/TDD networks", in *Proc. Internat. OFDM Workshop*, vol. 3, August 2005, pp. 255 – 259.
- [8] V.-D. Nguyen, H. Hass, K. Kyamakya, J.-C. Chedjou, T.-H. Nguyen, S. Yoon, and H. Choo, "Decentralized dynamic sub-carrier assignment for OFDMA-based adhoc and cellular networks", *IEICE Trans. Commun.*, vol. E92-B, no.12, pp. 3753-3764, Dec. 2009.