الجمهورية العربية السورية
جامعة تشرين
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
ماجستير هندسة الاتصالات المعلوماتية

الجيل الخامس 5G من أنظمة الاتصالات الخليوية

إعـداد المهندس: بشار عروس

العناوين:

- ما هي تكنولوجيا الجيل الخامس
- 5G Roadmap
- تطبيقات ومجالات استخدام الجيل الخامس
- تقنية الحوامل الترددية المتعامدة الموسعة Scalable OFDM
- الوصلة الصاعدة المكملة Supplementary Uplink
- شكل الموجة، الدلالات، بنية الإطار
- الحيزات الزمنية الصغيرة Mini Slots
- مجموعات الموارد Resources Blocks
- عناصر الإصدار 16 (Release 16 Work Items):
- NR V2X.
- الشبكات غير الأرضية Non-Terrestrial Networks.
- فوق 52.6 جيجا هرتز Above 52.6 GHz.
- الوصول المتكامل والعودة Integrated Access and Backhaul (IAB).
- تقنيات انترنت الأشياء IoT Techniques.
- شبكات 5G خاصة لانترنت الأشياء الصناعية Private 5G Networks for Industrial IoT.

ماهي تكنولوجيا الجيل الخامس؟
مقدمة:

- لهذه التكنولوجيا دور رئيسي في دعم الحكومات وواضعي السياسات حول العالم في تحويل مدنهم إلى مدن ذكية، بما يسمح للمواطنين والمجتمعات بتحقيق الفوائد الاقتصادية والاجتماعية التي يوفرها اقتصاد رقمي متقدم كثيف من حيث البيانات والمشاركة في هذا الاقتصاد.

- تَعِد تكنولوجيا الجيل الخامس بتوفير تجربة محسنة للمستخدم النهائي من خلال توفير تطبيقات وخدمات جديدة بسرعات الجيغابتات وتحسين كبير في الأداء والاعتمادية.

ماهي تكنولوجيا الجيل الخامس؟

مقدمة:

تعتمد تكنولوجيا الجيل الخامس على نجاحات الشبكات المتنقلة من الأجيال الثاني والثالث والرابع التي حولت المجتمعات وقدمت الدعم لخدمات ونماذج أعمال جديدة.

صدر نهاية العام 2017 المعيار الأولي للجيل الخامس مع تحديد أهم المتطلبات والتقنيات المرشح استخدامها.

مبادئ التصميم الرئيسية في 5G هي المرونة والتنوع لخدمة العديد من حالات الاستخدام المختلفة و السيناريوهات.

تم اعتبار ثمانية بارمترات لأنظمة 5G بوصفها المقدرات الرئيسية Key Capabilities التي ينبغي أن تدعمها.

ماهي تكنولوجيا الجيل الخامس؟

- **معدل بيانات الذروة Peak data rate**: أقصى معدل للبيانات يمكن تحقيقه في ظل ظروف مثالية، 10 Gbps للهواتف المحمولة، 20 Gbps في ظل ظروف معينة.

- **معدل البيانات التي يتمتع بها المستخدم User experienced data rate**: معدل البيانات القابل للتحقيق والمتوفر في كل مكان عبر منطقة التغطية، مثلا في المناطق الحضرية وشبه الحضرية، يمكن دعم معدل بيانات قابل للتحقيق قدره 100 Mbit/s وفي حالات النقاط الساخنة hotspot، من المتوقع أن يصل معدل بيانات المستخدم القابل للتحقيق إلى قيم أعلى مثلا 1 Gbit/s داخل المباني.
- **التأخير Latency**: زمن الانتظار بين إرسال المصدر لرزمة بيانات حتى استقبالها من الوجهة (1 ms أو أقل).

ماهي تكنولوجيا الجيل الخامس؟

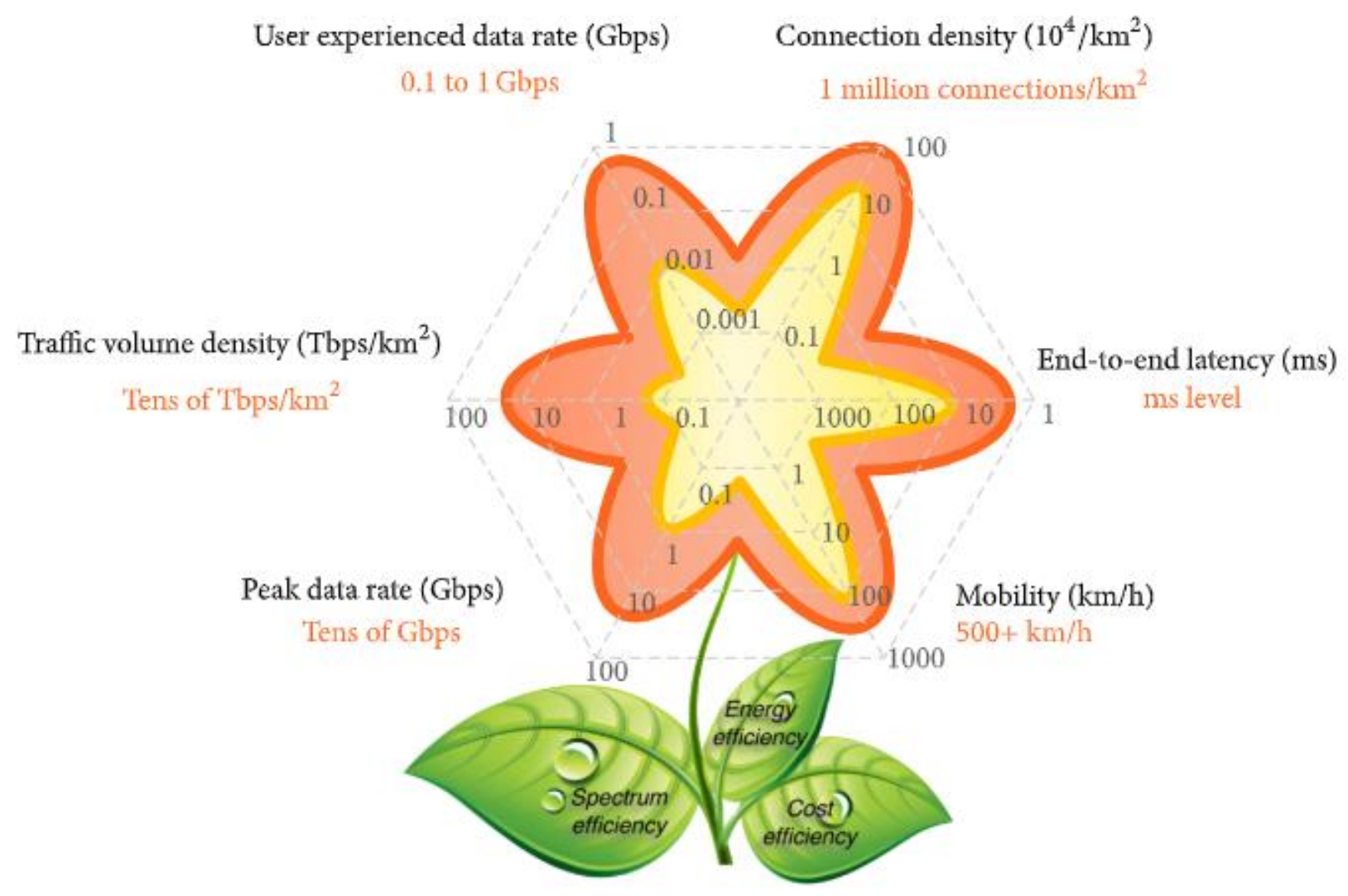
- **التنقلية Mobility**: يتيح تنقلية عالية تصل إلى 500km/h بجودة خدمة مقبولة، ويتوخى ذلك بوجه خاص في القطارات السريعة.

- **كثافة الاتصال Connection density**: العدد الإجمالي للأجهزة المتصلة و/ أو التي يمكن الوصول إليها في وحدة مساحة حتى $(10^6/Km^2)$، على سبيل المثال في سيناريوهات الاتصالات الكثيفة من آلة إلى آلة.

- **كفاءة الطيف Spectrum efficiency**: متوسط إنتاجية البيانات لكل وحدة من موارد الطيف والخلية (bit/s/Hz).

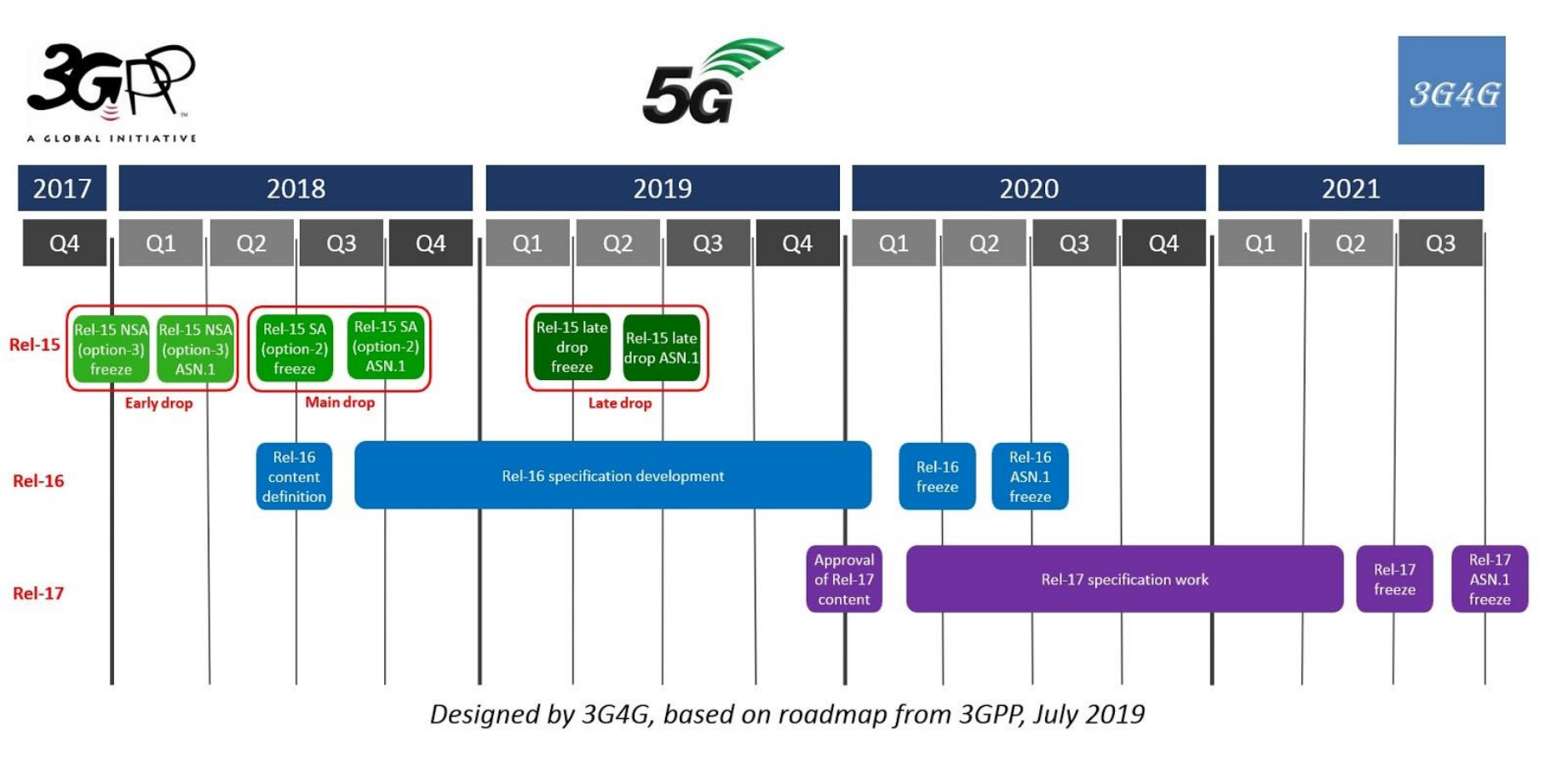
- **سعة الحركة في المنطقة Area traffic capacity**: إجمالي إنتاجية حركة البيانات المقدمة لكل منطقة جغرافية $(10\ \text{Mbit}/s/\ m^2)$.

ماهي تكنولوجيا الجيل الخامس؟



:5G Roadmap

المخطّط الزمني المعتمد لتنفيذ الجيل الخامس في الشكل أدناه حيث يبدأ من Release15 وصولاً إلى Release17



تطبيقات ومجالات استخدام الجيل الخامس:

تم تحديد ثلاث فئات هامة لها:

النطاق العريض المتنقل المحسن Enhanced Mobile Broadband (eMBB):

- ✓ نطاق عريض معزز enhanced mobile broadband داخل وخارج المباني.
- ✓ النقاط الساخنة.
- ✓ معدلات بيانات عالية.
- ✓ كثافة عالية للمستخدم.
- ✓ الاتصالات البشرية.

الاتصالات فائقة الموثوقية ومنخفضة التأخير Ultra-Reliable low-latency communication (URLLC):

- ✓ الاتصال من مركبة إلى مركبة.
- ✓ انترنت الأشياء الصناعي.
- ✓ الألعاب ثلاثية الأبعاد.
- ✓ المركبات المستقلة.
- ✓ شبكات الطاقة الذكية.
- ✓ مراقبة المرضى عن بُعد والرعاية الصحية.
- ✓ الأتمتة الصناعية.

تطبيقات ومجالات استخدام الجيل الخامس:

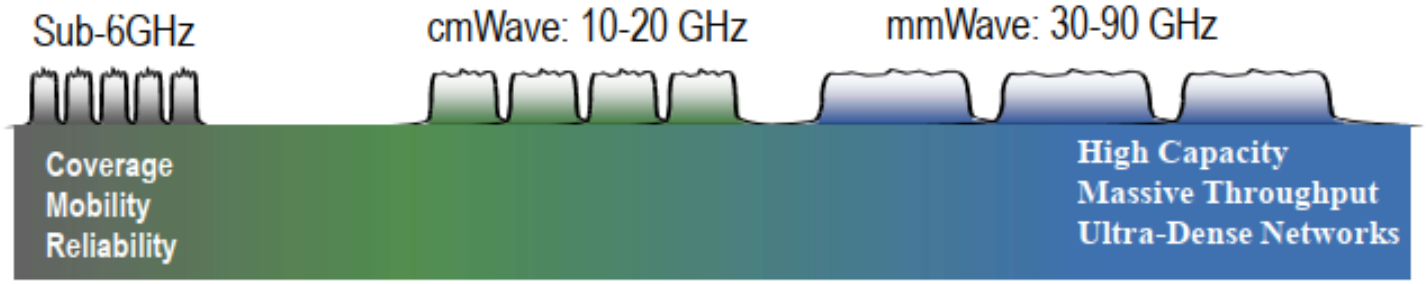
الاتصالات الكثيفة بين الآلات Massive Machine Type Communication (eMTC):

- انترنت الأشياء.
- الزراعة الذكية.
- المدن الذكية.
- مراقبة الطاقة.
- المنازل الذكية.
- المراقبة عن بُعد.

تطبيقات ومجالات استخدام الجيل الخامس:

الطيف في 5G:

الحزم bands:

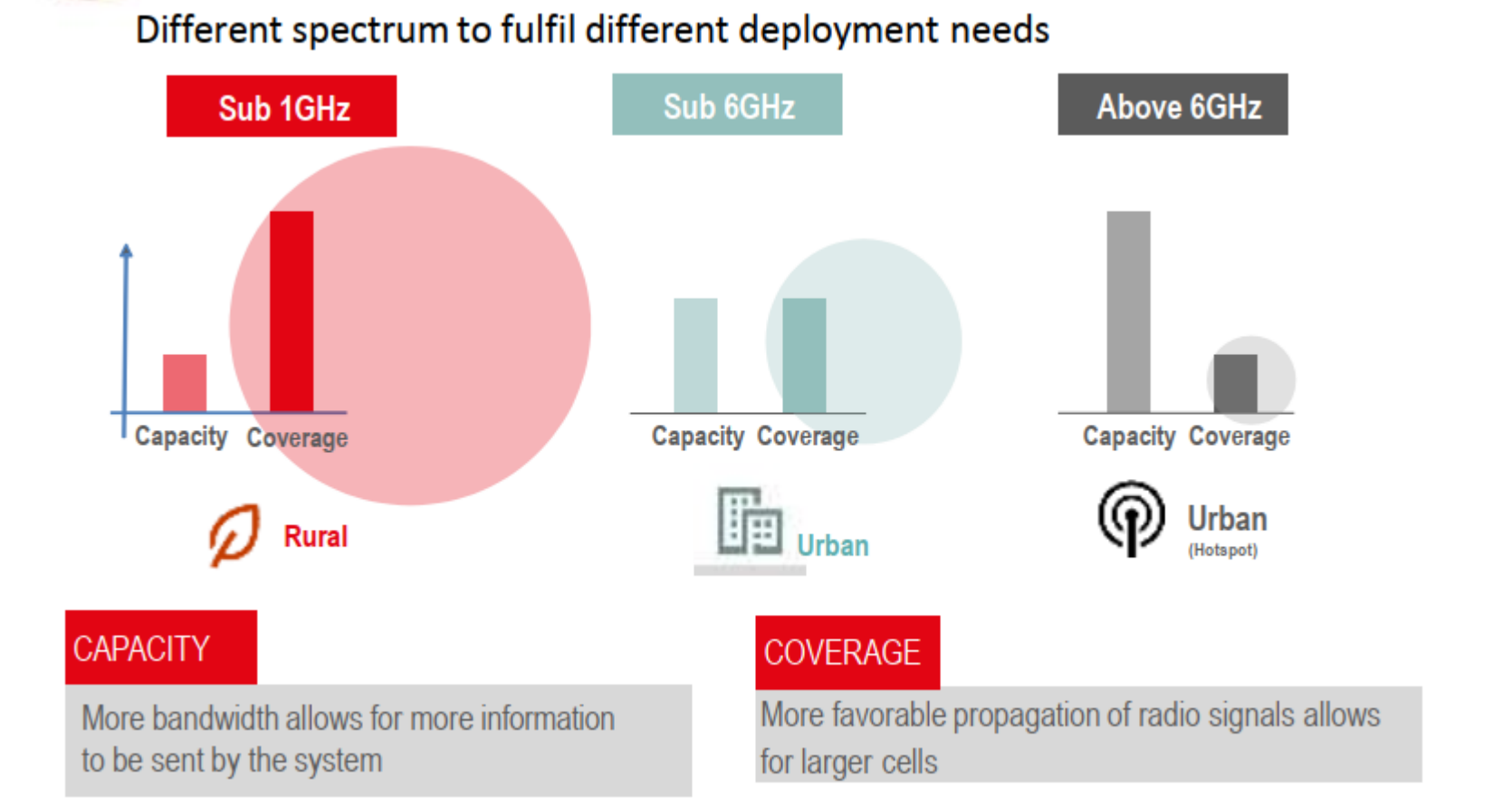


Carrier BW	n x 20 MHz	n x 100 MHz	1-2 GHz
Cell Size	Macro	Small	Ultra-small

Bands < 6GHz (Europe)	Sub 700MHz	TD-LTE	L-Band	C-Band
	470-694 MHz	2.7-2.9 GHz	1350-1400 MHz 1427-1517 MHz	3.4-3.8 GHz 3.8-4.2 GHz

Bands > 6GHz	24.25 to 27.5	31.8 to 33.4	37.0 to 43.5	45.4 to 50.2	50.4 to 52.6	66 to 76	81 to 86

الطيف في 5G:
مقارنة التغطية:



تقنية الحوامل الترددية المتعامدة الموسعة Scalable OFDM :

- Small subcarrier spacing ⇒ Large symbol time
  ⇒ Allows large cyclic prefix
  ⇒ Allows larger multipath delays
  } (required at lower frequencies)
- Larger frequencies ⇒ Shorter ranges
  ⇒ Shorter Cyclic Prefix OK ⇒ Shorter symbols
  ⇒ Larger subcarrier spacing ok
- Increased phase noise at higher frequencies
  ⇒ Larger subcarrier spacing required
- **Scalable OFDM**: Subcarrier spacing increases with the carrier frequency
  - 15 kHz or $2^n \times 15$kHz ⇒ 15, 30, 60, 120 kHz

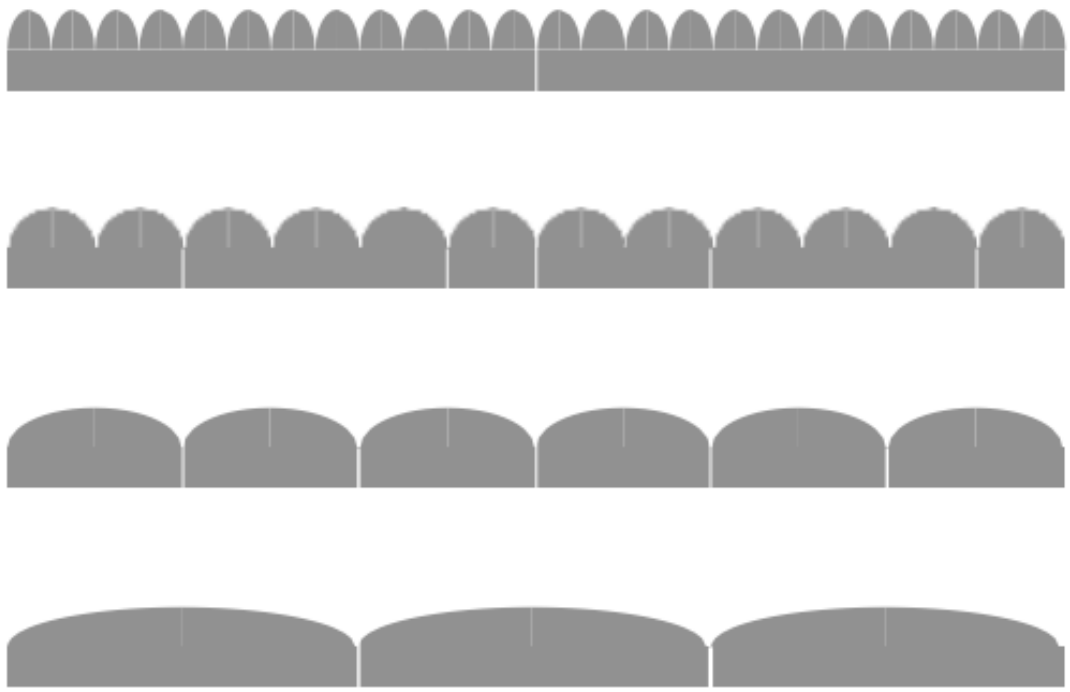
تقنية الحوامل الترددية المتعامدة الموسعة Scalable OFDM:

15 kHz Spacing
< 3GHz,
Macro cells

30 kHz Spacing
> 3 GHz
Small cells

60 kHz Spacing
5 GHz Unlic. Indoor

120 kHz Spacing
mmWave
Small Cells+Backhaul



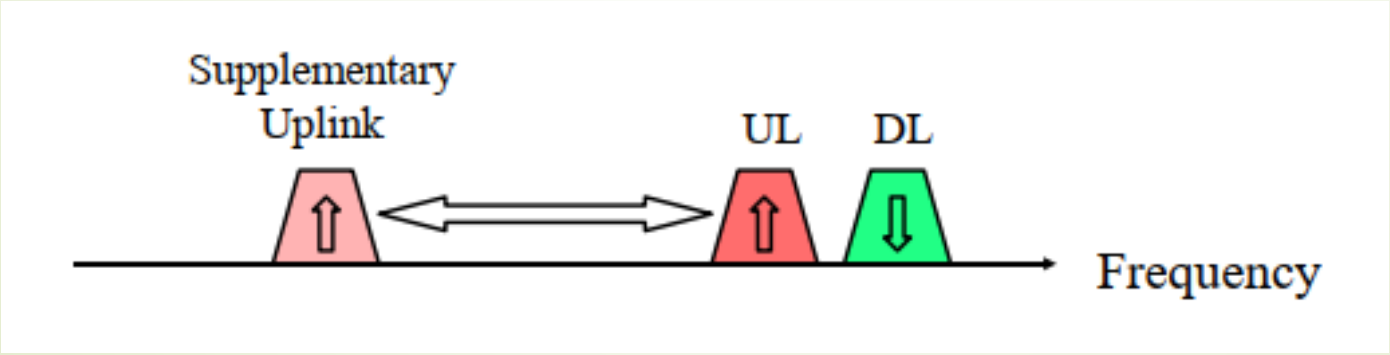
Ref: G. Pfeifer, "5G Technology Introduction, Market Status Overview and Worldwide Trials," 5G and IoT Seminar, Italy, May 2017.

الوصلة الصاعدة المكملة (Supplementary Uplink):

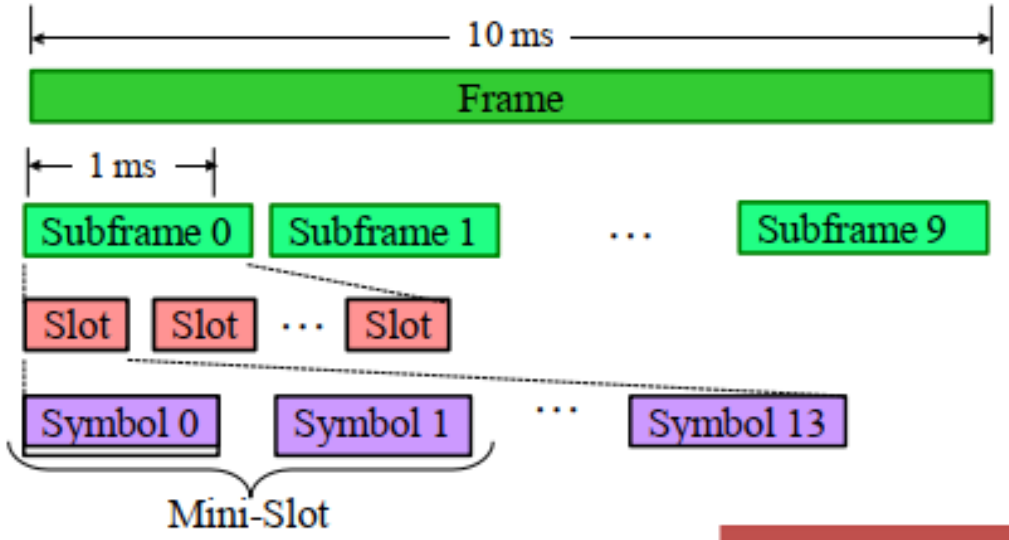
1- تعمل الوصلة الصاعدة المكملة (SUL) عادة في نطاق تردد أقل من النطاق الذي يعمل عليه UL/DL العادي.

2- يعزز (SUL) معدل الوصلة الصاعدة في السيناريوهات التي تكون عندها الاستطاعة (power) محدودة حيث يمكن للترددات المنخفضة مع خسارة المسير الأقل أن توسع تغطية الوصلة الصاعدة.

3- فقط الوصلة الصاعدة، لا يوجد وصلة هابطة إضافية.



شكل الموجة، الدلالات، بنية الإطار:



- 10 subframes/frame
- Slots/subframe depends on subcarrier spacing.
- symbols/slot depends on cyclic prefix: 12 or 14
- A mini-slot consists of 2, 3 or 7 symbols
  ⇒ 2, 4, or 7 symbols/mini-slot

Subcarrier Spacing kHz	Slot Duration µs	Slots per Subframe
15	1000	1
30	500	2
60	250	4
120	125	8
240	62.5	16

شكل الموجة، الدلالات، بنية الإطار:

– Scalable subcarrier spacing

$$\Delta f = 2^{\mu} \cdot 15 \ kHz$$

– Parameters defining a numerology:

- Subcarrier spacing (i.e. μ parameter)
- Cyclic prefix (i.e. Normal/Extended)

μ	Δf = 2μ·15 kHz	Cyclic Prefix
0	15 kHz	Normal
1	30 kHz	Normal
2	60 kHz	Normal, Extended
3	120 kHz	Normal
4	240 kHz	Normal
5	480 kHz	Normal

Data < 6 GHz

Data > 6 GHz

Specified but not supported in Rel 15

شكل الموجة، الدلالات، بنية الإطار:

– **Waveform** (for eMBB/URLLC and < 52.6 GHz)
  • DL Waveform: CP-OFDM
  • UL Waveform: CP-OFDM + DFT-s-OFDM (Dc-FDMA)
    - CP-OFDM targeted at high throughput scenarios
    - DFT-s-OFDM targeted at power limited scenarios
– **Multiple Access**
  • OFDMA
  • SCMA: Sparse Code Multiple Access
  • PDMA: Polar Division Multiple Access
  • Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) not supported in Rel-15

شكل الموجة، الدلالات، بنية الإطار:

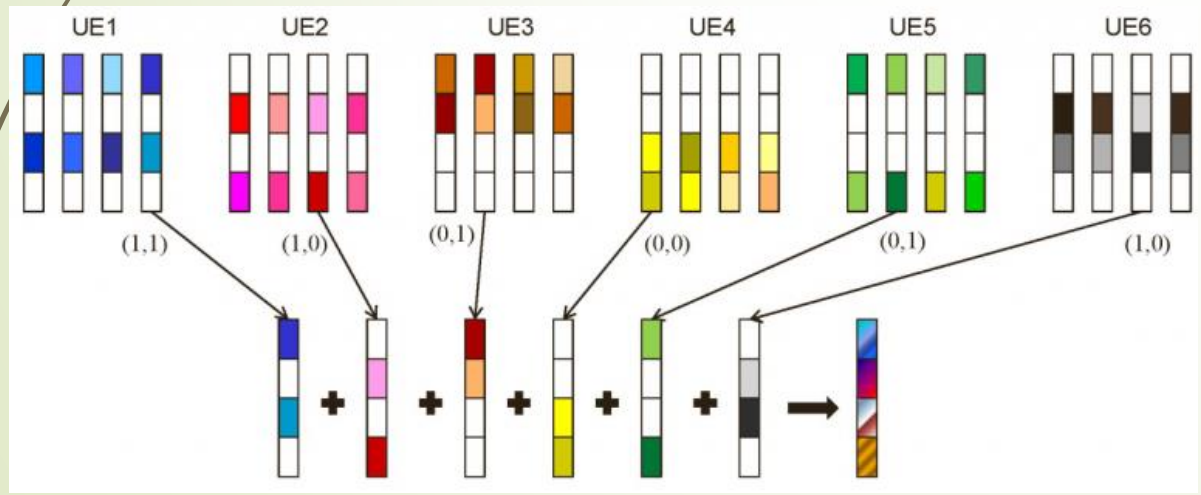
وصول متعدد: الوصول المتعدد بالرمز المتناثر (SCMA)

يمكن اعتبار SCMA كمخطط نفاذ متعدد بتقسيم الرمز code division multiple access scheme، موصوفة في دفاتر الرموز المتناثرة sparse codebooks.

يرسل العديد من المستخدمين على نفس مجموعات الموارد resource blocks باستخدام دفاتر codebooks مختلفة.

مع دفاتر الرموز المتناثرة sparse codebooks، يتم تقليل التصادم بين المستخدمين، وبالتالي فإن SCMA قادر على مقاومة التداخل بين المستخدمين.

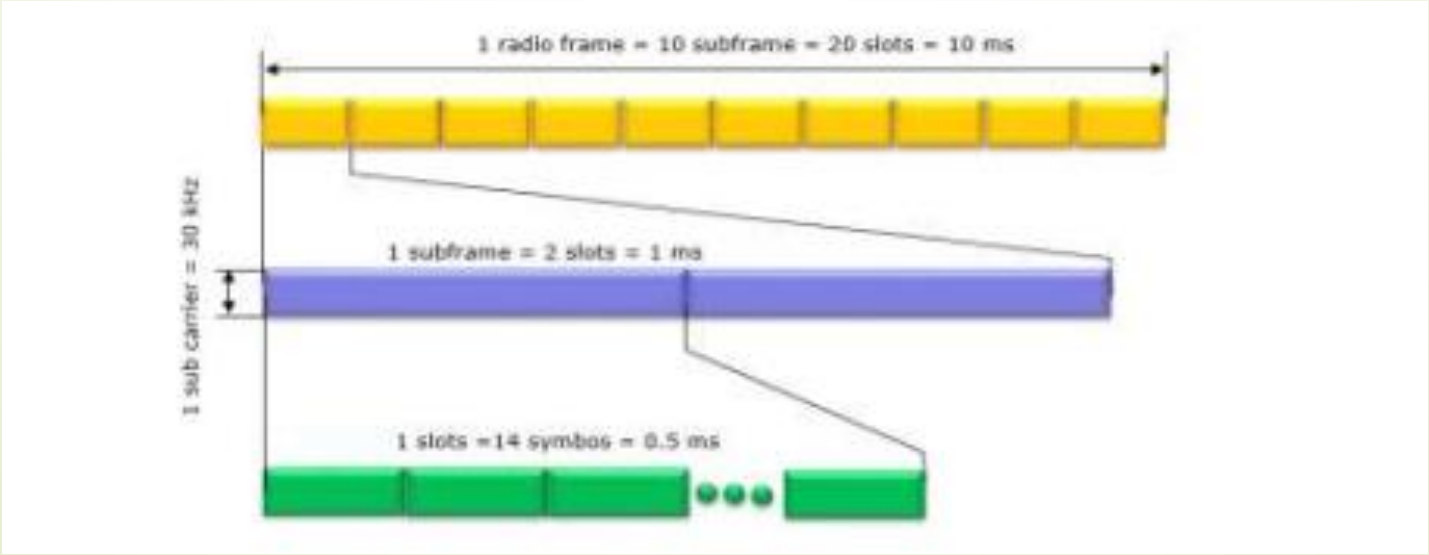
- يفيد التناثر أيضاً في مسألة تعقيد جهاز الاستقبال.



شكل الموجة، الدلالات، بنية الإطار:

مثال دلالي (cp طبيعي):

- ✓ يتم تنظيم إرسالات الوصلة الهابطة والوصلة الصاعدة في إطارات مدته 10 ms.
- ✓ يتكون كل إطار من عشرة أطر فرعية كل منها 1 ms ينقسم كل إطار إلى إطارين متساويي الحجم من خمسة إطارات فرعية لكل منهما.
- ✓ مدة الحيز الزمني slot هي 14 رمزًا مع CP عادي و 12 رمزًا مع CP ممتد.



شكل الموجة، الدلالات، بنية الإطار:

دلالات:

Subcarrier Spacing (μ)	# of OFDM Symbols per Slot	# of Slots per Subframe	# of Slots per Frame	# of Symbols per Frame
0 *15 kHz*	14 *1 ms*	1 *1 slot x 1 ms = 1 ms*	10 *10 ms*	140
1 *30 kHz*	14 *500 μs*	2 *2 slots x 500 μs = 1 ms*	20 *10 ms*	280
2 *60 kHz (normal CP)*	14 *250 μs*	4 *4 slots x 250 μs = 1 ms*	40 *10 ms*	560
2 *60 kHz (extended CP)*	12 *250 μs*	4 *4 slots x 250 μs = 1 ms*	40 *10 ms*	480
3 *120 kHz*	14 *125 μs*	8 *8 slots x 125 μs = 1 ms*	80 *10 ms*	1120
4 *240 kHz*	14 *62.5 μs*	16 *16 slots x 62.5 μs = 1 ms*	160 *10 ms*	2240
5 *480 kHz*	14 *31.25 μs*	32 *32 slots x 31.25 μs = 1 ms*	320 *10 ms*	4480

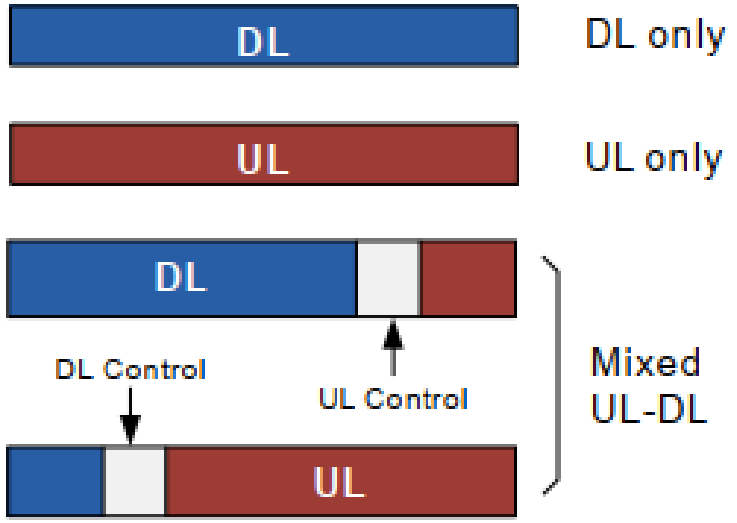
شكل الموجة، الدلالات، بنية الإطار:
الموارد Resource Grid:

- يتم تجميع عناصر الموارد Resource elements في كتل موارد فيزيائية تسمى (PRB) Blocks Physical Resource.
- يتكون كل PRB من 12 حامل فرعي.

شكل الموجة، الدلالات، بنية الإطار:

بنية الحيز الزمني Slot Structure:

- A slot can be:
  - All downlink
  - All uplink
  - Mixed downlink and uplink
    - Static, semi-static or dynamic
- Slot aggregation is supported
  - Data transmission can be scheduled to span one or multiple slots



الحيزات الزمنية الصغيرة Mini Slots:

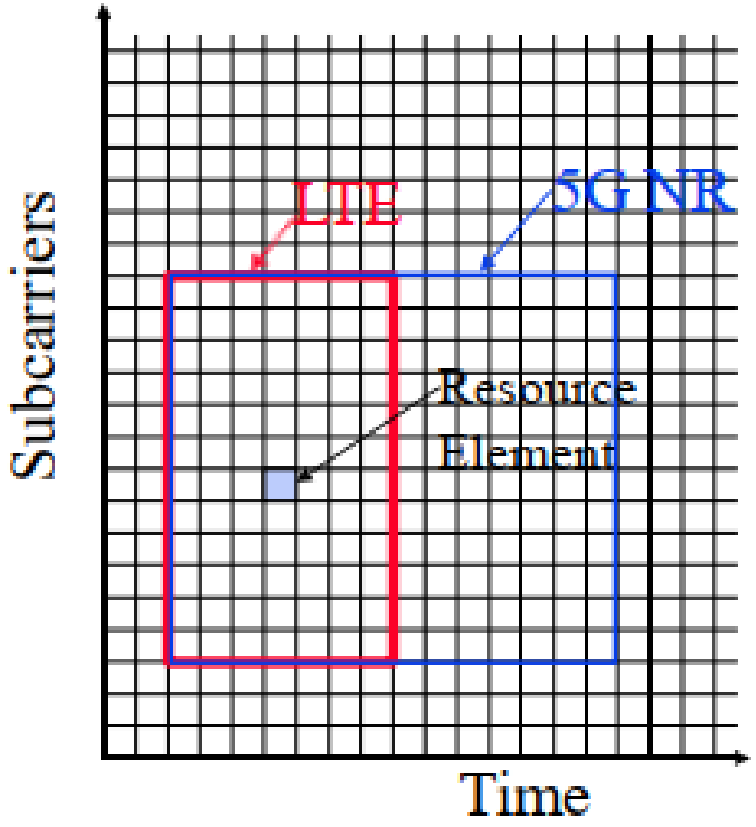
- ✓ عند الترددات العالية، تسمح الحزم العريضة بحجم كبير من البيانات محملة في عدد قليل من الرموز.
- ✓ يسمح NR بالإرسال عبر جزء من الحيز الزمني –> حيزات زمنية صغيرة.
- ✓ 14 رمز OFDM لكل حيز زمني (Slot) ومنه 2 أو4 أو 7 رموز في حيز زمني صغير symbols-mini-slots.
- ✓ تستخدم حركة URLLC حيزات زمنية صغيرة ويمكن أن تستبق حركة eMBB.
- ✓ تجميع حيزات زمنية لزيادة معدل نقل البيانات في eMBB.

مجموعات الموارد Resources Blocks:

- In LTE: **P**hysical **R**esource **B**lock = 12 subcarriers x 6 or 7 symbols
- In 5G NR:
  - **R**esource **E**lement = 1 subcarrier × 1 symb
  - PRB = 12 subcarriers × 1 slot

Assuming 15 kHz Subcarriers:

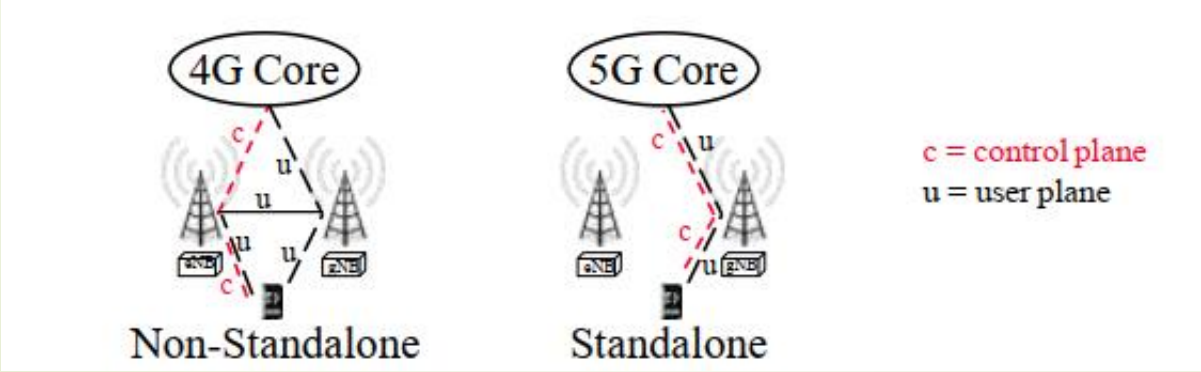
- **Time slot:** 1 ms = 14 OFDM symbols
- **Physical Resource Block:** 12 subcarriers (180 kHz) over 1 slot



نشر الشبكة غير المستقل مقابل المستقل Non-Standalone vs. Standalone Deployments:

يتضمن الحل الصادر في هذا المعيار توصيف الشبكة الجديدة في نوعين أساسيين:

- Non-Standalone (NSA) 5GNR: أي شبكة الجيل الخامس غير المستقلّة والتي ستستخدم القسم اللاسلكي Radio والقسم المركزي Core من نظام LTE كركيزة أساسية لتحقيق التغطية وإدارة التنقّل Mobility management مع إضافة بعض التقنيات الجديدة واستخدام قنوات تردّدية خاصة للجيل الخامس تتضمن عدّة نطاقات.
- Standalone (SA) 5G NR: وهي الشبكة المستقلة، حيث يتمّ تنفيذ مستويي التحكّم والمستخدم Control and user planes اعتماداً على شبكة مركزية مستقلة.



عناصر الإصدار 16 (Release 16 Work Items):

- NR V2X.
- الشبكات غير الأرضية Non-Terrestrial Networks.
- فوق 52.6 جيجا هرتز Above 52.6 GHz.
- الوصول المتكامل والعودة Integrated Access and Backhaul (IAB).
- تقنيات إنترنت الأشياء IoT Techniques.
- شبكات 5G خاصة لانترنت الأشياء الصناعية Private 5G Networks for Industrial IoT.

NR V2X

Vehicle Platooning:

➢ Dynamically form platoon travelling together.

➢ All vehicles get information from the leading vehicle.

❖ **Extended Sensors:**

➢ Sharing data/video from sensors with other vehicles, road-side units, pedestrians, and application servers.

➢ Allows vehicles to get a more global view of the environment and Intention sharing.

➢ Evolve for autonomous driving.

➢ Need high data rate.

❖ **Remote Driving:**

➢ Driving in dangerous areas or driving for those unable to drive.

➢ Public transports train/metro driving.

➢ Need high reliability and low latency.

➢ High-throughput sensor sharing.

الشبكات غير الأرضية Non-Terrestrial Networks:

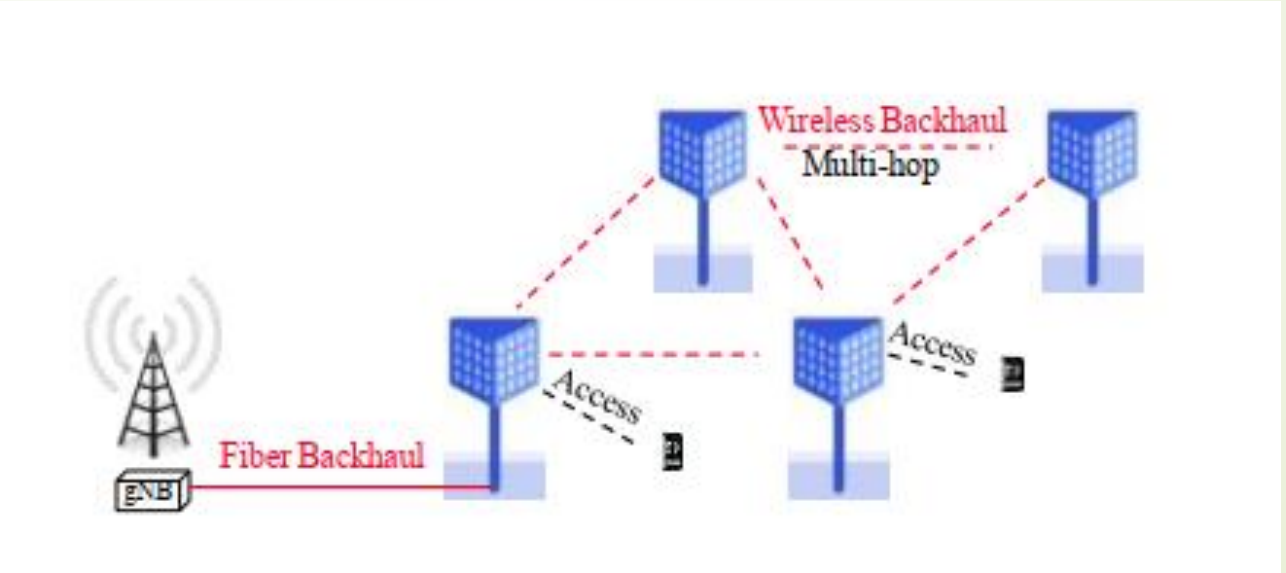
- ❖ يسمح استخدام الأقمار الصناعية مع 5G باستمرار التغطية.
- ❖ الطائرات بدون طيار كأبراج خلوية.
- ❖ الإنتاجية غير عالية، لاستمرارية التغطية.
- ❖ دراسة تأثير تأخيرات الانتشار.
  - ✓ المدار الأرضي المنخفض (LEO، GEO).
- ❖التسليم (handover) والترحيل(paging).

Above 52.6 GHz

- ❖ R15 designed to use up to 52.6 GHz
- ❖ Higher Frequencies:
  - ➢ Higher phase noise
  - ➢ Extreme propagation loss
  - ➢ Lower power amplifier efficiency
  - ➢ Good for V2X, IAB, and non-terrestrial operation

الوصول المتكامل والعودة Integrated Access and Backhaul:

الوصلة عبر الموجات المليمترية أكثر فعالية لناحية التكلفة من وصلة الألياف الضوئية لمسافات قصيرة مطلوبة للخلايا الصغيرة.



تقنيات انترنت الأشياء IoT Techniques:

الوصول المتعدد غير المتعامد Non-orthogonal Multiple Access (NOMA):

✓يسمح بزيادة كثافة الأجهزة وكفاءة الشبكة.

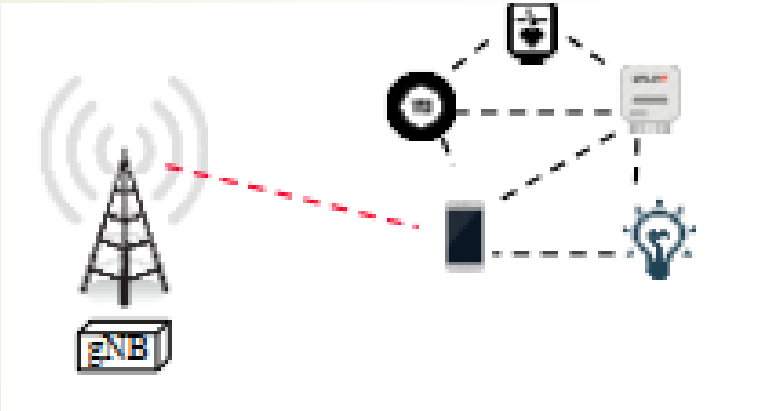
شبكة متداخلة Mesh Networking:

✓ شبكة على طيف غير مرخص.

✓مع تحميل(Upload) على الطيف المرخص.

✓ توسيع D2D.

✓ مناسب للأجهزة منخفضة الطاقة.



شبكات 5G الخاصة لانترنت الأشياء الصناعية:

- ❖ شبكة مخصصة للمؤسسة.
  - ✓ أتمتة المصانع، صناعة النقل، توزيع الطاقة الكهربائية، الواقع المعزز.

- ❖ تتم إدارتها محلياً => البيانات الحساسة غير مكشوفة.
- ❖ قابل للتشغيل البيني داخل/خارج الموقع.
- ❖ طيف مرخص وغير مرخص ومشترك.
- ❖ شبكات فائقة الموثوقية ذات تأخير قليل/حساسة للوقت time sensitive networking.

القضايا الأمنية المرافقة لشبكات الجيل الخامس:

على الرغم من أن شبكات الجيل الخامس ستوفر سرعة عالية لنقل البيانات والقدرة على ربط عدد هائل من الأجهزة ودعمها لمجموعة كبيرة من الخدمات الشخصية إلا أن هناك مجموعة واسعة من المسائل الأمنية والتي ستقود إلى تحديات أمنية كبيرة في مستقبل شبكات الاتصال نتيجة عدة عوامل:

- المعمارية والبنية المعتمدة على بروتوكولات الانترنت والتي هي دائما عرضة لأي تهديد.
- تنوع طرق الوصول لشبكة الانترنت.
- عدم تجانس الأجهزة المتصلة من حيث القدرة الحسابية وكفاءة المعالجة والتخزين.
- أنظمة التشغيل المفتوحة على الأجهزة، أي يمكن تنزيل البرامج مهما كان مصدرها وتثبيتها على الأجهزة، وهذا ما قد يخلق الكثير من المشاكل الأمنية.
- الأجهزة المتصلة عادة ما يتم تشغيلها من قبل أشخاص غير محترفين في القضايا الأمنية.

ونتيجة لذلك سيتعين على نظام الجيل الخامس في الاتصالات أن يعالج تهديدات أكثر وأخطر من أنظمة الاتصالات السابقة حيث ستكون أجزاء الشبكة عرضة أكثر لتهديدات متنوعة.

المراجع:

- [1] Lectures for 5th year,CEE, Cellular 2, Dr.Yamen Issa.
- [2] https://www.3gpp.org
- [3] https://www.hindawi.com
- [5] https://web.archive.org

للتواصل عبر الإيميل التالي: bashar.arous@gmail.com

شكراً لإصغائكم ☺