

PHẨM CHẤT CỦA GIAO THỨC MAC HỢP TÁC XUYỀN LỚP TRONG MẠNG VÔ TUYẾN AD-HOC

Hoàng Quang Trung*, Bùi Thị Thanh Xuân

Trường Đại học Công nghệ Thông tin và Truyền thông – ĐHTT Nguyễn

TÓM TẮT

Bài báo này tập trung vào các cơ chế hoạt động của giao thức điều khiển truy nhập môi trường trong mạng vô tuyến hợp tác Ad-hoc. Chúng tôi đề xuất cải tiến giao thức đã được thiết kế bởi Hangguan Shan (2011) nhằm nâng cao phẩm chất hệ thống trong trường hợp môi trường có nhiều node chuyển tiếp hợp tác. Giao thức cải tiến giải quyết được vấn đề xung đột giữa các node trung gian tối ưu có khả năng hỗ trợ cùng một tốc độ hợp tác, đồng thời vẫn đảm bảo được yêu cầu về thông lượng và độ trễ truyền dẫn khi xét đến khả năng hỗ trợ các dịch vụ đa phương tiện hay thời gian thực. Bằng cách mô phỏng trên máy tính sử dụng phần mềm matlab, chúng tôi nhận được kết quả phẩm chất của giao thức cải tiến tốt hơn hẳn so với giao thức hợp tác xuyên lớp trước đó thông qua các tham số về thông lượng trung bình và độ trễ truyền dẫn trung bình gói tin.

Key words: *Truyền thông hợp tác, điều khiển truy nhập môi trường, giao thức hợp tác xuyên lớp, mạng vô tuyến Ad-Hoc, mã hóa không gian thời gian phân tán kiểu Alamouti.*

GIỚI THIỆU

Các yêu cầu được đặt ra cho mạng vô tuyến Ad-Hoc ngày càng cao để có thể đáp ứng được nhiều loại hình dịch vụ. Điều này đã thúc đẩy các nhà nghiên cứu hướng tới các kỹ thuật, thuật toán, và các công nghệ mới. Một giải pháp hiệu quả cho vấn đề này đó là thực hiện truyền thông hợp tác trong các mạng Ad-Hoc. Kỹ thuật truyền thông hợp tác dựa trên tính chất quảng bá sóng vô tuyến kết hợp với các đường phân tập không gian độc lập nhằm hạn chế suy hao kênh, cải thiện thông lượng mạng và giảm độ trễ do truyền dẫn lại [4]. Trong mô hình truyền thông hợp tác, các node trong mạng có khả năng hợp tác với các node Nguồn và node Đích tại lớp vật lý hoặc lớp MAC (Medium Access Control) để cải thiện thông lượng, độ trễ và vùng phủ sóng.

Giao thức MAC hợp tác được đề xuất trong [5] đã giải quyết được vấn đề lựa chọn node Chuyển tiếp tối ưu trong tập các node hỗ trợ (Helper) trung gian. Để giải quyết vấn đề xung đột giữa các Helper tối ưu, giao thức này sử dụng cơ chế tranh chấp lại một lần trong K khe thời gian hẹp (minislot) sau khi các Helper này phát gói tin RTH không thành

công. Điều này sẽ dẫn đến hai vấn đề: (1) nếu số lượng Helper tối ưu lớn thì số khe thời gian hẹp cần thiết sẽ tăng lên, đặc biệt khi kích thước tải tin lớn; (2) khi cần thiết phải chuyển từ chế độ truyền dẫn hợp tác sang truyền dẫn trực tiếp thì thời gian sử dụng cho mã đầu báo hiệu đã trở lên quá lớn, dẫn tới giảm độ sử dụng tuyến.

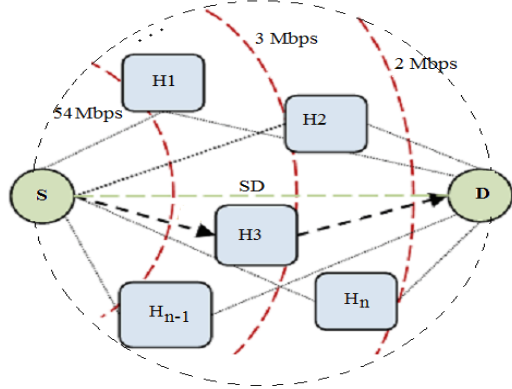
Trong bài viết này, chúng tôi đề xuất cải tiến giao thức MAC hợp tác xuyên lớp trong [5] bằng cách thiết kế lại trật tự trao đổi gói tin báo hiệu RTH (Ready – To – Help) và đưa ra số khe thời gian K để giải quyết vấn đề xung đột giữa các Helper tối ưu có cùng tốc độ hợp tác mà vẫn đảm bảo yêu cầu về thông lượng và độ trễ truyền dẫn.

MÔ HÌNH HỆ THỐNG

Chúng tôi thiết kế giao thức hợp tác dựa trên mô hình mạng vô tuyến hợp tác dạng Ad-Hoc. Hệ thống bao gồm cặp Nguồn – Đích được đặt ở khoảng cách d với các node Trung gian được phân bố ngẫu nhiên trong phạm vi hình đĩa có đường kính d . Giả định rằng tất cả các node trong mạng có thể truyền thông được với nhau ở tốc độ 2 Mbps và có cùng công suất phát hạn chế. Mô hình hệ thống cho mạng hợp tác tổng quát được thể hiện như trong hình 1. Trong đó S và D tương ứng là

* Tel: 0904 055956, Email: hqtrung@ictu.edu.vn

node Nguồn và node Đích, H_n là node Trung gian thứ n , có thể hợp tác để chuyển tiếp dữ liệu từ Nguồn đến Đích.



Hình 1. Minh họa mạng hợp tác Ad-Hoc

Lớp MAC

Giao thức MAC hợp tác mà chúng tôi quan tâm đến được thiết kế trên cơ sở chức năng điều phối phân tán của tiêu chuẩn IEEE 802.11. Các tiêu chuẩn cũ sử dụng cơ chế đa truy nhập cảm nhận sóng mang tránh xung đột (CSMA/CA). Vì vậy, chỉ có một cặp truyền dẫn trong mạng chiếm dụng kênh sau khi tranh chấp thành công. Để nâng cao thông lượng mạng, có hai cách tiếp cận khả thi: (1) nâng cao hiệu quả truy nhập kênh đối với trường hợp các node trong mạng tranh chấp giành quyền sử dụng kênh trước khi truyền dữ liệu; (2) nâng cao hiệu quả sử dụng tuyến đối với truyền dẫn gói tin thực tế. Ở đây, chúng tôi tiếp cận theo cả hai cách trên. Độ sử dụng tuyến được định nghĩa là tốc độ truyền dẫn tải tín hiệu dụng (ký hiệu: EPTR), có tính đến cả mào đầu giao thức báo hiệu lớp MAC. Chúng ta có thể đặt W , T_p và T_o tương ứng biểu diễn cho độ dài tải tin, thời gian truyền dẫn tải tin và mào đầu giao thức lớp MAC. Khi đó độ sử dụng tuyến được xác định thông qua biểu thức:

$$EPTR = \frac{W}{T_p + T_o} \quad (1)$$

Như vậy, để nâng cao độ sử dụng tuyến, chúng ta có thể tìm cách giảm T_o và T_p bằng cách thiết kế mào đầu báo hiệu tại lớp MAC và sử dụng các kỹ thuật truyền dẫn một cách hiệu quả.

Lớp vật lý

Quá trình truyền dẫn hợp tác được thiết kế để thực hiện trong hai khe thời gian (timeslot) liên tiếp. Giao thức hợp tác tại lớp vật lý được mô tả như sau: Trong khe thời gian thứ nhất, node Nguồn quảng bá gói tin của nó tới Helper tối ưu và node Đích với tốc độ truyền dẫn là $R_{C1} \in \mathcal{R} = r_1, r_2, \dots, r_Q$, ở đó \mathcal{R} là tập các tốc độ được tạo ra bởi điều chế và mã hóa thích ứng tại lớp vật lý, trong đó $r_i < r_j$ nếu $i < j$. Trong khe thời gian thứ hai, Helper tối ưu thực hiện hợp tác cùng với node Nguồn để chuyển các bit thông tin mà nó đã nhận được từ Nguồn tới Đích với tốc độ truyền dẫn $R_{C2} \in \mathcal{R}$. Quá trình hợp tác tại lớp vật lý mà chúng tôi quan tâm đến được xây dựng dựa trên sơ đồ mã hóa không gian – thời gian phân tán kiểu Alamouti như trong [1] để dễ dàng thực hiện trong khe thời gian thứ 2. Như vậy, hai tốc độ R_{C1} và R_{C2} được chọn ở giá trị cực đại sao cho Helper tối ưu và Đích có thể giải mã thành công dữ liệu trong các khe thời gian thứ nhất và thứ 2 tương ứng. Node Đích có thể nhận được tốc độ dữ liệu cao bằng cách tích góp công suất tín hiệu từ Nguồn và Helper trong suốt hai khe thời gian. Theo cách này node Đích sẽ tiếp nhận và kết hợp giải mã gói tin ở mức điều chế hoặc ở mức mã hóa có thể trở nên dễ dàng hơn. Để gói tin được tiếp nhận thành công, tốc độ truyền dẫn \mathcal{R} cần được lựa chọn dựa trên mức tỷ số công suất tín hiệu trên công suất tạp âm (SNR – signal-to-noise rate) tối thiểu đạt được. Đồng thời, cũng cần giả thiết rằng kênh truyền giữa các node trong mạng biến đổi chậm.

GIAO THỨC MAC HỢP TÁC XUYỀN LỚP CẢI TIẾN

Chúng tôi đề xuất cải tiến giao thức MAC hợp tác xuyên lớp trong [5]. Các nghiên cứu bao gồm: (1) thiết lập giao thức, ở đó chúng tôi đưa ra trình tự trao đổi các bản tin báo hiệu và lựa chọn Helper, các tham số giao thức lớp MAC; (2) phân tích thời gian truyền dẫn mào đầu báo hiệu và tải tin; (3) thiết lập các tham số giao thức.

Thiết lập giao thức

Hình 2 mô tả giao thức cải tiến dựa trên giao thức được thiết kế trong [5]. Để phát hiện và lựa chọn Helper chuyển tiếp, chúng tôi quan tâm tới cơ chế chuyển tiếp cơ hội như trong [2] cùng với các tín hiệu thông báo của Helper. Sau khoảng thời gian chờ ngẫu nhiên (backoff), node Nguồn khởi tạo liên kết với node Đích thông qua thủ tục bắt tay RTS/CTS (request-to-send/clear-to-send). Nếu cơ hội hợp tác giữa các node trong mạng không có được, sau khi nhận bản tin CTS và đợi thêm khoảng thời gian SIFS (interframe space), node Nguồn sẽ gửi đi gói dữ liệu theo đường trực tiếp tới node Đích giống như giao thức DCF trong mạng tiêu chuẩn IEEE 802.11. Trường hợp có cơ hội hợp tác, node Nguồn và node Đích trước tiên phải xác minh xem liệu có tồn tại một Helper hỗ trợ truyền dẫn hợp tác hiệu quả hay không. Khi đó, node Nguồn sẽ nhận biết Helper thông qua tín hiệu chỉ thị HI (helper indication). Nếu không có tín hiệu HI được phát hiện ngay sau khoảng thời gian SIFS khi quá trình trao đổi bản tin RTS/CTS kết thúc, mạng sẽ tự động chuyển sang chế độ truyền dẫn trực tiếp. Ngược lại, nếu có một tín hiệu HI được nhận biết bởi Nguồn, mode truyền dẫn hợp tác có thể được khởi tạo.

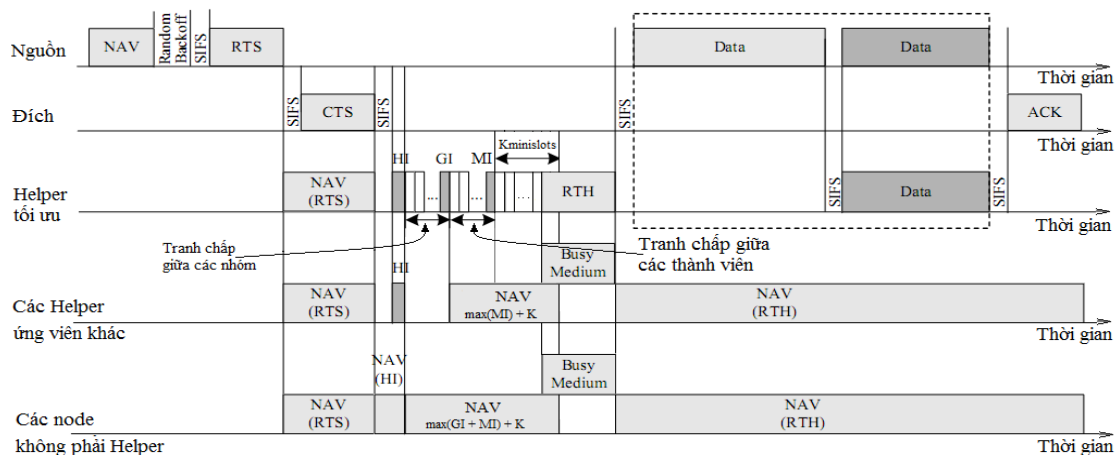
Ở đây, chúng ta định nghĩa tốc độ truyền dẫn hợp tác tương đương là R_h , để biểu diễn tốc độ truyền dẫn tải tin từ Nguồn tới Đích. Với sơ đồ hợp tác qua hai khe thời gian lặp lại, tốc độ R_h được xác định như sau:

$$R_h = \frac{W}{W/R_{C1} + W/R_{C2}} \quad (2)$$

$$= R_{C1} \cdot R_{C2} / (R_{C1} + R_{C2})$$

Với độ dài tải tin W và tốc độ truyền dẫn trực tiếp R_1 , chúng ta đặt M biểu diễn cho số tốc độ truyền dẫn hợp tác tương đương xuất hiện trong mạng, và mỗi một giá trị tốc độ trong số đó là $R_h^* i$, $i = 1, 2, \dots, M$.

Để thuận tiện cho việc lựa chọn Helper, M tốc độ này được sắp xếp theo thứ tự giảm dần, và được phân vào G nhóm, mỗi nhóm gồm n_g thành viên như trong [5]. Khi đó xuất hiện hai loại tranh chấp: tranh chấp nhóm và tranh chấp giữa các thành viên trong nhóm. Với tranh chấp nhóm, Helper ứng viên thuộc nhóm thứ g chờ hết khoảng thời gian $T_{fb1} g$ trước khi gửi đi tín hiệu chỉ dẫn nhóm GI (group indication), nếu nó không thăm dò được tín hiệu GI từ các nhóm tốc độ cao hơn, ở đó $T_{fb1} g = g - 1 \cdot t_{fb}$, $1 \leq g \leq G$, và t_{fb} là thời gian khe backoff. Khi đó, chỉ các thành viên trong nhóm tốc độ cao nhất giành phần tranh chấp. Đối với tranh chấp giữa các thành viên trong nhóm, nếu một Helper ứng viên (với chỉ số nhóm g và chỉ số thành viên m) không thăm dò được tín hiệu MI, nó sẽ gửi đi tín hiệu tín hiệu MI sau khoảng thời gian là $T_{fb2} g, m = m - 1 \cdot t_{fb}$, $1 \leq m \leq n_g$. Vì thế, Helper hỗ trợ tốc độ R_h cao nhất có thể được lựa chọn trong phương thức phân tán.



Hình 2. Minh họa giao thức MAC hợp tác xuyên lớp cải tiến

Để giải quyết vấn đề xung đột giữa các Helper tối ưu, khi mà có hai gói RTH trở lên xung đột, chúng tôi sử dụng giải pháp để các Helper tối ưu gửi đi gói tin RTH trong khe thời gian hẹp được lựa chọn ngẫu nhiên từ K khe thời gian hẹp xác định sau khi các Helper này đã gửi đi tín hiệu MI. Để so sánh giao thức mà chúng tôi đề xuất cải tiến với giao thức trong [5], chúng tôi lựa chọn giá trị $K = 20$ và tải tin có kích thước nhỏ hơn 200 bytes. Các giá trị trên được đưa ra dựa trên kết quả kiểm định bằng mô phỏng trên máy tính.

Phân tích thời gian truyền dẫn mào đầu và tải tin

Trường hợp 1: Sau khi node Nguồn nhận được gói tin CTS, nó gửi đi gói tin dữ liệu theo đường trực tiếp tới node Đích mà không qua truyền dẫn hợp tác. Thời gian truyền dẫn tải tin và mào đầu tương ứng là $T_{1,p} = W / R_1$

$$\text{và } T_{1,o} = T_{RTS} + T_{CTS} + T_{D,o} + T_{ACK} + 3T_{SIFS}.$$

Ở đó, $T_{RTS}, T_{CTS}, T_{ACK}, T_{SIFS}$ và $T_{D,o}$ tương ứng là chu kỳ thời gian của các gói tin RTS, CTS, ACK, khoảng trống SIFS và tiêu đề gói tin.

Trường hợp 2: Khi dò được tín hiệu HI từ các node láng giềng, node Nguồn và node Đích chờ các tín hiệu tranh chấp (GI và MI) và gói tin RTH từ Helper tối ưu. Nếu chỉ có một Helper tối ưu (tốt nhất), khi đó sẽ không xảy ra xung đột. Vì vậy, thời gian truyền dẫn tải tin là $T_{2,p} = W / R_{C1} + W / R_{C2} = W / R_h$ và

$$\text{thời gian mào đầu cho trường hợp Helper tối ưu lựa chọn khe thời gian hẹp thứ } k \text{ là}$$

$$T_{2,o} \text{ } g, m, k = T_{1,o} + T_{HI} + T_{fb1} \text{ } g + T_{GI} + T_{fb2} \text{ } g, m + T_{MI} + k \cdot t_{fb} + T_C$$

Trong đó $T_C = T_{RTH} + 2T_{SIFS} + T_{D,o}$ và

T_{RTH}, T_{GI}, T_{MI} tương ứng là thời gian truyền gói tin RTH, tín hiệu GI và MI. Với K khe thời gian hẹp xác định trước, xác suất một Helper lựa chọn khe thời gian hẹp thứ k là $P_k = 1 / K$.

Trường hợp 3: Khi có xung đột xảy ra trong quá trình tranh chấp giữa các thành viên trong

cùng nhóm tốc độ hợp tác, vấn đề này sẽ được giảm bớt vì ngay sau đó các Helper tối ưu phải tiếp tục tranh chấp trong K khe thời gian hẹp nữa. Trong trường hợp này, thời gian truyền dẫn tải tin là $T_{3,p} = T_{2,p}$ và thời gian truyền dẫn mào đầu đối với Helper lựa chọn khe thời gian hẹp thứ k vẫn là $T_{3,o} = T_{2,o}$; tuy nhiên, với K khe thời gian hẹp cho trước, xác suất để một trong n Helper tối ưu giành chiến thắng bởi tranh chấp lựa chọn khe thời gian hẹp thứ k là

$$P_w \text{ } n, k = \begin{cases} \frac{n \cdot K - k}{K^n}, & k = 1, 2, \dots, K-1 \\ 0, & k = K \end{cases} \quad (3)$$

Trường hợp 4: Nếu xảy ra xung đột giữa các gói tin RTH, node Nguồn sẽ tự động gửi gói dữ liệu theo đường trực tiếp tới Đích. Vì vậy, thời gian truyền dẫn tải tin và mào đầu trong trường hợp này là $T_{4,p} = T_{1,p}$, $T_{4,o} = T_{3,o}$.

Với n Helper tranh chấp trong K khe thời gian hẹp, xác suất tranh chấp không thành công do có hơn một Helper cùng lựa chọn khe thời gian hẹp thứ k là

$$P_f \text{ } n, k = \begin{cases} \sum_{i=2}^n \frac{1}{K^i} \left(\frac{K-k}{K} \right)^{n-i}, & k = 1, \dots, K-1 \\ 1/K^n, & k = K \end{cases} \quad (4)$$

Thiết lập tham số giao thức

Nếu Helper tồn tại, cần xác lập các tham số K, M và G theo điều kiện kênh, độ dài tải tin W, và số Helper xung đột như thế nào để có được thông lượng tuyến cực đại. Bài toán tối ưu thông lượng tuyến có thể được diễn tả thông qua biểu thức

$$\max \sum_{g=1}^G \sum_{m=1}^{n_g} J_{g,m} \text{ } n / M \quad (5)$$

Trong đó $J_{g,m} \text{ } n > \rho \cdot W / T_{1,p} + T_{1,o}$,

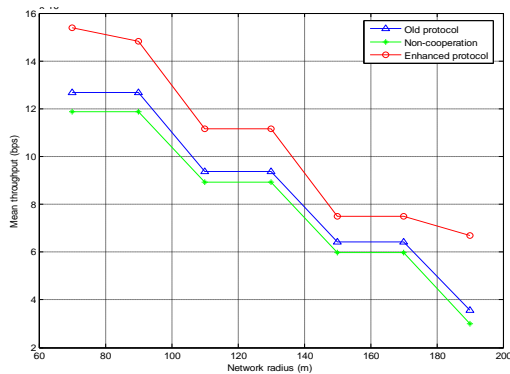
và

$$J_{g,m} \text{ } n = \begin{cases} \sum_{k=1}^K \frac{W \cdot P_k}{T_{2,p} R_{C1}, R_{C2} + T_{2,o} \text{ } g, m, k}, & n = 1 \\ \sum_{k=1}^K \left[\frac{W \cdot P_w \text{ } n, k}{T_{3,p} R_{C1}, R_{C2} + T_{3,o} \text{ } g, m, k} + \frac{W \cdot P_f \text{ } n, k}{T_{4,p} R_1 + T_{4,o} \text{ } g, m, k} \right], & n \geq 2 \end{cases}$$

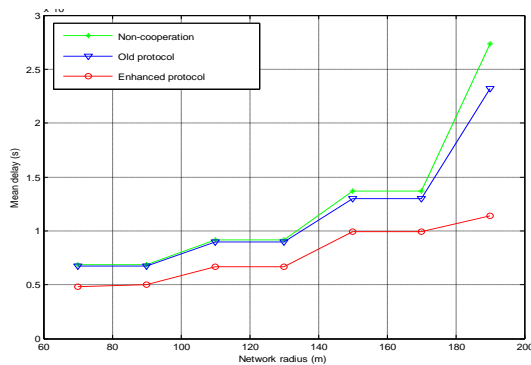
là tốc độ truyền dẫn hợp tác hiệu dụng khi có một Helper tối ưu hỗ trợ tốc độ hợp tác với chỉ số nhóm g và thành viên m ; $\rho \geq 1$ là tham số điều khiển cân bằng hợp tác và không hợp tác.

KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Trong mô phỏng, chúng tôi áp dụng mã hóa không gian-thời gian phân tán dựa trên sơ đồ giải mã và chuyển tiếp; lựa chọn $\rho = 1$ và $W = 1024$. Các tham số khác được đặt giống như trong tiêu chuẩn IEEE 802.11a. Chúng tôi sử dụng mô hình kênh có tổn hao log-distance và fading Rice. Các node trong mạng phân bố ngẫu nhiên trong diện tích hình đĩa; luồng lưu lượng đến theo quá trình Poisson với tốc độ trung bình 10 gói tin trên giây. Thời gian mô phỏng là 50 giây.



Hình 3. Thông lượng theo kích thước mạng



Hình 4. Độ trễ trung bình truyền gói tin

Hình 3 biểu diễn thông lượng trung bình theo kích thước mạng. Kích thước mạng càng lớn

dẫn tới khoảng cách giữa các node lớn thì thông lượng càng giảm. Trong đó, thông lượng đạt được khi sử dụng giao thức cải tiến là lớn nhất. Hình 4 minh họa độ trễ truyền dẫn gói tin trung bình theo kích thước mạng. Ở đó, giao thức cải tiến cho độ trễ trung bình thấp hơn nhiều so với giao thức MAC hợp tác xuyên lớp cũ và truyền dẫn trực tiếp.

KẾT LUẬN

Trong bài viết này, chúng tôi đã đề xuất cải tiến giao thức MAC hợp tác xuyên lớp đã được đề xuất trước đó nhằm mang lại phẩm chất hệ thống tốt hơn. Trong đó, chúng tôi đặc biệt quan tâm đến độ trễ truyền dẫn gói tin trung bình, theo đó là thông lượng tuyến. Kết quả mô phỏng đã chứng minh được rằng giao thức cải tiến của chúng tôi có ưu điểm vượt trội, có khả năng đáp ứng được yêu cầu thực tế. Trong các nghiên cứu tiếp theo, chúng tôi sẽ quan tâm đến vấn đề hiệu quả năng lượng. Ngoài ra để giải quyết bài toán truyền thông hợp tác tối ưu, giao thức định tuyến hợp tác cũng sẽ được xem xét.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Paul A. Anghel, (2006), "Distributed space-time cooperative systems with regenerative relays", IEEE transactions on wireless communications, vol.5, no. 11.
2. Aggelos Bletsas, (2006), "A simple cooperative diversity method based on network path selection", IEEE Journal on selected areas in communications, vol. 24.
3. Xie Fang, T. Hui, Z. Ping, Y. Ning, (2005), "Cooperative routing strategies in Ad hoc networks", IEEE.
4. Murad Khalid, (2011), "Coherence time-based cooperative MAC protocol for wireless ad hoc networks", Journal on wireless communications and networking.
5. H. Shan, H. T. Cheng, W. Zhuang, (2011), "Cross-layer cooperative MAC protocol in distributed wireless networks", IEEE transactions on wireless communications.

SUMMARY

**THE PERFORMANCE OF CROSS-LAYER COOPERATIVE
MAC PROTOCOL IN WIRELESS AD-HOC NETWORKS****Hoang Quang Trung^{*}, Bui Thi Thanh Xuan***College of Information and Communication Technology - TNU*

In this paper, we focus on medium access control protocol for cooperative wireless Ad-hoc networks. We propose an enhanced cross-layer cooperative MAC protocol based on that is designed in [5] for proving the performance of above networks, in case there exist more cooperative relays in the transmitting environment. Our protocol is not only enable to overcome collision problem but that is also available to supporting real time and multimedia services. By simulating on the computer using matlab software, we proved that our protocol outperforms the existing protocol in wireless Ad-hoc networks.

Key words: *Cooperative communications, medium access control, cross-layer cooperative protocol, Ad-Hoc wireless networks, Alamouti-type distributed space-time coding.*

Ngày nhận bài: 04/11/2013; Ngày phản biện: 18/11/2013; Ngày duyệt đăng: 26/02/2014

Phản biện khoa học: TS. Phùng Trung Nghĩa – Trường ĐH Công nghệ Thông tin & Truyền thông - ĐHTN

^{*} Tel: 0904 055956, Email: hqtrung@ictu.edu.vn