

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



CHU HUY ĐƯƠNG

**NGHIÊN CỨU KỸ THUẬT TRUY CẬP
NGẪU NHIÊN CHO HỆ THỐNG mMTC**

LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT
(Theo định hướng ứng dụng)

HÀ NỘI - 2022

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



CHU HUY ĐƯƠNG

**NGHIÊN CỨU KỸ THUẬT TRUY CẬP
NGẪU NHIÊN CHO HỆ THỐNG mMTC**

**CHUYÊN NGÀNH: KỸ THUẬT VIỄN THÔNG
MÃ SỐ: 8.52.02.08**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT
(Theo định hướng ứng dụng)**

Người hướng dẫn khoa học: PGS.TS TRỊNH ANH VŨ

HÀ NỘI - 2022

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan:

Bản luận văn này là công trình nghiên cứu của cá nhân tôi, được thực hiện dựa trên cơ sở nghiên cứu lý thuyết, dùng công cụ giải tích và mô phỏng dưới sự hướng dẫn của PGS.TS. Trịnh Anh Vũ.

Các số liệu, kết luận của luận văn là trung thực, dựa trên sự nghiên cứu những mô hình, kết quả đã đạt được của nhiều nhà khoa học trên thế giới và trải nghiệm của bản thân, chưa từng được ai khác công bố trong bất kỳ công trình nào trước khi trình bày bảo vệ trước “Hội đồng đánh giá luận văn thạc sĩ kỹ thuật”.

Hà Nội, ngày 05 tháng 5 năm 2022

Tác giả luận văn

Chu Huy Dương

LỜI CẢM ƠN

Trong thời gian học tập, nghiên cứu tôi đã nhận được sự quan tâm, tạo điều kiện, sự giúp đỡ nhiệt tình và hết sức trách nhiệm của các thầy, cô giáo công tác tại Khoa Đào tạo Sau Đại học - Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông, đã giúp tôi đã hoàn thành tất cả nội dung chương trình học tập, nghiên cứu và hoàn thiện luận văn **“Nghiên cứu kỹ thuật truy cập ngẫu nhiên cho hệ thống mMTC”**.

Tôi xin gửi lời cảm ơn chân thành đến Ban lãnh đạo Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông, các thầy, cô giáo công tác tại Khoa Đào tạo Sau Đại học đã giúp đỡ và tạo điều kiện cho tôi trong suốt quá trình học tập.

Tôi xin gửi lời cảm ơn chân thành đến PGS.TS. Trịnh Anh Vũ - người đã nhiệt tình hướng dẫn, giúp đỡ tôi trong suốt quá trình làm luận văn. Thầy đã tận tình chỉ bảo, đưa ra những vấn đề cốt lõi giúp tôi củng cố lại kiến thức và có định hướng đúng đắn để hoàn thành luận văn này. Cảm ơn các thành viên nhóm nghiên cứu bộ môn Thông tin Vô tuyến trường ĐHCN, ĐHQG Hà nội đã có những thảo luận và hỗ trợ tôi nhiệt tình.

Tôi cũng xin cảm ơn gia đình, người thân, bạn bè và đồng nghiệp đã luôn quan tâm, động viên, giúp đỡ tôi trong thời gian học tập và thực hiện luận văn tốt nghiệp.

Mặc dù đã có nhiều cố gắng nhưng do thời gian hạn hẹp, bản thân còn có nhiều hạn chế nên luận văn của tôi không thể tránh khỏi những thiếu sót. Tôi rất mong nhận được sự đóng góp ý kiến của quý thầy, cô và các bạn.

Một lần nữa tôi xin chân thành cảm ơn!

Tác giả

Chu Huy Dương

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	i
LỜI CẢM ƠN	ii
MỤC LỤC	iii
DANH MỤC HÌNH ẢNH	v
DANH MỤC BẢNG	vi
DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT	vii
MỞ ĐẦU.....	1
Chương 1 - TỔNG QUAN VỀ TRUY CẬP NGẪU NHIÊN	3
1.1 Vấn đề truy cập ngẫu nhiên.....	3
1.2 Truy cập ngẫu nhiên trong LTE [2,12]	5
1.2.1. Nguyên tắc truy cập ngẫu nhiên trong LTE	5
1.2.2. Khảo sát hiệu quả của giao thức truy cập ngẫu nhiên trong LTE	7
1.3 Truy cập ngẫu nhiên trong truyền thông 5G.....	10
1.4 Tóm tắt chương 1	12
Chương 2 - GIAO THỨC SUCRe và ACBPC.....	14
2.1 Giao thức SUCRe [3].....	14
2.1.1 Tổng quan giao thức SUCRe.....	14
2.1.2 Chi tiết giao thức SUCRe	16
2.1.3. So sánh với giao thức LTE	22
2.2 Giao thức ACBPC [10]	24
2.2.1 Tổng quan giao thức ACBPC	24
2.2.2. Chi tiết giao thức ACBPC	26
2.3 So sánh và nhận xét.....	28
2.3.1 Khi số UE tham gia va chạm thay đổi	29
2.3.2 Khi số mũ mất mát của môi trường thay đổi	30
2.4 Tóm tắt chương 2	32

Chương 3 - GIAO THỨC DACB	34
3.1 Mô tả giao thức	34
3.2 Phân tích giải tích.....	36
3.3 Mô phỏng so sánh	38
3.3.1. Khảo sát xác suất phân giải va chạm.....	38
3.3.2. Khảo sát số lần truy cập lại.....	39
3.4 Tóm tắt chương 3	41
KẾT LUẬN	42
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	43

DANH MỤC HÌNH ẢNH

Hình 1.1. Minh hoạ các trường hợp các UE chọn ngẫu nhiên 1 pilot.....	6
Hình 1.2. Quy trình truy cập ngẫu nhiên trong hệ thống LTE [3].....	6
Hình 1.3. Lưu đồ giao thức truy cập ngẫu nhiên trong LTE	8
Hình 1.4. Số lần truy cập lại của UE bằng giao thức trong LTE	9
Hình 2.1. Cơ chế hoạt động của giao thức SUCRe [5]	15
Hình 2.2. Minh hoạ giải quyết va chạm của SUCRe [3].....	16
Hình 2.3. Minh hoạ cho giao thức SUCRe, trong đó miền tần số - thời gian	16
Hình 2.4. So sánh số lần truy cập lại giữa giao thức LTE và SUCRe.....	22
Hình 2.5. Cơ chế hoạt động của giao thức ACBPC [3].....	25
Hình 2.6. Xác suất giải quyết va chạm của SUCRe và ACBPC	29
Hình 2.7. Xác suất giải quyết va chạm của ACBPC và SUCRe khi hệ số mũ mất mát là 3.8	31
Hình 2.8. Xác suất giải quyết va chạm của ACBPC và SUCRe khi hệ số mũ mất mát là 3.2	31
Hình 2.9. Kết hợp SUCRe và ACBPC nâng cao xác suất giải quyết va chạm	32
Hình 3.1. Cơ chế hoạt động của giao thức đề xuất DACB	34
Hình 3.2. Xác suất giải quyết va chạm giữa DACB với ACBPC, SUCRe trường hợp 1	38
Hình 3.3. Xác suất giải quyết va chạm giữa DACB với ACBPC, SUCRe trường hợp 2	38
Hình 3.4. Số lần truy cập lại của DACB và SUCRe trường hợp 1 với hệ số mũ mất mát là 3.8	40
Hình 3.5. Số lần truy cập lại của DACB và SUCRe trường hợp 2 với hệ số mũ mất mát là 3.2	40

DANH MỤC BẢNG

Bảng 2.1. So sánh sự khác biệt giao thức SUCRe và giao thức trong LTE	23
Bảng 2.2. Một số tham số mô phỏng trong chương trình.....	29

DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT

ACBPC	Access Class Barring Power Control	Giao thức chặn lớp truy cập điều khiển công suất
BER	Bit Error Rate	Tỷ lệ lỗi bit
BS	Base Station	Trạm cơ sở
DACB	Different Access Class Barring	Giao thức chặn lớp truy cập khác
DL	Down Link	Đường xuống
eMBB	Extended Mobile BroadBand	Băng rộng di động nâng cao
IoT	Internet of Things	Internet kết nối vạn vật
LTE	Long Term Evolution	Giao thức tiến hoá dài hạn
MIMO	Multiple input multiple output	Nhiều đầu vào nhiều đầu ra
mMTC	Massive Machine Type Communications	Truyền thông kiểu máy lớn
RB	Resource Block	Khối tài nguyên
SINR	Signal to Interference plus Noise Ratio	Tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu cộng nhiễu
SNR	Signal to Noise Ratio	Tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu
SUCRe	Strongest User Collision Resolution	Giao thức phân giải người dùng mạnh nhất
UE	User Equipment	Thiết bị người dùng
UL	Up Link	Đường lên
URLLC	Ultra Reliable Low Latency Communication	Truyền thông siêu tin cậy độ trễ thấp

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Tiếp theo các thế hệ truyền thông di động từ 1G ÷ 4G, sự ra đời và phát triển của mạng truyền thông thế hệ thứ 5 (5G) đã mở ra một giai đoạn phát triển mới của xã hội trong đó kết nối vạn vật (Internet of Things, IoT) và cách mạng công nghiệp 4.0 là nền tảng [1]. Hệ thống 5G hiện nay đang được triển khai áp dụng và nghiên cứu phát triển theo 03 hướng: [8]

➤ Hướng thứ nhất: eMBB (enhanced Mobile Broadband): Ứng dụng cung cấp băng thông di động nâng cao với tốc độ truyền tải dữ liệu lớn. Ứng dụng này đã được triển khai thương mại hóa từ năm 2019, phục vụ kết nối giữa người với người (Human to Human, H2H). Tốc độ dữ liệu có thể đạt 1-2Gb/s.

➤ Hướng thứ hai: URLLC (Ultra Reliable Low Latency Communications): Ứng dụng truyền thông có độ trễ cực kỳ thấp và siêu tin cậy phục vụ kết nối máy với máy (Machine to Machine, M2M). Ứng dụng này hỗ trợ kết nối các thiết bị đầu cuối đặc biệt như kết nối đến các phương tiện bay không người lái (Unmanned Aerial Vehicle, UAV), đến Robot (người máy) phẫu thuật từ xa,... Độ trễ của URLLC có thể thấp tới 1 ms và yêu cầu tỷ lệ lỗi bit (Bit Error Rate, BER) cỡ 10^{-9} .

➤ Hướng thứ ba: mMTC (massive Machine Type Communications): Ứng dụng này cũng thuộc loại M2M song mục đích hướng đến kết nối với một tập hợp lớn các máy móc tự động phân bố trên một diện tích hạn chế (ví dụ trong một nhà máy, phân xưởng). Kỹ thuật mMTC nhắm đến kết nối 10^5 thiết bị/km² với một tài nguyên hạn chế và đáp ứng yêu cầu kết nối ngẫu nhiên của các thiết bị.

Hai ứng dụng URLLC và mMTC là những pha phát triển tiếp sau của eMBB và hiện đang được nhiều nơi tập trung nghiên cứu. Trong khuôn khổ của luận văn này, học viên đã lựa chọn đề tài “**Nghiên cứu kỹ thuật truy cập ngẫu nhiên cho hệ thống mMTC**” làm luận văn tốt nghiệp nhằm mục đích hiểu được cơ chế hoạt động, ưu nhược điểm của giao thức truy cập ngẫu nhiên SUCRe và ABCPC, từ đó

cùng nhóm nghiên cứu đề xuất giao thức mới đáp ứng nhu cầu truy cập ngẫu nhiên cho hệ thống mMTC.

2. Tổng quan vấn đề nghiên cứu

Luận văn tập trung nghiên cứu các vấn đề về truy cập ngẫu nhiên, truy cập ngẫu nhiên ứng dụng trong LTE và truy cập ngẫu nhiên trong truyền thông 5G. Tiếp theo luận văn nghiên cứu về hai giao thức truy cập ngẫu nhiên được đề xuất trong truyền thông 5G gồm SUCRe và ACBPC. Đây là 2 kết quả nghiên cứu dựa trên kỹ thuật Massive MIMO tạo ra kết quả vượt trội so với giao thức trong LTE.

3. Mục đích nghiên cứu

Từ việc nghiên cứu hai giao thức SUCRe và ACBPC với những ưu, nhược điểm khác nhau luận văn đề xuất giao thức DACB (Different Access Class Barring).

Phân tích giao thức DACB thông qua biến đổi giải tích và mô phỏng.

4. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Nghiên cứu mô hình lý thuyết song có tiềm năng ứng dụng cao, phạm vi, giới hạn: cho kết nối tập máy lớn.

5. Phương pháp nghiên cứu

Kế thừa các nghiên cứu trước.

Dùng công cụ giải tích và mô phỏng.

6. Bố cục của đề tài

Ngoài phần mở đầu, kết luận, phụ lục và tài liệu tham khảo, nội dung của luận văn gồm 3 chương:

Chương 1: Tổng quan về truy cập ngẫu nhiên.

Chương 2: Giao thức SUCRe và ACBPC.

Chương 3: Giao thức DACB.

Chương 1 - TỔNG QUAN VỀ TRUY CẬP NGẪU NHIÊN

Chương này xem xét lại khái niệm và hình thái truy cập ngẫu nhiên của các thiết bị đầu cuối trong mạng truyền thông di động. Nếu như các thiết bị đầu cuối thông minh đều có tính chất giống nhau là muốn được cung cấp đường truyền ngay khi có nhu cầu trao đổi tin xuất hiện thì lại có sự khác biệt trong cơ chế thông báo yêu cầu và đáp ứng yêu cầu liên lạc giữa người với người (H2H) và máy với máy (M2M). Sự khác biệt đến từ tập hợp liên lạc máy với máy lớn hơn tập liên lạc người với người rất nhiều (mô hình IoT), đồng thời những tiêu chuẩn kết nối máy với máy trong một số ứng dụng đòi hỏi những yêu cầu chặt chẽ cao hơn. Điều này đòi hỏi nghiên cứu phát triển những giao thức truy cập và kết nối khác biệt.

1.1 Vấn đề truy cập ngẫu nhiên

Truy cập ngẫu nhiên là hoạt động truy cập mạng để đề nghị cấp đường truyền liên lạc mà không có kế hoạch định trước. Điều này ta thường thấy khi một người dùng sức nhớ điều gì đó và bấm máy di động gọi đến đối tác.

Trong hệ thống được qui hoạch cho người dùng (H2H) đáp ứng yêu cầu ngẫu nhiên như trên không quá khó khăn. Khi triển khai xây dựng, định cỡ tế bào, các tính toán hoạch định đã dựa trên mật độ lưu lượng yêu cầu của khu vực và năng lực kênh truyền đáp ứng của cơ sở hạ tầng. Tính toán này thường dựa trên cấp độ dịch vụ (GOS, Grade of Service) và công thức Erlang. Cụ thể như sau:

Erlang đã đưa ra công thức (gọi là Erlang B):

$$\Pr(bichan) = \frac{A^c}{C! \sum_{k=0}^c \frac{A^k}{k!}}$$

Ở đây C là số kênh vô tuyến dùng chung. A là lưu lượng tổng cộng của hệ (C và A được tính trong một tế bào). Pr là xác suất cuộc gọi bị chặn (hay cũng chính là cấp độ dịch vụ, GOS). Công thức trên được xây dựng dựa trên giả thiết:

- Không tính thời gian thiết lập cuộc gọi;

- Người có cuộc gọi bị chặn khi truy cập lần tiếp theo bình đẳng như những người truy cập khác (không được ưu tiên, do tổng đài không ghi nhớ các cuộc gọi bị chặn);
- Số người truy cập tuân theo phân bố Poisson (tổng số người dùng coi là vô hạn);
- Thời gian chiếm kênh của một cuộc gọi phân bố theo hàm mũ;
- Có một số hữu hạn kênh được sử dụng.

Có thể xây dựng mô hình số người dùng là hữu hạn song việc tính toán sẽ rất phức tạp. Chỉ cần dựa vào công thức Erlang B và chú ý rằng khi số người dùng là hữu hạn xác suất bị chặn sẽ nhỏ hơn kết quả tính theo công thức này.

Ví dụ.

Xác định số người dùng có thể được phục vụ với cấp độ GOS 5‰ nếu số kênh trong hệ thống không nhớ cuộc gọi bị chặn là:

- a) $C = 10$ b) $C = 20$ c) $C = 100$

Biết lưu lượng người dùng là 0,1 Erl

Giải:

Từ bảng Erlang có thể tra ra được lưu lượng tổng cộng.

- a) Với $C = 10$ và $GOS = 0,005$, ta có $A = 3,96$

Suy ra tổng số người dùng tương ứng là $U = A/A_u = 3,96/0,1 = 39$ người

- b) Với $C = 20$, $GOS = 0,005$ ta có $A = 11,1$

Suy ra tổng số người dùng là $U = A/A_u = 11,1/0,1 = 110$ người

- c) Với $C = 100$, $GOS = 0,005$ Ta có $A = 80,9$

Suy ra tổng số người dùng là $U = A/A_u = 80,9/0,1 = 809$ người

Như vậy truy cập ngẫu nhiên trong hệ thống H2H có thể tóm tắt là:

- Cơ sở hạ tầng (số kênh C) đã được tính toán tương ứng với lưu lượng trung bình để đảm bảo xác suất từ chối phục vụ theo giá trị GOS.
- Trễ để có kết nối thành công không quá chặt chẽ (có thể vài giây).

Khi chuyển sang hệ thống 5G, ngoài kiểu kết nối người với người (H2H) còn có kiểu kết nối kết nối máy với máy (M2M). Tất nhiên đây là các máy thông minh có thể tự động báo cáo kết quả và thực hiện tác vụ theo yêu cầu. Số lượng máy có thể kết nối như vậy rất lớn, ví dụ như trong một phân xưởng, nhà máy..., cỡ 10^5 thiết bị/km². Kết nối kiểu này, còn gọi là kết nối tập máy lớn mMTC (massive Machine Type Communication) có đặc điểm:[11]

- Số máy khởi hoạt (activate) yêu cầu kết nối lúc dồn dập, lúc thưa thớt;
- Bản tin trao đổi ngắn;
- Yêu cầu thời gian trễ kết nối nhỏ (cỡ 40 ms).

Vì số lượng máy yêu cầu kết nối có thể có lúc gia tăng đột ngột trong khi tài nguyên cho pha truy cập hạn chế nên kiểu kết nối này thực sự là bài toán Đa truy cập ngẫu nhiên và cần có một giao thức đáp ứng yêu cầu truy cập này một cách hiệu quả.

Các hệ thống di động được thiết kế phục vụ giao tiếp kiểu con người với con người không thể đáp ứng được đầy đủ khả năng mở rộng và kết nối hiệu quả trong mMTC khi có một số lượng lớn các thiết bị gửi và nhận các gói tin rất ngắn. Để đáp ứng yêu cầu này, các kỹ thuật truyền gói tin ngắn cần được nghiên cứu và phát triển trong hệ thống mMTC. Các tín hiệu điều khiển cần được giảm bớt rất nhiều vì chúng có thể có độ lớn tương tự như kích thước của các gói dữ liệu. Mặt khác, khi có nhiều thiết bị IoT (Internet of Things) cạnh tranh với nhau để được cấp quyền truy cập thì có thể dẫn đến một số lượng lớn các va chạm trong hệ thống mMTC khi các giao thức truy cập ngẫu nhiên dựa trên sự cấp phát (Grant-Based) được sử dụng. Xuất phát từ nội dung trên, một yêu cầu đặt ra trong giai đoạn tiếp theo của 5G là tiếp tục nghiên cứu, phát triển những giải pháp hiệu quả để đáp ứng yêu cầu của hệ thống mMTC.

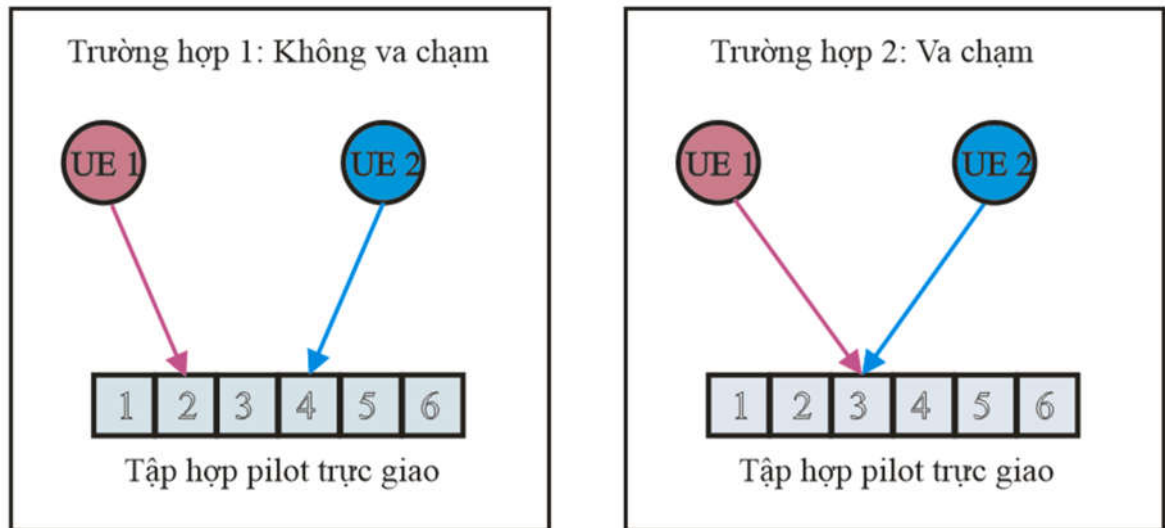
1.2 Truy cập ngẫu nhiên trong LTE [2,12]

1.2.1. Nguyên tắc truy cập ngẫu nhiên trong LTE

Trong giai đoạn phát triển truyền thông 4G, công nghệ LTE cũng đã đề xuất giao thức kết nối máy với máy. Cụ thể như sau:

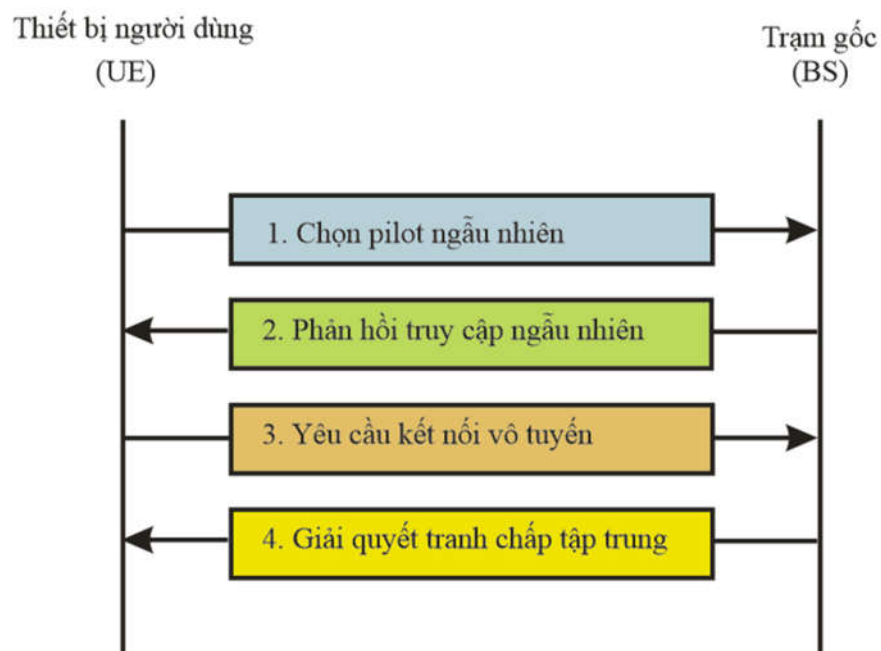
Khi có nhu cầu kết nối, mỗi UE (User Equipment) sẽ chọn ngẫu nhiên một pilot từ tập pilot trực giao có sẵn rồi gửi đến BS (Base Station) để đề nghị cấp tài nguyên phục vụ truyền tin. Nếu may mắn pilot lựa chọn ban đầu này của các UE là khác nhau, BS có thể đáp ứng đồng thời các yêu cầu của tất cả các UE cùng một lúc. Nếu chẳng may có từ 2 UE trở lên chọn một pilot giống nhau thì va chạm (collision) sẽ xảy ra. BS sẽ không đáp lại yêu cầu từ các UE bị va chạm, đề nghị truy cập sẽ bị hủy và các UE sẽ phải thực hiện lại từ đầu.

Giao thức trong LTE [2] không giải quyết va chạm, tức là nó không có cơ chế chọn một ai đó thắng lợi trong các UE va chạm. Tất cả đề nghị tham gia va chạm bị hủy, làm cho pilot được chọn bị lãng phí gây ra lãng phí tài nguyên trong pha truy cập.



Hình 1.1. Minh họa các trường hợp các UE chọn ngẫu nhiên 1 pilot

Chi tiết về giao thức truy cập ngẫu nhiên trong LTE được trình bày qua 4 bước [6] trong hình (1.2).



Hình 1.2. Quy trình truy cập ngẫu nhiên trong hệ thống LTE [3]

Bước thứ nhất [7], mỗi UE muốn truy nhập, nó sẽ chọn ngẫu nhiên một pilot từ một tập pilot trực giao xác định trước. Vì sự lựa chọn là ngẫu nhiên nên có thể xảy ra va chạm trong trường hợp có hai hoặc nhiều hơn các UE chọn đồng thời cùng một pilot (ở pha này BS không phát hiện được va chạm).

Bước thứ 2, BS gửi một phản hồi tương ứng với mỗi pilot được kích hoạt, kèm theo tài nguyên phân bổ tới các UE đã kích hoạt pilot này.

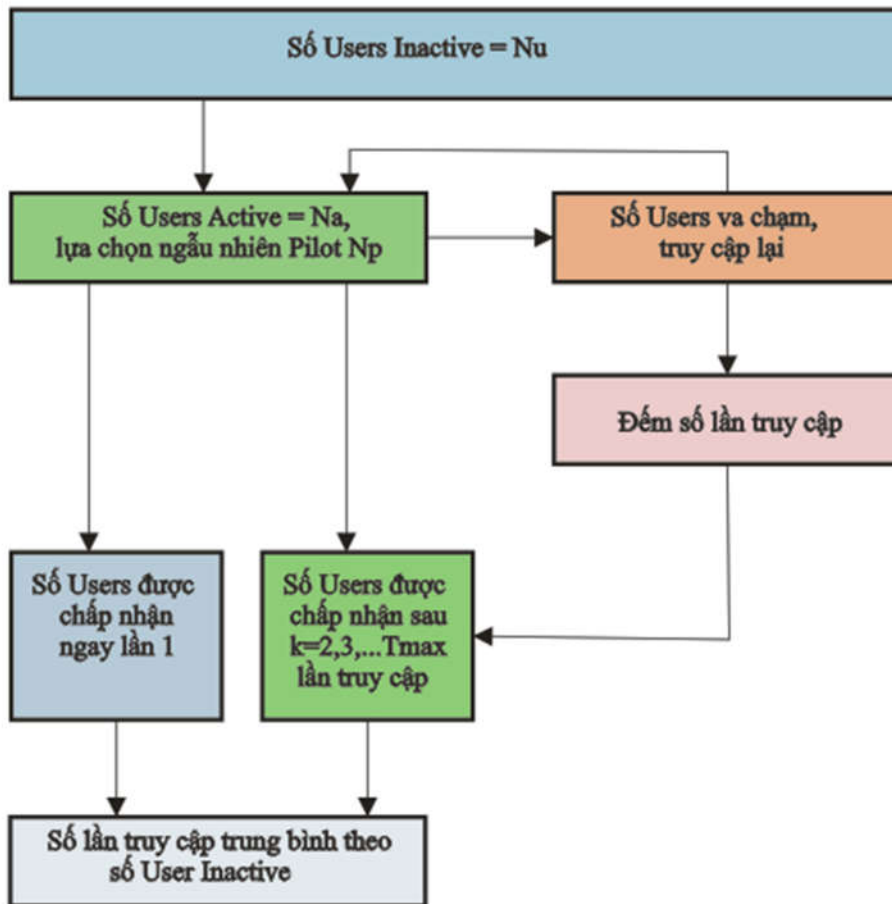
Bước thứ 3, mỗi UE sau khi nhận được phản hồi từ BS sẽ gửi bản tin RRC (lớp điều khiển tài nguyên vô tuyến) trên tài nguyên được phân cùng ID (số nhận dạng) của nó. Nếu có nhiều hơn 1 UE đã kích hoạt pilot, va chạm xảy ra tại BS. BS sẽ phát hiện được va chạm khi không tách được ID của UE nào.

Bước thứ 4, nếu không có va chạm, sau khi giải mã thông tin yêu cầu RRC, BS xác nhận nội dung này với các UE và gửi thông báo cho phép thiết lập kết nối RRC. Các UE nhận được chấp thuận sẽ tiến hành truyền dữ liệu. Ngược lại, các UE va chạm (tức là những UE đã sử dụng cùng một pilot đường lên để gửi yêu cầu RRC), sẽ không nhận được phản hồi cho phép từ BS. Vì vậy, tất cả các UE va chạm sẽ phải thực hiện đề nghị truy cập lại sau một khoảng thời gian chờ đợi ngẫu nhiên với việc chọn một pilot ngẫu nhiên mới.

Trên thực tế mỗi UE được thiết kế cho phép truy cập lại 10 lần như vậy. Nếu vẫn không thành công nó sẽ bị loại.

1.2.2. Khảo sát hiệu quả của giao thức truy cập ngẫu nhiên trong LTE

Hiệu quả của giao thức truy cập ngẫu nhiên trong LTE được đánh giá qua Lưu đồ hoạt động dưới đây:



Hình 1.3. Lưu đồ giao thức truy cập ngẫu nhiên trong LTE

Ở pha thứ nhất: UE muốn truy cập sẽ chọn ngẫu nhiên một pilot trong tập N_p pilot trực giao có sẵn, số UE muốn truy cập bằng: $N_a = K \cdot p_a$ (K là tổng số UE bất hoạt) xấp xỉ 10^5 , p_a là xác suất của các UE khởi hoạt.

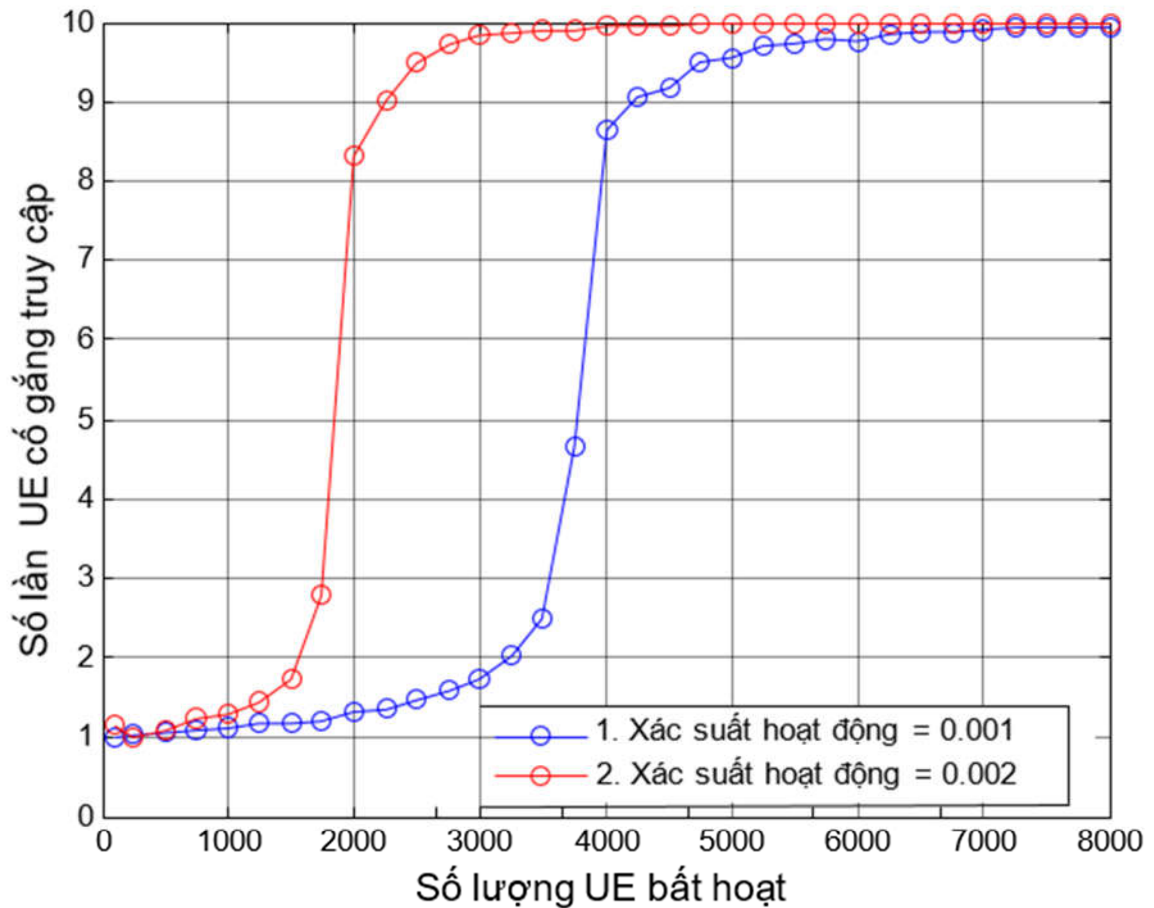
Khi đó xảy ra 2 trường hợp:

❖ Trường hợp 1: Mỗi UE chọn một pilot riêng. Các UE này thực hiện thành công sau 1 lần truy cập. Lấy số UE nhân với trọng số là 1.

❖ Trường hợp 2: Có một số UE lựa chọn chung pilot. Tất cả các UE này đều phải truy cập lại từ đầu với xác suất p_{a2} , khi đó số lần truy cập của UE sẽ cộng thêm 1 lần. (Số thu được kết hợp với số ngẫu nhiên truy cập lần đầu với xác suất p_{a1}). Nếu thành công UE có trọng số truy cập là 2, nếu không thành công UE truy cập lại

lần 3 cho đến khi số lần truy cập tối đa 10 lần. Sau 10 lần truy nếu không thành công UE sẽ bị loại.

Từ lưu đồ trên sẽ tính được số UE thành công với trọng số (số lần truy cập mới thành công) tương ứng. Qua đó tính được số lần truy cập trung bình.



Hình 1.4. Số lần truy cập lại của UE bằng giao thức trong LTE

Khảo sát hoạt động của giao thức trong LTE với hai xác suất truy cập lại của UE là 0.001 và 0.002 thu được biểu đồ thể hiện số lần truy cập của UE theo tổng số UE Inactive (bất hoạt) như hình 1.4.

Khi số UE bất hoạt nhỏ hơn 2000 thì trung bình mỗi UE được chấp nhận ngay lần truy cập đầu tiên ở cả 2 thông số xác suất hoạt động là 0.001 và 0.002. Tuy nhiên khi số lượng UE bất hoạt tăng đến 2000, với $pa_1 = 0.002$ thì giao thức này lại tỏ ra không hiệu quả, tức là số lần truy cập trung bình vượt quá 10. Trong trường hợp xác suất hoạt động là 0.001, khi số UE bất hoạt tăng lên đến 6000 thì số lần

truy cập trung bình của UE mới vượt quá con số 10. Như vậy, với mật độ UE bất hoạt càng tăng thì số lần truy cập lại trung bình của UE cũng tăng nhanh.

Do số pilot trực giao sử dụng cho đường lên (UL) là có hạn mà số lượng các thiết bị thì rất nhiều và có khả năng kích hoạt ngẫu nhiên, vì vậy không thể phân cố định mỗi UE một pilot trực giao, do đó giải pháp để giải quyết vấn đề này là các thiết bị kích hoạt truy cập ngẫu nhiên vào 1 tập pilot trực giao có sẵn, điều này dẫn đến khả năng xảy ra va chạm khi 2 UE chọn cùng một pilot.

Giao thức truy cập ngẫu nhiên trong LTE chỉ phù hợp với bối cảnh số lượng UE là ít và giao thức này cũng chưa thể giải quyết tranh chấp khi giữa các UE xảy ra va chạm. Vì vậy, giao thức truy cập ngẫu nhiên trong LTE chưa phù hợp với truyền thông 5G nên đòi hỏi các nhà khoa học phải đưa ra những giao thức mới để đáp ứng nhu cầu truy cập ngẫu nhiên trong truyền thông 5G.

1.3 Truy cập ngẫu nhiên trong truyền thông 5G

Trong truyền thông 5G, kỹ thuật Massive MIMO [4] đóng vai trò quan trọng, nó có thể cung cấp hiệu suất sử dụng phổ rất cao. Đây là công nghệ sử dụng nhiều anten tại các BS để phục vụ đồng thời nhiều thiết bị thông qua việc ghép kênh không gian. Có ba tính chất quan trọng như sau:

- Thứ nhất, Tín hiệu thu tại BS được khuếch đại theo hệ số mảng anten rất lớn.
- Thứ hai, Hiệu ứng “cứng kênh” do trung bình hóa tín hiệu từ nhiều anten giúp loại bỏ hiện tượng fading (mỗi thiết bị sẽ “nhìn thấy” một kênh xác định như kênh tap âm).
- Thứ ba, Cung cấp đường truyền tách biệt trong không gian, cho phép ghép kênh không gian cho nhiều người dùng.

Truy cập ngẫu nhiên trong Massive MIMO được hưởng lợi từ ba tính chất nói trên cụ thể: [5]

- Hệ số khuếch đại mảng cải thiện tỉ số tín hiệu trên nhiễu (Signal to Noise Ratio, SNR) và do đó phát hiện được các thiết bị có mức thu phát tín hiệu yếu.

- Quá trình làm cứng kênh góp phần tạo điều kiện thuận lợi cho việc áp dụng các thuật toán khai thác đặc tính của kênh lan truyền tiệm cận.

- Việc ghép kênh theo không gian cung cấp phương án giải quyết va chạm hoàn toàn mới so với các hệ thống cũ. Cụ thể như sau:

- Đường lên (UL) và đường xuống (DL) của mỗi UE trong hệ thống Massive MIMO được đặc trưng bởi một vectơ kênh. Do đó đường lên có thể thực hiện thu phù hợp có tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu cộng nhiễu (Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio, SINR) cao. Đường xuống tạo nên búp sóng hướng đúng đến UE lựa chọn.

- Khi áp dụng cho truy cập ngẫu nhiên BS có thể ước tính được tổng độ lợi kênh của các UE chọn cùng pilot hoặc tổng số UE chọn cùng pilot (như sẽ nói ở chương 2) trong đường lên và chỉ thị hiệu lệnh thích hợp ở đường xuống cho các UE liên quan thông qua búp sóng hướng đến chúng.

Truyền thông 5G cho phép số lượng thiết bị kết nối lớn tại một khu vực nhất định tạo ra viễn cảnh có hàng tỷ thiết bị được kết nối với nhau trong mô hình của IoT. Đồng thời 5G có thể hỗ trợ được nhiều ứng dụng và dịch vụ, trong đó truyền thông kiểu máy mMTC là một trong ba dịch vụ cốt lõi.

Trên cơ sở kỹ thuật Massive MIMO [13] các kỹ thuật về truy cập ngẫu nhiên cũng không ngừng phát triển. Trong đó, hai giao thức truy cập ngẫu nhiên điển hình dựa trên nền tảng nói trên là SUCRe và ACBPC được trình bày trong luận văn này. Khác với giao thức trong LTE, SUCRe và ACBPC có khả năng *phân giải va chạm*, tức là chọn một UE nào đó trong các UE va chạm để tránh lãng phí tài nguyên.

Giao thức SUCRe có hiệu suất phân giải va chạm cao, song nó thiên vị UE có tín hiệu mạnh nhất khi giải quyết va chạm, dẫn đến việc ưu tiên những UE gần BS hơn và gây bất lợi cho các UE ở xa trạm phát. Khi số lượng các UE quản lý trong khu vực tăng thì va chạm cũng xảy ra thường xuyên hơn, khi đó các UE ở xa BS rất khó thiết lập kết nối với mạng.

Một giao thức truy cập ngẫu nhiên đối lập với SUCRe mang lại sự công bằng giữa các UE, tức là các UE về cơ bản có cùng xác suất kết nối thành công, không phụ thuộc vào khoảng cách của chúng đến BS, đó chính là giao thức ACBPC.

ACBPC (Access Class Barring Power Control) là giao thức truy cập ngẫu nhiên dựa trên việc hạn chế truy cập cùng với điều khiển công suất cho phép BS ước tính bao nhiêu UE đã va chạm trên 1 pilot. Số liệu này phản hồi về các UE cho phép nó tính hệ số hạn chế truy cập (ACB), để giảm xác suất va chạm khi báo cáo số hiệu ID (Identification). Khác với SUCRe giao thức này mang lại xác suất kết nối công bằng giữa các UE gần và xa BS hay nói cách khác xác suất truy cập của các UE độc lập với khoảng cách của chúng tới trạm phát.

Hai giao thức nói trên sẽ được trình bày chi tiết ở chương 2 cùng những ưu nhược điểm của chúng.

1.4 Tóm tắt chương 1

Chương này đã trình bày một cách tổng quan về truy cập ngẫu nhiên; sự hình thành và phát triển của truy cập ngẫu nhiên song hành cùng với sự phát triển của các thế hệ mạng di động từ 1G ÷ 4G và tiếp theo sẽ là mạng di động thế hệ 5G.

Chương 1 đã nêu ra ý nghĩa, tác dụng của truy cập ngẫu nhiên đối với truyền thông giữa người với người (H2H), giữa máy với máy (M2M).

➤ Đối với truyền thông H2H truy cập ngẫu nhiên được tóm tắt trong hai nội dung gồm cơ sở hạ tầng đã được tính toán tương ứng với lưu lượng trung bình để đảm bảo xác suất từ chối trong giá trị GOS và thời gian trễ để có kết nối thành công không quá chặt chẽ.

➤ Đối với truyền thông M2M giao thức truy cập ngẫu nhiên theo hướng cấp phát (Grant-Based) được phát triển từ giao thức truy cập ngẫu nhiên trong LTE thành giao thức truy cập ngẫu nhiên sử dụng nhiều anten ở trạm cơ sở (BS) trong truyền thông 5G.

Truy cập ngẫu nhiên trong LTE gồm có 4 bước có thể tóm tắt như sau:

Bước 1: UE lựa chọn ngẫu nhiên một pilot từ một tập pilot trực giao xác định;

Bước 2: BS phản hồi tương ứng đối với mỗi pilot được kích hoạt;

Bước 3: UE yêu cầu cung cấp tài nguyên vô tuyến kèm theo ID (số nhận dạng) của nó;

Bước 4: BS xác nhận trong trường hợp không xảy ra va chạm và chấp nhận tiến hành truyền số liệu (hoặc từ chối khi xảy ra va chạm giữa các UE).

Giao thức truy cập ngẫu nhiên trong LTE bị hạn chế khi không giải quyết được tình huống xảy ra va chạm giữa 2 hoặc nhiều hơn 2 UE cùng chọn chung một pilot trực giao có sẵn và các UE phải thực hiện yêu cầu truy cập vào hệ thống mạng lại từ đầu. Do số lượng pilot trực giao có hạn, số lượng các thiết bị rất nhiều và có thể yêu cầu khởi hoạt bất cứ lúc nào nên giao thức này không đáp ứng được yêu cầu truy cập ngẫu nhiên đối với tập máy lớn.

Chương 1 cũng trình bày tổng quan về truy cập ngẫu nhiên trong truyền thông 5G, trong đó nêu bật lợi ích của việc ứng dụng công nghệ Massive MIMO đối với truy cập ngẫu nhiên trong truyền thông 5G.

Giao thức truy cập ngẫu nhiên trong truyền thông 5G đáp ứng kiểu truyền thông M2M cho tập máy lớn (mMTC) có đặc điểm: Số máy khởi hoạt (activate) yêu cầu kết nối lúc dồn dập, lúc thưa thớt, bản tin trao đổi ngắn và yêu cầu thời gian trễ kết nối nhỏ (cỡ 40 ms). Vì vậy, để đáp ứng được những đặc điểm này các nhà khoa học đã phát triển hai giao thức truy cập ngẫu nhiên gồm SUCRe và ACBPC. Cả hai giao thức này đều có những ưu, nhược điểm riêng như trình bày trong chương 2.

Chương 2 - GIAO THỨC SUCRe và ACBPC

Nhằm kế thừa những nghiên cứu đi trước, chương này trình bày tóm tắt lại 2 giao thức SUCRe (2017) và giao thức ACBPC (2020). Đây là 2 giao thức điển hình được đề xuất áp dụng cho truy cập ngẫu nhiên và truyền tin trong tập hợp máy lớn (mMTC) dựa trên nền tảng của truyền thông 5G (với nòng cốt là kỹ thuật Massive MIMO). Nền tảng kỹ thuật mới của 5G đã cho phép đề xuất giao thức truy cập ngẫu nhiên và truyền tin mới khác biệt hẳn với các giao thức dựa trên nền tảng 4G. Sau đó ưu nhược điểm của 2 kỹ thuật nói trên cũng được phân tích trình bày trong chương này để tạo tiền đề nêu ra giao thức mới.

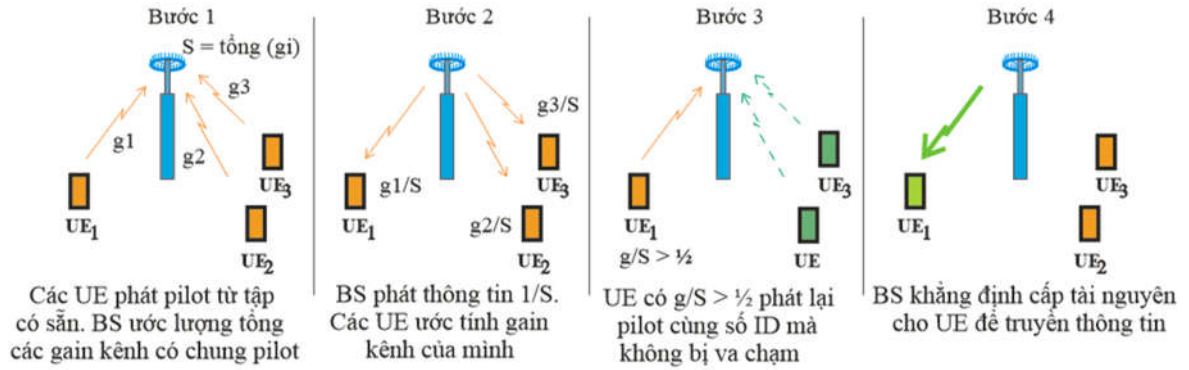
2.1 Giao thức SUCRe [3]

2.1.1 Tổng quan giao thức SUCRe

Giao thức SUCRe (Strongest User Collision Resolution) được gọi là giao thức phân giải người dùng mạnh nhất hoạt động dựa trên tín hiệu mạnh yếu của các UE và nguyên lý hạn chế truy cập. Giao thức SUCRe ưu tiên các UE có tín hiệu mạnh hơn sẽ được cấp quyền phát lại pilot còn UE nào yếu hơn sẽ bị từ chối quyền truy cập. Thông qua việc so sánh tỷ số độ lợi kênh của mỗi UE chia cho tổng độ lợi kênh của các UE va chạm là cơ sở để quyết định UE nào sẽ giành chiến thắng khi xảy ra va chạm, để từ đó đưa ra quyết định UE nào được cấp quyền truy cập giúp cho giao thức có thể nâng cao hiệu quả sử dụng tài nguyên và giảm trễ tốt hơn giao thức trong LTE.

Giao thức SUCRe gồm có bốn bước chính, như được minh họa trong (hình 2.1). Ngoài ra nó còn có bước sơ bộ (hay còn gọi là bước 0), tức là BS phát tín hiệu được đồng bộ hóa từ mỗi UE để có thể ước tính độ lợi kênh trung bình của các UE đối với BS. Trong kỹ thuật ghép kênh phân chia theo tần số trực giao (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing, OFDM), BS và UE cần được đồng bộ hóa về tần số, thời gian trễ có thể bỏ qua nếu nó ngắn hơn tiền tố tuần hoàn CP (Cyclic Prefix). Thời gian khứ hồi xác định độ trễ tối đa, do đó CP thông thường trong LTE cho phép bán kính ô (cell) là 750m và CP mở rộng cho phép bán kính ô

là 2,5km, cả hai trường hợp trên đều lớn hơn đáng kể so với bán kính ô từ 250m đến 500m rất phù hợp với bối cảnh đô thị. Luận văn này tập trung vào các kịch bản đô thị như trên và ghép kênh không gian trong Massive MIMO là lựa chọn lý tưởng cho các bối cảnh đô thị đông đúc trong thực tế.

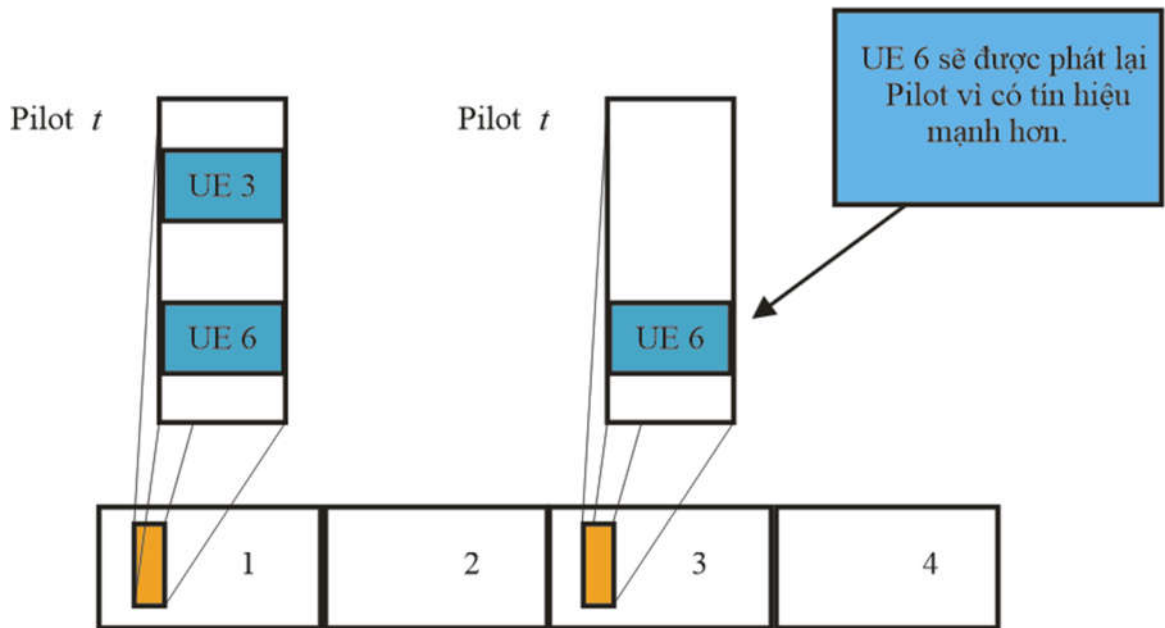


Hình 2.1. Cơ chế hoạt động của giao thức SUCRe [5]

Ở giai đoạn 1, khi một tập hợp con của các UE ở chế độ không hoạt động trong ô muốn chuyển sang trạng thái hoạt động. Mỗi UE sẽ chọn ngẫu nhiên một chuỗi pilot từ tập hợp pilot trực giao có sẵn. Trạm cơ sở (BS) sẽ ước tính độ lợi kênh của các UE chọn pilot này. Nếu một pilot cùng lúc được nhiều UE lựa chọn thì va chạm sẽ xảy ra đồng thời BS sẽ ước tính được tổng độ lợi kênh của tất cả các UE va chạm.

Ở giai đoạn 2, Trạm cơ sở (BS) gửi các tín hiệu pilot đường xuống được mã trước thành giá trị nghịch đảo tổng độ lợi thu được và đồng thời tạo thành búp hướng đến các UE.

Ở giai đoạn 3, Do lại trải qua kênh đường xuống, mỗi UE sẽ ước tính được tỷ số độ lợi kênh của nó chia cho tổng độ lợi kênh của tất cả UE lựa chọn chung pilot. Tại bước này chính UE đóng vai trò phân giải va chạm. UE so sánh tỷ số nó ước lượng với $1/2$. Nếu tỷ số của nó $> 1/2$ đồng nghĩa với tỷ số của các UE khác $< 1/2$. Quy tắc là nếu tỷ số của nó $> 1/2$ sẽ thực hiện phát lại đề nghị, nếu $< 1/2$ sẽ im lặng và chờ truy cập chu kỳ sau. Va chạm như vậy hoàn toàn được phân giải.



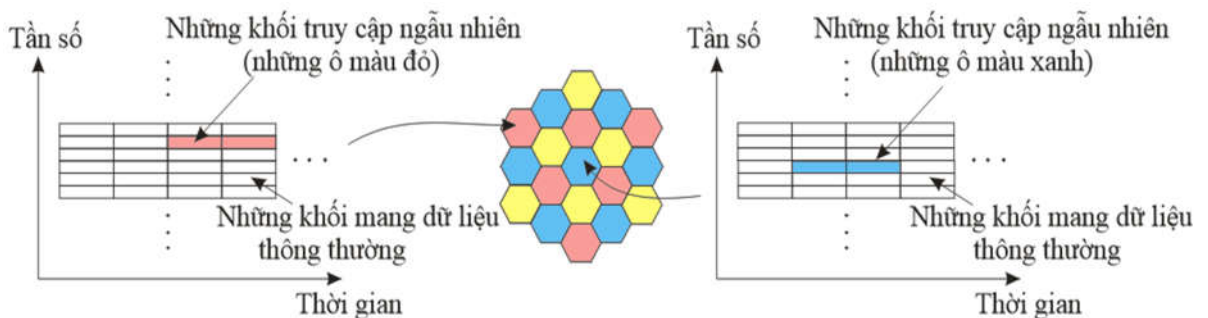
Hình 2.2. Minh hoạ giải quyết va chạm của SUCRe [3]

Hình 2.2 là một ví dụ về việc giải quyết va chạm giữa 2 UE là UE3 và UE6. Dựa vào qui tắc phân giải như trên, UE6 có tín hiệu mạnh hơn sẽ giành quyền phát lại pilot. UE3 có tín hiệu yếu hơn sẽ phải truy cập lại từ đầu.

Ở giai đoạn 4, cũng là bước cuối cùng, BS cấp các tài nguyên cho UE phát lại (UE chiến thắng trong va chạm).

Dưới đây là sự khảo sát chi tiết hoạt động của giao thức SUCRe

2.1.2 Chi tiết giao thức SUCRe



Hình 2.3. Minh họa cho giao thức SUCRe, trong đó miền tần số - thời gian được chia thành các khối liên kết [3]

Xét mạng di động mà mỗi BS gồm có M anten. Hệ thống hoạt động ở chế độ TDD (Time-Division Duplex) và tài nguyên tần số được chia thành các khối kết hợp sử dụng T kênh, được định kích thước sao cho các đáp ứng kênh giữa mỗi BS và các UE là hằng số và tần số phẳng trong một khối trong khi chúng khác nhau giữa các khối. Điều này có thể được thực hiện bằng cách sử dụng ghép kênh phân chia theo tần số trực giao OFDM. Đặt U_i là biểu thị tập hợp các UE nằm trong ô thứ i . Tại thời điểm bất kỳ, chỉ một tập hợp con $A_i \subset U_i$ thực hiện truyền hoặc nhận dữ liệu. Trong Massive MIMO, chúng ta thường có một tập hợp UE rất lớn: $|U_i| \gg T$. Tuy nhiên, các UE hoạt động phải thỏa mãn điều kiện $|A_i| \ll T$, do đó BS có thể tạm thời gán các chuỗi pilot trực giao cho các UE này và thu hồi chúng khi quá trình truyền của UE kết thúc.

Các khối kết hợp được chia thành hai loại: khối tải trọng dữ liệu (payload) và khối truy cập ngẫu nhiên và trong bối cảnh Massive MIMO khối truy cập ngẫu nhiên sẽ là vấn đề chính được đề cập trong phần tiếp theo.

2.1.2.1. Bước 1: Truy cập ngẫu nhiên pilot

Để không làm mất đi tính tổng quát, ta tập trung vào một ô bất kỳ và xem xét sự can thiệp từ các ô khác tác động đến ô đang xét như thế nào. Cho K_0 biểu thị là một tập hợp các UE không hoạt động. Các UE này được giả định chia sẻ chuỗi τ_p pilot $\psi_1, \dots, \psi_{\tau_p} \in \mathbb{C}^{\tau_p}$ truy cập ngẫu nhiên trực giao lẫn nhau mà độ rộng τ_p kênh UL sử dụng và thỏa mãn $\|\psi_t\|^2 = \tau_p$ và thỏa mãn điều kiện $\tau_p \ll K_0$. Các UE bất hoạt không được đồng bộ hóa hoàn toàn về thời gian, nhưng tính trực giao pilot được duy trì ở bộ thu (receiver) vì trong bối cảnh đô thị các tình huống trong đó độ trễ của cả hai chiều nhỏ hơn tiền tố tuần hoàn (cyclic prefix).

Mỗi UE thuộc K_0 chọn ngẫu nhiên một trong số các τ_p pilot đồng nhất ngẫu nhiên trong mỗi khối truy cập ngẫu nhiên (Random Access, RA): UE thứ k chọn pilot $c(k) \in \{1, 2, \dots, \tau_p\}$. Hơn nữa, mỗi UE muốn trở thành hoạt động (active) trong khối hiện tại với xác suất $P_\alpha \leq 1$, là một tham số phụ thuộc vào kịch bản cố định mô tả tần suất một UE có các gói dữ liệu để truyền hoặc nhận. Một nỗ lực truy

cập của UE thứ k bao gồm việc truyền pilot $\psi_{c(k)}$ với công suất $\rho_k > 0$, ngược lại nó sẽ im lặng bằng cách đặt $\rho_k = 0$.

Do đó, mỗi UE bất hoạt sẽ chọn một chuỗi pilot cụ thể với xác suất P_α/τ_ρ . Đặt $S_t = \{k : c(k) = t, \rho_k > 0\}$ chứa các chỉ số của các UE truyền pilot t . Dựa trên mô hình này, số lượng các UE, $|S_t|$, truyền ψ_t ta có phân phối nhị thức là: [3]

$$|S_t| \sim B\left(K_0, \frac{P_\alpha}{\tau_\rho}\right) \quad (2.1)$$

Chúng ta nhận thấy rằng, pilot t không được sử dụng ($|S_t| = 0$) với xác suất $\left(1 - \frac{P_\alpha}{\tau_\rho}\right)^{K_0}$ và chỉ được lựa chọn bởi một UE ($|S_t| = 1$) với xác suất $K_0 \frac{P_\alpha}{\tau_\rho} \left(1 - \frac{P_\alpha}{\tau_\rho}\right)^{K_0 - 1}$. Do đó, một va chạm ($|S_t| \geq 2$) xảy ra với pilot tùy ý này với xác suất

$$1 - \left(1 - \frac{P_\alpha}{\tau_\rho}\right)^{K_0} - K_0 \frac{P_\alpha}{\tau_\rho} \left(1 - \frac{P_\alpha}{\tau_\rho}\right)^{K_0 - 1} \quad (2.2)$$

Những va chạm ở trên cần được phát hiện và giải quyết trước khi UE được nhận vào các khối tải trọng. Giao thức truy cập ngẫu nhiên SUCRe là một phương pháp để giải quyết các va chạm pilot tại UE bằng cách sử dụng các thuộc tính làm cứng các kênh của Massive MIMO. Vector kênh giữa UE $k \in \kappa_0$ và BS của nó được ký hiệu là $\mathbf{h}_k \in \mathbb{C}^M$. Áp dụng một mô hình truyền bá thông dụng, trong đó các kênh được giả định thỏa mãn 2 điều kiện sau:

$$\frac{\|\mathbf{h}_k\|^2}{M} \xrightarrow{M \rightarrow \infty} \beta_k, \quad \forall k, \quad (2.3)$$

$$\frac{\mathbf{h}_k^H \mathbf{h}_i}{M} \xrightarrow{M \rightarrow \infty} 0, \quad \forall k, i, k \neq i, \quad (2.4)$$

Ở đây β_k có giá trị dương mà UE thứ k đã biết (giá trị này được ước tính ở bước sơ bộ 0). Các kênh như vậy được cho là kênh cứng hóa và lan truyền tiệm cận thuận lợi.

Các thuộc tính (2.3) và (2.4) được thỏa mãn bằng nhiều mô hình kênh ngẫu nhiên. Ví dụ, khi $\mathbf{h}_k = \mathbf{R}_k^{1/2} \mathbf{x}_k$ trong đó $\mathbf{R}_k \in \mathbb{C}^{M \times M}$ là ma trận bán xác định với chuẩn phổ bị giới hạn và $\mathbf{x}_k \in \mathbb{C}^M$ có các biến ngẫu nhiên độc lập và phân bố giống hệt nhau (i.i.d) không có giá trị trung bình và bị giới hạn ở thời điểm thứ tám (bounded eighth-order moment). Trong trường hợp này ta có $\text{tr}(\mathbf{R}_k)/M \rightarrow \beta_k$ Tiệm

cận thuận lợi cũng có thể thu được sự lan truyền đối với các kênh nhìn thẳng xác định; ví dụ, đối với các mảng tuyến tính đồng nhất (Uniform Linear Arrays, ULAs) trong đó các UE có các góc riêng biệt hướng về BS. Giao thức SUCRe được mô tả 4 bước theo giả định rằng các kênh thỏa mãn (2.3) và (2.4).

Trong bước 1 của giao thức truy cập ngẫu nhiên SUCRe, BS nhận được tín hiệu $Y \in \mathbb{C}^{M \times \tau_p}$ từ các UE là:

$$Y = \sum_{k \in K_0} \sqrt{\rho_k} h_k \psi_{c(k)}^T + W + N \quad (2.5)$$

Trong đó N là tạp âm máy thu độc lập và ma trận W đại diện cho nhiễu từ các ô khác. Lưu ý rằng Y có được bằng cách lấy các pilot nhận được và tương quan nó với chuỗi pilot được xem xét. Bằng cách tương quan Y với một chuỗi pilot ψ_t chuẩn hóa tùy ý, BS thu được:

$$\begin{aligned} y_t &= Y \frac{\psi_t^*}{\|\psi_t\|} = \sum_{i \in S_t} \sqrt{\rho_i} \|\psi_t\| h_i + W \frac{\psi_t^*}{\|\psi_t\|} + n_t \\ &= \sum_{i \in S_t} \sqrt{\rho_i} h_i + W \frac{\psi_t^*}{\|\psi_t\|} + n_t, \end{aligned} \quad (2.6)$$

Trong đó n_t là nhiễu máy thu hiệu dụng và chúng ta nhận thấy rằng $\|\psi_t\| = \sqrt{\tau_p}$. Và S_t là tập hợp các UE đã truyền pilot ψ_t , ρ là đại diện cho tổng công suất của các pilot và thường lớn hơn τ_p lần so với công suất trên mỗi pilot. Vì BS không biết UE nào đã truyền pilot nên nó không thể sử dụng thông tin biết trước về kênh khi thực hiện việc ước tính kênh. Trạm cơ sở (BS) có thể sử dụng y_t để xác định xem có UE nào đang hoạt động hay không vì:

$$\frac{\|y_t\|^2}{M} \xrightarrow{M \rightarrow \infty} \sum_{i \in S_t} p_i \beta_i T_P + w_t + \sigma^2 \quad (2.7)$$

Đây là một tính năng bổ sung vì giao thức truy cập ngẫu nhiên SUCRe không yêu cầu trạm cơ sở (BS) biết pilot nào đã được sử dụng trong bước 1.

2.1.2.2. Bước 2: Phản hồi truy cập ngẫu nhiên được mã trước

Trong bước này, BS phản hồi bằng cách gửi tín hiệu pilot đường xuống được mã trước và trực giao với từng tín hiệu pilot đã được sử dụng trong đường lên. Đáp ứng cho ψ_t là một chuỗi pilot $\phi_t \in \mathbb{C}^{\tau_p}$, chuỗi pilot này trực giao với nhau và thỏa

mãn điều kiện $\|\phi_t\|^2 = \tau_p$. Nếu BS sử dụng liên hợp chuẩn hóa $y_t^*/\|y_t\|$ làm vector tiền mã hóa khi gửi chuỗi pilot ϕ_t , tín hiệu này sẽ được chuyển hướng theo tỉ lệ tối đa nhiều lần tới các UE ở S_t . Tín hiệu pilot đường xuống được mã trước hoàn chỉnh $V \in \mathbb{C}^{M \times \tau_p}$ là:

$$V = \sqrt{q} \sum_{t=1}^{\tau_p} \frac{y_t^*}{\|y_t\|} \phi_t^T, \quad (2.8)$$

Trong đó công suất phát đường xuống q có giá trị xác định từ trước. Lưu ý rằng tất cả các chuỗi pilot cũng được gửi trong đường xuống và độ dài pilot τ_p không phụ thuộc vào số lượng anten.

Tín hiệu nhận được $z_k \in \mathbb{C}^{\tau_p}$ tại UE $k \in S_t$ là:

$$= h_k^T + v_k^T + \eta_k^T \quad (2.9)$$

Trong đó, h_k^T là kênh đường xuống nghịch đảo, $v_k \in \mathbb{C}^{\tau_p}$ là kênh giao thoa giữa các ô và η_k là nhiễu máy thu. Bằng cách tương quan tín hiệu nhận được z_k với chuỗi pilot ϕ_t được chuẩn hóa, UE thu được:

$$z_k = z_k^T \frac{\phi_t^*}{\|\phi_t\|} = \sqrt{qT_p} h_k^T \frac{y_t^*}{\|y_t\|} + v_k^T \frac{\phi_t^*}{\|\phi_t\|} + \eta_k \quad (2.10)$$

Trong đó $\eta_k = \eta_k^T \frac{\phi_t^*}{\|\phi_t\|} \sim \mathcal{CN}(0, \sigma^2)$ là nhiễu máy thu hiệu dụng. Ta nhận thấy rằng các tín hiệu này được định hướng theo không gian về UE. Tín hiệu đường xuống phát đi từ trạm cơ sở đặc trưng bởi hệ số mảng M và có hướng khác nhau giữa các UE. Trong đó công suất phát đường xuống q có giá trị xác định trước. Khi hệ số mảng M lớn, sẽ cho phép mỗi UE ước tính tỷ số độ lợi kênh của nó với tổng độ lợi S của tất cả UE cùng chọn chung pilot. Do đó, mỗi UE có thể phát hiện va chạm khi tỷ số này nhỏ hơn 1. Tín hiệu nhận được $z_k \in \mathbb{C}^{\tau_p}$ tại UE $k \in S_t$ là:

$$\frac{z_k}{\sqrt{M}} = \sqrt{qT_p} \frac{(h_k^H y_t)^*}{M} \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{M} \|y_t\|^2}} + \frac{v_k^T \phi_t^*}{\sqrt{M} \|\phi_t\|} + \frac{\eta_k}{\sqrt{M}} \quad (2.11)$$

$$\text{Khi } M \rightarrow \infty: \frac{z_k}{\sqrt{M}} = \frac{\sqrt{P_k q} \beta_k T_p}{\sqrt{\sum_{i \in S_t} p_i \beta_i T_N + \omega_t + \sigma^2}} \quad (2.12)$$

Bằng cách sử dụng lan truyền tiệm cận và sự hội tụ trong công thức (2.7) thực tế là nhiễu không tăng theo số lượng anten M và giả định rằng giao thoa giữa

các ô v_k không bị ảnh hưởng bởi M . Giả thiết sau đây sẽ là tốt hơn nếu giao thoa các ô gần nhất gửi các pilot RA chỉ định các pilot đường xuống theo các cách khác nhau, để tránh gây ra ô nhiễu pilot [9] nhất quán.

Quy ước: $\alpha_t = \sum_{i \in S_t} \rho_i \beta_i \tau_p + \omega_t$ (2.13) là tổng độ lợi kênh và tạp âm nhận được tại BS trong quá trình truyền đường lên của pilot ψ_t . Các tín hiệu trong ô được khuếch đại bởi hệ số τ_p . Cho hàm $\Re(\cdot)$ cung cấp phần thực cho đầu vào của nó. Dựa trên công thức (2.12) thu được giá trị gần đúng:

$$\frac{\Re(z_k)}{\sqrt{M}} \approx \frac{\sqrt{p_k q} \beta_k \tau_p}{\sqrt{\alpha_t + \sigma^2}} \quad (2.14)$$

Tại đây, ta sẽ loại bỏ phần ảo của z_k chỉ chứa duy nhất nhiễu, giao thoa và ước lượng lỗi. UE k có thể sử dụng xấp xỉ này để ước tính giá trị α_t :

$$\hat{\alpha}_{t,k}^{approx1} = \max \left(\frac{M q p_k \beta_k^2 \tau_p^2}{(\Re(z_k))^2} - \sigma^2, p_k \beta_k \tau_p \right) \quad (2.15)$$

Trong đó max nhận giá trị lớn nhất là một trong hai giá trị (vì UE k biết rằng $\alpha_t \geq \rho_k \beta_k \tau_p$). Ước lượng này không xảy ra lỗi khi tiệm cận vì $M \rightarrow \infty$ (2.12).

Do số lượng UE không xác định được nên một UE chỉ có thể so sánh mức tăng tín hiệu của nó với tổng độ lợi của các UE khác.

2.1.2.3. Bước 3: Giải quyết tranh chấp và phát lại pilot

Quá trình truyền pilot đường lên được phát lại ở bước 3. Mục tiêu chính của giao thức truy cập ngẫu nhiên SUCRe là giải quyết tranh chấp theo cách phân tán để mỗi pilot chỉ được phát lại bởi một UE. Mỗi UE $k \in S_t$ biết độ lợi tín hiệu trung bình của chính nó $\rho_k \beta_k \tau_p$ và có ước lượng $\hat{\alpha}_{t,k}$ là tổng mức tăng tín hiệu của các UE cạnh tranh, để có thể suy ra:

- Nếu một va chạm pilot đã xảy ra thì có nghĩa là: $\hat{\alpha}_{t,k} \geq \rho_k \beta_k \tau_p$
- Tín hiệu của nó mạnh hơn bao nhiêu lần so với tổng độ lợi của tất cả các

UE: $\rho_k \beta_k \tau_p / \hat{\alpha}_{t,k}$

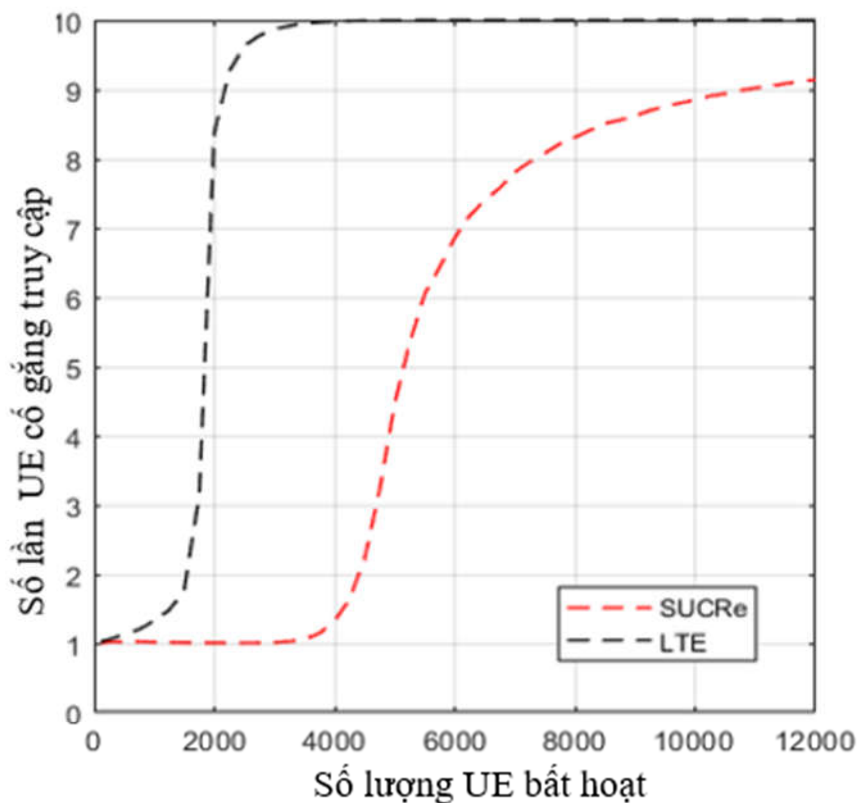
Nếu UE k có $\rho_k \beta_k \tau_p > \alpha_t - \rho_k \beta_k \tau_p$, thì nó sẽ chiến thắng trong cuộc tranh chấp bất kể là có bao nhiêu UE cùng tranh chấp. Điều kiện này có thể được viết thành: $\rho_k \beta_k \tau_p > \alpha_t / 2$ và được hiểu là có một UE k với độ lợi kênh lớn hơn 1/2

tổng tất cả các độ lợi kênh của các UE. Đây chính là điểm nổi bật của giao thức truy cập ngẫu nhiên SUCRe so với giao thức trong LTE. Chính vì vậy xác suất giải quyết va chạm pilot của SUCRe được tăng lên đáng kể.

2.1.2.4. Bước 4: Phân bổ các pilot tải dữ liệu riêng

Sau khi BS nhận pilot được phát lại ở bước 3. BS sử dụng tín hiệu pilot này để ước tính kênh tới UE và cố gắng giải mã thông báo (ID) tương ứng. Khi giải mã thành công UE đó sẽ chính thức được cấp tài nguyên sử dụng. Các UE không được cấp tài nguyên sử dụng trong giai đoạn 4 này sẽ phát lại pilot sau một thời gian chờ đợi ngẫu nhiên.

2.1.3. So sánh với giao thức LTE



Hình 2.4. So sánh số lần truy cập lại giữa giao thức LTE và SUCRe

So sánh hiệu quả của giao thức truy cập ngẫu nhiên trong LTE và giao thức truy cập ngẫu nhiên SUCRe bằng việc so sánh số lần truy cập lại cần thiết của UE để có thể truy cập vào mạng được biểu diễn ở hình 2.4 cho thấy giao thức trong LTE cần nhiều lần truy cập lại hơn SUCRe. Cụ thể với số lượng UE từ 2000 ÷ 4000

giao thức SUCRe chỉ cần 1 lần truy cập. Trong khi đó giao thức LTE cần đến trung bình 8 lần truy cập. Một số nhận xét và so sánh hiệu quả của hai giao thức SUCRe và giao thức trong LTE được thể hiện trong bảng dưới đây:

Bảng 2.1. So sánh sự khác biệt giao thức SUCRe và giao thức trong LTE

Tiêu chí so sánh	LTE	SUCRe
Số lần truy cập lại	Cao, trễ cao hơn	Thấp, giảm trễ tốt
Phát hiện va chạm	Tập trung tại BS	Phát hiện tại UE
Giải quyết va chạm	Không giải quyết	Giải quyết
Hiệu quả với mạng đông đúc	Kém hơn	Tốt hơn

Ưu điểm:

- Giao thức truy cập ngẫu nhiên SUCRe cung cấp một cách rất hiệu quả cho các UE có yêu cầu truyền dữ liệu và phù hợp với các hệ thống MIMO có số lượng UE lớn hơn so với hệ thống LTE.
- Giao thức SUCRe cho phép phát hiện và giải quyết va chạm tại các UE trong đó UE có mức tín hiệu mạnh nhất được chấp nhận. Vì vậy, giao thức SUCRe mang lại hiệu quả sử dụng tài nguyên và giảm trễ tốt hơn giao thức trong LTE.
- Các kết quả số [2] chứng minh rằng giao thức SUCRe có thể giải quyết khoảng 90% [3] tất cả các vụ va chạm. Giao thức SUCRe không bị vô hiệu hóa trong các tình huống quá tải, khi có nhiều UE yêu cầu pilot lớn hơn số tài nguyên truy cập ngẫu nhiên được phép.

Hạn chế:

- Hạn chế lớn nhất của giao thức SUCRe là giao thức này ưu tiên các UE có mức tín hiệu mạnh vì vậy giao thức này đã tạo ra sự không công bằng giữa các UE gần và xa BS. Khi mật độ thiết bị dày đặc thì va chạm cũng thường xuyên xảy ra hơn do vậy các UE ở xa trạm phát sẽ khó có cơ hội thiết lập với mạng.

- Trong trường hợp số UE chọn chung 1 pilot càng lớn thì giao thức SUCRe càng khó giải quyết va chạm, do vậy xác suất thành công có xu hướng giảm khi mạng ngày càng đông đúc.

Trong mục này đã trình bày về giao thức truy cập ngẫu nhiên SUCRe trong việc giải quyết tranh chấp pilot giữa các UE. Giao thức SUCRe có hiệu quả cao trong hệ thống Massive MIMO. Giao thức này có thể giải quyết được khoảng 90% [3] số vụ va chạm nếu xảy ra trường hợp 2 UE chọn chung một pilot. Tuy nhiên, khi các UE truyền với công suất không đổi thì giao thức SUCRe sẽ ưu tiên cho các UE có độ lợi kênh mạnh và những UE nằm ở gần trung tâm ô (cell). Trong khi các UE ở gần ranh giới ô có độ lợi kênh yếu hơn và có nhiều khả năng thua cuộc trong các vụ va chạm. Điều này làm cho giao thức SUCRe không có sự công bằng đối với các UE có nhu cầu truy cập mạng.

2.2 Giao thức ACBPC [10]

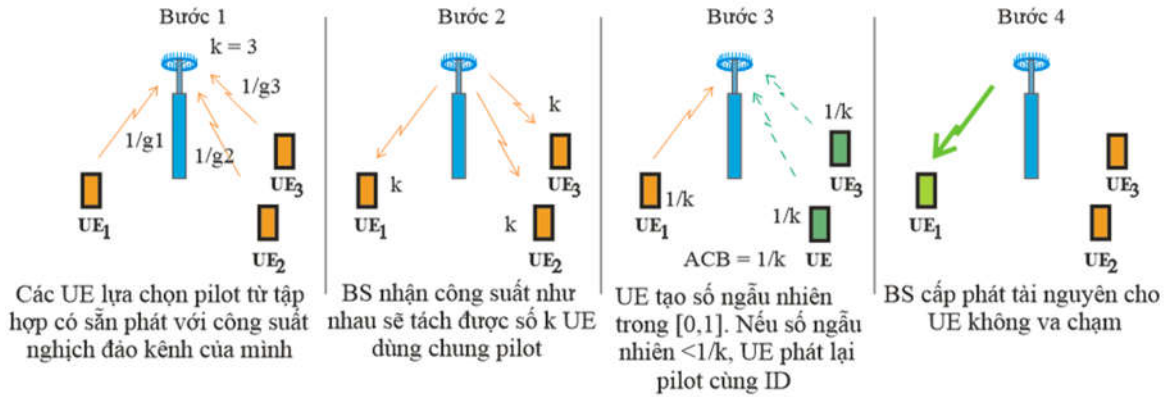
2.2.1 Tổng quan giao thức ACBPC

Như đã giới thiệu ở trên, một hạn chế của giao thức SUCRe là giao thức này ưu tiên UE có tín hiệu mạnh nhất trong khi giải quyết va chạm, điều này thường dẫn đến việc ưu tiên những UE gần BS hơn, gây bất lợi cho các UE xa trạm phát. Khi số lượng các UE không hoạt động ngày càng tăng thì va chạm sẽ xảy ra thường xuyên hơn, các UE ở xa sẽ khó có cơ hội thiết lập kết nối với mạng. Vì vậy cần có một giao thức truy cập ngẫu nhiên mới mang lại sự công bằng giữa các UE, theo nghĩa là các UE về cơ bản có cùng xác suất kết nối thành công vào mạng, không phụ thuộc vào khoảng cách của chúng đến BS. Giao thức ACBPC được giới thiệu nhằm mục đích mang lại điều đó.

Giao thức ACBPC (Access Class Barring Power Control) là giao thức truy cập ngẫu nhiên dựa trên việc hạn chế truy cập kết hợp với kiểm soát công suất, cho phép mỗi UE ước tính có bao nhiêu UE đã va chạm trên 1 pilot và từ đó tính toán hệ số hạn chế ACB, để xác định xác suất cũng như xác định được UE nào được phát lại pilot trong bước tiếp theo. Khác với SUCRe giao thức này mang lại xác suất kết

nổi công bằng giữa các UE gần và xa trạm phát hay nói một cách khác là không phụ thuộc vào khoảng cách.

Cơ chế hoạt động được biểu diễn tóm tắt như hình 2.5 dưới đây:



Hình 2.5. Cơ chế hoạt động của giao thức ACBPC [3]

Ở bước 1: Khi mỗi UE muốn truy nhập, nó sẽ chọn ngẫu nhiên một pilot từ một tập các pilot có sẵn và sẽ truyền đến BS với công suất bằng nghịch đảo của độ lợi kênh của nó (độ lợi kênh được phát hiện từ bước 0 khi BS phát sóng). BS sẽ nhận được các tín hiệu có cùng độ lớn. Khi đó, BS sẽ không ước lượng được tổng độ lợi kênh như ở giao thức SUCRe mà ước lượng được tổng số UE chọn chung pilot là k .

Bước 2: Tham số k được BS thông báo lại cho các UE có liên quan cùng với thông số RB (Resource Block).

Bước 3: Mỗi UE sẽ tạo ra một hệ số ACB bằng $1/k$. UE sẽ tạo ra một số ngẫu nhiên phân bố đều từ 0 đến 1. Nếu số ngẫu nhiên nhỏ hơn $1/k$, UE sẽ phát lại yêu cầu cùng số ID của nó, nếu không, nó sẽ không truyền lại. Theo giao thức này, vẫn có thể xảy ra các tình huống không mong muốn: không có UE nào có số ngẫu nhiên $< 1/k$ hoặc có 2 hoặc nhiều UE có số ngẫu nhiên nhỏ hơn $1/k$. Tuy nhiên, quyền truy cập bình đẳng được đảm bảo, khả năng va chạm giảm do mỗi UE thiết lập một ACB.

Bước 4: Sự va chạm được giải quyết tại BS. Nếu không va chạm ID từ các UE, điều đó có nghĩa là chỉ có 1 UE truyền lại. BS sẽ chính thức phân bổ nguồn lực cho UE.

2.2.2. Chi tiết giao thức ACBPC

2.2.2.1 Nội dung giao thức ACBPC

Việc quyết định UE nào sẽ giành quyền phát lại pilot thông qua việc xác định được số UE cùng chọn chung 1 pilot (số lượng UE va chạm) để từ đó tính toán ra được hệ số chặn truy cập ACB cần trải qua các bước tính toán tương ứng với 4 giai đoạn hoạt động của giao thức truy cập ngẫu nhiên ACBPC như sau:

Bước 1: UE chọn ngẫu nhiên pilot trong tập hợp pilot có sẵn, ước lượng hệ số mất mát, điều chỉnh công suất phát.

Do UE thứ k có thể ước tính hệ số mất mát β_k , nên nó có thể điều chỉnh công suất phát pilot tỷ lệ nghịch với β_k , lên đến giới hạn công suất phát tối đa. Do đó, công suất phát pilot của UE thứ k có giá trị như sau:

$$\rho_k^{pc} = \min \left\{ \frac{\bar{\rho}}{\beta_k}, \rho_{max} \right\} \quad (2.16)$$

Trong đó:

- $\bar{\rho}$ là công suất nhận được trung bình tại BS.
- ρ_{max} là giới hạn công suất phát cực đại của UE.

Tín hiệu nhận được tại BS và sự tương quan của nó với ψ_t dẫn đến các biểu thức tương tự như (2.17) và (2.18), nhưng thay đổi hệ số công suất ρ_k thành ρ_k^{pc} . Thật vậy, chính sách kiểm soát công suất ngụ ý rằng BS chỉ ước tính hệ số fading quy mô nhỏ cho các UE ở S_t khi đánh giá (2.18).

Bước 2: Tính toán số UE cùng chọn chung 1 pilot, phản hồi truy cập ngẫu nhiên được mã trước.

Trong bước thứ hai, tín hiệu pilot đường xuống được mã trước do BS gửi đi được tính toán như (2.19). Khi đó, tín hiệu thu được tại UE theo (2.20), trên đó z_k thu được như (2.21). Cuối cùng, tổng số độ lợi và can nhiễu ở BS là:

$$\alpha_t = \sum_{i \in S_t} p_i^{pc} \beta_i \tau_p + \omega_t = \bar{\rho} \tau_p |S_t| + \omega_t \quad (2.17)$$

và được ước lượng tại các UE theo công thức (2.15) với ρ_k^{pc} thay thế cho ρ_k . Nhiều ω_t có thể bị loại bỏ một phần bằng cách trừ đi $\bar{\omega}$ trung bình của nó từ $\hat{\alpha}_{t,k}$. Lưu ý rằng $\bar{\omega}$ có thể được ước lượng vì nó có cùng giá trị cố định cho tất cả các UE.

Do đó có thể ước tính $|S_t|$ từ $\hat{\alpha}_{t,k}$ theo cách được tiếp cận như sau:

$$|\widehat{S_t}|_k = \frac{\hat{\alpha}_{t,k} - \bar{\omega}}{\bar{\rho} \tau_p} \quad (2.18)$$

Bước 3: Tính toán hệ số chặn truy cập ACB, giải quyết tranh chấp và phát lại pilot

Từ số UE chọn chung pilot, hệ số chặn truy cập ACB có thể được tính theo công thức:

$$\zeta_k = \frac{1}{|\widehat{S_t}|_k} \quad (2.19)$$

Mỗi UE truyền lại pilot của nó ở bước 3 với xác suất là ζ_k , vì vậy đã mang lại xác suất truy cập công bằng giữa các UE, điều này chính là ưu điểm hơn giao thức SUCRe. Giải pháp được đề xuất không yêu cầu bất kỳ chi phí kiểm soát bổ sung nào đối với các UE có được yếu tố ACB. Bên cạnh đó, ACBPC yêu cầu tính toán bổ sung ít hơn so với giao thức SUCRe. ACBPC chỉ yêu cầu các UE đưa ra quyết định với xác suất ζ_k , điều này có thể thực hiện được bằng cách tạo ra một số ngẫu nhiên $\in [0, 1]$ và so sánh với ζ_k .

Giả sử số gieo ngẫu nhiên là r thì việc quyết định sẽ dựa theo r như sau:

- ✓ Nếu $r < \zeta_k$: UE vượt qua lớp chặn truy cập và giành quyền phát lại pilot.
- ✓ Nếu $r > \zeta_k$: UE sẽ phải truy cập lại từ đầu.

Bước 4: BS sẽ cấp phát tài nguyên cho UE được phát lại pilot.

BS nhận được pilot RA phát lại ở bước 3, trong đó kèm theo ID thông báo UL, ví dụ: có thể chứa duy nhất của UE. BS sử dụng tín hiệu pilot này để ước tính kênh tới UE đã gửi ψ_t ở bước 3 và cố gắng giải mã thông báo tương ứng.

- Nếu việc giải mã thành công: BS đã xác định được một UE trong số S_t UE và có thể chấp nhận. BS quyết định phân bổ tài nguyên này được truyền trong DL ở bước 4, tương tự như phản hồi được mã trước ở bước 2.

- Nếu việc giải mã không thành công: Lúc này giao thức ACBPC đã không giải quyết được va chạm. Lưu ý rằng nếu pilot t không được sử dụng trong bước 1 (tức là $|S_t| = 0$), nó cũng sẽ không được sử dụng trong bước 3 và do đó giải mã sẽ không thành công không cần BS phải xác định rõ ràng rằng $|S_t| = 0$.

Giao thức ACBPC được lặp lại trong một khoảng thời gian nhất định. Với các UE không được chấp nhận ở bước 4 có thể được quay lại truyền các pilot mới sau một thời gian chờ ngẫu nhiên.

2.2.2.2 Xác suất giải quyết tranh chấp

Giả sử có thể ước lượng được số UE cùng chọn chung pilot t lúc này là $|S_t|$. Xác suất mỗi UE truyền lại pilot t trong bước 3 là $\frac{1}{|S_t|}$, va chạm sẽ được giải quyết nếu chỉ có một UE truyền lại pilot t . Xác suất của giao thức ACBPC giải quyết va chạm trên 1 pilot với số UE tranh chấp $|S_t|$ là: [10]

$$P_{res} = \binom{|S_t|}{1} \frac{1}{|S_t|} \left(1 - \frac{1}{|S_t|}\right)^{|S_t|-1} = \left(1 - \frac{1}{|S_t|}\right)^{|S_t|-1} \quad (2.20)$$

Cho biểu diễn của hàm mũ dưới dạng giới hạn $e^x = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{x}{n}\right)^n$

Trường hợp nếu mạng đông đúc, xác suất giải quyết va chạm trên 1 pilot được tính:

$$\lim_{|S_t| \rightarrow \infty} P_{res} = e^{-1} \approx 36,78\%$$

Từ kết quả trên cho thấy rằng xác suất ACBPC giải quyết các vụ va chạm pilot với rất nhiều UE cạnh tranh nhau là 36,78%, khác với SUCRe khi xác suất này có xu hướng tiến về 0 với mật độ người dùng rất đông đúc.

2.3 So sánh và nhận xét

Mục này sẽ mô phỏng để so sánh về xác suất giải quyết va chạm của giao thức ACBPC và SUCRe. Ngoài ra còn khảo sát hiệu suất của giao thức ACBPC với đề xuất mới. Qua đó đưa ra một số nhận xét.

Sử dụng phần mềm Matlab mô phỏng sự truy cập ngẫu nhiên của các UE thông qua các quyết định phát lại pilot khác nhau của mỗi giao thức. Từ đó biểu

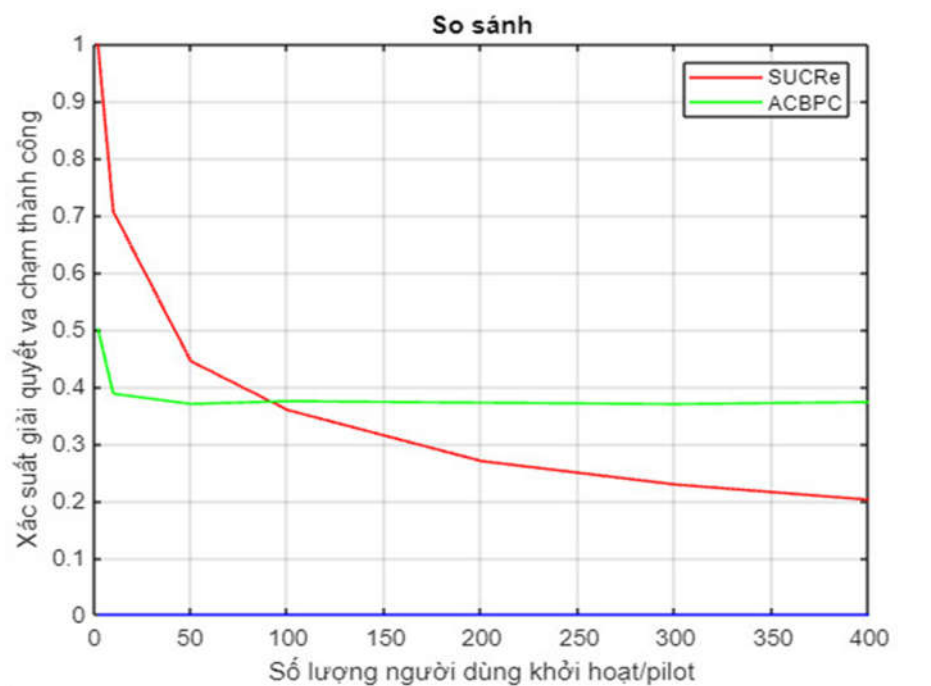
diễn xác suất giải quyết và chạm của các giao thức này khi các UE cùng chọn chung 1 pilot. Một vài tham số mô phỏng cho trong chương trình Matlab được cung cấp trong bảng 2.2 dưới đây:

Bảng 2.2. Một số tham số mô phỏng trong chương trình

Tham số mô phỏng	Giá trị
Bán kính cell	250 m
Hệ số mũ mất mát	3.2, 3.8
Khoảng cách max (d_{\max})	250 m
Khoảng cách min (d_{\min})	25 m
Độ lệch tiêu chuẩn Fading	10 dB

2.3.1 Khi số UE tham gia và chạm thay đổi

So sánh xác suất giải quyết và chạm của 2 giao thức ACBPC và SUCRe. Chúng ta tiến hành thay đổi số lượng UE là $K = [2 \ 10 \ 50 \ 100 \ 200 \ 300 \ 400]$



Hình 2.6. Xác suất giải quyết và chạm của SUCRe và ACBPC

Hình 2.6 biểu diễn xác suất giải quyết và chạm của hai giao thức SUCRe và ACBPC, ở đây trục hoành là số UE đang xảy va chạm trên 1 pilot (UE / pilot), trục tung biểu diễn xác suất giải quyết và chạm thành công.

Nhận xét 1:

- ❖ Khi số lượng UE va chạm nhỏ hơn hoặc xấp xỉ bằng 90 thì xác suất giải quyết và chạm của SUCRe tốt hơn ACBPC. Ngược lại với số lượng UE xảy ra va chạm lớn hơn 90 thì ACBPC mang lại xác suất giải quyết và chạm tốt hơn.

- ❖ Trong cả 2 trường hợp ACBPC có xác suất ổn định ngay cả khi mạng đông đúc. Tuy nhiên xác suất giải quyết và chạm chỉ khoảng 0.38. Xác suất giải quyết và chạm của SUCRe có xu hướng giảm về 0 khi số lượng UE/Pilot càng tăng. Điều này có nghĩa là SUCRe khó giải quyết và chạm trong trường hợp mạng đông đúc hơn.

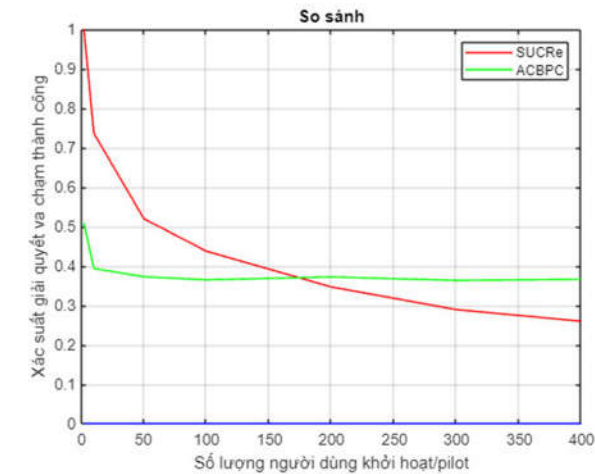
Kết luận 1:

- ✓ Giao thức SUCRe giải quyết tốt va chạm trong trường hợp số lượng đối thủ cạnh tranh là ít. Tuy nhiên xác suất có xu hướng giảm về 0 khi số lượng đối thủ cạnh tranh tăng lên.

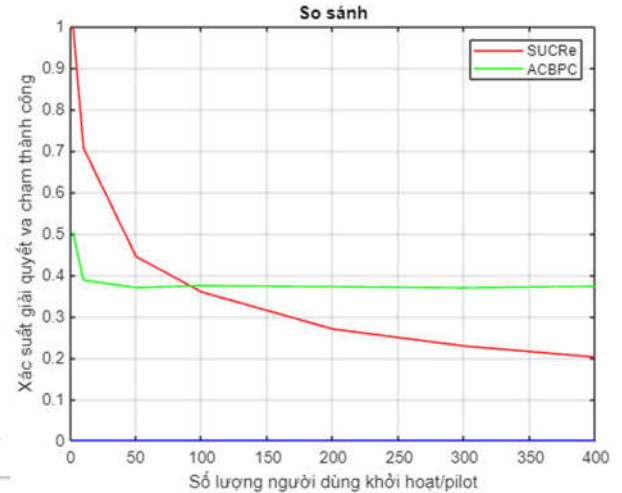
- ✓ Khác với SUCRe giao thức ACBPC mang lại xác suất giải quyết và chạm ổn định ngay cả trong trường hợp mạng đông đúc mặc dù chưa đạt được hiệu suất cao như ở SUCRe đối với trường hợp số UE va chạm nhỏ. Mặt khác giao thức này mang lại xác suất giải quyết và chạm công bằng giữa các UE. Do vậy trong trường hợp mạng đông đúc, các UE ở xa vẫn có thể giành quyền truy cập vào mạng.

2.3.2 Khi số mũ mất mát của môi trường thay đổi

Để khảo sát sự phụ thuộc xác suất giải quyết và chạm với hệ số mũ mất mát của hai giao thức ACBPC và SUCRe bằng cách thay đổi hệ số mũ mất mát với 2 trường hợp là 3.8 và 3.2.



Hình 2.7. Xác suất giải quyết và chạm của ACBPC và SUCRe khi hệ số mũ mất mát là 3.8



Hình 2.8. Xác suất giải quyết và chạm của ACBPC và SUCRe khi hệ số mũ mất mát là 3.2

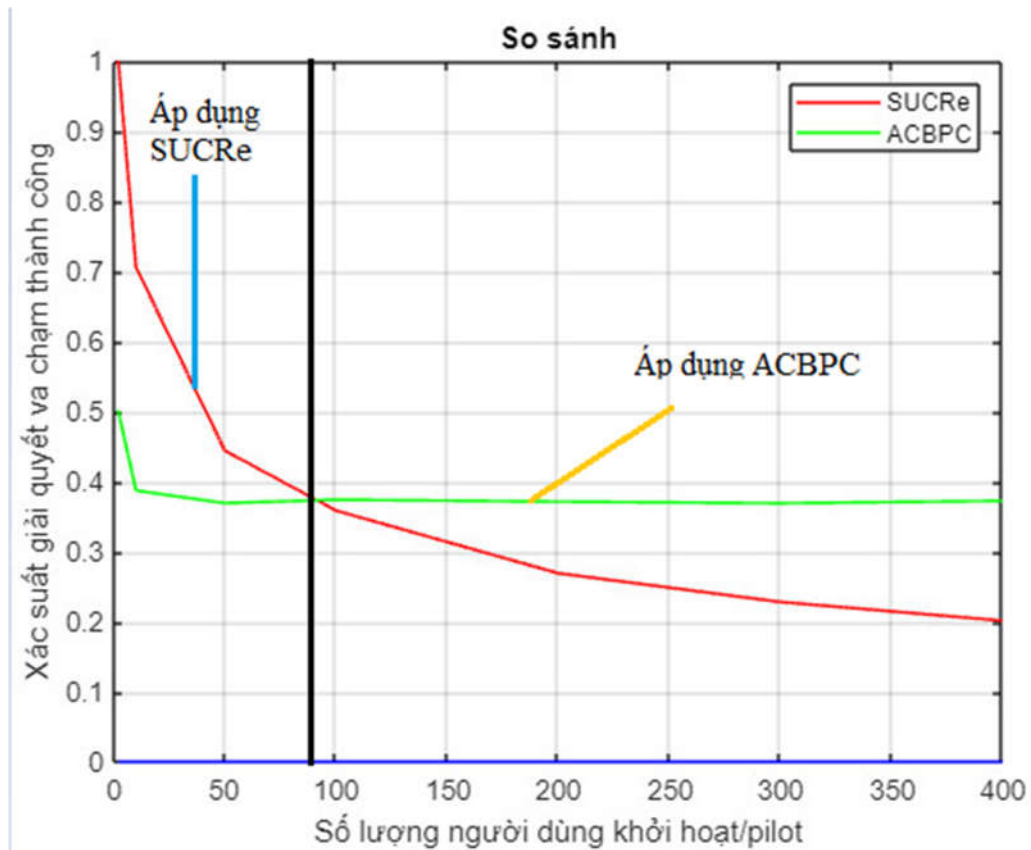
Nhận xét 2:

- Trường hợp 1 (hệ số mũ mất mát là 3.8) điểm cắt về xác suất giải quyết và chạm rơi vào vị trí xấp xỉ 175 UE/pilot.
- Trường hợp 2 (hệ số mũ mất mát là 3.2) điểm cắt về xác suất giải quyết và chạm rơi vào vị trí xấp xỉ 90 UE/pilot.
- Nhận thấy từ điểm cắt trở về trước hiệu quả giải quyết và chạm của SUCRe tốt hơn ACBPC, ngược lại từ điểm cắt trở về sau ACBPC lại ưu thế hơn.

Kết luận 2:

- ✓ Với hệ số mũ mất mát khác nhau, có sự thay đổi điểm cắt về xác suất giải quyết và chạm giữa ACBPC và SUCRe.
- ✓ Định hướng phát triển trong tương lai: Do có sự khác biệt về hiệu suất hoạt động nên ACBPC sẽ được ưu tiên triển khai dành cho trường hợp mạng đông đúc hơn và thuận tiện hơn. Vì vậy, trong tương lai có thể thiết kế một quy trình chuyển đổi linh hoạt giữa các giao thức ACBPC và SUCRe tùy thuộc vào số UE không hoạt động nếu thông tin có sẵn tại BS và xác định tại điểm cắt (số UE/pilot) nhờ hệ số suy giảm môi trường.

Quy trình chuyển đổi giữa ACBPC và SUCRe như sau:



Hình 2.9. Kết hợp SUCRe và ACBPC nâng cao xác suất giải quyết và chạm

- Nếu với số UE/pilot và chạm nhỏ hơn điểm cắt (bên trái) thì UE sẽ được ưu tiên giải quyết và chạm theo giao thức SUCRe.
- Ngược lại nếu số UE/pilot và chạm lớn hơn điểm cắt (bên phải) UE sẽ giải quyết tranh chấp theo ACBPC.

2.4 Tóm tắt chương 2

Chương này trình bày những nội dung gồm tổng quan về giao thức SUCRe và ACBPC, đó là hai giao thức đã được nghiên cứu để ứng dụng vào hệ thống truyền thông 5G.

Giao thức SUCRe gồm 4 bước được tóm lược như sau:

Bước 1: UE lựa chọn ngẫu nhiên một pilot từ một tập pilot trực giao xác định;

Bước 2: BS gửi các tín hiệu pilot đường xuống được mã trước thành giá trị nghịch đảo tổng độ lợi thu được và đồng thời tạo thành búp hương đến các UE;

Bước 3: UE so sánh tỷ số nó ước lượng độ lợi kênh với $1/2$. Nếu tỷ số của nó $> 1/2$ đồng nghĩa với tỷ số của các UE khác $< 1/2$. Qui tắc là nếu tỷ số của nó $> 1/2$ sẽ thực hiện phát lại đề nghị, nếu $< 1/2$ sẽ im lặng và chờ truy cập chu kỳ sau;

Bước 4: BS cấp các tài nguyên cho UE phát lại đối với UE chiến thắng trong va chạm.

Giao thức SUCRe đạt hiệu quả giải quyết va chạm pilot mạnh nhất lên đến 90% khi số lượng thiết bị truy cập nhỏ. Tuy nhiên, điểm hạn chế của giao thức này ở chỗ chỉ ưu tiên những thiết bị truy cập ở gần trạm phát, nên những thiết bị ở xa trạm phát hầu như không thể tiếp cận hệ thống để truyền nhận dữ liệu. Ngoài ra, xác suất truy cập của thiết bị vào hệ thống có xu thế tiến về 0 khi số lượng thiết bị lớn.

Giao thức ACBPC cũng bao gồm 4 bước được tóm lược như sau:

Bước 1: UE muốn truy nhập, nó sẽ chọn ngẫu nhiên một pilot từ một tập hợp các pilot có sẵn và sẽ truyền đến BS với công suất bằng nghịch đảo của độ lợi kênh của nó;

Bước 2: Tham số k (số lượng UE cùng lựa chọn pilot) được BS thông báo lại cho các UE có liên quan cùng với thông số RB (Resource Block);

Bước 3: Mỗi UE sẽ tạo ra một hệ số ACB bằng $1/k$. UE sẽ tạo ra một số ngẫu nhiên phân bố đều từ 0 đến 1. Nếu số ngẫu nhiên nhỏ hơn $1/k$, UE sẽ phát lại yêu cầu cùng số ID của nó, nếu không, nó sẽ không truyền lại;

Bước 4: Nếu không va chạm ID từ các UE, điều đó có nghĩa là chỉ có 1 UE truyền lại. BS sẽ chính thức phân bổ nguồn lực cho UE.

Giao thức ACBPC đạt hiệu quả giải quyết va chạm khoảng 36,78%, nhỏ hơn nhiều so với giao thức SUCRe. Tuy nhiên, khi số lượng thiết bị tăng cao xác suất giải quyết va chạm hầu như không đổi. Mặt khác giao thức này giúp cho các thiết bị truy cập bình đẳng hơn với nhau về xác suất truy cập mà không phụ thuộc vào khoảng cách từ thiết bị đến trạm phát.

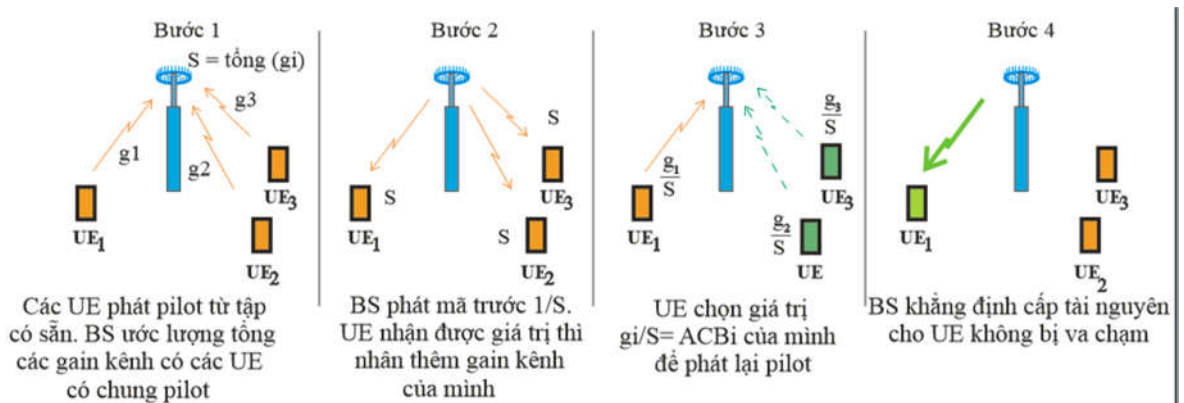
Chương 3 - GIAO THỨC DACB

Dựa trên sự phân tích ưu nhược điểm của SUCRe và ACBPC. Luận văn đề xuất giao thức DACB [14] có ưu điểm là không quá mất bình đẳng như SUCRe, tức là những UE ở xa cũng có cơ hội truy cập thành công (mặc dù cơ hội nhỏ hơn những UE ở gần) đồng thời khi tập máy tham gia hệ thống rất lớn (10^5 thiết bị/km²) thì xác suất truy cập thành công ổn định và cao hơn SUCRe. Ngoài ra giao thức DACB luôn tỏ ra vượt trội tốt hơn giao thức ACBPC. Điều này được chứng minh cả về lý thuyết và mô phỏng.

3.1 Mô tả giao thức

Giao thức DACB (Different Access Class Barring or Adaptive Access Class Barring) là một đề xuất mới với cải tiến dựa trên cả giao thức SUCRe và giao thức ACBPC nhằm nâng cao hiệu suất giải quyết va chạm tốt hơn ACBPC đồng thời công bằng hơn SUCRe). Giao thức DACB cũng dựa trên nguyên lý hạn chế truy cập của UE dùng hệ số ACB để giảm xác suất va chạm, song ở đây ACB của các UE khác nhau lại có giá trị khác nhau (ở giao thức ACBPC thì hệ số hạn chế truy cập ACB giống nhau đối với mỗi UE và va chạm). Việc tính toán hệ số ACB khác nhau sẽ được trình bày như dưới đây.

Cơ chế hoạt động của DACB cũng được biểu diễn tóm tắt gồm 4 bước như hình 3.1:



Hình 3.1. Cơ chế hoạt động của giao thức đề xuất DACB

Trong bước 1: Khi các UE trong ô muốn hoạt động, mỗi UE sẽ chọn ngẫu nhiên một pilot trong tập hợp pilot trực giao có sẵn và phát ngược lên BS. Nếu mỗi pilot chỉ có một UE chọn thì BS xác định được độ lợi kênh của UE đó. Trong trường hợp có từ 2 UE trở lên cùng chọn một pilot thì BS ước tính được tổng độ lợi kênh của các UE (ở bước này BS không phát hiện được va chạm).

Trong bước 2, BS phản hồi bằng cách gửi các tín hiệu được mã trước bằng nghịch đảo tổng độ lợi kênh đến các UE liên quan. Do mã trước nên các tín hiệu được định hướng theo búp về phía UE này. Do lại trải qua kênh đường xuống (có độ lợi bằng kênh đường lên ở hệ thống Massive MIMO) nên mỗi UE ước tính được tỷ số độ lợi kênh của nó chia cho tổng độ lợi kênh của các UE chọn chung pilot. Tỷ số này được coi là giá trị ACB của UE này.

Sự khác biệt so với giao thức ACBPC chính là các hệ số ACB của các UE khác nhau là khác nhau.

$$ACB_k = \frac{g_k}{S}, \text{ với } \sum_{k \in S_t} ACB_k = 1$$

Trong đó: g_k : Độ lợi của mỗi kênh

S: Tổng độ lợi tất cả các kênh

Trong bước 3, mỗi UE gieo một số ngẫu nhiên gọi là r phân bố đều trong khoảng $r \in [0; 1]$. Mỗi UE sẽ tự xác định nó có quyền phát lại (kèm theo số ID) hay không khi xảy ra các điều kiện sau:

- Nếu $r < \frac{g_k}{S}$ thì UE được phát lại pilot kèm theo số ID
- Nếu $r > \frac{g_k}{S}$ thì UE sẽ không phát lại pilot mà quay lại truy cập lại từ đầu.

Bước 4, UE duy nhất phát lại pilot sẽ được BS cấp phát tài nguyên.

Nhận xét:

✓ Giao thức đề xuất DACB vẫn giữ được tính công bằng tốt hơn giao thức SUCRe đồng thời lại có xác suất giải quyết va chạm tốt hơn so với giao thức ACBPC như sẽ được chứng minh bằng giải tích và mô phỏng.

3.2 Phân tích giải tích

Có thể chứng minh xác suất phân giải và chạm của DACB luôn tốt hơn ACBPC như sau

Với ACBPC:

Giả sử có k UE chọn pilot giống nhau. Do mỗi UE phát công suất nghịch đảo với độ lợi đường lên của nó trong pha 1, nên BS sẽ ước lượng được số k chứ không phải ước lượng được tổng độ lợi kênh như ở giao thức SUCRe. Số k này được BS báo với các UE (trong pha 2 khi BS thông báo trên đường xuống). Để giảm xác suất va chạm các UE sẽ đặt một chỉ số ACB bằng nhau và giả sử là p ($0 < p < 1$). Điều này có nghĩa là mỗi UE phải gieo một số ngẫu nhiên (phân bố đều từ 0 đến 1). Nếu số ngẫu nhiên này nhỏ hơn p , UE được quyền phát lại pilot cùng số ID của nó. Nếu số ngẫu nhiên lớn hơn p nó sẽ im lặng và chờ đến nhịp truy cập sau. Xác suất mà một UE phát lại pilot mà không va chạm với $k-1$ UE còn lại im lặng là :

$$P_p(1 \text{ UE repeat}) = \binom{k}{1} p(1-p)^{k-1} \quad (3.1)$$

Biểu thức trên diễn đạt tổ hợp các trường hợp chỉ có 1 UE phát và $k-1$ UE còn lại im lặng. Nếu coi biểu thức như một hàm của biến p , có thể lấy đạo hàm theo p và đặt bằng 0

$$\frac{dP_p}{dp} = k(1-p)^{k-1} - k(k-1)p(1-p)^{k-2} = 0 \quad (3.2)$$

Nghiệm phương trình trên là $p = 1/k$ cũng chính là giá trị ACB đồng đều cho các UE trong giao thức ACBPC. Thay giá trị này vào (3.1), ta có xác suất phân giải va chạm (không xảy ra va chạm) cực đại là:

$$P_{p\max} = k \cdot \frac{1}{k} \left(1 - \frac{1}{k}\right)^{k-1} = \left(1 - \frac{1}{k}\right)^{k-1} \quad (3.3)$$

Đây chính là kết quả nhận được ở giao thức ACBPC khi BS báo trên đường xuống cho các UE số lượng k UE chọn pilot giống nhau.

Ở giao thức DACB:

ACB của các UE là khác nhau (vì độ lợi kênh đến các UE khác nhau) và giả sử các giá trị ACB này là p_1, p_2, \dots, p_k . Chú ý là ở đây ta có ràng buộc $\sum p_i = 1$.

Chúng ta tính xác suất phân giải khi chỉ có 1 UE phát lại còn k-1 UE còn lại im lặng:

$$P_{pk}(1\text{UE repeat}) = p_1(1-p_2)(1-p_3) \dots (1-p_k) + p_2(1-p_1)(1-p_3) \dots (1-p_{k-1}) + \dots + p_k(1-p_1)(1-p_2) \dots (1-p_{k-1}) \quad (3.4)$$

Ta chứng minh rằng $P_{pk} \geq P_{p\max}$ với ràng buộc $p_i > 0$ và $\sum_{i=1}^k p_i = 1$ (3.5)

Dùng phương pháp nhân tử Lagrange và giả sử P_{pk} là hàm lồi (điều này có thể kiểm tra qua mô phỏng).

Đặt $\Omega = P_{pk} + \lambda(p_1 + p_2 + \dots + p_k)$ là hàm đối tượng. Để tìm cực tiểu của hàm đối tượng ta thực hiện một số tính toán sau:

$$\begin{aligned} \delta\Omega/\delta p_1 = & (1-p_2)(1-p_3) \dots (1-p_k) - p_2(1-p_3) \dots (1-p_k) - \dots \\ & - p_k(1-p_2)(1-p_3) \dots (1-p_{k-1}) + \lambda = 0 \end{aligned} \quad (3.6)$$

$$\begin{aligned} \delta\Omega/\delta p_2 = & (1-p_1)(1-p_3) \dots (1-p_k) - p_1(1-p_3) \dots (1-p_k) - \dots \\ & - p_k(1-p_1)(1-p_3) \dots (1-p_{k-1}) + \lambda = 0 \end{aligned} \quad (3.7)$$

....

$$\begin{aligned} \delta\Omega/\delta p_k = & (1-p_1)(1-p_3) \dots (1-p_{k-1}) - p_1(1-p_2) \dots (1-p_k) - \dots \\ & - p_k(1-p_2)(1-p_3) \dots (1-p_{k-1}) + \lambda \end{aligned} \quad (3.k)$$

$$\delta\Omega/\delta \lambda = p_1 + p_2 + \dots + p_k - 1 = 0 \quad (3.k+1)$$

Lấy (3.6) trừ đi (3.7), ta có:

$$(p_1 - p_2)(1-p_3) \dots (1-p_k) + (p_1 - p_2)(1-p_3) \dots (1-p_k) + \dots - (p_1 - p_2)p_k(1-p_3) \dots (1-p_{k-1}) = 0$$

$$\Leftrightarrow (p_1 - p_2)[2(1-p_3) \dots (1-p_k) - p_3(1-p_4) \dots (1-p_k) - \dots - p_k(1-p_3) \dots (1-p_{k-1})] = 0$$

Phương trình trên cho nghiệm $p_1 = p_2$

Lấy (3.7) trừ đi (3.8), cũng có

$$(p_2 - p_3)(1-p_1)(1-p_4) \dots (1-p_k) + (p_2 - p_3)(1-p_1)(1-p_4) \dots (1-p_k) - \dots - (p_1 - p_2)p_k(1-p_3) \dots (1-p_{k-1}) = 0$$

$$\Leftrightarrow (p_2 - p_3)[2(1-p_1) \dots (1-p_k) - p_1(1-p_4) \dots (1-p_k) - \dots - p_k(1-p_3) \dots (1-p_{k-1})] = 0$$

Phương trình cho nghiệm $p_2 = p_3$

Để thấy là phương trình (3.k) là đối xứng vòng quanh khi thay p_i bằng p_j ($i \neq j$) vào phương trình 3.i, ta có phương trình 3.j. Nên nghiệm của hệ thống phải thỏa mãn

$p_1=p_2=\dots=p_k$. Kết hợp với phương trình (3.k+1), ta có $p_1=p_2=\dots=p_k=1/k$. Thay nghiệm vào (3.4) ta có:

$$k \cdot \frac{1}{k} \left(1 - \frac{1}{k}\right)^{k-1} = \left(1 - \frac{1}{k}\right)^{k-1} = P_{\text{pmax}} \quad (3.k+2)$$

Kết quả trên cho thấy min của P_{pk} là bằng P_{pmax} hoặc $P_{pk} \geq P_{\text{pmax}}$

Kết quả cũng được kiểm chứng bằng mô phỏng trên máy tính trình bày ở phần dưới đây.

3.3 Mô phỏng so sánh

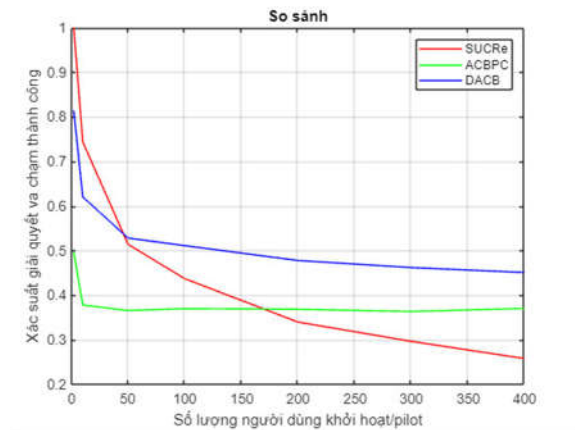
DACB là giao thức cải tiến từ giao thức SUCRe và ACBPC. Mục này sẽ khảo sát xác suất giải quyết và chạm của giao thức DACB với ACBPC và SUCRe.

3.3.1. Khảo sát xác suất phân giải và chạm

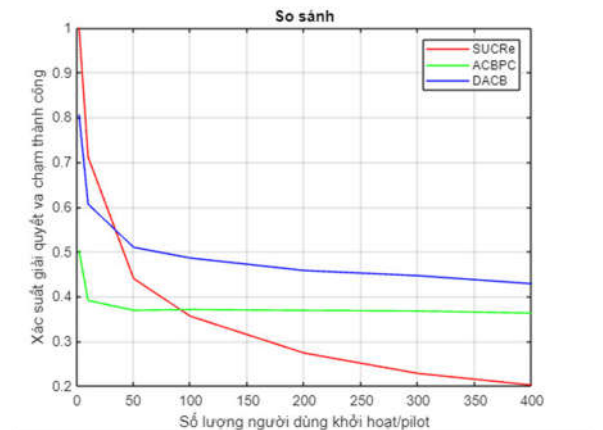
Hình 3.2 biểu diễn kết quả so sánh hiệu quả giải quyết và chạm của 3 giao thức DACB, ACBPC và SUCRe. $K = [2 \ 10 \ 50 \ 100 \ 200 \ 300 \ 400]$

✓ Trường hợp 1: Với hệ số mũ mất mát 3.8

✓ Trường hợp 2: Với hệ số mũ mất mát 3.2



Hình 3.2. Xác suất giải quyết và chạm giữa DACB với ACBPC, SUCRe trường hợp 1



Hình 3.3. Xác suất giải quyết và chạm giữa DACB với ACBPC, SUCRe trường hợp 2

Nhận xét:

❖ Trường hợp 1: Khi số lượng UE và chạm nhỏ hơn hoặc bằng 50 thì xác suất giải quyết và chạm của SUCRe là tốt nhất, thứ hai là DACB và thấp nhất là

ACBPC. Với số lượng UE xảy ra va chạm lớn hơn 50 và nhỏ hơn hoặc bằng 175 thì xác suất giải quyết va chạm của DACB lớn nhất, thứ hai SUCRe và thấp nhất là ACBPC. Với số lượng UE xảy ra va chạm lớn hơn 175 thì xác suất giải quyết va chạm của DACB vẫn lớn nhất, thứ hai là ACBPC và thấp nhất là SUCRe.

❖ Trường hợp 2: Số mũ mất mát nhỏ hơn, xu hướng giống như trường hợp 1, tuy nhiên khoảng hiệu quả của SUCRe hơn DACB và ACBPC đã bị rút ngắn lại. Cụ thể SUCRe chỉ tốt hơn DACB khi số lượng UE xảy ra va chạm nhỏ hơn 40 và ACBPC khi số lượng UE nhỏ hơn 90.

❖ Trong cả 2 trường hợp DACB có xác suất ổn định so với SUCRe và cao hơn so với ACBPC ngay cả khi mạng đông đúc (xác suất giải quyết va chạm của DACB dao động xấp xỉ từ $0.43 \div 0.7$, trong khi đó xác suất giải quyết va chạm của ACBPC chỉ khoảng 0.38). Xác suất giải quyết va chạm của SUCRe có xu hướng giảm về 0 khi số lượng UE/Pilot càng tăng. Điều này có nghĩa là SUCRe khó giải quyết va chạm trong trường hợp mạng đông đúc hơn.

Kết luận:

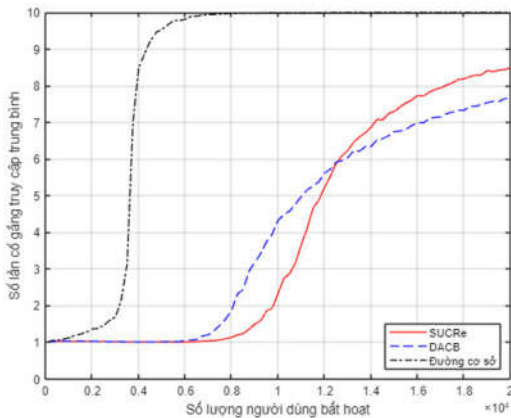
✓ Giao thức DACB đề xuất đã có sự cải thiện xác suất giải quyết va chạm đáng kể so với giao thức ACBPC. Tuy nhiên với tập UE nhỏ xác suất này vẫn chưa đạt được như giao thức SUCRe.

✓ Xác suất giải quyết va chạm của DACB cũng có xu hướng giảm nhưng không giảm mạnh như giao thức SUCRe và vẫn cao hơn ACBPC khi số lượng UE lớn.

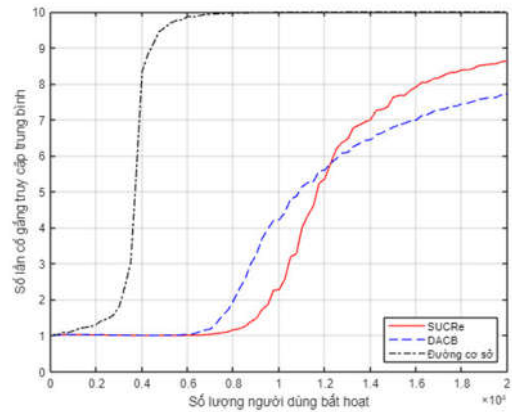
3.3.2. Khảo sát số lần truy cập lại

Khi số lần truy cập lại càng lớn thì độ trễ cũng càng lớn. Vì vậy để khảo sát độ trễ của giao thức SUCRe và DACB ta sẽ khảo sát số lần truy cập lại. Kết quả được biểu diễn theo hình 3.4 và hình 3.5 thể hiện xác suất giải quyết va chạm không thành công tương ứng.

- Trường hợp 1: Với hệ số mũ mất mát là 3.8
- Trường hợp 2: Với hệ số mũ mất mát là 3.2



Hình 3.4. Số lần truy cập lại của DACB và SUCRe trường hợp 1 với hệ số mũ mất mát là 3.8



Hình 3.5. Số lần truy cập lại của DACB và SUCRe trường hợp 2 với hệ số mũ mất mát là 3.2

Nhận xét:

❖ Từ kết quả ở hình 3.4 và 3.5 cho thấy khi số mũ mất mát môi trường tăng, đường cong của SUCRe dịch chuyển sang bên phải trong khi đường cong của DACB vẫn giữ nguyên.

❖ Với số lượng UE nhỏ hơn 1.3×10^4 sử dụng giao thức SUCRe giúp cho UE nếu muốn truy cập vào mạng sẽ cần ít lần truy cập lại hơn giao thức DACB. Điều này cho thấy SUCRe ưu điểm hơn DACB khi mật độ UE giới hạn ở con số 1.3×10^4 .

❖ Tuy nhiên khi số lượng UE lớn hơn 1.3×10^4 thì giao thức DACB cho thấy ưu điểm của mình với số lần truy cập lại và xác suất bị lỗi đều thấp hơn giao thức SUCRe, điều này phù hợp với kịch bản mạng đông đúc.

Kết luận:

✓ Đề xuất mới DACB đã nâng cao được hiệu quả giải quyết va chạm của giao thức DACB trong trường hợp mạng đông đúc (tập UE lớn) ở phương diện số lần truy cập lại.

✓ Tuy nhiên xác suất của DACB vẫn có xu hướng giảm nhưng không giảm mạnh như SUCRe.

3.4 Tóm tắt chương 3

Chương này trình bày một đề xuất về giao thức mới - giao thức DACB (Different Access Class Barring or Adaptive Access Class Barring) với một cải tiến nhỏ từ giao thức SUCRe và ACBPC nhằm khắc phục hạn chế của hai giao thức này.

Giao thức DACB cũng bao gồm 4 bước được tóm lược như sau:

Bước 1: Mỗi UE muốn hoạt động nó sẽ chọn ngẫu nhiên một pilot trong tập hợp pilot có sẵn. Trong trường hợp các UE cùng chọn chung một pilot thì va chạm xảy ra và sau đó BS ước tính tổng độ lợi kênh của các UE;

Bước 2: BS phản hồi bằng cách gửi các tín hiệu được mã trước từ ước tính tổng độ lợi kênh, mặt khác các tín hiệu được định hướng theo không gian về phía UE. Tín hiệu đường xuống phát đi từ BS được đặc trưng bởi hệ số mảng M và khác nhau giữa các UE. Khi hệ số mảng M lớn, nó sẽ cho phép mỗi UE ước tính tỷ số độ lợi kênh của nó với tổng độ lợi của các UE;

Bước 3: Mỗi UE gieo một số ngẫu nhiên gọi là r với $r \in [0; 1]$. Việc quyết định UE nào sẽ giành quyền phát lại pilot thỏa mãn điều kiện như sau: Nếu $r < \frac{g_k}{S}$ thì UE được phát lại pilot, nếu $r > \frac{g_k}{S}$ thì UE sẽ không phát lại pilot mà quay lại truy cập lại từ đầu;

Bước 4: UE duy nhất phát lại pilot được BS phát sẽ được cấp phát tài nguyên.

Giao thức DACB luôn có xác suất giải quyết va chạm cao hơn giao thức ACBPC dù số lượng thiết bị yêu cầu truy cập là nhỏ hay lớn. Mặt khác, giao thức DACB có xác suất giải quyết va chạm thấp hơn giao thức SUCRe khi số lượng thiết bị va chạm nhỏ hơn hoặc bằng 50 và lớn hơn SUCRe khi số lượng thiết bị va chạm lớn hơn 50. Ngoài ra, xác suất của DACB không có xu hướng giảm về 0 như SUCRe khi số lượng thiết bị lớn.

KẾT LUẬN

Giao thức SUCRe được giới thiệu năm 2017 được đánh giá là một giao thức truy cập ngẫu nhiên rất hiệu quả cho mạng các thiết bị khá đông đúc (mMTC, 10^4 thiết bị/km²). Tuy nhiên nó cũng được biết là giao thức truy cập ngẫu nhiên rất không công bằng giữa các UE. Các UE ở gần BS có lợi thế cạnh tranh hơn. Đồng thời giao thức SUCRe cũng tỏ ra kém hiệu quả trong trường hợp mạng quá đông đúc (10^5 thiết bị/km²).

Giao thức ACBPC được giới thiệu gần đây (2020) và cũng được trình bày trong luận văn này ngược lại đảm bảo một hiệu suất truy cập ngẫu nhiên bình đẳng cho các UE trong cùng một tế bào, tức là không phụ thuộc vào khoảng cách của chúng đến BS. Ngoài ra, ACBPC còn mang lại xác suất giải quyết va chạm ổn định trong kịch bản quá đông đúc so với giao thức SUCRe, do khả năng giải quyết va chạm tốt hơn giao thức SUCRe với một số lượng lớn đối thủ cạnh tranh và tiêu tốn ít năng lượng hơn nhờ hiệu quả kết nối cao hơn, tuy nhiên xác suất truy cập thành công của giao thức ACBPC chỉ xấp xỉ 36,78 % nên hiệu quả đạt được cũng chưa cao.

Luận văn này đã đề xuất một giao thức mới là giao thức DACB được phát triển kết hợp từ ACBPC và SUCRe. Giao thức này có tính linh hoạt nhằm mang lại hiệu quả giải quyết va chạm tốt hơn ACBPC đồng thời lại công bằng hơn SUCRe. Ngoài ra giao thức DACB vẫn giữ tính ổn định hơn SUCRe khi mạng trở nên rất đông đúc. Mặc dù vậy DACB vẫn tỏ ra kém hiệu quả hơn SUCRe khi mạng không quá đông đúc.

Hướng nghiên cứu tiếp tục trong tương lai là xây dựng giao thức kết hợp được cả ưu điểm của SUCRe và DACB. Nghĩa là trạm cơ sở khi đó phải phát hiện được số k UE chọn chung một pilot trong pha đầu tiên (mà không dùng phương pháp phát với công suất đảo ngược hệ số kênh). Nếu số k được báo xuống các UE vượt giá trị ngưỡng (mạng quá đông đúc), các UE tự biết chuyển sang giao thức DACB. Nếu số k nhỏ hơn giá trị ngưỡng các UE sẽ xử lý theo giao thức SUCRe.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Agarwal, “Arun.Evolution of Mobile Communication Technology towards 5G Networks and Challenges”, *Science and Education Publishing*, 2019
- [2] A. Laya, L. Alonso and J. Alonso-Zarate, "Is the Random Access Channel of LTE and LTE-A Suitable for M2M Communications? A Survey of Alternatives", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 16, no. 1, 2014, pp. 4-16.
- [3] E. Björnson, E. de Carvalho, J. H. Sørensen, E. G. Larsson, and P. Popovski, (2017), “A Random Access Protocol for Pilot Allocation in Crowded Massive MIMO Systems,” *IEEE Trans on Wirel. Comm.*, vol. 16, no. 4, pp. 2220-2234, April 2017.
- [4] E. Björnson, E. G. Larsson, and T. L. Marzetta, "Massive MIMO: Ten myths and one critical question" *IEEE Commun*, vol. 54, no. 2, pp. 114-123, Feb. 2016.
- [5] E. De Carvalho, E. Björnson, J. H. Sørensen, P. Popovski and E. G. Larsson, “Random Access Protocols for Massive MIMO”, *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 5, 2017, pp. 216-222.
- [6] M. Hasan, E. Hossain, and D. Niyato, “Random access for machine-to-machine communication in LTE-advanced networks: Issues and approaches,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 51, no. 6, pp. 86-93, 2013.
- [7] N. K. Pratas, H. Thomsen, C. Stefanovic, and P. Popovski, “Codeexpanded random access for machine-type communications,” in *IEEE Globecom Workshops*, 2012, pp. 1681-1686.
- [8] Itu.int, “Possible network parameters on IMT-2020/5G transport network”, 2017. <https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/20171016/Documents/Yoshikane.pdf>
- [9] J. Jose, A. Ashikhmin, T. L. Marzetta, and S. Vishwanath, “Pilot contamination and precoding in multi-cell TDD systems,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. 10, no. 8, pp. 2640-2651, 2011.

- [10] Jos'e Carlos Marinello, Taufik Abr'ao, Richard Demo Souza, Elisabeth de Carvalho, Petar Popovski, (2019), "Achieving Fair Random Access Performance in Massive MIMO Crowded Machine-Type Networks," *IEEE Wireless Communication Letters*, PP(99):1-1
- [11] Jovovic, Ivan & Forenbacher, Ivan & Periša, Marko, "Massive Machine-Type Communications", *An Overview and Perspectives Towards 5G*, 2015.
- [12] Suyang Duan, Vahid Shah-Mansouri, Zehua Wang, and Vincent Wong, (2016), "D-ACB: Adaptive Congestion Control Algorithm for Bursty M2M Traffic in LTE Networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*
- [13] T. L. Marzetta, "Noncooperative cellular wireless with unlimited numbers of base station antennas," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 9, no. 11, pp. 3590-3600, 2010.
- [14] Ha TH, Duong CH, Vu TA, Thang VX, Hung HG, "A Random Access Protocol for Massive MIMO:The Adaptive ACB based Collision Resolution"
Conference of NICS 2021, Hanoi 21-22/12/2021 at Le Qui Don University