



الجمهورية العربية السورية  
جامعة البعث  
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية  
قسم الهندسة الإلكترونية والاتصالات

## تحليل أداء تقنيات الحوامل المتعددة في شبكات الجيل الخامس

دراسة أُعِدَّتْ لنيل درجة الماجستير في هندسة الاتصالات

إعداد

م. علي وهبي

إشراف

د.م عبد الكريم السالم

٢٠٢٠م - ١٤٤١هـ

## المخلص

تسارعت وتيرة تطور الأنظمة الخليوية في السنوات الماضية بشكل كبير وكانت زيادة السعة وتحسين جودة الخدمة المحرك الأساسي لهذا التطور.

وتتلاقى طرق الوصول Access Method اهتماما متزايدا لما لها من دور كبير في زيادة السعة وتقليل التداخل والخفوت وتحسين جودة الخدمة.

وقد تم استخدام تقنية التجميع بالتقسيم الترددي المتعامد OFDM في الجيل الرابع بسبب تمتعها بمناعة كبيرة ضد تأثير الخفوت متعدد المسارات، ومع ذلك، فإن تقنية OFDM تعاني من عدة مساوئ مثل النسبة العالية للانبعاث خارج الحزمة OOB و نسبة PAPR المرتفعة، مما دفع البحث نحو مشكلات موجة أكثر فاعلية وذات أداء أفضل مثل F-OFDM و UPMC التي تتميز بفعالية طيفية أفضل ومتطلبات تزامن بسيطة تلبي متطلبات شبكات الجيل الخامس.

يهتم البحث بدراسة أداء تقنيتي F-OFDM و UPMC المقترحتين للاستخدام في شبكات الجيل الخامس باستخدام برنامج MATLAB مع أنواع مختلفة من المرشحات بهدف زيادة تخميد الانبعاث الطيفي وتحسين الفعالية الطيفية لشبكات الجيل الخامس مع تقييم أدائهما في نموذج قناة حقيقي EPA.

تم الحصول على نتائج مشجعة من حيث زيادة التخميد للفصوص الجانبية العائدة للحوامل الفرعية الذي حسن الفعالية الطيفية للاستطاعة وخفض تداخل القنوات التي تتوافق مع متطلبات شبكات الجيل الخامس.

**الكلمات المفتاحية:** الحوامل المتعددة، الجيل الخامس، التجميع بالتقسيم الترددي المتعامد، مشكلات موجة.

# Abstract

Cellular systems evolved rapidly in the past years, driven mainly by capacity increasing and quality of service improvement.

Access methods received increasing interest due to its major role in increasing capacity, decreasing interference and fading and enhancing quality of service.

OFDM was used in 4G for its great immunity to multipath fading impact. However, OFDM suffers from several disadvantages like high out-of-band emission OOB, high PAPR, which motivated the search for more effective waveforms with better performance like F-OFDM and UFMC that is characterized by better spectral efficiency and simple synchronization requirements to meet the requirements of 5G networks.

The thesis interested in analyzing the performance of UFMC and F-OFDM that are proposed for use in 5G networks using MATLAB with different types of filters in order to reduce OOB and improve spectral efficiency for 5G networks with evaluating their performance in real channel's model EPA.

Satisfying results were obtained regarding the increase in attenuation of subcarrier sidelobes, which improved PSD and decreased ACLR, which suits the application of 5G networks.

**Keywords:** Multicarrier, 5G, OFDM, Waveform, F-OFDM, UFMC

## الفهرس

### ملخص

### Abstract

### قائمة الأشكال

### قائمة الجداول

### المختصرات العلمية

1- الفصل الأول: مقدمة عامة.....	1
1-1 نمو الاتصالات الخليوية.....	1
2-1 مشكلة البحث.....	6
3-1 هدف البحث.....	7
2- الفصل الثاني: الجيل الرابع للاتصالات الخليوية.....	9
1-2 الجيل الثاني للاتصالات الخليوية 2G.....	9
1-1-2 بنية شبكة GSM.....	9
1-1-1-2 الجهاز الخليوي (MS) Mobile Station.....	9
2-1-1-2 النظام الفرعي للمحطة القاعدية (BSS) Base Station Subsystem.....	9
3-1-1-2 النظام الفرعي لتبديل الشبكة	
Network Switching Subsystem (NSS).....	10
4-1-1-2 النظام الفرعي للدعم والتشغيل Operation and Support	
Subsystem (OSS).....	11
2-1-2 وصلات شبكة الـ GSM.....	12
3-1-2 إيجابيات شبكة الـ GSM.....	13
4-1-2 سلبيات شبكة الـ GSM.....	14
2-2 الجيل الثالث للاتصالات الخليوية 3G.....	14
1-2-2 بنية شبكة UMTS.....	14
1-1-2-2 تجهيزات المستخدم User's Equipments.....	15
2-1-2-2 شبكة الوصول الراديوي الأرضية لنظام الاتصالات الخليوية	
UTRAN UMTS العالمي.....	15
3-1-2-2 الشبكة المركزية CN.....	16
2-2-2 وصلات شبكة الـ UMTS.....	17

19.....	3-2-2 إيجابيات شبكة ال UMTS
19.....	4-2-2 سلبيات شبكة ال UMTS
20.....	3-2 الجيل الرابع للاتصالات الخليوية 4G
20.....	1-3-2 بنية شبكة LTE
20.....	1-1-3-2 شبكة الوصول الراديوي لشبكات ال LTE
21.....	2-1-3-2 الشبكة الفقارية Core Network
22.....	2-3-2 وصلات شبكة LTE
23.....	3-3-2 إيجابيات شبكات الجيل الرابع LTE
24.....	4-3-2 سلبيات شبكات الجيل الرابع LTE
<b>25.....</b>	<b>3-الفصل الثالث: الطريق الى شبكات الجيل الخامس</b>
25.....	1-3 الاحتياجات التي ستليها شبكات الجيل الخامس 5G
25.....	1-1-3 خصائص ومتطلبات IMT 2020
27.....	2-1-3 التقنيات القادمة مع شبكات الجيل الخامس 5G
27.....	1-2-1-3 الأمواج الملمترية Millimeter Waves
28.....	2-2-1-3 الخلايا الصغيرة Small cells
28.....	3-2-1-3 الهوائيات الكثيفة Massive MIMO
29.....	4-2-1-3 تشكيل الحزمة Beamforming
30.....	5-2-1-3 الارسال المزدوج على نفس التردد Single Frequency Full Duplex
30.....	6-2-1-3 الحوسبة الافتراضية Visualization
34.....	3-1-3 استخدامات شبكات الجيل الخامس
	1-3-1-3 المجال العريض الخليوي المحسن (eMBB) enhanced Mobile
34.....	Broadband
	2-3-1-3 اتصال الآلة الكثيف (mMTC) massive Machine Type
34.....	Communication
	3-3-1-3 الاتصال عالي الموثوقية منخفض التأخير (uRLLC) ultra Reliable
35.....	and Low Latency
35.....	2-3 تطبيقات شبكات الجيل الخامس
36.....	1-2-3 الصحة الالكترونية e-Health
36.....	2-2-3 الصناعة الذكية Smart Industry

36.....	3-2-3 الشبكات الذكية Smart grids
37.....	4-2-3 الحساسات وانترنت الأشياء Sensors and Internet of Thing (IoT)
37.....	5-2-3 المراقبة الفيديوية Video Surveillance
37.....	6-2-3 الواقع الافتراضي والمعزز Augmented and virtual Reality
37.....	7-2-3 الزراعة Agriculture
38.....	8-2-3 المدن الذكية Smart city
38.....	1-8-2-3 إدارة المرور الذكية Smart Traffic Management
38.....	2-8-2-3 المنازل الذكية Smart Homes
38.....	3-8-2-3 اتصالات عربة الى أي شيء Vehicle 2 Everything (V2X)
<b>41.....</b>	<b>4-الفصل الرابع: المرشحات الرقمية Digital Filters</b>
41.....	1-4 المرشحات ذات الاستجابة النبضية غير المحدودة IIR
42.....	1-1-4 أنواع مرشحات IIR
42.....	1-1-1-4 مرشح Butterworth
43.....	2-1-1-4 مرشح Chebyshev
44.....	3-1-1-4 مرشح Elleptic
44.....	2-1-4 إجابيات مرشحات IIR
45.....	2-4 المرشحات ذات الاستجابة النبضية المحدودة FIR
45.....	1-2-4 إجابيات مرشحات FIR
46.....	3-4 النوافذ Windows
46.....	1-3-4 نافذة Hamming
46.....	2-3-4 نافذة Hanning
47.....	3-3-4 نافذة Blackman
48.....	4-3-4 نافذة Kaiser
48.....	5-3-4 نافذة Nuttall's Blackman-harris
48.....	6-3-4 النافذة المستطيلة Rectangular Window
<b>50.....</b>	<b>5-الفصل الخامس: تقنيات الحوامل المتعددة Multicarrier Techniques</b>
50.....	1-5 تقنية Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)
51.....	1-1-5 إرسال واستقبال OFDM
52.....	2-1-5 التمثيل الرياضي المنقطع لرمز OFDM

53.....	3-1-5 إيجابيات تقنية OFDM
54.....	4-1-5 سلبيات تقنية OFDM
54.....	2-5 تقنية Filtered OFDM
55.....	1-2-5 النمذجة الرياضية لتقنية F-OFDM
56.....	2-2-5 تصميم المرشح
58.....	3-5 تقنية UFMC
59.....	1-3-5 النمذجة الرياضية لتقنية UFMC
60.....	2-3-5 تصميم المرشح
<b>61.....</b>	<b>6-الفصل السادس: القسم العملي</b>
61.....	1-6 دراسة أداء تقنيتي F-OFDM، UFMC مع أنواع أخرى من المرشحات
61.....	1-1-6 تقنية F-OFDM
62.....	1-1-1-6 الكثافة الطيفية للاستطاعة Power Spectral density PSD
63.....	2-1-1-6 معدل خطأ البت BER
64.....	3-1-1-6 نسبة الاستطاعة العظمى الى المتوسطة PAPR
66.....	2-1-6 تقنية UFMC
67.....	1-2-1-6 الكثافة الطيفية للاستطاعة Power Spectral density PSD
68.....	2-2-1-6 معدل خطأ البت BER
69.....	3-2-1-6 نسبة الاستطاعة العظمى الى المتوسطة PAPR
70.....	2-6 دراسة أداء تقنيتي F-OFDM و UFMC مع نموذج قناة خفوت حقيقية
76.....	3-6 الخلاصة
77.....	الدراسات المستقبلية
78.....	المراجع
82.....	ملحق A
83.....	الأبحاث المنشورة

## قائمة الأشكال

- الشكل (1-2): مخطط عام لشبكة GSM.....12
- الشكل (2-2): تجهيزات مستخدم UMTS.....15
- الشكل (3-2): مخطط عام لشبكة UMTS.....17
- الشكل (4-2): مخطط عام لشبكة LTE.....22
- الشكل (1-3): متطلبات IMT 2020.....27
- الشكل (2-3): طيف الأمواج الملمتريّة Millimeter Waves.....27
- الشكل (3-3): الخلايا الصغيرة Small Cell.....28
- الشكل (4-3): الهوائيات الكثيفة Massive MIMO.....29
- الشكل (5-3): توجيه الحزمة Beamforming.....29
- الشكل (6-3): الإرسال المزدوج على نفس التردد Full Duplex.....30
- الشكل (7-3): بنية شبكة SDN.....31
- الشكل (8-3): البنية التحتية لـ NFV.....32
- الشكل (9-3): تطبيقات شبكات الجيل الخامس.....39
- الشكل (1-4): مرشح IIR بطول N.....42
- الشكل (2-4): مرشح FIR بطول N.....45
- الشكل (3-4): استجابات النوافذ في المجال الزمني.....47
- الشكل (4-4): استجابات النوافذ في المجال الترددي.....47
- الشكل (5-4): الاستجابة النبضية في المجال الترددي والزمني للنافذة المستطيلة.....49
- الشكل (6-4): الكثافة الطيفية للاستطاعة للنوافذ.....49
- الشكل (1-5): تقنية FDM.....51
- الشكل (2-5): تقنية OFDM.....51
- الشكل (3-5): المخطط الصندوقي لتقنية OFDM.....52
- الشكل (4-5): المخطط الصندوقي لتقنية F-OFDM.....55



57.....	الشكل (5-5): الاستجابة النبضية للمرشح
58.....	الشكل (6-5): المخطط الصندوقي لتقنية UPMC
61.....	الشكل (1-6): مخطط ارسال F-OFDM
62.....	الشكل (2-6): الكثافة الطيفية للاستطاعة PSD للنافذة W1
62.....	الشكل (3-6): الكثافة الطيفية للاستطاعة PSD للنافذة W2
63.....	الشكل (4-6): الكثافة الطيفية للاستطاعة PSD للنافذة W3
63.....	الشكل (5-6): معدل خطأ البت BER مع طول مرشح $L=513$ للنافذة W1
64.....	الشكل (6-6): معدل خطأ البت BER مع طول مرشح $L=2049$ للنافذة W2
64.....	الشكل (7-6): معدل خطأ البت BER مع طول مرشح $L=4097$ للنافذة W3
65.....	الشكل (8-6): تخفيض نسبة PAPR بواسطة القص
67.....	الشكل (9-6): الكثافة الطيفية للاستطاعة PSD للحزم الفرعية للنافذة W1
67.....	الشكل (10-6): الكثافة الطيفية للاستطاعة PSD للحزمة بأكملها للنافذة W1
68.....	الشكل (11-6): الكثافة الطيفية للاستطاعة PSD للحزم الفرعية للنافذة W2
68.....	الشكل (12-6): الكثافة الطيفية للاستطاعة PSD للحزمة بأكملها للنافذة W2
68.....	الشكل (13-6): معدل خطأ البت BER للنافذة W1
69.....	الشكل (14-6): معدل خطأ البت BER للنافذة W2
69.....	الشكل (15-6): تخفيض نسبة PAPR بواسطة القص
71.....	الشكل (16-6): معدل خطأ البت لتعديل QPSK ونموذج قناة AWGN
72.....	الشكل (17-6): معدل خطأ البت لتعديل 16QAM ونموذج قناة AWGN
72.....	الشكل (18-6): معدل خطأ البت لتعديل 64QAM ونموذج قناة AWGN
73.....	الشكل (19-6): معدل خطأ البت لتعديل QPSK ونموذج قناة EPA
73.....	الشكل (20-6): معدل خطأ البت لتعديل 16QAM ونموذج قناة EPA
74.....	الشكل (21-6): معدل خطأ البت لتعديل 64QAM ونموذج قناة EPA
74.....	الشكل (22-6): تخطيط الرموز المرسل
75.....	الشكل (23-6): تخطيط الرموز المستقبل
75.....	الشكل (24-6): تخطيط الرموز المستقبل بعد تسويتها

## قائمة الجداول

الجدول (1-3): متطلبات IMT 2020.....	26
الجدول (2-3): استخدامات شبكات الجيل الخامس.....	35
الجدول (1-6): بارامترات محاكاة F-OFDM.....	61
الجدول (2-6): قيم الاستطاعة العظمى الى المتوسطة PAPR.....	66
الجدول (3-6): بارامترات محاكاة UFMC.....	66
الجدول (4-6): قيم الاستطاعة العظمى الى المتوسطة PAPR.....	70
الجدول (5-6): بارامترات المحاكاة في قناة خفوت حقيقية.....	71

## المختصرات العلمية

3 <sup>rd</sup>	Generation Project Partnership 3GPP
AU	Authentication Center
AAL2	ATM Adaptation Layer type 2
AI	Artificial Intelligence
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BER	Bit Error Rate
BSS	Base Station Subsystem
BTS	Base Transceiver Station
BSC	Base Station Controller
BBU	Baseband Unit
CP	Cyclic Prefix
CDMA	Code Division Multiple Access
C-RAN	Cloud Radio Access Network
CDL	Clustered Delay Line
DSP	Digital Signal Processing
D2D	Device to Device
D2N	Device to Network
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
EUTRAN	Evolved Universal Mobile Telecommunications System Terrestrial Radio Access Network
EPC	Evolved Packet Core
eICIC	enhanced Inter-cell Interference Coordination
eMBB	enhanced Mobile Broadband

EIR	Equipment Identity Register
ETU	Extended Typical Urban
EVA	Extended Vehicular A
EPA	Extended Pedestrian A
FDD	Frequency Division Duplex
F-OFDM	Filtered OFDM
FEC	Forward Error Check
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GMSC	Gateway Mobile Switching Centre
GMSC	Gateway Mobile Switching Center
GSM	Global System for mobile communication
GR	GPRS Register
GGSN	Gateway GPRS Support Node
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
HLR	Home Location Register
HSS	Home Subscriber Server
FIR	Finite Impulse Response
FDMA	Frequency Division Multiple Access
ISDN	Integrated Services Digital Network
IMEI	International Mobile Equipment Identity
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
IoT	Internet of Things
ISI	Inter Symbol Interference
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
IIR	Infinite Impulse Response
KPI	Key Performance indicator

LDPC	Low Density Parity check
LTE	Long Term Evolution
MMS	Multimedia Message Service
MS	Mobile Station
MT	Mobile Termination
MME	Mobility Management Entity
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MNO	Management and Network Orchestration
mMTC	massive Machine Type Communication
MSRN	Mobile Station Roaming Number
MSC	Mobile Switching Center
M2M	Machine to Machine
NFV	Network Function Virtualization
NSS	Network Switching Subsystem
OSS	Operation and Support Subsystem
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OoBE	Out Of Band Emission
PSTN	Public Switched Telephone Network
P-GW	Packet Data Network
PSD	Power Spectral Density
PER	Packet Error Rate
PCRF	Policy and Charging Rules Function
PAPR	Peak to Average Power Ratio
QoS	Quality of Service
RNS	Radio Network Subsystem
RNC	Radio Network Controller
RRU	Remote Radio Unit

RF	Radio Frequency
SMS	Short Message Service
SMS-GMSC	Short Message Service Gateway Mobile Switching Center
SIM	Subscriber Identity Module
SAE	System Architecture Evolution
SGSN	Serving GPRS Support Node
S-GW	Serving Gateway
SDN	Software Defined Networking
TDMA	Time Division Multiple Access
TE	Terminal Equipment
TDD	Time Division Duplex
TDL	Tapped Delay Line
UFMC	Universal Filter Multicarrier
uRLLC	ultra Reliable and Low Latency
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
UE	User Equipment
VLR	Visitor Location Register
V2X	Vehicle 2 Everything
V2V	Vehicle to Vehicle
V2P	Vehicle to Person
V2N	Vehicle to Network
V2I	Vehicle to Infrastructure
WWW	World Wide Web
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
X2AP	X2 Application Protocol
ZF	Zero Forcing

## الفصل الأول

## مقدمة عامة

تطورت الاتصالات الخليوية في الآونة الأخيرة بشكل سريع وتضمن هذا التطور تطوير أنظمة الاتصال مع استخدام معايير جديدة لأنواع مختلفة من حركات الاتصالات اللاسلكية بما فيها المكالمات الصوتية عبر شبكة الاتصالات الخليوية.

تلعب الاتصالات اللاسلكية دوراً هاماً في تحسين طريقة الاتصال عن طريق تقديمها لمعايير عديدة تتضمن مسافات اتصال متفاوتة كالبثوث الذي يتراوح مدى اتصاله بضعة أمتار والواي فاي التي تغطي مسافة اتصال حتى 100 متر والاتصالات الخليوية التي تغطي آلاف الأمتار.

قدمت هذه المعايير اللاسلكية طرق فعالة وغير مكلفة لجهة إرسال واستقبال البيانات ومنحت الاتصال عدة فوائد نذكر منها:

1. زيادة الفعالية حيث قادت تقنيات أنظمة الاتصالات الحديثة الى نقل أسرع للمعلومات بين المستخدمين.
2. مرونة أكبر لدى المستخدمين من ناحية حرية الحركة في منطقة التغطية وعدم الحاجة للثبات في مكان محدد.
3. خفض التكلفة، حيث أن الشبكات اللاسلكية أرخص من ناحية التركيب والصيانة مقارنة بالشبكات السلكية.

## 1-1 نمو الاتصالات الخليوية:

تطورت الاتصالات الخليوية منذ عدة عقود من الجيل 0G الى الجيل الخامس 5G الذي سيتم إطلاقه في عام 2020 مع بداية الأبحاث حول الجيل السادس 6G، قُدِّمَت خلال هذه الفترة معايير كثيرة وتقنيات واعدة في التعديل والترميز والتجميع لتحسين جودة الخدمة Quality of Service (QoS) والأداء Performance والفعالية Efficiency.

بدأت الهواتف اللاسلكية بالظهور بدءاً من الجيل 0G الذي تم فيه استخدام بعض القنوات المتوفرة دون تقديم خدمة التسليم Handover مع استخدام الإشارات التشابهية لنقل الصوت فقط وتنوعت فيه التقنيات المستخدمة مثل (PTT) Push To Talk.

تم بعدها الانتقال الى الجيل 0.5G وهو عبارة عن مجموعة من التقنيات تم عن طريقها تحسين ميزات 0G نذكر منها:

1. (ARP) AutoRadioPuhelin الذي تم إطلاقه عام 1971 في فنلندا كـ أول شبكة خليوية تجارية للاستخدام العام.

2. B-Netz الذي تم إطلاقه في ألمانيا عام 1972 كـ ثاني شبكة خليوية تجارية للاستخدام العام.

ظهر بعد ذلك الجيل الأول 1G والذي تم فيه اعتماد الخلايا Cells مع استخدام الإشارات التشابهية والتعديل التشابهي لإرسال واستقبال المعلومات.

تم بعد ذلك الانتقال الى الجيل الثاني من الاتصالات الخليوية 2G في عام 1990 معتمداً على التقنيات والإشارات الرقمية مع تقديم خدمات جديدة بالإضافة الى المكالمات الصوتية كـ إرسال الرسائل النصية (SMS) Short Message Service.

تميز الجيل الثاني بالأمان حيث تم تشفير الرسائل المراد إرسالها بسبب استخدامه للإشارات الرقمية Digital، كما تم فيه توظيف تقنيات التجميع بالتقسيم الترددي FDMA والزمني TDMA لزيادة السعة وتخدم أكبر عدد من المستخدمين.

بعد ذلك تم اعتماد الجيل 2.5G أو كما يسمى بـ (GPRS) General Packet Radio Service الذي تم فيه اعتماد تقنية التبديل بالرمز Packet Switching لتوفير خدمة الانترنت، حيث وصل معدل النقل الى 56Kbps مع تقديم خدمات مثل رسائل الوسائط المتعددة Multimedia Message (MMS) وإرسال واستقبال الإيميل E-mail و (WWW) World Wide Web.

أُطلق بعد ذلك الجيل 2.75G أو كما يسمى بـ Enhanced Data rates for GSM (EDGE) Evolution الذي حسّن معدل إرسال البيانات الى 236.8Kbps.



تم الانتقال بعد ذلك الى الجيل الثالث 3G الذي حسّن معدل النقل حتى 2Mbps وقُدِّم خدمات جديدة كلياً مقارنة مع الجيل الثاني مثل خدمة تحديد الموقع Global Positioning System (GPS) ومحادثات الفيديو Video Conferencing والتصفح السريع للإنترنت والتلفزيون عبر الإنترنت IPTV.

اعتمد الجيل الثالث على تقنية التجميع بالتقسيم المرزّ Code Division Multiple Access (CDMA) والتي تقوم على مبدأ إعطاء كود خاص بكل مستخدم يُمكن المستخدمين من الولوج الى الشبكة بنفس الزمن وعلى نفس التردد الأمر الذي أدى الى زيادة سعة الشبكة وتحسين جودة الخدمة وتحسين أمان المستخدمين.

تم بعد ذلك اعتماد الجيل 3.5G أو كما يُسمّى بـ High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) والذي دعم معدل نقل أعلى مقارنة بـ 3G تراوح بين 8-10Mbps ووصل الى حدود 20Mbps في حال استخدام تقنية الـ MIMO.

تم بعد ذلك الانتقال الى الجيل 3.75G والذي سُمّي بـ High Speed Uplink Packet Access (HSUPA) والذي تم فيه تحسين معدل النقل على الوصلة الصاعدة Uplink ووصل حتى 1.5Mbps و 5.8Mbps في الإصدارات الأخيرة Releases.

تم بعد ذلك الانتقال الى الجيل الرابع 4G والذي قدم معدل نقل وصل حتى 100Mbps من أجل حركية بسرعة 60Kmph و 1Gbps من أجل المحطات الثابتة.

تم في الجيل الرابع LTE استخدام تقنية التجميع بالتقسيم الترددي المتعامد OFDM والتي تتمثل فائدتها الأساسية في مقاومة الخفوت متعدد المسارات Multipath التي تعاني منه الإشارة عند انتشارها، حيث تتعرض لانعكاسات وانكسارات عن الأبنية والعوائق التي تعترضها مما يؤدي الى وصول أكثر من نسخة من الإشارة الى المستقبل وتداخلها مع بعضها البعض وانخفاض شدة الإشارة المستقبلية.

لكن تقنية OFDM عانت من عدة سلبيات أهمها محدودية الفعالية الطيفية والحساسية الكبيرة للإزاحة الترددية والزمنية وارتفاع نسبة الاستطاعة العظمى الى المتوسطة PAPR والتي تسبب

انبعاث عالي للإشارة خارج الحزمة الأساسية وتضخيم المطال في المنطقة اللاخطية والذي يخفض من فعالية وكفاءة المضخمات.

بالنظر الى سلبية تقنية OFDM ومع انتظار إطلاق شبكات الجيل الخامس 5G، تم البحث عن تقنيات جديدة في التعديل لتحسين الفعالية الطيفية ثلائم التطبيقات الجديدة لشبكات الجيل الخامس خصوصا مع استخدام تقنيات انترنت الأشياء IoT ووجود أعداد كبيرة من التجهيزات بحاجة الى الترخيم الراديوي وذلك من أجل تخفيض التداخلات قدر الإمكان والتي تحدث بسبب الانبعاث الطيفي OOB والذي يؤدي الى زيادة تداخلات القنوات المتجاورة ACLR.

تم الحصول على نتائج مشجعة بالنسبة لتخميد الفصوص في الحزمة الممنوعة  $-350\text{dB}$  بالنسبة لـ F-OFDM و  $-140\text{dB}$  بالنسبة لـ UFMC مع تحسين BER عن طريق زيادة طول المرشح على حساب زياد التعقيد، كما تم حساب نسبة PAPR وتخفيض قيمتها عن طريق تطبيق خوارزمية القص بمقدار  $4\text{dB}$  تقريبا بالنسبة لتقنية F-OFDM و  $5\text{dB}$  بالنسبة لتقنية UFMC.

تناولت العديد من الدراسات دراسة مشكلات الموجة المقترحة للاستخدام في شبكات الجيل الخامس وذلك لكل من الوصلة الصاعدة والهابطية وقيمت أدائها مقارنة مع تقنية OFDM.

تناول البحث **OFDM-based Schemes for Next Generation Wireless Systems** — Oltjon Kodheli عام 2016 دراسة التقنيتين F-OFDM، UFMC المقترحتان للاستخدام في شبكات الجيل الخامس 5G وقارن الباحث أدائهما مع تقنية OFDM المستخدمة في شبكات الجيل الرابع 4G وخلصت النتائج الى تحسن في الفعالية الطيفية من خلال تخفيض مستوى الفصوص الجانبية الى  $-120\text{dB}$  بالنسبة لتقنية F-OFDM و  $-80\text{dB}$  بالنسبة لتقنية UFMC.

درس البحث **F-OFDM scheme and filter design** — Huawei عام 2016 تصميم مرشح تقنية F-OFDM حيث اعتمد البحث على تصميم مرشح رقمي ذو استجابة نبضية محدودة FIR بالاعتماد على نافذة خاصة وتم الحصول على تخميد كبير للحزمة الممنوعة بمقدار  $-200\text{dB}$  مع انتقال ناعم لحزمة الانتقال.

تناول البحث **Comparative analysis of UFMC technology in 5G networks** Grigory Bochechka, Valery Tikhvinskiy, Ivan Vorozhishchev, Altay Aitmagambetov, Bolat Nurgozhin والمنشور في مجلة **International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON)** عام 2017 دراسة أداء تقنية UFMC المقترحة للاستخدام في شبكات الجيل الخامس 5G ك تقنية إرسال واستقبال متعددة الحوامل Multicarrier وخلصت النتائج الى تحسّن في الفعالية الطيفية لشبكات الجيل الخامس 5G مقارنة مع شبكات الجيل الرابع 4G.

كما وضح البحث أهمية الترشيح الإضافي المطبق في هذه التقنية الذي خفض مستوى الفصوص الجانبية للحوامل الفرعية وقلّل أخطاء الإزاحات ما أدى الى زيادة معدل إرسال البيانات بسبب تخفيض طول البادئة الدورية CP والذي يعني عدم الحاجة الى متطلبات تزامن معقدة وهذا ما يفسّر رخص أسعار أجهزة IoT.

تناول البحث **A Filtered OFDM Using FIR Filter Based on Window Function** Method Xudong Cheng, Yejun He, Baohong Ge, Chunlong He والمنشور في **IEEE 83<sup>rd</sup> Vehicular Technology Conference** عام 2016 دراسة أداء تقنية F-OFDM ومقارنته مع تقنية OFDM وذلك بالنسبة لعدة أنواع من النوافذ ولمختلف أنواع التعديلات الرقمية، وخلصت النتائج الى تخميد الفصوص الجانبية في الحزمة الممنوعة حتى -220dB بالنسبة لنافذة Blackman-Harris التي تم تطبيقها في البحث.

كما وضح هذا البحث تطابق أداء تقنيتي F-OFDM و OFDM من حيث معدل خطأ البت BER وازدياد سوءه من أجل سويات عالية من التعديل والتي تحتاج الى حزمة ترشيح أكبر أي زيادة طول المرشح.

درس البحث **Filtered-OFDM System Performance Research Based on Nuttall's Blackman-Harris Window** Yaohua Xu, Lizhang Yang والمنشور في **17th IEEE International Conference on Communication Technology** عام 2017 أداء تقنية F-OFDM وقارنها مع OFDM وخلصت النتائج الى تخميد مستوى الفصوص الجانبية Side lobes الى -220dB بالنسبة لنافذة Nuttall's Blackman-Harris مع أداء BER متطابق مع تقنية OFDM لمختلف سويات التعديل المطبقة.

درس البحث **P. Naga Rani, Dr. — UPMC: The 5G Modulation Technique** Ch. Santhi Rani, عام 2016 أداء تقنية UPMC وقارنه مع تقنية OFDM وخلصت النتائج الى تحسن في الفعالية الطيفية وتخميد الفصوص الجانبية بمقدار -80dB مع حساب نسبة PAPR لمختلف سويات التعديل.

درس البحث **Analysis of Candidate Waveforms for 5G Cellular Systems** Lei Zhang ، Ayesha Ijaz عام 2017 أداء التقنيات المقترحة للاستخدام في شبكات الجيل الخامس كـ تقنيات إرسال واستقبال W-OFDM، FBMC، GFDM، UPMC، F-OFDM وقارن أدائها مع تقنية OFDM وخلصت النتائج الى ما يلي:

بالنسبة لتقنية F-OFDM فقد تم استخدام مرشح من نوع Root Raised Cosine و الذي أعطى مستوى أخفض للفصوص الجانبية بالنسبة للحزمة غير المرغوبة مقارنة مع OFDM.

بالنسبة لتقنية UPMC فقد تم تحسين الفعالية الطيفية مقارنة مع OFDM حيث يعد هذا الأمر مناسب جدا لجهة التطبيقات التي تحتاج الى متطلبات جيدة من ناحية تداخل القنوات المتجاورة ACLR كما في الراديو الإدراكي CR.

لُوحظ ارتفاع نسبة الـ PAPR كما في تقنية OFDM والتي يمكن تحسينها عن طريق تطبيق خوارزميات خاصة بتخفيض نسبة PAPR.

## 1-2 مشكلة البحث:

اختيار شكل الموجة المناسبة لشبكات 5G عامل أساسي في تصميم الطبقة الفيزيائية لشبكات 5G حيث يجب أن تدعم التقنيات الجديدة كثافة المستخدمين المتزايدة ومعدلات النقل العالية المطلوبة وأن تزودنا باستخدام فعال للطيف المتوفر لدعم رؤية 5G:

**Everything Everywhere and Always Connected**

تكمن المشكلة في التقنية المستخدمة حاليا OFDM بأنها تعاني من سلبيات عدة أهمها ارتفاع نسبة الـ PAPR وحساسيتها العالية للإزاحة الترددية ومتطلبات التزامن المعقدة وهذا يجعلها غير فعالة للكثير من تطبيقات شبكات الجيل الخامس 5G.

لذلك تم البحث عن تقنيات جديدة بما فيها UPMC، Filtered OFDM التي توفر فعالية طيفية جيدة ومحسنة عن الجيل الرابع ولكن الأبحاث اقتصر على نوع محدد من المرشحات وظروف قناة مثالية AWGN ولم يتم دراستهما من أجل ظروف القناة الحقيقية كالخفوت.

### 3-1 هدف البحث:

يهدف هذا البحث لتحسين الفعالية الطيفية لشبكات الجيل الخامس حيث سيتم دراسة أداء التقنيتين المقترحتان للاستخدام في شبكات الجيل الخامس F-OFDM، UPMC وتحليلهما من حيث الكثافة الطيفية للاستطاعة (Power Spectral Density (PSD ومعدل خطأ البت Bit Error Rate (BER ونسبة PAPR مع تقييم أدائها في نموذج قناة حقيقي.

يعالج هذا البحث تقييم أداء تقنيتي F-OFDM و UPMC كتقنيتي حوامل متعددة مقترحتين للاستخدام في شبكات الجيل الخامس في الإرسال والاستقبال حيث تم تنظيم الأطروحة كما يلي:

يتعرض الفصل الأول لمقدمة عامة عن أهمية ومشكلة البحث مع توضيح نتائج الدراسات السابقة يليه الفصل الثاني الذي يتحدث عن أجيال الاتصالات الخلية الرقمية ومعمارياتها وإيجابياتها وسلبياتها ثم الفصل الثالث الذي يتحدث عن الطريق إلى الجيل الخامس والتقنيات الواعدة التي سيتم استخدامها مع توضيح للتطبيقات الجديدة كليا ثم الفصل الرابع الذي يشرح المرشحات الرقمية وأنواعها واستخداماتها في معالجة الإشارة.

ينتقل البحث إلى الفصل الخامس الذي يتحدث عن تقنيات الحوامل المتعددة والنمذجة الرياضية للتقنيات المدروسة مع المخططات الصندوقية لكل منها، ثم يتابع إلى الفصل السادس وهو القسم العملي الذي جرى فيه محاكاة التقنيتين باستخدام برنامج الـ MATLAB حيث تم توضيح التحسين الذي تم في الفعالية الطيفية بالنسبة للدراسات المرجعية المعتمدة مع دراسة الأداء BER لمختلف النوافذ والتعديلات الرقمية وحساب قيمة PAPR لكل منها ثم تم تقييم الأداء في نموذج

قناة حقيقي EPA مع توضيح كيفية تخطيط الرموز و ارسالها و استقبالها و تقليل التداخلات  
الناجمة عن انتشار الإشارات في القناة عن طريق استخدام أحد خوارزميات التسوية ألا و هي  
الإجبار الصفري ZF.

## الفصل الثاني

## الجيل الرابع للاتصالات الخليوية

## 2-1 الجيل الثاني للاتصالات الخليوية 2G:

يشير مصطلح (GSM) Global System for mobile communication الى النظام العالمي للاتصالات الخليوية والذي يستخدم تقنية التجميع بالتقسيم الزمني Time Division Multiple Access (TDMA) والتردد Frequency Division Multiple Access (FDMA) لتخديم المشتركين عبر بنية تبديل بالدارة Circuit Switching يتم فيها تقسيم المجال الترددي للقناة 200 KHz الى ثمانية أحياء يحجز كل منها 25 KHz.

## 2-1-1-2 بنية شبكة GSM:

يمكن تقسيم مكونات شبكة الـ GSM الى أربع عناصر رئيسية [1]:

## 2-1-1-2-1 الجهاز الخليوي (MS): Mobile Station

ان المصطلح الشائع لـ MS هو الجهاز المحمول أو الجهاز الخليوي بسبب العمل في بيئة مقسمة خلأيا ويتكون بشكل رئيسي من بطاقة الـ (SIM) Subscriber Identity Module و البطارية ولوحة العتاد الصلب المستخدمة لإرسال واستقبال المعلومات، ويتميز كل جهاز خليوي برقم تعريف خاص به يدعى بـ (IMEI) International Mobile Equipment Identity ويدل هذا الرقم على مكان التصنيع وهو ثابت لا يتغير.

تحتوي بطاقة تعريف المشترك أو كما تسمى بـ SIM على المعلومات الخاصة بالزبائن والتي يتم تخزينها في النظام الخليوي وتتضمن الرقم الخاص بالمشترك International Mobile Subscriber Identity (IMSI).

## 2-1-1-2-2 النظام الفرعي للمحطة القاعدية (BSS): Base Station Subsystem

يعتبر هذا العنصر من أهم المكونات فهو الذي يقوم بإدارة المكالمات بين الأجهزة الخليوية راديويا ويتكون من العناصر التالية:

### ➤ محطة الإرسال والاستقبال القاعدية (BTS) Base Transceiver Station:

تتضمن الـ BTS المرسلات والمستقبلات الراديوية وتتموضع في كل خلية من النظام الخليوي وهي مسؤولة عن تنفيذ الاتصال عن طريق التحدث مع جهاز الموبايل MS عبر وصلة تدعى Um Interface.

### ➤ المتحكم بالمحطة القاعدية (BSC) Base Station Controller:

وهي مسؤولة عن إدارة الترابط الراديوي عبر التحكم بالمحطات القاعدية BTSS التابعة لها وتخصيص وتحرير القنوات الترددية وإدارة عملية التسليم Handover وتتصل مع الـ BTS عبر وصلة تدعى Abis Interface.

### 2-1-1-3 النظام الفرعي لتبديل الشبكة (NSS) Network Switching Subsystem:

يمكن تسمية هذا العنصر بـ النظام المركزي حيث يعتبر المتحكم الرئيسي بوصلات الاتصال والنظام بأكمله ويتكون من الأقسام التالية:

### ➤ مركز التبديل الخليوي (MSC) Mobile Switching Center:

يعتبر الـ MSC مركز خدمات التبديل للاتصالات الخليوية فهو يعمل كالمقسم الموجود في شبكات الاتصالات الهاتفية العامة (PSTN) Public Switched Telephone Network أو مجمع التبديل الموجود في الشبكة الرقمية للخدمات المتكاملة Integrated Services Digital Network (ISDN) كما يقوم بدعم وتأمين جميع وظائف الترابط بين المشتركين عن طريق دعم الأجهزة الخليوية الموجودة ضمن المنطقة الجغرافية المرتبطة به.

كما أنه يعطي وصلة لتأمين الاتصال بين شبكة الاتصال الخليوية وشبكة الاتصالات الهاتفية PSTN عن طريق بوابة تدعى بـ (GMSC) Gateway Mobile Switching Centre تستخدم لتوجيه المكالمات بين الشبكات الخليوية والهاتفية الأرضية.

### ➤ مسجل الموقع الأساسي (HLR) Home Location Register:

عبارة عن قاعدة معطيات تحتوي على المعلومات الخاصة بالمستخدمين وأرقام تعريف الأجهزة الخليوية وسجلات مواقع الزائرين كما يتم فيه تخزين المعلومات الخاصة بإدارة المكالمات الواردة الى الـ MSC المرتبط مع الجهاز الخليوي MS، فعندما يقوم المشترك بتشغيل هاتفه يتم تسجيل بيانات المشترك في النظام من خلال التخابر مع الـ BTS القريبة له ويمكن عندئذ توجيه المكالمات بالشكل الصحيح للزبون.



### ➤ مسجل موقع الزائرين (VLR) :Visitor Location Register

وهو الوحدة التي تسجل بشكل متكرر معلومات المشترك عندما يكون ضمن منطقة يغطيها الـ VLR، ويرتبط الـ VLR بمركز تبديل MSC أو أكثر الذي يقوم بتسجيل المشترك عبر التواصل مع الـ VLR.

### ➤ مسجل تعريف الجهاز (EIR) :Equipment Identity Register

يتم عن طريق EIR معرفة فيما إذا كان مسموح للجهاز الخليوي الولوج للشبكة أو ممنوع حيث يكون لكل جهاز خليوي رقم مميز يدعى بـ IMEI كما تم التوضيح سابقاً يتم إرفاقه مع العتاد الصلب

وتخزينه في قاعدة معطيات مسجل تعريف الجهاز للتمكن من تتبع الأجهزة المحمولة.

### ➤ مركز التوثيق (AU) :Authentication Center

يتم فيه تخزين المعلومات الخاصة بالمشاركين المخزنة في بطاقة الـ SIM كما يتمتع بالسرية والموثوقية لضمان أمان المعلومات الحساسة الخاصة بالزبائن.

### ➤ بوابة مركز التبديل للاتصال الخليوي (GMSC) :Gateway Mobile Switching Center

وهي مسؤولة عن توجيه مكالمات الزبون باتجاه الـ MSC الصحيح عن طريق الحصول على رقم تجوال جهاز الموبايل (MSRN) Mobile Station Roaming Number من الـ HLR، كما تعد وسيلة الربط بين الشبكة الخليوية وشبكة الهواتف الأرضية.

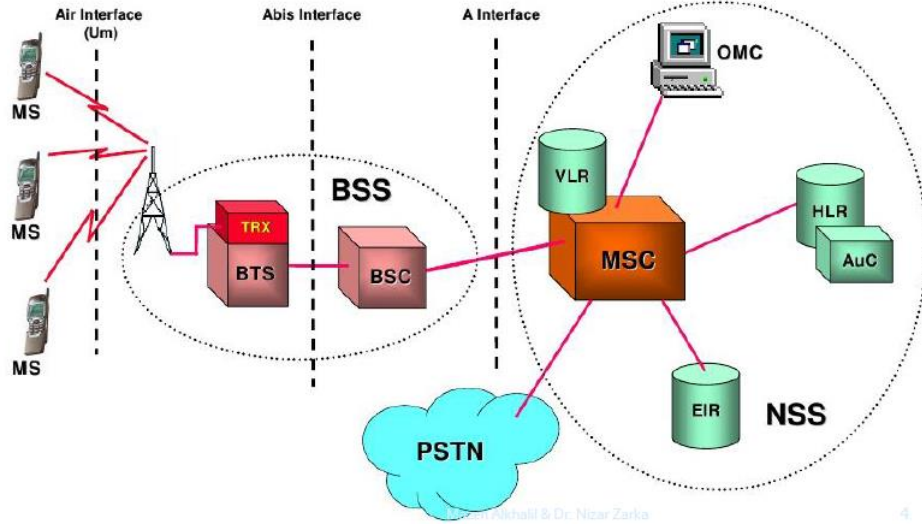
### ➤ بوابة عبور رسائل القصيرة SMS Gateway

وهي مسؤولة عن توجيه الرسائل القصيرة الى جهاز الموبايل MS عن طريق مركز تبديل خدمة الرسائل القصيرة للموبايل Short Message Service Gateway Mobile Switching Center (SMS-GMSC).

## 4-1-1-2 النظام الفرعي للدعم والتشغيل Operation and Support Subsystem (OSS):

يتم عن طريق OSS التحكم بنظام GSM بأكمله وهو مسؤول عن مهام تشغيل وصيانة الشبكة وتجهيزاتها إضافة الى إدارة الاشتراكات من خلال تحديد الجهة التي تتحمل تكاليف الاتصال.

يوضح الشكل التالي مخطط عام لشبكة الـ GSM:



الشكل (1-2): مخطط عام لشبكة GSM [2]

## 2-1-2 وصلات شبكة الـ GSM :

تتضمن شبكة GSM الوصلات الراديوية التالية [3]:

### 1. وصلة Um:

تستخدم هذه الوصلة لتبادل المعلومات بين جهاز الموبايل MS ومحطة القاعدة (BTS / BSC).

### 2. الوصلة Abis:

تقوم هذه الوصلة بربط الـ BSC والـ BTS ومسؤولة عن التخصيص الترددي في محطة القاعدة .BTS

### 3. الوصلة A:

تستخدم هذه الوصلة لتزويد الاتصال بين الـ BSC والـ MSC، حيث تحمل هذه الوصلة المعلومات الخاصة بتنفيذ القنوات وتخصيص الأحياز الزمنية لتخديم الأجهزة الخليوية من قبل الـ BSSs، كما تعد مسؤولة عن نقل الرسائل الخاصة بعمليات التسليم Handover.

### 4. الوصلة B:

تتوضع هذه الوصلة بين الـ MSC والـ VLR وتستخدم هذه الوصلة من قبل الـ MSC كوصلة داخلية عندما يريد الوصول الى البيانات بغض النظر عن موقع الموبايل MS.

### 5. الوصلة C:

تتوضع هذه الوصلة بين الـ HLR والـ GMSC أو SMS-G وهي مسؤولة عن الربط بين شبكة الموبايل وشبكة الـ PSTN أو شبكة موبايل أخرى.

### 6. الوصلة D:

تتوضع الوصلة D بين الـ VLR و HLR ويتم عن طريقها تبادل البيانات الخاصة بموقع جهاز الموبايل MS.

### 7. الوصلة F:

تستخدم هذه الوصلة بين الـ MSC و EIR وتستخدم للتأكد من حالة جهاز الموبايل MS فيما إذا كان مسموح له الولوج للشبكة أم لا.

### 8. الوصلة G:

تربط هذه الوصلة بين مسجلي موقع VLR متصلين مع MSCs مختلفة لنقل معلومات المشترك خلال إجرائية تحديث الموقع.

### 9. الوصلة H:

تربط هذه الوصلة بين الـ MSC و SMS-G وهي مسؤولة عن نقل الرسائل القصيرة.

### 10. الوصلة I:

تتوضع هذه الوصلة بين الـ MSC و ME، ويتم نقل الرسائل الخاصة بها بشكل شفاف عبر الـ BSS.

## 2-1-3 إيجابيات شبكة الـ GSM:

تتضمن إيجابيات شبكات الجيل الثاني ما يلي [5] [4]:

1. توفر شبكة الـ GSM منتجات وحلول ذات كلفة جيدة.
2. محطات القاعدة المنشورة في كافة أنحاء العالم توفر اتصال لاسلكي مستمر لتخديم الزبائن بدون عرقلة.
3. النسخ المحسنة من شبكات الـ GSM والتي تم فيها استخدام أعداد هوائيات أكبر أعطت سرعات تحميل Download/Upload لأعلى.

4. يعمل الهاتف بناءً على بطاقة الـ SIM والذي يمكن من تغيير نوع الجهاز بدون أي مشكلة.
5. لا يوجد أي تأثير لإشارة الـ GSM في داخل المنازل والمكاتب.
6. لا يوجد أي صعوبة في مكاملة شبكات الـ GSM مع أنواع الشبكات الأخرى UMTS، LTE.
7. جودة إشارة جيدة داخل الأبنية.

## 2-1-4 سليات شبكة الـ GSM:

تتضمن سليات شبكات الجيل الثاني ما يلي [5] [4]:

1. من أجل زيادة التغطية فإنه يجب تركيب مكررات وهذا الأمر مكلف.
2. محدودية معدل النقل Data Rate.
3. تستخدم شبكات الـ GSM تقنيتي الوصول FDMA، TDMA التي يتشارك بها المستخدمين عرض الحزمة نفسه والذي سيقود الى تداخل عند وجود عدد كبير من المستخدمين، ومن أجل تجنب هذا الأمر فإنه يتم استخدام خوارزميات تصحيح متينة في الأجهزة الخليوية ومحطات القاعدة Base Stations.
4. إمكانية كشف الإشارة بسهولة.

## 2-2 الجيل الثالث للاتصالات الخليوية 3G:

لقد تم تصميم نظام الاتصالات الخليوية العالمي (UMTS) Universal Mobile Telecommunication System لاستيعاب الطلب المتزايد على تطبيقات الانترنت والموبايل وبمعايير جودة الخدمة المطلوبة.

يستخدم الوصول المتعدد بتقسيم الشيفرة بحزمة عريضة Wideband Code Multiple Access (WCDMA) Division كـ وصلة راديوية للـ UMTS ومن ميزاته معدل إرسال عالي وسعة نظام أكبر وجودة اتصال عالية مقارنة مع GSM، بالإضافة لخدمة الاتصال الهاتفي التقليدي وخدمات البيانات التي تقدمها GSM، حيث يوفر UMTS خدمات تصفح ذات سرعة عالية للمستخدمين أينما كانوا في العالم.

## 2-2-1 بنية شبكة UMTS:

يوجد مجالان أساسيان في شبكة UMTS، الأول هو مجال البنية التحتية الذي يتضمن الشبكة المركزية (CN) Core Network والثاني هو شبكة الـ (UTRAN) بالإضافة الى مجال تجهيزات المستخدم (UE) User Equipment.

يوجد الـ UTRAN الذي يتكون من محطة متحركة "الموبايل" و المحطة القاعدية (هوائي، مرسل مستقبل، المتحكم) و الوصلات الراديوية بين المحطة المتحركة والمحطة القاعدية.

في شبكة UMTS، المهمة الرئيسية للشبكة المركزية المعروفة بـ CN هي تقديم التبديل والتوجيه لبيانات المستخدم كما تحتوي الشبكة المركزية أيضاً على قاعدة البيانات وتقوم بمهام إدارة الشبكة.

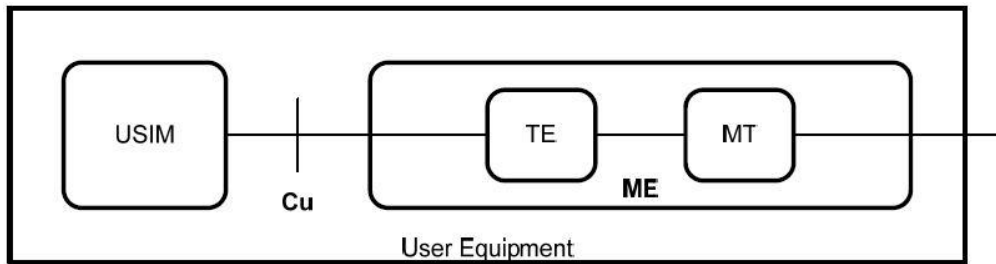
## 2-1-2-2 تجهيزات المستخدم User's Equipments:

يملك مجال تجهيزات المستخدم تشكيلة من أنواع التجهيزات ومستويات وظيفية مختلفة حيث يمكن لهذه التجهيزات أن تكون متطابقة مع وصلات الوصول الموجودة وفيها بطاقة ذكية قابلة للإزالة يمكن أن تُستخدم في أنواع مختلفة لتجهيزات المستخدم.

يتفرع هذا القسم إلى فئتين فرعيتين [6]، واحدة هي مجال تجهيزات الموبايل (ME) والثاني هو مجال وحدة هوية خدمات المستخدم (USIM).

يمكن أن تتفرع تجهيزات الموبايل أيضاً إلى عدة كيانات أخرى فمجال الـ ME عبارة عن طرف الموبايل (MT) Mobile Termination ويشمل الكيانات العادية التي تؤدي وظيفة الإرسال الراديوية والتجهيزات الطرفية (TE) Terminal Equipment المسؤول عن تطبيقات نهاية لنهاية.

تقوم تجهيزات الموبايل بمهمة الإرسال الراديوي وتُدمج كل هذه الوظائف في بطاقة ذكية منفصلة التي تحوي بيانات مستخدم محدد ويمكن لهذه البطاقة تحديد هذه المستخدم بغض النظر عن الـ ME الذي يستخدمه.



الشكل (2-2): تجهيزات مستخدم UMTS [6]

## 2-1-2-2 شبكة الوصول الراديوي الأرضية لنظام الاتصالات الخليوية العالمي UTRAN:

تمتلك UTRAN مجموعة أنظمة فرعية لشبكة الراديو (RNSs) Radio Network Subsystem حيث تكون RNS مسؤولة عن تخصيص وتحرير المصادر الراديوية [6] من أجل تأسيس الاتصال بين UE و UTRAN.

تتصل RNS بالشبكة المركزية من خلال الوصلة Iu وتمتلك عنصري شبكة جديدين هما أداة تحكم شبكة الراديو (RNC) Radio Network Controller والمحطة القاعدية Node B.

ال RNC الذي يتصل بمجموعة محطات قاعدية Node B كل منها يمكن أن يخدم خلية واحدة أو عدة خلايا مسؤول عن التحكم بمجمل المصادر المنطقية لـ Node B كما تشمل مسؤولية RNC على قرارات التسليم Handoffs.

ال Node B مسؤولة عن الإرسال والاستقبال الراديوي في خلية أو أكثر من وإلى ال UE ويمكن لل Node B أن تدعم وضع (TDD) Time Division Duplex و Frequency Division Duplex (FDD).

تتصل ال Node B بال UE عبر الوصلة الراديوية Uu كما تتصل بال RNC من خلال الوصلة الراديوية Iub وتعد مسؤولة عن جوانب التعديل والانتشار بالإضافة لترميز القناة Channel Coding وتصحيح الأخطاء Forward Error Correction كما تقوم بتحويل تدفق البيانات بين الوصلات Iub و Uu وتشارك في إدارة المصدر الراديوية.

### 2-1-3 الشبكة المركزية CN:

تتعامل الشبكة المركزية [6] بشكل رئيسي مع الوظائف التي لا تتعلق مباشرة بتكنولوجيا الولوج الراديوي وتستخدم الشبكة المركزية المتصلة بـ UTRAN من خلال واجهة Iu وضع النقل غير المتزامن (ATM) Asynchronous Transfer Mode من أجل إرسال UTMS المركزي.

يتم التعامل مع تدفق البيانات المبدلة بالدارة عن طريق ATM Adaptation Layer type 2 (AAL2)، بينما يتم التعامل مع تدفق البيانات المحول بالرمز عن طريق AAL5 وتنقسم شبكات UTMS المركزية بشكل رئيسي إلى مجالين:

➤ مجال التبديل بالدارة.

➤ مجال التبديل بالحزمة.

➤ مجال التبديل بالدارة Circuit Switched Domain:

يتعامل هذا المجال بشكل رئيسي مع تدفق البيانات المبدلة بالدارة [6] والتي تتطلب مصادر شبكة مخصصة ووصل بيني إلى الشبكات الخارجية المبدلة بالدارة حيث يتصل المجال المبدل بالدارة بـ UTRAN من خلال الوصلة Iu-CS.

العناصر الأساسية للمجال المبدل بالدارة هم مركز تبديل الخدمة Mobile Service Switching Centre (MSC)، سجل الموقع الأساسي (HLR) Home Location Register، سجل موقع الزائر (VLR) Visitor Location Register وبوابة (GMSC). (GMSC).

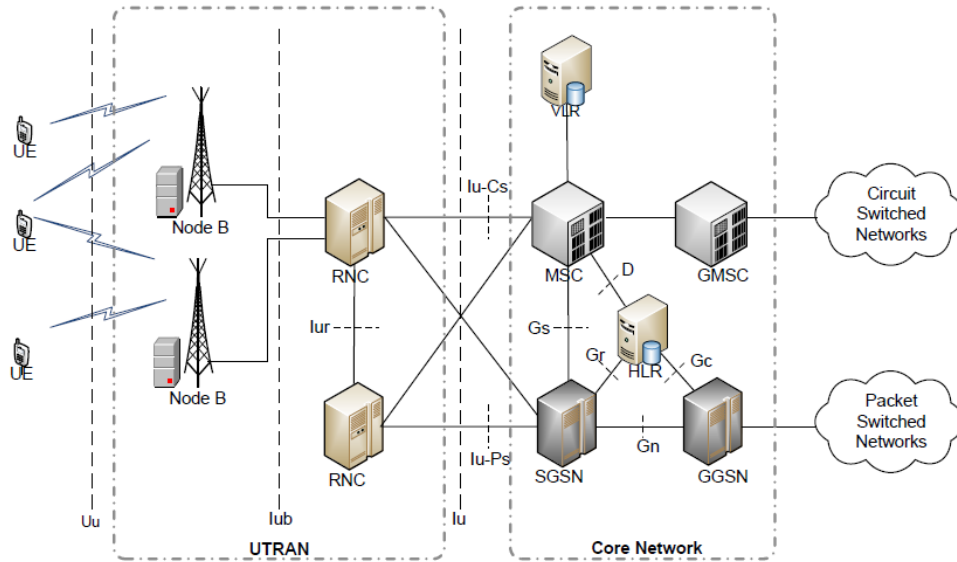
### ➤ مجال التبديل بالرمز Packet Switched Domain:

يتعامل هذا المجال بشكل رئيسي مع تدفق بيانات الرزم [6] ويقوم بتوصيل شبكة الموبايل بشبكات التبديل بالرمز الخارجية ويتصل مجال التبديل بالرمز بـ UTRAN عبر الوصلة Iu-PS.

العناصر الرئيسية لهذا المجال هم عقدة دعم خدمة GPRS Serving GPRS Support Node (SGSN)، عقدة دعم بوابة GPRS (GGSN) Gateway GPRS Support Node، سجل GPRS (GR) GPRS Register.

بعض العناصر موجودة في كلا المجالين وهي سجل الموقع الرئيسي Home Location Register (HLR)، سجل موقع الزائرين (VLR) Visitor Location Register، سجل هوية التجهيزات (EIR) Equipment Identity Register ومركز المصادقة (AuC) Authentication Centre.

يوضح الشكل التالي مخطط عام لشبكة الـ UMTS:



الشكل (2-3): مخطط عام لشبكة UMTS [6]

### 2-2-2 وصلات شبكة الـ UMTS:

تم تعريف أربع وصلات جديدة في UMTS [6] وهي كالتالي:

## 1. وصلة Iu:

يتم إقامة الاتصال بين متحكمات شبكة الراديو (RNC) وعُقد الشبكة المركزية عن طريق وصلة Iu، حيث تقسم النظام بحيث يتم معالجة التبديل والتوجيه وتحكم بالخدمة عن طريق (CN) ومعالجة إدارة المصادر الراديوية من قبل UTRAN.

تدعم الوصلة Iu العمليات والوظائف التالية:

1. تأسيس وصيانة حوامل الولوج الراديوية.
2. التسليم ضمن النظام والتسليم بين الأنظمة.
3. إجراءات دعم خدمة البث الخليوي.
4. خدمات الموقع عن طريق نقل الطلبات من CN إلى UTRAN ومعلومات الموقع من UTRAN إلى CN.
5. ولوج متزامن إلى مجالات CN متعددة من أجل UE وحيدة.

## 2. وصلة Iur:

لا يوجد مماثل لواجهة Iur في نظام GSM وهي تصل الـ RNCs في UTRAN وتستخدم بشكل أساسي ATM كبروتوكول نقل.

تدعم الوصلة Iur التوصيلات التالية:

1. تدعم التحرك بين RNC.
2. تدعم تدفق بيانات القناة المخصص بين الـ RNCs.
3. تدعم تدفق بيانات القناة المشترك بين الـ RNCs.

وظائف وصلة Iur الأساسية:

1. إدارة نقل الشبكة.
2. إدارة حركية البيانات لقنوات النقل المشتركة.
3. إدارة حركية البيانات لقنوات النقل المخصصة.
4. إدارة حركية البيانات لقنوات النقل المشتركة بالوصلة الهابطة وأيضاً قنوات النقل المشتركة بالوصلة الصاعدة في حال أمكن ذلك.



### 3. وصلة lub:

lub هي الوصلة المنطقية التي تصل محطة القاعدة Node B مع RNC و تشمل المسؤوليات الأساسية لوصلة lub ما يلي:

1. إدارة مصادر نقل lub.
2. إدارة معلومات النظام.
3. إدارة تدفق البيانات القنوات المشتركة.
4. إدارة تدفق البيانات لقنوات المخصصة.
5. إدارة التوقيت والتزامن.

### 4. وصلة Uu:

وهي الوصلة الراديوية التي تؤمن الاتصال بين طرفية المستخدم و RNC عبر Node B.

## 2-2-3 إيجابيات شبكة الـ UMTS:

تتضمن إيجابيات شبكة الـ UMTS ما يلي [7]:

- كثافة طاقة طيفية منخفضة: تنقل كثافة الطاقة الطيفية بانتشار الإشارة على نطاق ترددي كبير وبذلك لا تتأثر أنظمة الاتصال الأخرى بهذا النوع من الاتصالات أي لا يحدث تداخل.
- الخصوصية بفضل الكودات العشوائية غير المعروفة حيث تكون الترميزات المطبقة غير معروفة للمستخدم المهاجم ما يمنعه من كشف رسالة مستخدم آخر.
- تقليل تأثيرات المسارات المتعدد.
- إمكانية الوصول العشوائي حيث يمكن للمستخدمين بدأ الإرسال في أي وقت.
- أداء جيد ضد التشويش.
- مكاسب جيدة عن طريق تطبيق التنوع Diversity.
- إعادة استخدام تردد خليوي: لا حاجة لتخطيط التردد.

## 2-2-4 سلبيات شبكة الـ UMTS:

تتضمن سلبيات شبكة الـ UMTS ما يلي [7]:

- السعة المحدودة: يتدنى أداء النظام عند جميع المستخدمين بازدياد عددهم.
- مشكلة العقدة Near Far.

- ضعف في التعامل مع التداخل: مطلوب تحكم بالطاقة.
- انعدام التطابق مع أنظمة TDMA.
- تتطلب دراسات تخطيطية معقدة.

## 2-3 الجيل الرابع للاتصالات الخليوية 4G:

إن بنية شبكات الجيل الرابع 4G تشبه الى حد ما بنية شبكات الجيل الثالث 3G مع وجود بعد التطويرات في هيكلية الشبكة، حيث تم الاستغناء عن تقنية التبديل بالدرات Circuit Switching واستبدالها بتقنية التبديل بالرمز Packet Switching كما تم إزالة الـ MSC المستخدم لإدارة الحركة في شبكات الجيل الثاني وأصبحت معالجة حركية الصوت تتم كرزمة بيانات في محطة القاعدة .BS

### 2-3-1 بنية شبكة LTE :

لقد تم في شبكات الجيل الرابع (LTE) Long Term Evolution تقسيم البيانات الصوتية الى رزم [8] وتوجيهها خلال هيكلية تعتمد بروتوكول الانترنت IP من خلال استخدام تقنية Voice Over IP وتم الاعتماد على تقنية الوصول بالتقسيم الترددي المتعامد Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) بسبب تمتعها بخصائص فريدة كالفعلالية الطيفية الجيدة وممانتها للخفوت متعدد المسارات Multipath.

يمكن تقسيم البنية الشبكية لشبكات الجيل الرابع 4G الى:

### 2-3-1-1 شبكة الوصول الراديوي لشبكات الـ LTE:

تستخدم شبكة الوصول الراديوي [8] من أجل تأمين الاتصال بين الأجهزة الخليوية وهوائيات المشغل الخليوي وتسمى بـ Evolved Universal Mobile Telecommunications System (EUTRAN) Terrestrial Radio Access Network وتتكون من:

#### ➤ طرفيات الموبايل LTE Mobile Terminals:

عبارة عن الأجهزة الخليوية والأجهزة الأخرى التي تدعم إصدار الجيل الرابع LTE.

#### ➤ الوصلة الراديوية Radio Interface:

عبارة عن الوصلة اللاسلكية التي تربط بين الأجهزة الخليوية ومحطات القاعدة eNodeB.

### ➤ المحطة القاعدية eNodeB:

وهي عبارة عن المحطات القاعدية التي تربط بين الأجهزة الخليوية الداعمة للجيل الرابع مع الشبكة الفقرية Core Network.

### 2-1-3-2 الشبكة الفقرية Core Network:

وهي عبارة عن صميم الشبكة [8] وتتكون من عدة مبدلات هاتفية تقوم بتأمين الخدمات المختلفة لمستخدمي الهواتف الخليوية ك الانترنت وتقوم بتأمين اتصال الأجهزة الخليوية مع الشبكة وتأمين استمرار الاتصال، وتوفر اتصال الأجهزة الخليوية مع الشبكة الهاتفية الثابتة.

يستخدم على الشبكة الفقرية مصطلح صميم الرزم المطور Evolved Packet Core (EPC) أو تطور بنية النظام System Architecture Evolution (SAE) ويمكن تقسيمها الى خمس عناصر:

### ➤ عنصر إدارة الحركة (MME) Mobility Management Entity:

وهو عبارة عن عقدة التحكم المركزية في ال EPC ومسؤول عن تأشير الحركة Mobility والأمان Security والمتابعة المستمرة للطرفيات Tracking.

### ➤ بوابة الترخيم (S-GW) Serving Gateway:

تتصل SW-G مع P-GW وتقوم بنقل حركة المستخدمين بين طرفيات الأجهزة الخليوية والشبكات الخارجية، كما تقوم بوصل شبكة الوصول الراديوي مع ال EPC.

### ➤ بوابة شبكة بيانات الرزم (P-GW) Packet Data Network:

تصل ال P-GW شبكة ال EPC مع الشبكات الخارجية وتقوم بتوجيه الحركة من وإلى شبكات بيانات الرزم PDN.

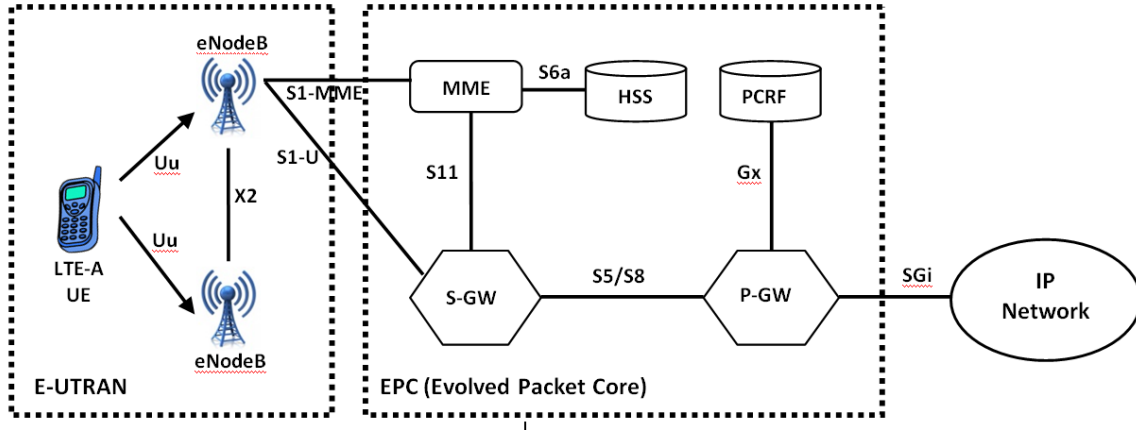
### ➤ مخدّم المشترك الأساسي (HSS) Home Subscriber Server:

هو عبارة عن قاعدة المعطيات التي تحتوي البيانات الخاصة بالمستخدمين ومسؤول عن الموثوقية وعمليات تأسيس الاتصال.

### ➤ تابع تزويد القواعد والسياسات (PCRF) Policy and Charging Rules Function:

وهو العقدة المسؤولة عن ضمان جودة الخدمة وتزويد معلومات الاشتراك للمستخدمين بالزمن الحقيقي في شبكة الـ EPC.

يوضح الشكل التالي مخطط عام لشبكة الـ LTE:



الشكل (2-4): مخطط عام لشبكة LTE [8]

### 2-3-2 وصلات شبكة LTE:

يوجد أنواع مختلفة من الوصلات المستخدمة في شبكات الجيل الرابع [9] وهي:

#### 1. الوصلة S1:

تصل هذه الوصلة بين E-UTRAN و EPC وتنقسم S1 الى قسمين هما مستوى التحكم ويدعى بـ S1-MME الذي ينقل رسائل التأشير بين eNB و MME ومستوى المستخدم ويدعى بـ S1-U الذي ينقل حركية المستخدم بين eNB و S-GW.

#### 2. الوصلة X2:

تقوم بوصل الـ eNB مع بعضها البعض وتنقسم أيضا الى قسمين هما X2 C-plane الذي ينقل رسائل بروتوكول التطبيق (X2 Application Protocol (X2AP) بين محطات القاعدة eNBs ويقوم بإدارة الحركية والتسليم داخل شبكة LTE.

القسم الثاني هو X2 U-Plane ويستخدم لتمثيل حركية المستخدم بين الـ eNBs.

**3. الوصلة Uu:**

مسؤولة عن معالجة الاتصالات بين تجهيزات المستخدمين UE والشبكة كما تقوم بنقل رسائل التأشير الخاصة بمحطة القاعدة eNB.

**4. الوصلة S6a:**

تستخدم هذه الوصلة لنقل البيانات الخاصة بالمشاركين والبيانات الخاصة بالموثوقية بين الـ MME و HSS لمعرفة فيما إذا كان مصرح للمستخدم بالولوج للشبكة أم لا.

**5. الوصلة S3:**

تصل هذه الوصلة بين MME و SGSN فعندما يتحرك المستخدم من منطقة تغطية 4G الى منطقة تغطية 3G تتصل SGSN مع MME عبر هذه الوصلة وتطلب منه المعلومات الخاصة بالمستخدم.

**6. الوصلة S4:**

تربط هذه الوصلة بين SGSN و SGW فعندما يقوم الجهاز الخليوي بالتبديل بين شبكتي 4G و 3G تقوم الـ SGSN بالاتصال مع SGW لتأسيس الجلسة والقيام بالتبديل.

**7. الوصلتان S5/S8:**

تربط الوصلتان S5/S8 بين S-GW و P-GW حيث تستخدم الوصلة S8 عندما يكون الجهاز الخليوي في حالة تجوال بين مختلف المشغلات الخليوية وتستخدم S5 عندما لا يكون في حالة تجوال.

**8. الوصلة S11:**

تصل هذه الوصلة بين MME و S-GW وتقوم بوظائف دعم حركية الجهاز الخليوي وقيامه بعملية التسليم.

**2-3-3 إيجابيات شبكات الجيل الرابع LTE :**

تتضمن إيجابيات شبكات الجيل الرابع LTE [10]:

➤ شبكة بيانات رزمية: شبكة 4G هي شبكة مبنية بالكامل بالاعتماد على الـ IP كما توفر عرض حزمة أكبر وهذا يعني مرور المزيد من البيانات عبر الشبكة.

- **المزيد من الأجهزة والتطبيقات:** يمكن لأجهزة شبكات 4G أن تستغل وجود عرض حزمة أكبر وسرعات أعلى من أجل توفير تطبيقات ذات متانة كبيرة.
- **السرعة:** القيمة المقترحة للسرعة النظرية لشبكة 4G هي معدل نقل بيانات يصل إلى 100 Mbps من أجل سيناريو حركية عالية و 1Gbps من أجل سيناريو حركية منخفضة.
- **التسليم:** المعايير المحسنة لشبكة 4G ستسمح بعملية تسليم أكثر سلاسة من منطقة إلى أخرى بدون قطع أي عمليات إرسال جارية والذي سينتج تدفق سلس لبيانات المستخدم.
- **زمن استجابة أسرع:** أحد مزايا تكنولوجيا 4G هي زمن الاستجابة السريع أو التأخير القليل حيث قللت تكنولوجيا 4G التأخير إلى واحد بالمئة من الثانية (حوالي 10ms).

### 2-3-4 سلبيات شبكات الجيل الرابع LTE

تتضمن سلبيات شبكات الجيل الرابع LTE [10]:

- رغم كل المزايا المذكورة سابقاً، ما يزال هناك الكثير من نقاط الضعف و القيود التي يجب معالجتها.
- أحد التقييدات الرئيسية هي نطاق التشغيل فالمناطق الريفية والكثير من الأبنية في المدينة لا تُخدم بشكل جيد من قبل الشبكات اللاسلكية الموجودة.
- هذا التقييد الموجود في الشبكات الحالية سوف يستمر في الأجيال المستقبلية للأنظمة اللاسلكية كما أن استخدام ترددات جديدة يعني ضرورة إضافة مكونات جديدة إلى أبراج الخلية.
- بعض التقييدات الأخرى تكمن في استهلاك أكبر للبطارية وهذا يتطلب أجهزة أكثر تعقيداً ما يزيد الكلفة بسبب الحاجة الى شراء أجهزة تتوافق مع الجيل الرابع.

الخلاصة:

تم في هذا الفصل توصيف الجيل الثاني والثالث والرابع للاتصالات الخليوية من حيث البنية والوصلات المستخدمة و التطويرات المحدثّة في كل جيل كما جرى عرض مختلف الإيجابيات و السلبيات المتعلقة بكل جيل.

## الفصل الثالث

## شبكات الجيل الخامس

ما زالت التحضيرات للانتقال من LTE/LTE-Advanced الى الجيل القادم من الاتصالات الخليوية 5G تجري على قدم وساق في مناطق متعددة من العالم، وقد قدمت METIS و 5G NOW أبحاث متقدمة في مشكلات الموجة المقترحة Waveform التي تتلاءم مع متطلبات شبكات الجيل الخامس 5G .

سيوفر الجيل الخامس أو كما يعرف بالجيل القادم للاتصالات الخليوية عرض حزمة عالي Bandwidth لم يتم استغلاله وتجربته من قبل كما سيدعم تطبيقات مميزة وجديدة كـ انترنت الأشياء IoT والمدن الذكية Smart City والشبكات الذكية Smart Grid....

## 3-1 الاحتياجات التي ستليها شبكات الجيل الخامس 5G:

ما زالت حركية الاتصالات الخليوية عريضة النطاق بازدياد مستمر مرتبطة بازدياد الطلب على خدمة الاتصال الخليوي من قبل المستخدمين وتحسين الأداء وجودة الشبكات الخليوية حيث ظهرت تقنيات وأجهزة وخدمات وتطبيقات جديدة قدمت طرقاً متقدمة في كيفية استغلال الطيف الترددي.

## 3-1-1 خصائص ومتطلبات IMT 2020:

تم توصيف الأهداف المستقبلية لشبكات الجيل الخامس في الوثيقة ITU-R M.2083-0 [11]، واعتمدت الميزات الجديدة على 8 بارامترات لتوصيف الأداء وارتبطت هذه البارامترات ارتباطاً وثيقاً بـ نوع التطبيق كما هو الحال بالنسبة للتطبيقات ذات المهمة الحرجة Critical Mission التي تحتاج على سبيل المثال الى تأخير منخفض جداً من رتبة ms والذي يحتاج الى معدلات نقل عالية تصل الى 10-20 Gbps.

ستشمل التطبيقات أيضاً خدمة انترنت الأشياء (IoT) Internet Of Things واتصال آلة الى آلة Machine to Machine (M2M) والتي ستصل أعداد هائلة من الأجهزة الذكية والطرفيات مع بعضها آلياً دون تدخل العنصر البشري بالإضافة الى الاتصال إنسان-آلة Human-Machine.

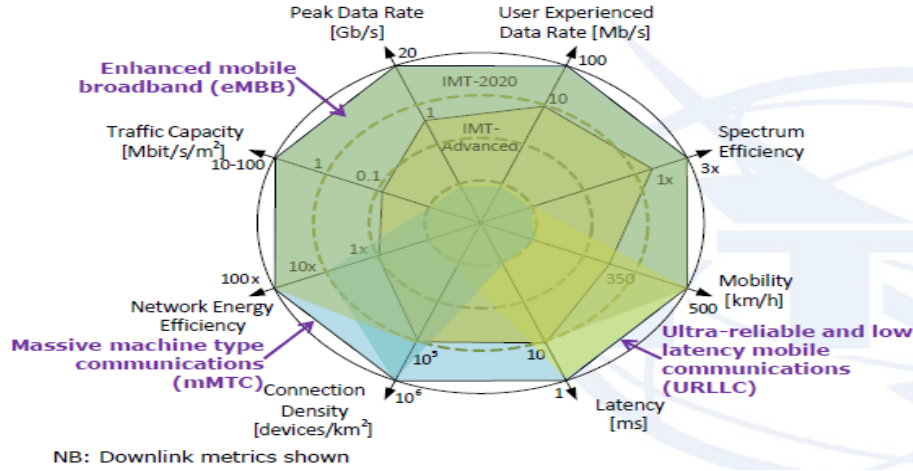
يوضح الجدول (3-1) البارامترات الخاصة بالـ IMT 2020 والقيم الخاصة بتخديمها:

الجدول (3-1): متطلبات IMT 2020 [11]

القيمة	البارامتر
10-20 Gbps	معدل النقل الأعظمي: وهو معدل النقل المنجز تحت شروط مثالية للاتصال ويقاس بـ Gbps
100Mbps في المناطق الريفية أو المدينة و 1Gbps في البيئات الداخلية (نقاط الاتصال Hotspot)	معدل النقل المُجَرَّب من قبل المستخدم: وهو عبارة عن مقياس لمعدل النقل المُجَرَّب من قبل المستخدم في منطقة التغطية ويقاس بـ Mbps أو Gbps
1 ms	التأخير Latency: يعبر عن الزمن اللازم لإرسال الرزمة على الشبكة الراديوية حتى استقبالها من قبل المستقبل ويقاس بالميلي ثانية ms.
500Km/h لتأمين اتصالات القطارات السريعة	الحركية Mobility: وتعتبر عن السرعة الاعظمية للنقل بين عقد الشبكة في مختلف الطبقات وتعتبر أحد بارامترات جودة الخدمة QoS وتقاس بالـ Km/h.
$10^6 \text{ devices/ Km}^2$	كثافة الاتصال Connection density: وتعتبر عن العدد الكلي للأجهزة الخليوية المتصلة على الشبكة في مساحة جغرافية معينة ويقاس بـ $\text{devices/ Km}^2$ .
قيمتها أكبر بـ 100 مرة من IMT-advanced.	الفعالية الطاقية Energy efficiency: يمكن التعبير عن الفعالية الطاقية من جانبين: 1- من جانب الشبكة: وتشير الى كمية بتات المعلومات المرسله والمستقبله من قبل المستخدمين بالنسبة الى نسبة استهلاك الاستطاعة في شبكة الوصول الراديوي وتقاس بـ bit/Joule. 2- من جانب الجهاز: وتشير الى كمية بتات المعلومات بالنسبة لاستهلاك الاستطاعة بالنسبة الى جهاز الاتصال وتقاس بـ bit/Joule.
قيمتها أكبر بـ 3 مرات من IMT-advanced	الفعالية الطيفية Spectrum Efficiency: وتعبر عن معدل تدفق البيانات الأوسطي وتقاس بـ bit/s/Hz
$10 \text{ Mbit/s/m}^2$	سعة الحركة الجغرافية Area Traffic Capacity: وتعبر عن تدفق الحركة الكلي في منطقة جغرافية معينة ويقاس بـ $\text{Mbit/s/m}^2$



يعبر الشكل (1-3) عن المتطلبات التي سيلبيها IMT 2020 والموضحة وفق الجدول السابق:



الشكل (1-3): متطلبات IMT 2020 [12]

### 2-1-3 التقنيات القادمة مع شبكات الجيل الخامس 5G:

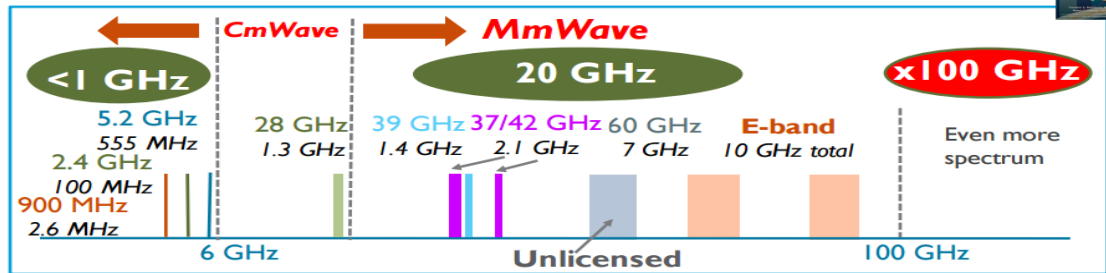
#### 1-2-1-3 الأمواج الملمتية Millimeter Waves:

أدى الازدحام الكبير في شبكات الاتصال العائد لتزايد عدد المستخدمين Users والأجهزة Devices إلى استهلاك بيانات أكثر على نفس عرض الحزمة المتاحة Bandwidth والذي أدى إلى تخصيص نطاق ترددي صغير نسبياً لكل مستخدم نتج عنه خدمة بطيئة وانقطاعات متكررة.

بسبب هذه المشكلة تم اقتراح استخدام نطاق ترددي جديد [13] لم يتم استخدامه في شبكة الاتصالات الخليوية من قبل ألا وهو نطاق الترددات العالية جداً EHF والذي يتراوح بين 30-300 GHz وتتراوح أطواله الموجية بين 1mm-10mm.

بالرغم من إيجابيات استخدام الأمواج الملمتية المتمثلة في عرض النطاق العالي والانتشار وفق خطوط مستقيمة مع عرض حزمة إشعاع ضيقة "2 درجة" والتي تقلل نسبة تداخل الإشارات بشكل كبير فإنها تعاني من سيئة رئيسية وهي الامتصاص بواسطة المطر وعدم قدرتها على اختراق الجدران والتي تم حلها عن طريق توظيف ما يسمى بالخلايا الصغيرة.

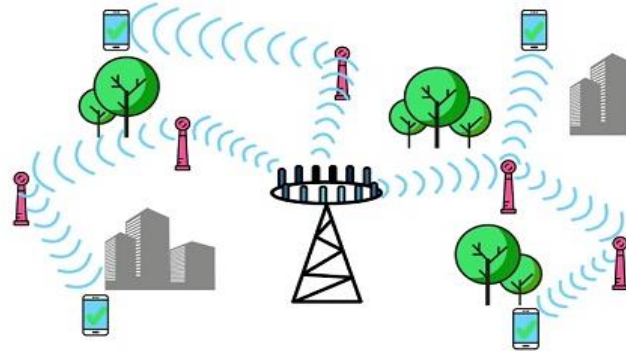
#### Millimeter wave spectrum for 5G



الشكل (2-3): طيف الأمواج الملمتية Millimeter Waves [14]

### 3-2-1-3 الخلايا الصغيرة Small cells:

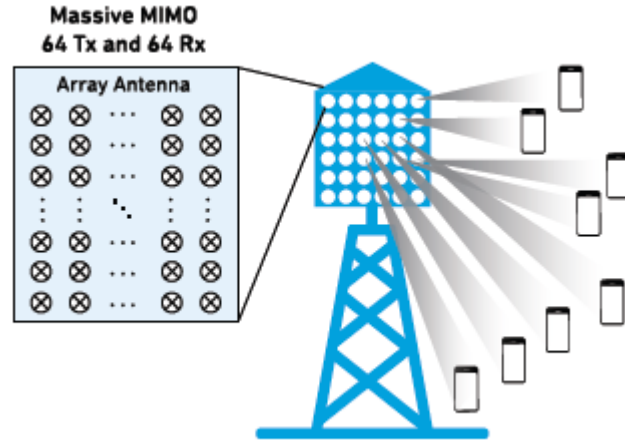
وهي عبارة عن محطات قاعدية صغيرة الحجم تتطلب استطاعة منخفضة لتشغيلها [13] يتم توزيعها في أرجاء المكان المراد تخديمه لتوفير التغطية، ويمكن لمشغلي الشبكات الخليوية تركيب آلاف المحطات لتشكيل شبكة كثيفة تعمل كمكرر Rely لمنع اسقاط الاتصال. لحسن الحظ وبسبب استخدام الأمواج الملمترية فإن الهوائيات المستخدمة صغيرة جدا مقارنة مع مثيلاتها من الأجيال السابقة والذي سيمكّن من نشر هذه الهوائيات في إشارات المرور وتركيبها على الأبنية وهذا سيقود الى أداء أفضل لشبكة الاتصال. تكمن الفائدة الرئيسية في استخدام الخلايا الصغيرة في تحسين التجربة الخليوية للمستخدمين من خلال تحسين جودة التغطية في المناطق المزدحمة بالسكان "مدن" وتقليل استهلاك الطاقة الذي سيساهم في تخفيض استهلاك الموارد.



الشكل (3-3): الخلايا الصغيرة Small Cell [13]

### 3-2-1-3 الهوائيات الكثيفة Massive MIMO:

تعالج شبكات الجيل الرابع 4G الحركية الخليوية عن طريق استخدام عشرات الهوائيات في الإرسال والاستقبال (Multiple Input Multiple Output (MIMO)، بينما ستستخدم شبكات الجيل الخامس 5G مئات الهوائيات [13] والتي يمكن وضعها في مصفوفة واحدة بسبب حجمها الصغير والذي سيمكن من إرسال واستقبال الإشارات من وإلى مستخدمين أكثر في نفس اللحظة والذي سيؤدي إلى زيادة الحركية Traffic وتحسين الفعالية الطيفية Spectral Efficiency. تكمن السيئة الرئيسية في استخدام الهوائيات الكثيفة أن إرسال واستقبال الإشارات بهذا الكم الكبير سيؤدي إلى تداخلات كبيرة بينها والذي سيتم الحد منه عن طريق استخدام تقنية "توجيه الحزمة Beamforming".

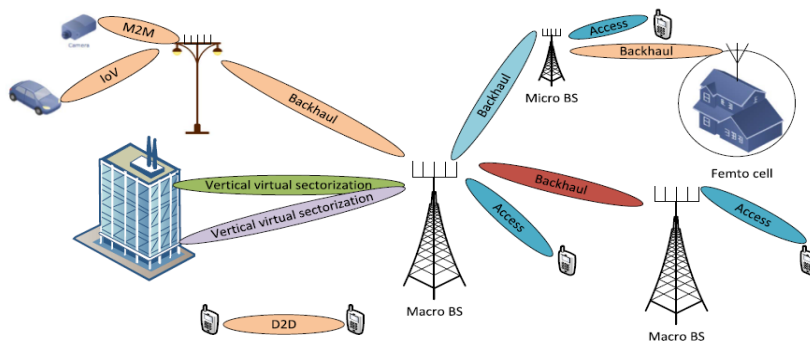


الشكل (3-4): الهوائيات الكثيفة Massive MIMO [15]

### 3-1-2-4 تشكيل الحزمة Beamforming:

عبارة عن نظام تأشير لحركية الإشارات في النظام الخليوي [13] يمكّن محطات القاعدة من تحديد أفضل مسار لإيصال البيانات باتجاه طرفية المستخدم وهذا ما يخفض التداخل مع الطرفيات المجاورة.

إن التكامل بين تقنيتي Beamforming و Massive MIMO سيساعد في استخدام الطيف بشكل فعال أكثر عن طريق توظيف خوارزميات معالجة إشارة تقوم برسم أفضل مسار إرسال إلى كل مستخدم والذي يقلل نسبة التداخل بشكل كبير مع زيادة كمية الإشارات المرسلّة من قبل الهوائيات. تساعد هذه التقنية في تركيز حزمة الإشعاع باتجاه طرفية المستخدم والذي يقود إلى زيادة الربح وتقوية الإشارة لدى المستخدم المطلوب، وبالتكامل مع استخدام الأمواج المليمترية Millimeter Waves ذات الحزمة الضيقة جداً سنحصل على زيادة في استطاعة الإشارة المستقبلية و تقليل كبير للتداخلات بين المستخدمين.

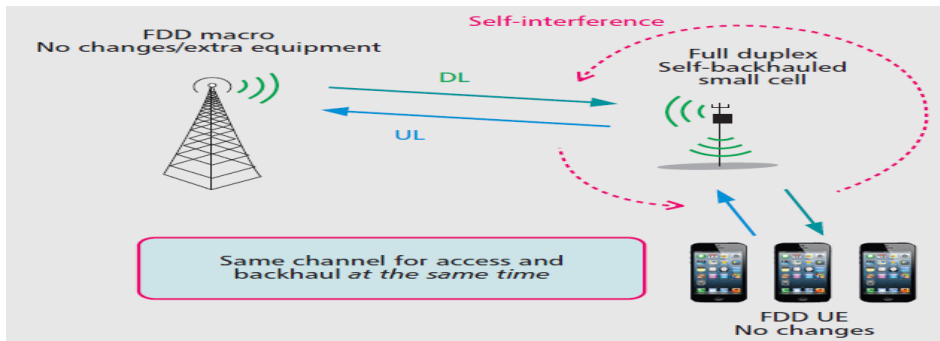


الشكل (3-5): توجيه الحزمة Beamforming [16]

### 3-1-2-5: Single Frequency Full Duplex: الإرسال المزدوج على نفس التردد

إن المحطات القاعدية الحالية Base Station والهواتف الخليوية Mobile تعتمد على مرسلات ومستقبلات راديوية تقوم بإرسال واستقبال المعلومات على ترددات مختلفة، ومع استخدام شبكات الجيل الخامس 5G سنتمكن من إرسال واستقبال المعلومات في نفس الزمن وعلى نفس التردد [13] والذي أطلق عليه Single Frequency Full Duplex وهذا سيزيد السعة Capacity بشكل كبير. من أجل تحقيق ذلك فإنه ينبغي تصميم دارة يمكنها توجيه الإشارات الواردة والصادرة دون اصطدام وذلك أثناء إرسال واستقبال الهوائي الخاص بالمحطة القاعدية وفي نفس الوقت، لكن يعد هذا الأمر صعب للغاية بسبب تذبذب الأمواج الراديوية بشكل مباشر وعكسي عند إرسالها على نفس التردد بسبب الحاجة إلى دارات تبديل سريعة وهذا ما تم عن طريق تطوير أنواع جديدة من الترانزستورات "مفاتيح" تتميز بسرعة تبديل عالية.

أحد المشكلات الأساسية هي التداخل الذاتي Self-Interference أو ما يصطلح عليه بالصدى حيث يقوم المرسل ببث الإشارة التي تكون قريبة من هوائي الجهاز الراديوي وتكون استطاعتها أكبر بكثير من أي إشارة مستقبلية ويتم العمل حالياً لحل هذه المشكلة عن طريق خوارزميات خاصة لإلغاء الصدى.



الشكل (3-6): الإرسال المزدوج على نفس التردد Full Duplex [17]

### 3-1-2-6: Visualization: الحوسبة الافتراضية

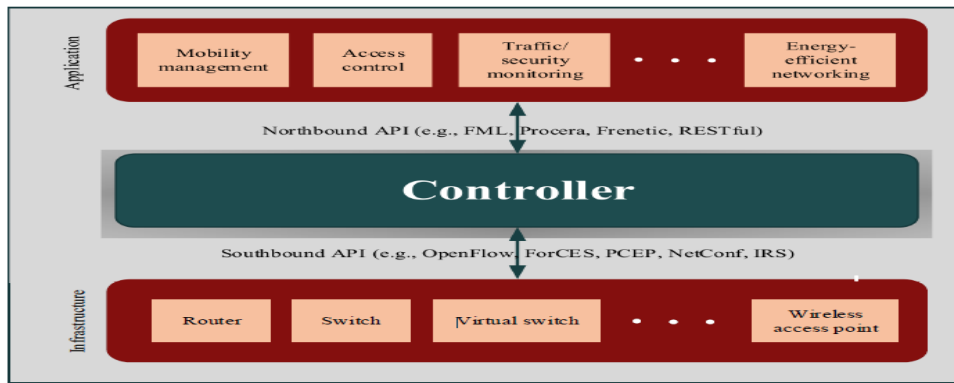
إن تقديم خدمات جديدة في الشبكات الحالية يعد أمر صعب جداً بسبب الحاجة لتبديل العتاد الصلب الموجود Hardware وتغيير إعدادات الشبكة فتم البحث عن تقنيات جديدة لتوظيفها في الشبكات شملت ما يلي:

#### ➤ الشبكات المعرفة برمجياً (SDN) Software Defined Networking:

تم اقتراح SDN لتقديم إدارة مرنة عبر نموذج تحكم مركزي منطقي [18]، أي أن سيتواجد متحكم عبارة عن برنامج مركزي يدير سلوك الشبكة عبر مجموعة من القواعد.

يوجد عدة إيجابيات لفصل المستويين data، Control عن طريق توظيف SDN تكمن في:

- 1- المرونة العالية.
  - 2- قابلية برمجة الشبكة عن طريق تطبيقات خارجية.
  - 3- إدارة الشبكة مركزيا عبر المتحكم.
  - 4- الوصلات المفتوحة بين الأجهزة في مستوى التحكم Control Plane وتلك الموجودة في مستوى البيانات Data Plane.
- تقسم بنية الـ SDN الى ثلاثة أقسام رئيسية تتضمن:
1. أجهزة الشبكة الفيزيائية مثل مبدلات الإيثرنت Ethernet Switches والموجهات Routers وتتوضع في أسفل طبقة مشكلة مستوى البيانات Data Plane.
  2. المتحكمات التي تتوضع في الطبقة المركزية والتي تقوم بإدارة إعدادات الشبكة وتعالج التدفق ومسارات الحركة في الشبكة.
  3. التطبيقات والتي تحتوي على إدارة التشبيك لضمان فعالية طاقة جيدة والأمور المتعلقة بإدارة سياسات الامن Security والتحكم بالوصول Access Control لتشغيل وإدارة الشبكة.



الشكل (3-7): بنية شبكة SDN [18]

### ➤ الشبكات الموظفة افتراضيا (NFV) Network Function Virtualization:

يمكن تصنيف مكونات NFV الى أربع عناصر [19]:

#### (a) البيئة التحتية لـ NFV:

عبارة عن مركز بيانات يعتمد التخزين السحابي يحتوي على عتاد صلب وبرامج افتراضية تشكل بنية NFV من حيث الحساسات والآلات الافتراضية والمبدلات الافتراضية وتتكون من:

العتاد الصلب Hardware ويحتوي على ذواكر الـ RAM ووحدات المعالجة والتخزين مثل أقراص التخزين والأجهزة الشبكية مثل Router, Switch.

طبقة الحوسبة الافتراضية Virtualization Layer والتي تفصل العتاد الصلب عن البرمجي وتمكّن المعالجة البرمجية بشكل مستقل عن المعالجة الفيزيائية ويوجد منها عدة مصادر مفتوحة مثل KVM, VMWare.

موارد الحوسبة الافتراضي Virtualization Resources وتشمل الحواسيب الافتراضية والتخزين الافتراضي والشبكة الافتراضية.

### (b) إطار شبكة الحوسبة الافتراضية Framework:

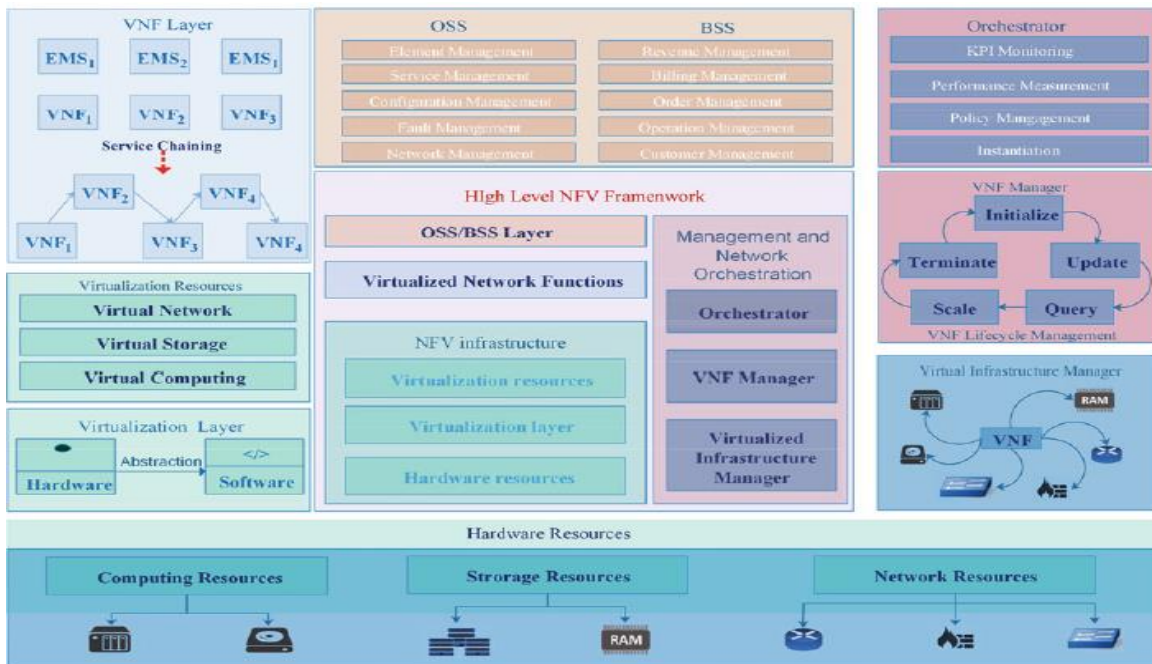
يعد أحد الأقسام المهمة في بنية NFV ويمثل طريقة إنجاز الشبكة برمجيا ويمكن أن يتم عن طريقه تأمين اتصال أكثر من VFN لإنجاز مهمة كبيرة وتدعى عندئذ بسلسلة التقديم Service Chaining، وتشمل VNFs-vFirewall-Vrouter.

### (c) توزيع وإدارة الشبكة (MNO) Management and Network Orchestration:

مدير البنية التحتية الافتراضية VNF Manager والذي يقوم بالتحكم وإدارة التفاعل بين VFN و NFV من حيث الحوسبة والتخزين وإدارة موارد الشبكة، كما يقوم بإدارة دورة حياة VFN ومسؤول عن التهيئة والتحديث والتوسعة وإنهاء تنفيذ VNF. يقوم الموزع Orchestrator بإدارة دورة حياة خدمات الشبكة والتي تتضمن السياسات الأمنية وقياسات الأداء ومراقبة مؤشرات الأداء (KPI) Key Performance Indicator.

### (d) طبقة OSS/BSS:

تقوم طبقة OSS بالتعامل بإدارة الأخطاء والإعدادات والخدمات والعناصر المتعلقة بالشبكة بينما تقوم BSS بإدارة القسم المتعلق بالمستخدم من حيث الطلب والفوترة.



الشكل (3-8): البنية التحتية لـ NFV [19]



➤ **شبكة الوصول الراديوي السحابية (C-RAN):** تقنية وإعدة لزيادة سعة الشبكة بسبب ازدياد متطلبات المستخدمين وعدد الأجهزة المراد تقديمها، حيث يتم فيها تجميع الموارد المتاحة الخاصة بإشارة المعلومات Baseband ومشاركتها بين محطات القاعدة BSs بسبب تكيفها مع طبيعة الحركية غير المنتظمة واستخدامها لموارد الشبكة بشكل فعال أكثر.

تم في الجيل الثالث والرابع استخدام الجيل الثاني من المحطات القاعدية BSs [18] وتم تسمية وحدة المعالجة الراديوية بـ (RRU) Remote Radio Unit التي تتلخص مهامها بـ:

- المعالجة الرقمية Digital Processing.
  - التحويل الرقمي التشابهي DAC.
  - التحويل التشابهي الرقمي ADC.
  - تضخيم الاستطاعة والترشيح Power Amplification and Filtering.
- كما تم تسمية وحدة معالجة إشارة المعلومات بـ (BBU) BaseBand Unit والتي يمكن أن تتصل بـ RRU عن طريق الكبل الضوئي أو وصلة ميكروية مع مسافة 40km ووفر هذا الجيل مزايا هامة لمشغلي الشبكات الخليوية كسهولة الوصول لـ BBU وتخفيض حجم الـ Site.
- تم تسمية الجيل الثالث من المحطات القاعدية بـ C-RAN والذي سيتم استخدامه في شبكات الجيل الخامس وهو ومختلف كلياً عن الأجيال السابقة، حيث تم فيه تجميع الـ BBU في وحدة معالجة جديدة للنطاق الأساسي تم تسميتها بـ BBU-Pool من أجل تحسين أداء الـ BBU وموازنة الحمل بين المحطات القاعدية BSs.

#### يمكن تلخيص إيجابيات استخدام C-RAN كما يلي [18]:

- تخفيض الكلفة والطاقة واستهلاك الاستطاعة لمشغل الشبكة بسبب تخفيض عدد الـ BBU واعتماد التخزين السحابي Cloud Service.
- تحسين قابلية التوسعة وزيادة سهولة صيانة الشبكة بسبب إمكانية نشر وتحديث الـ BBU المستخدمة في C-RAN بسهولة.
- تحسين آليات النشر والتخديم لزيادة الفعالية الطيفية والتدفق عن طريق تنسيق الاتصالات المتعددة Coordinated Multi-point وتحسين تنسيق التداخل داخل الخلية enhanced Inter-Sites (eICIC) cell Interference Coordination، وهذا ما ضمنه ارتباط عدة مواقع Sites بـ BBU-Pool واحدة مما قلل التأخير وحسن الأداء.
- موازنة الحركية غير المنتظمة: حيث أن حمل الشبكة يزداد في النهار ويقل في الليل بسبب تحرك المشتركين بين مناطق مختلفة.

### 3-1-3 استخدامات شبكات الجيل الخامس:

تصنف الخدمات التي يقدمها الجيل القادم من الاتصالات الخليوية 5G ضمن ثلاثة أقسام رئيسية [21] [20] وهي:

#### 1-3-1-3 المجال العريض الخليوي المحسن (eMBB) enhanced Mobile Broadband:

يدعم هذا القسم الاتصالات المستقرة مع معدلات نقل عالية بشكل عام ومتوسطة بالنسبة للمستخدمين المتوسعين على حواف الخلية حيث يمكن اعتبار eMBB جزء موسع من خدمات الجيل الرابع عريضة النطاق.

يتميز الاتصال بنوع خدمة eMBB بحمولة كبيرة Payload وبنموذج تنشيط فعال للجهاز بحيث يبقى الاتصال مستقر لفترة زمنية طويلة مما يسمح بجدولة الأجهزة اللاسلكية للمورد الترددي المتاح بشكل فعال بحيث لا يخصص أكثر من جهاز بشكل متزامن الى نفس المورد.

تهدف eMBB لزيادة معدل نقل البيانات وضمان موثوقية الاتصال مع معدل خطأ للرزمة Packet Error Rate (PER) من رتبة  $10^{-3}$ .

#### 2-3-1-3 اتصال الآلة الكثيف (mMTC) massive Machine Type Communication:

يدعم هذا القسم التطبيقات التي تتضمن أعداد كثيفة من التجهيزات مثل تطبيقات انترنت الأشياء IoT والتي يتم فيها تنشيط العقد بشكل دوري لإرسال رزم قصيرة ذات حمولة منخفضة.

يتميز الاتصال بنوع خدمة mMTC بأنه متقطع ويستخدم معدل ارسال منخفض وثابت في الوصلة الصاعدة Uplink.

عند لحظة زمنية معينة، تصل البيانات الى مجموعة كبيرة من أجهزة mMTC المتصلة مع المحطة القاعدية BS، عندئذ تصبح هذه الأجهزة في حالة تنشيط وتحاول ارسال البيانات الخاصة بها.

وبسبب العدد الضخم للأجهزة، لا يتوجب تخصيص المورد الترددي لجهاز وحيد بل يجب مشاركته بين مجموعة الأجهزة عبر عملية مشاركة عشوائية Random.

تهدف mMTC لزيادة معدل الوصول الذي يمكن دعمه بالنسبة لمورد ترددي معطى مع ضمان معدل خطأ الرزمة من رتبة  $PER=10^{-1}$ .



### 3-3-1-3 الاتصال عالي الموثوقية منخفض التأخير (uRLLC) ultra Reliable and :Low Latency

يدعم هذا القسم الاتصالات منخفضة التأخير ذات الحمولة المنخفضة والموثوقية العالية جداً لمجموعة التجهيزات التي يتم تنشيطها بناءً على حدث خارجي كالحساسات. يتميز الاتصال بنوع خدمة uRLLC بأنه متقطع كما في mMTC ولكن لمجموعة مرسلات أقل من مجموعة المرسلات المسموم لها بالإرسال في mMTC، ويتطلب خوارزميات جدولة مختلفة تعتمد على الأولوية من حيث الموثوقية بالاشتراك مع إجراءات الوصول العشوائي تجنباً لبقاء الموارد الترددية في حالة شاغرة idle بسبب طبيعة الحركة المتقطعة. تهدف uRLLC لضمان موثوقية الاتصال حيث تدعم التطبيقات ذات الطبيعة الحرجة مع ضمان معدل خطأ رزمة  $PER=10^{-5}$ .

تتطلب هذه الخدمات تغييرات جذرية في الطبقة الفيزيائية Physical Layer بالنسبة لشبكات الجيل الخامس 5G بسبب حاجتها إلى معدلات نقل عالية جداً، استهلاك طاقة أقل، تأخير قليل جداً وولوج من أي مكان وفي أي وقت.

يبين الجدول (2-3) عرضاً لهذه الخدمات:

الجدول (2-3): استخدامات شبكات الجيل الخامس [21]

الخدمة	التطبيق
eMBB	بث فيديو عالي الدقة UHD,3D الواقع الافتراضي Virtual Reality الواقع المعزز Augmented Reality
uRLLC	الأتمتة الصناعية Industrial Automation
mMTC	المنازل الذكية Smart Home المدينة الذكية Smart City انترنت الأشياء Internet of Thing

### 2-3 تطبيقات شبكات الجيل الخامس:

لقد تم تعريف عدة تطبيقات مميزة سيتم تفعيلها مع الشبكات اللاسلكية القادمة والتي تتضمن أنظمة الاتصالات اللاسلكية المستخدمة في النقل مثل تطبيقات الإرسال بين سيارة - سيارة Vehicle to Vehicle وتطبيقات الإرسال بين السيارات والبنية التحتية للشبكة Vehicle to Infrastructure وتطبيقات الأتمتة الصناعية Industrial Automation والصحة الإلكترونية

Electronic Health والشبكات الذكية Smart Cities والارسال الفديوي وتطبيقات الذكاء الصناعي (AI) Artificial Intelligence.

### 3-2-1 الصحة الالكترونية e-Health:

تم تطوير هذا التطبيق لوضع منصة مراقبة طبية [22] عن طريق توفير منصات اتصال ومراقبة طبية لتحليل سلوك المرضى والقدرة على معالجتهم والعناية بهم عن بعد مع إمكانية القيام بالعمليات الجراحية أيضا.

إن البيانات المجمعة عن المرضى تمكن الأطباء من تأسيس اتصال تفاعلي مع مرضاهم والذي يمكنهم من إنشاء مسار خاص بهم لعلاج المرضى.

سيروج هذا الحل لطريقة جديدة في تلقي العلاج مع تخفيف الكلفة وسيقدم سلسلة من الخدمات الصحية التي يمكن الاستفادة منها والتحكم بها عن بعد كما في تطبيق استخدام الطائرات بدون طيار Drone في عملية نقل الأدوية والمعدات الطبية.

### 3-2-2 الصناعة الذكية Smart Industry:

يهدف هذا التطبيق لإنشاء منصة صناعية ذكية رقمية قادرة على تلبية متطلبات الزبائن [22]، حيث ستتضمن خدمات مضافة عبر أتمتة عمليات الإنتاج التشغيل والصيانة بالإضافة الى استخدام آلات تتميز بفعالية طاقة جيدة ك الروبوتات.

بشكل خاص، تجريب إدخال تطبيق انترنت الأشياء الذي سيسمح بإدارة البيانات من الحساسات Sensors والمشغلات Actuators ومعالجتها بهدف التحكم في عملية التصنيع بشكل الكتروني بحت.

### 3-2-3 الشبكات الذكية Smart grids:

يهدف هذا النوع من التطبيقات الى تركيب حساسات صوتية، حرارية، انذار سرقة، غازية على الشبكة الكهربائية الذكية في بعض المحطات الفرعية وعلى خطوط نقل الجهد المنخفض لمراقبة وصيانة الشبكة مع تأمينها [22].

ستؤمن شبكات الجيل الخامس الوصول الراديوي لـ كبائن أولية وثانوية مركبة في الشبكة لمكاملة الشبكتين الخليوية والكهربائية عن طريق تمديد كابلات الكهرباء والاتصالات بشكل جيد (xDSL, Fiber...) دون تداخل.

### 3-2-4 الحساسات وانترنت الأشياء (IoT) Sensors and Internet of Thing:

يهدف تطبيق الحساسات وانترنت الأشياء لتخديم عدة تطبيقات وبشكل خاص تطبيقات الإنذارات والمراقبة [22]، حيث ستؤمن شبكات الجيل الخامس تطبيقات المراقبة الدائمة "كاميرات" لتحقيق عدة أهداف:

- التحكم عن بعد بالزمن الحقيقي.
- التحكم عن بعد بالتجهيزات المستخدمة في البيئات الخطرة.

أحد أهم التطبيقات هو جمع البيانات الإحصائية المجمعة من تطبيقات المراقبة الصحية وبيانات إدارة المدن الذكية وأنظمة قراءة القياس في تطبيقات حساسات الرطوبة والحرارة والغاز وتحليل هذه البيانات.

### 3-2-5 المراقبة الفيديوية Video Surveillance:

إن معدل النقل العالي لشبكات الجيل الخامس سيسمح باستخدام كاميرات ذات دقة عالية [22] وسيتم التحكم بها عن بعد وفي الزمن الحقيقي حيث سيتم مراقبة السيارات عن طريق أنظمة التحكم المرئية كما سيتم استخدام الكاميرات الحرارية في البيئات الخطرة لتسجيل الأحداث وتحديد مكان الخطر بدقة.

### 3-2-6 الواقع الافتراضي والمعزز Augmented and virtual Reality:

هو أحد التطبيقات الفريدة التي ستمكن المستخدم من الدخول الى بيئة افتراضية تمكنه من رؤية المدن والأماكن التاريخية والثقافية كالقلاع والكنائس والمساجد بتقنية ثلاثية الأبعاد [22] كما ستمكنه النظارات الذكية من الدخول الى واقع الألعاب الافتراضي ليعيش الحدث كما لو أنه داخل اللعبة كما ستتضمن حفلات البث المباشر التي سيتمكن من الدخول اليها عن بعد.

### 3-2-7 الزراعة Agriculture:

سيتم استخدام الدرونات لمراقبة وإيصال المعلومات حول طبيعة وجودة الإنتاج كما سيتم استخدامها في عمليات الري والزراعة بمساعدة الآليات ذاتية القيادة الخاصة بالزراعة الذكية [22].

### 3-2-8 المدن الذكية Smart city:

ستتغير الحياة بشكل كلي عندما تصبح تطبيقات المدن الذكية مرافقة للتفاصيل الحياتية اليومية حيث سيكون هناك أعداد هائلة من الأجهزة متصلة مع بعضها البعض كالحساسات التي سيتم نشرها في كافة المناطق ومن بين هذه التطبيقات [23]:

#### 3-2-8-1 إدارة المرور الذكية Smart Traffic Management:

إدارة حركة المرور هي أحد المشاريع المراد تطبيقها في المدن الذكية وستشمل إنارة ذكية للشوارع ستقوم بمراقبة تدفق حركة المرور بمساعدة الحساسات التي ستساعد في التحكم بعمل أجهزة الإنارة.

على سبيل المثال، نظام التنقل المثبت في السيارة والذي سيقوم بتوجيه السائقين لمعرفة الأماكن الضرورية التي يحتاجونها كالكراج كما سيرشدهم الى مناطق الازدحام القليلة.

#### 3-2-8-2 المنازل الذكية Smart Homes:

بما أن شبكات الجيل الخامس ستؤمن سرعات اتصال عالية بين الأجهزة فستكون خيارا جيدا لتطبيقات نظام أتمتة المنازل والتحكم بها عن طريق الحساسات.

سيتم وصل الأجهزة التي يتم استخدامها في الحياة اليومية كالمكيفات، البرادات، أجهزة الإنارة، الغسالات، أجهزة التجفيف والتبريد والتسخين ... مع بعضها وسيتم التحكم بها عن بعد عن طريق الهاتف الذكي.

ستقلل هذه التقنيات الزمن اللازم لإدارة المنزل كما ستوفر المال والأمن عن طريق استخدام كاميرات المراقبة.

#### 3-2-8-3 اتصالات عربية الى أي شيء (V2X) Vehicle 2 Everything:

يتم حاليا العمل من قبل عدة شركات لتطوير المشاريع الخاصة بتطبيق اتصالات العربات متضمنة الآليات ذاتية القيادة Autonomous Driving واتصالات العربات بين بعضها البعض ومع الشبكة.

تهدف هذه المشاريع لتحقيق أعلى سويات الأمان للسائقين من خلال تقليل تأخير الاتصال لأقل من 1ms وتقليل احتمالية خسارة الرزمة المرسلة لمرتبة  $10^{-7}$  لضمان الموثوقية العالية في الاتصال.

تم تطوير تقنية V2X من قبل (3GPP) 3<sup>rd</sup> Generation Project Partnership وتم تصميمها للعمل في نمطين [24]:

1. جهاز لـ جهاز (D2D) Device to Device وتتضمن الاتصالات المباشرة مثل اتصالات عربة الى عربة (V2V) Vehicle to Vehicle واتصالات عربة الى بنية التحتية Vehicle to Infrastructure (V2I) واتصالات عربة الى شخص (V2P) Vehicle to Person، وتتميز بإرسال أحجام كبيرة من البيانات بين العربات المتجاورة لضمان الموثوقية العالية. جهاز لـ شبكة (D2N) Device to Network وتتضمن اتصالات عربة الى شبكة Vehicle to Network (V2N) والتي تستخدم الوصلات الخليوية التقليدية لتمكين خدمات التخزين السحابي.

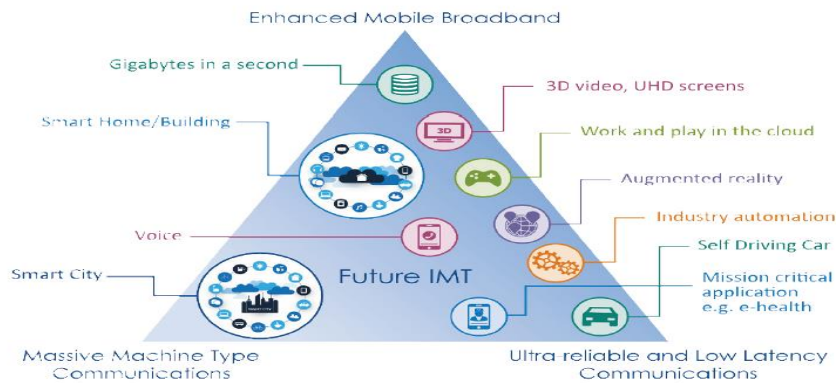
يمكن تعريف خمسة تصنيفات للمتطلبات التي ستليها خدمة اتصال العربات المحسنة عبر الشبكة الخليوية (eV2X):

(a) السمات العامة: اتصال تفاعلي عبر كامل الشبكة interworking وهو صالح لكل السيناريوهات المتعلقة باتصال العربات.

(b) ربط العربات Vehicle Platooning: حيث تنتقل العربات مع بعضها بمسافات صغيرة فاصلة بينها.

(c) القيادة المتقدمة Advanced Driving: تكون ذاتية القيادة "آلية" Automated بشكل كامل أو شبه كامل.

(d) الحساسات الموسعة Extended Sensors: يتم تبادل المعلومات عناصر الشبكة وكل التجهيزات التي تم تفعيل تطبيق V2X عليها.



الشكل (3-9): تطبيقات شبكات الجيل الخامس [25]

## الخلاصة:

تم في هذا الفصل توصيف الجيل القادم للاتصالات اللاسلكية 5G من حيث التقنيات الجديدة كليا والتي تشمل الأمواج الملمترية والخلايا الصغيرة والهوائيات الكثيفة وتقنية تشكيل حزمة الإشعاع والإرسال المزدوج على نفس التردد والحوسبة الافتراضية.

كما تم عرض الاستخدامات الجديدة والموصّفة بـ IMT 2020 والتي تتضمن المجال العريض الخليوي المحسّن واتصال الآلة الكثيف والاتصال عالي الموثوقية منخفض التأخير.

تم أيضا توضيح التطبيقات المختلفة لشبكات الجيل الخامس كـ إنترنت الأشياء والمدن والشبكات والمنازل الذكية واتصالات العربات وتطبيقات البث الفيديوي.

## الفصل الرابع

### المرشحات الرقمية Digital Filters

تلعب المرشحات الرقمية دورا هاما في مجال معالجة الإشارة الرقمية Digital Signal Processing (DSP)، وتم تفضيلها على المرشحات التناظرية في الكثير من التطبيقات بسبب أدائها العالي وإيجابياتها الكثيرة المتمثلة بـ [26]:

1. استجابة طورية خطية أفضل.
2. أكثر مناعة ضد الضجيج وتغيرات الوسط المحيط.
3. قابلية البرمجة ومرونة التصنيع.
4. مجال عمل ترددي أوسع.
5. إمكانية حفظ عينات "تخزين" الإشارة للاستخدام المستقبلي.

يمكن تصنيف أنواع المرشحات الرقمية وفق الاستجابة النبضية الى مرشحات ذات استجابة نبضية غير محدودة Infinite Impulse Response (IIR) ومرشحات ذات استجابة نبضية محدودة Finite Impulse Response (FIR).

#### 4-1 المرشحات ذات الاستجابة النبضية غير المحدودة IIR:

إن الميزة الرئيسية لمرشحات IIR بالنسبة لـ FIR هي إمكانية إنجاز المرشح بشكل فعال أكثر لتلبية متطلبات النظام من حيث الحزمة المراد تمريرها Pass-band والحزمة الممنوعة Stop-band ومعاملات التدوير Roll-off، وتتميز بوجود تغذية عكسية تمكنها من مقاومة ضجيج الطور [27].

يمكن التعبير عن مرشحات IIR بالعلاقات الرياضية التالية:

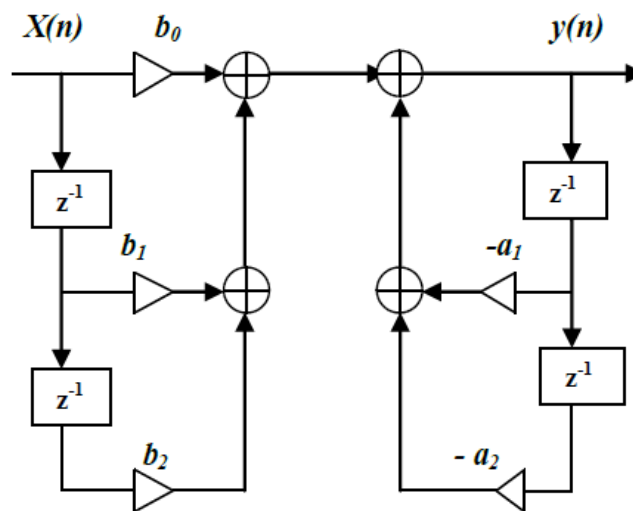
$$y(n) = \sum_{i=0}^N b_i x(n-i) - \sum_{i=0}^M a_i y(n-i) \quad (1-4)$$

$$H(z) = \frac{y(z)}{x(z)} = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_N z^{-N}}{1 + a_1 z^{-1} + \dots + b_M z^{-M}} \quad (2-4)$$

حيث تمثل المعادلة (1-4) معادلة الفروق والمعادلة (2-4) تابع النقل

$y(n)$  الخرج.

$X(n)$  الدخل  $a, n$  المعاملات.



الشكل (4-1): مرشح IIR بطول N [27]

#### 1-1-4 أنواع مرشحات IIR:

يمكن تقسيم المرشحات ذات الاستجابة غير المحدودة IIR الى الأنواع التالية [27]:

##### 1-1-1-4 مرشح Butterworth:

يتميز هذا النوع من المرشحات بعمليات رياضية بسيطة وتتميز استجابته الترددية بأنها أفضل من ناحية خطية الطور كما أن معامل التدوير الخاص به أبسطاً مقارنة مع المرشحات الأخرى، وكلما زاد عدد العينات المستخدمة في عملية الترشيح تصبح استجابته غير خطية ويستخدم في المرشحات الفعالة والمرشحات الراديوية RF.

يمكن التعبير عن الاستجابة المطالية لمرشح Butterworth ذو تمرير منخفض بالعلاقة الرياضية التالية:

$$|H(w)|^2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{w}{w_c}\right)^{2N}} \quad (3-4)$$

كما يمكن التعبير عن التخامد بالعلاقة الرياضية التالية:

$$A = -10 \log \left( 1 + \left(\frac{w}{w_c}\right)^{2N} \right) \quad (4-4)$$

حيث أن  $w_c$  عبارة عن تردد القطع عند 3dB.

N عبارة عن طول المرشح.



#### 2-1-1-4 مرشح Chebyshev:

يوجد نوعان لمرشح Chebyshev ويسميان بـ Chebyshev type 1, type 2، ويتميز النوع الأول type 1 بأنه مرشح منتظم وله معامل تدوير حاد جدا ولكن بالنسبة للموجات المارة مع الحزمة Ripple.

يمكن تقليل الاختلاف بين الاستجابة المثالية والحقيقية للمرشح Chebyshev type 1 عن طريق استخدام equiripple في الحزمة المراد تمريرها حيث أن لديه انتقال أسرع من الحزمة المراد تمريرها Passband الى الحزمة الممنوعة Stopband مقارنة مع Butterworth ويتميز بتسوية للموجات Ripples في الحزمة المراد تمريرها passband وعدم وجود موجات Ripples في الحزمة الممنوعة stopband.

يتميز المرشح Chebyshev type 2 بخصائص معاكسة لـ Chebyshev type 1 حيث أن الموجات Ripples تتواجد في الحزمة الممنوعة وعدم وجودها في Pass-band كما أنه غير مستخدم بكثرة مقارنة مع Chebyshev type 1 بسبب بطء معامل التدوير الخاص به Roll-off. يمكن التعبير عن الاستجابة المطالية Magnitude للمرشح Chebyshev type 1 بالعلاقة الرياضية التالية:

$$|H(w)|^2 = \frac{1}{1 + \varepsilon^2 C_N^2\left(\frac{w}{w_c}\right)} \quad (5-4)$$

$$|H(w)|_{dB} = -10 \log \left( 1 + \varepsilon^2 C_N^2 \frac{w}{w_c} \right) \quad (6-4)$$

حيث أن  $\varepsilon$  عبارة عن مقدار الـ ripple في المطال.

$C_N$  معامل Chebyshev.

$$C_N \left( \frac{w}{w_c} \right) = \begin{cases} \cos \left[ N \cos^{-1} \left( \frac{w}{w_c} \right) \right], & w \leq w_c \\ \cosh \left[ N \cosh^{-1} \left( \frac{w}{w_c} \right) \right], & w \geq w_c \end{cases} \quad (7-4)$$

حيث أنه عندما  $C_N \left( \frac{w}{w_c} \right) = 0$  نحصل على قمة الاستجابة المطالية Peak:

$$H(jw) = \frac{1}{1 + \varepsilon^2} \quad (8-4)$$

تمثل العلاقة الرياضية السابقة للاستجابة المطالية للمرشح Chebyshev type 1 والتي يمكن منها استنتاج العلاقة الرياضية للاستجابة المطالية للمرشح Chebyshev type 2:

$$H(jw) = \frac{\varepsilon^2}{1+\varepsilon^2} \quad (9-4)$$

#### 3-1-1-4 مرشح Elleptic:

يتميز هذا المرشح بتسوية التموجات Ripples في كل من الحزمة المراد تمريرها Passband والحزمة الممنوعة Stopband، فعندما تكون الموجات Ripple مساوية للصفر في الحزمة الممنوعة يتحول الى مرشح Chebyshev type 1 وعندما تصبح الموجات Ripple مساوية للصفر في الحزمة المراد تمريرها يصبح Chebyshev type 2 كما أن عرض حزمة الانتقال الخاصة به صغيرة.

يمكن التعبير عن العلاقة الرياضية الخاصة بالاستجابة المطالية الخاصة بالمرشح كما يلي:

$$|H(jw)|^2 = \frac{1}{1+\varepsilon^2 J_N^2\left(\frac{w}{w_c}\right)} \quad (10-4)$$

$J_N$  تابع Jacobean elliptic.

$N$  طول المرشح.

$\varepsilon$  معامل الموجات Ripple.

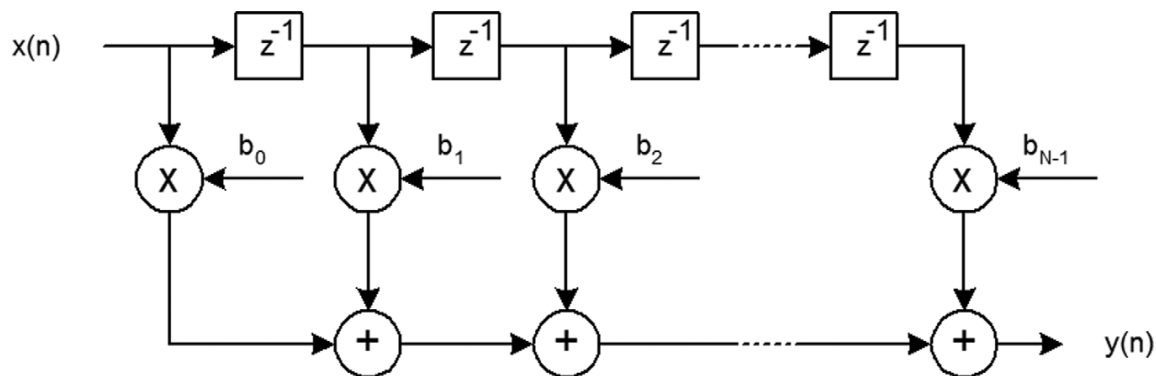
#### 2-1-4 إجابيات مرشحات IIR:

يمكن تلخيص إجابيات مرشحات IIR كما يلي [27]:

1. إنجاز مميزات ترشيح مرغوبة باستخدام عناصر ذاكرة أقل وعمليات حسابية قليلة مقارنة بـ FIR.
2. لا يمكن لـ FIR تطبيق استجابات مرشح تشابهي ولكن مرشحات IIR تتجز هذا الأمر بدقة.
3. مرشحات IIR أكثر حساسية للضجيج.
4. تحتاج مرشحات IIR الى عمليات حسابية اقل مقارنة مع مرشحات FIR.
5. تأخير مرشحات IIR الزمني أقل مقارنة بمرشحات FIR.
6. تحتوي مرشحات IIR على عدد أقل من الفصوص الجانبية في الحزمة الممنوعة مقارنة مع مرشحات FIR.

## 2-4 المرشحات ذات الاستجابة النبضية المحدودة FIR:

مرشحات FIR أو كما تعرف بالمرشحات غير العودية لديها استجابة نبضية محدودة [28] لأنه بعد زمن محدود تقول استجابة المرشح الى الصفر وتتكون مرشحات FIR من مجموعة من الجوامع والضاريات وعناصر التأخير كما يوضح الشكل (2-4):



الشكل (2-4): مرشح FIR بطول N [28]

يمكن التعبير عن العلاقات الرياضية التي تميز مرشحات FIR بالمعادلات التالية:

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(n)x(n-k) = \sum_{k=0}^{N-1} b_k x(n-k) \quad (11-4)$$

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \sum_{i=0}^N a_i z^{-i} \quad (12-4)$$

تمثل المعادلة (11-4) معادلة الفروق والمعادلة (12-4) تابع النقل.

### 1-2-4 إيجابيات مرشحات FIR :

يمكن تلخيص إيجابيات مرشحات FIR كما يلي [28]:

1. إمكانية تصميم مرشحات FIR ذات طور خطي بسهولة.
2. تتميز بحسابات فعالة في التصميم.
3. غير عودية ومستقرة وخالية من المذبذبات ذات الدورة المحدودة عند تصميمها بالنسبة لنظام رقمي ذو طول ترشيح محدد.
4. طرائق تصميم ممتازة من أجل أنواع كثيرة من المرشحات مع خصائص متنوعة.
5. تعقيد أقل في التصميم ومسائل الضجيج.

### 3-4 النوافذ Windows:

يقوم مبدأ النوافذ على تطبيق تابع يدعى تابع النافذة، ويتم اختيار مجال تطبيق النافذة بناء على التصميم حيث تكون الاستجابة الناتجة محدودة ذات قيمة غير صفرية داخل فترة الترشيح المختارة وذات قيمة صفرية خارج هذه الفترة.

التأثير الأساسي للنوافذ هو تحويل التوقفات في الاستجابة الترددية الى حزم انتقال على جانبي التوقفات حيث يمكن القول أن الميزة الرئيسية للنوافذ هو التنعيم Smoothing.

يوجد عدة أنواع من النوافذ التي تستخدم في تصميم مرشحات FIR منها [29]:

### 1-3-4 نافذة Hamming:

تتميز بأن عرض الفص الرئيسي Main Lobe يساوي  $\frac{8\pi}{N}$  وأن قيمة المطال الأعظمي لأول فص رئيسي Side Lobe هي -43dB.

يمكن التعبير عن نافذة Hamming بالعلاقة الرياضية التالية:

$$w(n) = \alpha - \beta \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right); -\frac{N-1}{2} \leq n \leq \frac{N-1}{2} \quad (13-4)$$

حيث أن:  $\alpha = 0.54$

$$\beta = 1 - \alpha = 0.46$$

### 2-3-4 نافذة Hanning:

تتميز هذه النافذة بأن عرض الفص الرئيسي Main Lobe يساوي الى  $\frac{8\pi}{N}$  وأن قيمة المطال الأعظمي لأول فص رئيسي Side Lobe هي -32dB.

تعطى العلاقة الرياضية لنافذة Hanning السببية بالعلاقة الرياضية التالية:

$$w_{Hann}(n) = \begin{cases} 0.5 + 0.5 \cos\frac{2\pi n}{N-1} ; 0 \leq n \leq N-1 \\ 0 ; otherwise \end{cases} \quad (14-4)$$

بينما يعبر عن نافذة Hanning غير السببية بالعلاقة الرياضية التالية:

$$w_{Hann}(n) = \begin{cases} 0.5 + 0.5 \cos\frac{2\pi n}{N-1} ; 0 \leq |n| \leq \frac{N-1}{2} \\ 0 ; otherwise \end{cases} \quad (15-4)$$

## 3-3-4 نافذة Blackman:

يمكن التعبير عن نافذة Blackman بالعلاقة الرياضية التالية:

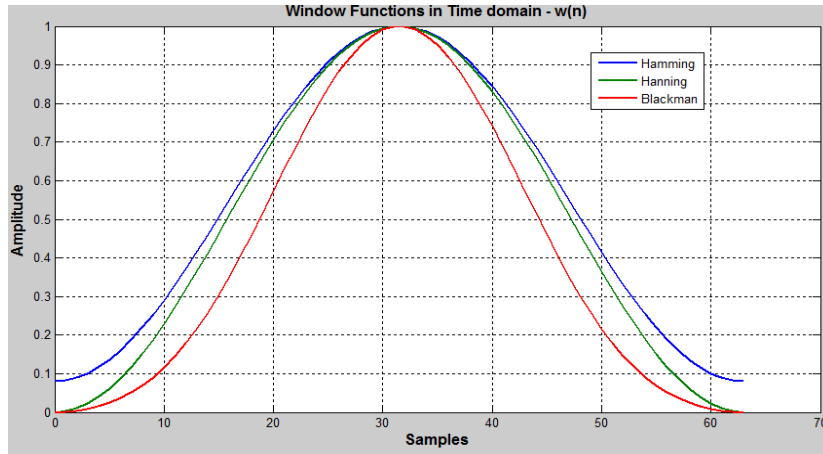
$$w_{black}(n) = a_0 + a_1 + a_2 \cos \frac{4\pi n}{N-1} ; -\frac{N-1}{2} \leq n \leq \frac{N-1}{2} \quad (16-4)$$

حيث أن  $a_0, a_1, a_2$  ثوابت تعطى قيمتها بـ

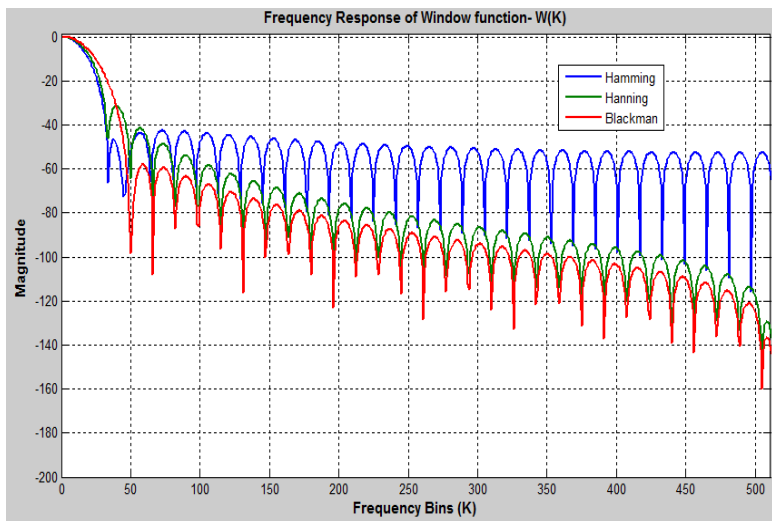
$$a_0 = \frac{1-\alpha}{2}, a_1 = \frac{1}{2}, a_2 = \frac{\alpha}{2}$$

تعطى قيمة  $\alpha$  بـ 0.16 والذي يمكن من حساب  $a_0, a_1, a_2$  حيث تعطى قيمهم بـ:

$$a_0 = 0.42, a_1 = 0.5, a_2 = 0.08$$



الشكل (3-4): استجابات النوافذ في المجال الزمني [29]



الشكل (4-4): استجابات النوافذ في المجال الترددي [29]

لُوحِظ من الأشكال السابقة أن نافذة Blackman أفضل من نافذتي Hamming , Hanning حيث أن استجابتها أفضل وهذا ما يمنحها تنعيماً أفضل للإشارة المراد ترشيحها.

#### 4-3-4 نافذة Kaiser:

تتميز هذه النافذة بخصائص قريبة من توابع الأمواج الكروية الممددة PSWF ويتعلق عرض الفص الرئيسي وتخمد الفصوص الجانبية مع المعامل  $\beta$ ، حيث يزداد عرض الفص الرئيسي وتخمد الفصوص الجانبية مع ازدياد  $\beta$  والعكس بالعكس [30].

تعطى العلاقة الرياضية المعبرة عن النافذة بالمعادلة التالية:

$$w_k(\beta, n) = \frac{I_0 \left\{ \left[ 1 - \left( \frac{2n}{N-1} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}}{I_0 \beta} ; \frac{N-1}{2} \leq |n| \leq \frac{N-1}{2} \quad (17-4)$$

حيث أن N طول النافذة

$I_0$  تابع ببسل المعدل من النوع الأول ويعطى بالعلاقة التالية:

$$I_0(x) = \sum_{k=0}^x \left[ \frac{\left( \frac{x}{2} \right)^k}{k!} \right]^2 \quad (18-4)$$

#### 4-3-5 نافذة Nuttall's Blackman-harris:

تتميز هذه النافذة بأن عرض الفص الرئيسي واسع ومستوى الفصوص الجانبية منخفض جداً [31] وتعطى العلاقة الرياضية المعبرة عن النافذة بالمعادلة التالية:

$$w(n) = a_0 - a_1 \cos\left(2\pi \frac{n}{N-1}\right) + a_2 \cos\left(4\pi \frac{n}{N-1}\right) - a_3 \cos\left(6\pi \frac{n}{N-1}\right) \quad (19-4)$$

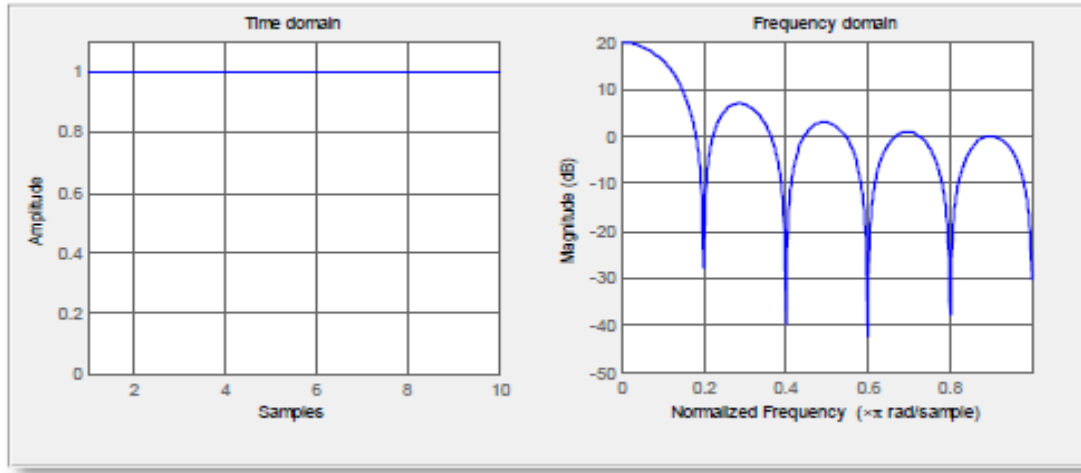
حيث أن N طول النافذة.

$$a_0 = 0.3635819, a_1 = 0.4891775, a_2 = 0.1365995, a_3 = 0.0106411$$

#### 4-3-6 النافذة المستطيلة Rectangular Window:

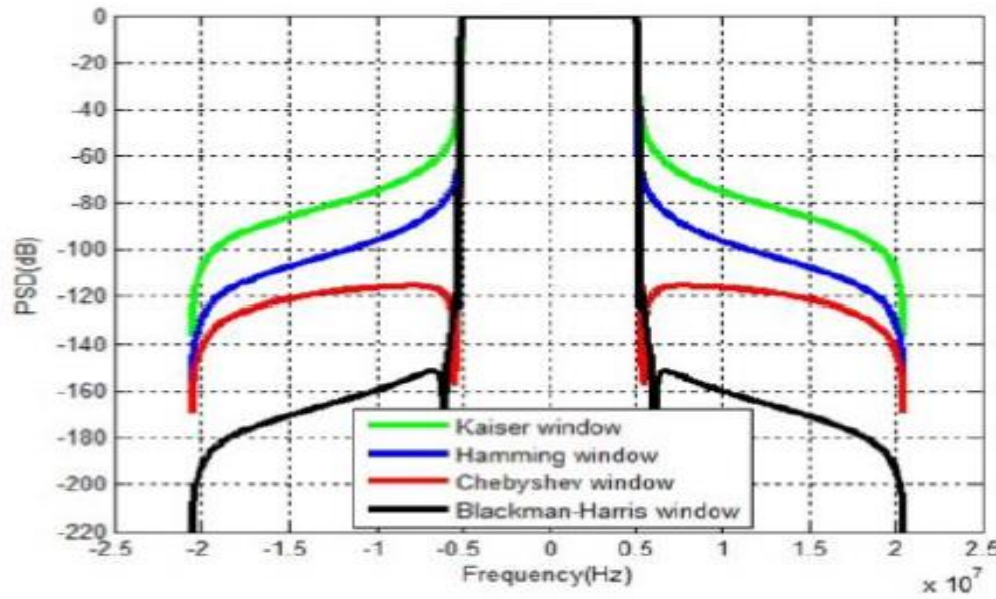
تعتمد هذه النافذة على استبدال كل العينات باستثناء عينات الإشارة المراد تمريرها بالقيمة الصفرية لك يتبدل الشكل الموجي الناتج عن الترشيح بين مرحلتي فتح و غلق.

$$w_R(n) \triangleq \begin{cases} 1, & \frac{-M-1}{2} \leq n \leq \frac{M-1}{2} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (20-4)$$



الشكل (4-5): الاستجابة النبضية في المجال الترددي والزمني للنافذة المستطيلة [32]

يوضح الشكل التالي الكثافة الطيفية للاستطاعة لكل من نافذة Hamming, Kaiser, Blackman-harris , Chebyshev window:



الشكل (4-6): الكثافة الطيفية للاستطاعة للنوافذ [33]

الخلاصة:

تم في هذا الفصل دراسة للأنواع المختلفة للمرشحات الرقمية وتوضيح مخططاتها الصندوقية و المعادلات الرياضية وإيجابياتها وسلبياتها مع عرض لمختلف أنواع النوافذ و مميزاتها.

## الفصل الخامس

**Multicarrier Techniques تقنيات الحوامل المتعددة**

لقد تم إجراء أبحاث كثيرة خلال السنوات الماضية تعلّقت بتقنيات الإرسال متعددة الحوامل والتي أثبتت إمكانية زيادة معدلات النقل للاتصالات اللاسلكية.

من بين التقنيات الواعدة التي تم استخدامها في مجال الاتصالات اللاسلكية هي تقنية OFDM والتي أعطت أداء جيد من حيث زيادة معدلات النقل وتوظيفها في التطبيقات اللاسلكية الحديثة والتي تتعلق بشدّة بظروف الاتصال وخاصة من ناحية تداخل الرموز Inter Symbol Interference (ISI) التي تحدث بسبب وجود عدة مسارات للإشارة المرسلّة.

تكمن الميزة الأساسية لاستخدام تقنيات الحوامل المتعددة كـ تقنية OFDM في ممانعتها لظاهرة تعدد المسارات Multipath مما يقلل تداخل الرموز ويعطي كفاءة جيدة في الاتصال من ناحية تحسين معدل خطأ البت BER وزيادة موثوقية الاتصالات.

من المعلوم أن شبكات الجيل الرابع 4G تستخدم تقنية OFDM والتي تتطلب بدورها خطية عالية لاستطاعة خرج المضخم وذلك بسبب معاناتها من نسبة PAPR عالية والذي ينتج عنه فعالية استطاعة منخفضة ويزيد استهلاك طاقة البطارية لجهاز المستخدم UE.

إن تقنية OFDM تعاني من نسبة عالية من الانبعاث خارج الحزمة OOB "مستوى الفصوص الجانبية للحوامل الفرعية عالي" والتي تسبب فعالية طيفية منخفضة عند وجود أكثر من طرفية في نفس المكان، يضاف الى ذلك متطلبات التزامن المعقدة والحساسية العالية للإزاحة الزمنية والترددية [34] [35].

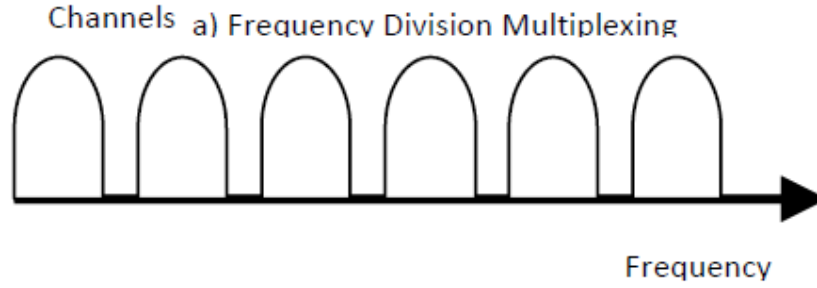
لذلك تم البحث عن مشكّلات موجة Waveform جديدة ذات مرونة في تصميم النظام لمواجهة التحديات المذكورة والتي تشكل بدورها عائقاً أمام نشر شبكات الجيل الخامس، حيث تم اقتراح عدة مشكّلات موجة للاستخدام [36] [37] [38] [39] مثل F-OFDM، UPMC، W-OFDM، FBMC، GFDM.

**5-1 تقنية (OFDM) Orthogonal Frequency Division Multiplexing:**

تعد تقنية التجميع بالتقسيم الترددي المتعامد OFDM مشابهة نوعاً ما لتقنية التجميع بالتقسيم الترددي التقليدي FDM من ناحية إرسال عدة إشارات مجمعة ترددياً خلال قناة راديوية واحدة.

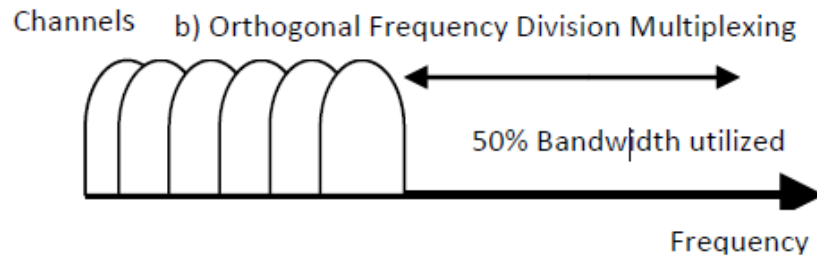


يتم بالنسبة لتقنية FDM تجميع الإشارات بتقسيم التردد حيث يتم إعطاء كل إشارة ترددا خاصا بها مختلفا عن ترددات الإشارات الباقية كي لا تتداخل الإشارات مع بعضها البعض [40].



الشكل (5-1): تقنية FDM [40]

تم استخدام تقنية التجميع بالتقسيم الترددي المتعامد أو كما تسمى بتقنية تعديل الحوامل المتعددة OFDM في الجيل الرابع LTE والتي تقوم على مبدأ تقسيم عرض الحزمة واسع النطاق broadband الى مجموعة من القنوات الفرعية المتعامدة ذات عرض النطاق الضيق Narrowband، بحيث تحمل كل قناة فرعية مجرى المعطيات عند معدل نقل منخفض ويكون حاصل جمعها معدل النقل العالي المنشود.



الشكل (5-2): تقنية OFDM [40]

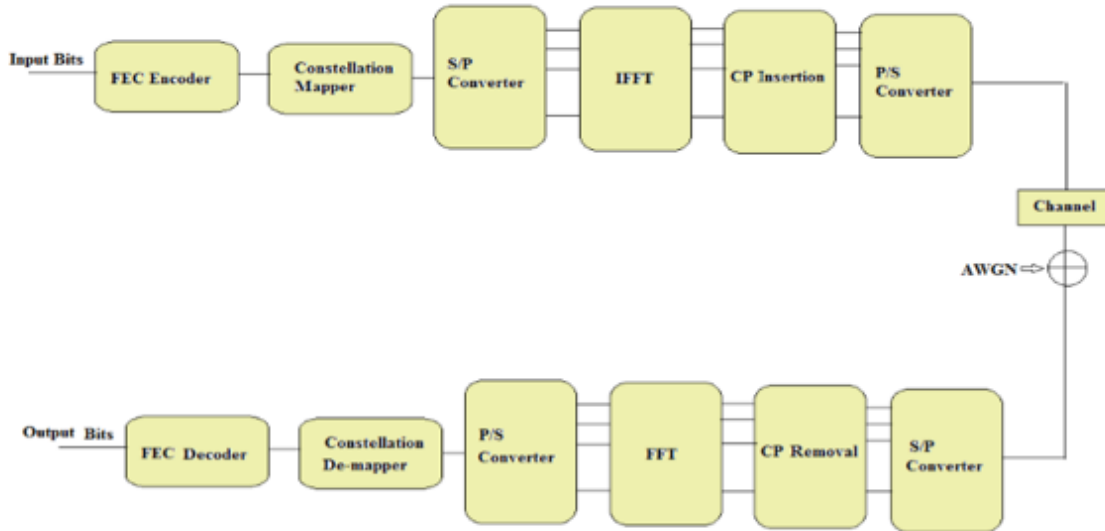
### 1-1-5 إرسال واستقبال OFDM:

يتم بداية في مخطط إرسال تقنية OFDM إضافة بتات إضافية لسلسلة بتات المعلومات المراد إرسالها عن طريق شيفرة تصحيح الأخطاء (FEC) Forward Error check ثم يتم تعديل البيانات تعديلا رقميا BPSK، QPSK، QAM وتخطيط الرموز للحوامل الفرعية عن طريق الـ Mapper بحيث يكون لكل حامل فرعي بياناته الخاصة به وهذا ما يوفره تحويل تدفقات البيانات من الشكل التسلسلي الى الشكل التفرعي Serial to parallel.

يتم بعد ذلك تحويل عينات الرموز من المجال الترددي الى المجال الزمني عن طريق تحويل فورييه السريع العكسي (IFFT) Inverse Fast Fourier Transform ثم إضافة فترة حماية

Cyclic prefix (CP) عن طريق نسخ الجزء الأخير من الرمز وإضافته الى بدايته وهذا ما يفيد في تقليل تداخل الرموز ISI الذي يحدث بسبب ظاهرة تأخير الانتشار متعدد المسارات Multipath يليه تحويل عينات الإشارة من الشكل النفرعي الى الشكل التسلسلي ثم إرسال الإشارة عبر القناة اللاسلكية.

في طرف الاستقبال تجري العملية بشكل معاكس حيث يتم بداية تحويل عينات الإشارة من الشكل التسلسلي الى الشكل النفرعي ثم إزالة فترة البادئة الدورية CP يليه التحويل من المجال الزمني الى المجال الترددي عن طريق تطبيق تحويل فورييه السريع FFT ثم تحويل العينات من الشكل النفرعي الى الشكل التسلسلي ثم فك تخطيط الرموز عن طريق الـ De-mapper للحصول على تسلسل البتات المرسله حيث يتم بعد ذلك إزالة بتات الازدواجية الزائدة عن طريق فاك مرمر الأخطاء FEC Decoder لنحصل على بتات المعلومات المرسله [34].



الشكل (5-3): المخطط الصندوقي لتقنية OFDM [34]

## 5-1-2 التمثيل الرياضي المتقطع لرمز OFDM:

يمكن التعبير عن تردد أخذ العينات في تقنية OFDM عن طريق العلاقة التالية:

$$\frac{1}{T_S} = B = N\Delta f = N \frac{1}{T} \quad (1-5)$$

حيث أن:  $B$  عرض الحزمة

$N$  عدد الحوامل الفرعية

$\Delta f$  المسافة الفاصلة بين الحوامل الفرعية

$T_s$  زمن أخذ العينات

$T$  زمن رمز OFDM

من العلاقة السابقة نستنتج أن تردد اخذ العينات  $F_s = \frac{N}{T}$  لذلك يمكن تمثيل الإشارة  $x(t)$  مأخوذة العينات بالعلاقة الرياضية التالية:

$$\begin{aligned} x_1(nT_s) &= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} c_{k,l} e^{j2\pi\Delta f knT_s - lT} \\ &= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} c_{k,l} e^{j2\pi\frac{1}{T} knT_s} \\ &= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} c_{k,l} e^{j2\pi\frac{1}{N} kn} \end{aligned} \quad (2-5)$$

حيث أن:  $c_{k,l}$  الرمز العقدي  $k$  على الحامل الفرعي  $l$ .

### 3-1-5 إيجابيات تقنية OFDM:

يمكن تلخيص إيجابيات تقنية OFDM فيما يلي [41]:

1. استخدام فعال للطيف من خلال توظيف تداخل الطيف وتعامدية الحوامل Overlapping حيث يتم تقسيم القناة عريضة الحزمة الى عدة قنوات فرعية ضيقة الحزمة لتتحول استجابة القناة الكلية من خفوت انتقائي Selective Fading ذو الأداء السيء جدا الى خفوت مسطح Flat Fading لكل قناة فرعية والذي يعتبر أدائه أفضل حيث يمكن التغلب عليه بالتسوية Equalization.
2. التكيف مع ظروف القناة السيئة من خلال إمكانية التسوية في المجال الترددي والابتعاد عن التسوية المعقدة في المجال الزمني.
3. تخفيض تداخل الرموز ISI الذي يحدث بسبب الانتشار متعدد المسارات من خلال استخدام البادئة الدورية CP.
4. استخدام ترميز قناة مناسب لاسترجاع الرموز.
5. تسوية القناة أبسط عند استخدام تقنيات التسوية المتكيفة مقارنة بأنظمة الحامل الوحيد Single Carrier.
6. كفاءة حسابية جيدة من خلال استخدام تقنيات تحويل فورييه السريع FFT.
7. حساسية أقل للإزاحات الزمنية مقارنة بأنظمة الحامل الوحيد Single Carrier.
8. متانة ضد التداخل بين القنوات الضيقة co-channel Interference.

9. لا تحتاج لمرشحات مضبوطة للقنوات الفرعية في المستقبل على عكس تقنية FDM.

#### 5-1-4 سلبات تقنية OFDM:

يمكن تلخيص سلبات تقنية OFDM فيما يلي [41]:

1. تعاني تقنية OFDM من تشوه بالمطال على شكل ضجيج وعلى مجال ديناميكي كبير مما يجعلها تحتاج لمضخمات استطاعة راديوية (Radio Frequency (RF ذات نسبة عالية لنسبة الاستطاعة العظمى الى المتوسطة (Peak to Average Power Ratio (PAPR.
2. حساسة بشكل كبير للإزاحة الترددية Frequency offset.
3. حساسة لإزاحة دوبلر Doppler shift.
4. تعاني من فعالية استطاعة منخفضة بسبب حاجتها لدارات إرسال خطية.
5. خسارة في عرض الحزمة بسبب استخدام البادئة الدورية (Cyclic prefix (CP.

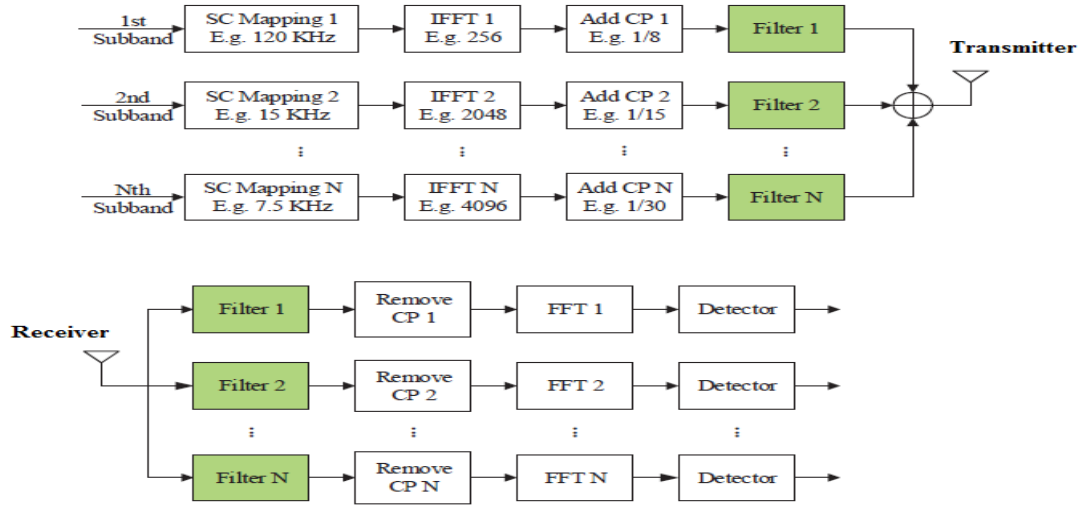
#### 5-2 تقنية Filtered OFDM F-OFDM:

يتم تطبيق تقنية OFDM المستخدمة في LTE على كامل عرض الحزمة المخصص 20MHz بينما في F-OFDM يتم تقسيم عرض الحزمة المتوفر الى عدة حزم فرعية [34]، وكل حزمة فرعية لها بارامترات مختلفة وتخصص لنوع محدد من الخدمات وهذا يؤمن المرونة في تصميم الطبقة الفيزيائية المتطلب الأساسي لاتصالات الجيل الخامس 5G.

وفقا لسيناريوهات الاتصال، كل حزمة فرعية لها بارامترات خاصة يتم ترشيحها بواسطة مرشح يعطي تسرب طيفي منخفض جدا، كما إن تقنية F-OFDM لا تحسن الفعالية الطيفية فقط بل يمكن أن تتواجد عدة waveform معها عن طريق استخدام الطيف المنفصل (المتقطع) Discrete بحيث يمكن مشاركة الطيف المخصص مع عدة أشكال موجية أخرى تابعة لتطبيقات أخرى واستغلال الطيف الترددي بالشكل الأمثل دون هدر في المصادر الراديوية.

تتعامل تقنية F-OFDM مع هذه الحزم الفرعية بطرق مختلفة معتمدة على سيناريوهات الاتصال ويتم اعدادها بشكل مختلف (الحزمة الفرعية) من خلال حجم FFT/IFFT خاص بكل حزمة فرعية ومسافة ترددية بين الحوامل الفرعية وطول CP حسب الخدمة، فإذا كان هناك حاجة لتخديم عدة مستخدمين فإنه يمكن تطبيق بارامترات مختلفة numerologies مختلفة خاصة بكل مستخدم حسب التطبيق الذي يريده و المتطلبات التي يحتاجها التطبيق .

يتم تطبيق مرشح من نوع Soft-truncated الذي يمنحنا تمرير منخفض مثالي للترددات المرغوبة وتخمين الترددات غير المرغوبة عن طريق تطبيق النوافذ windowing.



الشكل (5-4): المخطط الصندوقي لتقنية F-OFDM [34]

يتم بداية تقسيم مجرى المعطيات المراد إرساله "بتات ثنائية" الى عدة تسلسلات مشكلة عدة حزم فرعية حيث يتم التعامل مع كل حزمة فرعية على حدى وفق البارامترات الخاصة بها حيث يجري تعديل البيانات وفق إحدى التعديلات الرقمية و تخطيط الرموز الناتجة على الحوامل الفرعية، ثم يتم تطبيق تحويل فورييه العكسي لتحويل الإشارة من المجال الترددي الى الزمني و بعد ذلك يتم إضافة البادئة الدورية الخاصة بالحزمة الفرعية مع تطبيق عملية الترشيح على الإشارة الناتجة لنحصل على الإشارة الخاصة بالحزمة الفرعية الأولى و الثانية و هكذا دواليك ليتم جمع الإشارات الخاصة بالحزم الفرعية و تخطيطها على الهوائيات وإرسالها عبر القناة.

في طرف الاستقبال تجري عملية معاكسة لما تم في عملية الإرسال حيث يجري بداية تطبيق المرشح المتطابق على كل حزمة فرعية ثم إزالة البادئة الدورية من كل حزمة فرعية، ثم يتم تطبيق تحويل فورييه السريع لتحويل الإشارات الخاصة بالحزم الفرعية الى المجال الترددي و معالجتها عن طريق تطبيق الكاشف الذي يقوم بكشف نوع التعديل لاستخلاص حزمة البيانات المرسل.

### 5-2-1 النمذجة الرياضية لتقنية F-OFDM:

يتم بالاعتماد على الخدمة المطلوبة تطبيق بارامترات مختلفة لتجهيزات المستخدمين TTI، CP، FFT Size، Length وتخصيصها بقيم مختلفة وتطبيق الترشيح عليها وذلك بالنسبة للوصلة الهابطة Downlink ويقوم جهاز المستخدم UE بتطبيق بارامترات المرشح المخصصة له للحصول على الخدمة التي يطلبها، وسنبين ذلك من خلال الدراسة الرياضية التالية [34]:

نبدأ بالتمثيل الزمني المتقطع لرمز OFDM :

$$x_u(n) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} c_k e^{j2\pi kn/N} \quad (3-5)$$

حيث أن: N حجم ال IFFT

$c_k$  رموز البيانات

إن عملية الترشيح عبارة عن عملية طي خطية، لذلك يمكن كتابة ما يلي:

$$\tilde{x}_u(n) = x_u(n) * f_u(n) \quad (4-5)$$

حيث أن  $x_u(n)$  هي إشارة جهاز المستخدم ذو الترتيب u و  $f_u(n)$  هو تابع المرشح الخاص به، حيث يفيد المرشح في ضغط الانبعاثات خارج الحزمة Out Of Band Emission (OOBE).

وهذا يعني أنه يجب أن يكون مركزي التردد في وسط الحوامل الفرعية المخصصة له وحزمة التمرير Bandpass للمرشح يجب أن تتضمن كل الحوامل الفرعية لرمز ال OFDM.

الإشارة المستقبلية عند طرف محطة القاعدة BS يجب أن يكون لديها الصيغة التالية:

$$r(n) = \sum_{u=1}^M \tilde{S}_u(n) * h_u(n) + w_u(n) \quad (5-5)$$

حيث أن M هو عدد طرفيات المستخدمين UEs.

$h_u(n)$  الاستجابة النبضية للقناة u.

$w_u(n)$  الضجيج في القناة u.

تستقبل محطة القاعدة BS الإشارة  $r(t)$  وتمررها خلال المرشح  $f_u^*(-n)$  المتطابق مع مرشح المرسل لكل مستخدم، ويمكن التعبير عنها بالعلاقة التالية:

$$r_u(n) = r(n) * f_u^*(-n) \quad (6-5)$$

### 5-2-2 تصميم المرشح:

تم دراسة تصميم المرشح لتقنية F-OFDM في المرجع [42] بالاعتماد على تابع ال Sinc وفق شروط محددة كما يلي:

حزمة التمرير Passband للمرشح يجب أن تكون مسطحة Flat قدر الإمكان من أجل الحوامل الفرعية الموجودة في الحزمة الفرعية مما يضمن تشوهات ترشيح أقل ما يمكن لبيانات الحوامل الفرعية وخاصة من أجل الحوامل الفرعية على حافة الحزمة الفرعية.

يجب أن يبدأ تردد معامل التدوير roll-off للمرشح من الحواف لحزمة التمرير وحزمة الانتقال للمرشح transition band.

تخميد المرشح يجب أن يكون كافياً للحزمة الممنوعة بما يضمن الغاء التداخل بين الحزم الفرعية المتجاورة.

لنعتبر مرشح مع استجابة ترددية مستطيلة كالمرشح النموذجي، حيث يمكن اختيار استجابة نبضية على شكل تابع Sinc ولتكن  $P_B(n)$  مع عرض حزمة مساوية لـ  $B$ . يكون العرض الترددي للمناطق غير المسطحة بالنسبة لبضعة حوامل فرعية عند ترددات قريبة من حزمة الانتقال، لذلك يتم اختيار عرض حزمة لمرشح من نوع تابع sinc "B" بحيث تكون أكبر من عرض حزمة الحزمة الفرعية "W" بقيمة قليلة  $\partial W$  وتدعى Tone-Offset.

$$B = W + 2 \times \partial W \quad (7-5)$$

تم تصميم مرشح تمرير منخفض مع تطبيق نافذة تنعيم  $w(n)$  على الاستجابة النبضية  $P_B(n)$  موضحة بالمعادلة التالية:

$$f_B(n) \triangleq P_B(n) \cdot w(n) \quad (8-5)$$

$$P_B(n) = \text{sinc}\left((W + 2 \times \partial W) \times \frac{n}{N}\right), \quad |L/2| \leq n \leq |L/2| \quad (9-5)$$

$$w(n) = \left(0.5 \left(1 + \cos\left(\frac{2\pi n}{L-1}\right)\right)\right)^{0.6}, \quad |L/2| \leq n \leq |L/2| \quad (10-5)$$

يمكن كتابة معادلة المرشح المستخدم بالصيغة التالية حيث تعبر  $w(n)$  عن معادلة النوافذ التي يتم طيها مع الاستجابة الترددية للمرشح لتنعيم الإشارة:

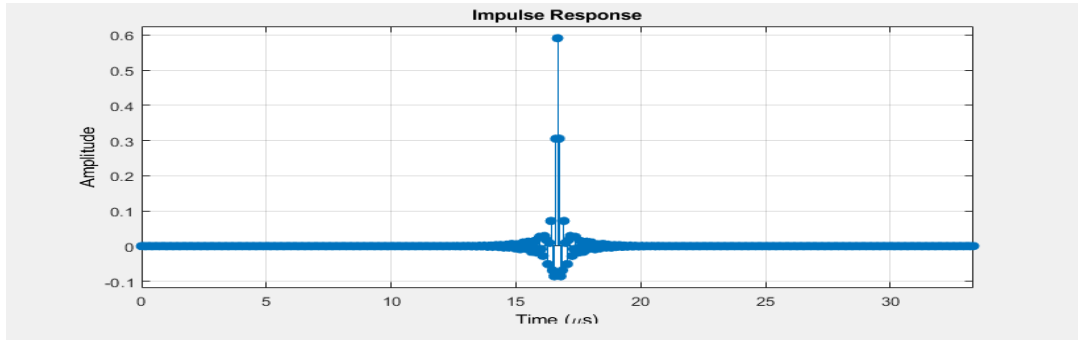
$$h(n) = \frac{\sin\left(2\pi f_c\left(n - \frac{M}{2}\right)\right)}{n - \frac{M}{2}} * w(n) \quad (11-5)$$

حيث أن:  $M$  طول المرشح.

$f_c$  تردد القطع.

$n$  رقم العينة.

يوضح الشكل (5-5) الاستجابة النبضية لمرشح Sinc الذي تم تطبيق النافذة  $w(n)$  عليه:

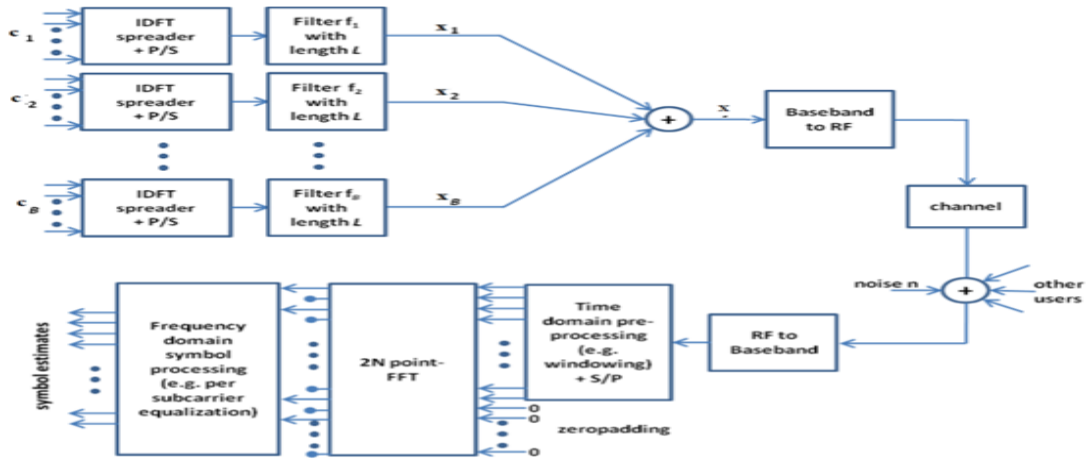


الشكل (5-5): الاستجابة النبضية للمرشح [42]

### 3-5 تقنية Universal Filter Multicarrier UPMC:

بينما تقوم مرشحات تقنية F-OFDM بترشيح الحزمة بأكملها والمخصصة لخدمة معينة مزودة ضمن هذه الحزمة، UPMC تقسم الحزمة المخصصة للمستخدم إلى حزم فرعية أصغر يتم ترشيحها بصورة منفصلة ثم يتم جمعها وإرسالها خلال القناة [34] كما في الشكل (5-6). بالنسبة لنزلة المرشح فإن UPMC تستخدم الإرسال الملغى (الصفري) Null Transmission كالحشو الصفري Zero Padding في مقدمة كل رمز، من أجل إلغاء كل من تأخير الانتشار للقناة وذبول المرشح.

تم استخدام نافذة Dolph Chebyshev من أجل تخميد الانبعاث الخارجي للحزمة OOB، حيث تعطي تخميذا مرغوبا للفصوص الجانبية وتعطي حزمة ضيقة قدر الإمكان وهذا يحفظ عرض الحزمة Bandwidth.



الشكل (5-6): المخطط الصندوقي لتقنية UPMC [34]

يتم في تقنية UPMC تقسيم الحزمة المخصصة إلى عدة حزم فرعية أصغر يجري التعامل معها كل على حدى حيث يتم في الإرسال تعديل البيانات المراد إرسالها وفق إحدى التعديلات الرقمية و تطبيق تحويل فورييه المتقطع العكسي للتحويل إلى المجال الزمني.

يتم بعد ذلك تطبيق الترشيح على الحزم الفرعية وجمع الإشارات الناتجة للحصول على الإشارة الخاصة بالحزمة ثم يتم التحويل من إشارة النطاق الأساسي إلى إشارة RF وإرسال الإشارة عبر القناة.

في طرف الاستقبال، يتم بداية تحويل الإشارة من مجال RF إلى إشارة النطاق الأساسي ليجري معالجتها في المجال الزمني عن طريق تطبيق النوافذ مع إضافة أصفار في مقدمة كل رمز من رموز الإشارة بواسطة ZP ثم يتم تحويل الإشارة الناتجة إلى المجال الترددي عن طريق تحويل فورييه السريع بحجم 2N ليجري تسويتها تردديا والحصول على الرموز المخمنة.



### 5-3-1 النمذجة الرياضية لتقنية UFMC:

تم دراسة تقنية UFMC المقترحة للاستخدام في شبكات الجيل الخامس حيث اعتبر الباحث نموذج اتصال بسيط من جهاز الى اخر في نظام UFMC وافترض وجود N حامل فرعي مخصص للإرسال الى جهاز المستخدم K.

يتم تقسيم عدد الحوامل الفرعية الكلي N الى B حزمة فرعية [34]، وبفرض أن  $M_i$  حامل فرعي في الحزمة الفرعية i، فتكون الصيغة الرياضية التالية:

$$\sum_{i=1}^B M_i = N \quad (12-5)$$

في كل حزمة فرعية يتم تطبيق IFFT بطول N، وترشيح بطول L، حيث أن شعاع البيانات  $x_{i,k}$  سوف يكون بطول N+L-1.

الشعاع المحصل المراد ارساله في المجال الزمني  $x_k$  الى المستخدم K سوف يكون مركب من B حزمة فرعية مرشحة (تم ترشيحها) وسيكون له الصيغة التالية:

$$x_k = \sum_{i=0}^B (x_{i,k} * f_{i,k}) \quad (13-5)$$

حيث أن  $f_{i,k}$  هو المرشح من أجل الحزمة الفرعية i و  $x_{i,k}$  هو شعاع البيانات من أجل الحزمة الفرعية i بعد تطبيق IFFT بطول N.

يمكن كتابة المعادلة (13-5) في صيغة شعاعية باستخدام مصفوفة Toeplitz من أجل عملية الترشيح ومصفوفة IDFT من أجل عملية IFFT، عندئذ يمكن التعبير عن إشارة UFMC للمستخدم k بالمعادلة الرياضية التالية:

$$x_k = \sum_{i=1}^B F_{i,k} V_{i,k} c_{i,k} \quad (14-5)$$

حيث أن  $F_{i,k}$  هي مصفوفة Toeplitz والتي تحتوي على الاستجابات النبضية للمرشح المؤدي لعملية الطي الخطي Linear Convolution و  $V_{i,k}$  هي مصفوفة IDFT التي تخصص الرموز العقدية  $c_i$  للحوامل الفرعية المخصصة، وتعطى مصفوفة Toeplitz بالمعادلة الرياضية التالية :

$$F = \begin{bmatrix} h[0] & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 \\ h[1] & h[0] & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 \\ h[2] & h[1] & h[0] & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ h[L-1] & h[L-2] & \dots & \dots & h[0] & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & h[L-1] & h[L-2] & \dots & h[0] \end{bmatrix} \quad (15-5)$$

### 5-3-2 تصميم المرشح:

تستخدم نافذة Dolph Chebyshev من أجل تخميد الانبعاث الخارجي للحزمة OOB، حيث تعطي تخميد مرغوب للفصوص الجانبية وحزمة ضيقة قدر الإمكان [44] [43] ويمكن التعبير عن تحويل فورييه لـ نافذة Dolph Chebyshev بالمعادلات التالية:

$$W(w_k) = \frac{\cos\{M \cos^{-1}[\beta \cos(\frac{\pi k}{M})]\}}{\cosh[M \cosh^{-1}(\beta)]} , k = 0, 1, \dots, M - 1 \quad (16-5)$$

$$\beta = \cosh[\frac{1}{M} \cosh^{-1}(10^\alpha)] , \quad \alpha \approx 2, 3, 4 \quad (17-5)$$

حيث أن  $\alpha$  يمثل مستوى الفص الجانبي:

$$SLS = -20\alpha \quad (18-5)$$

يمكن تعريف نافذة Dolph chebyshev بالمعادلة التالية:

$$w(n) = DFT\{W(wk)\} \quad (19-5)$$

الخلاصة:

تم في هذا الفصل توضيح تقنيات الحوامل المتعددة المستخدمة في شبكات الجيل الرابع و الخامس UPMC ، F-OFDM ، OFDM مع المخططات الصندوقية الموصّفة لعمل تلك التقنيات مع توضيح النمذجة الرياضية لكل تقنية و الاختلافات في طريقة عمل كل منها.

## الفصل السادس

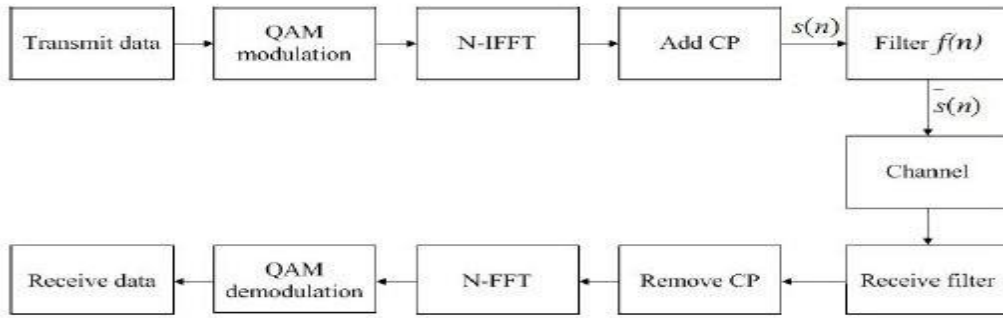
### القسم العملي

يتضمن القسم العملي دراسة لتقنيتي UPMC ، F-OFDM مع أنواع مختلفة من المرشحات و تحليل أدائهما من حيث PAPR ، BER ، PSD مع دراسة أدائهما في نموذج قناة حقيقي EPA.

1-6 دراسة أداء تقنيتي F-OFDM، UPMC مع أنواع أخرى من المرشحات:

#### 1-1-6 تقنية F-OFDM:

تم محاكاة التقنية في برنامج MATLAB باستخدام المحددات المبينة في الجدول (1-6) لنموذج اتصال Point to Point:



الشكل (1-6): مخطط نظام F-OFDM [45]

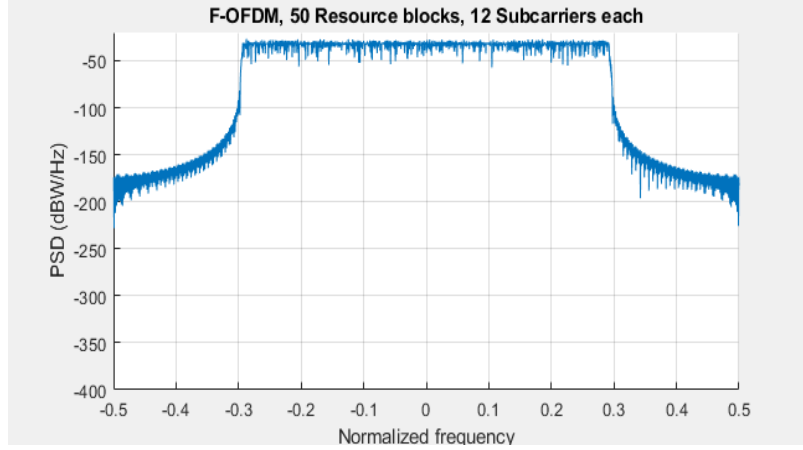
الجدول (1-6): بارامترات محاكاة F-OFDM

المحدد	القيمة
حجم FFT	1024
عدد البلوكات المصدريّة RB	50
القناة	AWGN
طول البادئة الدورية CP	72 sample
Tone-offset	2.5
طول المرشح	513
المرشح	Sinc Filter
النافذة	W1= 0.5*(1+cos(2*pi.*n/(L-1))).^0.6 W2= chebyshev window W3= Kaiser window
عدد الحوامل الفرعية في البلوك المصدري	12

تم دراسة تقنية F-OFDM ومقارنة كل من الكثافة الطيفية للاستطاعة ومعدل خطأ البت ونسبة الاستطاعة العظمى الى المتوسطة PAPR بالنسبة لكل نافذة من النوافذ المطبقة مع تطبيق خوارزمية القص لتخفيض نسبة PAPR ودراسة الأداء مع زيادة طول المرشح L.

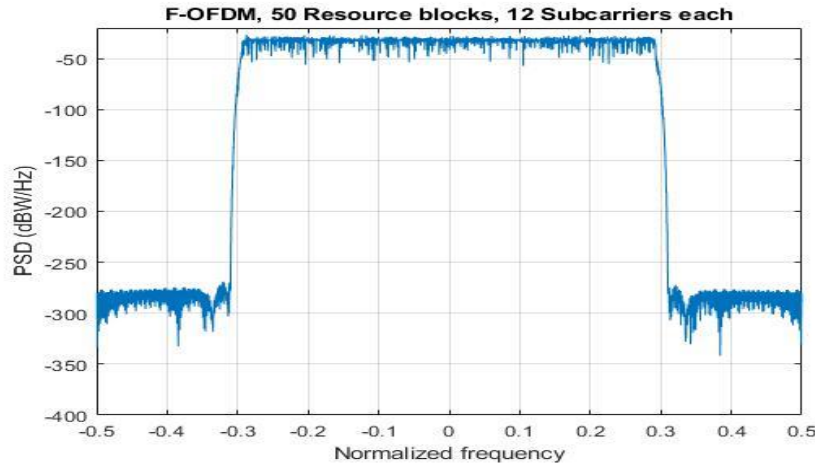
### 6-1-1-1 الكثافة الطيفية للاستطاعة PSD Power Spectral density:

يبين الشكل (2-6) الكثافة الطيفية للاستطاعة للنافذة W1 والتي أعطت تخميد بمقدار -200dB:

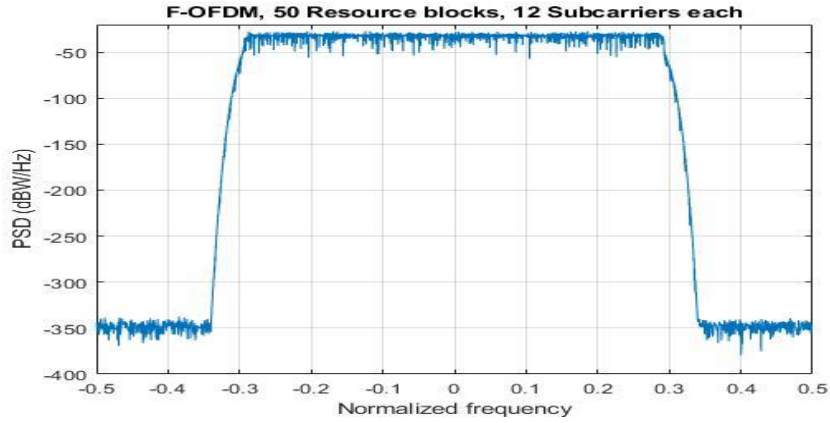


الشكل (2-6): الكثافة الطيفية للاستطاعة PSD للنافذة W1

ويبين الشكل (3-6) الكثافة الطيفية للاستطاعة PSD للنافذة W2 المعبر عنها بالمعادلات (5-16) (5-17) (5-18) (5-19) والتي تم تصميمها في هذا البحث مع نسبة تخميد 200dB والتي أعطت نتيجة تخميد بمقدار -300dB لمستوى الفصوص الجانبية العائدة للحوامل الفرعية والذي يعني تخفيض الانبعاث الطيفي OOB بمقدار -100dB بالنسبة للنافذة W1 المستخدمة في المرجع [42].



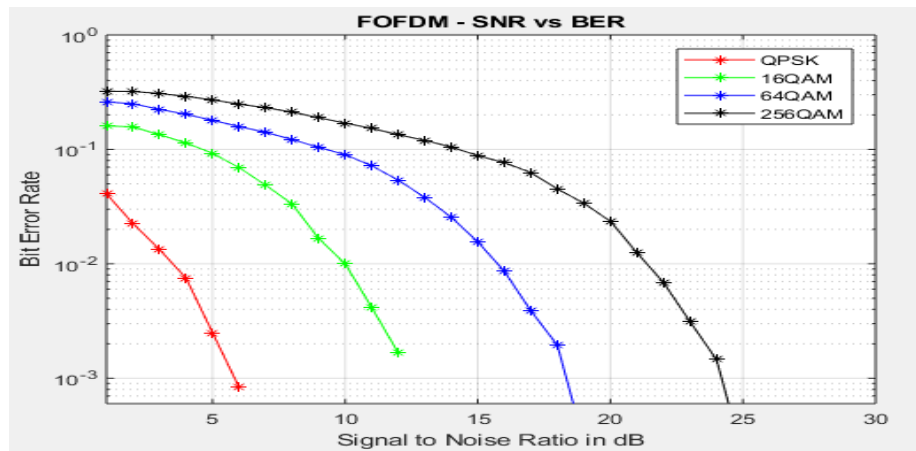
الشكل (3-6): الكثافة الطيفية للاستطاعة PSD للنافذة W2



الشكل (4-6): الكثافة الطيفية للاستطاعة PSD للنافذة W3

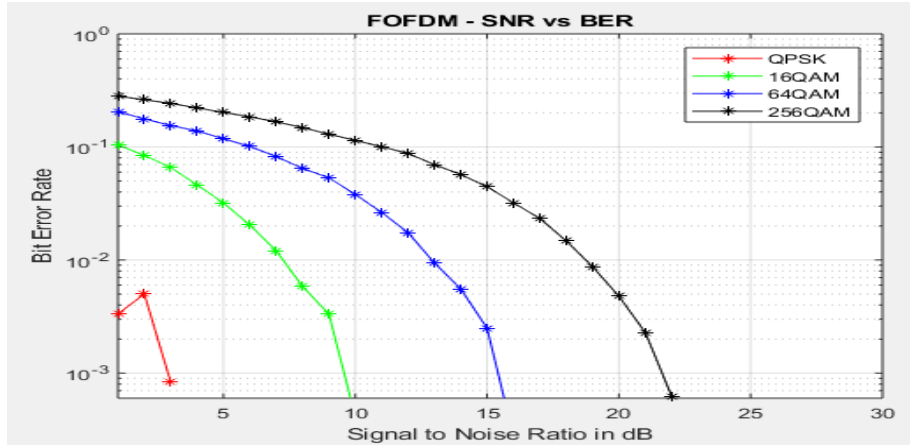
يعبر الشكل (4-6) عن الكثافة الطيفية للاستطاعة لنافذة Kaiser المعبر عنها بالمعادلة (4-17) التي قمنا بتطبيقها مع نسبة تخميد 100dB والتي قدمت تخميذا مقداره -350dB لمستوى الفصوص الجانبية العائدة للحوامل الفرعية والذي يعني تخفيض نسبة الاشعاع خارج الحزمة أو ما يسمى بالانبعاث الطيفي OOB بمقدار -150dB بالنسبة للنافذة W1.

#### 2-1-1-6 معدل خطأ البت BER:



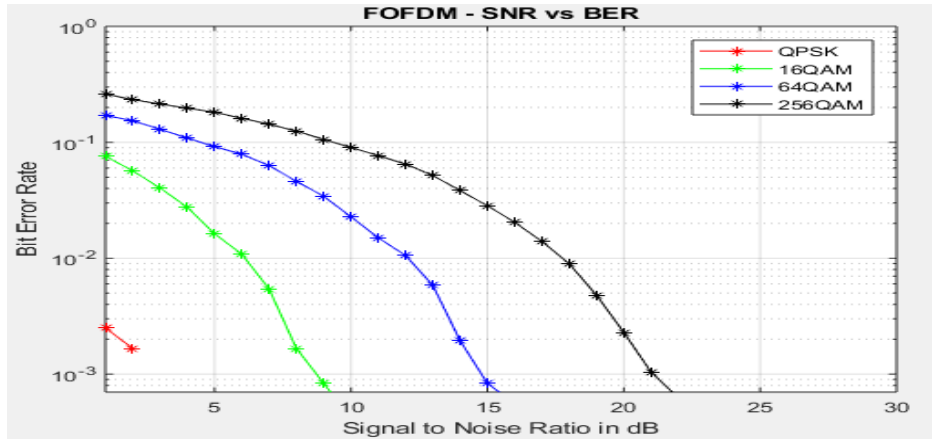
الشكل (5-6): معدل خطأ البت BER مع طول مرشح  $L=513$  للنافذة W1

يعبر الشكل (5-6) عن معدل خطأ البت بالنسبة للنافذة W1 المستخدمة في المرجع [42] لمختلف أنواع التعديلات الرقمية، حيث يلاحظ تدهور الأداء مع تزايد مراتب التعديل.



الشكل (6-6): معدل خطأ البت BER مع طول مرشح  $L=2049$  للنافذة W2

يوضح الشكل (6-6) معدل خطأ البت بالنسبة لنافذة Dolph Chebyshev لأنواع مختلفة من التعديلات الرقمية، ويمكن ملاحظة انخفاض الأداء بشكل كبير والذي يمكن تحسينه من خلال زيادة طول المرشح  $L=1025, 2049, 4097$ .



الشكل (6-7): معدل خطأ البت BER مع طول مرشح  $L=4097$  للنافذة W3

يبين الشكل (6-7) معدل خطأ البت بالنسبة لنافذة Kaiser لأنواع مختلفة من التعديلات الرقمية، ويلاحظ تدهور الأداء الذي يمكن تحسينه بواسطة زيادة طول المرشح  $L=1025, 2049, 4097$  أيضاً.

### 6-1-1-3 نسبة الاستطاعة العظمى الى المتوسطة PAPR:

تعاني تقنية OFDM من سيئة رئيسية ألا وهي مشكلة الاستطاعة العظمى الى المتوسطة PAPR حيث تؤدي القيم العظمى غير الثابتة لغلاف الإشارة الى عمل المضخمات الخطية في المنطقة غير الخطية والذي يؤدي الى التقليل من كفاءتها.

في تقنية OFDM، يتم إضافة كل الحوامل باستخدام خوارزمية تحويل فورييه السريع العكسي IFFT للعمل في المجال الزمني وهذا يقود الى قمم كبيرة في المجال الديناميكي لتغير الإشارة في المجال الزمني.

يمكن التعبير عن العلاقة المعبرة عن نسبة الاستطاعة العظمى الى المتوسطة بالمعادلة الرياضية التالية [46]:

$$PAPR \{x(t)\} = \frac{\max_{0 \leq t \leq T} \{|x(t)|^2\}}{E\{|x(t)|^2\}} \quad (1-6)$$

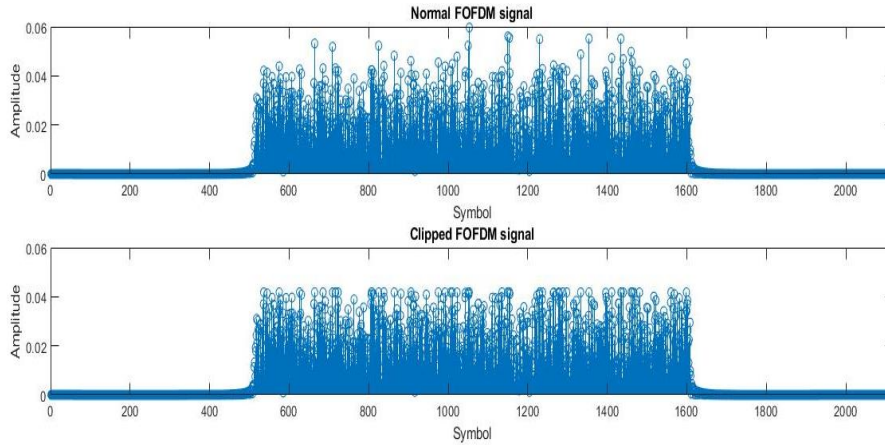
حيث أن:  $\max\{|x(t)|^2\}$  عبارة عن استطاعة الإشارة العظمى.  
 $E\{|x(t)|^2\}$  عبارة عن الاستطاعة المتوسطة للإشارة.

تم في عدة دراسات تطبيق عدة خوارزميات لتخفيض نسبة PAPR، وتم في هذا البحث تطبيق خوارزمية القص Clipping، والتي تقوم على مبدأ توظيف قاص يقوم بتحديد غلاف الإشارة الى مستوى قص محدد مسبقا إذا تجاوزت الإشارة هذا المستوى، وإذا لم تتجاوزة يقوم بتمرير الإشارة دون أي تغيير.

يمكن التعبير عن عملية القص بالمعادلة الرياضية التالية:

$$T(x[n]) = \begin{cases} x[n] & , x[n] \leq CL \\ CL e^{j\angle x[n]} & , x[n] \geq CL \end{cases} \quad (2-6)$$

تم في هذا البحث حساب نسبة الاستطاعة العظمى الى المتوسطة PAPR لمختلف أنواع النوافذ المطبقة وتطبيق خوارزمية القص Clipping لتخفيض قيمتها وذلك بتمرير 70% من قيمة الإشارة الأصلية وقدمت نتيجة مناسبة حيث تم تخفيض النسبة بمقدار 4dB تقريبا.



الشكل (6-8): تخفيض نسبة PAPR بواسطة القص

ويبين الجدول (2-6) قيمة PAPR للإشارة المرسلّة المعبر عنها بالمعادلة (4-5) قبل وبعد عملية القص من أجل أنواع مختلفة من التعديل والنوافذ:

الجدول (2-6): قيم الاستطاعة العظمى إلى المتوسطية PAPR

النافذة	التعديل	القيمة الأصلية لـ PAPR	PAPR بعد القص
W1	QPSK	10.8001	6.0831
W1	16QAM	10.7387	6.1132
W1	64QAM	12.5681	9.0143
W1	256QAM	10.6866	6.0099
W2	QPSK	10.8049	6.089
W2	16QAM	10.7412	6.1163
W2	64QAM	12.5721	9.0218
W2	256QAM	10.6835	6.0061
W3	QPSK	10.8072	6.0904
W3	16QAM	10.7582	6.1352
W3	64QAM	12.5762	9.03
W3	256QAM	10.6872	6.0092

#### 6-1-2 تقنية UFMC:

تم محاكاة تقنية UFMC باستخدام برنامج MATLAB ويبين الجدول (3-6) أهم المحددات المستخدمة في عملية المحاكاة:

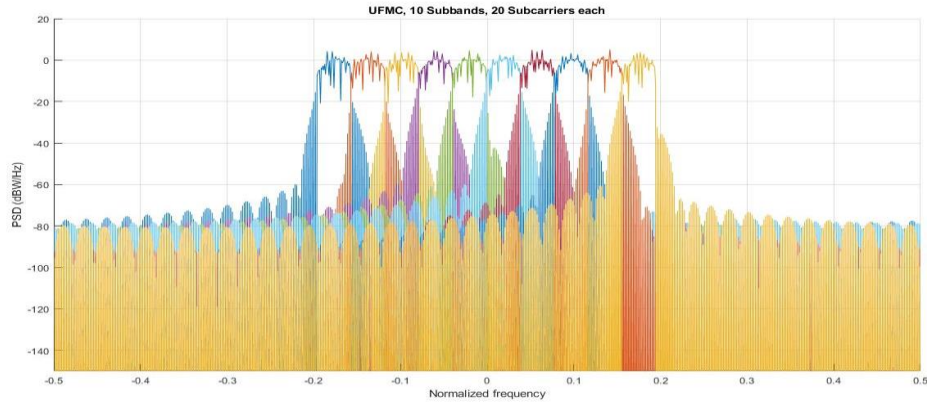
الجدول (3-6): بارامترات محاكاة UFMC

البارامتر	القيمة
حجم FFT	512
حجم الحزمة الفرعية / عدد الحزم الفرعية	10/20
النافذة	W1 = chebyshev W2 = nuttallwin
طول نافذة الترشيح	43
القناة	AWGN

تم دراسة تقنية UFMC ومقارنة كل من الكثافة الطيفية للاستطاعة ومعدل خطأ البت ونسبة الاستطاعة العظمى إلى المتوسطية PAPR بالنسبة لكل نافذة من النوافذ المطبقة مع تطبيق خوارزمية القص لتخفيض نسبة PAPR.

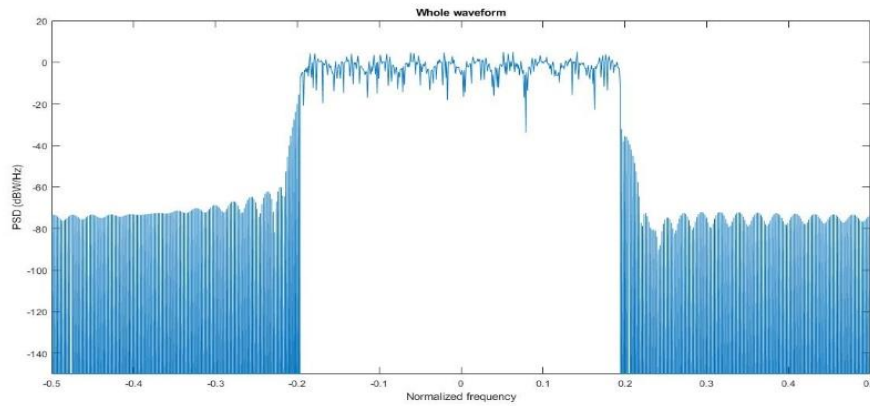


### 1-2-1-6 الكثافة الطيفية للاستطاعة PSD :Power Spectral density



الشكل (6-9): الكثافة الطيفية للاستطاعة PSD للحزم الفرعية للنافذة W1

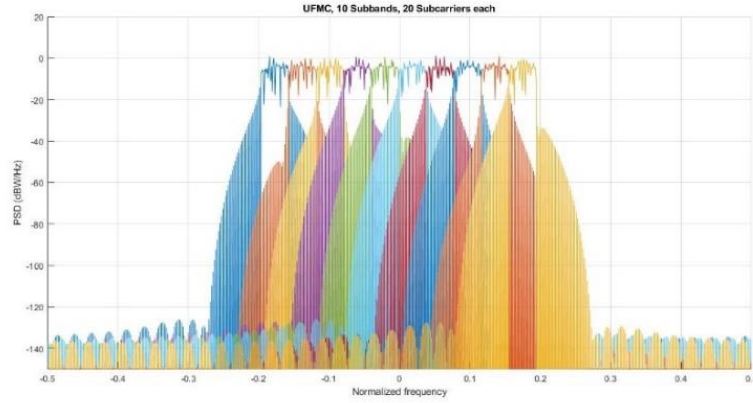
يلاحظ من الشكل (6-9) تخميد بمقدار  $-80\text{dB}$  لمستوى الفصوص الجانبية للحوامل الفرعية بالنسبة للحزم الفرعية Subband بعد تطبيق نافذة Dolph Chebyshev.



الشكل (6-10): الكثافة الطيفية للاستطاعة PSD للحزمة بأكملها للنافذة W1

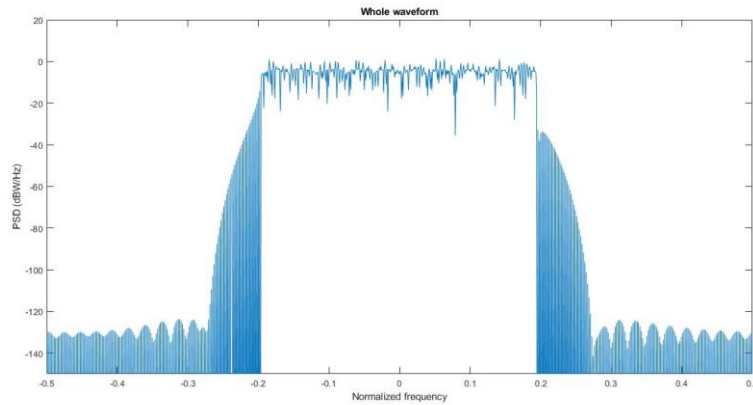
يمثل الشكل (6-10) الكثافة الطيفية للاستطاعة بالنسبة للحزمة بأكملها والنتيجة عن جمع الحزم الفرعية Subband، حيث يظهر ان مقدار التخميد  $-80\text{dB}$  عند تطبيق نافذة Dolph Chebyshev.

تم تطبيق نافذة Nuttall's Blackman-Harris المعبر عنها بالمعادلة (4-19) وتم التوصل لمقدار تخميد  $-140\text{dB}$  لمستوى الفصوص الجانبية العائدة للحوامل الفرعية كما يبين الشكل (6-11) والذي يعني تخفيض نسبة الاشعاع خارج الحزمة أو ما يسمى بالانبعاث الطيفي OOB بمقدار  $-60\text{dB}$  بالنسبة للنافذة W1 والذي يقلل تداخلات القنوات المتجاورة ACLR وخصوصا بالنسبة للأجهزة المتوضعة في نفس المكان الذي يمثل أحد التطبيقات الأساسية في شبكات الجيل الخامس وخاصة إنترنت الأشياء IoT كما في تقنية F-OFDM.



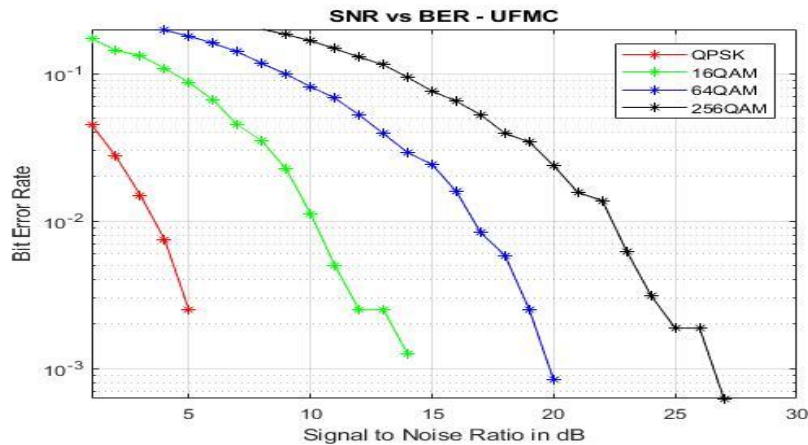
الشكل (6-11): الكثافة الطيفية للاستطاعة PSD للحزم الفرعية للنافذة W2

يمثل الشكل (6-12) الكثافة الطيفية للاستطاعة بالنسبة للحزمة بأكملها والناجمة عن جمع الحزم الفرعية Subband، حيث يظهر ان مقدار التخميد -140dB عند تطبيق نافذة Nuttall's Blackman-Harris.



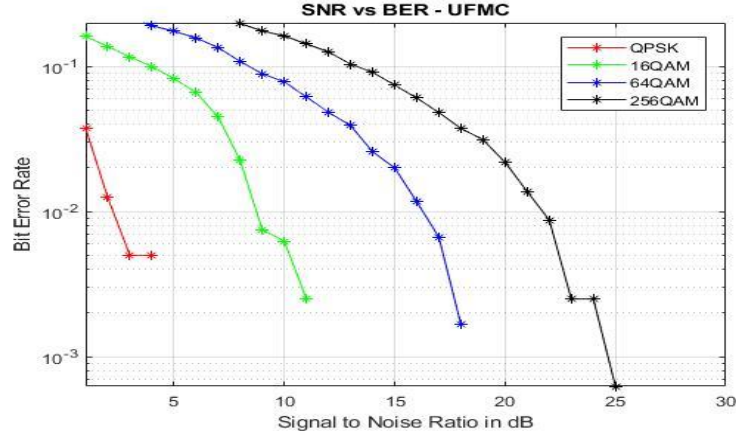
الشكل (6-12): الكثافة الطيفية للاستطاعة PSD للحزمة بأكملها للنافذة W2

## 6-2-1-2 معدل خطأ البت BER:



الشكل (6-13): معدل خطأ البت BER للنافذة W1

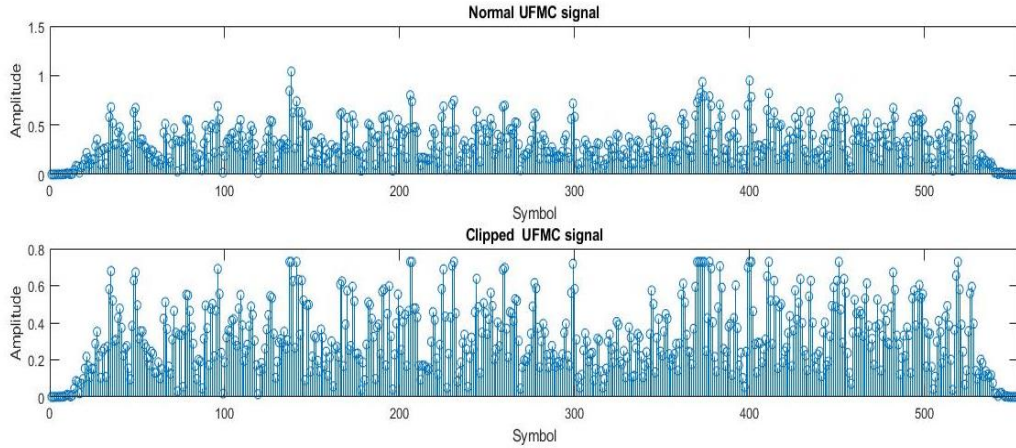
يوضح الشكل (6-13) معدل خطأ البت بالنسبة للنافذة W1 لمختلف أنواع التعديلات الرقمية حيث يلاحظ تدهور الأداء مع زيادة مراتب التعديل. تم تحسين معدل خطأ البت BER عن طريق النافذة التي تم تطبيقها في هذا البحث Nuttall's Blackman-Harris كما يبين الشكل (6-14).



الشكل (6-14): معدل خطأ البت BER للنافذة W2

### 6-1-2-3 نسبة الاستطاعة العظمى الى المتوسطة PAPR:

تم أيضا في هذا البحث حساب نسبة الاستطاعة العظمى الى المتوسطة PAPR لمختلف أنواع النوافذ المطبقة وتطبيق خوارزمية القص Clipping لتخفيض قيمتها وقدمت تخفيضا تجاوز 5dB.



الشكل (6-15): تخفيض نسبة PAPR بواسطة القص

ويبين الجدول (6-4) قيم الاستطاعة العظمى للمتوسطة للإشارة المرسلة (5-14) قبل وبعد القص من أجل أنواع مختلفة من التعديل ومن أجل نوافذ مختلفة:

الجدول (4-6): قيم الاستطاعة العظمى الى المتوسطة PAPR

النافذة	التعديل	القيمة الأصلية لـ PAPR	PAPR بعد القص
W1	QPSK	9.04	4.0501
W1	16QAM	8.2379	3.4166
W1	64QAM	8.6229	3.7416
W1	256QAM	8.0416	3.3
W2	QPSK	8.94	3.9584
W2	16QAM	8.5393	3.6215
W2	64QAM	8.3568	3.5568
W2	256QAM	8.1445	3.3611

## 6-2 دراسة أداء تقنيتي F-OFDM و UFMC مع نموذج قناة خفوت حقيقية:

تم في هذا الجزء مقارنة أداء تقنيات OFDM و F-OFDM و UFMC في قناة خفوت سريع Fast Fading من نوع EPA وفقا للبارامترات الموصفة في الجدول (5-6)، حيث تم مقارنة معدل خطأ البت BER بالنسبة لأنواع التعديلات الرقمية QPSK, 16QAM, 64QAM وتبيان كيفية تخطيط الرموز والتداخل الذي يحدث لها عند انتشار الإشارة بالنسبة لنوع التعديل QPSK.

تم تطبيق تسوية للقناة Equalization ممثلة بخوارزمية الإجبار الصفري Zero Forcing [47] وذلك خلال عملية الكشف في المستقبل على خرج بلوك FFT لتقليل تداخلات الرموز وتحسين BER، حيث تفيد هذه الخوارزمية في تقليل التعقيد عن طريق توظيفها في عملية التخمين والتسوية بنفس الوقت.

توصف خوارزمية الإجبار الصفري بأنها خوارزمية خطية تستخدم في أنظمة الاتصال حيث يقوم مبدأها على تطبيق عكس الاستجابة الترددية للقناة.

يقوم مسوي الإجبار الصفري بتطبيق عكس الاستجابة الترددية للقناة على الإشارة المستقبلة لاستعادة الإشارة بعد مرورها بالقناة وتقليل تداخل الرموز ISI.

يمكن التعبير عن مسوي الإجبار الصفري  $C(f)$  لقناة استجابتها الترددية  $F(f)$  بالعلاقة الرياضية التالية:

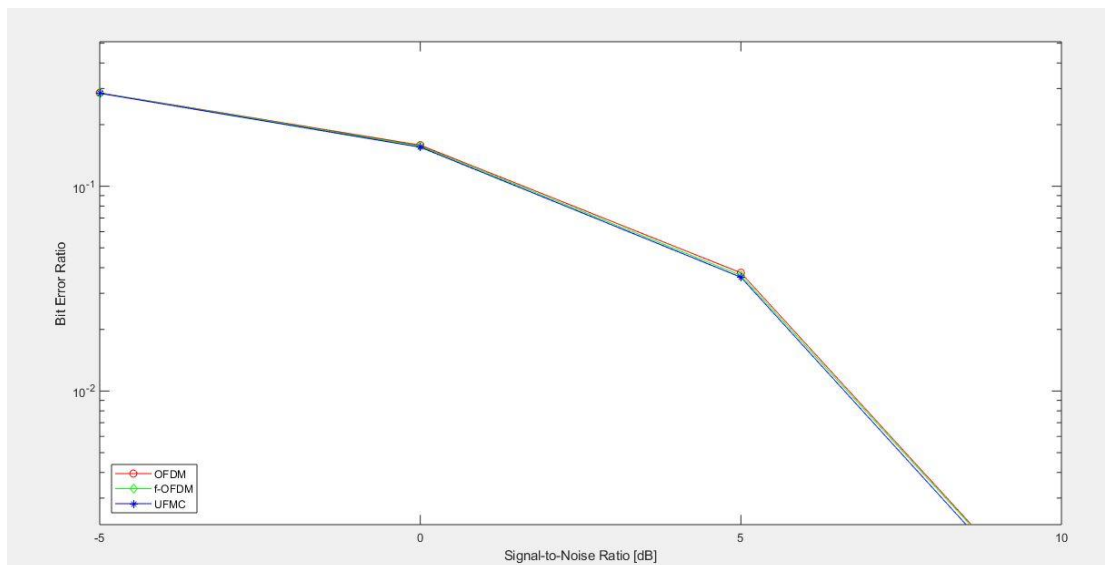
$$C(f) = \frac{1}{F(f)} \quad (3-6)$$

الجدول (5-6): بارامترات المحاكاة في قناة خفوت حقيقية

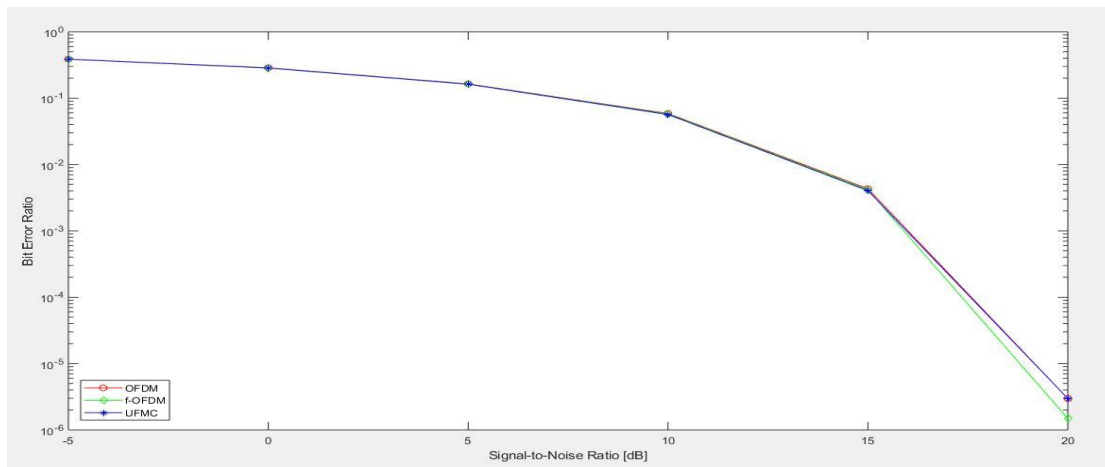
البارامتر	القيمة
نوع التعديل	QPSK,16QAM,64QAM
نسبة الإشارة الى الضجيج SNR	30dB
عدد الحوامل الفرعية	24
نموذج القناة	EPA
سرعة القناة	130 Kmh
تردد الحامل	2.5GHz
المسافة الفاصلة بين الحوامل	15KHz

بداية سيتم توضيح أداء التقنيات الثلاثة بالنسبة لبارامترات السابقة في نموذج قناة ضجيج ابيض غوسي AWGN :

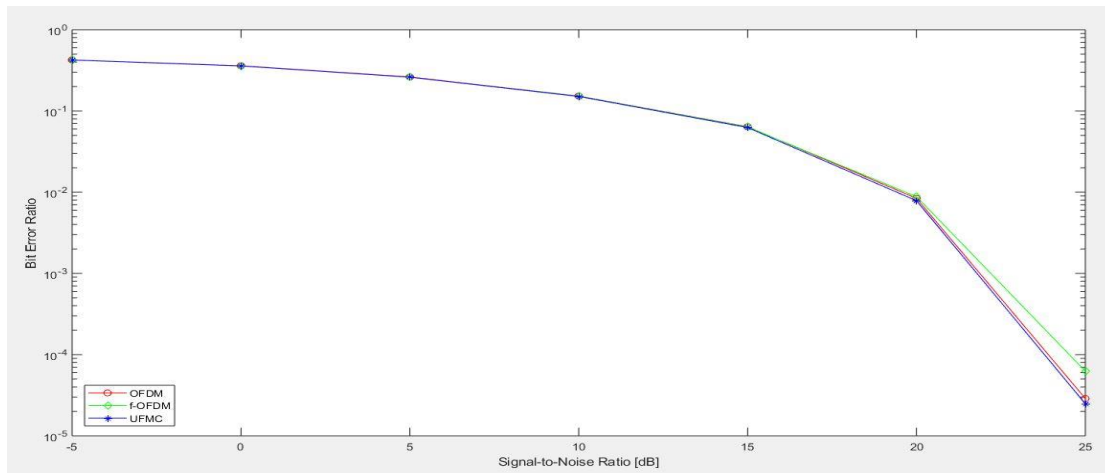
تبين الأشكال (16-6) , (17-6) , (18-6) منحنيات معدل خطأ البت BER للتقنيات الثلاثة OFDM , F-OFDM , UPMC حيث نلاحظ من الشكل (16-6) تحسن أداء تقنيتي UPMC و F-OFDM مقارنة بـ OFDM وذلك بالنسبة لتعديل QPSK. كما يمكن ملاحظة الأداء الجيد BER بالنسبة لتقنية F-OFDM مقارنة بـ UPMC , OFDM و ذلك بالنسبة لسويات التعديل المنخفضة 16QAM , QPSK و ازدياد سوء بالنسبة لسويات التعديل العالية 64QAM.



الشكل (16-6): معدل خطأ البت لتعديل QPSK و نموذج قناة AWGN



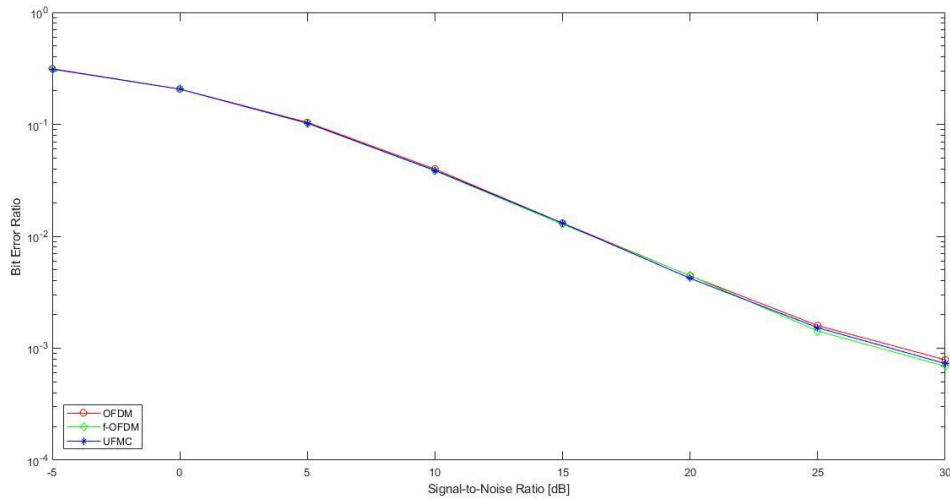
الشكل(6-17): معدل خطأ البت لتعديل 16QAM و نموذج قناة AWGN



الشكل(6-18): معدل خطأ البت لتعديل 64QAM و نموذج قناة AWGN

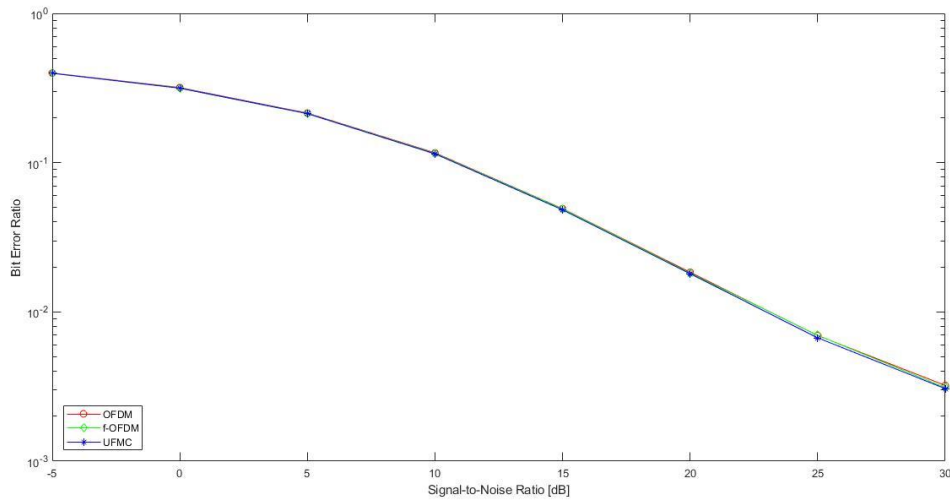
### توضيح الأداء في نموذج قناة EPA:

يبين الشكل (6-19) منحنى معدل خطأ البت BER للتقنيات الثلاثة OFDM، F-OFDM، UFMC مع استخدام تعديل رقمي QPSK مع تطبيق خوارزمية الإجماع الصغرى كمتسوية في نموذج قناة EPA.

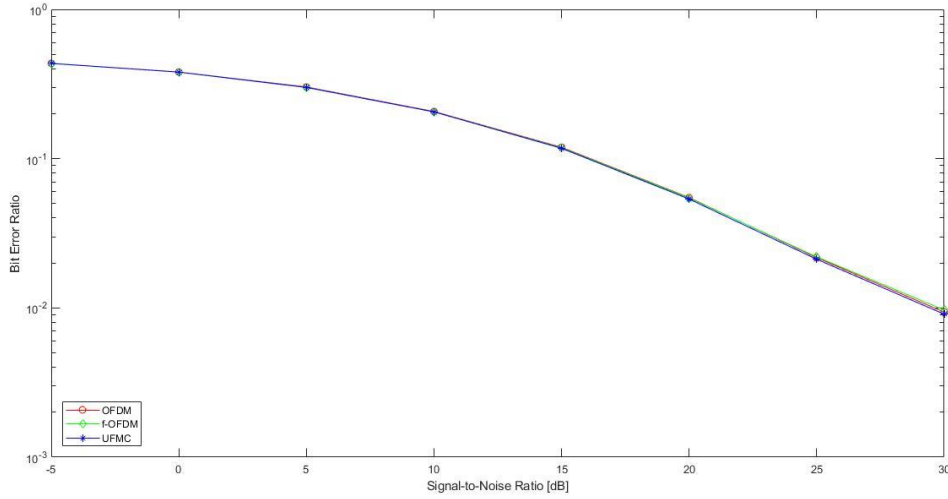


الشكل (6-19): معدل خطأ البت لتعديل QPSK و نموذج قناة EPA

يبين الشكلان (6-20) (6-21) منحنيًا معدل خطأ البت BER للتقنيات الثلاثة OFDM، F-OFDM، UFMC مع استخدام تعديل رقمي 16QAM، 64QAM مع تطبيق خوارزمية الإجماع الصفري كتنوية للقناة.



الشكل (6-20): معدل خطأ البت لتعديل 16QAM و نموذج قناة EPA

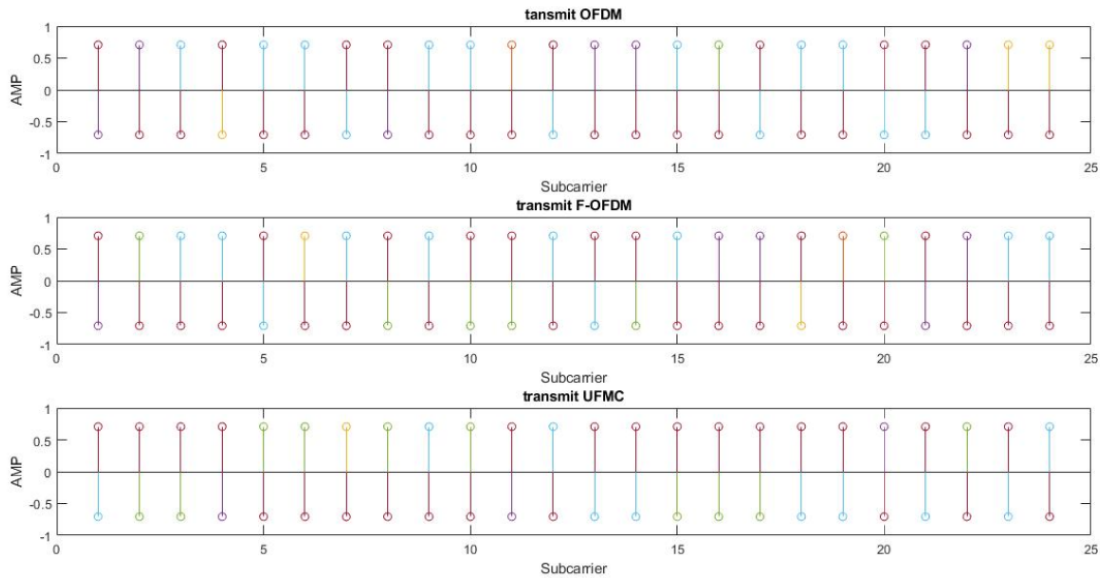


الشكل (6-21): معدل خطأ البت لتعديل 64QAM و نموذج قناة EPA

نستنتج مما سبق تقارب الأداء بشكل كبير لمختلف التقنيات OFDM , F-OFDM ,UFMC عند دراستها في نموذج قناة EPA وذلك بالنسبة لمختلف أنواع التعديلات الرقمية و هذا ما يوضح إمكانية تواجد عدة مشكلات موجبة Waveform لمختلف أجيال الاتصالات والذي يعد أمر مهم لجهة تحقيق مبدأ تكامل الأجيال.

سيتم في الأشكال التالية توصيف عملية إرسال واستقبال الرموز للتقنيات الثلاثة وكيف أثرت القناة على الرموز وجعلتها تتداخل مع بعضها.

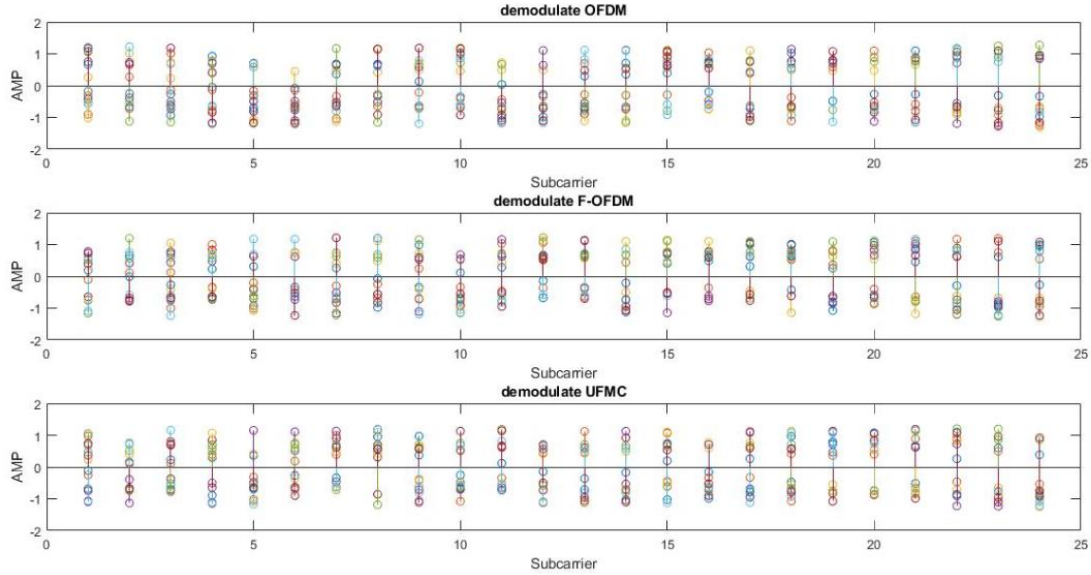
يوضح الشكل (6-22) عملية تخطيط الرموز المراد إرسالها على الحوامل الفرعية Subcarrier Mapping لتعديل QPSK:



الشكل (6-22): تخطيط الرموز المرسل

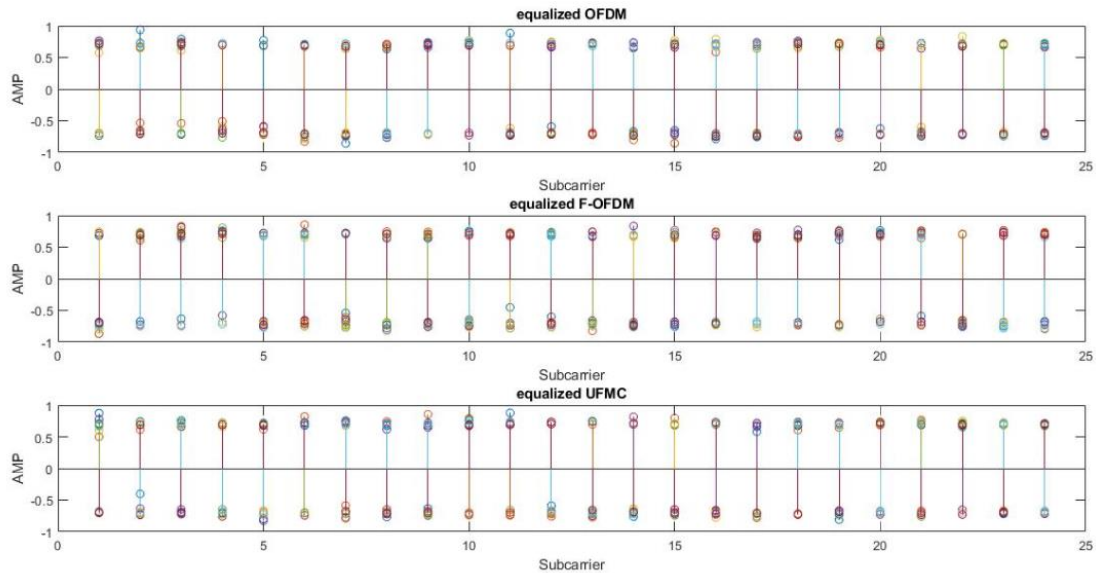


يوضح الشكل (6-23) تخطيط الرموز المستقبلية ويمكن ملاحظة التداخل الحاصل بين الرموز على مستوى الحامل الفرعي الواحد:



الشكل (6-23): تخطيط الرموز المستقبلية

يوضح الشكل (6-24) تخطيط الرموز بعد تسويتها بعد استخدام خوارزمية ZF في المستقبل ويمكن ملاحظة تقليل التداخلات ما بين الرموز:



الشكل (6-24): تخطيط الرموز المستقبلية بعد تسويتها

## 6-3 الخلاصة:

تم تطبيق عدة أنواع من النوافذ وفق برنامج MATLAB 2018b على مرشح من نوع Sinc مستخدم في تقنية F-OFDM و تم التوصل لتخميد مقداره 300dB - بالنسبة لنافذة Dolph Chebyshev و 350dB - بالنسبة لنافذة Kaiser الذي ينسجم مع هدف البحث المتمثل بتحسين الفعالية الطيفية لشبكات الجيل الخامس، و يعد هذا الأمر مهم جدا لجهة تخفيض التداخلات بين القنوات المتجاورة ACLR و تخفيض الانبعاث الطيفي OOB، كما تم مقارنة أداء التقنية بالنسبة لأنواع النوافذ المختلفة مع أطوال مرشح مختلفة حيث تحسن منحني BER مع زيادة طول المرشح ولكن ذلك على حساب زيادة التعقيد وتمت مقارنة قيم الـ PAPR مع تطبيق خوارزمية القص التي تساهم في تحسين عمل المضخمات و تقليل التشويه الناتج عن العمل في المناطق غير الخطية وتم الحصول على تخفيض بمقدار 4dB.

بالنسبة لتقنية UPMC، تم تطبيق نافذة Nuttall's Blackman-harris وحصلنا على تخميد بمقدار 140dB - لمستوى الفصوص الجانبية للحوامل الفرعية مقارنة بـ 80dB - لنافذة Dolph Chebyshev وهذا الأمر كما في F-OFDM ضروري لتقليل تداخلات القنوات المتجاورة ACLR التي تؤدي الى تدهور أداء الاتصال وخاصة من أجل شبكات الجيل الخامس بسبب تطبيق اتصالات انترنت الأشياء ووجود ملايين الأجهزة في نطاق الاتصال بحاجة للتخديم. كما تم أيضا مقارنة أداء هذه التقنية من حيث معدل خطأ البت BER وحصلنا على تحسن في المنحني بعد تطبيق نافذة Nuttall's Blackman-harris وتم أيضا مقارنة قيم الـ PAPR مع تطبيق خوارزمية القص التي تعد ضرورية لعمل المضخمات وتم الحصول على تخفيض بمقدار 5dB.

كما أظهرت النتائج إمكانية تطبيق F-OFDM و UPMC مع وجود OFDM والذي يوفر تلاؤم في تواجد عدة تقنيات وعدة أجيال للاتصال والذي يعد هدفا أساسيا لشبكات الجيل الخامس ألا وهو تكامل الأجيال.

## الدراسات المستقبلية

1. تطبيق تقنيتي F-OFDM وUFMC في نماذج قنوات أخرى CDL، TDL، EVA، ETU وتقييم أدائهما.
2. استخدام أنواع أخرى لترميز القناة Channel Coding مثل Polar Coding و LDPC Coding في تقنيتي F-OFDM وUFMC لزيادة الربح وتقليل الأخطاء ومقارنة أدائهما.
3. دراسة تكامل تقنيتي F-OFDM وUFMC مع الهوائيات الكثيفة Massive MIMO.
4. تقييم أداء التقنيتين F-OFDM، UFMC مع استخدام التنوع Diversity لزيادة الربح والموثوقية.

## المراجع

- [1]. RAHMAN . Z, R2017- GSM Technology: Architecture, Security and Future Challenges, International Journal of Science Engineering and Advance Technology, Vol. 5, pp. 70-74.
- [2]. ZARKA .N . ALKHALIL . M, R2016- GSM Interfaces Um , A-bis , A , researchgate, Higher Institute for Applied Sciences and Technology , 18p.
- [3]. POOLE . L, R2019- GSM Network Interfaces, Electronics Notes.
- [4]. Advantages of GSM | Disadvantages of GSM, R2012- rfwireless-world.
- [5]. GARG . A . DIXIT . A, R2014- A Study on Cellular GSM & CDMA – Based for New Generation Mobile Radio System, IJCAT - International Journal of Computing and Technology, Vol. 1, pp. 419-426.
- [6]. HAIDER . M . BHATTI . A . KIRMANI .A, R2007- Radio Resource Management In 3G UMTS Networks, Blekinge Institute of Technology, 61p.
- [7]. FIGUERAS . J, R2008- Mobile Communication: WCDMA, 22p.
- [8].SINGH . R.K . SINGH .R, R2016- 4G LTE Cellular Technology: Network Architecture and Mobile Standards, International Journal of Emerging Research in Management & Technology, Vol. 5, pp. 1-6.
- [9]. AHUJA . S . KAUR . A . DHINDSA . B, R2015- LTE Interfaces And Protocols, International Conference on Advances in Computer Engineering and Applications (ICACEA), pp. 870-874.
- [10]. MANJIAIAH . D . PAYASWINI . P, R2013- Challenges and issues in 4G Networks Mobility Management, International Journal of Computer Trends and Technology (IJCTT), Vol. 4, pp. 1247-1250.
- [11]. ANCANS . G . STAFECKA .A . BOBROVS . V . ANCANS . A . CAIKO . J, R2017- Analysis Of Characteristics And Requirements For 5G Mobile Communication Systems, Latvian Journal Of Physics And Technical Sciences, Vol. 4, pp. 69-78.
- [12]. CARUGI . M, R2018- , Key features and requirements of 5G/IMT-2020 networks, ITU Arab Forum on Emerging Technologies, 30p.
- [13]. CLARK . K . NORDRUM . A, R2017- Everything You Need to Know About 5G, IEEE Spectrum.

- [14]. PAI . D, R2017- A Survey on Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular Networks, International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering, Vol. 5, pp. 278-284.
- [15]. SCHNAUFER . D . PETERSON . B, R2018- Realizing 5G Sub-6-GHz Massive MIMO Using GaN, Microwaves & RF, 5p.
- [16]. AHMED . I . KHAMMARI . H . MUSA . A . KIM . K . POORTER . E . MOERMAN . I, R2018- A Survey on Hybrid Beamforming Techniques in 5G: Architecture and System Model Perspectives, IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS, Vol. 20, pp. 3060- 3097.
- [17]. HONG . S . BRAND . J . CHOI . J . JAIN . M .MEHLMAN . J . KATTI .S . LEVIS .P, R2014- Applications of Self-Interference Cancellation in 5G and Beyond, IEEE Communications Magazine , pp. 114-121.
- [18]. SHEIKHZADEH . S . JAVAN . M, R2016- Key Technologies in 5G: Network Architecture, MODARES JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING, Vol. 16, pp. 38-49.
- [19]. SAH . D . KUMAR . P . SHIVALINGAGOWDA . C . JAYASREE . P, R2019- 5G Applications and Architectures, 24p.
- [20]. POPOVSKI . P . TRILLINGSGAARD . K . DURISI . G, R2018- 5G Wireless Network Slicing for eMBB, URLLC, and mMTC: A Communication- Theoretic View, Researchgate, 30p.
- [21]. JI . H . PARK . S . YEO . J . KIM . Y . LEE . J . SHIM .B, R2017- Introduction to Ultra Reliable and Low Latency Communications in 5G, arxiv, 15p.
- [22]. MARABISSI . D . MUCCHI . L . FANTACCI . R . SPADA . M . MASSIMIANI . F . FRATINI . A . CAU . G . YUNPENG . G . FEDELE . L, R2018- A Real Case of Implementation of the Future 5G City, MDPI, 16p.
- [23]. PHAN . A . QURESHI . S, R2017- 5G impact On Smart Cities, Researchgate, 13p.
- [24]. HUSAIN . S . KUNA . A . PRASAD . A . PATEROMICHELAKIS . E, R2019- Ultra-High Reliable 5G V2X Communications, Researchgate, 7p.

- [25]. ITU TEAM, R2018- Setting the Scene for 5G: Opportunities & Challenges, 56p.
- [26]. PASCUAL . R, R2017- Chapter 9: FIR and IIR Digital Filters, Researchgate, 15p.
- [27]. KUMAR . A . MAMTA . A, R2016- Comparison of Different Types of IIR Filters, International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering (IJARECE), Vol. 5, pp. 393-402.
- [28]. ZAHOOOR . S . NASEEM . S, R2017- Design and implementation of an efficient FIR digital filter, Cogent Engineering, 12p.
- [29]. PODDER . P . KHAN .T . KHAN . M, R2014- Comparative Performance Analysis of Hamming, Hanning and Blackman Window, International Journal of Computer Applications, Vol. 96, pp. 1-7.
- [30]. ARYA . R . JAISWAL . S, R2015- Design of Low pass FIR Filters using Kaiser Window Function with variable parameter Beta ( $\beta$ ), International Journal of Multidisciplinary and Current Research, Vol. 3, pp. 220-224.
- [31]. MAHANT . S . CHANDEL . P . RAHI . P, R2017- FIR Low Pass Filter Designing using Bartlett Hanning, Blackman Harris and Nuttall Window Techniques, International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering, Vol. 6, pp. 785-790.
- [32]. PANDEY .S . CHOUDHARY .S . RAHI .P, R2017- Design of low pass FIR filter using Rectangular, Barlett and Blackman-Harris window techniques, International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering, Vol. 6, pp. 434-441 .
- [33]. HE .C .CE .B HE .Y, R2016- A Filtered OFDM Using FIR Filter Based on Window Function Method, Shenzhen University, China, 5p.
- [34]- KODHELI .O, R2016- OFDM-based Schemes for Next Generation Wireless Systems. Universita Di Bologna ,Italy, 54p.
- [35]- YANG .L . XU .Y, R2017- Filtered-OFDM System Performance Research Based on Nuttall's Blackman-Harris Window. 17th IEEE International Conference on Communication Technology, China, 687-692p.
- [36]- QUALQUUM, R2015- 5G Waveform & Multiple Access Techniques, 46p.

- [37]- CAI .Y .QIN .Y . CUI .F . LI .G . MCCANN .J, R2017- Modulation and Multiple Access for 5G Networks. **IEEE Communications Surveys and Tutorials**, 31p.
- [38]- IJAZ .A . ZHANG .A . XIAO .P . TAFAZOLLI .R,R2017- **Analysis of Candidate Waveforms for 5G Cellular Systems**, 26p.
- [39]- GERZAGUET .R . BARTZOUDESS .N . BALTAR .L . BERG .V . DORE .J . KTENAS .D . BACH .O . MESTRE .X . PAYARO .M . FARBER .M . ROTH .K, R2017-The 5G candidate waveform race :a comparison of complexity and performance, **EURASIP**, 14p.
- [40]. KHOSLA .D . SINGH .S . SINGH .R . GOYAL .S, R2017- OFDM Modulation Technique & its Applications: A Review, **Circulation in Computer Science International Conference on Innovations in Computing (ICIC 2017)**, pp:101-105.
- [41]. BALLAH .B . CHADHA .A . SATAM .A, R2013- Orthogonal Frequency Division Multiplexing and its Applications, **International Journal of Science and Research (IJSR)**, vol .1, pp. 325-328.
- [42]. 3GPP TSG RAN WG1 Meeting, R2016- **F-OFDM scheme and filter design**. Huawei HiSilicon, China, 10p.
- [43]. BOCHECHKA .G . TIKHVINSKIY .V VOROZHISHCHEV .I AITMAGAMBETOV .A NURGOZHIN .B,R2017- Comparative analysis of UPMC technology in 5G networks. **International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON)**, Kazakhstan,185-191p.
- [44]. RANI .N . RANI .S, R2016- UPMC: The 5G Modulation Technique, **IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research**, pp. 1-3.
- [45]. CHENG .X . HE .Y . GE .B . HE .C, R2016- A Filtered OFDM Using FIR Filter Based on Window Function Method, **IEEE 83<sup>rd</sup> Vehicular Technology Conference**, 5p.
- [46]. BISHT . M . JOSHI . A, R2015- Various Techniques to Reduce PAPR in OFDM Systems: A Survey, **International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition**, Vol. 8. pp. 195-206.
- [47]. VILAR . F, R2014 **Implementation Of Zero Forcing And MMSE Equalization Techniques In OFDM**, UNIVERSIDADE DE FORTALEZA,Brazil, 52p.

## ملحق A

Tap	Excess tap delay [ns]	Relative power [dB]
1	0	0.0
2	30	-1.0
3	70	-2.0
4	90	-3.0
5	110	-8.0
6	190	-17.2
7	410	-20.8

<http://literature.cdn.keysight.com>



## الأبحاث المنشورة

- 1- تم نشر بحث بعنوان " تحليل أداء تقنيات الحوامل المتعددة F-OFDM و UFMC في شبكات الجيل الخامس في مجلة جامعة البعث، المجلد 41، 2019.
- 2- تمت مشاركة بحث بعنوان " تحليل أداء تقنيات الحوامل المتعددة في شبكات الجيل الخامس" في المؤتمر الهندسي الأول لطلاب الدراسات العليا، جامعة تشرين، 2019.
- 3- تم نشر بحث بعنوان " تحليل أداء تقنيات الحوامل المتعددة في شبكات الجيل الخامس" في الأرشيف العربي العلمي ArabiXiv، 2019.

Syrian Arab Republic

Al Baath University

Faculty of Mechanical and Electrical

Engineering

Department of Electronic and Communication

Engineering



# Performance Analysis of Multi carrier Techniques in the 5G Networks

A thesis in fulfillment of the requirements for the Master Degree  
in communication Engineering

Prepared by

Eng. Ali Wahby

Supervisor

Dr. Eng. Abdulkareem Assalem

1441 A.H – 2020 A.D