

ĐÁNH GIÁ MỘT SỐ PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU CHẾ TIỀM NĂNG CHO HỆ THỐNG VÔ TUYẾN THẾ HỆ THỨ NĂM VÀ CÁC THẾ HỆ TIẾP THEO

REVIEW ON POTENTIAL MODULATION SCHEMES FOR 5G AND NEXT GENERATION WIRELESS SYSTEMS

Đặng Trung Hiếu¹, Nguyễn Lê Cường¹, Phùng Xuân Bình², Trần Văn Nghĩa³

¹Trường Đại học Điện lực, ²Tổng Công ty Viễn thông MobiFone, ³Học viện Phòng không - Không quân

Ngày nhận bài: 06/05/2020, Ngày chấp nhận đăng: 20/10/2020, Phản biện: TS. Nguyễn Thị Kim Thoa

Tóm tắt:

Trong bài báo này, chúng tôi thảo luận về 4 phương pháp điều chế tiềm năng cho hệ thống vô tuyến thế hệ thứ năm (5G) và các thế hệ tiếp theo, bao gồm FBMC (Filter Bank Multicarrier), GFDM (Generalized Frequency Division Multiplexing), UFMC (Universal Filtered Multicarrier) và f-OFDM (filtered-OFDM). Đây là các dạng sóng có đặc tính phổ tốt, có khả năng giải quyết được vấn đề ICI (Inter-Carrier Interference) trong các hệ thống OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Một sự so sánh về các đặc tính và tham số mật độ phổ công suất của các dạng sóng được đề cập tới. Cuối cùng, chúng tôi chỉ ra một số vấn đề gặp phải và hướng giải quyết chúng để áp dụng các dạng sóng này vào các hệ thống vô tuyến thế hệ tiếp theo.

Từ khóa:

Điều chế đa sóng mang, hệ thống vô tuyến thế hệ tiếp theo.

Abstract:

In this paper, we review on four potential modulation schemes for 5G and next generation wireless system, including: FBMC (Filter Bank Multicarrier), GFDM (Generalized Frequency Division Multiplexing), UFMC (Universal Filtered Multicarrier) và f-OFDM (filtered-OFDM). These are the waveforms which have good spectral property, so they can overcome the problem of inter-carrier interference (ICI) in orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) systems. Next, a comparison of properties and power spectral density (PSD) of waveforms is mentioned. Finally, some technical problems are pointed out and possible solutions are proposed to apply these waveforms to next generation wireless systems.

Keywords:

Torque constant; permanent magnet synchronous machine; state estimation; nonlinear observation; parameter identification.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Trong những năm gần đây, công nghệ vô tuyến băng rộng thế hệ thứ năm đã có sự

phát triển nhanh chóng, trong đó, các kỹ thuật xử lý tín hiệu đang đóng vai trò quan trọng nhất và thu hút sự quan tâm

nghiên cứu sâu rộng của các nhà nghiên cứu hàng đầu trên toàn thế giới. Một số kỹ thuật xử lý tín hiệu mới được đề xuất và đang được xem xét để phát triển, triển khai thành các tiêu chuẩn quốc tế, trong đó phải kể đến các phương pháp mã hóa và điều chế mới [1].

Đã có những cuộc thảo luận sôi nổi trong cộng đồng khoa học cũng như các nhóm tiêu chuẩn hóa quốc tế về định dạng điều chế sẽ được sử dụng cho hệ thống vô tuyến 5G [1]-[4]. Theo [1], không giống các hệ thống vô tuyến trước đây như 2G, 3G hay 4G, các công nghệ 5G không hướng đến xác định bất kỳ tham số nổi trội nào. Thay vào đó, một số kỹ thuật xử lý tín hiệu mới sẽ được đề xuất để làm tăng đáng kể tốc độ dữ liệu, tăng hiệu quả về công suất, hiệu quả phổ tần cũng như tính linh hoạt, khả năng tương thích, độ tin cậy và độ hội tụ của hệ thống. Nhờ đó, ngoài các ứng dụng truyền thống, các hệ thống 5G sẽ có thể xử lý các yêu cầu phát sinh từ các ứng dụng mới như dữ liệu lớn (Big Data), dịch vụ đám mây (Cloud) và giao tiếp giữa các máy.

Hiệp hội Viễn thông 3GPP cuối cùng quyết định tiếp tục sử dụng kỹ thuật OFDM với một số sửa đổi nhỏ cho hệ thống vô tuyến 5G [5]-[7] nhằm đảm bảo khả năng tương thích với các hệ thống vô tuyến 4G hiện tại. Tuy nhiên, lợi thế chính của OFDM trong 4G là độ phức tạp thấp và hiệu quả băng thông rất cao sẽ không còn khi cố áp dụng nó trong các mạng phức tạp hơn, như mạng đa người dùng, còn được gọi là đa truy cập phân

chia theo tần số trực giao OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access). Nguyên nhân dẫn đến vấn đề này là do yêu cầu đồng bộ hóa tất cả các tín hiệu người dùng tại trạm gốc.

Như đã biết rằng, đồng bộ thời gian và sóng mang là nhiệm vụ khó khăn nhất trong các hệ thống OFDMA [8]. Để giải quyết vấn đề này, một số nhà nghiên cứu đã giảm bớt yêu cầu để đạt được việc đồng bộ hóa gần hoàn hảo bằng phương pháp bù lệch tần số sóng mang CFO (Carrier Frequency Offset) và đã đề xuất các phương pháp loại bỏ nhiễu đa người dùng [9], [10]. Tuy nhiên, những phương pháp này thường rất phức tạp để thực hiện [11]. Vì vậy, OFDM khó có thể đáp ứng đầy đủ các yêu cầu mới cho hệ thống vô tuyến 5G và các thế hệ tiếp theo. Do đó, một lớp kỹ thuật điều chế mới cho các mạng đa truy cập trực giao đã được nghiên cứu đề xuất, nổi bật là các kỹ thuật điều chế dựa trên việc tạo dạng xung và các kỹ thuật điều chế dựa trên lọc băng con [1], [12]. Các kỹ thuật này giúp hạn chế đáng kể mức phát xạ ngoài băng OOB (Out-of-Band Emission) và giảm sự chồng lấp giữa các sóng mang con.

Trong bài báo này, chúng tôi khái quát về các dạng sóng tiềm năng cho 5G và các hệ thống vô tuyến thế hệ tiếp theo, so sánh các đặc tính và mật độ phổ công suất của các dạng sóng này với OFDM thông thường. Ngoài ra, chúng tôi cũng phân tích các hạn chế và giải pháp để khắc phục khi ứng dụng các dạng sóng này vào thực tế.

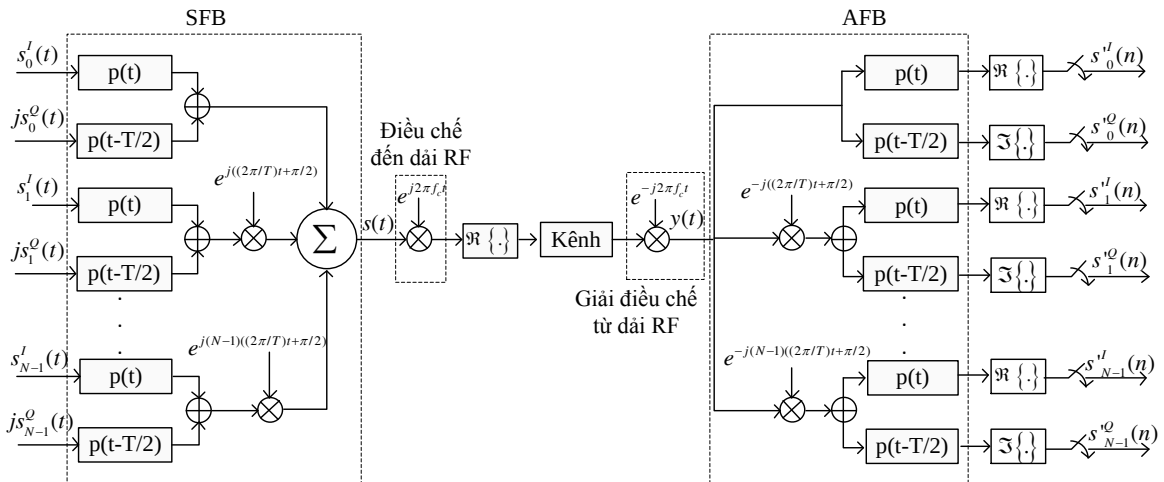
Cấu trúc phần tiếp theo của bài báo bao gồm: mục 2 khái quát các kỹ thuật điều chế mới cho 5G, mục 3 so sánh giữa các dạng sóng tiềm năng cho 5G, mục 4 mô tả một số vấn đề cần giải quyết và mục 5 là kết luận của bài báo.

2. CÁC KỸ THUẬT ĐIỀU CHẾ MỚI CHO 5G

Trong phần này, chúng tôi sẽ thảo luận về hai nhóm kỹ thuật điều chế mới tiềm năng cho 5G là nhóm kỹ thuật điều chế dựa trên việc tạo dạng xung (gồm FBMC, GFDM) và nhóm kỹ thuật điều chế dựa trên lọc băng con (gồm UFMC, f-OFDM).

2.1. Các kỹ thuật điều chế dựa trên dạng xung

Các kỹ thuật điều chế dựa trên dạng xung được biết đến có khả năng làm giảm mức OOB đáng kể [12]. Tuy nhiên, do độ rộng thời gian và độ rộng phổ tần của xung không thể giảm cùng một lúc, nên các tín hiệu dạng sóng được tạo ra bằng kỹ thuật này thường không trực giao trong cả miền thời gian và miền tần số để duy trì hiệu quả phổ SE (Spectral Efficiency) cao. Ngoài ra, so với hệ thống OFDM thông thường, cấu trúc thu phát hỗ trợ điều chế dạng xung phức tạp hơn. Hai kỹ thuật điều chế điển hình cho nhóm này là FBMC [13]-[16] và GFDM [17] - [19].



Hình 1: Hệ thống FBMC-OQAM [15]

1) *FBMC*: Theo [16], có hai lý do chính để FBMC trở thành một lựa chọn khả thi cho các mạng 5G. Thứ nhất, FBMC có thể được thiết kế để có khả năng hạn định tốt cả về thời gian và tần số, cho phép phân bổ hiệu quả các nguồn tài nguyên tần số và thời gian có sẵn. Thứ hai, độ trễ thấp đảm bảo rằng các bộ

cân bằng một mắt lọc đơn có hiệu quả để đạt được hiệu suất tối ưu. Để có được các đặc tính này, FBMC sử dụng dãy các bộ lọc tổng hợp bên phía phát và dãy các bộ lọc phân tích ở bên phía thu thực hiện việc lọc các sóng mang con của tín hiệu đa sóng mang, do đó làm giảm các búp sóng phụ của tín hiệu FBMC trong miền

tần số. Hai dạng xung cơ bản được sử dụng trong FBMC là xung Hermite và xung PHYDYAS. Độ dài các xung trong miền thời gian được quyết định bởi hiệu suất được yêu cầu và thường bằng vài lần độ dài của chu kỳ ký hiệu [16]. Có nhiều dạng tín hiệu FBMC khác nhau, như FBMC-QAM (FBMC-Quadrature Amplitude Modulation), FBMC-OQAM (FBMC - Offset QAM) và FBMC-OQAM được lọc. Tuy nhiên, để đạt SE tốt nhất, FBMC-OQAM thường được sử dụng [15]. Sơ đồ khối của hệ thống FBMC như trong hình 1, trong đó đây các bộ lọc tổng hợp và phân tích thực hiện việc định dạng xung.

Tín hiệu thời gian liên tục tại sóng mang con thứ k được xác định như sau:

$$s_k(t) = \sum_{m=0}^{M-1} s_{k,m} \delta(t - mT) \quad (1)$$

$$s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} [s_k(t) * p_k(t)] e^{jk((2\pi/T)t + \pi/2)}$$

$$= \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} \left(s_{k,m}^I p_k(t - mT) + js_{k,m}^Q p_k(t - \frac{T}{2} - mT) \right) e^{jk((2\pi/T)t + \pi/2)}$$

$$s(n\frac{T}{N}) = \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} \left[s_{k,m}^I p_k(n\frac{T}{N} - mT) + js_{k,m}^Q p_k(n\frac{T}{N} - \frac{T}{2} - mT) \right] e^{jk(\frac{2\pi}{T}n\frac{T}{N} + \frac{\pi}{2})}$$

$$= \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} \left[s_{k,m}^I p_k(n\frac{T}{N} - 2m\frac{T}{2}) + js_{k,m}^Q p_k(n\frac{T}{N} - (m+1)\frac{T}{2}) \right] e^{jk(\frac{2\pi n}{N} + \frac{\pi}{2})}$$

$$s[n] = \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} \left[s_{k,m}^I p_k(n - mN) + js_{k,m}^Q p_k(n - \frac{N}{2} - mN) \right] e^{jk(\frac{2\pi n}{N} + \frac{\pi}{2})}$$

$$= \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} (-1)^k \left[s_{k,m}^I p_k(n - mN) + js_{k,m}^Q p_k(n - \frac{N}{2} - mN) \right] e^{j\frac{2\pi nk}{N}}$$

trong đó $s_{k,m}$ là ký hiệu dữ liệu phức thứ m tại sóng mang con thứ k .

$$s_{k,m} = s_{k,m}^I + js_{k,m}^Q \quad (2)$$

Thay thế (2) vào (1) được (3) như sau:

$$s_k(t) = \sum_{m=0}^{M-1} [s_{k,m}^I + js_{k,m}^Q] \delta(t - mT) \quad (3)$$

Do vậy, tín hiệu truyền có thể được biểu diễn theo công thức (4). Trong miền thời gian rời rạc, giả thiết rằng bộ lọc định hình xung $p(t)$ chiếm băng thông xấp xỉ $\frac{1}{T}$, ta có phiên bản được lấy mẫu của (4)

là (5). Giả thiết rằng N chẵn, đặt

$$s[n] \triangleq s(n\frac{T}{N}) \text{ và } p[n] \triangleq p(n\frac{T}{N}), \text{ khi đó}$$

(5) chuyển thành (6).

(4)

(5)

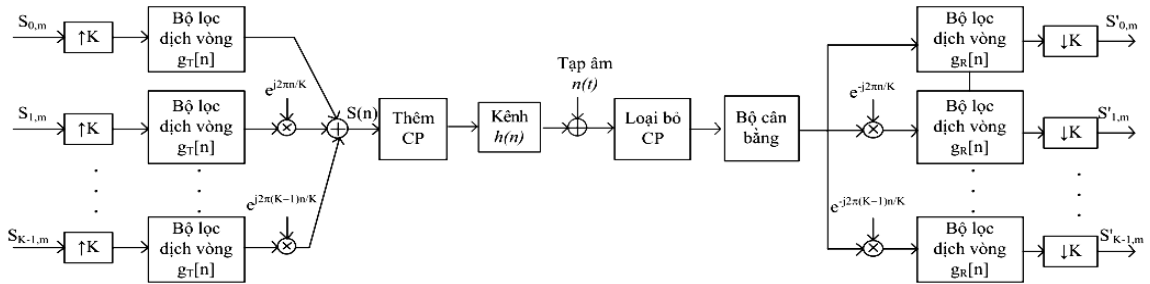
(6)

2) *GFDM*: Theo [18], GFDM là hệ thống đa sóng mang dựa trên việc điều chế các

khối độc lập để truyền *MK* ký hiệu dữ liệu trên mỗi khối sử dụng M khe thời gian và

K sóng mang con. Với phương pháp này, mỗi sóng mang con được lọc bởi một bộ lọc nguyên mẫu được dịch chuyển phù hợp theo tần số và thời gian để giảm mức OOB. Do tính linh hoạt của phương thức điều chế, GFDM được đề xuất cho giao

diện vô tuyến của mạng 5G [18]. CP-OFDM (Cyclic prefix-OFDM) và SC-FDE (Single-carrier frequency domain equalization) được xem là các trường hợp đặc biệt của GFDM [19]. Sơ đồ khối hệ thống GFDM được trình bày trong hình 2.



Hình 2. Sơ đồ khối hệ thống GFDM

Tín hiệu truyền được biểu diễn là:

$$s(n) = \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{m=0}^{M-1} s_{k,m} g_{k,m}(n), n = \overline{0, N-1} \quad (7)$$

trong đó $s_{k,m}$ biểu thị ký hiệu thứ m được truyền trên sóng mang con thứ k , $g_{k,m}(n)$

là phiên bản dịch vòng tần số và thời gian của bộ lọc dạng xung nguyên mẫu $g(n)$.

$g_{k,m}(n)$ được xác định bởi công thức:

$$g_{k,m}(n) = g((n - mK)_N) e^{\frac{-j2\pi kn}{K}} \quad (8)$$

với $(.)_N$ biểu thị phép toán modulo N và $N = KM$ là chiều dài của bộ lọc dạng xung nguyên mẫu $g(n)$.

Theo cấu trúc này, sự khác biệt của GFDM so với FBMC là ở việc sử dụng bộ lọc dịch vòng thay vì bộ lọc tuyến tính. Điều này cho phép hệ thống GFDM có mức OOB thấp ngay cả khi tính trực giao không được duy trì. Tuy GFDM

không duy trì tính trực giao giữa các sóng mang con có thể dẫn đến ISI và ICI, nhưng với việc sử dụng bộ lọc phối hợp hiệu quả bên phía thu, các loại nhiễu này có thể được loại bỏ và hiệu suất lỗi ký hiệu vẫn đảm bảo như OFDM [19].

2.2. Các điều chế dựa trên việc lọc băng con

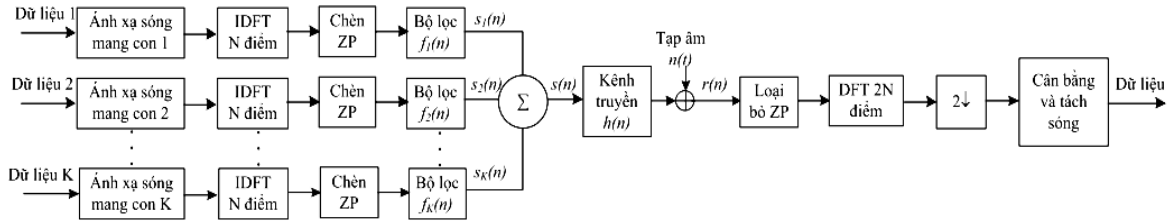
Các kỹ thuật điều chế dựa trên lọc băng con cũng là kỹ thuật cho phép giảm OOB hiệu quả. Hai kỹ thuật điều chế chính được quan tâm nghiên cứu là UPMC [20], [21] và f-OFDM [22], [23].

1) *UPMC*: UPMC là kỹ thuật truyền dẫn đa sóng mang được đề xuất để giải quyết vấn đề ICI trong các hệ thống OFDM [20]. Điều này đạt được bằng việc lọc một khối các sóng mang con liên tiếp (băng tần con) để giảm mức OOB. UPMC cũng được coi là phương pháp cải tiến của

CP-OFDM, do đó UF-OFDM (Universal Filtered-OFDM) được sử dụng đồng nghĩa với UPMC. Sơ đồ khối hệ thống UPMC như biểu diễn trong hình 3.

Do bộ lọc trong UPMC có băng thông rộng hơn so với các bộ lọc trong các kỹ

thuật điều chế dựa trên việc tạo dạng xung nên độ dài tín hiệu trong miền thời gian là ngắn hơn. Vì vậy, nhiễu gây ra bởi đuôi của bộ lọc có thể được hạn chế bằng việc sử dụng chuỗi “đệm 0” (ZP - Zero Padding) với độ dài thích hợp.



Hình 3. Sơ đồ khối hệ thống UPMC

Tín hiệu truyền trong hệ thống UPMC là:

$$s(n) = \sum_{k=0}^{K-1} s_k(n) * f_k(n) \quad (9)$$

trong đó K là số băng con được chia ra từ

N sóng mang con của hệ thống, do đó mỗi băng con có $L=N/K$ sóng mang con liên tiếp; $f_k(n)$ là hệ số bộ lọc của băng con thứ k và $s_k(n)$ là tín hiệu OFDM được điều chế trên băng con thứ k tương ứng. $s_k(n)$ được biểu diễn bằng công thức:

$$s_k(n) = \sum_{m=0}^{M-1} s_{k,m} \left(n - m \left(N + N_g \right) \right) \quad (10)$$

$$= \begin{cases} s_{k,m} \left(n - m \left(N + N_g \right) \right), & \text{với } m \left(N + N_g \right) \leq n \leq m \left(N + N_g \right) + N - 1 \\ 0, & \text{trong trường hợp khác} \end{cases}$$

với N_g biểu thị chiều dài chuỗi ZP, M là số khối ký hiệu và $s_{k,m}$ là tín hiệu tại sóng mang thứ k và ký hiệu thứ m. $s_{k,m}(n)$ được biểu diễn theo công thức:

$$s_{k,m}(n) = \sum_{l=(k-1)L}^{kL-1} d_{l,m} e^{j \frac{2\pi l n}{N}}, \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (11)$$

trong đó $d_{l,m}$ biểu thị ký hiệu truyền thứ l tại khối ký hiệu thứ m.

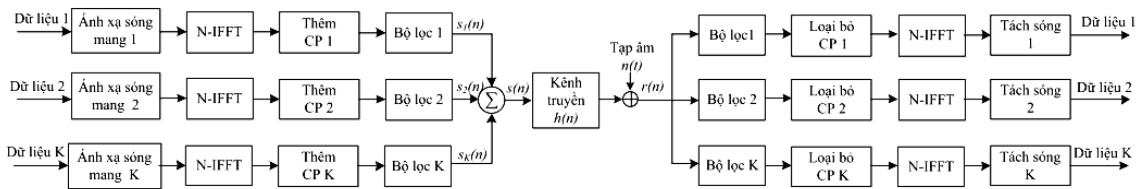
Với một băng con đơn nhất, các đặc tính

phổ của UFDM là giống với CP-OFDM được lọc [21]. Mặc dù bình thường UFDM không sử dụng tiền tố tuần hoàn CP, nhưng để loại bỏ nhiễu gây ra bởi các đuôi của bộ lọc, chuỗi “đệm 0” (ZP - Zero Padding) được sử dụng với độ dài phù hợp. UFDM đã được chứng minh có hiệu quả vượt trội so với CP-OFDM ngay cả khi có sự đồng bộ hóa hoàn hảo hay không hoàn hảo giữa các đầu cuối và các trạm gốc [20].

2) *f*-OFDM: Theo phương pháp này, băng thông của hệ thống được chia thành các băng con, mỗi băng con được sử dụng cho các loại dịch vụ khác nhau để cải thiện SE của hệ thống [21]. Để loại bỏ nhiễu giữa các băng con, lọc dựa trên các băng con được sử dụng. Hình 4 miêu tả sơ đồ khối của hệ thống *f*-OFDM.

Như vậy, cấu trúc máy phát của *f*-OFDM cơ bản giống với UFMC. Sự khác biệt cơ bản giữa hai kỹ thuật này là *f*-OFDM có sử dụng tiền tố tuần hoàn (CP) và số

lượng các sóng mang con trên mỗi băng con lớn hơn rất nhiều so với UFMC. Loại bộ lọc được sử dụng rộng rãi trong các thiết kế *f*-OFDM là các bộ lọc sinc được xén mềm (Soft-Truncated Sinc Filters) [21], [22] đáp ứng với các ứng dụng và tham số khác nhau. Các bộ lọc này được xem là gần lý tưởng vì nó không gây ra méo dạng trong dải và coi như loại bỏ OOB [22]. Tỷ lệ công suất trung bình bức xạ ngoài dải/trong dải dưới hàng trăm dB, vượt quá ngưỡng các bộ chuyển đổi số - tương tự hiện nay.



Hình 4. Sơ đồ khối của hệ thống *f*-OFDM

Tín hiệu phát trong hệ thống *f*-OFDM được biểu diễn bởi:

$$s(n) = \sum_{l=0}^{L-1} s_k \left(n - k(N + N_g) \right) * f_k(n) \quad (12)$$

$$s_k(n) = \sum_{l=0}^{L-1} d_{k,l} e^{j2\pi l n / N}, -N_g \leq n < N \quad (13)$$

trong đó N là số sóng mang con; K là số băng con; $L = N/K$ là số sóng mang con trong mỗi băng con; N_g là độ dài chuỗi CP và $d_{k,l}$ là ký hiệu dữ liệu trên sóng mang con thứ l của ký hiệu OFDM thứ k .

Mặc dù *f*-OFDM có khả năng khắc phục các nhược điểm của CP-OFDM thông thường, nhưng việc sử dụng chuỗi CP cũng ảnh hưởng đáng kể hiệu suất băng

thông của hệ thống.

3. MỘT SỐ SO SÁNH CÁC DẠNG SÓNG TIỀM NĂNG CHO 5G

Trong các kỹ thuật điều chế mới đã được đề cập, ngoại trừ OFDM và *f*-OFDM (những kỹ thuật đã được 3GPP lựa chọn cho 5G), FBMC, GFDM, UFMC là những kỹ thuật được nghiên cứu nhiều nhất [23]. Lý do các dạng sóng này có thể được lựa chọn cho 5G và các thế hệ tiếp theo là khả năng giảm mức OOB cũng như giảm yêu cầu đồng bộ.

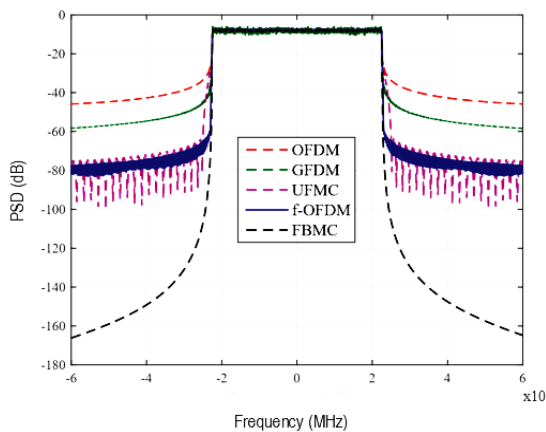
Một trong các đặc điểm chung trong việc tạo ra các dạng sóng mới này là việc sử dụng các kỹ thuật lọc. Tuy nhiên, kỹ thuật lọc và hiệu quả của nó là không như nhau.

So sánh đặc tính phổ của các dạng sóng đã được thực hiện trong [16], [22] và được liệt kê chi tiết như trong bảng 1.

Bảng 1. So sánh các đặc tính của dạng sóng ứng cử viên cho 5G

Dạng sóng	Phạm vi lọc	Độ dài bộ lọc	Tính trực giao thời gian	Tính trực giao tần số	OBE
OFDM	Toàn băng	$\leq$ độ dài CP	Có	Có	Kém
GFDM	Sóng mang con	$\gg$ khoảng ký tự	Không	Không	Tốt
FBMC	Sóng mang con	$= (3,4,5) \times$ khoảng ký tự	Trực giao miền thực	Trực giao miền thực	Tốt nhất
UFMC	Băng tần con	$=$ độ dài CP	Có	Bán trực giao	Tốt
f-OFDM	Băng tần con	$\leq 1/2$ khoảng ký tự	Không	Bán trực giao	Khá

Tham số chính đánh giá SE của các dạng sóng là mật độ phổ công suất PSD (Power Spectral Density). Hình 5 thể hiện PSD của các tín hiệu với các tham số được sử dụng để mô phỏng tương ứng với chuẩn 5G 3GPP [5]-[7], cụ thể: độ rộng băng tần phát 25 MHz, kích thước DFT 1024 điểm, khoảng bảo vệ dài 144 sóng mang con.



Hình 5. PSD của OFDM, GFDM, UFMC, f-OFDM và FBMC

Từ các kết quả đó, chúng ta có thể kết luận rằng, các tín hiệu ứng viên cho 5G và các thế hệ tiếp theo có đặc tính phổ chặn bức xạ ngoài dải tương đối tốt. Tốt nhất là FBMC, tiếp theo lần lượt là f-OFDM,

UFMC và GFDM. Mức OBE của những tín hiệu này thấp hơn OFDM thông thường. Đặc biệt, tín hiệu FBMC và f-OFDM có đặc tính giảm mạnh ở cạnh sườn dải thông. Do đó, FBMC thu hút nhiều nhà nghiên cứu trên thế giới phát triển cho 5G và các thế hệ tiếp theo, trong khi f-OFDM được hiệp hội 3GPP chính thức thông qua cho tiêu chuẩn vô tuyến 5G.

4. MỘT SỐ VẤN ĐỀ CẦN GIẢI QUYẾT

Cũng giống như hệ thống OFDM thông thường, các dạng sóng tiềm năng cho 5G và các thế hệ tiếp theo, như FBMC, UFMC hay f-OFDM đều dựa trên kỹ thuật đa sóng mang, nên tín hiệu truyền có tỉ lệ công suất đỉnh/trung bình PAPR (Peak-to-Average Power Ratio) lớn do xếp chồng số lượng lớn lên đến hàng nghìn sóng mang con. Việc truyền tín hiệu có PAPR cao sẽ yêu cầu các bộ khuếch đại công suất (PA-Power Amplifier) trong máy phát phải có dải động tuyến tính rộng. Điều này làm tăng đáng kể chi phí

của hệ thống cũng như tăng mức tiêu thụ công suất của máy phát. Nếu sử dụng bộ PA có vùng tuyến tính hạn chế, đồng thời để đạt được hiệu suất khuếch đại cao, bộ PA phải làm việc ở vùng phi tuyến sát vùng bão hòa. Điều này dẫn đến hai vấn đề nghiêm trọng:

- Một là, gây méo trong băng, do đó làm giảm tiêu chí lỗi hệ thống (bao gồm tăng BER-Bit error rate và MER-Modulation Error Ratio).
- Hai là, tăng bức xạ ngoài dải (OOBE), do đó làm tăng ICI.
- Để giảm giá thành hệ thống khi sử dụng các bộ PA dải động tuyến tính hẹp và tăng cường hiệu suất năng lượng cho hệ thống, cần tập trung giải quyết các vấn đề sau:
 - Đánh giá mức PAPR tín hiệu đối với từng dạng sóng ứng viên mới và đưa ra so sánh các kết quả nhận được.
 - Khảo sát, phân tích ảnh hưởng của các đỉnh đối với mỗi tín hiệu ứng viên khi đi qua các bộ PA thực tế.
 - Nghiên cứu các phương pháp giảm PAPR cho mỗi tín hiệu ứng viên.
 - Nghiên cứu các phương pháp sửa méo trước tín hiệu bù tính phi tuyến PA.

Hiện nay, hướng tiếp cận phổ biến trong vấn đề giảm PAPR cho các tín hiệu ứng viên cho 5G và các thế hệ tiếp theo là vẫn dựa trên các phương pháp truyền thống giảm đỉnh cho tín hiệu OFDM, trong đó

nổi bật nhất là phương pháp chuỗi truyền từng phần PTS (Partial Transmit Sequence) [24]-[27]. Tuy nhiên, việc yêu cầu một số lượng lớn các bộ IFFT có kích thước lớn cũng như cách thức tìm chuỗi hệ số pha tối ưu làm tăng độ phức tạp tính toán không khả thi khi triển khai phần cứng [28]. Các giải pháp giảm độ phức tạp cho PTS sẽ hứa hẹn cho PTS được hiện thực hóa.

Ngoài ra, đối với các hệ thống đa sóng mang nói chung, khả năng đáp ứng đồng thời phân bổ tần số - thời gian cũng được đặt ra. Việc hạn định thời gian kém làm tăng ISI, trong khi hạn định tần số kém làm tăng ICI [16]. Tuy nhiên, hai tham số này không thể giảm cùng một lúc. Vì vậy, việc thiết kế một bộ lọc nguyên mẫu hiệu quả để cân bằng chúng theo kịch bản ứng dụng là một vấn đề có sức hút mạnh các nhà nghiên cứu.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã thảo luận và so sánh đặc tính, mật độ phổ công suất của các dạng sóng mới FBMC, GFDM, UFMC và f-OFDM với tín hiệu OFDM thông thường. Qua đó, chúng ta có thể khẳng định, chúng có nhiều ưu thế hơn so với CP-OFDM để triển khai trong các mạng vô tuyến 5G và các thế hệ tiếp theo. Ngoài ra, một số vấn đề nảy sinh và hướng giải quyết đối với các dạng sóng mới này cũng được phân tích, từ đó đưa ra hướng giải quyết để việc triển khai hệ thống thực tế được hiệu quả.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Fa-Long Luo editor, Charlie Zhang editor, "Signal processing for 5G: Algorithms and implementation," IEEE Press, John Wiley & Sons, Ltd, 2016.
- [2] J.G. Andrews, S. Buzzi, W. Choi, S.V. Hanly, A. Lozano, A.C. Soong, and J.C. Zhang, "What will 5G be?," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 32, no. 6, 2014, pp. 1065-1082.
- [3] G. Wunder, P. Jung, M. Kasparick, T. Wild, F. Schaich, Y. Chen, S. Brink, I. Gaspar, N. Michailow, A. Festag et al., "5G NOW: non-orthogonal, asynchronous waveforms for future mobile applications," IEEE Communications Magazine, vol. 52, no.2, 2014, pp. 97-105.
- [4] P. Banelli, S. Buzzi, G. Colavolpe, A. Modenini, F. Rusek, and A. Ugolini, "Modulation formats and waveforms for 5G networks: Who will be the heir of OFDM?: An overview of alternative modulation schemes for improved spectral efficiency," IEEE Signal Process. Mag., vol. 31, no.6, 2014, pp. 80-93.
- [5] 3GPP, "TSG RAN; study on new radio access technology; (release 14)," <http://www.3gpp.org/DynaReport/38912.htm>, Sept. 2016.
- [6] 3GPP, "TSG RAN; study on new radio access technology; radio interface protocol aspects; (release 14)," <http://www.3gpp.org/DynaReport/38804.htm>, Mar. 2017.
- [7] 3GPP, "TSG RAN; study on new radio access technology; physical layer aspects; (release 14)," <http://www.3gpp.org/DynaReport/38802.htm>, Mar. 2017.
- [8] M. Morelli, C.-C. J. Kuo, and M.-O. Pun, "Synchronization techniques for orthogonal frequency division multiple access (OFDMA): a tutorial review," Proceedings of the IEEE, vol. 95, no.7, 2007, pp. 1394-1427.
- [9] D. Huang and K. B. Letaief, "An interference-cancellation scheme for carrier frequency offsets correction in OFDMA systems," IEEE Transactions on Communications, vol. 53, no.7, 2005, pp. 1155-1165.
- [10] K. Lee and I. Lee, "CFO compensation for uplink OFDMA systems with conjugated gradient," in Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC'11), Kyoto, Japan, June 2011, pp.1-5.
- [11] H. Saeedi-Sourck, Y. Wu, J. W. M. Bergmans, S. Sadri, and B. Farhang-Boroujeny, "Complexity and performance comparison of filter bank multicarrier and OFDM in uplink of multicarrier multiple access networks," IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 59, no. 4, 2011, pp. 1907-1912.
- [12] Yunlong Cai, Zhijin Qin, Fangyu Cui, Geoffrey Ye Li, Julie A. McCann, "Modulation and Multiple Access for 5G Networks," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol.20, no.1, 2017, pp. 629 - 646.
- [13] M. Bellanger, M. Renfors, T. Ihalainen, and C. A. F. da Rocha, "OFDM and FBMC transmission techniques: A compatible high performance proposal for broadband power line communications," in Proc. Int. Symp. Power Line Commun. Appl. (ISPLC), Rio de Janeiro, Brazil, Mar. 2010, pp. 154-159.
- [14] B. Farhang-Boroujeny, "OFDM versus filter bank multicarrier," IEEE Signal Process. Mag., vol. 28, no. 3, 2011, pp. 92-112.
- [15] Farhang-Boroujeny, B., "Filter Bank Multicarrier Modulation: A Waveform Candidate for 5G and Beyond," Advances in Electrical Engineering, 2014.
- [16] Nissel, R., Schwarz, S., & Rupp, M., "Filter Bank Multicarrier Modulation Schemes for Future Mobile Communications," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol.35, no.8, Aug. 2017, pp. 1768-1782.

- [17] Quang Duong, "Multicarrier Transmission Techniques," MA thesis, Dept. Elect. Com. Eng, University of Saskatchewan, Canada, 2017.
- [18] G. Fettweis, M. Krondorf, and S. Bittner, "GFDM-Generalized frequency division multiplexing," in Proc. IEEE Veh. Technol. Conf. (VTC Spring '09), Apr. 2009, pp. 1-4.
- [19] N. Michailow et al., "Generalized frequency division multiplexing for 5th generation cellular networks," IEEE Trans. Commun., vol. 62, no. 9, Sep. 2014, pp. 3045–3061.
- [20] V. Vakilian, T. Wild, F. Schaich, S. T. Brink, and J.-F. Frigon, "Universal-filtered multi-carrier technique for wireless systems beyond LTE," in Proc. IEEE Globecom Workshops, Atlanta, GA, USA, Dec. 2013, pp. 223–228.
- [21] F. Schaich, T. Wild, and Y. Chen, "Waveform contenders for 5G - Suitability for short packet and low latency transmissions," in Proc. IEEE Veh. Technol. Conf. (VTC Spring), Seoul, South Korea, May 2014, pp. 1–5.
- [22] J. Abdoli, M. Jia, and J. Ma, "Filtered OFDM: A new waveform for future wireless systems," in Proc. IEEE Int. Workshop Signal Process. Adv. Wireless Commun. (SPAWC), Stockholm, Sweden, Jun. 2015, pp. 66–70.
- [23] X. Zhang, M. Jia, L. Chen, J. Ma, and J. Qiu, "Filtered-OFDM - Enabler for flexible waveform in the 5th generation cellular networks," in Proc. IEEE Glob. Commun. Conf. (GLOBECOM), San Diego, CA, USA, Dec. 2015, pp. 1–6.
- [24] W. Rong, J. Cai, and X. Yu, "Low-complexity PTS PAPR reduction scheme for UPMC systems," Cluster Computing, vol.20, no.4, 2017, pp.3427–3440.
- [25] Ujjwala Boyapati; S Chris Prema, "Reduction of PAPR in FBMC: A Comparative Analysis," 2018 IEEE Recent Advances in Intelligent Computational Systems (RAICS), Dec. 2018.
- [26] Necmi Taspinar; Şakir Şimşir, "PAPR Reduction Based on Partial Transmit Sequence Technique in UPMC Waveform," 2019 14th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI), July 2019.
- [27] L.M. Barba-Maza; G. Jovanovic Dolecek, "PAPR reduction of GFDM system using Xia pulse and OPTS scheme," 2020 IEEE 63rd International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), Aug. 2020.
- [28] Jawhar, Y.A., Audah, L., Taher, M.A., Ramli, K.N., Shah, N.S.M., Musa, M., & Sami, M., "A Review of Partial Transmit Sequence for PAPR Reduction in the OFDM Systems," IEEE Access, Vol.7, Feb. 2019, pp. 18021 - 18041.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Đặng Trung Hiếu tốt nghiệp đại học tại Trường Đại học Giao thông Vận tải năm 2006 và nhận bằng Thạc sĩ tại Học viện Kỹ thuật quân sự năm 2009. Hiện nay tác giả đang làm NCS và công tác tại Trường Đại học Điện lực.

Hướng nghiên cứu chính: xử lý tín hiệu, các hệ thống vô tuyến thế hệ mới.



Tác giả Nguyễn Lê Cường tốt nghiệp đại học tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội năm 1999, nhận bằng Thạc sĩ tại Học viện Kỹ thuật quân sự năm 2006, bằng Tiến sĩ tại Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông năm 2013. Hiện nay tác giả công tác tại Trường Đại học Điện lực.

Hướng nghiên cứu chính: xử lý tín hiệu, mã hoá, bảo mật, các kỹ thuật thông tin thể hệ mới.



Tác giả Phùng Xuân Bình tốt nghiệp đại học năm 2005 và nhận bằng Thạc sĩ năm 2007 tại Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội. Hiện nay tác giả là kỹ sư nghiên cứu phát triển sản phẩm, sản xuất thiết bị tại Tổng Công ty Viễn thông MobiFone.

Hướng nghiên cứu chính: xử lý tín hiệu, các hệ thống vô tuyến thể hệ mới.



Tác giả Trần Văn Nghĩa tốt nghiệp đại học tại Học viện Kỹ thuật quân sự năm 2009 và nhận bằng Tiến sĩ tại Đại học Vật lý kỹ thuật Matxcơva năm 2018. Hiện nay tác giả công tác tại Học viên Phòng không – Không quân.

Hướng nghiên cứu chính: xử lý tín hiệu, các hệ thống vô tuyến viễn thông, truyền hình thể hệ mới, thuật toán nén dải động tín hiệu băng rộng và méo trước tín hiệu/tuyến tính hóa bộ khuếch đại công suất, kỹ thuật học máy, xử lý tín hiệu radar, tác chiến điện tử, kỹ thuật lập trình vi điện tử số FPGA.

