

## دراسة دقة تحديد موقع المستخدم في الشبكات اللاسلكية النقالة بطريقة الفرق في أزمنة الوصول وإستخدام إشارات PRS

م. سليمان الغنام<sup>1</sup> أ.د. محمد الحسين<sup>2</sup>، د. فواز مفضي<sup>3</sup>

### ملخص البحث

تم في هذا البحث إجراء دراسة لطرائق الكشف وتحديد موقع المستخدم في شبكات الاتصالات اللاسلكية النقالة. اهتم البحث بصورة خاصة بطريقة قياس الفرق الملحوظ في زمن الوصول OTDoA باستخدام إشارات تحديد الموقع المرجعية PRS. قام الباحثون بدراسة دقة تحديد الموقع والعوامل المؤثرة عليها من خلال المحاكاة في بيئة Matlab. تمثل المحاكاة نموذج لشبكة اتصالات نقالة مؤلفة من عدد من المحطات القاعدية eNodeBs، بالإضافة لنموذج للوصلة الراديوية لتمثيل إرسال واستقبال إشارات PRS، وآلية كشف الجوار وإجراء القياسات الزمنية اللازمة لحسابات OTDoA وتحديد الموقع. قام الباحثون باستقصاء دقة تحديد الموقع وفقاً لإعدادات قناة القياس المرجعية RMC، بالإضافة إلى أثر عدد كتل الموارد المخصصة لإشارات PRS.

**الكلمات المفتاحية:** شبكات التطور طويل الأمد LTE، تحديد موقع المستخدم، الفرق في أزمنة الوصول OTDoA، إشارات تحديد الموقع المرجعية PRS، الفرق الزمني للإشارة المرجعية RSTD، ماتلاب Matlab.

<sup>1</sup> طالب ماجستير في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق.

<sup>2</sup> أستاذ في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، قسم هندسة الالكترونيات والاتصالات، جامعة دمشق.

<sup>3</sup> كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، قسم هندسة الالكترونيات والاتصالات، جامعة دمشق.

# Accuracy Evaluation of User Positioning in Wireless Mobile Networks Using OTDoA Method and PRS

Eng. Suleiman Algannam

Prof. Dr. Mohammad Alhussein, Dr. Fawaz Mfadea

## Abstract

This research included a study of detection and user positioning techniques in mobile wireless networks. The research focused especially on the observed time difference of arrival (OTDoA) technique using the dedicated Positioning Reference Signals (PRS). Matlab simulation was adopted to investigate the positioning accuracy of user equipment. The simulation model includes: typical cellular network layout with spatially distributed eNodeBs (eNBs), link-level model simulates PRS transmission and reception, neighbours detection, and arrival time measurements for OTDoA calculations and positioning. The researchers investigated the positioning accuracy according to both the reference measurement channel (RMC) configurations, and the number of PRS resource blocks.

**Keywords:** LTE, UE Positioning, Observed time difference of arrival, Positioning reference signal (OTDoA), Reference signal time difference (RSTD), Matlab

## 1. مقدمة

يُعرّف نظام تحديد الموقع Localization/Positioning System بأنه نظام يقوم بتحديد المواقع الجغرافية لشخص أو لغرض بالنسبة لنظام إحداثيات معين، ومن ثم يمكن توثيق هذه الإحداثيات على خريطة. كانت في البداية حالات الإنقاذ والطوارئ هي الدافع الأساسي لتطوير خدمات تحديد الموقع، وتم وضع القواعد الناظمة التي تحدد متطلبات الدقة والثوقية. لم تقتصر تطبيقات تحديد الموقع على ماسبق، وإنما ظهرت لاحقاً العديد من التطبيقات التجارية التي تستخدم خدمات الموقع (مثل الفوترة، التسويق، وشبكات التواصل الاجتماعي).

تم الاهتمام بنظم تحديد الموقع المختلفة في العقود القليلة الماضية، وتركزت الأبحاث العلمية عليها بهدف تحسين دقة تحديد موقع الهدف، وتطوير خوارزميات معالجة إشارة فعالة تجمع بين الدقة في الكشف والتعقيد الحسابي المنخفض عند التطبيق العملي.

تعتمد تقنيات تحديد الموقع المستخدمة في الشبكات الخلوية على المبادئ الأساسية في التموضع Localization. يحسب المستقبل ضمن طرفية المستخدم User Equipment (UE) قياسات الإشارة وفقاً لإشارة أو إشارات متعلقة بمرسلات مرجعية ثم يحسب الموقع باستخدام خوارزمية معينة، كما هو مبين في الشكل (1)، حيث يمكن أن تكون المرسلات المرجعية سواتل ملاحية أو محطات قاعدية خلوية (Base Stations (BSs).

تعتبر الملاحة عبر الأقمار الصناعية التقنية الرئيسية لتحديد الموقع والتموضع، نظراً لتغطيتها العالمية ودقتها العالية. يتم استخدام تحديد الموقع القائم على الهواتف الخلوية المحمولة كحل مكمل، عندما يكون هناك نقص في رؤية الأقمار الصناعية بسبب اعتراض/ تخميد شديد لإشارات الأقمار الصناعية، وهو ما يحدث عادةً في البيئات المدنية Urban والبيئات الداخلية Indoor. يمكن استخدام كل من الوصلة الصاعدة

## دراسة دقة تحديد موقع المستخدم في الشبكات اللاسلكية النقالة بطريقة الفرق في

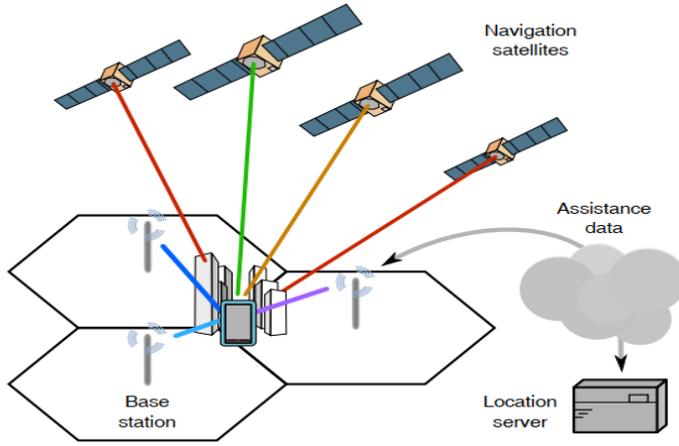
### أزمنة الوصول واستخدام إشارات PRS

والهابة بين الجهاز المحمول والمحطة القاعدية BS لهذا الغرض. يمكن تصنيف طرق تحديد المواقع إلى فئتين رئيسيتين اعتماداً على الطرق الذي يحسب الموقع، هاتين الفئتين هما [1][2]:

• اعتماداً على الجهاز المحمول Mobile Localization

• اعتماداً على الشبكة Network Localization

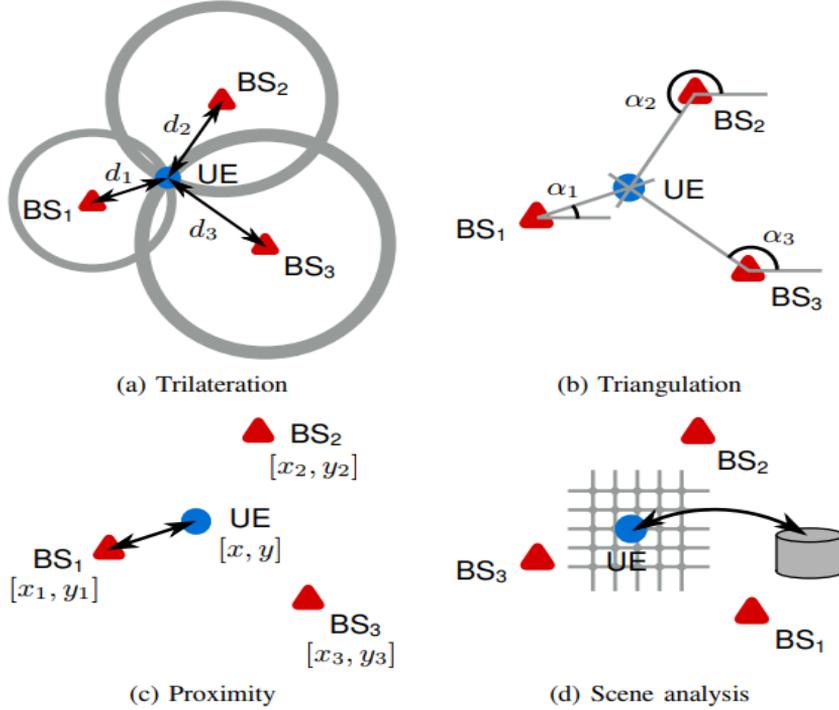
يمكن استخدام تقنيات مختلفة لحساب موقع الجهاز المحمول، وذلك بغض النظر عن طريقة تحديد الموقع، وذلك اعتماداً على مجموعة من الإشارات المرجعية والقياسات للإشارات الراديوية.



الشكل (1): البنية العامة لنظام تحديد موقع المستخدم في بيئة مدنية Urban [1].

### 1.1 تقنيات تحديد الموقع

يوضح الشكل (2) تقنيات تحديد الموقع الأساسية والتي تم تصنيفها كما يلي [1][2][3]:  
التثليث المساحي Trilateration، التثليث الزاوي Triangulation، القرب Proximity،  
تحليل المشهد Scene Analysis، طرق هجينة Hybrid.



الشكل (2): التقنيات الأساسية في تحديد الموقع: (أ) التثليث المساحي، (ب) التثليث الزاوي، (ج) تقنيات القرب، (د) وتقنيات تحليل المشهد [1].

## 2.1 الهدف من البحث:

يهدف هذا البحث إلى إجراء دراسة لدقة تحديد موقع المستخدم ضمن شبكات التطور طويل الأمد (Long Term Evaluation (LTE)، وذلك باعتماد طريقة الفرق في أزمنة الوصول (Observed Time Difference of Arrival (OTDoA) واستخدام إشارات

## دراسة دقة تحديد موقع المستخدم في الشبكات اللاسلكية النقالة بطريقة الفرق في

### أزمنة الوصول واستخدام إشارات PRS

تحديد الموقع المرجعية Positioning Reference Signals (PRS) لتنفيذ القياسات اللازمة لهذه الطريقة.

## 2. طريقة OTDoA لتحديد الموقع

تم تعريف طريقة (OTDoA) observed time difference of arrival في شبكات Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)، وتم دراستها في المعايير الأساسية في العام 1999. تنطوي هذه الطريقة تحت طرق التثليث المساحي، حيث يقوم المستخدم بقياس أزمنة وصول الإشارة من محطات قاعدية متعددة (عقد). تعتمد بشكل رئيسي على حساب قياسات المدى باستخدام قناة الإشارات المرشدة المشتركة Common Pilot Channel (CPICH)، ومن الممكن أن يتم حساب الموقع في كل من الجهاز المحمول أو عن طريق الشبكة؛ إلا أن هذه الطرائق تعاني بعض المشاكل في تحديد الموقع نتيجة لكل من المسارات المتعددة، مشكلة hearability، الشكل الهندسي لتغطية المحطات القاعدية، والتزامن ضمن الشبكة، مما يضيف تعقيد للشبكة وتكاليف إضافية عند التطبيق العملي لذلك لم يتم تطبيق هذه الطريقة في أي شبكة تجارية تستخدم نظام UMTS وتم الانتظار لحين ظهور شبكات التطور طويل الأمد Long Term Evolution (LTE) لتطبيق هذه الطريقة بشكل عملي.

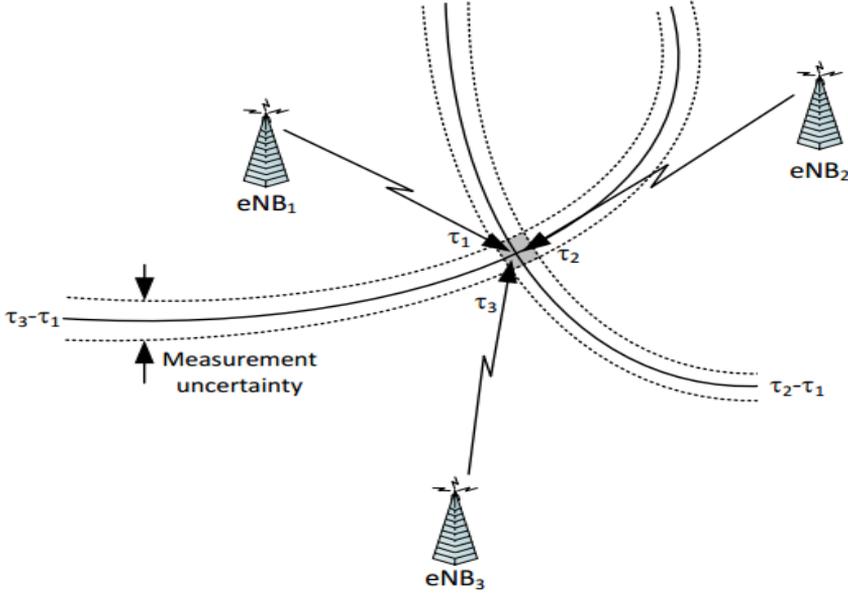
تم اعتماد هذه الطريقة في عام 2009 كطريقة لتحديد الموقع على الوصلة الهابطة في الإصدار التاسع Rel 9 من نظام LTE [6][5][4]. حيث يتم حساب قياسات المدى ضمن الجهاز المحمول باستخدام إشارات مرجعية مخصصة لحساب الموقع وتدعى هذه

الإشارات (PRS) Positioning Reference Signals؛ وقد تم تحديد مواصفات هذه الإشارات من حيث الاستطاعة، الامتداد الزمني، وعرض المجال الترددي اللازم، إضافةً لاستخدام أنماط محدّدة patterns في الإشارات المرسلّة بهدف تقليل التداخل بين الخلايا. أظهرت العديد من الدراسات [8][7][5] الحصول على دقة أفضل من 20 m في 50% من الحالات المدروسة، و 63 m من أجل 95% من الحالات المدروسة من أجل عرض مجال ترددي 20 MHz.

## 1.2 المبدأ الرياضي لقياسات الفرق في أزمنة الوصول

يبين الشكل (3) مبدأ عمل طريقة OTDoA، حيث يتم طرح أزمنة وصول إشارات عقد الجوار إلى جهاز المستخدم من زمن وصول إشارة العقدة المرجعية للحصول على قيم OTDoAs. هندسياً، يمثل كل فرق زمني (أو بشكل مكافئ فرق مسافة) معادلة قطع في المستوى، وتمثل نقطة تقاطع هذه القطوع موقع المستخدم.

دراسة دقة تحديد موقع المستخدم في الشبكات اللاسلكية النقالة بطريقة الفرق في  
أزمنة الوصول واستخدام إشارات PRS



الشكل (3): مبدأ عمل طريقة OTDoA [4].

في الشكل (3)، يقيس المستخدم ثلاث أزمنة وصول بالنسبة لتوقيته الداخلي هي  $\tau_1, \tau_2, \tau_3$ . يتم اختيار زمن الوصول من العقدة الأولى كقاعدة مرجعية لحساب OTDoA لنحصل على:  $t_{2,1} = \tau_2 - \tau_1$  و  $t_{3,1} = \tau_3 - \tau_1$ . بما أن قياس كل زمن  $\tau_i$  يتم بدقة معينة أو بارتياح محدد، بالتالي يُمثل كل قطع بعرض محدد يعبر عن هذا الارتياح في القياس، ويكون في هذه الحالة موقع المستخدم هو منطقة تقاطع هذه القطوع.

بافتراض وجود N عقدة بمواقع معلومة مسبقاً، وأنه بإمكاننا قياس زمن الوصول TOA لإشارة مرسله من المستخدم عند كل عقدة من العقد. لنرمز لكل زمن من هذه الأزمنة بالرمز  $t_i$  وهو زمن الوصول للعقدة i.

بافتراض أن جميع العقد متزامنة، ولتكن  $t_M$  هي لحظة إرسال الإشارة، وليكن  $\tau_i$  هو زمن الانتشار بين المستخدم والعقدة  $i$  الموجودة في الموقع  $(x_i, y_i)$ . لتكن  $d_i$  هي المسافة بين المستخدم والعقدة  $i$ . وفقاً لهذه التعريفات يمكن كتابة المعادلة التالية التي تربط القياس  $t_i$  بموقع المستخدم  $(x, y)$  [4]:

$$(1)$$

$$t_i = \tau_i + t_M$$

$$t_i = \frac{d_i}{c} + t_M$$

$$t_i = \frac{\sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2}}{c} + t_M$$

من الواضح أن هذه المعلومة بمفردها لا يمكن من حساب موقع المستخدم، حيث يوجد معادلة واحدة بثلاثة مجاهيل  $(x, y, t_M)$ . ولكن بأخذ الفرق بين قياسين  $t_i, t_j$  من عقدتين مختلفتين  $(i \neq j)$ ، يمكن اختزال المجهول  $t_M$  كما يلي:

$$(2)$$

$$t_i - t_j = \tau_i + t_M - (\tau_j - t_M)$$

$$t_i - t_j = \tau_i - \tau_j$$

$$t_i - t_j = \frac{d_i}{c} - \frac{d_j}{c}$$

$$t_i - t_j = \frac{\sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} - \sqrt{(x_j - x)^2 + (y_j - y)^2}}{c}$$

أي أنه أصبح لدينا معادلة بمجهولين لها عدد لانهائي من الحلول  $(x, y)$ . بتطبيق نفس العملية لأجل القياس عند عقدة ثالثة يمكن الحصول على معادلتين بمجهولين كما يلي:

دراسة دقة تحديد موقع المستخدم في الشبكات اللاسلكية النقالة بطريقة الفرق في  
أزمنة الوصول واستخدام إشارات PRS

(3)

$$t_i - t_j = \frac{\sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} - \sqrt{(x_j - x)^2 + (y_j - y)^2}}{c}$$
$$t_i - t_k = \frac{\sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} - \sqrt{(x_k - x)^2 + (y_k - y)^2}}{c}$$

رياضياً، تقبل المعادلتين السابقتين حلاً أو حلين. أما عملياً فيوجد حل وحيد لها، لذلك يتم عادةً أخذ قياس إضافي لضمان عدم وجود حلول متعددة للمسألة السابقة.

عملياً، يقوم جهاز المستخدم في أنظمة الجيل الرابع LTE بإجراء قياس مخصص لغرض تحديد الموقع على إشارة مخصصة. تدعى هذه العملية بعملية قياس الفرق الزمني للإشارة المرجعية (RSTD) reference signal time difference measurement معرفة ضمن قياسات الطبقة الفيزيائية وفقاً لـ 3GPP TS 36.214 [4].

## 2.2 إشارات تحديد الموقع المرجعية PRS

يمكن بشكل عام تنفيذ قياسات RSTD السابقة على أي إشارات في الوصلة الهابطة Down Link (DL) (كإشارات التزامن على سبيل المثال). من ناحية أخرى، تعاني هذه الإشارات من ضعف في إمكانية رصدها، والتي تمثل جوهر عملية تحديد الموقع في OTDoA عندما يتوجب على جهاز المستخدم كشف الإشارات من عدة خلايا جوار [4].

يمكن اعتبار الإشارات المستقبلية من خلية الجوار، بما فيها إشارات التزامن والإشارات المرجعية، قابلة للكشف عندما تكون نسبة الإشارة للتداخل والضجيج، أو بمعنى آخر

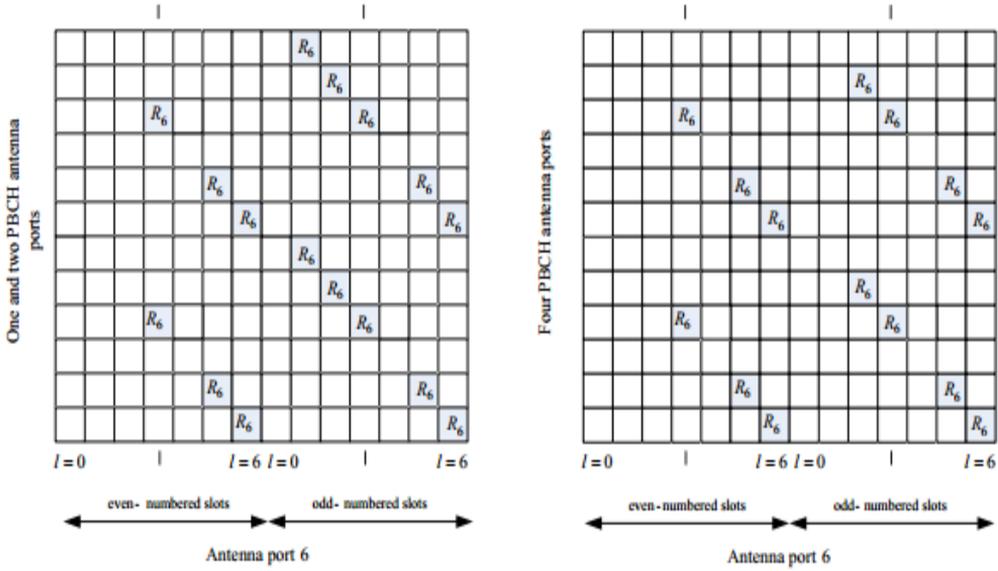
Signal-to-Interference and Noise Ratio (SINR) على الأقل 6 dB-. ولكن في عملية تحديد الموقع، لا يعتبر هذا الحد كافياً لكشف العدد المناسب من خلايا الجوار المتباعدة جغرافياً.

نتيجةً لما سبق، تم اقتراح استخدام إشارات خاصة لعملية تحديد الموقع هي إشارات تحديد الموقع المرجعية (PRS) Positioning Reference Signal لتمكين جهاز المستخدم من إجراء قياسات المدى على إشارات من محطة الخلية بهدف تحسين أداء عملية تحديد الموقع باستخدام طريقة الفرق في أزمنة الوصول OTDoA.

يبين الشكل (4) مواقع عناصر الموارد لإشارات تحديد الموقع PRS في حالة البادئة الدوّارة العادية. يمثل كل مربع في الشكل (4) عنصر موارد ذو ترتيب  $k$  على المجال الترددي و ترتيب  $l$  على المجال الزمني. تمثل المربعات الموسومة بالرمز  $R_6$  مواقع عناصر الموارد المخصصة لإشارات تحديد الموقع PRS ضمن كتلة موارد مؤلفة من 12 حامل فرعي و 12 أو 14 رمز OFDM.

## دراسة دقة تحديد موقع المستخدم في الشبكات اللاسلكية النقالة بطريقة الفرق في

### أزمنة الوصول واستخدام إشارات PRS



الشكل (4): مواقع عناصر الموارد لإشارات تحديد الموقع PRS في حالة البادئة الدوّارة العادية.

### 3. المحاكاة في ماتلاب

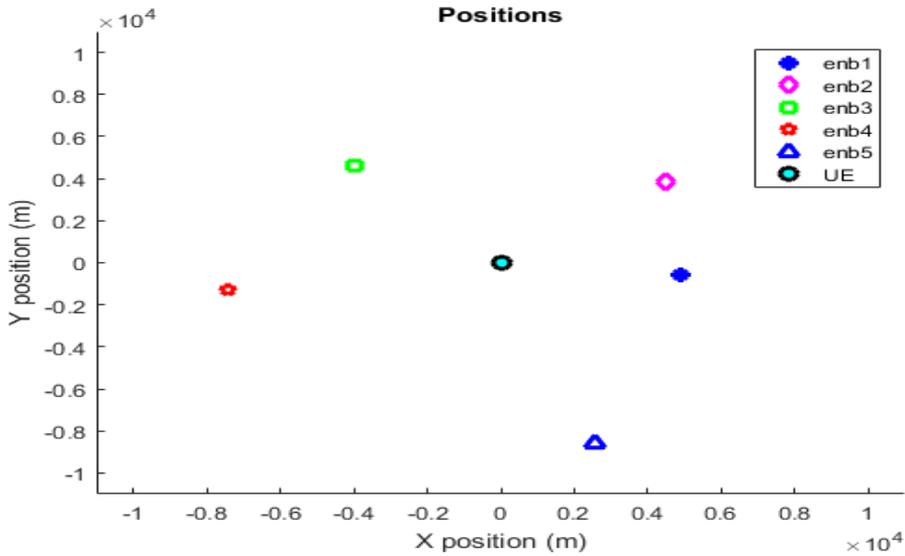
#### 1.3 طريقة المحاكاة

تم تصميم نموذج لمحاكاة شبكة مؤلفة من عدد من المحطات القاعدية eNodeB. تفترض المحاكاة وجود مستخدم وحيد يستقبل مجمل الإشارات المرسلّة من المحطات القاعدية مقرونةً بتأخيرات زمنية واستطاعات مختلفة. يقوم جهاز المستخدم بحساب الترابط على إشارات تحديد الموقع PRS لإيجاد التأخير الزمني لكل محطة قاعدية، بالإضافة إلى حساب فرق التأخير الزمني بين كل زوجين من المحطات القاعدية. تُستخدم هذه الفروقات الزمنية لحساب القطوع ورسمها بالنسبة لمواقع المحطات القاعدية المعلومة بحيث تمثل نقطة تقاطع هذه القطوع الموقع المكتشف للمستخدم.

### 2.3 إعداد المحطات القاعدية في المحاكاة

تم إعداد المحطات القاعدية eNodeBs بحيث يكون لكل منها معرف خلية وحيد CellID. كما تم ضبط معاملات إشارة تحديد الموقع المستخدمة. يبين الجدول (1) خيارات الإعداد الابتدائية لقناة القياس المرجعية reference measurement channel (RMC) على الوصلة الهابطة وفقاً للتوصيف الوارد في المعيار TS 36.101, Annex A.3 [9].

تتوزع مواقع المحطات القاعدية (x,y) بشكل عشوائي حول المستخدم الموجود في مركز الإحداثيات (0,0). يبين الشكل (5) مثالاً لحالة شبكة مؤلفة من 5 محطات قاعدية.



الشكل (5): مثال لحالة شبكة مؤلفة من 5 محطات قاعدية مع مستخدم بمركز الإحداثيات.

دراسة دقة تحديد موقع المستخدم في الشبكات اللاسلكية النقالة بطريقة الفرق في

أزمنة الوصول واستخدام إشارات PRS

الجدول (1): خيارات الإعداد الابتدائية لقناة القياس المرجعية RMC.

RMC	NDLRB	Modulation	Cyclicprefix
R.0	15	16QAM	Normal
R.1	50	16QAM	Normal
R.2	50	QPSK	Normal
R.3	50	16QAM	Normal
R.4	6	QPSK	Normal
R.5	15	64QAM	Normal
R.6	25	64QAM	Normal
R.7	50	64QAM	Normal
R.8	75	64QAM	Normal
R.9	100	64QAM	Normal
R.25	50	QPSK	Normal
R.26	50	16QAM	Normal
R.27	50	64QAM	Normal
R.28	50	16QAM	Normal
R.6-27RB	27	64QAM	Normal

تبدأ عملية الإرسال بتشكيل بنية موارد فارغة resource grid لكل محطة قاعدية، ثم تشكيل إشارة تحديد الموقع PRS، وإشارة التزامن الأولية Primary Synchronisation Signal (PSS)، وإشارة التزامن الثانوية Secondary Synchronisation Signal (SSS)، وإشارة المرجعية للخلية Cell-specific Reference Signal (Cell RS)، ثم

توزيع هذه الإشارات ضمن بنية الموارد. أخيراً يتم تعديل بنية الموارد بتعديل OFDM لتشكيل الموجة المرسلّة.

### 3.3 قناة الانتشار

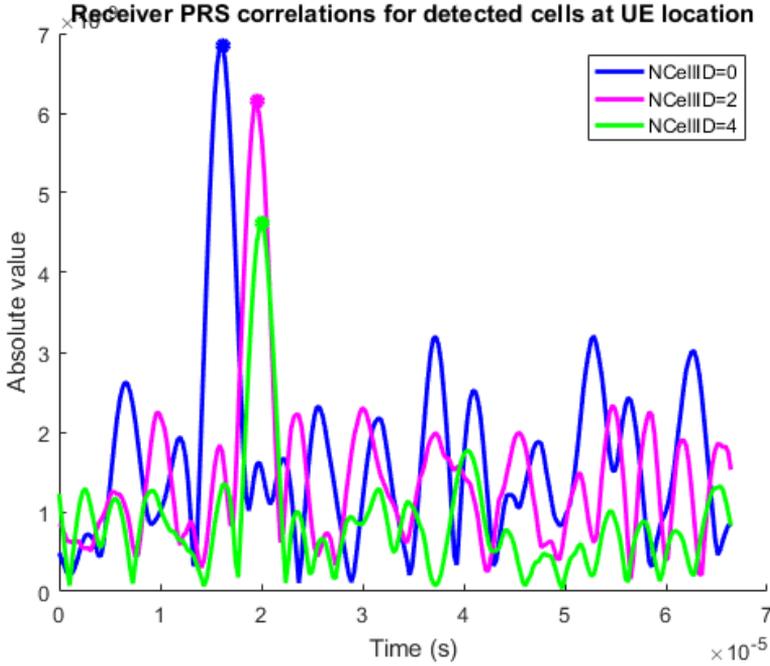
يعتمد حساب التأخير الزمني لإشارة كل محطة قاعدية على المسافة بين المستخدم والمحطة القاعدية وسرعة الضوء، وبمعرفة معدل النقطيع يتم إيجاد التأخير الزمني للعينات عند المستقبل. في المقابل، يتم تمثيل أثر قناة الانتشار بالاعتماد على نموذج فقد المسار Urban Macro Line Of Sight (LOS) path loss الموصف في المعيار [10]. GPP TR 36.8143.

### 4.3 كشف الجوار وتحديد الموقع

يستقبل جهاز المستخدم مجموع الإشارات المرسلّة من المحطات القاعدية بعد انتشارها ضمن القناة. يقوم جهاز المستخدم بإجراء بحث لكشف الخلايا المحيطة. تعتمد عملية كشف الخلايا المحيطة على إشارتي التزامن الأولية والثانوية، حيث يتم ترتيب الخلايا المكتشفة وفقاً لمطال الترابط المنفذ على هذه الإشارات بدلاً من معيار استطاعة الإشارة المستقبلية المعروف (Reference Signal Received Power (RSRP)، ومن ثم إجراء قياس لجودة الإشارة المستقبلية (Reference Signal Received Quality (RSRQ) حيث تُعتبر الخلية مرئية (مكتشفة) للمستخدم إذا حققت الشرط  $RSRQ > -20$  dB.

بعد تحديد قائمة خلايا الجوار المحيطة لدى جهاز المستخدم، يقوم بقياس زمن وصول الإشارة من كل خلية جوار عبر إجراء ترابط للإشارة المستقبلية مع إشارة PRS مولدة محلياً لأجل كل معرّف خلية. يُستخدم الترابط عند قيمة القمة لتقدير التأخير الزمني وحساب فرق أزمنة الوصول كما يبين الشكل (6).

دراسة دقة تحديد موقع المستخدم في الشبكات اللاسلكية النقالة بطريقة الفرق في  
أزمنة الوصول واستخدام إشارات PRS



الشكل (6): حسابات الترابط مع إشارات PRS للخلايا المكتشفة عند المستخدم.

باستخدام الفروقات الزمنية للوصول بين كل زوجين من المحطات القاعدية، يتم رسم قطوع مراكزها هي مواقع المحطات القاعدية، وتتقاطع بيانياً عند موقع المستخدم المطلوب. بالحل المشترك لمعادلات القطوع وفقاً لـ [11][12] نحصل على إحداثيات الموقع المكتشف.

#### 4. دراسة أداء OTDoA

تهدف هذه الفقرة إلى دراسة أداء تحديد الموقع بطريقة OTDoA وباستخدام إشارات PRS في شبكات التطور طويل الأمد وفقاً لإعدادات قناة القياس المرجعية RMC، وعدد كتل الموارد المحجوزة لإشارات تحديد الموقع NPRSRB.

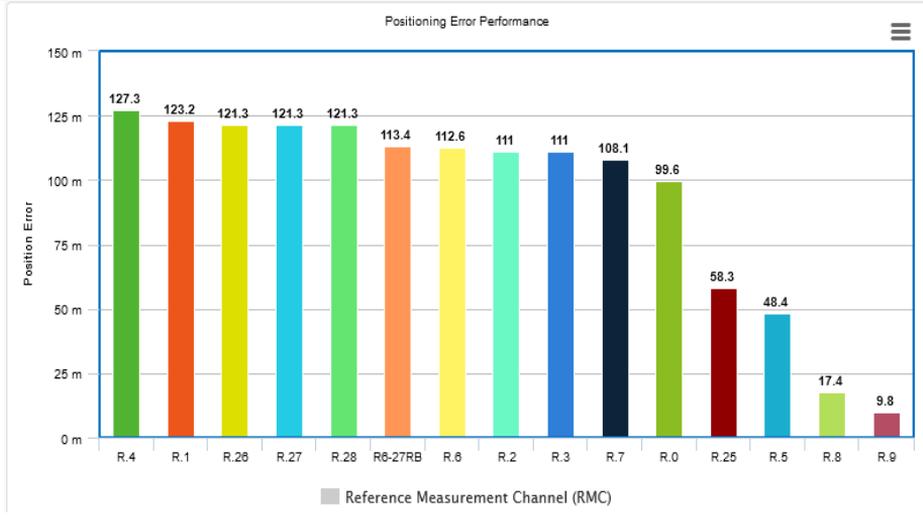
#### 1.4 الأداء وفقاً لإعدادات قناة القياس RMC

باستخدام إعدادات مختلفة لقناة القياس المرجعية الواردة في الجدول (1)، مع الأخذ بعين الاعتبار الشروط التالية:

- شبكة مؤلفة من 5 محطات قاعدية eNodeB.
- نموذج الانتشار Urban Macro Line Of Sight (LOS) path loss.
- عدد كتل الموارد المحجوزة لإشارات تحديد الموقع (NPRSRB = 2).
- عدد مرات المحاكاة العشوائية 1000 مرة.

يبين الشكل (7) نتائج الأداء لخطأ المسافة الوسطي بين الموقع الحقيقي للمستخدم والموقع المكتشف. نلاحظ أن الإعدادات 'R.9' لقناة القياس المرجعية تحقق أفضل دقة بخطأ وسطي للمسافة بين الموقع الحقيقي والموقع المكتشف 9.8 m، تليها 'R.8' بخطأ وسطي 17.4 m، حيث يكون عرض حزمة القناة على الوصلة الهابطة لهاتين الحالتين مساوياً 20 MHz و 15 MHz على الترتيب. بينما يزداد الخطأ الوسطي لأجل بقية الحالات من 50 m إلى 127 m، وهو ما يؤكد الاستنتاجات الواردة في الدراسة [5] والتي تنص على أن طرائق تحديد الموقع المعتمدة على القياسات الزمنية تكون ذات دقة أقل في الأنظمة ذات تردد التقطيع المنخفض. عموماً، تقع نتائج الأداء في هذه الحالة ضمن الحدود المقبولة لدقة تحديد الموقع [50 – 150]m كما هو الحال في [7].

دراسة دقة تحديد موقع المستخدم في الشبكات اللاسلكية النقالة بطريقة الفرق في  
أزمنة الوصول واستخدام إشارات PRS



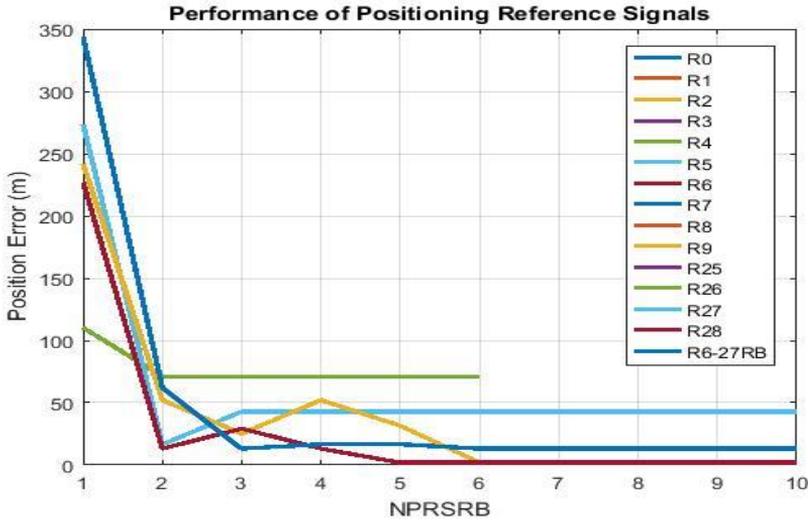
الشكل (7): نتائج الأداء لتحديد الموقع باستخدام إعدادات مختلفة لقناة القياس المرجعية وعدد ثابت من كتل الموارد NPRSRB=2.

#### 2.4 أثر عدد كتل الموارد المخصصة لإشارات تحديد الموقع NPRSRB

تم في هذه الفقرة دراسة الأداء تبعاً لعدد كتل الموارد المحجوزة لإشارات تحديد الموقع PRS، والتي يشار إليها بالمعامل NPRSRB وفق الشروط التالية:

- شبكة مؤلفة من 5 محطات قاعدية eNodeB.
- نموذج الانتشار Urban Macro Line Of Sight (LOS) path loss.
- عدد مرات المحاكاة العشوائية مرة واحدة لكل قيمة NPRSRB مختلفة (لأن الهدف في هذه المحاكاة ليس الحصول على قيمة وسطية لخطأ المسافة، وإنما مراقبة أثر تغيير NPRSRB على قيمة الخطأ في نفس الحالة العشوائية للشبكة).

يبين الشكل (8) أثر تغيير عدد كتل الموارد لإشارات تحديد الموقع PRS على نتائج الأداء لخطأ المسافة الوسطي بين الموقع الحقيقي للمستخدم والموقع المكتشف.



الشكل (8): تأثير عدد كتل الموارد لإشارات تحديد الموقع على دقة تحديد الموقع.

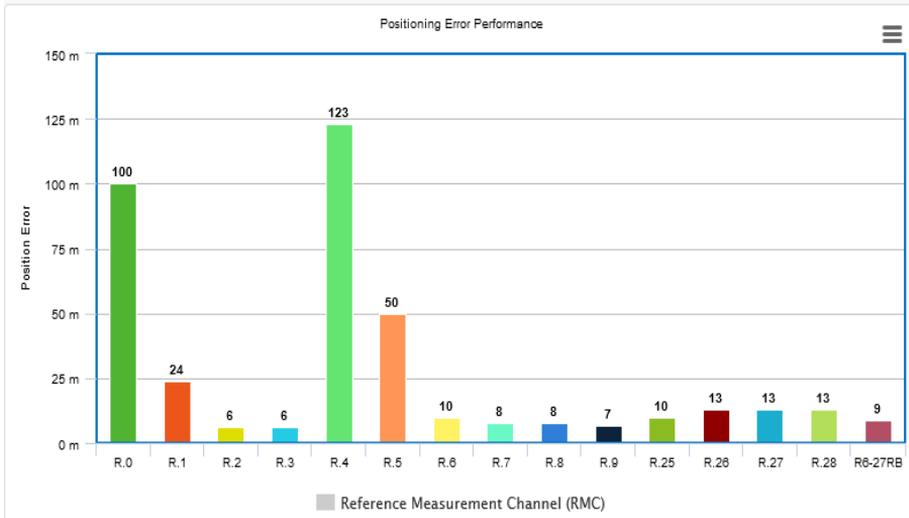
من الواضح أن زيادة عدد كتل الموارد لإشارات تحديد الموقع تؤدي إلى رفع دقة تحديد الموقع بالاعتماد على هذه الإشارات (أو بمعنى آخر انخفاض خطأ المسافة الوسطي)، بما يتوافق مع نتائج الدراسة [5] حيث أدت زيادة عدد كتل الموارد المخصصة لإشارات تحديد الموقع إلى تحسين الأداء لأجل مختلف نماذج القنوات المدروسة. كما نلاحظ أن زيادة NPRSRB تصبح بدون تأثير على الدقة بعد قيمة محددة وجدنا أنها مساوية للقيمة  $(NPRSRB = 6)$ ، والتي يتحقق عندها أقل خطأ في المسافة لأجل معظم الإعدادات لقناة القياس المرجعية، عدا الحالات  $(R.0, R.4, R.5)$  التي تحقق أفضل أداء عند  $(NPRSRB = 2)$ . في الحالات  $(R.0, R.4, R.5)$  يكون عدد كتل الموارد على الوصلة الهابطة  $(15, 6, 15)RB$  على الترتيب، بالتالي زيادة كتل الموارد لإشارات تحديد الموقع

## دراسة دقة تحديد موقع المستخدم في الشبكات اللاسلكية النقالة بطريقة الفرق في

### أزمنة الوصول واستخدام إشارات PRS

PRS سيكون على حساب إشارات التزامن الأولية والثانوية PSS, SSS والإشارة المرجعية Cell-RS التي يعتمد عليها جهاز المستخدم في كشف محطات الجوار.

بإعادة دراسة الحالة في الفقرة السابقة (1.4) مع إعادة ضبط المعامل NPRSRB إلى القيم الأمثلية التي حصلنا عليها. يبين الشكل (9) نتائج الأداء لخطأ المسافة الوسطي بين الموقع الحقيقي للمستخدم والموقع المكتشف عند استخدام القيم الأمثلية للمعامل NPRSRB.



الشكل (9): نتائج الأداء لتحديد الموقع باستخدام إعدادات مختلفة لقناة القياس المرجعية والعدد الأمثلي للمعامل NPRSRB.

بالمقارنة مع نتائج الأداء في الشكل (7) نلاحظ التحسن الكبير الملحوظ على دقة تحديد الموقع لأجل كل حالات الإعدادات الممكنة لقناة القياس المرجعية، وذلك عند ضبط المعامل NPRSRB إلى القيم الأمثلية التي حصلنا عليها. يبين الجدول (2) مقارنة لدقة تحديد الموقع بين الحالتين ونسبة التحسين الحاصلة.

الجدول (2): مقارنة دقة تحديد الموقع.

نسبة التحسين (%)	وسطي خطأ المسافة باستخدام NPRSRB الأمثلي (m)	وسطي خطأ المسافة باستخدام NPRSRB = 2 (m)	إعدادات قناة القياس المرجعية
81	24	123	'R1'
94	6	111	'R2'
94	6	111	'R3'
91	10	113	'R6'
93	8	108	'R7'
54	8	17	'R8'
30	7	10	'R9'
82	10	58	'R25'
89	13	121	'R26'
89	13	121	'R27'
89	13	121	'R28'
92	9	113	'R6-27RB'

## دراسة دقة تحديد موقع المستخدم في الشبكات اللاسلكية النقالة بطريقة الفرق في أزمنة الوصول واستخدام إشارات PRS

---

### 5. الخلاصة

وجدنا أن دقة تحديد الموقع باستخدام طريقة OTDoA في شبكات التطور طويل الأمد تتغير وفقاً لإعدادات قناة القياس المرجعية المستخدمة، حيث تكون دقة تحديد الموقع أقل في الأنظمة ذات تردد النقطيع المنخفض، كما أن زيادة عدد كتل الموارد المخصصة لإشارات تحديد الموقع PRS تؤدي إلى رفع دقة تحديد الموقع بالاعتماد على هذه الإشارات. بما أن طريقة OTDoA تعتمد أساساً على قياس أزمنة وصول إشارات PRS من المحطات القاعدية إلى جهاز المستخدم، بالتالي فإن عملية تحسين دقة هذه الطريقة تبدأ من تحسين دقة قياس أزمنة الوصول. إن الاعتماد على كشف قمة الترابط لتحديد زمن وصول الإشارة قد لا يكون مناسباً وخصوصاً في ظروف الخفوت الشديد حيث ليس بالضرورة أن يكون المسار الأقوى هو المسار الأول. بالتالي يمكن تحسين دقة قياس أزمنة الوصول من خلال تطبيق تقنيات لكشف المسار الأول للإشارة. بالإضافة لما سبق، يجب دراسة إمكانية تحسين دقة تحديد الموقع بزيادة عدد الأطر الفرعية التي تتضمن إشارات PRS.

المراجع:

- [1] del Peral-Rosado, José A., et al. "Survey of cellular mobile radio localization methods: From 1G to 5G." *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 20.2 (2017): 1124-1148.
- [2] Campos, Rafael Saraiva. "Evolution of positioning techniques in cellular networks, from 2G to 4G." *Wireless Communications and Mobile Computing* 2017 (2017).
- [3] Zekavat, Reza, and R. Michael Buehrer. *Handbook of position location: Theory, practice and advances*. Vol. 27. John Wiley & Sons, 2011.
- [4] Fischer, Sven. "Observed time difference of arrival (OTDOA) positioning in 3GPP LTE." *Qualcomm White Pap* 1.1 (2014): 1-62.
- [5] Alhafid, Abdulrahman Kh, and Sedki Younis. "Observed Time Difference of Arrival Based Position Estimation for LTE Systems: Simulation Framework and Performance Evaluation." *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 3.9 (2020): 105.
- [6] Pan, Guangjin, et al. "Deep Learning based OTDOA Positioning for NB-IoT Communication Systems." *arXiv preprint arXiv:2004.05008* (2020).
- [7] El Mourabit, Ilham, et al. "Performance of Enhanced LTE OTDOA Positioning Approach Through Nakagami-m Fading Channel." *International Symposium on Ubiquitous Networking*. Springer, Cham, 2017.
- [8] Sivers, Mstislav, and Grigoriy Fokin. "LTE positioning accuracy performance evaluation." *Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems*. Springer, Cham, 2015. 393-406.
- [9] 3GPP TS 36.101. "User Equipment (UE) radio transmission and reception." 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA). URL: <http://www.3gpp.org>.

دراسة دقة تحديد موقع المستخدم في الشبكات اللاسلكية النقالة بطريقة الفرق في

أزمنة الوصول واستخدام إشارات PRS

---

[10] 3GPP TR 36.814 "Further advancements for E-UTRA physical layer aspects". URL: <http://www.3gpp.org>

[11] Vesely, Jiri, Libor Drazan, and Petr Hubacek. "Analytical solution of the Time Difference Of Arrival method with known target altitude." *2014 15th International Radar Symposium (IRS)*. IEEE, 2014.

[12] Vesely, Jiri, and Sang Van Doan. "Analytical method solving system of hyperbolic equations." *2015 25th International Conference Radioelektronika (RADIOELEKTRONIKA)*. IEEE, 2015.