

## تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في الجيل الرابع المتقدم

د.م. فادي غصنة\*

م. ألين داود\*\*

تاريخ الإيداع 9 / 2 / 2021 . قَبْلَ للنشر في 19 / 10 / 2021 (

### □ ملخّص □

تم في هذا البحث دراسة تأثير تجميع الحامل (Carrier Aggregation) على الطاقة الكلية المرسلّة من المحطة القاعدية (eNodeB) الخاصة بأنظمة الجيل الرابع المتقدم المعتمدة على الوصول المتعدد بتقسيم التردد المتعامد (OFDMA) للوصلة الهابطة مع أخذ قيود جودة الخدمة للمستخدمين (QoS) في عين الاعتبار. جرى التحليل عن طريق دراسة سيناريوهات مختلفة وفي كل سيناريو يتم تجميع حوامل ودمجها مع تقنية تخصيص الموارد (Resource Allocation) والتحكم بعدد بلوكات الموارد (Resource Block) وقياس كمية الطاقة الكلية المرسلّة من المحطة القاعدية عند مسافات مختلفة، و أظهرت النتائج العددية تأثير نصف قطر الخلية وعرض حزمة القناة على كفاءة الطاقة للنظام بشكل عام، حيث أن السيناريو الثالث الذي يتضمن استخدام أربعة حوامل الأول بترددات على التوالي 25 : للحامل الأول و 50 للحامل الثاني و 75 للحامل الثالث، 100 للحامل الرابع هو أقل استهلاكاً للطاقة مقارنةً بالسيناريوهات الثلاث الباقية.

**الكلمات المفتاحية:** تجميع الحامل، الجيل الرابع المتقدم، كفاءة الطاقة.

\*أستاذ مساعد في قسم هندسة تكنولوجيا الاتصالات، كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات، جامعة طرطوس، سوريا.

\*\*طالبة دراسات عليا (ماجستير) في اختصاص هندسة تكنولوجيا الاتصالات، كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات، جامعة طرطوس، سوريا.

## Enhancing Efficiency of Power Consumption in LTE-A

Fadi Ghosna\*  
Aleen Daoud\*\*

(Received 9 / 2 / 2021 . Accepted 19 / 10 / 2021)

### □ ABSTRACT □

This work examines the effect of Carrier Aggregation on the total power transmitted from the base station (eNodeB) for advanced 4G systems based on Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) downlink taking into account the QOS limitations for users (QOS).

The analysis was done by studying different scenarios and in each scenario carriers are aggregated and combined with the resource allocation technology, controlling the number of resource blocks and measuring the total amount of energy sent from the base station at different distances, and the numerical results showed the effect of cell radius and width Channel package on the overall energy efficiency of the system, Whereas, the third scenario involves the use of four bands, the first with frequencies, respectively, at 21.52 MHz, 14.32 MHz, 2.32 MHz, and 14.77 MHz, consisting of blocks of resources respectively: 25 for the first carrier, 50 for the second carrier, and 75 for the third carrier , 100 for the fourth carrier is the lowest energy consumption compared to the other three scenarios.

**Keywords:** Carrier Aggregation, LTE-Advanced, Energy Efficiency.

---

\* Assistant Professor in Department of Communications Technology Engineering, Faculty of Information & Communication Technology Engineering, Tartous University, Syria.

\*\* Postgraduate student (Master) in Department of Communications Technology Engineering, Faculty of Information & Communication Technology Engineering, Tartous University, Syria.

## مقدمة:

بسبب الزيادة في عدد مستخدمي الهواتف المحمولة في موقع خلوي معتبر، كان لابد من تحقيق تغطية جيدة حتى في حواف الخلية. وهذا يؤدي إلى زيادة الاتصال والتشغيل للمحطة المتنقلة، الأمر الذي يتطلب طاقة أعلى لأداء هذه المهمة بكفاءة، لذلك يعد استهلاك الطاقة أكبر تحد في الشبكات الخليوية [1,2]. يتضمن هذا البحث اشتقاق تعبير عام عن العلاقة بين إجمالي الطاقة المرسلّة عن طريق (eNodeB) وعرض الحزمة (BandWidth) المخصص للمستخدم، حيث يتم التوزيع في كل خلية بشكل متجانس حسب عملية بواسون المتجانسة (Homogeneous Poisson Point Process) [3,4,5].

## هدف البحث:

يهدف هذا البحث إلى تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في الجيل الرابع المتقدم عن طريق تجميع الحوامل (زيادة عرض الحزمة) ودمجها مع تقنية تخصيص الموارد والتحكم بعدد بلوكات الوارد مع الحفاظ على جودة الخدمة المطلوبة للمستخدمين، وإظهار نتائج التحسين من خلال المقارنة بين أربع سيناريوهات كل منها يدعم عدد مختلف من الحوامل ومختلفة من حيث عدد بلوكات الموارد المخصصة لكل مكون حامل (Component Carrier) (CC).

## طرائق البحث ومواده:

### أولاً- الدراسات المرجعية:

#### ♦ استخدام مفهوم تصغير الخلية (Cell Zooming):

يتغير حجم الخلية في الشبكات الخليوية بشكل عام بناءً على حمل المرور المقدر، ويمكن أن يكون لحمل المرور تقلبات مكانية وزمنية كبيرة، والتي تجلب التحديات والفرص لتخطيط وتشغيل الشبكات الخليوية، لذلك يتم تعديل حجم الخلية بشكل تكيفي وفقاً لحمل حركة المرور ومتطلبات المستخدم وظروف القناة. ثم يتم إرسال مشكلات تطبيق تكبير الخلية مسبقاً. أخيراً، يتم التحقيق في حالة استخدام تكبير الخلية لتوفير الطاقة، حيث تم تطوير خوارزميات تكبير الخلية المركزية وغير المستقرة، وتظهر نتائج المحاكاة أن الخوارزميات المقترحة يمكن أن تقلل بشكل كبير من استهلاك الطاقة، مما يؤدي إلى شبكة خلوية خضراء [17, 13].

#### ♦ تخصيص الموارد (Resource Block):

إيجاد حل لمشكلة تخصيص الموارد عن طريق كفاءة استخدام الطاقة لزيادة معدل الإرسال المتوقع لنظام Orthogonal Frequency Division Multiplexing-Cognitive Radio (OFDM-CR) من خلال مراعاة "موثوقية" نطاقات التردد (التي تعتمد على أخطاء الاستشعار ونشاط المستخدم الأساسي) [6,8,9,21]. بالإضافة إلى الموثوقية، قام أيضاً بتضمين قيود قدرة النطاق الفرعي والتداخل الكلي المسموح به يقتصر على نطاقات PU المجاورة في صياغة مشكلتنا. قدمنا نموذج المخاطر والعودة تعتبر دالة متوسط معدل الخسارة الخطية في هدف التحسين، من أجل تكامل موثوقية القناة.

#### ♦ تقنية تجميع الحامل المدرك للسياق (context aware carrier aggregation):

تم اقتراح إجراء تحسين تجميع الحامل (Carrier Aggregation) CA الخاص بنموذج استهلاك الطاقة الحالي المدرك للسياق والذي يدمج كثافة تطوير البيئة وتنقل الجهاز المحمول، وبالتالي زيادة معدل البيانات عن طريق

تجميع الطيف المتاح للمشغل [7,19]، ولكن هذا الأمر يتطلب سلاسل استقبال متعددة عند المستخدم وطاقة إرسال أكبر للمحطة القاعدية ولكن بالمقابل إرسال البيانات أسرع عن طريق عرض الحزمة المجمع يؤدي إلى توفير الطاقة بشكل أكبر.

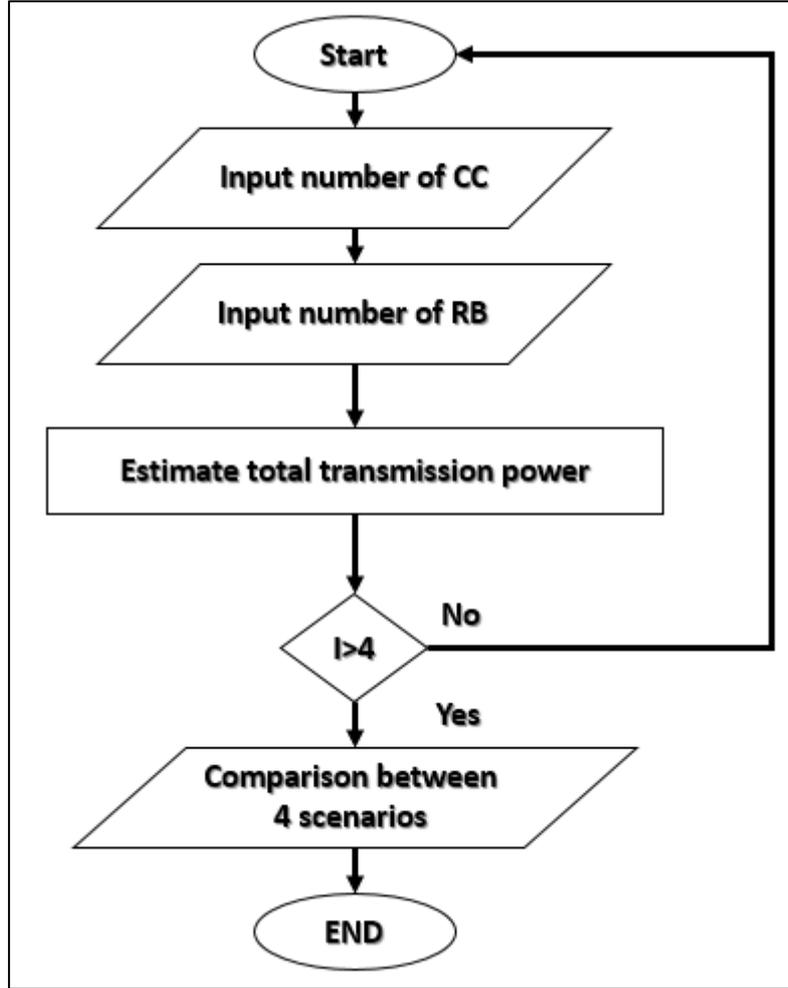
### ثانياً: اقتراح طريقة لتكييف إرسال مستويات الطاقة للمحطة الأساسية (BS's):

قياس مستوى الطاقة المرسل ومنطقة التغطية حسب ظروف القناة وحمل الحركة، عادة ما تكون تغطية الخلية مصممة مسبقاً بناءً على الحمولة الساكنة المقدرة (الذروة كمثال). ومع ذلك، حركة المرور في الشبكات الخلوية لها تقلبات كبيرة في المكان والزمان الذي يمكن استغلاله من خلال التكيف مع نطاق الخلايا لتوفير الطاقة. في هذا البحث، يتم تصميم سياسات التحكم في طاقة المحطة الأرضية قصيرة وطويلة المدى (Short term Power Control) (Long Term Power Control) (LTPC و STPC على التوالي) للوصلة الهابطة القائمة على OFDMA لنظام أحادي الخلية، حيث عرض النطاق الترددي ديناميكي ومقسم بالتساوي بين عدد مستخدمي المحمول (Multi User) STPC (MUs) هي وظيفة لتحديد مكاسب القناة الخاصة ب MU والتي تحافظ على الجودة المطلوبة للمستخدم (QoS)، في حين أن LTPC (بما في ذلك التحكم في التشغيل والإيقاف) هي وظيفة كثافة حركة المرور التي تقلل من استهلاك الطاقة على المدى الطويل في المحطة الأساسية تحت قيود الحد الأدنى من الإنتاجية [10,11,18].

تم تطوير قانوناً لقياس القدرة يربط متوسط قدرة الإرسال (على المدى القصير) في BS مع نطاق الخلية المحدد وكثافة MU. بناءً على هذه النتيجة، نشق الأفضل (طويل الأجل) ينقل سياسة التكيف من خلال النظر في صيغة مشتركة للتكيف مع المدى ومشكلة (LTPC) Long Term Power Control. من خلال تحديد الحقيقة أن توفير الطاقة في BS يأتي بشكل أساسي من تقنيتين توفير طاقة Energy Saving Mechanisms (ESMs)، أي تكييف النطاق و التحكم في الطاقة (إيقاف وتشغيل المحطة القاعدية)، تم اقتراح مخططات دون المستوى الأمثل ومنخفضة التعقيد مع مجموعات مختلفة من ESMs لمعرفة التأثيرات على استهلاك طاقة النظام. يتضح أنه عندما يكون ملف معدل نقل الشبكة منخفض، والتحكم في الطاقة BS on-off هو أكثر تقنية فعالة، بينما عندما يكون معدل نقل الشبكة أعلى، يصبح التكيف مع النطاق أكثر فعالية.

### ثالثاً- نموذج المحاكاة:

تم إجراء هذه المحاكاة باستخدام برنامج MATLAB Simulink 2019a باستخدام تقنية تجميع الحامل CA ودمجها مع تقنية تخصيص الموارد RA وإجراء عدة سيناريوهات تختلف بعدد الحوامل [14,15,16] وعدد بلوكات الموارد المخصصة لكل حامل مكون CC والمقارنة بينها من حيث الطاقة الكلية المرسل من المحطة القاعدية eNTP، وبين الشكل (2) المخطط التدفقي لخوارزمية العمل المقترحة المعدلة.



الشكل (1) المخطط التدفقي لخوارزمية العمل المقترحة المعدلة.

يتم تعريف جودة الخدمة للمستخدم من حيث السعة الخاصة لكل منهم على النحو التالي:

$$c_i = BW \log_2 \left( 1 + \frac{P_{Ri}}{\partial BW N_0} \right) \quad (1)$$

حيث أن:

$$BW = \frac{\omega}{\zeta} \text{ عرض الحزمة}$$

$C_i$ : السعة (جودة الخدمة) الخاصة بكل مستخدم.

$P_{Ri}$ : طاقة الاستقبال الخاصة بكل مستخدم.

$BW$ : عرض النطاق الترددي الخاص بكل مستخدم.

$\partial$ : معامل الترميز والتعديل.

$$c_i = \frac{\omega}{\zeta} \log_2 \left( 1 + \frac{P_{Ri}}{\partial \frac{\omega}{\zeta} N_0} \right) \quad (2)$$

من (1) يتم التعبير عن استطاعة الاستقبال العامة بالشكل الآتي:

$$P_{Ri} = P_T K \left( \frac{d_i}{d_0} \right)^{-a} \quad (3)$$

$P_T$ : الاستطاعة المرسله من المحطة القاعدية إلى المستخدم.

$K$ : خسارة المسار عند نقطة مرجعية.

$d_0$ : المسافة بين المحطة القاعدية والنقطة المرجعية.

$d_i$ : المسافة بين المحطة القاعدية والمستخدم.

$a$ : ثابت خسارة المسار.

- لاشتقاق تعبير عام عن الاستطاعة المرسله من المحطة القاعدية لتحقيق جودة الخدمة

لكل المستخدمين، احتمالية انقطاع الإرسال تكون بمعدل بيانات أقل من حد جودة الخدمة ( $\bar{C}$ ).

$$P_{out} = Prob \left\{ \sum_{i=1}^L c_i < (L \times \bar{C}) \right\} \quad (4)$$

حيث أن:

$L$ : عدد الحوامل الفرعية المخصصة لكل مستخدم.

$\bar{C}$ : معدل البيانات الخاص بجودة الخدمة.

- حسب الفرض عرض حزمة القناة مقسم بالتساوي على عدد المستخدمين الذين يستخدمون

القناة.

- بما أن جودة الخدمة تتعلق بمعدل البيانات الكلي الذي يتلقاه المستخدم ، فإن احتمالية

الانقطاع يمكن التعبير عنها كتقاطع احتمالية انقطاع الحوامل الفرعية المخصصة للمستخدم لتحقيق

جودة الخدمة، لذلك يمكن التعبير عن احتمالية الانقطاع كالتالي:

$$P_{out} = \prod_{i=1}^L Prob \{ c_i < \bar{C} \} \quad (5)$$

- باعتبار احتمالية الانقطاع متساوية لكل الحوامل الفرعية فيمكن التعبير عنها:

$$P_{out} = [Prob (c_i < \bar{C})]^L \quad (6)$$

بتبديل (2) في (6) نجد أن:

$$P_{out} = \left[ Prob \left( \frac{\omega}{\zeta} \log_2 \left( 1 + \frac{P_{Ri}}{\frac{\omega}{\zeta} N_0} \right) < \bar{C} \right) \right]^L \quad (7)$$

حيث أن:

- احتمالية الانقطاع يتم التعبير عنها كتابع توزيع تراكمي Cumulative (CDF)

Distribution Function للحصول على مجموع احتمالات أقل من حد العتبة.

- نعرف أن pRi هو تابع أسي مع متوسط pRi وبالتالي يمكن التعبير عن احتمالية الانقطاع كالاتي:

$$P_{out} = 1 - \left[ e^{-\left(\partial \frac{\omega}{\zeta} N_0\right) \left(2^{\frac{\bar{c} \times \zeta}{\omega}} - 1\right) (P_{Ri})^{-1}} \right]^L \quad (8)$$

$$\overline{P_{Ri}} = \frac{\left(\partial \frac{\omega}{\zeta} N_0\right) \left(2^{\frac{\bar{c} \times \zeta}{\omega}} - 1\right)}{-\ln[1 - P_{out}]^{\frac{1}{L}}} \quad (9)$$

- لمعرفة الاستطاعة المرسله من المحطة القاعدية إلى المستخدم نبذل (3) في (9) :

$$\overline{P_T} = \frac{\left(\partial \frac{\omega N_0}{\zeta k}\right)}{-\ln[1 - P_{out}]^{\frac{1}{L}}} \left(2^{\frac{\bar{c} \times \zeta}{\omega}} - 1\right) \left(\frac{d_i}{d_0}\right)^a \quad (10)$$

حيث أن:

- الاستطاعة الكلية المرسله من محطة قاعدية إلى عدد من المستخدمين حسب توزيع بواسون

لملاءمة جودة الخدمة سوف يأخذ قيمة عشوائية، لذلك تعبير متوسط PT يمكن استخدامه.

- توقع PT لمواقع مستخدمين عشوائيين  $\zeta = \eta$  . معرفة حسب قانون التوقع التكراري، فذلك يمكن

التعبير عن (eNTP) Transmission Power:

$$eNTP = E \left[ E \left\{ \overline{P_{T\zeta=\eta}} \right\} \right] \quad (11)$$

$$eNTP = E \left[ \sum_{i=1}^{\eta} \overline{P_T}(r_i, \eta) \right] \quad (12)$$

حيث أن:

- من أجل البساطة، نفترض شكل الخلية دائري مع نصف قطر R، وأن توزيع المستخدمين يخضع

لتابع التوزيع الاحتمالي Probability Density Function (PDF) يساوي إلى  $\frac{2di}{R^2}$  ،

$$E[\overline{P_T}(r_i, \eta)] = \int_0^R \overline{P_T} \frac{2di}{R^2} dr_i \quad (13)$$

- استطاعة الإرسال الكلية eNTP يتم التعبير عنها :

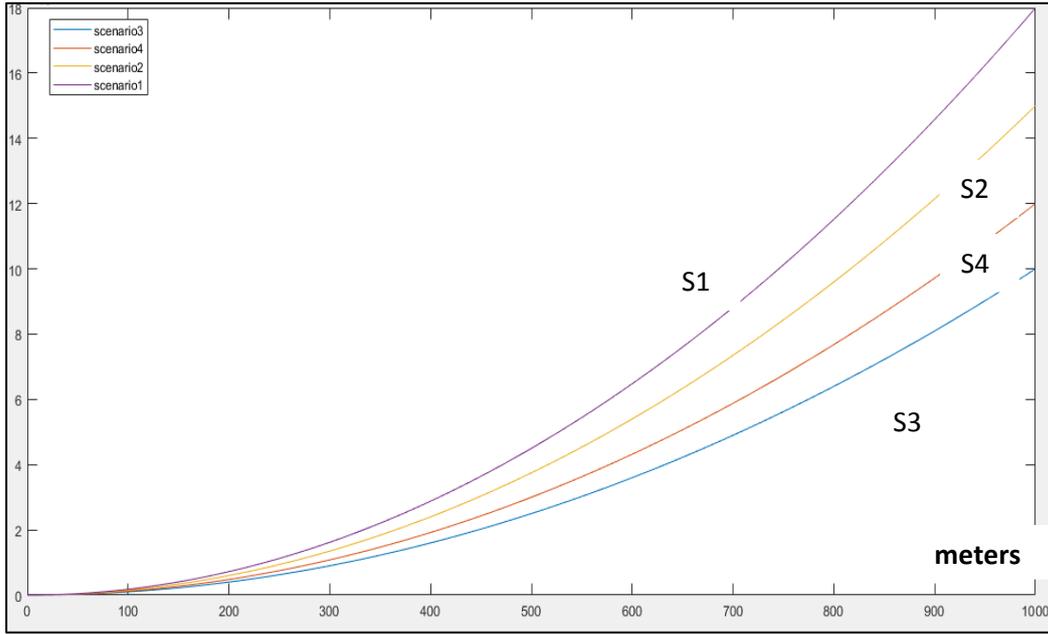
$$eNTP = \frac{2R^a \left(2^{\frac{\bar{c} \times \zeta}{\omega}} - 1\right) \left(\partial \omega N_0\right)}{(a+2) k d_0^a \left(-\ln[1 - P_{out}]^{\frac{1}{L}}\right)} \quad (14)$$

- من العلاقة الأخيرة يتبين أن لعرض الحزمة (w) لها تأثير مهم على الاستطاعة المرسلية الكلية من المحطة القاعدية ضمن قيود جودة الخدمة، علاوة على ذلك يبين تأثير نصف قطر الخلية على الطاقة الكلية المرسلية (eNTP).

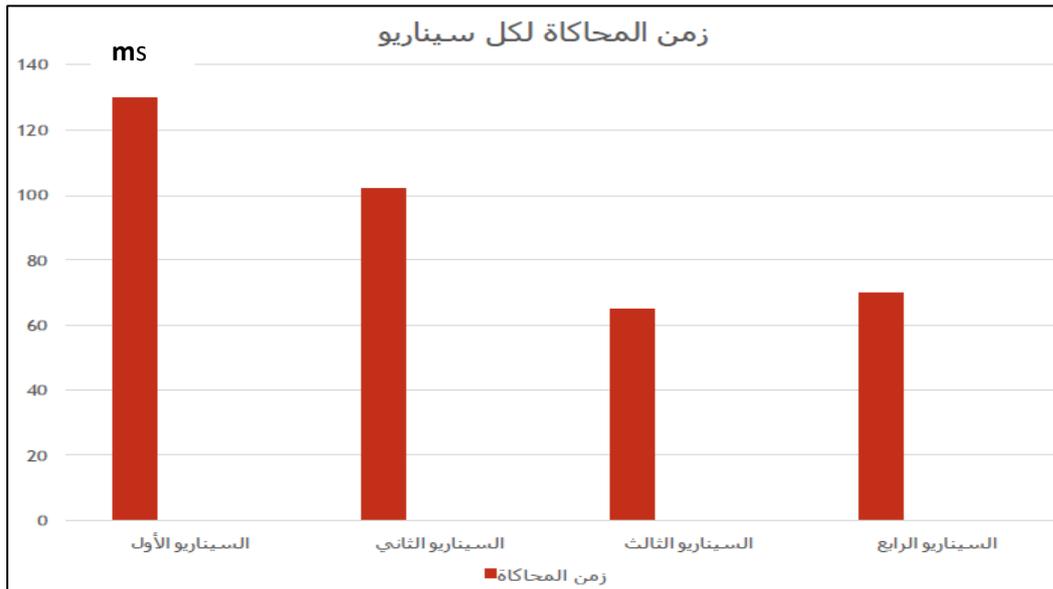
### النتائج والمناقشة:

تم إجراء المحاكاة للحصول على أكثر كفاءة استطاعة ممكنة باستخدام تقنية تجميع الحامل (Carrier Aggregation) في LTE-A الإصدار 12 عن طريق قياس الطاقة المرسلية من المحطة القاعدية عند مسافات مختلفة ضمن الخلية نفسها، تمت المقارنة بين سيناريوهات عديدة: السيناريو الأول يتضمن استخدام حاملين الأول بتردد 1,45 MHz ، والثاني بتردد 0.64 MHz مكونين بعدد بلوكات للموارد كالتالي : 6بلوكات للحامل الأول و 15 بلوك للحامل الثاني، أما السيناريو الثاني يتضمن استخدام ثلاثة حوامل الأول بتردد 7,12 MHz ، والثاني بتردد 3,22 MHz والثالث بتردد 3,97 MHz مكونة بعدد بلوكات للموارد على التوالي 15 : بلوكات للحامل الأول و 25 بلوك للحامل الثاني و 50 بلوك للحامل الثالث، السيناريو الثالث يتضمن استخدام أربعة حوامل الأول بترددات على التوالي 21,52 MHz ، 14,32 MHz ، 2,32 MHz ، 14,77 MHz مكونة بعدد بلوكات للموارد على التوالي 25 : للحامل الأول و 50 للحامل الثاني و 75 للحامل الثالث، 100 للحامل الرابع، أما السيناريو الرابع والأخير يتضمن استخدام أربعة حوامل الأول بترددات على التوالي 8,58 MHz ، 6,48 MHz ، 2,58 MHz ، 4,62 MHz مكونة بعدد بلوكات للموارد على التوالي: 6 للحامل الأول و 15 للحامل الثاني و 25 للحامل الثالث، 50 للحامل الرابع [12,20]، وقياس الطاقة المرسلية عند مسافات مختلفة كما هو مبين في الشكل الآتي (1)، وقياس زمن المحاكاة الخاص بكل سيناريو كما هو مبين في الشكل الآتي (2).

dBm



الشكل (2) يبين قياس الاستطاعة المرسلة عند مسافات مختلفة من الخلية.



الشكل (3) يبين زمن المحاكاة لكل سيناريو.

### الاستنتاجات والتوصيات المستقبلية:

قمنا في هذه الورقة، بتحليل لتأثير تجميع الحامل (CA) مع تخصيص الموارد (RA) والتحكم بعقد بلوكات الموارد (RB) لكل مكون حامل (CC)، وذلك عن طريق مقارنة أربع سيناريوهات مختلفة من حيث عدد الحوامل و بلوكات الموارد، والنتائج أظهرت أن:

1. السيناريو الأول هو السيناريو الأكثر استهلاكاً للطاقة بسبب احتوائه على أقل عدد من الحوامل المكونة.

2. نلاحظ أن السيناريو الثالث هو السيناريو الأقل استهلاكاً للطاقة لاحتوائه على بلوكات موارد أعلى من بقية السيناريوهات، على الرغم من أن السيناريو الرابع يحتوي على عدد حوامل مكوَّنة أكبر من السيناريوهات السابقة إلا أنه يحتوي على عدد بلوكات موارد أقل مخصصة لكل حامل من الحوامل المكوَّنة.
3. وبالتالي، استخدام تجميع عدد حوامل معين مع تخصيص بلوكات موارد كافية هي الطريقة الأفضل من استخدام عدد حوامل أكبر مع بلوكات موارد أقل لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة.
4. نلاحظ أن السيناريو الثالث هو السيناريو الأسرع في عملية المحاكاة فيما يبدو السيناريو الأول هو السيناريو الذي يحتاج إلى زمن معالجة أكبر من غيره، والسيناريو الرابع يحل في المرتبة الثانية من حيث السرعة وهذا منطقي جداً، ويشير إلى أن السيناريو الثالث هو الأكثر كفاءة في سرعة معالجة وإرسال البيانات وهذا ما يخفض من استهلاك الطاقة أكثر من غيره.
- وعلى طريق بحثنا نتج العديد من المشاكل و المسارات التي يمكن البحث فيها وكشفها والتي تتعلق بموضوع دراستنا، حيث أنه لم نأخذ بعين الاعتبار نوعية الضجيج وحجمه والذي تتعرض له الإشارات المرسلّة عندما أخذنا القياسات المتعلقة باستطاعة الإشارة على مسافات مختلفة، حيث أنه من الممكن أن تختلف نوعية الضجيج وحجمه عند كل مسافة، كما لم نركّز في بحثنا على إمكانية تداخل الإشارات المرسلّة على طريق انتشارها والتي من الممكن أن تسبب تخميذاً مضافاً يخفض بشكل كبير من الاستطاعة المستقبلية عند جمع الإشارات الواردة من مسارات مختلفة، وهذا ما يؤثر بشكل ملموس وربما يغير من النتائج التي حصلنا عليها فيما يخص كل من السيناريوهات المدروسة، كما نوعية الهوائي المستخدم تلعب دوراً ملموساً وهاماً في توجيه الإشارة وبالتالي زيادة الاستطاعة المفيدة وتوجيهها وهو مما لم يدخل في موضوع بحثنا أيضاً.

## المراجع:

- [1] AUER, G., GIANNINI, V., DESSET, C., GODOR, I., SKILLERMARK, P., OLSSON, M., IMRAN, M. A., SABELLA, D., GONZALEZ, M. J., BLUME, O. & FEHSKE, A. 2011. How much energy is needed to run a wireless network? *Wireless Communications, IEEE*, 18, 40-49.
- [2] HASAN, Z., BOOSTANIMEHR, H. & BHARGAVA, V. K. 2011. Green Cellular Networks: A Survey, Some Research Issues and Challenges. *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, 13, 524-540.
- [3] VADGAMA, S. & HUNUKUMBURE, M. Trends in Green Wireless Access Networks. *Communications Workshops (ICC), 2011 IEEE International Conference on*, 5-9 June 2011. 1-5.
- [4] ZHISHENG, N., YIQUN, W., JIE, G. & ZEXI, Y. 2010. Cell zooming for cost-efficient green cellular networks. *Communications Magazine, IEEE*, 48, 74-79. [5] GRACE, D., JINGXIN, C., TAO, J. & MITCHELL, P. D. Using cognitive radio to deliver 'Green' communications. *Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications, 2009. CROWNCOM '09. 4th International Conference on*, 22-24 June 2009. 1-6.
- [6] SHIXIN, L., RUI, Z. & TENG JOON, L. 2013. Optimal Power and Range Adaptation for Green Broadcasting. *Wireless Communications, IEEE Transactions on*, 12, 4592-4.
- [7] 3GPP TS36.101, LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (EUTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception, v10.1.1, January 2011.
- [8] A.Z Yonis, M.F.L. Abdullah, M.F. Ghanim, "Effective Carrier Aggregation on the LTE-Advanced Systems", *International Journal of Advanced Science and Technology*, University of Mosul, Mosul, Iraq, April 2012, vol. 41.
- [9] 3GPP TR36.913, LTE; Requirements for further advancements for Evolved Universal Terrestrial Radiop Access (E-UTRA) (LTEAdvanced), v9.0.0, February 2012.
- [10] Jeantier Wannstrom (2013, June), Carrier Aggregation explained [Online]. Available: <http://www.3gpp.org/technologies/keywords/acronyms/101-carrier-aggregation-explained>.
- [11] Andreas Roessler, Meik Kottkamp, Sandra Merkel, "Carrier aggregation (one) key enabler for LTE-Advanced", Rohde & Schwarz, Germany, PD 3606.7630.62, Oct. 2012, v01.01.
- [12] Mohammed Abduljawad M. Al-Shibly, Mohamed Hadi Habaebi, Jalel Chebil, "Carrier Aggregation in Long Term Evolution - Advanced", *IEEE Control and System Graduate Research Colloq.*, July 2012.
- [13] Liang Zeng, Qimei Cui, "A Novel Cross-Carrier Scheduling Method", *IEEE* 2013, published.
- [14] G. Auer, V. Giannini, C. Desset, I. Godor, P. Skillermark, M. Olsson, et al., "How much energy is needed to run a wireless network?," *Wireless Communications, IEEE*, vol. 18, pp. 40-49, 2011. HASAN, Z., BOOSTANIMEHR, H. & BHARGAVA, V. K. 2011. Green Cellular Networks: A Survey, Some Research Issues and Challenges. *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, 13, 524-540.
- [15] F. Daquan, J. Chenzi, L. Gubong, L. J. Cimini, Jr., F. Gang, and G. Y. Li, "A survey of energy-efficient wireless communications," *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, vol. 15, pp. 167-178, 2013.

- [16] N. Zhisheng, W. Yiqun, G. Jie, and Y. Zexi, "Cell zooming for costefficient green cellular networks," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 48, pp. 74-79, 2010.
- [17] D. Grace, C. Jingxin, J. Tao, and P. D. Mitchell, "Using cognitive radio to deliver 'Green' communications," in *Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications, 2009. CROWNCOM '09. 4<sup>th</sup> International Conference on*, 2009, pp.16.
- [18] L. Shixin, Z. Rui, and L. Teng Joon, "Optimal Power and Range Adaptation for Green Broadcasting," *Wireless Communications, IEEE Transactions on*, vol. 12, pp. 4592-4603, 2013.
- [19] SOHEIL ROSTAMI and KAMRAN ARSHAD. A Novel Spectrum-Aggregating Technique in Cognitive Radio Networks, *International conference on Advance Computing and Communication Systems*, Decemmbber 2013, Dehli, India.
- [20] Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society (METIS), Deliverable D1.1: Scenarios, requirements and KPIs for 5G mobile and wireless system, Document ICT- 317669-METIS/D1.1, Version 1, April 29, 2013.
- [21] 4G Americas, 4G Americas Recommendation on 5G Requirements and Solutions, October 2014.