

HIỆU NĂNG CỦA NOMA TRONG MÔI TRƯỜNG KÊNH TDL/CDL MẠNG 5G

Nguyễn Viết Đảm

Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

Tóm tắt: Bài báo thực hiện mô hình hóa và mô phỏng các kỹ thuật then chốt trên lớp vật lý của mạng 5G, bao gồm mô hình hóa và mô phỏng hiệu năng thông lượng ở mức liên kết của 5G trong mô hình kênh truyền sóng TDL/CDL, và mô phỏng phổ của dạng sóng 5G.

Từ khóa: Mạng 5G, mô hình kênh TDL/CDL.

I. GIỚI THIỆU CHUNG

Lĩnh vực thông di động đã phát triển với một tốc độ đáng kinh ngạc, đã trở thành một trong những ngành công nghiệp trụ cột cho sự phát triển kinh tế toàn cầu. Cho thấy rõ ràng, công nghệ truyền thông di động đang làm thay đổi cuộc sống và công việc của từng người, và sẽ tiếp tục ảnh hưởng sâu rộng lên sự phát triển xã hội [1, 2]. Con người ngày càng phụ thuộc vào nhu cầu về truyền thông di động. Gần đây, các doanh nghiệp đã đa dạng hóa các hình thức liên kết, sự kết nối trong truyền thông di động, dẫn đến sự phát triển nhanh chóng về công nghệ lưu trữ và xử lý dữ liệu lớn. Trong khi đó, nhiều đột phá đã được thực hiện và phát triển bộ xử lý trí tuệ nhân tạo và thiết bị thời gian thực. Sự xuất hiện của những công nghệ mới này đã mang lại sự tiện lợi lớn cho cuộc sống. Tuy nhiên, cũng xuất hiện không ít thách thức đối với thông di động hiện đại [3]. Vì vậy, tồn tại cả cơ hội và thách thức đối với thông tin di động 5G. Với người dùng, viễn cảnh của 5G là "thông tin đến như bạn muốn và mọi thứ đều được liên lạc" [4]. Cá nhân ta sẽ cảm thấy một bữa tiệc hấp dẫn của thời đại thông tin. Mục đích của 5G là xây dựng một hệ sinh thái thông tin ổn định, thuận tiện và kinh tế cho con người.

Trong 5G, các tính năng chủ đạo của thời đại thông tin sẽ được đưa vào sự phát triển của 5G và người dùng có thể tận hưởng cuộc sống thông minh và thuận tiện hơn [5]. Với sự phổ biến của các thiết bị đeo được, sự đa dạng về chủng loại và sự gia tăng về số lượng thiết bị đầu cuối di động sẽ tăng trưởng một cách bùng nổ. Dự đoán trong tương lai gần, sẽ gia tăng về nhu cầu thực tế ảo và trải nghiệm thực tế, nhu cầu đám mây dữ liệu vẫn phòng lớn, điều khiển không dây các quy trình sản xuất hoặc sản xuất công nghiệp, phẫu thuật y tế từ xa, tự động hóa trong lưới điện thông minh, giao thông an toàn và các khía cạnh khác, không chỉ yêu cầu tốc độ truyền dữ liệu mạng 5G để đạt mức rất cao, nhưng cũng yêu cầu trải nghiệm thời gian thực gần như không có trễ. Ngoài ra, việc giảm chi phí và tiết kiệm năng lượng cũng được xem xét.

Để có được các mô hình, giải thuật cho các mô hình tối ưu và thích ứng, nhằm tăng hiệu quả sử dụng tài nguyên vô tuyến, thì việc nghiên cứu kênh vô tuyến và rút ra các đặc tính, các tham số đặc trưng của kênh vô tuyến là vô cùng quan trọng. Kết quả, ta có được tập các tham số đặc trưng cho môi trường truyền thông. Trên cơ sở đó, thiết kế hệ thống truyền thông sao cho: tối ưu hóa chiếm dụng tài nguyên, tối ưu hóa các tham số hữu ích đồng thời giảm thiểu các tham số ảnh hưởng chất lượng. Sau đó

đánh giá hiệu năng của hệ thống truyền thông theo tập các tiêu chí hay tham số cụ thể. Các quá trình này không diễn ra độc lập mà có quan hệ khá mật thiết theo quy luật nhất định. Dẫn đến bài toán thiết kế tối ưu hệ thống truyền thông đòi hỏi phải phỏng tạo các quá trình này cũng như việc đánh giá chính xác chúng. Cần phải thiết lập mô hình hệ thống truyền thông cũng như đánh giá các mô hình này một cách chính xác nhất.

Trong khi "kênh" truyền thông biểu diễn môi trường vật lý giữa máy phát và máy thu, thì "mô hình kênh" trình bày quan hệ vào/ra của kênh ở dạng toán học hoặc thuật toán. Mô hình này có thể được rút ra từ đo đạc hoặc dựa trên lý thuyết truyền lan vật lý. Các mô hình dựa trên đo đạc dẫn đến việc đặc trưng hóa theo kinh nghiệm cho kênh trong miền tần số hoặc thời gian, và bao hàm các mô tả thống kê dưới dạng các biên ngẫu nhiên hoặc quá trình ngẫu nhiên. Các tham số của các phân bố cơ bản và các mật độ phổ công suất thường được ước tính từ số liệu đo. Ví dụ, rất khó sử dụng các kết quả đo từ một vùng thành phố này để đặc trưng hóa mô hình cho vùng thành phố khác trừ khi một lượng lớn dữ liệu được tập hợp rộng về không gian và đa dạng về địa hình, và cần có lý thuyết cơ bản đủ mạnh để giải thích ngoại suy mô hình đó cho vị trí mới.

Việc triển khai mô hình toán cho truyền lan tín hiệu cần có hiểu biết sâu về các hiện tượng vật lý cơ bản. Ví như: để mô hình hóa cho kênh vô tuyến tầng điện ly, phải hiểu rõ truyền lan sóng vô tuyến. Tương tự, phải có hiểu biết căn bản về kiến thức quang học mới triển khai được mô hình cho sợi quang đơn mode và đa mode.

Một trong những thách thức khi lập mô hình kênh là chuyển mô hình truyền lan vật lý chi tiết thành dạng phù hợp để mô phỏng. Từ viễn cảnh vật lý, các mô hình toán có thể quá chi tiết hoặc có thể không ở dạng phù hợp để mô phỏng. Ví như: mô hình toán cho kênh vô tuyến có thể có dạng phương trình Maxwell. Mô hình này phải được đơn giản và được chuyển sang dạng thuận tiện như: hàm truyền đạt hoặc đáp ứng xung kim trước khi mô phỏng. May thay, có phần dễ dàng hơn so với việc rút ra các mô hình vật lý cơ bản và định rõ các tham số của những mô hình này. Một khi rút ra được mô hình vật lý và định rõ

Tác giả liên hệ: Nguyễn Viết Đảm,

Email: damnvt@ptit.edu.vn

Đến tòa soạn: 11/2022, chỉnh sửa: 12/2022, chấp nhận đăng: 12/2022.

các giá trị của tham số, việc chuyển mô hình vật lý sang mô hình mô phỏng (thuật toán) thường dễ dàng.

Có rất nhiều các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu năng hệ thống như suy hao, che chắn, nhiễu, và đặc biệt là pha đỉnh kênh truyền. Với mạng 5G, có hai kênh pha đỉnh phổ biến đó là TD-L (Tapped Delay Line) và CDL (Clustered Delay Line).

Do vậy, trong bài báo này, mô phỏng kênh của đường xuống vô tuyến mới NR (New Radio) của thông tin di động 5G, đo/khảo sát và đánh giá hiệu năng thông lượng dữ liệu ở mức liên kết trong môi trường kênh vô tuyến loại CDL hoặc TD-L được thực hiện. Bộ chương trình MATLAB cho quá trình mô phỏng ở mức liên kết cho các dạng sóng OFDM, F-OFDM và W-OFDM và các khoảng cách sóng mang con vô tuyến mới NR trên 15kHz. Kênh truyền tải cung cấp mã hóa kênh NR LDPC, cũng như IR-HARQ tương thích. Bộ chương trình này sử dụng LTE PDSCH để cung cấp các sơ đồ truyền dẫn vòng hở và không xét cho tạo búp sóng.

Phần còn lại của bài báo được sắp xếp như sau. Phần II trình bày mô hình mô phỏng mức liên kết của 5G trong mô hình kênh truyền sóng TD-L/CDL. Kịch bản mô phỏng và kết quả mô phỏng được trình bày trong phần III. Tiếp sử dụng sơ đồ mã hóa LDPC đã được thỏa thuận tại 3GPP RAN1-NR # 2, và cũng kết hợp với việc phù hợp hóa tốc độ để hỗ trợ IR-HARQ. Phân gán thêm CRC, phân đoạn khối mã và ghép nối vẫn giống như trong LTE DL-SCH. Loại mã hóa và phù hợp hóa tốc độ cũng tương thích với mã hóa turbo LTE.

Bộ chương trình này sử dụng LTE PDSCH để triển khai tập các sơ đồ truyền dẫn vòng lặp hở (LTE TM1, TM2 và TM3) và định nghĩa các phân tử tài nguyên cụ thể được phân bổ cho kênh đo. Việc ứng dụng của LTE PDSCH có nghĩa là, số khối tài nguyên trong mô phỏng không thể vượt quá giới hạn của LTE là 110, tuy nhiên băng thông lớn hơn 20 MHz có thể được mô hình hóa bằng cách tăng khoảng cách sóng mang con. Việc sử dụng các sơ đồ truyền dẫn LTE này cũng có nghĩa là số lượng anten phát liên quan đến PDSCH sẽ được xác định bởi tham số LTE 'CellRefP', tuy nhiên không có tín hiệu tham chiếu cụ thể nào được sử dụng trong mô phỏng. Phân bổ LTE PDSCH sẽ luôn trải dài 14 hoặc 12 ký hiệu OFDM (CP bình thường hoặc CP mở rộng) nhưng loại trừ các ký hiệu và thành phần tài nguyên được chỉ định cho điều khiển LTE, phát quảng bá và tín hiệu vật lý. Điều này cho

theo, phần IV sẽ đưa ra kết quả mô phỏng phổ của dạng sóng 5G. Cuối cùng kết luận của bài báo.

II. MÔ HÌNH MÔ PHỎNG MỨC LIÊN KẾT CỦA 5G TRONG MÔ HÌNH KÊNH TD-L/CDL

Bộ chương trình mô phỏng này cho phép đo đánh giá thông lượng kênh dữ liệu của liên kết vô tuyến mới 5G NR. Mô hình liên kết dựa trên các thỏa thuận cho eMBB trong báo cáo kỹ thuật TR 38.802 và các tài liệu cuộc họp 3GPP RAN bổ sung. Nó kết hợp các tính năng của cả xử lý đường xuống 5G NR và LTE để cung cấp mô phỏng mức liên kết nhưng nó cũng phù hợp để mô hình hóa các khía cạnh của đường lên vô tuyến mới NR. Các khả năng 5G được triển khai bao gồm W-OFDM (WOLA-OFDM), F-OFDM (OFDM được lọc) và OFDM cơ bản, khoảng cách giữa các sóng mang con trong vô tuyến mới và số khung ($2^n * 15kHz$) cho tiền tố tuần hoàn bình thường và mở rộng, mã hóa kênh truyền tải LDPC NR DL-SCH, theo thỏa thuận tại RAN1-NR # 2, và mô hình kênh lan truyền sóng là TD-L và CDL, được đặc tả trong TR 38.901.

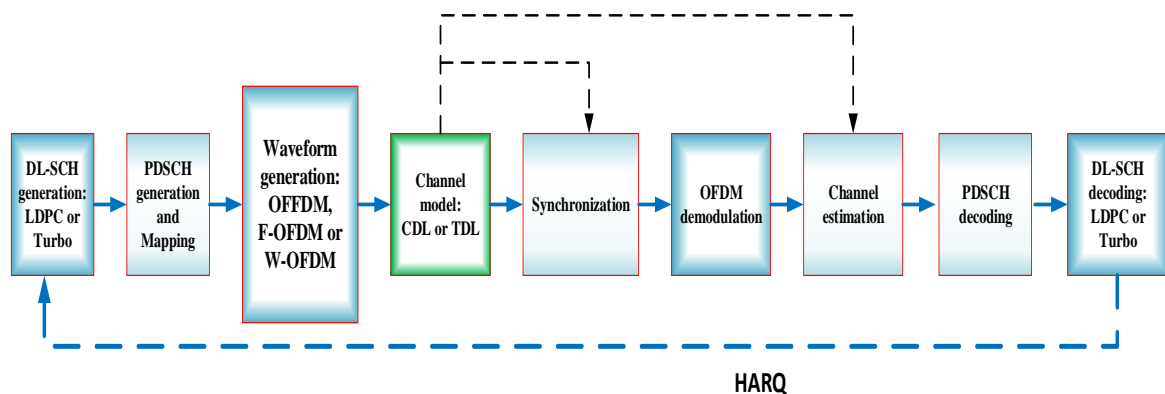
Kênh truyền tải NR DL-SCH trong chương trình này

phép so sánh thông lượng giống như được thực hiện giữa các liên kết 5G NR nguyên mẫu và LTE. Số lượng ký hiệu cho từng PDSCH vẫn được cố định trên tất cả các khoảng cách sóng mang con. Theo thỏa thuận NR, đối với tiền tố tuần hoàn thông thường, ký hiệu OFDM đầu tiên trong mỗi khoảng thời gian 0,5ms sẽ dài hơn tất cả các loại khác.

Tóm tắt các tính năng then chốt của mô phỏng thông lượng:

- + Chỉ truyền dữ liệu, tức là không có tín hiệu tham chiếu hoặc các kênh khác;
- + NR DL-SCH với LDPC và IR-HARQ tương thích (phân đoạn khối mã LTE);
- + Phân bổ LTE PDSCH với các sơ đồ truyền LTE vòng hở;
- + Dạng sóng điều chế OFDM, F-OFDM và W-OFDM;
- + Khoảng cách sóng mang con NR và số khung;
- + Mô hình kênh truyền sóng kiểu TD-L và CDL;
- + Đồng bộ và ước tính kênh hoàn hảo.

Mô hình mô phỏng mức hiệu năng mức liên kết của 5G trong mô hình kênh truyền sóng TD-L/CDL được cho



Hình 1. Mô hình mô phỏng mức hiệu năng mức liên kết của 5G trong mô hình kênh truyền sóng TD-L/CDL

ở hình 1, thể hiện chuỗi xử lý tín hiệu. Mã hóa kênh LDPC được triển khai như một phần của NR DL-SCH. LTE PDSCH để tạo ra lưới tài nguyên liên quan đến việc truyền dữ liệu. Ở các khoảng cách sóng mang con 15kHz, khoảng cách này sẽ bao trùm toàn bộ khung con 1ms. Tổng quát hơn, đối với các khoảng cách sóng mang con $2^n \cdot 15\text{kHz}$, từng PDSCH sẽ đều có chiều dài $1/n$ ms. Các chế độ truyền dẫn LTE được hỗ trợ trực tiếp trong mô

Ở phía thu, việc đồng bộ hóa và ước tính kênh hoàn hảo được giả định. Sau khi giải điều chế, PDSCH và DL-SCH được giải mã.

III. KỊCH BẢN MÔ PHÒNG VÀ KẾT QUẢ

Trong phần này, trước tiên kịch bản mô phỏng được thiết lập sau đó các kết quả mô phỏng được đưa ra. Đầu tiên, thiết lập độ dài của mô phỏng theo số lượng khung 10ms. Thiết lập các điểm SNR để mô phỏng. Sau đó, cấu hình hóa gNodeB và PDSCH:

- + Bảng thông trong các khối tài nguyên (12 sóng mang con trên mỗi khối tài nguyên). Lưu ý rằng, chiếm dụng băng thông lớn hơn có thể được sử dụng cho các dạng sóng W-OFDM và F-OFDM so với CP-OFDM, chẳng hạn như, 108 RB so với 100 RB;
- + Khoảng cách sóng mang con: 15, 30, 60, 120, 240, 480 [kHz];
- + Dạng sóng: 'F-OFDM', 'W-OFDM', hoặc 'CP-OFDM';
- + Mô hình kênh truyền sóng: 'TDL' hoặc 'CDL';
- + Số lượng anten phát LTE PDSCH (Được xác định bởi CellRefP: 1, 2 hoặc 4);
- + Sơ đồ truyền LTE: 'Port0', 'TxDiversity' hoặc 'CDD';
- + Tỷ lệ mã mục tiêu;
- + Khối tài nguyên được phân bổ (PRBSet);
- + Sơ đồ điều chế: 'QPSK', '16QAM', '64QAM', '256QAM';
- + Mã hóa kênh truyền tải: 'LDPC', 'Turbo'.

Tiếp theo, thực hiện gọi chương trình lteRMCDL để tạo các tham số LTE eNodeB mặc định không được chỉ định trong tham số mô phỏng. Chúng sẽ được sử dụng sau này để định cấu hình hóa kênh PDSCH của LTE (kích thước khối truyền tải, v.v.). Sau đó, thiết lập quy trình HARQ. Việc thu nhận chuỗi xử lý HARQ dựa trên LTE (8 quy trình HARQ theo mặc định), được thực hiện bởi chương trình lteRMCDLTool.

Cấu trúc PDSCH chứa, trong số các trường khác, kích thước khối truyền tải và trình tự phiên bản dự cho từng khối truyền tải/từ mã trong khung 10ms (truyền 10 PDSCH trên 10ms ở 15kHz SCS). Chúng sẽ được sử dụng sau này trong mô phỏng.

Cấu hình hóa dạng sóng như sau:

Việc thiết lập các tham số bổ sung tùy thuộc vào loại dạng sóng điều chế.

Đối với W-OFDM, ta thiết lập cho các tham số đặc trưng như hệ số dốc của cửa sổ; các mẫu của hàm cửa sổ hóa. Tham số này là tùy chọn, và mặc định cho hệ số dốc cosin nếu không được chỉ định.

Đối với F-OFDM, ta thiết lập cho các tham số đặc trưng gồm chiều dài bộ lọc; sự bù tone (tone offset).

Cấu hình hóa mô hình kênh truyền sóng gồm:

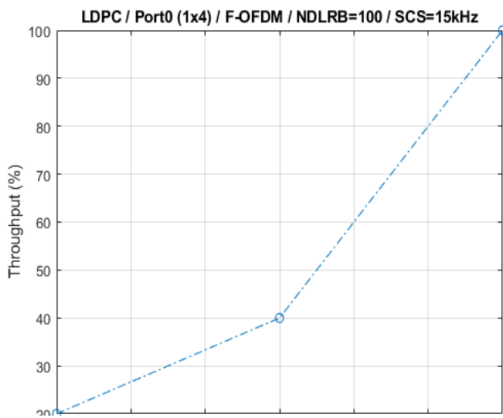
phòng là ăng ten đơn (TM1), phân tập phát (TM2) và CDD (TM3) (cả 2 và 4 ăng ten). Dạng sóng điều chế trong miền thời gian được tạo bởi F-OFDM, W-OFDM hoặc OFDM. Lưu ý rằng, khác với LTE, NR sử dụng sóng mang con DC để truyền dữ liệu. Tín hiệu kết quả được truyền qua kênh CDL hoặc TDL và bị tạp âm hóa (kết hợp cả kênh pha đỉnh và kênh AWGN). Mô hình kênh truyền sóng cho 5G dựa trên báo cáo kỹ thuật TR 38.901.

- + Tạo đối tượng mô hình kênh truyền sóng. Cả hai mô hình kênh CDL và TDL đều được hỗ trợ;
- + Tốc độ lấy mẫu cho mô hình kênh được thiết lập bằng cách sử dụng giá trị từ chương trình h5gOFDMInfo.
- + Lấy số lượng tối đa của các mẫu bị trễ. Nó xuất phát từ đường truyền sóng của kênh có độ trễ lớn nhất và độ trễ thực hiện của bộ lọc kênh. Điều này được yêu cầu sau này để thực hiện lọc kênh nhằm có được tín hiệu thu (tín hiệu sau khi qua môi trường truyền sóng).

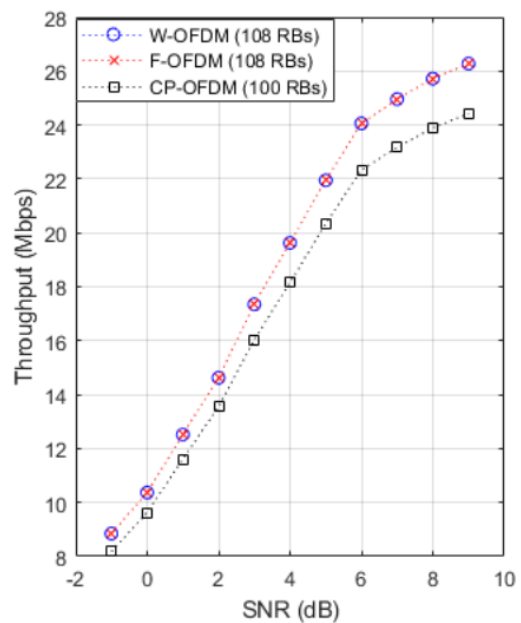
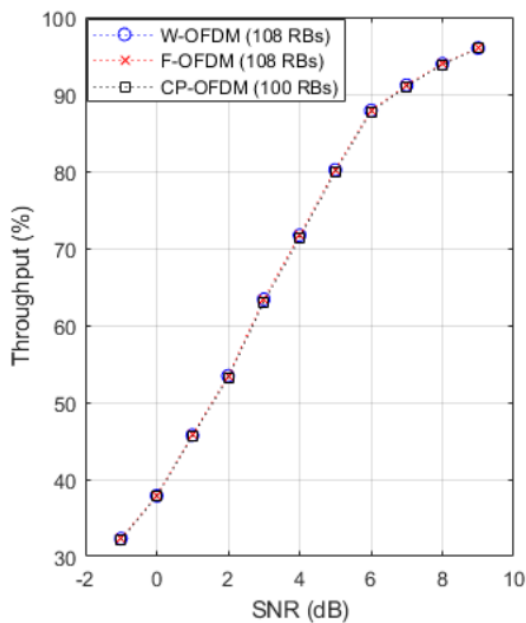
Xử lý vòng lặp được thực hiện như sau:

Để xác định thông lượng tại mỗi điểm SNR (từng giá trị của SNR), dữ liệu PDSCH được phân tích trên mỗi phiên bản truyền bằng các bước sau:

- + Cập nhật quy trình HARQ hiện hành. Quá trình HARQ mang dữ liệu truyền tải mới hoặc truyền lại dữ liệu truyền tải trước đó tùy thuộc vào ACK hoặc NACK. ACK hoặc NACK không được truyền đi trong Bộ chương trình này, thay vào đó, nó được báo hiệu sử dụng kết quả CRC. Tất cả điều này được xử lý bởi bộ lập lịch HARQ, hHARQscheduling.m. Dữ liệu PDSCH được cập nhật dựa trên trạng thái HARQ.
- + Tạo lưới tài nguyên. Dữ liệu được tạo bởi quy trình HARQ, được mã hóa và điều chế trên kênh PDSCH bởi chương trình h5gDLSCH và chương trình ltePDSCH.
- + Tạo dạng sóng. Lưới được tạo ra, sau đó được điều chế bằng CP-OFDM, F-OFDM hoặc W-OFDM.
- + Mô hình kênh tạp âm. Dạng sóng được truyền qua kênh CDL hoặc TDL, sau đó được tạp âm hóa bởi AWGN.
- + Đồng bộ hóa và giải điều chế OFDM. Thông tin có được từ kênh truyền sóng, được sử dụng để đồng bộ hóa hoàn hảo. Các ký hiệu sau đó được giải điều chế OFDM bằng cách sử dụng CP-OFDM, F-OFDM hoặc W-OFDM theo yêu cầu.
- + Ước tính kênh hoàn hảo. Vì không có tín hiệu tham chiếu nào khả dụng, nên việc ước tính kênh hoàn hảo được sử dụng. Điều này có được với thông tin được kênh trả về.
- + Giải mã PDSCH. Các ký hiệu PDSCH được khôi phục cho từng cặp ăng-ten phát/thu, cùng với ước tính tạp âm, được giải điều chế và giải mã bởi chương trình h5gPDSCHDecode để có được ước tính của các từ mã thu, đầu ra LLR tương thích với bộ giải mã LDPC, được sử dụng trong giải mã NR DL-SCH.
- + Giải mã kênh chia sẻ đường xuống (DL-SCH) và lưu trữ lỗi khối CRC cho quy trình HARQ. Vectơ của các bit mềm được giải mã, được truyền đến h5gDLSCHDecode để giải mã từ mã và trả về lỗi khối CRC và được sử dụng để xác định thông lượng của hệ thống. Nội dung của bộ đệm mềm được cập



Hình 2. Hiệu năng thông lượng ở mức liên kết của 5G trong mô hình kênh truyền sóng TD/LCD



Hình 3. So sánh hiệu năng thông lượng ở mức liên kết cho ba dạng sóng W-OFDM, F-OFDM, CD-OFDM trong mô hình kênh truyền sóng TD/LCD

IV. MÔ PHỎNG PHỔ CỦA DẠNG SÓNG 5G

Bộ chương trình này mô phỏng các đặc tính phổ của các dạng sóng: W-OFDM, F-FDM và CP-OFDM. Các dạng sóng này được phân tích theo lượng công suất bị rò rỉ vào các dải tần lân cận và RMS EVM của chúng. Hai trường hợp được mô phỏng: trường hợp tuyến tính và phi tuyến (trường hợp có bộ khuếch đại công suất PA).

Cụ thể là, dưới đây các nội dung then chốt được trình lọc: Dạng sóng vô tuyến mới; Phát xạ ngoài băng mà không cắt PA; Phát xạ ngoài băng có cắt PA; Thay đổi băng thông và khoảng cách sóng mang con.

5G sẽ sử dụng OFDM với tiền tố tuần hoàn làm sơ đồ điều chế. Để tăng hiệu quả phổ tần, cần phải kiểm soát phát xạ ngoài băng. LTE đã thực hiện lọc và cửa sổ hóa để kiểm soát sự rò rỉ phổ. Tuy nhiên, trong LTE, giới hạn chiếm dụng băng thông 90% là bắt buộc. Trong bộ chương trình mô phỏng này: đối với băng thông 20 MHz, tín hiệu LTE được truyền bằng 100 khối tài nguyên (RB), chiếm tổng cộng $100 * 12 * 15e3 = 18 \text{ MHz}$ (12 sóng mang

nhật, harqProc (harqIdx).decState, sẵn có ở đầu ra của chương trình/hàm này sẽ được sử dụng khi giải mã truyền lại tiếp theo, nếu cần.

Một số kết quả mô phỏng được thể hiện ở các hình dưới đây. Hình 2 là kết quả thông lượng đo được. Thông lượng được tính là tỷ lệ phần trăm của thông lượng tối đa của liên kết mà đã được cung cấp các tài nguyên khả dụng để truyền dữ liệu. Kết quả chỉ ra rằng, thông lượng tăng gần như tuyến tính so với SNR.

Hình 3 cho thấy thông lượng đạt được khi mô phỏng 1000 khung cho cả ba dạng sóng (trường hợp ăng ten đơn) và mã hóa LDPC. Các kết quả có được bằng cách sử dụng lý lịch trễ truyền sóng CDL-A và trải trễ 30 ns. Lưu ý rằng, do chiếm dụng băng thông lớn hơn của W-OFDM và F-OFDM, thông lượng tuyệt đối tính bằng Mbps có thể tăng theo tỷ lệ, tức là hiệu quả sử dụng phổ tần tốt hơn.

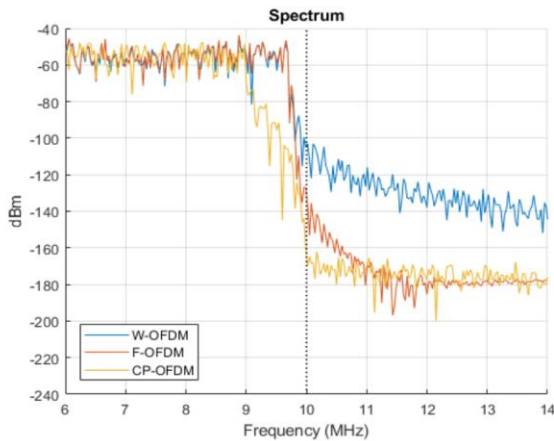
trên mỗi khoảng cách sóng mang RB và 15 kHz). Trong 5G, giới hạn chiếm dụng băng thông 90% không được áp dụng, có khả năng cho phép tăng hiệu quả phổ.

Trong Bộ chương trình này, ta có thể khám phá/khai thác ảnh hưởng của việc sử dụng các băng thông khác nhau cho các dạng sóng được đề xuất mới (W-OFDM và F-OFDM) và ảnh hưởng của các tham số đã chọn theo: Chất lượng dạng sóng: EVM; Lượng công suất bị rò rỉ vào băng tần lân cận.

Bộ chương trình này hỗ trợ mô phỏng các dạng sóng sau: W-OFDM; F-OFDM; CP-OFDM (đây là dạng sóng LTE, bao gồm lọc để đáp ứng các yêu cầu ACLR của LTE).

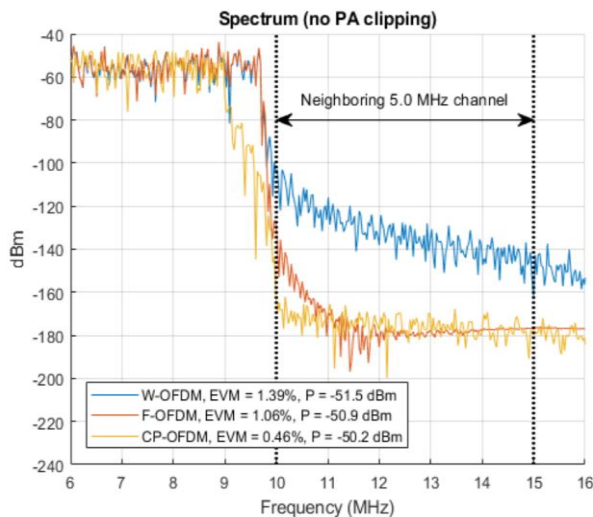
Với sự chiếm dụng băng thông gia tăng, lượng phát xạ ngoài băng phải được kiểm soát. Trong 5G, một số kỹ thuật lọc và cửa sổ hóa đã được đề xuất, chẳng hạn như W-OFDM và F-OFDM. Hình 4 cho thấy phổ ở rìa băng tần của tín hiệu LTE 20 MHz (CP-OFDM) khi sử dụng 100 RB. Kết quả mô phỏng cũng cho thấy phổ của tín

hiệu W-OFDM và của F-OFDM chiếm 108 RB. Lưu ý rằng tín hiệu LTE (CP-OFDM) đã được lọc để đáp ứng các yêu cầu ACLR ngoài băng tần. Quan sát cho thấy rằng, các dạng sóng W-OFDM và F-OFDM sử dụng nhiều băng thông hơn, có khả năng làm tăng hiệu suất phổ.



Hình 4. So sánh hiệu năng chiếm dụng phổ tần của các dạng sóng: CP-OFDM; W-OFDM

Một trong những thách thức trong thiết kế 5G là tạo ra lượng phát xạ ngoài băng phù hợp, tức là sử dụng bộ lọc nào trong F-OFDM và mức độ cửa sổ và ký hiệu chùng lẫn trong W-OFDM. Kết quả mô phỏng dưới đây cho thấy phổ ở rìa của dải tần được chiếm dụng (100 RB cho CP-OFDM, và 108 RB cho W-OFDM và F-OFDM). Kết quả mô phỏng cũng cho thấy, phổ của tín hiệu rò rỉ vào dải lân cận. Các kết quả mô phỏng hiển thị EVM RMS và công suất bị rò rỉ trong băng 5 MHz bên cạnh dải tần quan tâm, tức là giữa 10 MHz và 15 MHz trong phổ hai phía đối với kênh 20 MHz.

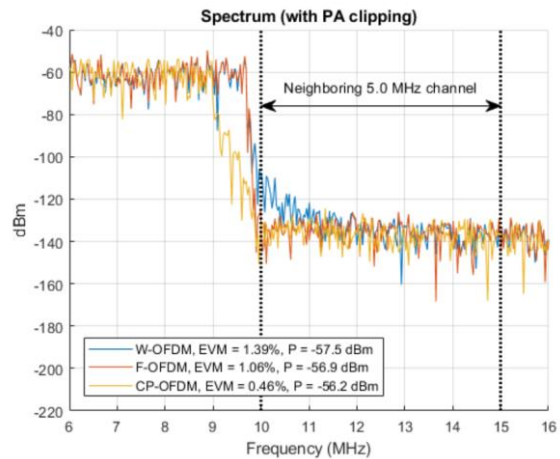


Hình 5. Minh họa sự phát xạ ngoài băng của dạng sóng: CP-OFDM; W-OFDM

Kết quả mô phỏng ở hình 6 chỉ ra rằng, F-OFDM tốt hơn W-OFDM trong việc giảm lượng phát xạ ngoài băng tần. Tuy nhiên, khi xem xét tính phi tuyến tính của bộ khuếch đại công suất, ta thấy rằng, lợi ích của việc sử dụng F-OFDM so với W-OFDM đã giảm (xem bên dưới). Ngoài ra, việc lọc trong F-OFDM có thể dẫn đến độ phức

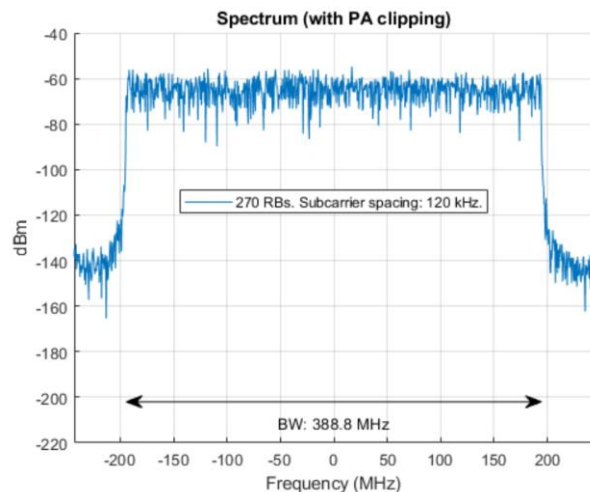
tạp tính toán cao hơn khi so sánh với cửa sổ miền thời gian (W-OFDM)

Việc lọc và cửa sổ hóa có thể dẫn đến suy giảm chất lượng tín hiệu, điều này được đo thông qua EVM, cũng được thể hiện trong các hình trên. Giá trị được hiển thị là EVM RMS. Các kết quả ở trên được tạo bằng bộ lọc 513 cho F-OFDM và cửa sổ có hệ số alpha là 0,11.



Hình 6. Minh họa sự phát xạ ngoài băng của dạng sóng: CP-OFDM; W-OFDM khi có sự xén PA

Bộ chương trình mô phỏng cho phép thay đổi khoảng cách sóng mang con và số khối tài nguyên được phân bổ. Trong Bộ chương trình này, ta đã chọn tổng cộng 270 khối tài nguyên với khoảng cách sóng mang con là 120 kHz. Điều này dẫn đến băng thông chiếm dụng là 388,8 MHz, tức là chiếm 97,2% băng thông cho tổng băng thông khả dụng là 400 MHz (hình 7).



Hình 7. Minh họa chiếm phổ khi có sự xén PA

V. KẾT LUẬN

Bài báo đã đa thực hiện mô hình hóa và mô phỏng các kỹ thuật then chốt trên lớp vật lý của thông thi di động 5G. Cụ thể là: Mô hình hóa và mô phỏng hiệu năng thông lượng ở mức liên kết của 5G trong mô hình kênh truyền sóng TDL/CDL và mô phỏng phổ của dạng sóng 5G.

REFERENCES

- [1] G. Hattab and M. Ibnkahla, Multiband cognitive radio: *great promises for future radio access*, Proceedings of the IEEE, 102 (3), 282–306, March 2014.
- [2] Prabhat Thakur; Ghanshyam Singh, *Spectrum Mobility in Cognitive Radio Networks Using Spectrum Prediction and Monitoring Techniques*, Wiley Telecom, 2021.
- [3] Shanidul Hoque, *Spectrum handoff performance in opportunistic and negotiated situations for cognitive radio networks*, TENCON 2017 - 2017 IEEE, 2017.
- [4] C. W. Wang, L. C. Wang, and F. Adachi, *Modeling and analysis for reactive-decision spectrum handoff in cognitive radio networks*, in IEEE GLOBECOM, Miami, FL, 2010.
- [5] L. Wang and C. Anderson, *On the performance of spectrum handoff for link maintenance in cognitive radio*, in Proceedings of the International Symposium on Wireless Pervasive Computing, Santorini, Greece, 2008.
- [6] 3GPP TR 38.901. "Study on channel model for frequency spectrum above 6 GHz." 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network. URL: <http://www.3gpp.org>.
- [7] 3GPP TR 38.901 "Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz".
- [8] 3GPP TR 38.802 "Study on new radio access technology; Physical layer aspects".
- [9] 3GPP TR 38.211 "NR; Physical channels and modulation".
- [10] R1-166999, "Detailed configuration of F-OFDM and W-OFDM for LLS evaluation", Spreadtrum Communications, 3GPP RAN WG1 #86, August 2016.
- [11] R1-1711982, "WF on LDPC parity check matrices", , Nokia, Samsung, Huawei, ZTE, MediaTek, Qualcomm, LG, Ericsson, Intel, CATT, 3GPP TSG RAN WG1 meeting, June 2017.
- [12] Arikan, E., "Channel Polarization: A Method for constructing Capacity-Achieving Codes for Symmetric Binary-Input Memoryless Channels," IEEE Transactions on Information Theory, vol. 55, No. 7, pp. 3051-3073, July 2009.
- [13] Niu, K., and Chen, K., "CRC-Aided Decoding of Polar Codes," IEEE Communications Letters, vol. 16, No. 10, pp. 1668-1671, Oct. 2012.
- [14] 3GPP TR 38.802, "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Study on New Radio Access Technology Physical Layer Aspects (Release 14), v14.1.0, 2017-06.

NOMA PERFORMANCE IN TDL/CDL CHANNEL ENVIRONMENT OF 5G NETWORK

Abstract: The paper performs modeling and simulation of key techniques on the physical layer of 5G

networks, including modeling and simulating 5G link-level throughput performance in the TDL/CDL model, and spectrum simulation of 5G waveforms.

Keywords: 5G network, TDL/CDL channel model.



Nguyễn Việt Đam Tốt nghiệp thạc sỹ ngành Viễn thông tại Học viện Công nghệ Bưu chính viễn thông (PTIT), Viet Nam, 2010. Hiện đang là giảng viên bộ môn Vô tuyến, Khoa Viễn thông 1, Học viện CNBCVT. Chuyên ngành nghiên cứu gồm thông tin di động, các mã đường truyền, mô phỏng kênh vô tuyến, mạng vô tuyến băng rộng.