Cải tiến cho điều khiển tốc độ tầng giao vận trong mạng không dây đa bước

MAC-based Improvement for Transport Rate Control in Multihop Wireless Networks

Trần Trúc Mai và Dương Lê Minh

***Abstract**: Transport protocols in IEEE 802.11 multihop wireless networks (MHWN) face performance degradation problem due to wireless medium characteristics and multihop nature which induce several types of packet loss including collision, random channel errors and route failures. The common approach to address this problem is that the transport protocol should exploit the MAC information in order to regulate efficiently the source rate in MHWNs. In this paper, we propose to use two MAC metrics: the Medium Access Delay used to detect the network contention level, and the Average Transmission Time used to estimate the effective packet sending rate by which the network will not be overloaded. The novel rate control mechanism based on these two metrics is called MAC Metric based Rate Control (MMRC) and is expected to provide better performance than similar rate control mechanisms in terms of fairness, packet loss rate and delay in MHWNs.*

I. GIỚI THIỆU

Vấn đề về suy giảm hiệu suất hoạt động của TCP trong mạng không dây đa bước truyền (Multihop Wireless Networks - MHWN) dựa trên chuẩn IEEE 802.11 [1] đã được nghiên cứu nhiều trong những năm vừa qua [2] [3]. Sự suy giảm này chủ yếu xuất phát từ đặc điểm của kênh truyền không dây như nhiễu, lỗi kênh và đa bước truyền của mạng MHWN. Một trong những cách tiếp cận để giải quyết vấn đề này là thiết kế liên tầng giữa tầng MAC mà tầng giao vận, trong đó các thông tin ở tầng MAC được thu thập và cung cấp cho tầng giao vận. Các giao thức giao vận sẽ dựa vào các thông tin ở tầng MAC để cải thiện hiệu suất hoạt động của mình [2] [4] [5] [6].

Công trình này tập trung vào việc cải tiến dựa trên thiết kế liên tầng cho điều khiển tắc nghẽn dựa trên tốc độ, như trong giao thức TCP-Friendly Rate Control (TFRC) [7], vốn được sử dụng nhiều cho các ứng dụng VoIP hoặc Streaming. Mặc dù TFRC hoạt động tốt trong mạng có dây, các công trình [8] và [9] đã chỉ ra rằng TFRC chỉ có hiệu suất trung bình trong mạng MHWN bởi vì TFRC phán đoán không chính xác nguyên nhân mất gói tin cũng như tính toán không chuẩn về độ trễ khứ hồi của gói tin. Do đó, cần thiết phải có một cơ chế điều khiển tốc độ mới dựa trên thông tin ở tầng MAC để các giao thức giao vận dựa trên tốc độ hoạt động tốt trong mạng MHWN.

Mục tiêu của công trình này là đề xuất một cơ chế điều khiển tốc độ mới có khả năng điều chỉnh tốc độ phát gói tin dựa trên mức cạnh tranh ở tầng MAC. Các công trình [9] và [10] đã chỉ ra rằng tắc nghẽn trong mạng MHWN có mối liên hệ trực tiếp với mức độ cạnh tranh tại tầng MAC. Do vậy, việc cải thiện hiệu suất hoạt động của các giao thức giao vận trong mạng MHWN bằng cách xử lý vấn đề cạnh tranh tại tầng MAC là hoàn toàn khả thi. Khi mức độ cạnh tranh tăng lên, yếu tố này cần phải được phát hiện sớm và chính xác, sau đó cần phải có một cơ chế điều khiển tốc độ thích hợp để giảm thiểu sự ảnh hưởng của mức độ cạnh tranh tăng cao trong mạng.

Công trình [11] đã đề xuất một mô hình điều khiển tốc độ mới (MAD-TP) dựa trên thông số độ trễ truy cập kênh truyền (Medium Access Delay - MAD) có

khả năng phát hiện mức độ cạnh tranh trong mạng MHWN tăng và điều chỉnh hiệu quả tốc độ phát gói tin trong mạng. Kết quả mô phỏng cho thấy giao thức MAD-TP có hiệu suất tốt hơn nhiều so với TFRC về các tiêu chí liên quan đến ứng dụng thời gian thực như độ trễ đầu cuối và tỷ lệ mất gói tin. Hơn nữa, giao thức MAD-TP cũng có kết quả nhỉnh hơn trong hầu hết các kịch bản so với giao thức LATP, một giao thức được đề xuất cho các ứng dụng streaming thời gian thực [12]. Tuy nhiên, MAD-TP có điểm yếu là dựa vào giá trị tuyệt đối của ngưỡng MAD để tính toán lượng dữ liệu còn có thể truyền vào trong mạng và không có sự liên hệ rõ ràng giữa MAD và tốc độ truyền dữ liệu.

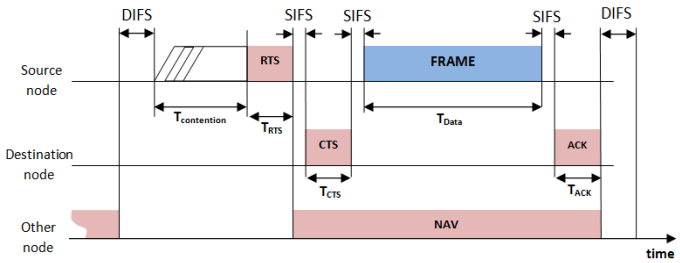
Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một cơ chế điều khiển tốc độ mới giải quyết được điểm yếu của MAD-TP và cho hiệu suất hoạt động tốt hơn. Đề xuất của chúng tôi được gọi là điều khiển tốc độ dựa trên thông số tầng MAC (MMRC) được thiết kế dựa trên hai thông số tầng MAC là độ trễ truy cập kênh truyền MAD, dùng cho việc xác định khi nào thì mạng chuyển sang trạng thái có mức cạnh tranh cao, và thời gian truyền trung bình ATT, được dùng để ước lượng tốc độ phát gói tin phù hợp.

Bài báo có cấu trúc như sau. Phần II sẽ mô tả ngắn gọn các thông số tầng MAC và giao thức MAD-TP. Thiết kế của MMRC sẽ được mô tả kỹ trong phần III. Phần IV sẽ trình bày các kịch bản mô phỏng và kết quả tương ứng. Kết luận của bài báo nằm trong phần V.

II. CÁC THÔNG SỐ TẦNG MAC TRONG ĐÁNH GIÁ TÌNH TRẠNG MẠNG

A. Tổng quan về cơ chế DCF trong chuẩn IEEE 802.11

Chuẩn IEEE 802.11 [1] định nghĩa cơ chế truy cập kênh truyền DCF (Distributed Coordination Function) sử dụng trong mạng MHWN. DCF có hai phương thức truy cập kênh truyền là phương thức cơ sở và phương thức bắt tay bốn bước RTS/CTS. Phương thức truy cập cơ sở là phiên bản rút gọn của của phương thức RTS/CTS, được sử dụng cho các gói tin có kích thước nhỏ. Với các gói tin tương đối lớn, RTS/CTS được sử dụng như Hình 1.



Hình 1. Cơ chế truy cập kênh truyền với RTS/CTS

Nút mạng có nhu cầu truyền dữ liệu sẽ định kỳ kiểm tra xem kênh truyền rỗi hay không. Nếu kênh truyền rỗi trong một khoảng thời gian, nút mạng sẽ gọi cơ chế backoff để giảm thiểu khả năng va chạm trước khi truyền gói tin. Nếu kênh truyền lại bận trong quá trình backoff, nút sẽ tạm dừng quá trình này. Khi kênh truyền rỗi và số đếm backoff trở về không, nút sẽ bắt đầu truyền gói tin theo phương thức cơ sở nếu kích thước gói tin nhỏ. Với các gói tin có kích thước tương đối lớn, nút sẽ gửi và nhận các gói tin RTS và CTS các nút đích trước khi gửi gói tin dữ liệu. Các nút hàng xóm sẽ sử dụng thông tin lưu trong hai gói tin RTS và CTS để biết được thời gian kênh truyền sẽ bận. Việc truyền tin được coi là thành công nếu nút gửi nhận được biên nhận từ nút nhận. Biên nhận này được sử dụng trong cơ chế ARQ của DCF để đảm bảo tính tin cậy trong truyền tin tại tầng MAC.

B. Thời gian truyền trung bình

ATT được tính dựa trên giá trị thời gian phục vụ tại tầng MAC (T_{srv}) là khoảng thời gian tính từ thời điểm bắt đầu cạnh tranh cho việc truyền gói tin đến thời điểm nút gửi nhận được gói tin MACK của gói tin đó hoặc hủy bỏ gói tin này sau một loạt lần truyền bất thành. ATT sẽ là giá trị trung bình của thời gian phục vụ tại lớp MAC trong một khoảng thời gian của một gói tin được truyền thành công [13].

$$ATT = \frac{\sum T_{srv}}{N_{sp}} \quad (1)$$

trong đó N_{sp} là số gói tin được truyền thành công. Theo định nghĩa này, ATT có thể được dùng để chỉ mức độ cạnh tranh xung quanh nút mạng.

C. Độ trễ truy cập kênh truyền

MAD là giá trị trung bình của tổng độ trễ cạnh tranh trong một khoảng thời gian của một gói tin tại tầng MAC trước khi nó được truyền đi thành công hoặc bị hủy bỏ sau một loạt lần truyền bất thành [13]. Với định nghĩa này, MAD sẽ được tính như sau:

$$MAD = \frac{\sum_1^{N_{ap}} \sum T_{backoff}^i}{N_{ap}} \quad (2)$$

trong đó N_{ap} là số gói tin xuống tầng MAC trong một khoảng thời gian và $T_{backoff}^i$ là thời gian backoff cho lần truyền thứ i^{th} (Hình 1). MAD có thể được dùng để chỉ độ bận kênh truyền và mức độ xung đột xung quanh nút mạng.

MAD đã được sử dụng trong giao thức MAD-TP [11] như một cảnh báo sớm về tình trạng tăng lên của mức độ cạnh tranh. Nút gửi trong MAD-TP điều chỉnh tốc độ phát gói tin dựa trên giá trị trung bình của tổng giá trị MAD trên toàn tuyến đường được mang về bởi gói tin phản hồi (ACK). Dựa vào kết quả so sánh giữa giá trị MAD nhận được và một ngưỡng MAD_{TH}, nút gửi sẽ xác định xem mạng đang ở trong tình trạng bão hòa hay không và từ đó điều chỉnh tốc độ truyền một cách phù hợp sao cho mạng luôn hoạt động ở trạng thái có mức độ cạnh tranh hợp lý. Kết quả mô phỏng trong [11] cho thấy MAD-TP hoạt động tốt hơn hẳn TFRC và LATP về độ trễ đầu cuối (End-to-End Delay - E2E) và tỷ lệ mất gói tin (Packet Loss Ratio - PLR) là hai chỉ số quan trọng đối với các ứng dụng streaming. Tuy vậy, phương trình điều khiển tốc độ được sử dụng trong MAD-TP chưa thực sự hợp lý vì giữa MAD và thông lượng không có sự liên quan trực tiếp nào. Để cải thiện điều đó, trong bài báo này, chúng tôi sử dụng gradien của MAD để xác định mức độ cạnh tranh trong mạng. Thêm vào đó, chúng tôi sử dụng thêm thông số ATT để ước lượng chính xác hơn tốc độ phát gói tin thích hợp của nút gửi.

Phần tiếp theo sẽ đi vào mô tả chi tiết cơ chế MMRC có thiết kế dựa trên hai thông số MAD và ATT để điều chỉnh một cách thích hợp tốc độ truyền của nút gửi trong mạng MHWN.

III. MMRC - ĐIỀU KHIỂN TỐC ĐỘ DỰA TRÊN THÔNG SỐ TẦNG MAC

MMRC được thiết kế để cung cấp một cơ chế điều khiển tốc độ hiệu quả tại tầng giao vận sao cho có thể giảm thiểu được ảnh hưởng của vấn đề cạnh tranh trong mạng MHWN.

A. Các nút trung gian

Vai trò của các nút trong gian là cung cấp giá trị mức độ cạnh tranh của môi trường xung quanh mà nó đo được. Mỗi nút sẽ định kỳ đo các giá trị MAD và ATT. Nếu khoảng thời gian định kỳ này quá ngắn, giá trị của các thông số có thể sẽ khác nhau rất lớn tùy theo sự thay đổi của mức độ cạnh tranh, điều này dẫn đến việc điều khiển tốc độ tại nút nguồn sẽ không ổn định. Ngược lại, nếu khoảng thời gian định kỳ quá dài, các thông số này không thể phản ánh kịp sự hay đổi của mức độ cạnh tranh trong mạng, dẫn đến sự thiếu hiệu quả của MMRC. Trong cài đặt thử nghiệm, chúng tôi chọn khoảng thời gian định kỳ tính toán các thông số là 0.1 giây để cân bằng giữa tính ổn định à hiệu quả như trong [11]. Với mỗi gói tin đi qua nút, nút sẽ lần lượt cộng giá trị MAD và ATT các giá trị được lưu trong các trường tùy chọn của tiêu đề của gói tin IP là Cummulative MAD (CMAD) và Cumulative ATT (CATT). Giá trị lớn nhất của ATT trên toàn tuyến đường mà gói tin đi qua sẽ được lưu trong một trường tùy chọn khác của gói tin IP là Maximum ATT (MATT). Theo [13], mỗi trường này chỉ cần dùng 1 byte kích thước để lưu các giá trị trên (tính theo ms). Với quy tắc này, khi gói tin đi đến đích, các trường CMAD, CATT và MATT sẽ lưu các giá trị về tổng độ trễ cạnh tranh, tổng độ trễ truyền gói tin và độ trễ truyền lớn nhất của tuyến đường mà gói tin đã đi qua.

B. Bên nhận MMRC

Chức năng của bên nhận MMRC là tính toán một số thông số quan trọng và gửi chúng về cho bên gửi. Mỗi khi nhận được một gói tin dữ liệu, bên nhận sẽ lấy các giá trị CMAD, CATT và MATT tương ứng từ các trường CMAD, CATT và MATT, lấy số hop (gọi là N_h) từ trường TTL trong tiêu đề của gói tin IP hoặc từ bảng định tuyến, và tính giá trị MAD_{sample} = $CMAD/N_h$. Bên nhận MMRC sau đó sẽ tính độ trễ cạnh tranh trung bình bằng cách sử dụng hàm Exponentially Weighted Moving Average (EWMA) với α = 0.5 như sau:

$$MAD = MAD + (1 - \alpha)*MAD_{sample} \quad (3)$$

Giá trị trung bình này sẽ được tính theo công thức 3 mỗi khi bên nhận nhận được một gói tin. Bên nhận cũng sử dụng CATT và MATT để ước lượng cận trên của tích thông lượng-độ trễ (Bandwidth-Delay Product - BDP) của tuyến kết nối như trong [14]. Theo đó, trong mạng MANET dựa trên chuẩn IEEE 802.11 với phạm vi cảm nhận sóng (carrier sensing range) gấp đôi phạm vi truyền (transmission range), cận trên của BDP (gọi là BDP_{UB}) của một chuỗi các nút mạng có thể được tính thông qua các độ trễ truyền gói tin theo hop dọc theo tuyến đường khứ hồi của gói tin. Từ định nghĩa của ATT và độ trễ truyền gói tin theo hop (d_i) [14], có thể thấy rằng nếu d_i được tính trung bình trong một khoảng thời gian thì chúng ta sẽ có $d_i \simeq$ ATT.

Trong [14], BDP_{UB} được tính với mỗi cặp gói tin dữ liệu TCP và ACK của nó. Tuy nhiên, trong trường hợp của giao thức giao vận dựa trên tốc độ, gói tin phản hồi không được tạo ra với mỗi gói tin dữ liệu mà là sau một khoảng thời gian nhất định, ví dụ như thời gian khứ hồi (Round Trip Time - RTT), hoặc với mỗi sự kiện mất gói tin xảy ra (trong TFRC). Vì vậy, công thức tính BDP_{UB} trong [14] hoàn toàn có thể được tính như sau

$$BDP_{UB} \approx S \times \frac{\sum_{i=0}^{n} ATT_i + \sum_{i=0}^{m} ATT_i'}{4 \times ATT_{max}} \quad (4)$$
$$\approx S \times \frac{2 \times \sum_{i=0}^{n} ATT_i}{4 \times ATT_{max}}$$
$$\approx S \times \frac{CATT}{2 \times MATT}$$

trong đó S là kích thước gói tin, n và ATT_i lần lượt là số hop và giá trị ATT của từng hop trên tuyến đường gửi đi của gói tin, mà ATT_i' lần lượt là số hop và giá trị ATT của từng hop trên tuyến đường quay lại của gói tin ACK, và ATT_{max} là giá trị ATT lớn nhất trên tuyến đường khứ hồi. Bên nhận MMRC cũng sử dụng hàm EWMA để tính giá trị trung bình của BDP với mỗi gói tin nhận được như sau

$$BDP = \mu BDP + (1 - \mu)BDP_{UB} \quad (5)$$

Vì BDP sẽ được sử dụng để ước lượng tốc độ gửi gói tin nên chúng tôi đặt μ = 0.95 để đảm bảo tính ổn định của giá trị tính được. Cơ chế phản hồi của MMRC cũng giống như của MAD-TP [11], chỉ khác ở chỗ ngoài giá trị trung bình MAD và tốc độ nhận gói tin R_{rcv}, bên nhận sẽ gửi thêm giá trị BDP.

C. Bên gửi MMRC

Khi lấy được giá trị MAD và BDP từ gói tin phản hồi, bên gửi sẽ tính gradien của MAD và tốc độ gửi tối đa R_{UB}. Gọi A_i và A_{i+1} lần lượt là các thời điểm nhận được gói tin phản hồi ith và $(i + 1)^{th}$, MAD_i và MAD_{i+1} là các giá trị MAD tương ứng, vậy gradien của MAD sẽ được tính như sau

$$\propto = \frac{MAD_{i+1} - MAD_i}{A_{i+1} - A_i} \quad (6)$$

Chúng tôi đã xây dựng một kịch bản đánh giá bằng mô phỏng với một tôpô mạng đơn giản hình chuỗi để xác định khoảng phân bố giá trị của α trong cả hai trạng thái mạng là bão hòa và chưa bão hòa. Kết quả cho thấy khi mạng chưa bão hòa (chưa quá tải), thì tỷ lệ mất gói tin thấp và trễ đầu cuối nhỏ. Khi đó, hầu hết các giá trị của α nằm trong khoảng [-5,5]. Điều này có thể hiểu rằng, để mạng hoạt động tốt, giá trị gradien của MAD không nên vượt quá 5. Khi mạng bị quá tải, chúng tôi thấy rằng giá trị α sẽ phân bố trong một khoảng lớn hơn rất nhiều.

Từ kết quả trên, chúng tôi định nghĩa hai ngưỡng $0 < TH_1 < TH_2$ cho gradien của MAD dùng làm chỉ dẫn cho mức độ cạnh tranh trong mạng. Nếu $\alpha < TH_1$, điều này có nghĩa là MAD giảm (trong trường hợp $\alpha < 0$) hoặc tăng nhẹ (trong trường hợp $0 < \alpha < TH_1$), thì bên gửi MMRC có thể tăng tốc độ gửi gói tin. Chúng tôi

đặt TH_1 = 5. Nếu α > TH_2 nghĩa là nhiều khả năng mạng đã ở vào trạng thái có mức độ cạnh tranh nghiêm trọng. Bên gửi MMRC không nên tăng tốc độ gửi gói tin trong trường hợp này. Chúng tôi đặt TH_2 = 7 nhằm tạo ra sự phản ứng nhanh với tình trạng đột nhiên tăng mạnh của mức độ cạnh tranh trong mạng. Trong trường hợp còn lại, $TH_1 < \alpha < TH_2$, có thể coi là mạng đang hoạt động ở trạng thái tối ưu, do đó bên gửi không nên thay đổi tốc độ gửi gói tin. Chú ý rằng hai giá trị TH_1 and TH_2 (5 và 7) được lựa chọn cho mô hình mạng đơn giản nhất với tôpô dạng chuỗi bởi vì mô hình này cung cấp cho chúng ta cái nhìn rõ ràng về ảnh hưởng của α. Tuy nhiên, chúng tôi sẽ chứng minh ở phần sau rằng, mặc dù các giá trị này là chưa tối ưu, nhưng cơ chế mà chúng tôi đề xuất vẫn cho kết quả tốt hơn so với TFRC [7] và LATP [12] trong các tôpô mạng phức tạp khác. Cận trên của tốc độ gửi gói tin R_{UB} có thể được tính từ BDP và giá trị thời gian khứ hồi RTT như sau

$$R_{UB} = BDP/RTT \quad (7)$$

Như vậy, R_{UB} sẽ là tốc độ gửi tối đa sao cho mạng không bị quá tải. Để tránh tình trạng không ổn định, tốc độ gửi sẽ được cập nhật bởi quy tắc sau

if $(R_{UB} > R \;\&\&\; \alpha < TH_1)$

tăng tốc độ

elseif $(R_{UB} < R \;\&\&\; \alpha > TH_2)$

giảm tốc độ

trong đó R là tốc độ gửi hiện thời.

Bên gửi MMRC sẽ giảm tốc độ gửi dựa trên quy tắc giống như của LATP [12], trong đó tốc độ gửi sẽ giảm đi một lượng là 1/8 tốc độ gửi hiện tại sau mỗi RTT nhưng không bao giờ nhỏ hơn một gói tin trên RTT. Để tăng tốc độ, trong trường hợp α < TH1, MMRC sử dụng công thức sau

$$R = min(2 * R_{rcv}, R_{UB}, R + N*S/RTT) \quad (8)$$

Công thức 8 đảm bảo rằng tốc độ mới sẽ không vượt quá cận trên của nó hoặc hai lần tốc độ nhận gói tin và chỉ tăng tối đa là một gói tin trên RTT. Chú ý rằng tốc độ gửi luôn luôn lớn hơn một gói tin trên RTT với các quy tắc tăng và giảm tốc độ như trên.

IV. CÀI ĐẶT MÔ PHỎNG VÀ KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Thử nghiệm đánh giá hiệu suất của MMRC sẽ được so sánh với hiệu suất của MAD-TP, TFRC và LATP. Chúng tôi sử dụng phần mềm mô phỏng mạng phổ biến hiện nay là NS-2, phiên bản 2.34 [15] để thực hiện thử nghiệm đánh giá với các tham số cấu hình được trình bày trong Bảng 1. Trong tất cả các tôpô mạng, các nút trong mạng MHWN đều đứng im để loại đi ảnh hưởng của sự di động, các kênh truyền được mặc định là hoàn hảo để giảm thiểu ảnh hưởng của việc mất gói tin do lỗi kênh truyền. Trong mô phỏng, MMRC, MAD-TP, TFRC và LATP hoạt động với đặc điểm là luôn có gói tin để gửi và do đó tốc độ gửi của nó không phụ thuộc vào tốc độ của ứng dụng ở tầng trên. Các thông số đo hiệu suất được sử dụng sẽ là: thông lượng (Throughput), độ trễ đầu cuối (E2E), tỷ lệ mất gói tin (PLR) và tính công bằng (Fairness). Các thông số này đều được tính trung bình cho 16 lần chạy mô phỏng, mỗi lần chạy với thời gian là 400s.

Bảng 1. Cấu hình chung cho mô phỏng

Tham số	Giá trị
Mô hình truyền sóng	TwoRayGround
Giao thức MAC	802.11 DCF
Băng thông	6Mbps
Kích thước hàng đợi thiết bị mạng	50 gói
Khoảng cảm nhận sóng mang	250m
Khoảng truyền	500m
Kích thước gói tin dữ liệu	1000 bytes
Giao thức định tuyến	AODV

A. Kịch bản mô phỏng

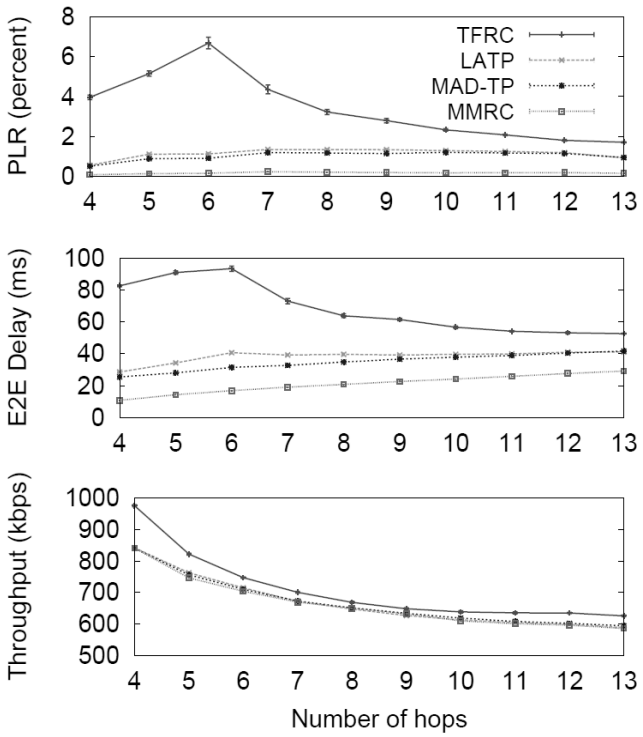
Chúng tôi sử dụng các kịch bản mô phỏng giống như trong công trình trước đây [11]. Sau đây là mô tả ngắn gọn các kịch bản này. Chúng tôi sử dụng ba tôpô mạng là chuỗi (chain), lưới (grid) và ngẫu nhiên (random) với mục tiêu tạo ra các mô hình nhiễu khác nhau. Trong tôpô chuỗi và lưới, mỗi cặp nút sẽ cách nhau 200m. Cách đặt vị trí này sẽ khiến cho 2 cặp nút cạnh nhau bất kỳ sẽ nằm trong khoảng truyền sóng của

nhau và hai nút cách nhau 2 hop trên cùng một hàng sẽ nằm trong khoảng cảm nhận sóng của nhau. Kịch bản đầu tiên chỉ có một kết nối từ nút đầu đến nút cuối trong tôpô mạng chuỗi, số lượng các nút trong mạng sẽ thay đổi. Kịch bản thứ hai có 4 kết nối như kịch bản đầu tiên, tôpô mạng cố định là 9 nút. Kịch bản thứ ba sử dụng tôpô mạng lưới có kích thước 8x8 nút, trong đó chúng tôi tạo ra 4 mô hình kết nối sao cho chúng có thể cung cấp các mức độ khác nhau về mức độ cạnh tranh trong mạng. Mỗi mô hình là một số nhất định các kết nối được tạo ra dọc theo chuỗi các nút nằm trên các dòng kẻ trong lưới. Kịch bản thứ tư sử dụng tôpô mạng với 60 nút được phân bố ngẫu nhiên trong một không gian có kích thước 1500mx1500m. Số lượng các kết nối chạy đồng thời trong mạng sẽ lần lượt là 5, 10, 15 và 20.

Kết quả mô phỏng sẽ được trình bày trong các phần tiếp theo.

B. Kết quả thử nghiệm và nhận xét

Tôpô dạng chuỗi



Hình 2. Tôpô dạng chuỗi với 1 kết nối

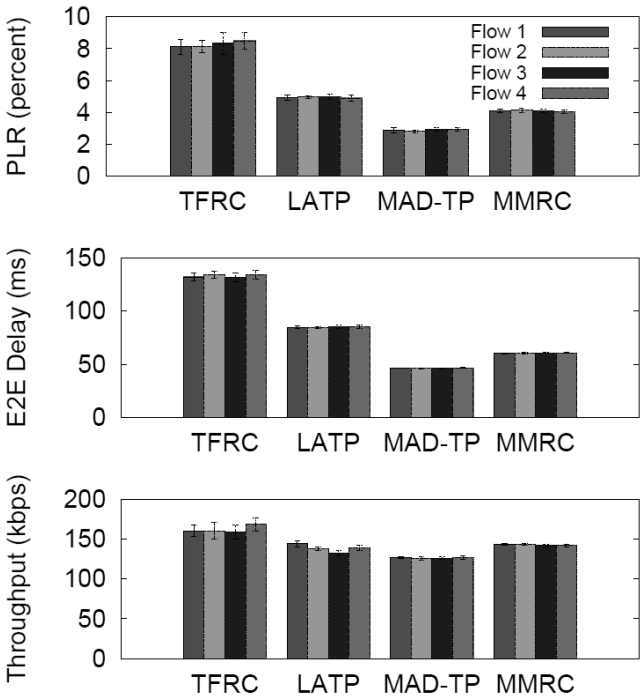
Trong Hình 2, MMRC cho hiệu suất về PLR và E2E tốt hơn nhiều so với các giao thức khác. PLR của MMRC nằm trong khoảng từ 0.1% (chuỗi với 4 hop) đến 0.22% (chuỗi với 7 hop), trong khi kết quả của MAD-TP, LATP và TFRC lần lượt nằm trong khoảng [0.5%, 1%], [0.6%, 1.4%] (với chuỗi 4 và 7 hop) và [1.7%, 6.7%] (với chuỗi 13 và 7 hop). Giá trị trung bình của PLR của MMRC như vậy chỉ vào khoảng 1/5, 1/7 và 1/27 của MAD-TP, LATP và TFRC. MMRC cũng cho kết quả về E2E nhỏ hơn rất nhiều so với các giao thức còn lại và giá trị này tăng khi số lượng hop tăng. Mặc dù E2E của MAD-TP cũng tăng cùng với số lượng hop, nhưng E2E của MAD-TP lại lớn hơn của MMRC. Cùng một kích thước mạng, giá trị E2E của MAD-TP luôn lớn hơn khoảng 10ms so với của MMRC.

Một điểm đáng chú ý nữa là, mặc dù PLR và E2E của MMRC nhỏ hơn, nhưng MMRC lại có thông lượng tương đương với MAD-TP và LATP, và nhỏ hơn một chút so với TFRC. Phần thông lượng giảm đi này chính là cái giá phải trả để có PLR và E2E tốt hơn. Tuy nhiên, với các ứng dụng có yêu cầu chặt chẽ về tỷ lệ mất gói tin cũng như độ trễ, chúng tôi tin rằng sự đánh đổi này là chấp nhận được. Kết quả này đến từ hai cơ chế của MMRC: dò điều kiện mạng và điều khiển tốc độ gửi gói tin. Cơ chế điều khiển tốc độ của TFRC ước lượng sai năng lực hiện thời của mạng và thường có xu hướng làm mạng quá tải. Nguyên nhân đến từ việc sử dụng công thức tính tốc độ gửi của TFRC vốn phụ thuộc vào tỷ lệ mất gói tin được tính ở bên nhận TFRC. Công trình [8] đã chứng minh rằng công thức tính tỷ lệ mất gói tin của TFRC trong MHWN là không chính xác bởi việc mất mát gói tin trong MHWN chủ yếu gây ra bởi mức độ cạnh tranh cao trong mạng. Do vậy, TFRC vẫn tăng tốc độ gửi khi mạng đang ở trạng thái có mức độ cạnh tranh cao và không giảm tốc độ gửi kịp thời khi tình trạng cạnh tranh trong mạng ở vào mức độ nghiêm trọng. Kết quả là các gói tin được truyền đi trong mạng sẽ có xác suất bị lỗi cao và độ trễ lớn gây ra bởi nhiễu giữa các nút gần nhau, cơ chế ARQ của tầng MAC [1] cũng như mức độ bận cao của kênh truyền.

LATP có khả năng dò điều kiện mạng tốt hơn của TFRC nhờ sử dụng thông số thông lượng cho phép [12]. Cơ chế điều khiển tốc độ của LATP dựa trên thông số này cũng hiệu quả hơn của TFRC. Do đó, LATP có hiệu suất hoạt động tốt hơn TFRC.

Tuy vậy, MMRC vẫn hoạt động tốt hơn LATP nhờ sử dụng thông số MAD. MMRC còn sử dụng công thức ước lượng băng thông chính xác hơn và một cơ chế điều khiển tốc độ hiệu quả hơn dó với MAD-TP, LATP và TFRC. Công thức ước lượng băng thông của MMRC phản ánh chính xác năng lực hiện thời của mạng, do đó ngăn không cho bên gửi của MMRC gửi quá nhiều gói tin làm mạng bị quá tải. Cơ chế điều khiển tốc độ của MMRC cũng đồng thời duy trì được tốc độ gửi gói tin của bên gửi tương đối ổn định, khiến cho tình trạng mạng cũng ổn định theo. Vì thế, MMRC luôn cố gắng làm cho mạng hoạt động ở một trạng thái với mức độ cạnh tranh thấp, dẫn đến giảm thiểu số lần truyền và độ trễ của gói tin ở tầng MAC.

Hình 3 thể hiện kết quả của kịch bản với 4 kết nối song song trong tôpô mạng dạng chuỗi với 9 nút. Trong kịch bản này, MMRC cho kết quả tốt hơn TFRC rất nhiều về PLR và E2E. Ngoài ra, hiệu suất của MMRC cũng tốt hơn của LATP về cả ba thông số PLR, E2E và thông lượng. Chúng ta có thể thấy rằng PLR và E2E của MMRC nhỏ hơn so với LATP một lượng khoảng 0.9% và 24 ms, trong khi có thông lượng xấp xỉ. Chú ý rằng kịch bản này là cho 4 kết nối song song nên mức độ cạnh tranh trong mạng sẽ cao hơn so với trong kịch bản đầu tiên với 1 kết nối. Kết quả này một lần nữa chứng minh rằng cơ chế điều khiển tốc độ của MMRC hiệu quả hơn so với các giao thức còn lại. Tuy nhiên, mặc dù thông lượng của MMRC trong kịch bản này cao hơn so với của MAD-TP, nhưng PLR và E2E lại cho giá trị lớn hơn. Nguyên nhân là do MAD-TP sử dụng một ngưỡng MAD_{TH} để hạn chế hoạt động của MAD-TP và bên gửi MAD-TP sẽ ngay lập tức giảm tốc độ khi giá trị MAD nhận được lớn hơn ngưỡng này. Vấn đề là ở chỗ ngưỡng này chưa thật sự tối ưu, do đó MAD-TP làm cho mạng hoạt động ở trạng thái "dưới" tối ưu. Ngược lại, MMRC sử dụng cơ chế điều khiển chính xác và hiệu quả hơn, do đó khiến cho mạng luôn hoạt động xung quanh trạng thái tối ưu. Đây chính là lý do khiến cho MAD-TP có PLR, E2E và Thông lượng đều nhỏ hơn của MMRC.



Hình 3. Tôpô dạng chuỗi 9 nút với 4 kết nối

Tôpô dạng lưới

Trong kịch bản này, kết quả của MMRC là tốt nhất trong tất cả các giao thức. Hình 4 cho thấy MMRC tốt hơn hẳn TFRC và LATP trong cả 4 mô hình kết nối về PLR và E2E mà vẫn có thông lượng chấp nhận được. MMRC thậm chí còn có hiệu suất nhỉnh hơn của MAD-TP.

Ngoài ra, kết quả mô phỏng còn cho thấy TFRC gây ra sự mất công bằng nghiêm trọng giữa các luồng trong mạng. Một vài luồng có thông lượng rất cao, như trong mô hình kết nối số 3 là ~543 kbps, trong khi một vài luồng khác lại rất thấp, như trong mô hình 3 là ~1.5 kbps. Tỷ lệ giữa hai giá trị này lên đến 362. Mặc dù LATP có kết quả tốt hơn của TFRC, nhưng tỷ lệ giữa hai giá trị thông lượng lớn nhất (~415 kbps) và nhỏ nhất (~16 kbps) là 26. Các giá trị này của MAD-TP lần lượt là ~348 kbps, 17 kbps và 20. MMRC cho

kết quả tốt hơn rất nhiều so với TFRC và LATP về độ công bằng khi mà giá trị trung bình của thông lượng luồng nhỏ nhất của MMRC lớn hơn và tỷ lệ giữa giá trị thông lượng lớn nhất và nhỏ nhất của MMRC nhỏ hơn (28.1 kbps và 12). Hình 4 cũng chỉ ra rằng MMRC cải thiện chỉ số công bằng Jane (Jane's fairness index [16]) trung bình một lượng khoảng 0.23 với giá là sự sụt giảm thông lượng trung bình 31% so với TFRC.

Kết quả này đến từ khả năng nhận biết sớm mức độ cạnh tranh cao trong mạng và cơ chế điều khiển tốc độ với hàm 8 hợp lý của MMRC. Nhờ có quy tắc điều khiển hợp lý với các hạn chế về cận trên của tốc độ, tốc độ gửi của MMRC nếu tăng cũng sẽ rất vừa phải, nhờ vậy mà kênh truyền được chia sẻ công bằng hơn giữa các luồng.

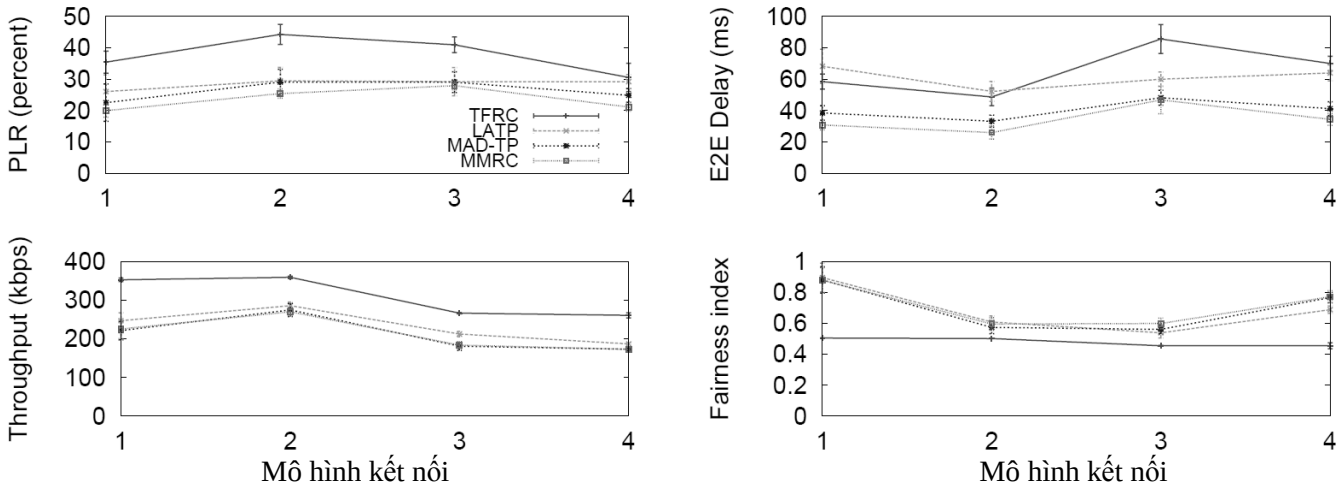
Tôpô ngẫu nhiên

Bảng 2 hiển thị kết quả thử nghiệm mô phỏng cho tôpô ngẫu nhiên. Chúng ta có thể thấy rằng, dù trong kịch bản mô phỏng phức tạp như thế này, MMRC vẫn cho kết quả tốt hơn rất nhiều so với TFRC về độ công bằng, PLR và E2E. MMRC cũng cho kết quả tốt hơn LATP về độ công bằng, PLR và E2E với thông lượng kém hơn không đáng kể.

Như vậy, đối với kịch bản rất sát với thực tế này, chúng ta có thể thấy rằng MMRC hiệu quả hơn các giao thức khác.

V. KẾT LUẬN

Trong công trình này, chúng tôi đã đề xuất cơ chế MMRC - một cơ chế điều khiển tốc độ hiệu quả cho các giao thức dựa trên tốc độ trong mạng MHWN. Trong MMRC, hai thông số MAD và AT T đã được kết hợp để cung cấp khả năng nhận biết mức độ cạnh tranh/va chạm trong mạng nhanh và chính xác hơn. MMRC được thiết kế dựa trên gradien của MAD nhằm nhận biết sớm sự thay đổi của mức độ cạnh tranh trong mạng. Hai ngưỡng của gradien của MAD đã được định nghĩa và sử dụng trong cơ chế điều khiển tốc độ.



Hình 4. Kết quả mô mỏng cho tôpô dạng lưới

Bảng 2. Kết quả mô phỏng cho tôpô ngẫu nhiên

Flow #:	5				10				15				20			
	PLR	Delay	TL	Fairness	PLR	Delay	TL	Fairness	PLR	Delay	TL	Fairness	PLR	Delay	TL	Fairness
TFRC	20.71	166.47	134.34	0.51	33.49	413.06	126.54	0.23	38.35	506.78	90.26	0.24	45.30	772.88	138.99	0.18
LATP	11.06	64.03	108.66	0.79	22.87	162.79	95.22	0.37	22.83	178.31	62.75	0.42	22.22	181.37	85.51	0.25
MAD-TP	10.24	55.68	99.38	0.78	19.01	94.40	81.97	0.44	21.20	140.93	56.15	0.44	22.55	174.72	87.42	0.25
MMRC	9.0	50.1	89.4	0.79	16.5	82.5	79.7	0.49	19.2	109.7	55.4	0.57	18.9	115.1	87.7	0.28

Ngoài việc nhận biết sớm tình trạng cạnh tranh trong mạng, MMRC còn sử dụng thông số AT T để có thể ước lượng chính xác thông lượng hiệu quả của mạng, và từ đó tính được cận trên của tốc độ gửi gói tin. Cận trên này chính là tốc độ tối đa mà bên gửi MMRC có thể sử dụng để gửi các gói tin vào mạng mà không làm cho mạng bị quá tải. MMRC sử dụng các kỹ thuật này để cung cấp một cơ chế điều khiển tốc độ hiệu quả trong mạng MHWN. Thử nghiệm mô phỏng cho thấy rằng MMRC có kết quả tốt hơn về độ công bằng giữa các luồng trong mạng MHWN so với của LATP và TFRC. MMRC cũng cho kết quả tốt hơn nhiều so với LATP và TFRC về PLR và E2E là hai tiêu chí quan trọng của các ứng dụng streaming thời gian thực.

Tuy vậy, MMRC vẫn còn một vài thiếu sót cần điều chỉnh. Đầu tiên là phải tìm được giá trị chính xác hơn của hai ngưỡng TH1 và TH2. Mặc dù các giá trị được chọn thông qua mô phỏng đã cho kết quả tương đối tốt, chúng vẫn cần được cải thiện, như thông một mô hình toán học chẳng hạn. Thứ hai là giả thuyết được sử dụng trong công thức tính BDP: tuyến đường đi của gói tin dữ liệu và tuyến đường về của ACK là như nhau trong mạng. Giả thuyết này không phải lúc nào cũng đúng. Do vậy, công thức này cũng cần phải được cải tiến hơn nữa.

LỜI CẢM ƠN

Các tác giả trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ từ Đề tài CN.11.10 của Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] IEEE COMPUTER SOCIETY, *IEEE 802.11-2007, Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*, June 2007.

[2] A. HANBALI and E. ALTMAN, *"A Survey of TCP over Ad Hoc Networks,"* IEEE Communications Surveys and Tutorials, vol. 7, pp. 22–36, 2005.

[3] Z. FU, H. LUO, P. ZERFOS, S. LU, L. ZHANG, AND M. GERLA, *"The impact of multihop wireless channel on tcp performance,"* IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 4, pp. 209–221, March 2005.

[4] H. ZHAI, X. CHEN, AND Y. FANG, *"Rate-based transport control for mobile ad hoc networks,"* in Proceedings of IEEE WCNC'05, pp. 2264–2269, 2005.

[5] E. HAMADANI and V. RAKOCEVIC, *"A Cross Layer Solution to Address TCP Intra-flow Performance Degradation in Multihop Ad Hoc Networks,"* Journal of Internet Engineering, vol. 2, pp. 146–156, 2008.

[6] X. ZHANG, W. ZHU, AND N. LI, *"TCP Congestion Window Adaptation Through Contention Detection in Ad Hoc Networks ,"* IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 59, pp. 4578–4588, 2010.

[7] S. FLOYD, M. HANDLEY, J. PADHYE, AND J. WIDMER, *"TCP Friendly Rate Control (TFRC): Protocol Specification,"* 2008. RFC 5348.

[8] K. CHEN and K. NAHRSTEDT, *"Limitations of equation-based congestion control in mobile ad hoc networks,"* in Proceedings of the 24th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops - W7: EC (ICDCSW'04) - Volume 7, ICDCSW '04, (Washington, DC, USA), pp. 756–761, IEEE Computer Society, 2004.

[9] K. NAHM, A. HELMY, and J. C. KUO, *"On interaction between mac and transport layers for multimedia streaming in 802.11 ad hoc networks,"* in in Proc. SPIE ITCOM 2004, 2004.

[10] H. ZHAI, X. CHEN, AND Y. FANG, "Improving transport layer performance in multihop ad hoc networks by exploiting MAC layer information," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 6, no. 5, pp. 1692– 1701, 2007.

[11] L. M. DUONG, L. ZITOUNEL, AND V. VEQUE, *"MAC-aware Rate Control for Transport Protocol in Multihop Wireless Networks,"* in PIMRC '12, Sept 2012.

[12] P. NAVARATNAM, H. CRUICKSHANK, AND R. TAFAZOLLI, *"A link adaptive transport protocol for multimedia streaming applications in multi hop wireless networks,"* in MobiMedia '07, pp. 1–6, ICST, 2007.

[13] L. M. DUONG, L. ZITOUNEL, AND V. VEQUE, *"A Medium Access Delay MAC aware Metric for Multihop Wireless Networks,"* in IWCMC '12, Aug 2012.

[14] K. CHEN, Y. XUE, S. SHAH, AND K. NAHRSTEDT, "*Understanding bandwidthdelay product in mobile ad hoc networks,"* Computer Communications, vol. 27, pp. 923–934, 2003.

[15] *"The Network Simulator - NS-2."* http://isi.edu/nsnam/ns/

[16] R. K. JAIN, D. W. CHIU, AND W. R. HAWE, *"A Quantitative Measure Of Fairness And Discrimination For Resource Allocation In Shared Computer Systems,"* tech. rep., Digital Equipment Corporation, Sept. 1984.

Nhận bài ngày: 09/04/2013

SƠ LƯỢC VỀ TÁC GIẢ

TRẦN TRÚC MAI

Sinh ngày 31/5/1977.

Tốt nghiệp Đại học Bách Khoa, Hà Nội, Việt Nam năm 2000.

Nhận bằng Tiến sĩ tại Bristol University, United Kingdom năm 2009.

Hiện đang công tác tại Bộ môn Mạng và Truyền thông máy tính, Khoa CNTT, Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà nội.

Lĩnh vực nghiên cứu: Mạng thông tin di động 3G, 4G, MIMO.

Email: mai.tran@vnu.edu.vn

DƯƠNG LÊ MINH

Sinh ngày 12/01/1982.

Tốt nghiệp Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà nội năm 2004.

Nhận bằng Tiến sĩ tại Đại học Paris XI, Pháp năm 2012.

Hiện đang công tác tại bộ môn Mạng và Truyền thông máy tính, Khoa CNTT, Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà nội.

Lĩnh vực nghiên cứu: Mạng wifi 802.11, mạng thông tin di động 3G, 4G.

Email: minhdl@vnu.edu.vn