NGHIÊN CỨU TIÊU CHUẨN KỸ THUẬT CỦA HỆ THỐNG THÔNG TIN DI ĐỘNG 5G VÀ ĐA TRUY NHẬP PHI TRỰC GIAO

Phạm Minh Triết¹

RESEARCH ON TECHNICAL CRITERIA OF 5G MOBILE COMMUNICATION SYSTEM AND NON-ORTHOGONAL MULTIPLE ACCESS

Pham Minh Triet¹

Tóm tắt – Ngày nay, nhu cầu kết nối thông tin mọi lúc mọi nơi, đặc biệt là nhu cầu Internet di động và Internet kết nối vạn vật (IoT), đã đặt ra ba yêu cầu quan trọng: giải quyết được số lượng kết nối, tăng tốc độ truy cập vào mạng và bảo mật cao hơn hẳn các mạng thông tin di động hiện tại. Từ đó, nhóm nghiên cứu của ITU-R đã xây dựng các nội dung liên quan đến chỉ tiêu kỹ thuật của hệ thống thông tin di động thế hệ thứ 5 (5G) với tên gọi là IMT-2020. Để giải quyết được một trong ba yêu cầu quan trọng của mạng viễn thông là khả năng kết nối lưu lượng lớn, công nghệ đa truy nhập phi trực giao (NOMA) đã được sử dụng. Khác với công nghệ đa truy nhập trực giao, NOMA phục vụ cho số lượng người dùng cực lớn nhờ sự phân bổ tài nguyên phi trực giao. Tham luận này sẽ giới thiệu về kỹ thuật NOMA và các tiêu chuẩn về tốc độ dữ liệu đỉnh, tốc độ người dùng trải nghiệm, băng thông, độ tin cậy, độ trễ, dung lượng truyền dẫn...

Từ khóa: 5G, NOMA, băng thông, tốc độ dữ liệu.

Abstract – Today, with the need of connecting information anytime, anywhere, especially mobile Internet and Internet of Things (IoT), this has set three important requirements: solving the number of connections, increasing the speed of access

and higher security than current networks. The ITU-R team has developed contents that related to the technical specifications of the 5th generation (5G) mobile communication system called IMT-2020. In order to address one of the three major requirements of network operators, which is high availability connectivity, non-orthogonal multiple access technologies (NOMA) have been used to solve the problem. In contrast to orthogonal multi-access technology, NOMA serves a large number of users due to the non-orthogonal resource allocation. This article will introduce NOMA techniques and standards for peak data rates, user experience, bandwidth, reliability, latency, transmission capacity...

Keywords: 5G, NOMA, bandwidth, data rate

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ở nước ta, các băng tần dành cho thông tin di động 2G/3G/4G hiện tại như: băng tần 900 Mhz, 1800 Mhz, 2100 Mhz... sẽ không đáp ứng được dung lượng băng thông liên tục cần thiết cho triển khai các dịch vụ di động tốc độ cao hàng Gb/s. Do vậy, mạng 5G bắt buộc phải sử dụng băng tần mới trong dãy 24,25 Ghz đến 86 Ghz kết hợp với các kỹ thuật mới để tăng tốc độ dữ liệu, có thể lên đến 20 Gb/s gấp hàng chục lần tốc độ mạng 4G hiện tại. Ta có thể thấy tốc độ và mức thời gian như Hình 1.

Yêu cầu đặt ra là truyền thông độ trễ thấp, tức là không chỉ đảm bảo kết nối liên tục mà còn

¹Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Trà Vinh
Email: minhtriet@tvu.edu.vn

¹School of Engineering and Technology, Tra Vinh University

Hình 1: So sánh tốc độ của các thế hệ di động [2]

phải kết nối đáp ứng thời gian thực và độ tin cậy cực cao trong môi trường có nhiều vật cản. Thông qua những thiết bị, máy móc, thậm chí là các chi tiết máy có khả năng kết nối vô tuyến và được lập trình, một mạng vô tuyến trong nhà máy được hình thành và cho phép theo dõi, giám sát, điều khiển tự động toàn bộ công đoạn và chu trình sản xuất. Trong những nhà máy này, không chỉ có con người mà cả các thiết bị, máy móc cũng được kết nối với nhau qua mạng.

II. NỘI DUNG

A. Yêu cầu về kỹ thuật của mạng 5G

Hình 2: Xu hướng kết nối của mạng 5G

Trong mạng 5G, mọi thứ đều được kết nối thông qua vô tuyến (Hình 2), vì vậy đòi hỏi khả

năng xử lý và dung lượng hệ thống phải cực lớn, yêu cầu bảo mật phải cực kỳ cao.

Để giải quyết vấn đề độ trễ thấp với độ tin cậy cực cao, phục vụ được cho các ứng dụng trong lĩnh vực y tế từ xa (chẩn đoán, điều trị và phẫu thuật), lĩnh vực giao thông vận tải (ô tô tự hành, giao thông thông minh), quản lý năng lượng, điều khiển tự động quá trình sản xuất trong công nghiệp..., sau gần hai năm nghiên cứu và thảo luận, tháng 2 năm 2017, nhóm nghiên cứu WP5D-SG5 của ITU-R đã đi tới thống nhất 13 chỉ tiêu kỹ thuật hệ thống thông tin di động 5G [1], đánh dấu một bước tiền quan trọng trong việc hình thành tiêu chuẩn 5G.

Hình 3: Chỉ tiêu kỹ thuật của hệ thống 5G [2]

Trong đó:

Tốc độ dữ liệu đỉnh là tốc độ dữ liệu tối đa có thể đạt được ở điều kiện lí tưởng (tính bằng bit/s), hay nói cách khác là số bit dữ liệu nhận được không bị lỗi của một trạm di động khi sử dụng toàn bộ tài nguyên vô tuyến có thể ấn định đối với mạng 5G. Tốc độ dữ liệu đỉnh yêu cầu đối với đường xuống là 20 Gb/s và tốc độ dữ liệu đỉnh đường lên là 10 Gb/s.

Hiệu suất phổ đỉnh là tốc độ dữ liệu tối đa ghi nhận trong điều kiện lí tưởng và được chuẩn hóa bởi giá trị độ rộng kênh (bit/s/Hz). Tốc độ dữ liệu tối đa là số bit dữ liệu nhận được của một máy di động trong điều kiện không có nhiễu, khi sử dụng toàn bộ tài nguyên vô tuyến. Yêu cầu tối thiểu cho hiệu suất phổ đỉnh đối với đường xuống là 30 bit/s/Hz và đối với đường lên là 15

bit/s/Hz.

Độ trễ gồm có hai dạng là độ trễ mặt phẳng người dùng và độ trễ mặt phẳng điều khiển. Trong đó:

Độ trễ mặt phẳng người dùng là độ trễ của mạng vô tuyến tính từ khi điểm nguồn gửi đi một gói dữ liệu cho đến khi điểm đích nhận được gói dữ liệu đó. Yêu cầu tối thiểu đối với độ trễ mặt phẳng người dùng là 4 ms đối với ứng dụng băng rộng di động nâng cao và 1 ms đối với ứng dụng truyền thông độ trễ thấp, độ tin cậy cực cao ở điều kiện hệ thống có một người dùng và gói bản tin có kích thước nhỏ.

Độ trễ mặt phẳng điều khiển là khoảng thời gian chuyển tiếp từ trạng thái chờ tới trạng thái bắt đầu truyền dữ liệu liên tục, yêu cầu tối thiểu đối với mặt phẳng điều khiển là 20 ms.

Hiệu suất phổ người dùng được xác định bởi giá trị của hàm phân phối xác suất tốc độ dữ liệu của người dùng đã được chuẩn hóa bởi độ rộng kênh (tính bằng đơn vị b/s/Hz). Trong đó, tốc độ dữ liệu của người dùng được chuẩn hóa R_i là số bit thu không lỗi trong phiên sử dụng dịch vụ $R_i(T_i)$ chia cho độ rộng kênh tần số W , yêu cầu về hiệu suất phổ người dùng điểm truy cập trong nhà là 0,3 b/s/Hz đường xuống và 0,21 b/s/Hz cho đường lên, khu đô thị là 0,225 b/s/Hz đường xuống và 0,15 b/s/Hz cho đường lên.

Hiệu suất phổ trung bình được xác định từ tổng số bit thu không lỗi trong các đơn vị dữ liệu dịch vụ SDUs được truyền tải tới lớp 3 của tất cả người dùng trong khoảng thời gian xác định chia độ rộng kênh tần số W của một băng tần số và số điểm thu phát TRxP (tính bằng đơn vị b/s/Hz/TRxP), yêu cầu về hiệu suất phổ trung bình điểm truy cập trong nhà là 9 b/s/Hz/TRxP cho đường xuống và 6,75 b/s/Hz/TRxP cho đường lên, khu vực đô thị 7,8 b/s/Hz/TRxP đường xuống và 5,4 b/s/Hz/TRxP cho đường lên.

Tốc độ di chuyển tối đa là tốc độ chuyển động tối đa của trạm di động 5G mà vẫn đảm bảo được chất lượng dịch vụ (QoS) theo yêu cầu.

Độ tin cậy là xác suất thành công trong việc truyền tải một gói dữ liệu ở lớp 2/3 trong khoảng thời gian tối đa cho trước. Khoảng thời gian này được tính từ điểm vào tới điểm ra của đơn vị

dữ liệu SDU ở lớp 2/3 trong giao diện vô tuyến với điều kiện kênh truyền vô tuyến cho trước. Hệ thống 5G cần đảm bảo đạt được độ tin cậy ở xác suất thành công từ $1-10^{-5}$ khi truyền dẫn một đơn vị dữ liệu PDU ở lớp 2 có kích thước 32 bytes trong khoảng thời gian 1 ms.

Dung lượng truyền dẫn là tổng dung lượng (Mb/s) mà hệ thống có thể phục vụ trên một khu vực địa lý. Yêu cầu này được định nghĩa cho ứng dụng băng rộng di động nâng cao với giá trị yêu cầu tối thiểu là 10 Mb/s/m² đối với các điểm truy cập trong nhà.

Tốc độ dữ liệu người dùng trải nghiệm được xác định tại điểm 5% của hàm phân phối xác suất (CDF) tốc độ dữ liệu của người dùng. Tốc độ dữ liệu của người dùng được định nghĩa là số bit thu được không lỗi trong các đơn vị dữ liệu dịch vụ (SDUs: Service Data Units) được truyền tải tới lớp 3 ở khoảng thời gian xác định. Tốc độ dữ liệu người dùng trải nghiệm trong môi trường đô thị đối với đường xuống là 100 Mbit/s và đường lên là 50 Mbit/s.

Mật độ kết nối là tổng số thiết bị kết nối trên một đơn vị diện tích (km²) đáp ứng chỉ tiêu chất lượng dịch vụ cho trước. Yêu cầu này được định nghĩa cho ứng dụng kết nối máy – máy số lượng cực lớn trong hệ thống 5G là 1.000.000 thiết bị trên 1 km².

Hiệu quả năng lượng là hiệu quả năng lượng mạng và hiệu quả năng lượng thiết bị. Hiệu quả năng lượng mạng là khả năng giảm năng lượng tiêu thụ của mạng truy cập vô tuyến tới mức nhỏ nhất có thể. Trong khi đó, hiệu quả năng lượng thiết bị là khả năng giảm năng lượng tiêu thụ bởi thiết bị tới mức nhỏ nhất có thể.

Thời gian gián đoạn khi di chuyển là khoảng thời gian tối thiểu được hỗ trợ bởi hệ thống khi thiết bị đầu cuối di động không thể truyền các gói tin với bất kỳ trạm gốc nào trong quá trình chuyển giao. Yêu cầu tối thiểu cho thời gian gián đoạn khi di chuyển là 0 ms.

Băng thông hỗ trợ là tổng băng thông hệ thống sử dụng một hoặc nhiều sóng mang tần số vô tuyến (RF: Radio Frequency). Yêu cầu đối với băng thông tối thiểu trong hệ thống 5G là 100 MHz và hệ thống phải hỗ trợ nhiều loại băng thông khác nhau.

13 tiêu chí kỹ thuật trên sẽ đặt ra nhiều tiềm năng và thách thức cho mạng thông tin di động 5G mà nước ta đang hướng tới. Nếu được triển khai thành công, mạng thông tin di động 5G với những ứng dụng mới được kỳ vọng sẽ đem lại sự thay đổi lớn cho nền công nghiệp và dịch vụ thông tin di động.

B. Kỹ thuật đa truy nhập phi trực giao

Để đáp ứng được các tiêu chí kỹ thuật của mạng 5G nêu trên, chúng ta buộc phải đưa vào một kỹ thuật đa truy nhập mới nổi bật hơn và khắc phục được những hạn chế của kỹ thuật đa truy nhập trước đây. Các kỹ thuật đa truy nhập trước đây như FDMA (Frequency-Division Multiple Access), TDMA (Time-Division Multiple Access), CDMA (Code-Division Multiple Access), OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) trong mạng di động 4G trở về trước chủ yếu là sơ đồ truy nhập trực giao (những người sử dụng khác nhau được phân bổ các nguồn tài nguyên trực giao trong miền thời gian, tần số hoặc mã nhằm tránh hoặc làm giảm can nhiễu liên người sử dụng), cách này có thể thu được độ lợi ghép kênh với độ phức tạp vừa phải nhưng không tối ưu về dung lượng. Với sự tăng trưởng nhanh chóng của Internet di động được dự báo là sẽ đẩy lưu lượng số liệu tăng lên gấp 1.000 lần vào năm 2020 cho 5G [3], do đó hiệu quả sử dụng phổ tần trở thành một trong những thách thức then chốt để xử lý sự bùng nổ lưu lượng số liệu như vậy. Hơn thế nữa, do sự phát triển nhanh chóng của Internet kết nối vạn vật (IoT), 5G cần hỗ trợ khả năng kết nối dung lượng cực lớn của người sử dụng, vì vậy kỹ thuật đa truy nhập NOMA được mong đợi sẽ làm tăng thông lượng hệ thống và khả năng kết nối dung lượng cực lớn để đáp ứng được tiêu chí của mạng 5G.

Hình 4 cho thấy sự khác biệt về phổ của hai người dùng giữa hệ thống OFDMA và NOMA. Trong OFDMA, tài nguyên tần số sẽ chia cho nhiều người dùng; còn NOMA với nguyên lý cơ bản phục vụ đồng thời nhiều người sử dụng trên cùng một tài nguyên tần số (chẳng hạn thời gian, tần số, mã và không gian) nhưng với những mức công suất khác nhau ở can nhiễu liên ô tối thiểu. Trái với đa truy nhập trực giao thông thường

Hình 4: Phổ OFDMA và NOMA [4]

OMA, trong đó mỗi người sử dụng được phục vụ trên nguồn phổ tần được cấp phát riêng độc quyền, NOMA chồng các tín hiệu bản tin của đa người sử dụng trong miền công suất ở máy phát bằng cách khai thác độ lợi kênh tương ứng. Loại bỏ can nhiễu liên tiếp (SIC) được áp dụng ở máy thu để phát hiện và giải mã cho đa người sử dụng.

Hình 5: Hoạt động của máy thu NOMA[4]

Hình 5 minh họa ba tín hiệu thông tin với các màu khác nhau được chồng lấp ở máy phát tín hiệu nhận được ở máy thu SIC bao gồm cả ba tín hiệu, tín hiệu đầu tiên SIC giải mã là tín hiệu có công suất mạnh nhất trong khi các tín hiệu khác được xem là nhiễu. Tín hiệu được giải mã đầu tiên sau đó sẽ được trừ khỏi tín hiệu nhận được. Quá trình sẽ tiếp tục lặp lại cho đến khi thu được tín hiệu mong muốn.

Kỹ thuật đa truy nhập trực giao OMA là hiệu quả sử dụng phổ tần thấp khi tài nguyên độ rộng băng tần (một số kênh sóng mang con) được phân bổ cho người sử dụng trong tình trạng chất lượng kênh không đảm bảo. Ngược lại, sử dụng NOMA cho phép mỗi người sử dụng truy nhập vào tất cả các sóng mang con và do đó, tài nguyên độ rộng băng tần được cấp phát cho người sử dụng trong tình trạng chất lượng kênh không đảm bảo có thể vẫn được truy nhập bởi những người sử dụng khác trong tình trạng kênh có chất lượng tốt, do đó làm tăng đáng kể hiệu quả sử dụng phổ tần. NOMA được xem xét là một phương pháp truy nhập mới làm tăng dung lượng bằng cách cho phép đa thiết bị người sử dụng (UE) chia sẻ cùng nguồn tài nguyên mà không có sự phân chia không gian. Khái niệm truyền dẫn đa người sử dụng (đa truy nhập) dựa trên việc chia sẻ các nguồn tài nguyên sẵn có ở trạm gốc (BS) cho những UE khác nhau. Loại truyền dẫn này cho phép tăng dung lượng mạng bằng cách sử dụng hiệu quả tài nguyên hơn ở truyền dẫn đơn người sử dụng.

Nguyên lý NOMA là lựa chọn các UE với độ lợi kênh phi đối xứng và ghép chúng vào cùng nguồn tài nguyên thời gian/tần số, bằng cách thực thi các sơ đồ truyền dẫn siêu vị trí và phân bổ công suất thích nghi ở máy phát. Tỷ lệ công suất phân bổ cho một UE sẽ phụ thuộc vào tình trạng kênh của nó: tình trạng chất lượng kênh không đảm bảo hơn thì tỷ lệ công suất của nó sẽ cao hơn.

Ở phía thu, sử dụng kỹ thuật loại bỏ can nhiễu (SIC) để phân tách người sử dụng. Ngoài loại NOMA ghép kênh miền công suất như đã trình bày ở trên, còn có loại NOMA ghép kênh miền mã. Ghép kênh miền mã tương tự như CDMA hoặc CDMA đa sóng mang (MC-CDMA), nghĩa là những người sử dụng khác nhau được đăng ký các mã khác nhau và sau đó được ghép với nhau trên cùng nguồn tài nguyên thời gian – tần số.

NOMA cho phép các can nhiễu có thể được điều khiển một cách dễ dàng bằng cách phân bổ nguồn tài nguyên phi trực giao với sự tăng độ chịu đựng nhiễu của máy thu. So với OMA, ưu điểm chính của NOMA bao gồm:

Cải thiện hiệu quả sử dụng phổ tần.

Hình 6: So sánh tỉ lệ người dùng giữa OFDMA và NOMA

Hình 6 mô phỏng giả định trong mạng có hai người dùng và xem xét kênh đường xuống để người dùng ở khoảng cách tương đương với BS có cùng tỉ số tín hiệu trên nhiễu $\text{SNR} = 10\text{dB}$. Kết quả cho thấy cặp tỉ lệ trong hệ thống NOMA cao hơn hệ thống OFDMA.

Khả năng kết nối dung lượng cực lớn: Sự phân bổ tài nguyên phi trực giao ở NOMA chỉ ra rằng số lượng người sử dụng hoặc thiết bị được cấp không hoàn toàn bị giới hạn bởi số lượng tài nguyên khả dụng và sự lập biểu (sự phân bổ tài nguyên) của chúng. Vì vậy, NOMA có thể cung cấp cho nhiều người sử dụng hơn một cách đáng kể bằng cách sử dụng phân bổ tài nguyên phi trực giao.

Hình 7 mô phỏng đường xuống với băng thông của hệ thống $W=5\text{Mhz}$ để so sánh về phổ và năng lượng của hệ thống OFDMA và NOMA. Kết quả trên cho thấy hệ thống NOMA có EE và SE cao hơn hẳn hệ thống OFDMA.

Trễ truyền dẫn và chi phí báo hiệu thấp: Ở OMA thông thường với sự truyền dẫn dựa trên vật cấp (ví dụ băng thông cấp phát, kỹ thuật điều chế và mã hóa, lệnh điều khiển công suất...), đầu tiên, người sử dụng phải gửi yêu cầu lập biểu đến trạm gốc (BS); sau đó, dựa trên yêu cầu thu được, BS thực hiện lập biểu cho truyền dẫn đường lên và gửi vật cấp trên kênh đường xuống. Thủ tục này khiến cho độ trễ lớn và chi phí báo hiệu lớn,

Hình 7: So sánh hiệu quả phổ và hiệu quả năng lượng của OFDMA và NOMA

đồng thời sẽ trở nên tồi tệ hơn và thậm chí không thể chấp nhận trong viễn cảnh khả năng kết nối dung lượng cực lớn ở 5G. Ngược lại, sự lập biểu này không yêu cầu ở một số sơ đồ đường lên ở NOMA và sự truyền dẫn đường lên không cần vật cấp có thể giảm mạnh trễ truyền dẫn và mào đầu báo hiệu.

III. KẾT LUẬN

Từ những ưu điểm đã phân tích trên, rõ ràng hệ thống NOMA vượt trội hơn so với hệ thống OFDMA. Vì vậy, để đạt được các yêu cầu kỹ thuật của mạng 5G, chúng ta bắt buộc phải sử dụng kỹ thuật NOMA để tăng dung lượng cũng như chất lượng của hệ thống. Tuy nhiên, ngoài việc sử dụng kỹ thuật NOMA, còn phải kết hợp với các kỹ thuật khác để cải thiện khả năng tính toán ở máy thu với giải thuật SIC đặc biệt và kết hợp thu phát phân tập MIMO để đảm bảo số lượng người dùng lớn và tốc độ dữ liệu cao.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] ITU-R WP5D, 2/2017, Draft new report ITU-R M.[IMT-2020.TECH PERF REQ], Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface.
- [2] Nguyễn Anh Tuấn, Nguyễn Đình Tuấn. Yêu cầu dịch vụ và kỹ thuật thông tin di động 5G. Thông tin và Truyền thông 2/2018.
- [3] Đàm Mỹ Hạnh. NOMA – Kỹ thuật truy nhập phi trực giao cho 5G. Thông tin và Truyền thông. 2/2018.
- [4] Refik Caglar Kizilirmak. Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) for 5G Networks. Intech. 2016.