

NGHIÊN CỨU HIỆU NĂNG CỦA CÁC CƠ CHẾ CẤP KÊNH ĐƯỜNG XUỐNG CHO MẠNG DI ĐỘNG TẾ BÀO - FEMTOCELL NHẬN THỨC

A PERFORMANCE STUDY OF DOWNLINK ALLOCATION SCHEMES FOR COGNITIVE CELLULAR-FEMTOCELL MOBILE NETWORKS

Nguyễn Hoàng Văn

VNPT Thừa Thiên Huế

Email: ehoangvan@gmail.com

Nguyễn Văn Toàn, Nguyễn Đức Kiên,

Nguyễn Nam Hoàng

Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội

Email: nguyenvantoan263@gmail.com

TÓM TẮT

Trong mạng thông tin di động, có khoảng 2/3 cuộc gọi và hơn 90% các dịch vụ dữ liệu được thực hiện ở trong nhà [1]. Tuy nhiên, mật độ phủ sóng ở các đô thị lớn và vùng trũng giữa các trạm phát sóng là rất yếu, làm thế nào để tăng mật độ và chất lượng vùng phủ là thách thức của các nhà cung cấp dịch vụ. Các nghiên cứu phát triển và triển khai về femtocell gần đây là cơ hội cho các nhà cung cấp dịch vụ cải thiện vùng phủ sóng trong nhà với chi phí thấp. Ngoài ra, công nghệ vô tuyến nhận thức trong thông tin di động được nghiên cứu và ứng dụng. Sự kết hợp giữa femtocell và vô tuyến nhận thức được xem là giải pháp giải quyết về vùng phủ cũng như tốc độ truyền dữ liệu đến người dùng. Trong bài báo này chúng tôi nghiên cứu các cơ chế cấp kênh đường xuống của mạng femtocell nhận thức cho mạng di động sau thế hệ thứ tư, và thực hiện mô phỏng với mục đích so sánh và chọn ra cơ chế hoạt động hiệu quả nhất.

Từ khóa: Mạng tế bào - femtocell, vô tuyến nhận thức, mạng di động sau thế hệ thứ tư, cấp kênh

ABSTRACT

In mobile communications networks, two thirds of the total calls and 90% of the data services are carried out indoors [1]. However, with high coverage density in cities and low signal levels at cell edges and increase of signal quality of indoor coverage and cell edge exist the major challenge of all the mobile network operators. The research and deployment of femtocell networks have recently brought a great opportunity for mobile network operators to improve the signal quality of indoor coverage at low cost. Cognitive radio for mobile communications also has been proposed for future mobile communication. The integration of femtocell and cognitive radio is considered to be an efficient solution for improving better coverage and higher data transmission. In the paper, we investigate the downlink channel allocation scheme of cognitive cellular-femtocell mobile networks proposed for beyond fourth generation (4G) mobile communications. The performance evaluation of the channel allocation schemes is carried out by computer simulation in order to identify the most efficient downlink channel allocation scheme.

Key words: Cognitive femtocell networks; cognitive radio; beyond 4G mobile networks; channel allocation; 5G

1. Giới thiệu

Femtocells là điểm truy nhập mạng di động của các thiết bị di động tiêu chuẩn. Femtocells được kết nối đến mạng nhà cung cấp dịch vụ di động thông qua các công nghệ như đường dây thuê bao số DSL, kết nối cáp băng rộng, cáp quang hoặc trạm không dây cuối cùng. Điểm truy nhập femtocell (Femtocell Access Point - FAP) có nhiều điểm tương đồng với điểm truy nhập WiFi (Wifi Access Point). WAP sử dụng các công nghệ truy nhập không dây như IEEE 802.11b, IEEE802.11g và IEEE802.11n, còn FAP sử dụng các công nghệ

tế bào như GSM, GPRS, EDGE, UMTS, HSPA, LTE và mobile WiMAX (IEEE 802.16e).

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất các cơ chế cấp kênh đường xuống trong mạng tế bào Femtocell kết hợp với công nghệ vô tuyến nhận thức (CR - Cognitive Radio). Công nghệ vô tuyến nhận thức được trang bị với cơ chế phân tích phổ nâng cao và khả năng truy nhập có thể phân tích phổ vô tuyến và phát trên những băng tần mà không chiếm băng tần của người dùng chính (MU - Macrocell Users), do đó nguồn tài nguyên phổ mới được tạo ra. Như vậy, các người dùng thứ cấp (FU- Femtocell Users) sẽ sử dụng

lại các tài nguyên còn trống ở macrocell.

Bằng cách khai thác những lợi thế của hai công nghệ này, mạng di động tế bào - femtocell nhận thức đã mang đến những cơ hội mới và chất lượng dịch vụ cao hơn, đặc biệt là cho các hoạt động trong nhà. Hơn nữa, việc cung cấp đủ chất lượng dịch vụ cho người sử dụng trong nhà trở nên khả thi hơn. Nhà cung cấp mạng và người sử dụng điện thoại di động trong vùng phủ sóng của các macrocell cũng được hưởng lợi từ các công nghệ này.

Bài báo này bao gồm các phần sau. Mô hình hệ thống sẽ được trình bày ở phần 2. Nguyên lý hoạt động của các cơ chế cấp kênh sẽ được trình bày ở phần 3. Mô hình mô phỏng và kết quả đánh giá và so sánh hiệu năng sẽ được so sánh ở phần 4. Các kết luận sẽ được trình bày ở phần cuối cùng.

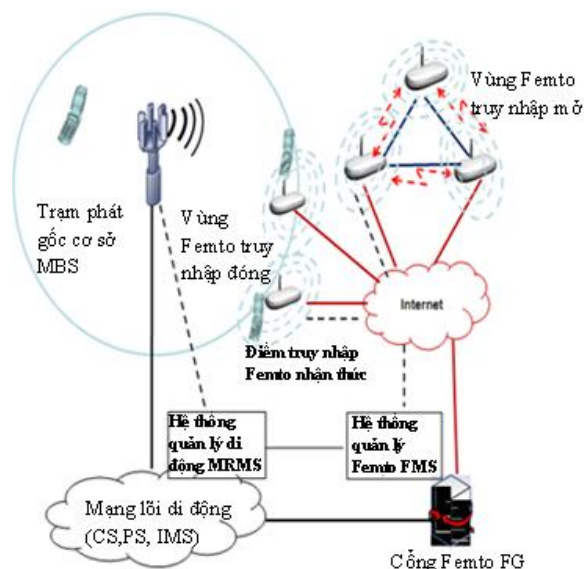
2. Mô hình hệ thống

Trong kiến trúc femtocell hiện tại, FAP có thể hoạt động ở tần số được lựa chọn ngẫu nhiên. Hình 1 trình bày mô hình mạng tế bào femtocell nhận thức mà chúng tôi nghiên cứu cho hệ thống thông tin di động sau 4G với việc triển khai các điểm truy nhập femtocell nhận thức (CFAP).

Một CFAP có thể hoạt động với vùng truy nhập đóng (closed access) chỉ với nhóm người dùng được truy nhập đến CFAP. Trong trường hợp này CFAP hoạt động giống như một điểm truy nhập riêng giống như thiết bị Wifi. Một số CFAP có thể hình thành khu vực truy nhập femtocell mở với yêu cầu truy nhập được chấp nhận bởi người dùng xác thực, trường hợp này được áp dụng trong các khu vực công cộng như trung tâm mua sắm, sân bay, nhà ga xe lửa. Các CFAP được trang bị với các chức năng nhận thức như cảm biến phổ hoặc cảm biến chất lượng kênh, CFAP có thể lựa chọn tần số hoạt động phù hợp nhất để đáp ứng QoS cho người truy nhập. Thực tế là các cuộc gọi thời gian thực có các yêu cầu nghiêm ngặt về QoS [2] nên mạng tế bào femtocell nhận thức cần quan tâm đáp ứng yêu cầu này [2].

Trong mô hình mạng trình bày trong hình 1, giả thiết rằng trạm gốc cơ sở (MBS) có thể sẽ

tương tác với các CFAP nằm trong vùng phủ sóng của MBS để trao đổi các thông tin hiện tại của phổ tần số được sử dụng bởi MBS. Giả thiết rằng hệ thống quản lý femto (FMS-Femto Management System) và hệ thống quản lý mạng truy nhập vô tuyến di động (MRMS-Mobile RAN Management System) trao đổi thông tin định kỳ. Sự tương tác giữa hai khối chức năng này hỗ trợ cho quản lý di động và quản lý tài nguyên vô tuyến. Khi xem xét trường hợp người dùng di chuyển giữa các vùng femto hoặc giữa vùng femto đến vùng MBS, thì người dùng cần cập nhật vị trí và chuyển giao cuộc gọi đang thực hiện. FMS và MRMS có thể hỗ trợ các thủ tục chuyển giao như quyết định chuyển giao, lựa chọn trạm gốc và cấp tài nguyên. FMS và MRMS cũng cần phối hợp trong việc quản lý tài nguyên vô tuyến. Khi một CFAP nhận yêu cầu cuộc gọi mới từ một FU hoặc chuyển giao cuộc gọi thì CFAP sẽ cấp tài nguyên vô tuyến (kênh) đến người dùng. Các MU được xem là người sử dụng chính và QoS của các MU phải được đảm bảo [3], CFAP phải chọn được kênh gây tác động tối thiểu cho MUs trong vùng phủ của MBS [4].



Hình 1. Mạng Tế bào – Femtocell nhận thức cho hệ thống sau 4G

Trong mạng di động tế bào femtocell nhận thức này, người dùng ở trạm macrocell (MU) được coi là người dùng chính nên chất lượng

dịch vụ (QoS) cuộc gọi của họ phải được đảm bảo. Khi một người dùng femtocell (FU) kết nối với CFAP và yêu cầu một cuộc gọi, ngay lúc đó CFAP phải lựa chọn một kênh cho FU sao cho vẫn đảm bảo được QoS của đường kết nối của những MU khác trong vùng ảnh hưởng. Tỷ số tín hiệu trên tạp âm và nhiễu trên kênh xuống (SINR) của MU đặc trưng cho chất lượng dịch vụ QoS có thể bị ảnh hưởng bởi tín hiệu liên kết xuống của những FU xung quanh mà cùng sử dụng một kênh với nó. Mặt khác, SINR của các FU còn bị ảnh hưởng bởi các CFAP bên cạnh chúng khi chúng cũng đang cấp cùng một kênh cho những FU khác. Để quản lý tốt nhiều trên kênh xuống, chúng tôi đề xuất tạo nhóm các CFAP trong cùng một vùng phủ sóng của một MBS. Tại đó các CFAP trong cùng nhóm sẽ cùng nhau quản lý phổ bằng việc trao đổi thông tin của việc cảm nhận và phân bổ phổ. Việc trao đổi thông tin này được thực hiện cả trong mô hình trung tâm với FMS là phần quản lý trung tâm hoặc cả trong mô hình phân tán, mà tại đó các CFAP trong một nhóm sẽ sử dụng chung một đường kênh điều khiển vô tuyến chung cho việc trao đổi thông tin.

3. Các cơ chế phân phối kênh

Trong phần này, chúng tôi phân tích ba cơ chế cấp kênh đường xuống sẽ được triển khai tại CFAP: cơ chế cấp kênh ngẫu nhiên (Random Scheme) [5], CFAP nhận thức (CFAP-based Scheme) [5] và cơ chế có sự phối hợp giữa các CFAP (Cooperative CFAP-based Scheme).

Giả thiết rằng MBS và CFAP có số kênh đường xuống là N_c kênh trực giao. Trong quá trình hoạt động, các CFAP và các MBS có thể tái sử dụng bất kỳ kênh nào trong N_c kênh này để cấp phát cho người sử dụng. Một CFAP hay một MBS tại bất kỳ thời điểm nào chỉ cấp cho một FU hoặc một MU. Khi một CFAP cấp một kênh cho một FU, trước tiên chất lượng kênh đường xuống của FU đó phải thỏa mãn một mức QoS tối thiểu của FU. Ngoài ra, việc cấp kênh cho đường xuống của FU này không được gây tác động nhiều tới đường kết nối của bất kỳ MU nào sử dụng cùng chung kênh đó. Để tránh sự ảnh hưởng xấu có thể làm suy giảm QoS của các MU, chúng tôi đề xuất thủ tục kiểm chứng kênh

được trình bày như bên dưới đây.

Khi một CFAP nhận yêu cầu kết nối từ một FU nào đó, CFAP này sẽ cấp tạm thời một kênh đường xuống k cho FU. Tiếp theo, CFAP sẽ gửi một yêu cầu kiểm chứng kênh tới FMS để xác nhận xem QoS của các MU đang dùng chung kênh k có bị vi phạm hay không. FMS sẽ chuyển yêu cầu kiểm chứng kênh đến MRMS và khởi tạo một khoảng thời gian chờ đợi, MRMS sẽ gửi các bản tin truy vấn QoS đến các MBS có vùng phủ sóng tới CFAP đó và các MBS lân cận. Nếu một MU nào đó đang dùng chung kênh k mà bị vi phạm QoS thì MBS phủ sóng MU đó sẽ gửi một bản tin trả lời tới MRMS. MRMS chuyển bản tin này tới FMS và đồng thời dừng việc gửi các bản tin truy vấn QoS lại. FMS sẽ trả về một bản tin xác nhận QoS cho CFAP và hủy bỏ thời gian đợi. Khi CFAP nhận được bản tin phản hồi từ FMS, trong trường hợp nếu không có MU nào bị vi phạm QoS thì CFAP sẽ chấp nhận hoàn toàn FU vào hệ thống và cấp kênh k cho FU để truyền dữ liệu. Ngược lại thì CFAP sẽ hủy bỏ kết nối với FU và xem như yêu cầu kết nối đó không thành công.

Khi CFAP sử dụng cơ chế cấp kênh ngẫu nhiên (Random Scheme), tại thời điểm CFAP nhận được một yêu cầu kết nối của một FU, CFAP sẽ chọn ngẫu nhiên một kênh chưa được cấp phát cho FU đang hoạt động. Sau đó CFAP tiến hành quá trình kiểm chứng kênh như trên.

Khi sử dụng cơ chế cấp kênh dựa trên CFAP nhận thức (CFAP-based scheme), mỗi CFAP sẽ đo mức độ nhiễu của các kênh chưa được cấp phát cho các FU đang hoạt động. Khi CFAP nhận được một yêu cầu kết nối từ FU, CFAP sẽ chọn một kênh k trong danh sách các kênh đo được. Kênh k này phải là kênh có mức nhiễu nhỏ nhất đo được tại CFAP. Sau đó, CFAP sẽ tiến hành quá trình kiểm chứng kênh đã nêu trên.

Khi sử dụng cơ chế cấp kênh nhận thức có phối hợp giữa các CFAP (Cooperative CFAP-based Scheme), mỗi CFAP sẽ cập nhật định kỳ danh sách các kênh xấu của nó cho các CFAP khác cùng nằm trong nhóm phối hợp quản lý cấp kênh. Một kênh được coi là một kênh xấu nếu trong khoảng thời gian cập nhật trước đó nó từng

được cấp cho một yêu cầu kết nối của một FU nhưng không vượt qua được quá trình kiểm chứng kênh. Danh sách kênh xấu này sẽ được làm mới định kỳ để cập nhật lại trạng thái của các kênh. Khi một CFAP nhận được một yêu cầu kết nối từ FU, nó sẽ chọn một kênh đường xuống k thỏa mãn 3 điều kiện sau: 1) kênh đó không thuộc bất kỳ danh sách kênh xấu nào cập nhật từ các CFAP trong nhóm phối hợp quản lý cấp kênh, 2) kênh đó chưa được sử dụng bởi các FU nằm trong CFAP, và 3) kênh có mức nhiễu đo được tại CFAP là nhỏ nhất. Sau đó, CFAP tiến hành thủ tục kiểm chứng kênh.

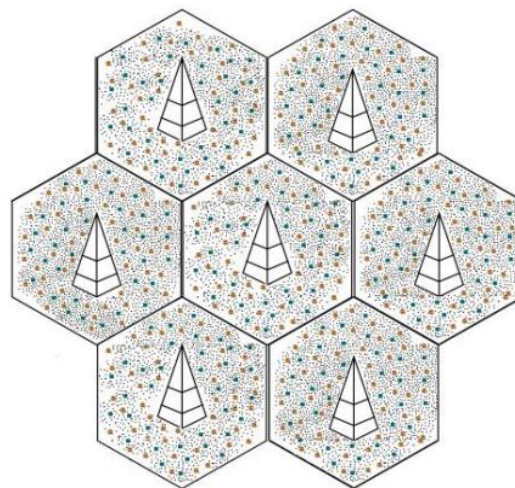
Cơ chế cấp kênh nhận thức có phối hợp giữa các CFAP có những ưu điểm vượt trội so với hai cơ chế trên vì nó có khả năng thu nhận thông tin về các kênh xấu của các CFAP lân cận nên nó có thể tránh được việc cấp các kênh xấu đó cho yêu cầu kết nối. Ưu điểm này đặc biệt hữu ích khi xét trường hợp mật độ các CFAP dày đặc (trong các tòa nhà, khu dân cư). Kênh được chọn là kênh có mức nhiễu nhỏ nhất nên công suất phát cần thiết sẽ nhỏ nhất. Điều này sẽ hạn chế sự tăng nhiễu trên toàn hệ thống. Cơ chế này yêu cầu cần thêm sự tính toán trong việc loại bỏ các kênh xấu ra khỏi danh sách cấp kênh. Ngoài ra, nó yêu cầu các CFAP lân cận cập nhật thông tin với nhau thông qua hoặc là kênh điều khiển chung hoặc là qua khối FMS.

4. Mô phỏng đánh giá hiệu năng

Chương trình mô phỏng được sử dụng bằng Matlab. Mô hình mô phỏng bao gồm bảy MBS được phân bố như hình 2. Mỗi tế bào MBS có vùng phủ sóng với bán kính 500m và độ cao anten là 30m. Trong bài báo này, chúng tôi không xét các MU và các FU di chuyển trong khi mô phỏng. Các CFAPs và MUs được phân bố đều trong mỗi MBS, và mỗi CFAP có vùng phủ sóng với bán kính là 15m với độ cao anten từ 1m đến 5m.

Trong các tình huống mô phỏng, mỗi MBS và CFAP đều quản lý cùng số lượng $N_c = 100$ kênh đường xuống. Số lượng CFAP và số lượng FU trong mỗi CFAP thay đổi tùy thuộc vào tình huống mô phỏng. Giả sử rằng một kênh đường xuống chỉ được gán cho một MU trong suốt thời gian mô phỏng. Tiếp theo là công suất

truyền của MBS tới MU là từ 1mW đến 200mW, trong khi công suất của CFAP tới FU được cho cố định là 1mW. Thêm nữa là công suất sử dụng của một MBS là 50% của tổng công suất lớn nhất có thể đối với MBS. QoS lớp vật lý kênh đường xuống (SINR kênh đường xuống) của FU và MU lần lượt là 10dB và 5dB. Để hình thành các cụm CFAP, chúng tôi chia vùng phủ của mỗi MBS thành 16 khu vực nhỏ với bán kính là 50m rồi phân bố các CFAP một cách ngẫu nhiên vào các khu vực này. Mỗi một CFAP sẽ chọn những CFAP hàng xóm khác bên cạnh nằm trong bán kính tương quan. Trong bài báo này, bán kính tương quan được để giá trị bằng hai lần bán kính vùng phủ sóng của CFAP. Các CFAP và các FU được xem như các thiết bị trong nhà (indoor), trong khi các MBS và MU được xem là các thiết bị ngoài trời (outdoor). Chúng tôi sử dụng các mô hình kênh truyền tổn hao đã được tiêu chuẩn hóa theo ITU[6] để tính SINR giữa một trạm phát hay điểm truy cập với người sử dụng. Các mô hình kênh truyền tổn hao này được chia ra làm 4 trường hợp: trong nhà - trong nhà, trong nhà - ngoài trời, ngoài trời - ngoài trời, ngoài trời - trong nhà. Thêm vào đó, giá trị độ lệch chuẩn suy giảm được để lần lượt là 4dB, 12dB, 8dB và 10dB cho từng trường hợp ở trên.



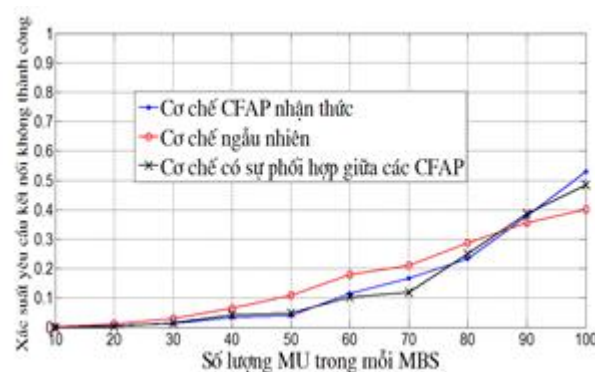
Hình 2. Mô hình mô phỏng 7-cell

Trong kịch bản mô phỏng thứ nhất, chúng tôi thực hiện mô phỏng nhằm quan sát và so sánh xác suất yêu cầu kết nối không thành công các cơ chế cấp kênh ở đường xuống trong trường hợp các CFAP được phân bố ngẫu nhiên đều

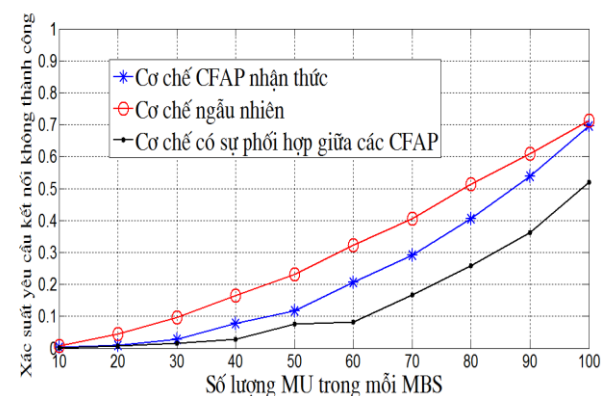
trong hệ thống. Số lượng CFAP là 10 và mỗi CFAP có số lượng FU là 10. Số lượng MU trong mỗi macrocell biến đổi từ 10 đến 100. Kết quả mô phỏng như hình 3, cơ chế cấp kênh có sự phối hợp giữa các CFAP cho xác suất yêu cầu kết nối không thành công là 10% khi số lượng MU là 60MU/MBS, nhỏ hơn không đáng kể so với cơ chế CFAP nhận thức. Trong khi đó cơ chế ngẫu nhiên đem đến kết quả kém nhất. Trong kịch bản mô phỏng này, ta có thể thấy hiệu quả cấp kênh của các cơ chế sử dụng thông tin thu thập tại CFAP tốt hơn so với cơ chế cấp kênh ngẫu nhiên. Do đó, kết nối của FU sẽ ít có khả năng gây ra sự suy giảm QoS của các MU dùng chung kênh đó. Cơ chế cấp kênh ngẫu nhiên có xác suất yêu cầu kết nối không thành công là gần 20% khi số lượng MU là 60MU/MBS do CFAP chọn ngẫu nhiên một kênh để cấp cho FU, kênh đó có thể không thỏa mãn QoS của FU và MU và cũng đồng thời tăng nhiễu đối với hệ thống. Trong tình huống này, các CFAP được phân bố ngẫu nhiên nên hầu như không có cụm CFAP nào được hình thành. Khi hệ thống không có cụm CFAP nào, thì cơ chế cấp kênh nhận thức có sự phối hợp giữa các CFAP sẽ hoạt động như cơ chế cơ chế cấp kênh dựa trên mức độ nhiễu đo được trên mỗi kênh tại CFAP, vì thế cơ chế cấp kênh nhận thức có sự phối hợp giữa các CFAP cho xác suất cuộc gọi không thành công giống với cơ chế cơ chế cấp kênh dựa trên mức độ nhiễu đo được trên mỗi kênh tại CFAP.

Trong kịch bản mô phỏng thứ hai, chúng tôi thực hiện mô phỏng nhằm quan sát và so sánh xác suất yêu cầu kết nối không thành công các cơ chế cấp kênh đường xuống trong trường hợp các CFAP được phân bố dày đặc một số điểm khác nhau trong hệ thống (hệ thống có mật độ CFAP dày đặc). Các thông số mô phỏng vẫn được giữ nguyên giống với các thông số trong tình huống thứ nhất, kết quả mô phỏng được mô tả trong hình 4. Cơ chế có sự phối hợp giữa các CFAP cho xác suất yêu cầu kết nối không thành công nhỏ hơn rất nhiều so với cơ chế ngẫu nhiên và CFAP nhận thức, hai cơ chế này cho xác suất yêu cầu kết nối không thành công ở mức 10% khi MBS có số lượng MU lần lượt là 30MU và 46 MU. Với cơ chế có sự phối hợp giữa các CFAP có xác suất yêu cầu kết nối không thành

công vẫn được giữ ở mức dưới 10% khi số lượng MU là 62MU/MBS. Nguyên nhân là do trong môi trường các CFAP có mật độ cao, các CFAP sẽ gây ảnh hưởng mạnh đến các CFAP lân cận. Do đó các CFAP sẽ khó có thể cấp đúng kênh mà không gây ra suy giảm SINR đối với các MU dùng chung kênh đó. Với cơ chế có sự phối hợp giữa các CFAP thì các CFAP trong nhóm phối hợp quản lý kênh sẽ trao đổi danh sách các kênh xấu với nhau, do đó CFAP sẽ có quyết định cấp kênh chính xác hơn.

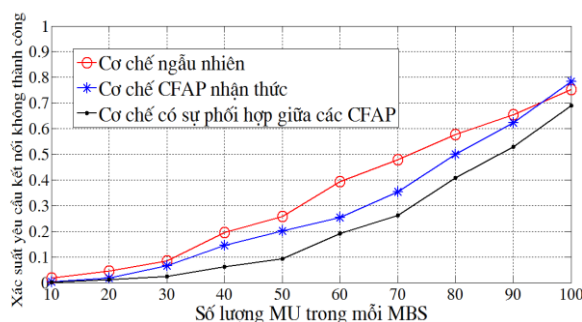


Hình 3. Trường hợp các CFAP được phân bố ngẫu nhiên đều trong hệ thống



Hình 4. Trường hợp các CFAP được phân bố thành các nhóm dày đặc trong hệ thống

Trong kịch bản mô phỏng thứ ba và thứ tư này, chúng tôi vẫn phân bố các CFAP dày đặc thành cụm và thay đổi một số thông số mô phỏng. Hình 5 đưa ra kết quả hiệu suất của các cơ chế cấp kênh khi số lượng CFAP trong hệ thống tăng lên 20 CFAP/MBS. Trong khi đó, Hình 6 đưa ra kết quả hiệu suất của các cơ chế cấp kênh khi số lượng tải hay số lượng FU trong mỗi CFAP tăng lên 20. Rõ ràng việc tăng số lượng CFAP hay tăng số lượng FU trong mỗi MBS đã làm ảnh hưởng đáng kể đến

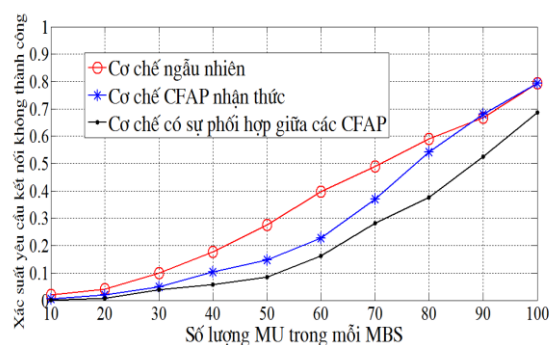


Hình 5. Trường hợp số lượng CFAP trong mỗi MBS tăng lên 20

hiệu suất của các cơ chế. Nhưng nhìn chung cơ chế có sự phối hợp giữa các CFAP vẫn cho kết quả tốt nhất so với hai cơ chế kia. Ta cũng có thể nhận thấy hiệu năng của cơ chế này ở cả hai trường hợp này là khá giống nhau.

5. Kết luận

Trong bài báo này, chúng tôi đã giới thiệu và thảo luận về tính khả thi của kiến trúc mạng mới cho hệ thống thông tin di động sau 4G. Thêm vào đó, cơ chế mới mà chúng tôi đã đề xuất là cơ chế có sự phối hợp giữa các CFAP. Kết quả mô phỏng cho thấy trong những trường hợp các CFAP được



Hình 6. Trường hợp số lượng FU trong mỗi CFAP tăng lên 20

phân bố dày đặc thì cơ chế mới này có hiệu suất tốt hơn rất nhiều so với hai cơ chế kia. Để đạt được những kết quả này, sự tương tác phối hợp giữa các CFAP cùng nhóm trong vấn đề cấp kênh đường xuống đóng vai trò rất quan trọng. Trong tương lai, chúng tôi sẽ tập trung làm rõ hơn về sự hiệu quả của các cơ chế cấp kênh có nhận thức trong nhiều tình huống động khi người sử dụng di chuyển giữa các vùng CFAP hay giữa CFAP và MBS, cùng với đó là các vấn đề liên quan đến quá trình chuyển giao giữa các trạm phát sóng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Jie Zhang, Guillaume De La Roche, "Femtocells Technologies and Deployment", John Wiley & Son Ltd, 2010, pp:1-2.
- [2] Vikram Chandrasekhar, Jeffrey G. Andrews, Zukang Shen, Tarik Muharemovic and Alan Gatherer, "Distributed Power Control in Femtocell-Underlay Cellular Networks", Global Telecommunications Conference 2009, GLOBECOM 2009, IEEE, Nov. 30 2009-Dec. 4 2009, pp: 1- 6.
- [3] Duy T. Ngo, Long Bao Le, Tho Le-Ngoc, Ekram Hossain, and Dong In Kim, "Distributed Interference Management in Femtocell Networks", Vehicular Technology Conference (VTC Fall), IEEE, Sept. 2011, pp: 1- 5.
- [4] V. Chandrasekhar, J.G Andrews, T. Muharemovic, Zukang Shen, A. Gatherer, "Power control in two-tier femtocell networks", Wireless Communications, IEEE Transactions on, August 2009, pp: 4316- 4328.
- [5] Yang-Yang Li and Elvino S. Sousa, "Cognitive uplink interference management in 4G cellular femtocells", 21st Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Sept. 2010, pp: 1567-1571.
- [6] Femtoforum, "Interference Management in UMTS Femtocell", Dec. 2008, pp: 143.
- [7] Cornelia-Ionela Badoi, Neeli Prasad, Victor Croitoru, Ramjee Prasad, "5G Based on Cognitive Radio", Wireless Pers Commun, Springer, 2011, pp: 441-464.

(BBT nhận bài: 12/08/2013, phản biện xong: 31/10/2013)