

## تحسين جودة الخدمة عند التسليم عبر الواجهة الراديوية X2 في شبكات LTE اعتماداً على المنطق الضبابي

\*علي أحمد أحمد

\*\* ناجي ابراهيم محمد

\*\*\* محمد نديم محمد

(تاريخ الإيداع ٢٩ / ١ / ٢٠١٩ . قُبل للنشر ١٦ / ٥ / ٢٠١٩)

### الملخص

يعد الإعداد والتحسين التلقائي للشبكات مفهوماً أساسياً في أنظمة التطور طويل الأمد (LTE)، وبما أن الهدف الأساسي لمشروع 3GP LTE هو تقديم معدلات بيانات عالية، وزيادة إنتاجية النظام، وانخفاض زمن الاستجابة لخدمات الزمن الحقيقي فهو يسعى الى توفير تسليم سريع ومرن من خلية إلى أخرى؛ لتلبية متطلبات الخدمات المختلفة مع المحافظة على إدارة الشبكة. وبالتالي، فإن قرار بدء التسليم هو عنصر مهم في عملية تصميم التسليم، لأن نجاحه يعتمد إلى حد كبير على دقة القرار وتوقيته.

يتطلب تصميم عملية التسليم الناجحة والفعالة اختياراً دقيقاً للبارامترات التسليم والإعداد الأمثل لها. يدعم معيار LTE بارامترين أساسيين لتشغيل عملية التسليم وتحديد الخلية الهدف هما: هامش التسليم (HOM) ووقت بدء التسليم (TTT).

نقترح في هذا البحث إجراء تسليم ذاتي التنظيم، يعتمد على مفهوم التنظيم الذاتي (SON) لشبكة LTE بناءً على مؤشرات أداء التنقل وعلى ضبط قيم و إعدادات مختلفة لبارامترات HOM و TTT وفقاً للمنطق الضبابي، واعتماداً على الواجهة الراديوية X2، وتقييم أداء التسليم استناداً إلى قياس الاستطاعة المستلمة للإشارة المرجعية (RSRP) في سيناريوهات مختلفة تبعا لسرعات تجهيزة المستخدم UE المختلفة وأحمال النظام وأحجام الخلايا.

**الكلمات المفتاحية:** التطور طويل الأمد، التسليم، الاستطاعة المستلمة للإشارة، هامش التسليم، وقت بدء التسليم، المنطق الضبابي.

\*أستاذ، كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات، جامعة طرطوس، طرطوس، سورية.

\*\*مدرس، كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات، جامعة طرطوس، طرطوس، سورية.

\*\*\*طالب دراسات عليا (ماجستير)، قسم تكنولوجيا الاتصالات، كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات، جامعة طرطوس، طرطوس، سورية.

## Enhancing the Quality of Service at Handover by Using the X2 Radio Interface in LTE Networks Based on Fuzzy Logic

\* Ali Ahmad Ahmad

\*\* Naji Ibrahim Mohammad

\*\*\* Mohammad Nadeem Mohammad

(Received 29 /1 / 2019 . Accepted 16 / 5 / 2019 )

### ABSTRACT

Automatic configuration and optimization of networks is a key concept in Long Term Evolution (LTE) systems. Since the primary objective of the 3GPP LTE system is to offer higher data rates, higher system throughput, and lower latency for real time services, so it works to provide fast and seamless handover from one cell to another the requirements of different services while maintaining network management. Thus, the decision to trigger a handover is a crucial component in the design process of handover, since its success depends to a large extent on the accuracy and timeliness of the decision.

The design of an efficient and successful handover requires a careful selection of HO parameters and the optimal setting of these. The LTE standard supports two parameters to trigger the handover and select the target cell: handover margin (HOM) and Time-to-Trigger (TTT)

The aim of this study is to propose a self-organizing handover procedure based on the Self-Organizing Network (SON) concept for LTE network based on the performance indicators of mobility and on adjusting different values and settings of HOM and TTT parameters according to the fuzzy logic system and based on the X2 radio interface and evaluate the handover performance based on Reference Signal Received Power (RSRP) measurement in different scenarios depending on different UE speeds, system loads, and cell sizes.

**Keywords:** LTE, Handover, RSRP, Handover Margin, Time-To-Trigger, Fuzzy Logic.

---

\*Professor, Faculty of Information and Communication Technology Engineering, Tartous University, Tartous, Syria.

\*\*Associate Professor, Faculty of Information and Communication Technology Engineering, Tartous University, Tartous, Syria.

\*\*\*Postgraduate Student(Master), Department of Communication Technology, Faculty of Information and Communication Technology Engineering, Tartous University, Tartous, Syria.

## المقدمة

تُبذل في السنوات الأخيرة جهود كثيرة لتقديم خدمات ذات جودة عالية في الشبكات اللاسلكية؛ حتى تكون مرضية للشريحة الأكبر من الزبائن ومحقة لمتطلباتهم، وبسبب النمو الهائل في حركة الاتصالات المتنقلة تماشياً مع الانتشار السريع لأجهزة الهواتف الذكية، تتطور الشبكات الخلوية لتلبي المتطلبات المستقبلية لمعدل البيانات والتغطية والسعة. وقد حدد برنامج شراكة الجيل الثالث (3GPP) التطور طويل الأمد (LTE (Long Term Evolution ك تقنية وصول راديوي جديدة لتحقيق هذه الأهداف مما يتيح اتصالات البيانات عالية السرعة حتى 150 ميغابت في الثانية، ومن المتوقع أن يدعم مستقبلاً الطلب المتزايد باستمرار على خدمات الحزمة العريضة.

تُعدّ عملية إدارة التنقل أحد الجوانب المهمة لتكنولوجيا LTE؛ إذ يجب أن تدعم الحركة والتنقل لسرعات مختلفة تصل إلى 350 كم / ساعة وأكثر. ومع ارتفاع سرعة الحركة، ستكون عملية التسليم أكثر تواتراً وسرعة؛ لذلك، يصبح أداء التسليم أكثر أهمية خاصة بالنسبة إلى الخدمات في الزمن الحقيقي [1].

## أهمية البحث وأهدافه

يُعدّ التسليم واحداً من الإجراءات الرئيسية لضمان انتقال المستخدمين بحرية عبر الشبكة أثناء تواصلهم وتقديم خدمات عالية الجودة. ونظراً لأن معدل نجاحه هو مؤشر رئيس على رضا المستخدمين، فمن الأهمية أن يتم تنفيذ هذا الإجراء بالسرعة والمرونة قدر الإمكان وتقليل عدد عمليات التسليم غير الضرورية، وتقليل تأخير التسليم، وزيادة معدل نقل البيانات، لذلك يُعدّ تحسين إجراءات التسليم للحصول على الأداء المطلوب مسألة بالغة الأهمية في شبكات [2] LTE.

إن الهدف الرئيس من هذا البحث هو تحسين أداء تسليم LTE استناداً إلى (Reference Signal Received Power (RSRP من خلال ضبط و تعديل لقيم (Handover margin (HOM و (Time-to-Trigger (TTT Trigger بالاعتماد على المنطق الضبابي، ثم إجراء تقييم للأداء من حيث عدد عمليات التسليم والإنتاجية والتأخير ومعدل المكالمات المنقطعة ومعدل تأرجح مسار الاتصال.

## طرائق البحث ومواده:

أُجريت الدراسة باستخدام محاكي Atoll LTE Simulation الذي تتسم بيئته عمله بالقوة والمرونة. فهو يوفر مجموعة شاملة ومتكاملة من الأدوات والميزات التي تسمح بإنشاء مشروعات التخطيط والتحسين الراديوي وتعريفها في برنامج واحد. يمكن البرنامج من تصميم شبكات LTE اللاسلكية عريضة النطاق. فهو يستخدم للتنبؤ بالتغطية وتحسينها، ويدعم البيئات متعددة الخلايا وغير المتجانسة، وإدارة جودة الخدمة، وبيئة المستخدمين المتعددة، وتنقل المستخدمين، وإجراءات التسليم، وتقديم الدعم الشامل لتحسينها، وتقنيات إعادة استخدام التردد، كما يمكن أيضاً من تنفيذ تنبؤات التداخل وتخصيص الموارد وتقييم أداء الشبكة وفقاً للعديد من المتغيرات.

## 1- التسليم في LTE

يمكن أن تعرف عملية التسليم Handover بأنها: إجرائية تغيير القناة الراديوية للاتصال إلى قناة راديوية جديدة بغية تجنب انقطاع الاتصال في أثناء حركة المشترك من خلية إلى أخرى [3].

## 1-1 أنواع التسليم

يتم تنفيذ التسليم بواسطة المحطة القاعدية المطورة (eNodeB) (eNB)، بناءً على تقارير القياس المستلمة من تجهيزات المستخدم. يتم تصنيف التسليم في أنواع مختلفة استناداً إلى نشأة التسليم ووجهته إلى [5].

### ▪ Intra-LTE Handover

تتم عملية التبديل بين الخلايا والانتقال من خلية إلى أخرى ضمن النظام نفسه باستخدام الواجهتين X2 أو S1.

### ▪ Inter-LTE Handover

تتم عملية التسليم بين الخلايا والانتقال من خلية إلى أخرى ضمن الأنظمة المختلفة أو المتماثلة. ركزنا في هذا البحث على تسليم Intra LTE Handover Using the X2 Interface الذي يكون بين كل من eNB المصدر والهدف باستخدام الواجهة الراديوية X2 بينهما ضمن نظام LTE.

### ٢- تقنيات التسليم

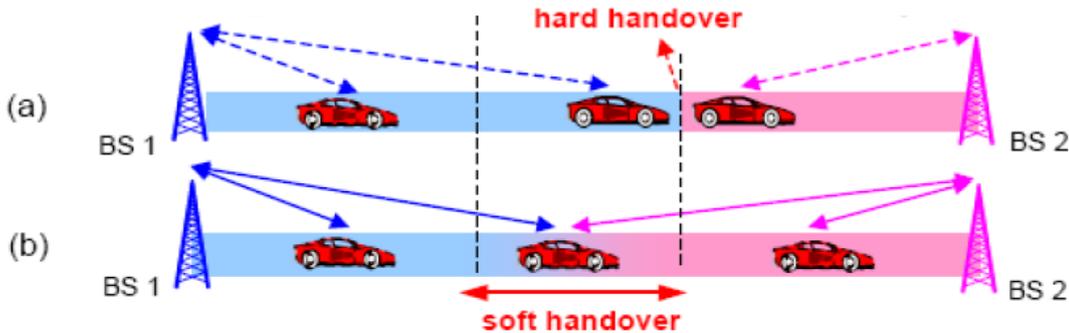
يمكن تصنيف عملية التسليم على النحو الآتي: التسليم المرن والتسليم الصلب المعروف أيضًا باسم CBB (Connect-Before-Break) و BBC (Break-Before-Connect) على التوالي [6].

### ٢-١- التسليم المرن (Soft Handover)

التسليم المرن: هو صنف من أصناف التسليم، إذ يتم إضافة الوصلات الراديوية والتخلي عنها بحيث تحافظ فيها UE دائماً على وصلة راديوية واحدة على الأقل إلى الـ UTRAN Connect-Before-Break [6]. في ناحية التسليم، يكون التسليم المرن مناسباً للحفاظ على جلسة عمل نشطة، مما يمنع إسقاط المكالمات، وإعادة تعيين جلسة. ومع ذلك، فإن التسليم المرن يتطلب كثيراً من الإشارات والإجراءات وبنية نظام أكثر تعقيداً.

### ٢-٢ التسليم الصلب (Hard Handover)

التسليم الصلب: هو الصنف الآخر من أصناف التسليم، إذ يتم التخلي عن جميع وصلات الراديو القديمة في تجهيزات المستخدم قبل إنشاء وصلات الراديو الجديدة Break-Before-Connect. يتطلب التسليم الصلب للمستخدم قطع الاتصال الحالي بالخلية الحالية (خلية المصدر) وإجراء اتصال جديد بالخلية الهدف [6]. يتم اعتماد التسليم الصلب فقط في LTE، وهذا يعني أن هناك انقطاعاً قصيراً في الخدمة عند إجراء التسليم.



الشكل (١): الفرق بين التسليم المرن والصلب [٦]

### ٣- عملية التسليم

يمكن تقسيم عملية التسليم في LTE إلى ثلاث مراحل: إعداد التسليم، وتنفيذ التسليم، واكتمال التسليم [7]. يبدأ هذا الإجراء من خلال إعداد تقارير القياس لحدث التسليم بواسطة جهاز المستخدم (UE) إلى المحطة القاعدية المطورة (eNB). ولا تشترك نواة الرزم المطورة (EPC) في إجراء التسليم لمستوى التحكم، أي يتم تبادل رسائل التحضير مباشرة بين eNB [1]. هذا بسبب الواجهة الراديوية X2، وإلا سيتم استخدام وحدة إدارة التنقل MME (Mobility Management Entity) لإشارات HO.

### ٣-١- إعداد التسليم

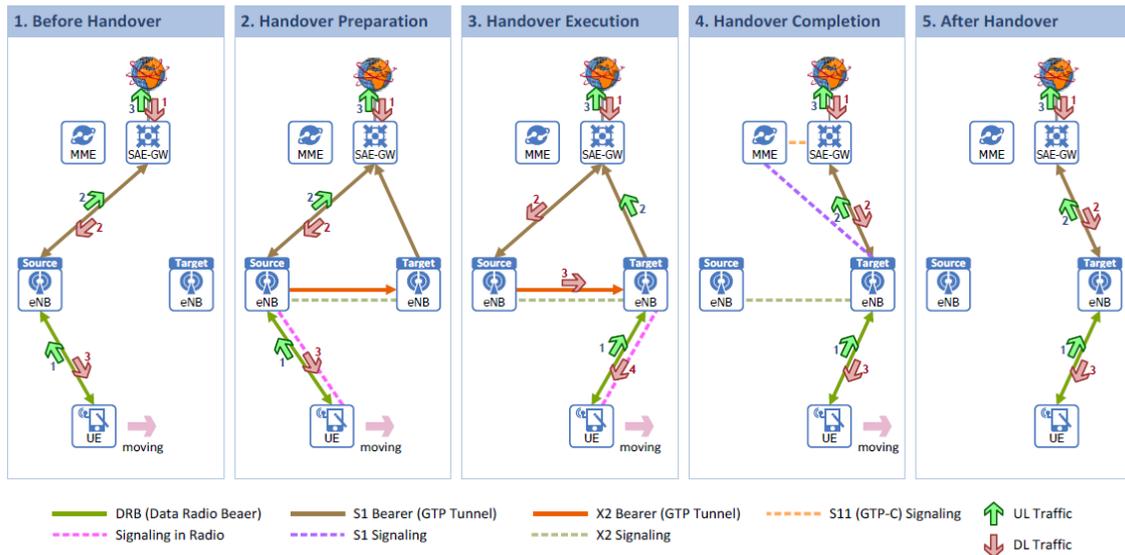
في أثناء إعداد التسليم، تتدفق البيانات بين تجهيزات المستخدم والشبكة الأساسية كالمعتاد. وتشمل هذه المرحلة رسائل كقياسات التحكم، التي تحدد بارامترات قياسات تجهيزات المستخدم، ثم يرسل تقرير القياس وفقاً لذلك عند استيفاء معايير التشغيل. يتم بعد ذلك اتخاذ قرار التسليم في eNodeB الخدمة التي تطلب تسليمها إلى الخلية الهدف وتقوم بعملية التحكم بالدخول (شروط القبول). ثم يتم التعرف على طلب التسليم من خلال eNodeB الهدف.

### ٣-٢- تنفيذ التسليم

يبدأ تشغيل مرحلة تنفيذ التسليم عندما يرسل eNodeB المصدر أمر التسليم إلى UE. خلال هذه المرحلة، يتم توجيه البيانات من المصدر إلى eNodeB الهدف، الذي يحتفظ بالبرزم. تحتاج UE بعد ذلك إلى التزامن مع الخلية الهدف وإجراء وصول عشوائي إلى الخلية الهدف للحصول على تخصيص (UL (UPLink). وأخيراً، يرسل UE رسالة تأكيد التسليم إلى الهدف وبعد ذلك يمكن للهدف إرسال البيانات المعاد توجيهها إلى UE.

### ٣-٣- اكتمال التسليم

في المرحلة النهائية، يُعلم eNodeB الهدف MME انه تم تغيير مسار مستوى المستخدم. ثم يتم إعلام S- (Serving Gateway) لتحديث مسار مستوى المستخدم. عند هذه النقطة، يبدأ تدفق البيانات على المسار الجديد إلى eNodeB الهدف. وأخيراً يتم تحرير جميع موارد التحكم والراديو في eNodeB المصدر.



الشكل (٢): آلية التسليم باستخدام الواجهة الراديوية X2 [٧]

### ٤- المعايير الرئيسية لتصميم عمليات التسليم

إن قرار تنفيذ التسليم هو عنصر حاسم في عملية تصميم التسليم، لأن نجاح التسليم وفعالته، تعتمد إلى حد كبير على دقة القرار وحسن توقيتته [8]. وفي ما يلي نناقش المعايير الرئيسية لتصميم عمليات التسليم [٢] [٥]:

#### ٤-١- تقليل عدد مرات فشل التسليم

يجب تجنب إنهاء المكالمات بسبب التسليم، ويجب الحفاظ على المحادثة عندما تنتقل الهواتف المحمولة من خلية خدمة إلى أخرى عن طريق التسليم. بالتالي هذا هدف مهم وضروري لتصميم التسليم وتحسينه [٢].

#### ٤-٢- تقليل عدد مرات التسليم غير الضرورية

من المستحسن دائماً تقليل عدد عمليات التسليم؛ نظراً لأن عمليات التسليم المفرطة تزيد من حمل التبديل، وتقلل من جودة الاتصال، وتزيد من احتمال إسقاط الاتصال؛ بسبب التسليم عند تحديد خلية هدف غير صحيحة. يمكن أن يساعد تخفيف تأثيرات تأرجح المسار Ping-Pong (التي ينتقل فيها المستخدم بنحو متكرر بين الخلايا المجاورة) وتحديد الخلية الهدف الصحيحة على تجنب عمليات التسليم غير الضرورية، وتوفير خدمة جيدة للمستخدمين [2].

#### ٤-٣- تقليل تأخير التسليم

يجب أن يكون التسليم سريعاً حتى لا يتعرض المستخدم لانحدار الخدمة أو انقطاعها. هذا الهدف أكثر أهمية للتسليم الصلب حيث يوجد انقطاع في مستوى المستخدم [2].

#### ٤-٤- زيادة الوقت الإجمالي الذي يتصل به المستخدم إلى أفضل خلية

يتم إجراء عملية التسليم لتوصيل جهاز المستخدم بأفضل خلية. سيكون تحقيق هذا الهدف أكثر سهولة إذا تم تصميم التسليم بطريقة تطيل من الوقت الذي يتم فيه توصيل تجهيزات المستعمل بالخلية الأفضل. وبالتالي، فإن زيادة الوقت الإجمالي الذي يتصل به المستخدم إلى أفضل خلية يمثل هدفاً مهماً في التصميم [5].

#### ٤-٥- تقليل تأثير التسليم على أداء النظام والخدمة

يمكن الحصول على الحد الأدنى من تأثير التسليم على أداء النظام والخدمة من خلال تحسين عملية التسليم. باستخدام خوارزمية تسليم فعالة، يجب أن يكون هناك أداء جيد للنظام بالنسبة إلى المستخدمين. على سبيل المثال، يجب أن تكون نسبة الشارة الى التداخل (Signal-to-Interference Ratio) SIR وقوة الإشارة للوصلة الحالية جيدة. يتطلب ذلك خوارزمية تسليم فعالة لتقليل تأثير التسليم على أداء النظام [5].

#### ٥- قياسات التسليم

يستند إجراء التسليم في LTE إلى قياسات UE. حيث تستند عادة قرارات التسليم على قياسات قناة الوصلة الهابطة التي تتكون من طاقة إشارة مرجعية مستقبلية (RSRP) وجودة إشارة مرجعية (RSRQ) مقاسة في تجهيزات المستخدم وترسل إلى eNB بشكل منتظم [9] [2].

يتم تقديم وصف لكل منها على النحو الآتي:

#### ٥-١- قوة الإشارة المرجعية المستقبلية (RSRP)

يوفر قياس (Reference Signal Received Power) RSRP مقياس قوة الإشارة الخاصة بالخلية. يستخدم هذا القياس أساساً لترتيب الخلايا المرشحة المختلفة وفقاً لقوة الإشارة الخاصة بها ويتم استخدامه كمدخل لتسليم قرارات إعادة اختيار الخلايا وإعادة تحديدها. يتم تعريف RSRP لخلية معينة بالمتوسط الخطي للقدرة المستقبلية (بالوات) للإشارات التي تحمل الإشارات المرجعية الخاصة بالخلية (Signals Reference) RS ضمن عرض نطاق تردد القياس المدروس [2].

#### ٥-٢- جودة الإشارة المرجعية المستلمة (RSRQ)

يهدف قياس (Reference Signal Received Quality) RSRQ إلى توفير مقياس جودة إشارة خاصة بالخلية. وعلى غرار RSRP، يُستخدم هذا المقياس أساساً لترتيب الخلايا المرشحة المختلفة وفقاً لجودة الإشارة الخاصة بها. يستخدم هذا القياس كمدخل لقرارات التسليم وإعادة اختيار الخلايا، على سبيل المثال في السيناريوهات التي لا توفر فيها قياسات RSRP معلومات كافية لأداء قرارات التنقل الموثوقة.

يتم تعريف RSRQ على النحو الآتي [2]:

$$RSRQ = \frac{N \cdot RSRP}{RSSI} \quad (1)$$

حيث N هو عدد كتل الموارد (Resource Blocks) الخاصة بعرض نطاق التردد لمؤشر RSSI (Received Signal Strength Indicator) لحوامل LTE. بينما يعد RSRP مؤشراً لقوة الإشارة المطلوبة، فإن RSRQ يأخذ مستوى التداخل بعين الاعتبار أيضاً نظراً لتضمينه RSSI. وبالتالي فإن RSRQ تمكن من الجمع بين تأثير قوة الإشارة والتداخل بطريقة فعالة.

إلى جانب RSRP / RSRQ، تتضمن تقنية التسليم معايير أخرى لاتخاذ القرار، مثل:

#### ٥-٣- نسبة الإشارة الى الضجيج (SNR)

SNR (Signal Noise Ratio) هو قياس يقارن مستوى الإشارة المرغوبة بمستوى الضجيج في الخلفية (إشارة غير مطلوبة). يتم تعريفه على أنه نسبة قوة الإشارة الى قوة الضجيج [9].

$$SNR = \frac{P_{signal}}{P_{noise}} \quad (2)$$

حيث P متوسط الطاقة. يجب قياس كل من قوة الإشارة و الضجيج ضمن نفس نطاق عرض الحزمة.

#### ٥-٤- نسبة تداخل الإشارة والضجيج (SINR)

يتم استخدام هذا المقياس (Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio) SINR لتحسين مستوى قدرة الإرسال للحصول على جودة مطلوبة للمساعدة في قرارات التسليم. يؤدي التقدير الدقيق لـ SINR الى نظام أكثر كفاءة وجودة خدمة أعلى للمستخدم.

تعرف SINR بأنها نسبة قدرة الإشارة إلى الضجيج وقوة التداخل [9]:

$$SINR = \frac{P_{signal}}{P_{noise} + P_{interference}} \quad (3)$$

حيث P هي القدرة المتوسطة، يتم ذكر القيم عادةً بـ dB .

#### ٥-٥- مؤشر قوة الإشارة المستقبلية (RSSI)

تُعرّف RSSI بأنها مجموع القدرة المستقبلية عريضة النطاق التي تلاحظها تجهيزات المستخدم من جميع المصادر، بما في ذلك الخلايا التي تخدم في نفس القناة والخلايا غير العاملة، والتداخل في القناة المجاورة والضجيج الحراري في عرض نطاق القياس المحدد في مشروع 3GPP.

تتم قياسات التسليم عند الرموز المرجعية للوصلة الهابطة. ومع ذلك، يمكن أن يستند قرار التسليم أيضاً إلى قياسات الوصلة الصاعدة. سوف نركز في هذا البحث على قياسات الوصلة الهابطة.

#### ٦- معايير التسليم ومحدداته (بارامتراته)

يشمل إجراء التسليم محددات مختلفة تستخدم لتحسين أدائه، وتعد عملية تعيين هذه المحددات إلى القيم المثلى مهمة بالغة الأهمية. حيث يستند تنفيذ التسليم عادةً على قياس عدة بارامترات أهمها [9] [8]:

#### ٦-١- عتبة بدء التسليم RSRP و RSRQ

يستخدم هذا المستوى لبدء التسليم. فعندما تنخفض عتبة التسليم، يتناقص احتمال التسليم المتأخر ويزيد تأثير ping-pong. يمكن أن يتنوع هذا وفقاً لسيناريوهات مختلفة وشروط الانتشار؛ لذلك يجب جعل هذه المبادلات أكثر ملاءمة للحصول على أفضل أداء.

## ٦-٢- إزاحة الحدث A3 (A3offset)

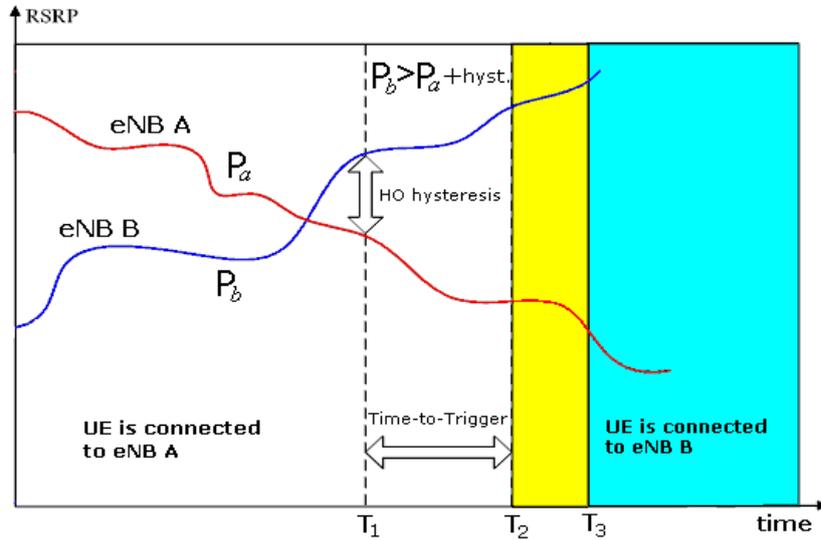
يتم اعداد هذا المحدد ضمن تقرير UE Measurement Configuration . يتمثل دور الإزاحة في الحدث A3 في جعل خلية الخدمة تبدو أفضل في قياساتها الحالية مقارنةً بالقيمة الحالية لخلايا الجوار .

## ٦-٣- هامش التسليم (Hys (Handover margin)

إن هامش التسليم هو البارامتر الرئيس الذي يتحكم بخوارزمية التسليم بين اثنين من eNB . يبدأ التمرير إذا كانت جودة ارتباط خلية أخرى أفضل من جودة الوصلة الحالية بقيمة هامش تسليم . يتم استخدامه لتجنب آثار ping-pong . ومع ذلك، يمكن أن يزيد من فشل التسليم لأنه يمكن أيضًا منع عمليات التسليم الضرورية .

## ٦-٤- وقت بدء التسليم (TTT (Time-to-Trigger)

عند تطبيق وقت بدء التسليم (TTT) ، يتم بدء التسليم فقط إذا تم استيفاء شرط البدء بالتسليم لفترة زمنية . هذا المحدد يمكن أن يقلل من عدد عمليات التسليم غير الضرورية وتجنب بشكل فعال تأثيرات ping-pong . ولكنه قد يؤدي أيضًا إلى تأخير عملية التسليم التي تزيد من احتمال فشل عملية التسليم .



الشكل (٣): عملية تنفيذ التسليم [٧]

وباختصار، فإن نقطة البداية لعملية التسليم هي القياسات التي تقوم بجمعها تجهيزات المستخدم. ويتم ذلك دوريًا. فعند الوصول إلى حالة تتخفص فيها RSRP خلية الخدمة بمقدار إزاحة أقل من القيم المقاسة في خلية الجوار، يتم تشغيل المؤقت. ففي حالة استمرار هذا الشرط بمقدار قيمة TTT، يتم إرسال تقرير قياس إلى eNB، الذي يبدأ عملية التسليم عن طريق إرسال أمر تسليم إلى تجهيزة المستخدم. ففي حالة تغير شروط إعداد التقارير وعدم استيفائها لشروط التشغيل قبل أن يصل المؤقت إلى قيمة TTT، لن يتم إرسال تقرير قياس ويتم البدء بحسابات وقياسات توقيت جديدة [١].

يجب تحسين معايير التسليم للأداء جيد. فقد تؤدي قيم الإزاحة المنخفضة جدًا وقيم TTT في ظروف التشتت والتوهين إلى تسليم متأرجح ping-pong بين الخلايا. و يمكن أن تكون القيم العالية جدًا هي سبب لانخفاض جودة الاتصال في أثناء عمليات التسليم؛ نظرًا لأن ظروف الراديو للإرسال تصبح سيئة جدًا في خلية الخدمة. وبين الشكل (٣) عملية تنفيذ التسليم.

### 7- محددات الأداء لعملية التسليم

هناك بعض المحددات المهمة جدا لتقييم عملية التسليم، إذ يلعب أداء هذه المحددات دورا أساسيا في تحديد أداء الشبكة. حيث تم اعتماد مؤشرات ومحددات الأداء (Key Performance Indicator) الآتية لعملية التسليم:

#### 7-1- معدل حدوث التسليم Ho Rate.

يمكن أن نعرف معدل التسليم بأنه يشير إلى عدد مرات التسليم المنجزة خلال المكالمات الكلية [10]

$$HPI_{HO} = \frac{N_{HO}}{N_{totalcalls}} \quad (4)$$

#### 7-2- معدل المكالمات المنقطعة. Dropped calls rate.

أما معدل المكالمات المنقطعة فيشير إلى نسبة المكالمات التي انقطعت ولم تستكمل، وهو عبارة عن عدد المكالمات المنقطعة إلى عدد المكالمات الكلية [10]

$$HPI_{Drop} = \frac{N_{accepted}}{N_{total}} \quad (5)$$

#### 7-3- معدل التآرجح لمسار الاتصال. Ping-Pong HO rate.

ويعرف معدل التآرجح لمسار الاتصال Ping-Pong HO rate بأنه نسبة حدوث التآرجح لمسار الاتصال إلى نسبة عدد مرات التسليم المنجز [10]

$$HPI_{Hpp} = \frac{N_{Hopp}}{N_{Htotal}} \quad (6)$$

### 8- خوارزمية التسليم المستندة الى RSRP

وتتكون خوارزمية التسليم من متغيرين هما:

قيمة هامش التسليم (HOM) و وقت بدء التسليم (TTT). يتم قياس HOM بالديسبل (dB) ويتم قياس TTT بالثواني [9].

إن HOM عبارة عن متغير ثابت يمثل عتبة الفرق في قوة الإشارة المستلمة بين خلية الخدمة والخلايا الهدف. يضمن HOM أن الخلية الهدف هي الخلية الأكثر ملاءمة للطرفيات المتحركة في أثناء عملية التسليم. إن قيمة TTT هي الفاصل الزمني المطلوب لتلبية شرط HOM. يتم استخدام كل من HOM و TTT لتقليل عمليات التسليم غير الضرورية والتي تسمى "تأثير Ping-Pong".

عندما يتعرض الهاتف المحمول لتأثير "Ping-Pong"، فإنه يتم تسليمه من خلية خدمة إلى خلية هدف ويتم تسليمه مرة ثانية إلى خلية الخدمة الأصلية في فترة زمنية قصيرة. ويزيد هذا التأثير من موارد التشوير المطلوبة، ويقلل من معدل نقل البيانات، ويزيد من تأخير مرور البيانات الناتج عن التخزين المؤقت للحركة الواردة في الخلية الهدف عند حدوث كل عملية تسليم. لذا فإن منع عمليات التسليم غير الضرورية يعد أمراً ضرورياً [9].

يقيد TTT إجراء التسليم منذ تشغيله خلال مدة زمنية محددة. لا يمكن تنفيذ إجراء التسليم إلا بعد استيفاء شرط TTT. فعندما ينتقل الهاتف المحمول بعيداً عن خلية الخدمة، فإن نمط RSRP الذي يتلقاه الهاتف الجوال من خلية الخدمة سيتقلص مع زيادة الوقت. في هذه الأثناء، يتحرك الهاتف المحمول نحو الخلية الهدف، وبالتالي فإن RSRP الذي يتلقاه الهاتف المحمول من الخلية الهدف سيزداد مع زيادة الوقت.

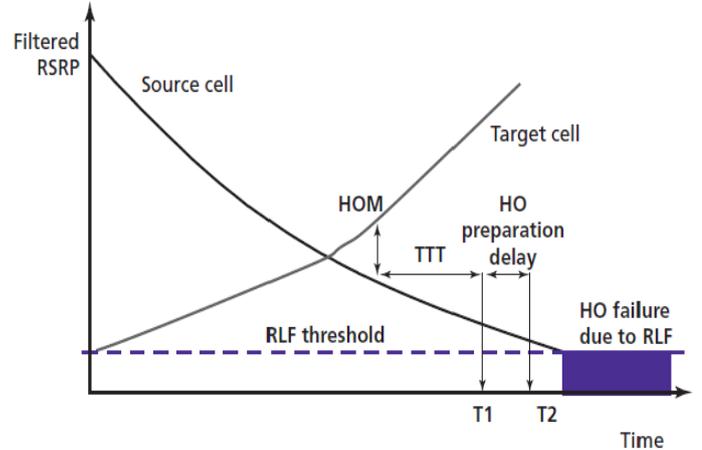
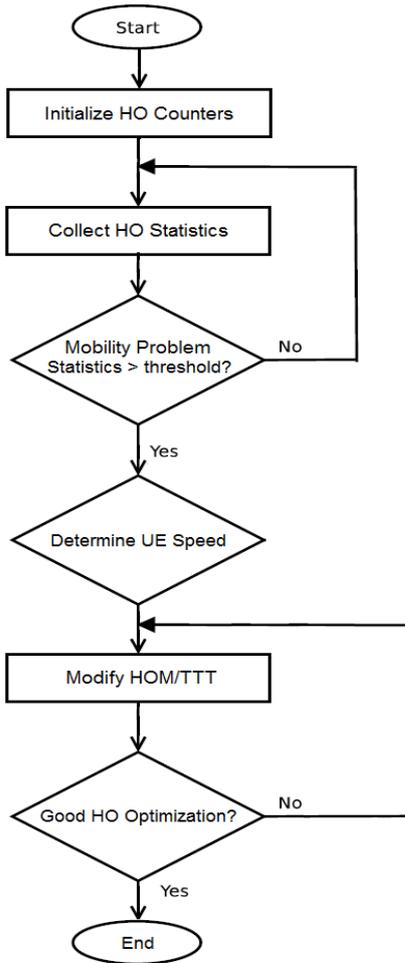
يتم تشغيل التسليم عند استيفاء شرط البدء (7.1) و (7.2)، متبوعاً بأمر التسليم.

$$RSRP_T > RSRP_S + HOM \quad (7.1)$$

$$HO Trigger > TTT \quad (7.2)$$

حيث  $RSRP_T$  و  $RSRP_S$  هي  $RSRP$  المستلمة من الخلية الهدف و خلية الخدمة، على التوالي، و  $HO Trigger$  هو مؤقت بدء التسليم الذي يبدأ العد عند استيفاء الشرط (7.1). ويبين الشكل (٤) المفهوم الأساسي لخوارزمية التسليم المستندة الى  $RSRP$  في LTE.

يتم تغيير قيم بدء التسليم ( $HOM/TTT$ ) بناءً على أداء التسليم الحالي. ومن أجل التكيف مع أفضل أداء ممكن للتسليم، يتم تعيين عتبات محددة لأداء التسليم لجميع مشكلات التنقل (انقطاع الوصلة الراديوية RLF(Radio Link Failure)، تأخير التسليم، التسليم المبكر، تأرجح مسار الاتصال، وغيرها). ويوضح الشكل (٥) مخطط التدفق لآلية العمل المتبعة حيث يتم تهيئة عدادات التسليم وإجراء محاكاة على مستوى النظام. ومن نتائج المحاكاة، نقوم بتجميع قدر كافٍ من عدد عمليات التسليم لإعطاء تحليل إحصائي دقيق لمشاكل التنقل. يتم مقارنة النسبة المئوية لكل مشكلة من مشكلات التنقل بالعتبة المحددة. إذا لم تتجاوز أي من مشكلات التنقل العتبة المحددة، فإننا نجمع إحصائيات التسليم مرة أخرى ونقيّمها وإلا نقوم بتحديد سرعة المستخدم وبناء على ما سبق يتم ضبط قيم ( $HOM/TTT$ ) من أجل الوصول الى أفضل أداء ممكن للتسليم.



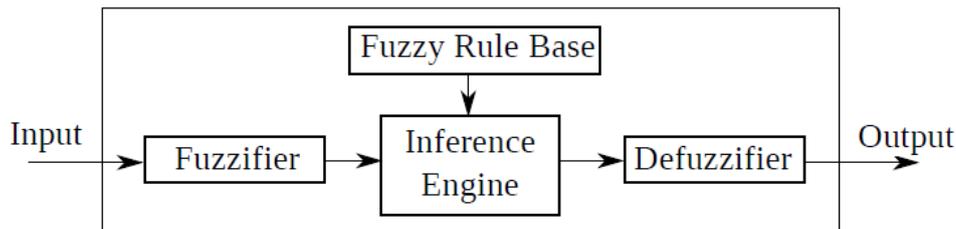
HO—Handover  
HOM—Handover margin  
RLF—Radio link failure  
RSRP—Reference signal received power  
T1—HO event from UE to eNB  
T2—HO command from eNB to UE  
TTT—Time-to-trigger  
UE—User equipment

الشكل (٤): المفهوم الأساسي لخوارزمية التسليم المستندة الى  $RSRP$  في LTE [١٠]

الشكل (٥): مخطط التدفق لآلية العمل المتبعة

### ٩- المتحكم الضبابي:

يعرض الشكل (٦) الكتل الرئيسية في نظام المنطق الضبابي، والذي يتكون من: المرحلة الأولى، وهي التضييب Fuzzifier، هي المسؤولة عن تحويل قيم المدخلات العددية الواضحة (crisp) إلى مدخلات غير واضحة. ويستند هذا التعيين على وظائف المستوى لكل إدخال وعلى درجة المدخلات. ويتم استخدام المستويات "High" و "Medium" و "Low". وقيم درجة المدخلات هي قيمة حقيقية بين ٠ و ١. المرحلة الثانية هي محرك الاستدلال Inference Engine الذي يستند إلى مجموعة من قواعد IF-THEN. المرحلة الثالثة هي فك التضييب Defuzzification يقوم بتحويل المجموعة الضبابية التي تم الحصول عليها بواسطة المحرك الاستدلال إلى قيم crisp حدية [11] [12].



الشكل (٦): المخطط الصندوقي لبنية نظام المتحكم الضبابي [١٢].

### النتائج والمناقشة:

تم إنشاء شبكة LTE تحاكي بيئة الحركة للسيارات والمشاة ضمن مدينة وضواحيها. ويبين الجدول (١) والشكل (٧) البارامترات الأساسية لبيئة المحاكاة وبيئة المحاكاة على التوالي.

الجدول (١): البارامترات الأساسية لبيئة المحاكاة

عدد الخلايا	٧ خلايا
قطر الخلية	1 Km
تردد الحامل وعرض الحزمة	2.1 Ghz , 5 MHz
سرعات تجهيزات المستخدم	5 km/h, 50 km/h, 120 km/h
عدد المستخدمين	١٠ مستخدمين في كل خلية

Max radius:

Circle spacing:

Angle interval:

Parameters

- └ Traffic Parameters
  - └ Services
  - └ Mobility Types
    - └ Fixed
    - └ 5 km/h
    - └ 50 km/h
    - └ 120 km/h
  - └ Terminals
    - └ MIMO Terminal
    - └ Mobile Terminal
  - └ User Profiles
  - └ Environments
    - └ Urban

الشكل (7): بيئة المحاكاة

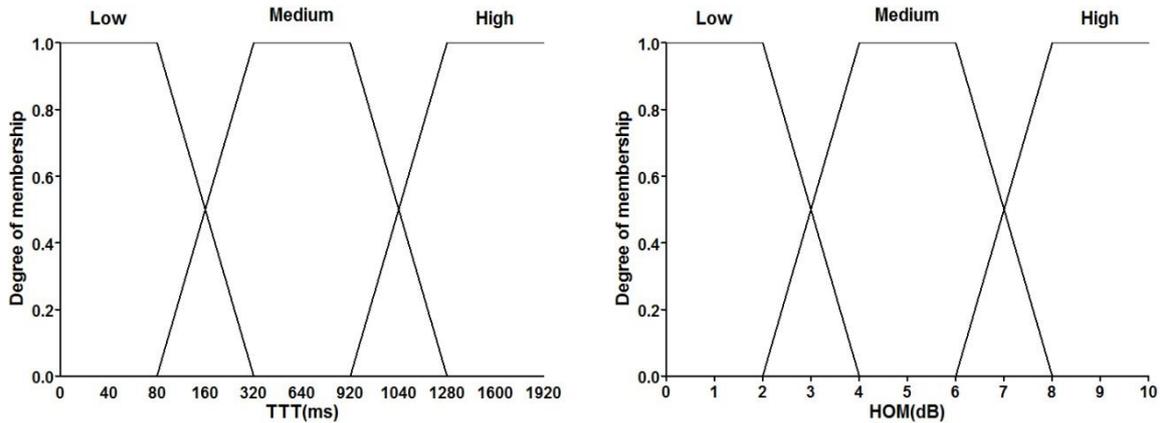
يتم اختيار قيم HOM و TTT وفقا للمعيار العالمي 3GPP [8] كما هو موضح بالجدول (٢)

الجدول (٢): قيم HOM و TTT وفقا للمعيار 3GPP [8]

قيم TTT	قيم HOM	سرعة تجهيزة المستخدم
0,40,80,160,320,64	0-10 dB	0-120 km/h
0,920,	10-20 dB	120-250 km/h
1040,1280,1600,19	20-30 dB	250-350 km/h
20 ms		

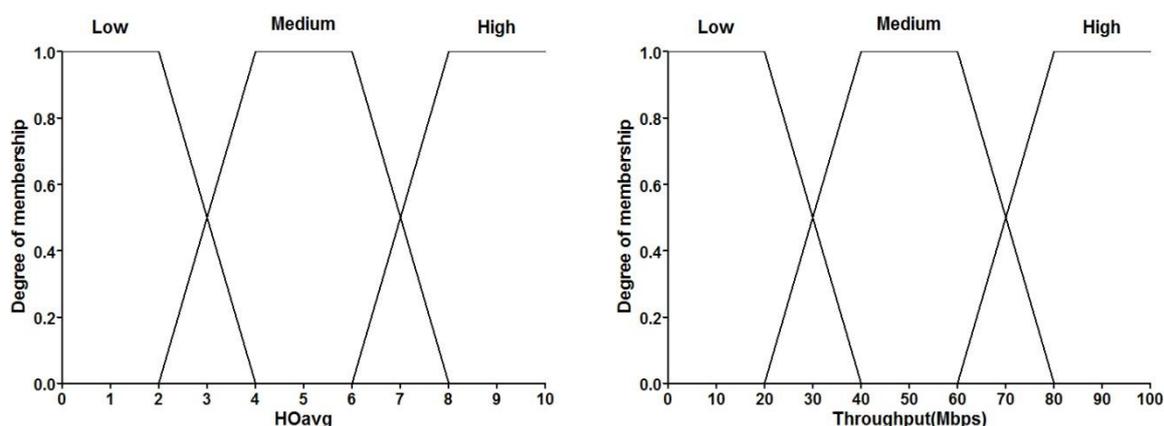
وبما أن بيئة الحركة تحاكي حركة السيارات والمشاة، أي السرعة تتراوح بين 0km/h و 120km/h فقد تم اختيار قيم HOM بين 0dB و 10dB وقيم TTT بين 0ms و 1920ms .

وبالاعتماد على المنطق الضبابي قمنا بتقسيم القيم الى ثلاث مجموعات غامضة (Fuzzy Sets) Low, Medium, High حيث هناك مدخلان ومخرجان تستخدم لإكمال عملية التحسين لمشكلة تسليم LTE. المدخلان هما هامش التسليم (HOM) ووقت بدء التسليم (TTT) [8]. في حين أن المخرجين هما متوسط عدد عمليات التسليم لكل مستخدم ومعدل البيانات الواصلة بنجاح (الإنتاجية)، ويوضح الشكل (٨) قيم HOM و TTT كمتغيرات ومدخلات وفقا لنظام المتحكم الضبابي.



الشكل (٨): قيم HOM و TTT كمتغيرات وفقا لنظام للمنطق الضبابي

ثم أجرينا محاكاة أولية باستخدام برنامج المحاكاة لجميع مجموعات HOM/TTT الموضحة بالشكل (٨) حيث تم اختيار قيم من كل مجموعة غامضة لكل من HOM و TTT وضبط عملية التسليم وفقا لهذه القيم وبافتراض سرعة عشوائية لتجهيزة المستخدم، وذلك لقياس أداء الشبكة من حيث الإنتاجية ومعدل عمليات التسليم انطلاقا منه لقياس مؤشرات أداء أخرى عند سرعات محددة، فتوصلنا للنتائج الموضحة في الشكل (٩) والجدول (٣)، والتي تم تقسيمها لمجموعات غامضة بالاعتماد على المتحكم الضبابي.



الشكل (٩): معدل البيانات الواصلة بنجاح (الإنتاجية) ومعدل عدد عمليات التسليم وفقاً لنظام للمنطق الضبابي

الجدول (٣): النتائج الأولية للمحاكاة وفقاً لنظام للمنطق الضبابي

Average HO	Through put	HOM	TTT
H	H	H	H
H	L	H	L
L	H	L	H
L	L	L	L
M	L	M	H
M	H	M	L
L	M	H	M
H	M	L	M
M	M	M	M

وبما أننا نسعى لتحسين عملية التسليم والحصول على معدل نقل عالٍ (H) وأقل عدد من عمليات التسليم غير الضرورية (L) والحالة والوسطية بينهما (M) ووفقاً للجدول (٣) فقد تم اختيار أربعة سيناريوهات تحقق هذه الأهداف لدراسة تأثيرها حسب سرعة تجهيز المستخدم على أداء الشبكة من حيث عدد عمليات التسليم والإنتاجية والتأخير ومعدل المكالمات المنقطعة ومعدل تأرجح مسار الاتصال. ويوضح الجدول (٤) والشكل (١٠) السيناريوهات الأربعة التي تم اختيارها والتي تحقق (High Throughput) و (Low Average HO) وبارامترات المحاكاة.

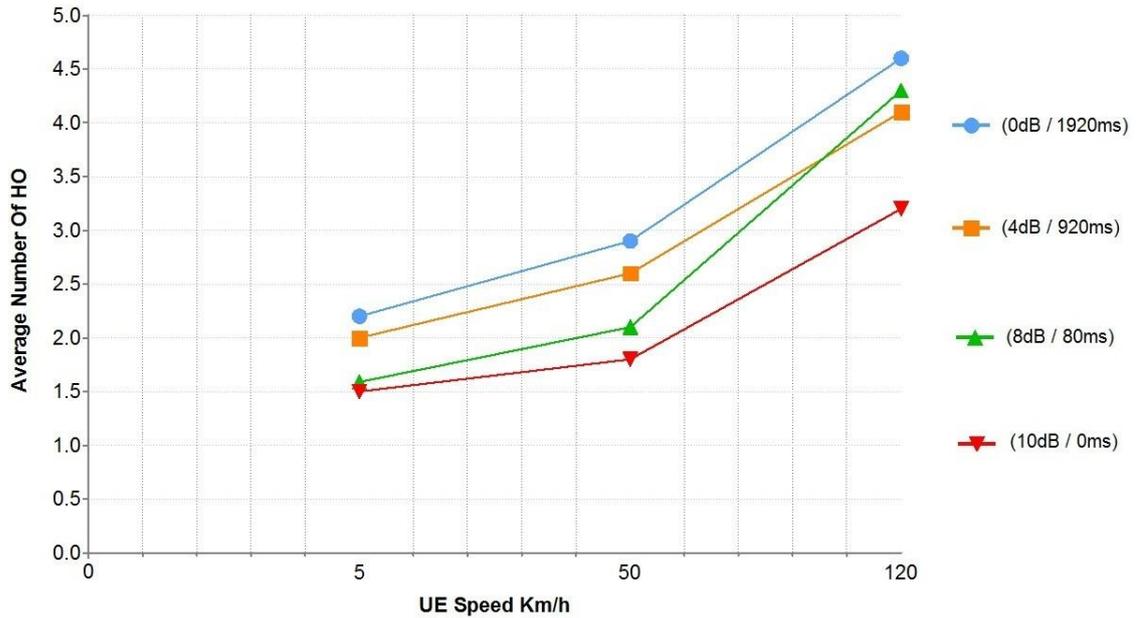
الجدول (٤): السيناريوهات الأربعة التي تم اختيارها

HOM	TTT
.	1920
4	920
8	80
10	0

Name	Site0_1 (0)			
ID				
Active	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Order	1	1	1	1
Layer	Layer 0	Layer 0	Layer 0	Layer 0
Cell Type	LTE	LTE	LTE	LTE
Frequency Band	2110 FDD - 5 MHz (E-UTRA Band 1)	2110 FDD - 5 MHz (E-UTRA Band 1)	2110 FDD - 5 MHz (E-UTRA Band 1)	2110 FDD - 5 MHz (E-UTRA Band 1)
Channel Number	2	2	2	2
Max Power (dBm)	43	43	43	43
RS EPRE per antenna port (dBm)	20	20	20	20
SS EPRE Offset / RS (dB)	0	0	0	0
PBCH EPRE Offset / RS (dB)	0	0	0	0
PDCCH EPRE Offset / RS (dB)	-3	-3	-3	-3
PDSCH EPRE Offset / RS (dB)	-3	-3	-3	-3
Min RSRP (dBm)	-140	-140	-140	-140
Cell Selection Threshold (dB)	0	0	0	0
Cell Individual Offset (dB)	0	0	0	0
Handover Margin (dB)	0	4	8	10
ICIC Delta Path Loss Threshold (dB)	4	4	4	4
Fractional Power Control Factor	1	1	1	1
Max Noise Rise (UL) (dB)	6	6	6	6
TDD subframe configuration	1 - DSUUD-DSUUD	1 - DSUUD-DSUUD	1 - DSUUD-DSUUD	1 - DSUUD-DSUUD
Time To Trigger (ms)	1920	920	80	0
Number of Users (DL)	10	10	10	10
Number of Users (UL)	10	10	10	10

الشكل (١٠): بإمترات المحاكاة

وفقاً للسيناريوهات السابقة توصلنا للنتائج الآتية التي توضح عدد عمليات التسليم والإنتاجية والتأخير ومعدل المكالمات المنقطعة ومعدل تأرجح مسار الاتصال.



الشكل (١١): متوسط عدد عمليات التسليم

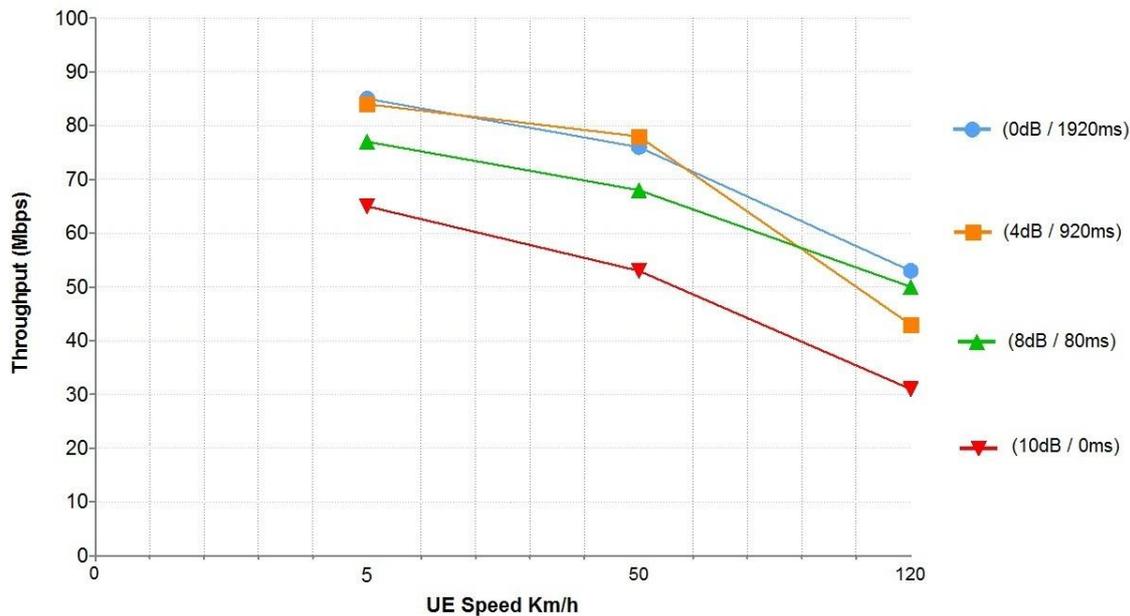
يبين الشكل (١١) متوسط عدد عمليات التسليم حيث نلاحظ أن (0dB/1920ms) يولد أكبر عدد من عمليات التسليم لجميع القيم. وبالنسبة إلى سرعة التجهيزات المنخفضة، يكون الإعداد مع HOM صغيراً و TTT طويل أسهل في عملية التسليم، حيث يستغرق التسليم وقتاً أطول لتجهيز UE البطيئة لتلبية شروط الأداء المختلفة.

تنتج القيم (dB/920ms) عمليات تسليم أكثر من القيم الأخرى لـ 5km/h. ويمكن ملاحظة أنه بالنسبة إلى . (8dB/80ms) و (10dB/0ms)، تبقى عدد عمليات التسليم متقاربة بالنسبة إلى السرعات المنخفضة. مع أن (dB/920ms) تولد أكبر عدد من عمليات التسليم بالإضافة للقيم (0dB/1920ms) عند 5km/h إلا أنها لا تزال مقترحة لتحسين التسليم فهي تعمل على تجنب التسليم المبكر HO Too Early؛ لأن عمليات التسليم قد تكون ضرورية.

نلاحظ عند السرعة 50km/h، تولد القيم (dB/920ms) عمليات تسليم أكثر مقارنة مع بقية القيم. ونلاحظ أنه إذا كان هامش التباطؤ كبيراً مثلاً 10dB، فمن الصعب إطلاق عملية التسليم وبالتالي سوف ينتج تأخيراً أو فشلاً في عملية التسليم HO Too Late or HO Failure.

بالنسبة إلى تجهيزات UE التي تصل سرعتها إلى 120 Km/h فإن (8dB/80ms)، ينتج المزيد من عمليات التسليم مقارنة بالقيم (dB/920ms) لأن عملية التباطؤ والتأخير عن الاستجابة ستكون أسهل وأصغر في هذه السرعة. ونلاحظ عند السرعات المنخفضة (5-50)km/h تزداد عمليات التسليم بنسب منخفضة لكن مع زيادة السرعة (50-120)km/h نلاحظ زيادة عمليات التسليم بنسب كبيرة بسبب السرعة العالية قيم اعدادات التسليم. ونلاحظ أن الهامش الأصغر نسبياً والزمن الأكبر يؤدي إلى مزيد من عمليات التسليم لأن هامش التسليم والتأخير الكبير يصعب تحقيقه لخلايا أكبر.

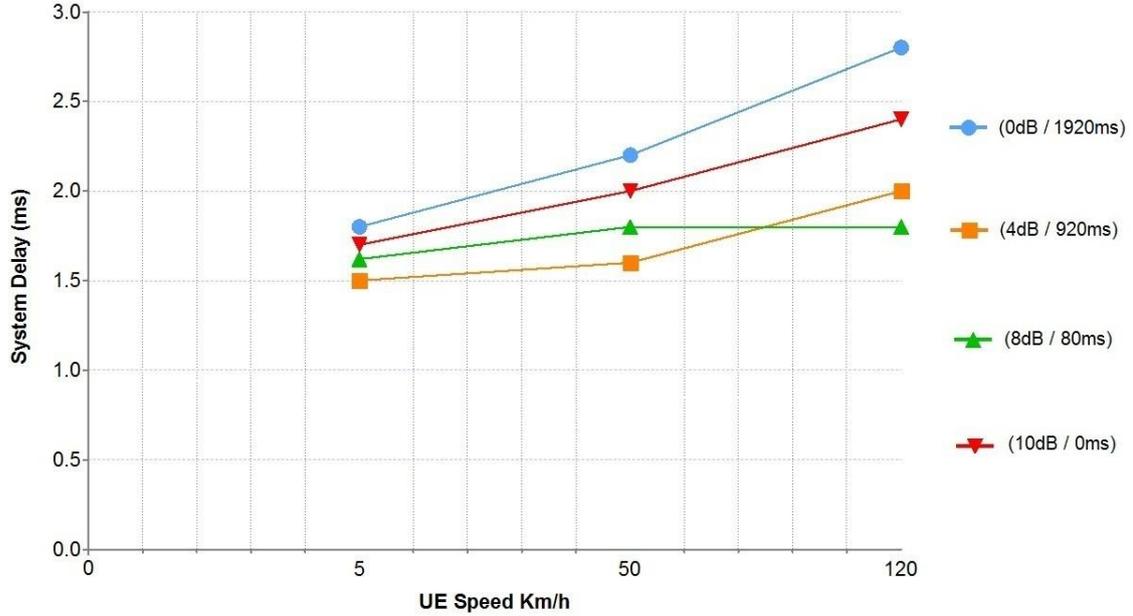
يفضل تقليل عمليات التسليم. ومع ذلك، لا يعني هذا اختيار الإعداد الذي يمكن أن يؤدي إلى عمليات تسليم أقل؛ لأنه قد تكون هناك حاجة إلى عدد من عمليات التسليم الضرورية وتجنب لعمليات التسليم المبكرة والمتأخرة وفشل التسليم.



الشكل (١٢): معدل البيانات الواصلة بنجاح (الإنتاجية)

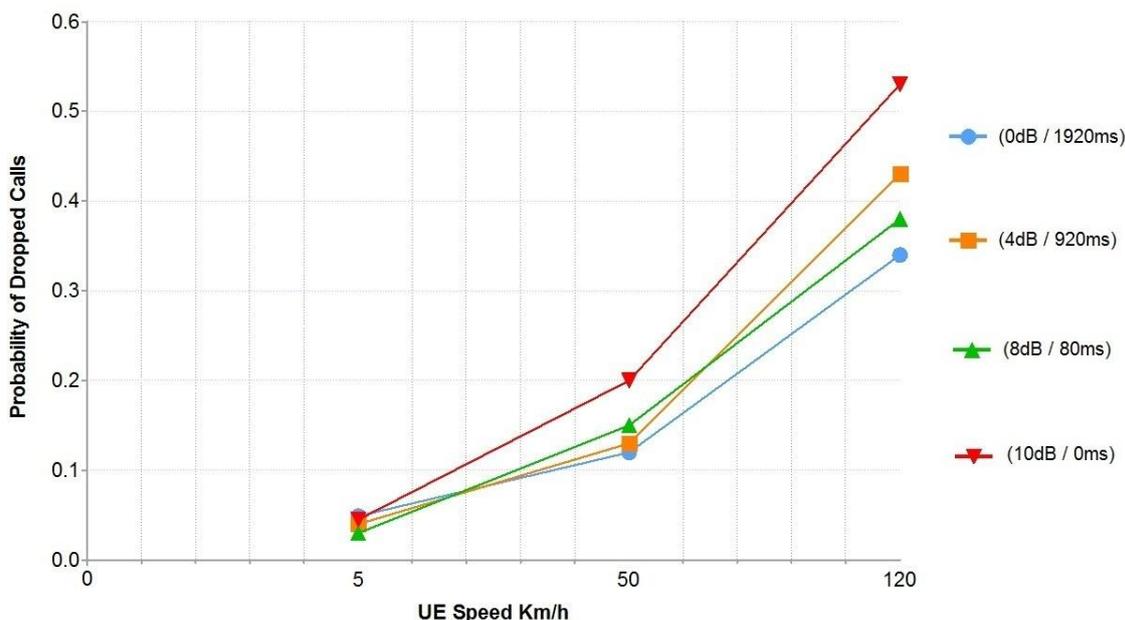
يوضح الشكل (١٢) معدل البيانات الواصلة بنجاح (الإنتاجية) ، ونلاحظ أن (dB/920ms) و (0dB/1920ms) تعطي أعلى معدل نقل حوالي (84 , 86) Mbps عند السرعة 5km/h لأن التسليم يتم للخلايا

التي لها جودة أفضل للقناة بسرعة منخفضة. وينخفض هذا المعدل إلى حوالي ( 42 Mbps , ٧٩ ) في حالة ( dB / ) عند 50 , 120 km/h على التوالي، بسبب الزيادة في عدد عمليات التسليم التي أدت إلى انخفاض أداء النظام. ويلاحظ نفس اتجاه النتائج بالنسبة إلى تجهيزات المستعمل التي تتحرك بسرعة 50, 120 km/h عند بقية القيم. ونلاحظ انخفاض معدل النقل والإنتاجية للخط البياني للقيم (dB/920ms) انخفاضاً حاداً عند السرعات العالية 120km/h وذلك بسبب عدد عمليات التسليم العالية التي تنتجها هذه القيم وبالتالي التقليل من جودة الخدمة.



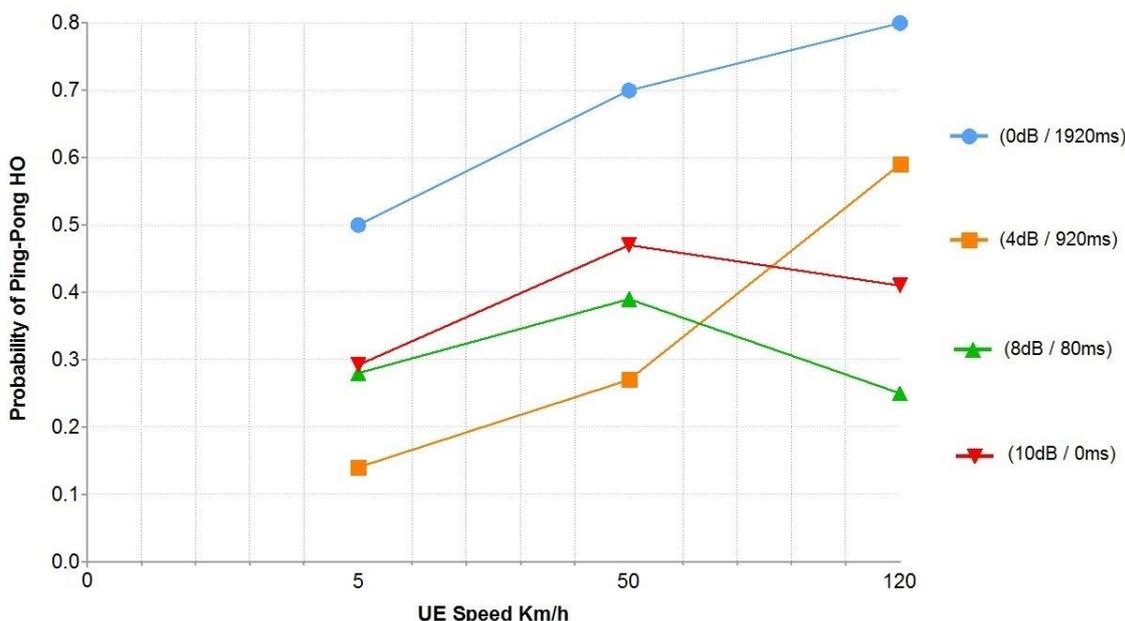
الشكل (١٣): التأخير

يبين الشكل (١٣) التأخير الكلي للنظام ، ونظرًا لأن عملية التسليم تتم على الأرجح بشكل متكرر ومتزايد مع زيادة السرعة، فإن ذلك يؤدي إلى تأخير متزايد في النظام في جميع إعدادات التسليم التي يتم تقييمها. نلاحظ أن (0dB/1920ms) و (10dB/0ms) لديهم التأخير الأعلى بسبب عدم وجود آلية لضبط TTT وبسبب حالات التسليم المبكر والمتأخر و فشل التسليم في جميع سيناريوهات السرعة بالمقارنة مع إعدادات التسليم الأخرى. نلاحظ أن (4dB/920ms) و (8dB/80ms) لديهما أصغر تأخير إجمالي للنظام عند 5, 50, 120 km/h. ونلاحظ أن هامش التسليم والزمن عند السرعات العالية 120km/h يلعبان دوراً مهماً في زيادة أو تقليل التأخير الكلي حيث يتبين ازدياد التأخير بشكل ملحوظ للقيم (dB/920ms) بالمقارنة مع (8dB/80ms) وذلك أيضاً بسبب الزيادة في عمليات التسليم التي تنتجها القيم (dB/920ms) كما لاحظنا سابقاً.



الشكل (١٤): احتمال المكالمات المنقطعة

يبين الشكل (١٤) احتمال المكالمات المنقطعة حيث نلاحظ أن تحرك UE بسرعة 5Km/h مع مختلف إعدادات التسليم له نفس الأداء تقريبا. وعند السرعات 50 Km/h و 120 Km/h ، فإن القيم (8dB/80ms) و (٤dB/920ms) تعطي أفضل أداء بالنسبة إلى احتمال المكالمات المنقطعة. ونلاحظ احتمال المكالمات المنقطعة عند (10dB/0ms) حوالي 0.21 و 0.54 للسرعتين.



الشكل (١٥): احتمال تأرجح مسار الاتصال

يوضح الشكل (١٥) احتمال تأرجح مسار الاتصال حيث نلاحظ أن القيم (0dB/1920ms) عند مختلف السرعات تعطي أعلى احتمال لتأرجح مسار الاتصال وذلك لزيادة عمليات التسليم بسبب سهولة تنفيذ التسليم نظراً لغياب هامش التسليم والمؤقت وبالتالي تأرجح عملية التسليم بين خلية الخدمة والخلية الهدف.

نلاحظ عند السرعة 50km/h و 5km/h أن القيم ( $\epsilon$ dB/920ms) تعطي أفضل أداء بالنسبة إلى احتمال تأرجح مسار الاتصال بسبب القيمة المتوسطة لـ HOM و الوقت الكافي للمؤقت TTT لاتخاذ القرار قبل البدء بعملية التسليم. وعند السرعة 120 Km/h نلاحظ أن ( $\epsilon$ dB/80ms) لديها أفضل أداء بالمقارنة مع بقية القيم بسبب ضبط TTT على قيم صغيرة مع زيادة السرعة وبالتالي تجنب التسليم المبكر وفشل الاتصال قبل التسليم. كخلاصة، فإن الإعدادات المقترحة تبعاً لسرعات المستخدم المختلفة لخليتها قطرها 1Km. موضحة في الجدول (٥).

الجدول (٥): الإعدادات المقترحة لبدء عملية التسليم تبعاً لسرعات المستخدم المختلفة

120 Km/h	50km/h	5km/h	
8dB/80ms	$\epsilon$ dB / 920ms	$\epsilon$ dB / 920ms	HOM/TTT

### الاستنتاجات والتوصيات

قدمنا في هذا البحث تقييماً لأداء خوارزمية LTE HO المقترحة على أساس قياسات RSRP للوصلة الهابطة مع إعدادات مختلفة لقيمة بارامترات HOM و TTT وفقاً للمنطق الضبابي FLC وبالاعتماد على مفهوم SON. ونظراً لأن إعداد بارامترات HO مناسب لأداء الشبكة بشكل جيد، فقد تم تقييم القيم المختلفة لـ HOM و TTT لتحديد أفضل قيمة لبارامترات التسليم الأمثل. يمكن لخوارزمية HO المقترحة مع إعداد البارامترات المحسنة تحسين أداء الشبكة من حيث عدد عمليات التسليم والإنتاجية والتأخير ومعدل المكالمات المنقطعة ومعدل تأرجح مسار الاتصال. وتعدّ هذه الطريقة ميزة من ميزات الشبكة الذاتية التنظيم والتي تدعى بالتحسين الذاتي. تظهر النتائج أن إعداد التسليم الأمثل يمكن أن يحسّن الأداء، وبالتالي، يمكن تحقيق بعض المكاسب من خلال ضبط إعداد بدء التسليم. ويمكن ملاحظة أن بعض إعدادات التشغيل المتوسطة، مثل ( $\epsilon$ dB/920ms)، عادة ما تكون جيدة الأداء لجميع السيناريوهات ويمكن استخدامها على نطاق واسع كطريقة بسيطة لتحسين أداء التسليم. وبالنسبة إلى التوصية المستقبلية، بدلاً من استخدام ميزة واحدة من SON التي تعمل على تحسين الذات، يمكن دمج ميزات أخرى مثل التهيئة الذاتية والشفاء الذاتي ضمن نظام الشبكة لتحقيق الجودة المثلى والأفضل في تشغيل الشبكة.

### المراجع

- [1] Araniti, G., Campolo, C., Condoluci, M., Iera, A., & Molinaro, A. 2013, LTE for vehicular networking: a survey. *IEEE communications magazine*, 51(5), 148-157.
- [2] Afroz, F., Subramanian, R., Heidary, R., Sandrasegaran, K., & Ahmed, S. 2015, SINR, RSRP, RSSI and RSRQ measurements in long term evolution networks. *International Journal of Wireless & Mobile Networks*.
- [3] Bajzik, L., Horvath, P., Korossy, L., & Vulkan, C. 2007, July, Impact of intra-LTE handover with forwarding on the user connections. In *Mobile and Wireless Communications Summit, 2007. 16th IST (pp. 1-5)*. IEEE.
- [4] Lee, C. W., Chuang, M. C., Chen, M. C., & Sun, Y. S. 2014, Seamless handover for high-speed trains using femtocell-based multiple egress network interfaces. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 13(12), 6619-6628.

- [5] Ulvan, A., Bestak, R., & Ulvan, M. 2013, *Handover procedure and decision strategy in LTE-based femtocell network*. *Telecommunication systems*, 52(4), 2733-2748.
- [6] Luo, W., Zhang, R., & Fang, X. 2012, *A CoMP soft handover scheme for LTE systems in high speed railway*. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2012(1), 196.
- [7] Han, D., Shin, S., Cho, H., Chung, J. M., Ok, D., & Hwang, I. 2015, *Measurement and stochastic modeling of handover delay and interruption time of smartphone real-time applications on LTE networks*. *IEEE communications magazine*, 53(3), 173-181.
- [8] 3GPP TS 36.331.2016, *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification*, V13.0.0.
- [9] Balan, I., Jansen, T., Sas, B., Moerman, I., & Kürner, T. 2011, June, *Enhanced weighted performance based handover optimization in LTE*. In *Future Network & Mobile Summit (FutureNetw)*, 2011 (pp. 1-8). *IEEE*.
- [10] Davaasambuu, B. 2016, *Study on Mobility Management Scheme of Moving Relay Nodes in LTE Network* (Doctoral dissertation).
- [11] Kustiawan, I., & Chi, K. H. 2015, *Handoff decision using a Kalman filter and fuzzy logic in heterogeneous wireless networks*. *IEEE Communications Letters*, 19(12), 2258-2261.
- [12] Inaba, T., Elmazi, D., Sakamoto, S., Oda, T., Ikeda, M., & Barolli, L. 2015, *A Secure-Aware Call Admission Control Scheme for Wireless Cellular Networks Using Fuzzy Logic and Its Performance Evaluation*. *J. Mobile Multimedia*, 11(3&4), 213-222