

PHÂN TÍCH ĐÁNH GIÁ GIAO THỨC HỢP TÁC TRONG MẠNG VÔ TUYẾN

Hoàng Quang Trung*, Bùi Thị Thanh Xuân

Trường Đại học Công nghệ Thông tin và Truyền thông – ĐH Thái Nguyên

TÓM TẮT

Truyền dẫn hợp tác là kỹ thuật hứa hẹn nhiều khả năng đáp ứng về phẩm chất của các mạng vô tuyến. Trong bài viết này, trước tiên chúng tôi đưa ra sự phân tích và đánh giá phẩm chất của giao thức hợp tác tại lớp vật lý dựa trên sơ đồ phân tập hợp tác trong [3]. Trên cơ sở đó, chúng tôi đề xuất phương pháp tối ưu xuyên lớp bằng cách kết hợp kỹ thuật phân tập hợp tác với giao thức lựa chọn nút chuyển tiếp trong [4] nhằm nâng cao hiệu quả truyền dẫn của mạng vô tuyến hợp tác. Chúng tôi đã thực hiện mô phỏng máy tính bằng Matlab, kết quả mô phỏng đã chứng minh được rằng truyền dẫn phân tập hợp tác cho phẩm chất tốt hơn hẳn so với truyền dẫn trực tiếp (không hợp tác). Chúng tôi cũng đã phân tích lý thuyết để chỉ ra rằng nếu quá trình hợp tác đầy đủ ở cả lớp vật lý và lớp điều khiển truy nhập môi trường sẽ cho phẩm chất hệ thống vượt trội.

Key words: Truyền dẫn vô tuyến hợp tác, giao thức hợp tác, lớp vật lý, lớp điều khiển truy nhập môi trường, phân tập hợp tác.

GIỚI THIỆU

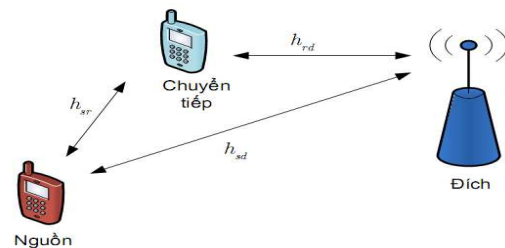
Truyền thông vô tuyến là lĩnh vực đang được phát triển mạnh mẽ và có khả năng ứng dụng rộng rãi. Đây cũng là lý do mà ngày càng có nhiều tác giả quan tâm đến việc thiết kế, cải tiến các giao thức mạng nhằm nâng cao tốc độ truyền dẫn và phẩm chất hệ thống. Để đạt được mục đích này, hướng tiếp cận mới là truyền thông hợp tác. Tuy nhiên, đây là lĩnh vực nghiên cứu khá mới mẻ. Do đó, xoay quanh vấn đề này còn có nhiều vấn đề cần phải bàn luận. Đại đa số các tác giả trước đây đều tập trung nghiên cứu cơ chế hợp tác diễn ra tại một lớp giao thức cụ thể, do đó có thể không kết hợp được các ưu điểm của giao thức hợp tác. Để có được cơ chế hợp tác đầy đủ, chúng tôi tiếp cận theo hướng thiết kế xuyên lớp, cụ thể từ lớp vật lý đến lớp điều khiển truy nhập môi trường. Trước tiên, chúng tôi đưa ra sự phân tích đánh giá giao thức hợp tác lớp vật lý, sau đó là phân tích giao thức lựa chọn nút mạng. Trên cơ sở đó chúng tôi đề xuất hướng tiếp cận xuyên lớp dựa trên việc kết hợp hai giao thức này.

HỢP TÁC TẠI LỚP VẬT LÝ

Mô hình phân tập hợp tác

Trong truyền dẫn vô tuyến, chất lượng tín hiệu thường bị suy giảm do điều kiện kênh không được đảm bảo, trong đó ảnh hưởng

thường là do yếu tố truyền sóng đa đường hay pha-đỉnh. Để khắc phục vấn đề này có thể sử dụng các kỹ thuật phân tập khác nhau. Phân tập không gian có thể được tạo ra bằng cách sử dụng nhiều ăng-ten để phát, tuy nhiên việc tích hợp nhiều ăng-ten trên một thiết bị di động nhỏ bé có thể không thực hiện được và trong trường hợp trạm thu ở quá xa trạm phát thì cũng không thể thu được tín hiệu với chất lượng tốt. Ý tưởng đặt ra là xây dựng một mạng ad-hoc trong đó trạm nguồn có thể hợp tác với các trạm trung gian cho mục đích chuyển tiếp. Mô hình mạng kiểu này được minh họa như Hình 1.



Hình 1. Mô hình truyền dẫn vô tuyến sử dụng phân tập hợp tác.

Theo mô hình trên, nút Chuyển tiếp có nhiệm vụ nhận dữ liệu từ nút Nguồn, sau đó có thể xử lý trước khi chuyển tiếp tới nút Đích. Phương pháp đơn giản, hiệu quả là khuếch đại và chuyển tiếp. Ưu điểm của phương pháp này là tiết kiệm thời gian tính toán, đảm bảo công suất tín hiệu được nâng lên. Giả sử nút

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

Nguồn phát đi tín hiệu x_s , hệ số kênh giữa nút Nguồn và nút Chuyển tiếp là $h_{s,r}$, tín hiệu thu được tại nút Đích là y_r với thành phần tạp âm trên kênh $z_{s,r}$. Khi đó, công suất tín hiệu nhận được tại nút Chuyển tiếp từ nút Nguồn chuyển đến là [3]:

$$E\left[|y_r|^2\right] = E\left[|h_{s,r}|^2\right] \cdot E\left[|x_s|^2\right] + E\left[|z_{s,r}|^2\right] \quad (1)$$

$$= |h_{s,r}|^2 \cdot \xi + 2\sigma_{s,r}^2$$

Trong đó, toán tử $E[\cdot]$ xác định kỳ vọng;

$\xi = E\left[|x_s|^2\right]$ biểu diễn năng lượng tín hiệu phát và $2\sigma_{s,r}^2$ là thành phần công suất tạp âm tổng cộng.

Để gửi chuyển tiếp dữ liệu với công suất bằng với công suất phát ban đầu của trạm nguồn, trạm chuyển tiếp cần phải khuếch đại tín hiệu với hệ số

$$\beta = \sqrt{\frac{\xi}{|h_{s,r}|^2 \xi + 2\sigma_{s,r}^2}} \quad (2)$$

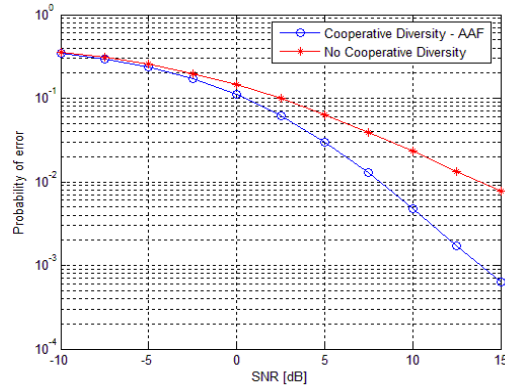
Quá trình kết hợp tín hiệu tại máy thu:

Để thực hiện kết hợp tín hiệu nhận được theo tuyến trực tiếp với bản sao của nó theo tuyến hợp tác, máy thu của trạm Đích có thể sử dụng các kỹ thuật kết hợp phân tập khác nhau. Trong bài viết này, chúng tôi sử dụng phương pháp kết hợp cải tiến theo tỷ số công suất tín hiệu trên công suất tạp âm, còn gọi là phương pháp kết hợp ESNRC (Enhanced Signal to Noise Combining). Về cơ bản, phương pháp này thực hiện quyết định dựa trên tỷ số tương đối của tham số SNR (Signal to Noise Rate) tương ứng với tuyến truyền trực tiếp ($SNR_{s,d}$) và tuyến truyền hợp tác ($SNR_{s,r,d}$). Cụ thể mẫu tín hiệu thứ n thu được tại nút Đích $y_d[n]$ được xác định bởi tín hiệu đến từ tuyến trực tiếp $y_{s,d}[n]$ và tuyến hợp tác $y_{s,r,d}[n]$ như sau:

$$y_d[n] = \begin{cases} y_{s,d}[n], & \left(\frac{SNR_{s,d}}{SNR_{s,r,d}} > 10\right) \\ y_{s,d}[n] + y_{s,r,d}[n], & \left(0.1 \leq \frac{SNR_{s,d}}{SNR_{s,r,d}} \leq 10\right) \\ y_{s,r,d}[n], & \left(\frac{SNR_{s,d}}{SNR_{s,r,d}} < 0.1\right) \end{cases} \quad (3)$$

Đánh giá phẩm chất của mạng truyền dẫn phân tập hợp tác

Để đánh giá phẩm chất mạng theo tham số BER (Bit Error Rate: tỷ số lỗi bit trên tập âm), chúng tôi đã thực hiện mô phỏng máy tính bằng phương pháp Monte-Carlo. Mô hình mô phỏng bao gồm 3 nút (Hình 1): Nguồn, Chuyển tiếp và Đích. Kênh truyền giữa các nút được giả thiết chịu ảnh hưởng của pha-đỉnh Rayleigh biến đổi chậm. Tức là các độ lợi của kênh không thay đổi trong mỗi chu kỳ khung dữ liệu truyền nhưng thay đổi giữa các khung. Dữ liệu truyền được điều chế BPSK, mỗi khung dữ liệu chứa 148 symbol. Tạp âm tại nút Chuyển tiếp và nút Đích được giả thiết độc lập thống kê và có phân bố như nhau với cùng phương sai. Tín hiệu nhận được tại nút Đích sau hai pha được kết hợp nhờ phương pháp ESNRC.



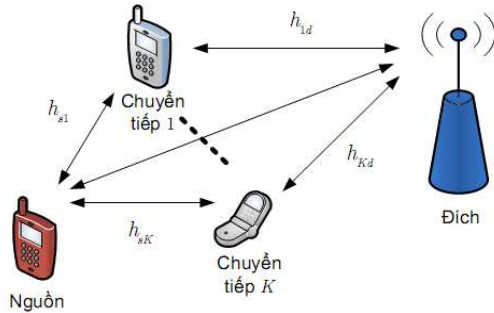
Hình 2. So sánh phẩm chất của truyền dẫn phân tập hợp tác với truyền dẫn trực tiếp.

Kết quả mô phỏng thể hiện trên Hình 2 cho ta thấy tại vùng SNR (tỷ số công suất tín hiệu trên công suất tạp âm) cao, đường đặc tính BER của trường hợp sử dụng hợp tác tốt hơn hẳn so với trường hợp không hợp tác. Một vấn đề nữa được đặt ra là cần lựa chọn nút trung gian nào để làm nút Chuyển tiếp? Dựa trên các kết quả nghiên cứu của một số tác giả về cơ chế hợp tác diễn ra tại các lớp giao thức riêng rẽ, chúng tôi đề xuất phương pháp tối ưu truyền dẫn hợp tác bằng cách kết hợp kỹ thuật phân tập hợp tác đã được mô tả ở trên với phương pháp lựa chọn nút chuyển tiếp trong [4], hay còn gọi là tối ưu xuyên lớp (từ lớp vật lý đến lớp điều khiển truy nhập môi trường).

PHƯƠNG PHÁP LỰA CHỌN NÚT CHUYỂN TIẾP

Giao thức lựa chọn nút chuyển tiếp

Trong trường hợp có nhiều trạm trung gian giữa trạm Nguồn và trạm Đích, vấn đề đặt ra là nên lựa chọn trạm nào làm trạm chuyển tiếp. Chúng ta xem xét mô hình lựa chọn trạm chuyển tiếp (Hình 3) dưới đây.



Hình 3. Mô hình lựa chọn trạm chuyển tiếp

Trong mô hình trên, giả thiết giữa trạm Nguồn và trạm Đích có K trạm Trung gian nằm trong vùng phủ sóng của cả hai trạm sẵn sàng hợp tác giúp chuyển tiếp dữ liệu từ Nguồn đến Đích. Khi đó cần phải có một cơ chế (giao thức) lựa chọn thích hợp để chọn ra trạm chuyển tiếp tốt nhất từ K trạm Trung gian. Giao thức lựa chọn nút phân tán diễn ra tại lớp MAC (Medium Access Control: Điều khiển truy nhập môi trường) được mô tả như sau [4]:

Bước 1: nút Nguồn phát đi bản tin yêu cầu truyền RTS (Request - To - Send) tới nút Đích. Do bản chất phát quảng bá trong thông tin vô tuyến nên tất cả các nút Trung gian cũng sẽ nhận được bản tin RTS này. Do đó các nút Trung gian ước lượng được kênh truyền từ Nguồn tới chúng. Nghĩa là nút Trung gian k sẽ biết được thông tin kênh truyền h_{sk} .

Bước 2: Sau khi nhận được bản tin RTS, nút Đích phát đi bản tin CTS (Clear - To - Send) cho nút Nguồn để thông báo trạng thái sẵn sàng nhận dữ liệu. Khi đó các nút Trung gian có thể ước lượng được kênh truyền h_{kd} từ Đích tới chúng.

Bước 3: Dựa vào tính chất thuận nghịch của kênh truyền, nút Trung gian có thể biết được

kênh truyền từ nó đến Đích, tức là $h_{kd} = h_{dk}$. Kết quả là mỗi nút Trung gian sẽ biết được kênh chuyển tiếp từ Nguồn thông qua nó tới Đích, tức là h_{sk} và h_{kd} . Lúc này, mỗi nút trung gian sẽ tính toán chỉ số chất lượng kênh truyền (CQI_k : Channel Quality Index) cho đường chuyển tiếp thông qua nó thông qua hàm $CQI_k = f(h_{sk}, h_{kd})$. Mỗi giá trị CQI_k được ánh xạ thành một giá trị thời gian chờ T_k . Nút Trung gian với CQI tốt nhất chỉ cần phải chờ thời gian T_k nhỏ nhất. Sau khi hết thời gian chờ, nút có CQI tốt nhất sẽ phát đi bản tin AFR (Apply - For - Relay: Đồng ý chuyển tiếp) về nút Nguồn. Do tính chất quảng bá của kênh truyền nên các nút Trung gian khác cũng nhận được bản tin này. Kết quả là các nút Trung gian đang trong thời gian chờ sẽ thực hiện dừng trạng thái chờ.

Bước 4: Sau khi nhận được bản tin AFR từ nút tốt nhất $k = \kappa$, nút Nguồn xác nhận lại việc đồng ý chọn nút $k = \kappa$ làm nút Chuyển tiếp bằng cách phát đi bản tin SFR (Select - For - Relay: Lựa chọn làm Chuyển tiếp) cho nút κ . Do tính chất quảng bá nên các nút Trung gian và nút Đích đều biết được thông tin nút κ đã được lựa chọn làm nút Chuyển tiếp. Đến đây kết thúc quá trình lựa chọn nút.

Tiêu chí lựa chọn nút chuyển tiếp

Để lựa chọn nút chuyển tiếp cần cụ thể hóa hàm chỉ số chất lượng kênh CQI dựa trên các tiêu chí khác nhau. Trong [2], Bletsas đã đề xuất tiêu chí lựa chọn nút dựa trên tiêu chuẩn trung bình hài hòa (harmonic mean), cụ thể như sau:

Các nút Trung gian sẽ sử dụng trung bình hài hòa giữa hai thành phần biên độ của hai kênh thuận và nghịch làm tiêu chí lựa chọn. Chỉ số CQI theo trung bình hài hòa được tính theo công thức

$$CQI_k^{har-mean} = \frac{2}{\frac{1}{|h_{sk}|^2} + \frac{1}{|h_{kd}|^2}} = \frac{2|h_{sk}|^2 \cdot |h_{kd}|^2}{|h_{sk}|^2 + |h_{kd}|^2} \quad (4)$$

Thời gian chờ của nút trung gian thứ k là

$$T_k = \frac{\lambda}{CQI_k^{har-mean}} \quad (5)$$

Trong đó λ là một hằng số, có đơn vị phụ thuộc vào đơn vị của $CQI_k^{har-mean}$. Vì

$CQI_k^{har-mean}$ là đại lượng vô hướng nên λ có đơn vị thời gian. Với trường hợp xem xét ở đây, λ có giá trị hàng μs . Khi đó, nút Trung gian k sẽ được lựa chọn theo tiêu chuẩn cực đại hóa trung bình hài hòa như sau:

$$\kappa = \arg \max_k \{CQI_k^{har-mean}\} \quad (6)$$

Hoạt động xuyên lớp

Thông qua các bản tin trao đổi RTS, CTS và AFR trong giao thức lựa chọn nút chuyển tiếp, nút Nguồn sẽ xác định được nút chuyển tiếp tối ưu nhất tùy thuộc vào điều kiện môi trường truyền dẫn cụ thể. Trên cơ sở đó nút Nguồn sẽ gửi đi bản tin dữ liệu theo đường trực tiếp và bản sao của nó theo đường tới nút Chuyển tiếp tối ưu nhất. Tại nút Đích, máy thu kết hợp tín hiệu thu được từ hai nhánh phân tập bằng kỹ thuật kết hợp tín hiệu ESNRC. Điều đó cũng có nghĩa là nếu như có sự hợp tác xuyên lớp từ lớp vật lý lên lớp điều khiển truy nhập môi trường theo cách được mô tả như trên thì phẩm chất mạng vô tuyến sẽ được nâng lên rất nhiều. Do vừa có được độ lợi phân tập hợp tác và đồng thời cũng có được tuyến truyền dẫn tối ưu nhất.

KẾT LUẬN

Trong bài báo này chúng tôi đã phân tích, đánh giá mô phỏng sơ đồ truyền dẫn phân tập hợp tác và so sánh phẩm chất mạng theo sơ

đồ này với trường hợp không sử dụng phân tập hợp tác. Ngoài ra chúng tôi cũng đề xuất về mặt lý thuyết cho cơ chế hợp tác xuyên lớp (từ lớp vật lý đến lớp điều khiển truy nhập môi trường). Bằng cách mô phỏng máy tính sử dụng chương trình Matlab chúng tôi đã chứng minh được sự vượt trội của tuyến dẫn phân tập hợp tác. Bên cạnh đó, chúng tôi cũng đề xuất về mặt lý thuyết cho thiết kế xuyên lớp để nâng cao phẩm chất mạng vô tuyến hợp tác. Hướng phát triển tiếp theo là cần giải quyết vấn đề tranh chấp khi có nhiều nút chuyển tiếp đều có khả năng tốt cho việc trợ giúp nút nguồn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Trần Xuân Nam, (2010), "Mô phỏng các hệ thống xử lý tín hiệu không gian thời gian sử dụng Matlab", Học viện Kỹ thuật Quân sự.
- [2]. Bletsas A., et al, (2006), "A Simple Cooperative Diversity Method Based on Network Path Selection", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 24(3), pp. 659 – 672.
- [3]. J. N. Laneman, G. W. Wornell, and D. N. C. Tse, (2001), "An Efficient Protocol for Realizing Cooperative Diversity in Wireless Networks", Proc. IEEE ISIT, Washington, DC, June, p. 294.
- [4]. Zhang W. and K.B. Letaief, (2008), "Opportunistic Relaying for Dual-Hop Wireless MIMO Channels", IEEE Global Telecommunications Conference, New Orleans, LO.

SUMMARY

THE PERFORMANCE OF COOPERATIVE WIRELESS NETWORKS

Hoang Quang Trung*, Bui Thi Thanh Xuan

College of Information and Communication Technology - TNU

Cooperative communications, which refer to the collaborative processing and retransmission of overheard information at stations surrounding a source. This technique takes full advantage of the broadcast nature of the wireless channel. In this paper, we first analyze and evaluate the performance of cooperative diversity networks built on physical layers, then we propose a cross-layer approach for cooperative wireless communications (from PHY layer to MAC layer). We simulated the solution on Matlab program and simulation result showed that the cooperative diversity scheme provides better BER performance than the no cooperative diversity scheme. By analyzing on the theory we also showed the significant performance improvement of the cross-layer protocol.

Key words: Cooperative wireless communications, Cooperative Protocol, PHY Layer, MAC Layer, Cooperative Diversity.

Ngày nhận bài: 02/11/2012, ngày duyệt đăng: 19/11/2012, ngày phản biện: 10/12/2012

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