

## التسليم الرأسي في الشبكات اللاسلكية غير المتجانسة

أنس محمود الحريري<sup>1</sup>، د.م. محمد إياد الخياط<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ماجستير في قسم النظم والشبكات الحاسوبية في كلية الهندسة المعلوماتية - جامعة دمشق.

<sup>2</sup>دكتور مدرس في قسم النظم والشبكات الحاسوبية في كلية الهندسة المعلوماتية - جامعة دمشق.

### الملخص

يتم تصنيف الاتصالات اللاسلكية إلى أجيال مختلفة من الشبكات كل جيل أحدث ثورة في مجال الاتصالات المتحركة، وتم تطوير التقنيات اللاسلكية بمعايير مختلفة وهذه التقنيات تقدم معدلات بيانات مختلفة، ومنطقة تغطية ومجموعة متنوعة من الخدمات. وقد أدى ذلك إلى زيادة الطلب على خدمات الاتصالات اللاسلكية، ومعدل البيانات وأصبحت القدرة على الوصول اللاسلكي في أي مكان وفي أي وقت توقعاً شائعاً؛ لأنها توفر قدراً كبيراً من المرونة والحرية في التنقل وبالتالي يتم تقديم مفهوم الشبكة اللاسلكية غير المتجانسة لتلبية هذا الطلب، ولتحقيق التنقل في بيئة الشبكات اللاسلكية غير المتجانسة لأي جهاز محمول يتطلب اتصالاً وتسليم سلس باستخدام التسليم الرأسي. يعتبر التسليم الرأسي أحد آليات التحسين التي تلعب دوراً رئيسياً في الشبكات اللاسلكية غير المتجانسة، حيث يتم نشر الشبكات غير المتجانسة على نطاق واسع لتحسين معدل التغطية وزيادة سعة الاتصال، ويأخذ التسليم في الاعتبار إمكانية تنقل المستخدم في شبكة الهاتف المحمول ويضمن استمرارية الخدمات اللاسلكية إذا قام مستخدم الهاتف المحمول بتغيير موقعه عبر الحدود الخلوية. في هذه الورقة تم اقتراح قراراً محسناً للتسليم الرأسي باستخدام مقاييس متعددة المعايير في بيئة شبكة غير المتجانسة تتكون من 4 شبكات لاسلكية: Wi-Fi، WIMAX، 4G، 5G. يلعب اختيار المعلمات دوراً مهماً في قرار التسليم الرأسي، وتعتمد بعض المعلمات على الهاتف المحمول وبعضها يعتمد على ظروف الشبكة، وتم اقتراح خوارزمية قرار التسليم الرأسي المبنية على نموذج القرار المنطقي الضبابي والذي يحتوي على ست معلمات لقرار التسليم الرأسي: قوة الإشارة، جودة الخدمة، سرعة الهاتف المحمول، فئة حركة المرور، كلفة الشبكة اللاسلكية وإشغال الشبكة. المعلمات هي المدخلات لاتخاذ القرار المبني على المنطق الضبابي وكمخرج، ويتم اختيار أفضل شبكة، وتظهر نتائج المحاكاة على منصة MATLAB و++OMNET تحسن في الأداء، كما تم تقليل عدد عمليات التسليم غير الضرورية، حيث أن خوارزمية التسليم الرأسي المقترحة لها معدل نجاح تسليم رأسي يصل إلى 99% وتحقق تسليمًا فعالاً واتصالاً سلساً بين الشبكات اللاسلكية غير المتجانسة، واحتمالية الانقطاع بالخدمة تصل إلى 1%.

تاريخ الإيداع: 2022/6/1

تاريخ القبول: 2022/8/31



حقوق النشر: جامعة دمشق - سورية،

يحفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب

الترخيص CC BY-NC-SA 04

**الكلمات المفتاحية:** الشبكات اللاسلكية غير المتجانسة، التسليم الرأسي، استمرارية الخدمات، القرار المنطقي الضبابي.

## Vertical Handover In Wireless Heterogeneous Networks

Anas Mahmoud Al Hariri<sup>1</sup>, Dr. Mhd Iyad Alkhayat<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Master's degree in Computer Systems and Networks Department, Faculty of Informatics Engineering - Damascus University.

<sup>2</sup>Lecturer in the Department of Computer Systems and Networks at the Faculty of Informatics Engineering - Damascus University.

### Abstract

Wireless communications are classified into different generations of networks, each generation revolutionizing the field of mobile communications. Wireless technologies have been developed with different standards and these technologies offer different data rates, coverage area and a variety of services. This has led to an increase in the demand for wireless communication services and data rate and the ability to access wireless anywhere and at any time has become a popular expectation because it provides a great deal of flexibility and freedom of movement and thus the concept of a heterogeneous wireless network is introduced to meet this demand. To achieve mobility in the heterogeneous wireless networking environment of any mobile device requires seamless connectivity and handover using vertical handover. Vertical handover is one of the optimization mechanisms that plays a major role in heterogeneous wireless networks, where heterogeneous networks are deployed on a large scale to improve the coverage rate and increase the capacity of the connection. Handover takes into account the user's mobility in the mobile network and ensures continuity of wireless services if the mobile user changes their location across cellular boundaries. In this paper an optimized resolution of vertical handover is proposed using multi-parameter metrics in a heterogeneous network environment consisting of 4 wireless networks: Wi-Fi, WIMAX, 4G, 5G. The choice of parameters plays an important role in the vertical handover decision, some parameters depend on the mobile phone and some depend on network conditions. The vertical handover decision algorithm is proposed based on the fuzzy logic model which contains six parameters for the vertical handover decision: signal strength, quality of service, mobile speed, traffic class, wireless network cost and network occupancy. Parameters are the inputs for fuzzy logic decision making and as an output, the best network is selected. Simulation results on the MATLAB and OMNET++ platform show improved performance, and the number of unnecessary deliveries has been reduced. The proposed vertical handover algorithm has a vertical handover success rate of 99% and achieves efficient handover and seamless connection between heterogeneous wireless networks. And the probability of service interruption is up to 1%.

**Keywords:** Heterogeneous Wireless Networks, Vertical Handoff, Continuity Of Services, Fuzzy Logical Decision.

Received: 1/6/2022

Accepted: 31/8/2022



**Copyright:** Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

## 1. المقدمة

مع التطور السريع لتكنولوجيا الشبكات اللاسلكية والتقدم السريع في تكنولوجيا الوصول إلى الشبكة في بنية التقارب غير المتجانسة، توجد العديد من أنواع الشبكات اللاسلكية المختلفة في وقت واحد، وتتنافس الشبكات المختلفة وتتكامل مع بعضها البعض، مما يؤدي إلى تعايش أنواع متعددة من الشبكات، وفي ذات الوقت يتزايد الطلب على معدل البيانات وقدرة حركة الاتصالات المتنقلة بسرعة؛ وبالتالي يتم تقديم مفهوم الشبكة غير المتجانسة لتلبية هذا الطلب من أجل التكيف مع المتطلبات المختلفة للمستخدمين وتطوير أنواع مختلفة من الخدمات.

تشكل الشبكات اللاسلكية ذات البنى المختلفة شبكة متكاملة متعددة غير المتجانسة. [1] في شبكة غير المتجانسة تعد ميزة التنقل ضرورية؛ لأن الجوال يجب أن تكون قادرة على التجوال في جميع أنحاء الشبكة وقادرة على الاتصال بتقنيات الوصول الراديوية المختلفة.

يتيح توفر تقنيات الشبكة المختلفة للمستخدمين الوصول إلى المعلومات في أي وقت وفي أي مكان مع منحهم الفرصة لاختيار التقنيات التي تناسبهم بأفضل شكل. علاوة على ذلك تسمح أجهزة الاتصال في الشبكات غير المتجانسة، مثل المحطات الأساسية ونقاط الوصول، وبزيادة سعة الشبكة لخدمة عدد أكبر من المستخدمين، وبالتالي فإن الخصوصية الرئيسية لهذه الشبكات هي طريقة التبديل بين تقنيات الشبكات المختلفة، ويتوقع المستخدمون في المستقبل أن تكون أجهزتهم المحمولة قادرة على اكتشاف التقنيات اللاسلكية المختلفة المتاحة واختيار أنسبها استناداً إلى المعلومات التي يمكن للمجمع أن يجمعها حول الخلايا المجاورة.

ولهذا الغرض تم اقتراح بروتوكولات تسليم رأسية، من بين هذه البروتوكولات، نذكر البروتوكول IEEE 802.21 وهو معيار IEEE. [2][3]، وبشكل عام تتضمن أي عملية التسليم الرأسي

ثلاث خطوات رئيسية، الأولى: هي اكتشاف الشبكة حيث يقوم الجوال بجمع المعلومات حول الجوار الخاص بها ونقاط الوصول التي يمكن الوصول إليها من موقعها، أما في الخطوة الثانية: يطلب الجوال من نقاط الوصول حول توافر الموارد والقدرة على تغطية احتياجاتها من حيث جودة الخدمة، وتتمثل الخطوة الثالثة والأخيرة في اختيار أفضل شبكة متاحة يمكن الاتصال بها.

إن كل تقنية لاسلكية داخل شبكة غير المتجانسة لها سماتها ومزاياها وعيوبها الخاصة بها. في نهاية المطاف ستمتلك الشبكة المتكاملة لجميع شبكات بروتوكول الإنترنت إمكانيات كبيرة لتقديم خدمات أفضل للمستخدمين.

على الرغم من الاختلافات الكبيرة بين بيئة الشبكة التقليدية وغير المتجانسة، فإن عمليات التسليم التقليدية لم تعد تلبي متطلبات البيئة الجديدة، ومن ثم فإن عمليات التسليم الرأسي ضرورية في بيئة الشبكات غير المتجانسة. [4]

## 2. أهداف البحث

يهدف البحث بشكل أساسي لتحسين عمليات التسليم (الانتقال السلس) بين الشبكات غير المتجانسة وذلك باستخدام البروتوكول IEEE 802.21 والذي من خلاله سنحقق ما يلي:

- إطار يتيح التسليم السلس بين التقنيات غير المتجانسة. يستند هذا الإطار إلى حزمة بروتوكولات يتم تنفيذها في جميع الأجهزة المشاركة في عملية التسليم. تهدف حزمة البروتوكولات المحددة إلى توفير النقااعات اللازمة بين الأجهزة لتحسين قرارات التسليم.

- تعريف طبقة ارتباط جديدة التي توفر واجهة مشتركة لوظائف طبقة الارتباط التي تكون مستقلة عن مواصفات التكنولوجيا.

المحمولة؛ نتيجة لذلك شهدنا زيادة حادة في استخدام اللاسلكي خلال السنوات القليلة الماضية، ومع ذلك، فإن استخدام التكنولوجيا اللاسلكية بفعالية أمر صعب للغاية.

أولاً: تكون الارتباطات اللاسلكية عرضة للتدهور والتداخل، وكلاهما يمكن أن يؤدي إلى أداء رديء وغير متوقع.

ثانياً: نظراً لأن النشرات اللاسلكية يجب أن تتقاسم موارد الطيف الشحيحة نسبياً والمتاحة للاستخدام العام، فإنها تتداخل في كثير من الأحيان مع بعضها البعض. تصبح هذه العوامل صعبة بشكل خاص في عمليات النشر حيث يتم وضع الأجهزة اللاسلكية مثل نقاط الوصول في مكان قريب جداً.

في الشبكات اللاسلكية غير المتجانسة تمتع مستخدمو الهاتف المحمول بميزة التنقل أثناء تحركهم أثناء الشبكات الفرعية أو المجالات في الشبكة، حيث قدمت بنية جديدة بالإضافة إلى الوظائف المرتبطة بها مفهوم التسليم.

في المراحل المبكرة من إدارة شبكات المحمول كانت عملية التسليم بسيطة، وتم تعزيز مفهوم إدارة التنقل مما يزيد من المرونة والتعقيد الذي يغطي مجموعة كبيرة ومتنوعة من السيناريوهات.

في مثل هذه البيئة تصبح إدارة التنقل معقدة، ومتطلبات التطبيق في الوقت الفعلي مثل VOIP تصبح معقدة أيضاً، وتعمل الشبكات اللاسلكية غير المتجانسة على توسيع شبكات All-IP عبر العديد من الابتكارات.

الابتكارات الرئيسية الثلاثة هي تكوين الشبكة، وتعزيز القدرة على الحركة والدعم الفعال لعدم التجانس في الشبكات. تعتمد الشبكات اللاسلكية غير المتجانسة على شبكات الجوال القائمة على بروتوكول الإنترنت بالكامل ويمكن اعتبارها نتيجة اعتماد مستمر لمبادئ تصميم الإنترنت.

يمكن تمييز الشبكات المتنقلة القائمة على بروتوكول الإنترنت الكامل بفصل واضح بين المهام المتعلقة بالنقل والتحكم، ويتم تجميع الوظائف المعنية بأي من هذه المهام في

- تعريف مجموعة من وظائف تمكين التسليم التي توفر الطبقات العليا (مثل بروتوكولات إدارة التنقل)، مع الوظيفة المطلوبة لأداء عمليات التسليم المحسنة.

على الرغم من أن الغرض الرئيسي من البروتوكول IEEE 802.21 هو تمكين التسليم بين التقنيات غير المتجانسة، فقد تم أيضاً تحديد مجموعة من الأهداف الثانوية وهي:

- استمرارية الخدمة، وتجنب إعادة بدء الجلسة بعد التسليم.
- المشاركة في قرارات التسليم.
- جودة الخدمة (QoS).
- اكتشاف والمساعدة في اختيار الشبكة. [5]

### 3. طرائق ومواد البحث

في هذا البحث سيتم التطرق إلى المفاهيم النظرية المتعلقة بالشبكات اللاسلكية غير المتجانسة، ومن ثمّ عمليات التسليم في الشبكات اللاسلكية غير المتجانسة وخوارزميات التسليم الذكية، وتوضيح مبدأ عمل كل منها، ليتم بعدها شرح الخوارزمية المقترحة لتحسين عمليات التسليم الرأسي باستخدام المنطق الضبابي.

في النهاية سيتم قياس أداء الخوارزمية المقترحة بالنسبة للخوارزميات التقليدية والأبحاث السابقة، وتشير نتائج السيناريوهات المختبرة إلى فعالية النهج المقترح، وسوف تدمج أنشطة البحث المستقبلية العديد من التقنيات اللاسلكية الإضافية التي يتم تقديمها ومناقشتها في الورقة.

### 4. الشبكات اللاسلكية غير المتجانسة

في العالم الحالي يشعر مشغل الاتصالات بالضغط لتوفير أفضل خدمة لعملائهم؛ لذلك فإن تنفيذ الشبكات غير المتجانسة هو أمر واقعي للغاية بالنسبة لهم نتيجة لعدم التجانس، وتتطلب الشبكة غير المتجانسة تنفيذ التنقل، وتعدّ تقنية شبكات البيانات اللاسلكية مثالية للعديد من البيئات، بما في ذلك المنازل والمطارات ومراكز التسوق لأنها غير مكلفة وسهلة التركيب (بدون أسلاك)، وتدعم مستخدمي الهواتف

تقنيات وملكية الشبكات عقبة رئيسية أمام مزيد من النمو السريع.

تواجه الشبكات اللاسلكية غير المتجانسة تحدي تحديد مجموعة أساسية من وظائف التحكم المتاحة عالمياً والقابلة للاستخدام، لتحقيق ذلك يحدد الإطار المفاهيمي بما في ذلك وظائف التحكم اللازمة لتحقيق إمكانات الشبكة المطلوبة، ويستند هذا الإطار إلى المبادئ الأربعة التالية:

- فتح الاتصال وفتح وظائف الشبكات.
- التكوين الذاتي والإدارة الذاتية.
- إمكانية التنقل.
- عدم التجانس.[6]

#### 5. عمليات التسليم في الشبكات اللاسلكية غير

##### المتجانسة

إن التطورات السريعة في الشبكات اللاسلكية عريضة النطاق والطلب المتزايد من مستخدمي الهاتف المحمول على خدمات الاتصالات في أي مكان وفي أي وقت، تدفع بتطور نحو التكامل السلس بين تقنيات الوصول الراديوية المختلفة في الشبكات اللاسلكية غير المتجانسة لتوفير أفضل الخدمات المتصلة لمستخدمي الهاتف المحمول باستمرار، ويعدُّ "التنقل السلس والتجوال" الميزة الأساسية لنظام الاتصالات اللاسلكية اليوم، والتسليم هو الخطوة الهامة لهذا الاتصال المستمر؛ حيث أنها تمكن المستخدم من الحفاظ على الجلسة من شبكة وصول مختلفة، وتحتوي الأجهزة المحمولة الحالية على واجهات متعددة للوصول إلى شبكات لاسلكية مختلفة، ولا يجب تصميم أي شبكة بهذه الطريقة، بحيث يمكن للمستخدم المحافظة على تنقل جلسة العمل إلى شبكة وصول مختلفة خلال فترة الجلسة؛ لتمكين عملية التسليم هذه، يجب دعم خوارزميات التسليم في الشبكة. [7] [8]

طبقتين متميزتين لتيسير التطوير المستقل في كلا المجالين، بالإضافة إلى ذلك من المفترض أن تكون طبقة النقل قائمة على بروتوكول الإنترنت أي أن حزم بروتوكول الإنترنت هي أصغر قاسم لجميع طبقات النقل.

يتكّيف مفهوم الشبكات اللاسلكية غير المتجانسة مع هذه المبادئ، ويفترض وجود طبقة لضمان الاتصال الأساسي بين الشبكات المختلفة، والتي تشكل مجالات عناوين متنوعة، والمشاركة في إنشاء الشبكات اللاسلكية غير المتجانسة. وستبقى هذه الطبقة قائمة على بروتوكول الإنترنت. [6]

#### 4.1. بناء الشبكات اللاسلكية غير المتجانسة

تتمثل رؤية الشبكات اللاسلكية غير المتجانسة في أنه يمكن للمستخدمين والمشغلين استغلال موارد الراديو والشبكة المتوفرة لمجموعة واسعة من الخدمات، لتمكين هذه الرؤية يعتمد المفهوم على مجموعة مشتركة من وظائف التحكم قابلة للتكوين ديناميكياً ومتاحة عالمياً. ومن المتوقع أن تكون الشبكات اللاسلكية غير المتجانسة عبارة عن مزيج من تقنيات الوصول المتنوعة ولكن المتكاملة، وسوف يوفر تشغيل هذه الأنواع من الشبكات لمستخدمي الهواتف المحمولة إمكانية الاتصال في كل مكان عبر مجموعة واسعة من بيئات الشبكات.

يتطلب تكوين الشبكات السلكية/اللاسلكية غير المتجانسة الحالية والناشئة تصميم مكونات شبكات ذكية لتمكين مستخدمي الهاتف المحمول من تبديل الوصول إلى الشبكة وتجربة استمرارية الخدمة دون انقطاع في أي مكان وفي أي وقت عن طريق الحفاظ على نفس أداء الاتصال كما كان من قبل. [6]

#### 4.2. مبادئ التصميم للشبكات اللاسلكية غير المتجانسة

لتطوير شبكات المحمول اليوم إلى هذه الرؤية يجب تحليل النظم الحالية، ففي الوقت الحالي يعد الافتقار إلى وظائف التحكم المتاحة والقابلة للتكوين بشكل شائع، والاعتماد على

### 5.1 تصنيفات التسليم

يمكن تصنيف عملية تسليم الجوال من شبكة فرعية/شبكة إلى أخرى، مدعومة في تقنيات وصول مختلفة كما هو موضح في الشكل (1). [1]



الشكل (1) تصنيفات التسليم [1]

يعتمد تصنيف عمليات التسليم على العديد من العوامل، مثل أنواع الشبكات المعنية، والترددات المشاركة، وعدد الاتصالات المعنية، والمجالات الإدارية المعنية، وضرورة التسليم والتحكم في المستخدم المسموح به في عملية التسليم. [1]

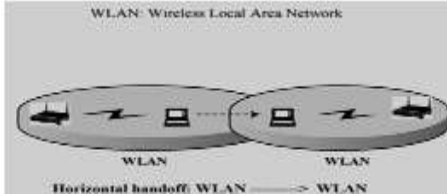
#### 5.1.1 أنواع الشبكات المعنية

اعتماداً على ما إذا كانت عملية التسليم تتم بين نوع واحد من الشبكات أو مجموعة من الشبكات المختلفة يمكن تصنيف عمليات التسليم إما أفقية أو رأسية.

- التسليم الأفقي (Horizontal handoff (HHO): هي عملية التسليم للجوال بين نقاط الوصول التي تدعم تقنية الشبكة نفسها، وكمثال يعتبر تغيير إرسال الإشارة (أثناء تحرك الجوال) من محطة قاعدة IEEE 802.11b إلى محطة قاعدة IEEE 802.11b المجاورة جغرافياً بمثابة عملية تسليم أفقي. الشاغل الرئيسي للتسليم الأفقي هو الحفاظ على الخدمة المستمرة عن طريق تغيير عنوان IP بسبب تنقلية الجوال.

تتم المحافظة على الجلسة المستمرة عن طريق إخفاء تغيير عنوان IP أو تحديث عنوان IP بشكل حيوي. لإخفاء تغيير عنوان IP أثناء حركة الجوال، يحتفظ MIP بنوعين من عنوان IP، ويمكن استخدام عنوان IP دائم يعرف باسم عنوان المنزل تحت طبقة النقل، وقد يتم تضمين معظم أساليب التسليم المقترحة في عملية التسليم الأفقية أو المتجانسة لأنها

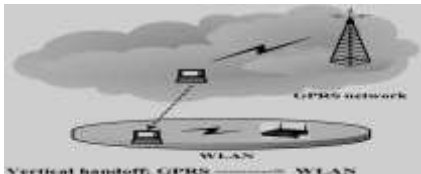
تركز على الحفاظ على الجلسة المستمرة ويتم تغيير عنوان IP فقط. [1] [6] [9]



الشكل (2) التسليم الأفقي [6]

- التسليم الرأسي (Vertical handoff (VHO): هي عملية التسليم للجوال بين نقاط الوصول التي تدعم تقنيات الشبكات المختلفة، كمثل: يعتبر تحويل إرسال الإشارة من محطة IEEE 802.11b الأساسية إلى شبكة خلوية متراكبة عملية تسليم رأسي، ويحدث ذلك عندما ينتقل الجوال عبر شبكات وصول غير المتجانسة. بغض النظر عن التسليم الأفقي، فإنه يتطلب تغيير تقنية الوصول وعنوان IP، ويحدث ذلك لأن الجوال يتحرك في شبكة وصول متباينة تستخدم تقنيات وصول مختلفة.

إن الشاغل الرئيسي للتسليم الرأسي هو الحفاظ على الجلسة مستمرة على الرغم من تغيير عناوين IP وواجهة الشبكة. [1] [6] [9]



الشكل (3) التسليم الرأسي [6]

#### 5.1.2 الترددات المشاركة

في التكنولوجيا الخلوية، عملية التسليم هي عملية تحويل الإشارة من تردد إلى آخر.

- التسليم الداخلي للترددات: إنها عملية تسليم جوال عبر نقاط الوصول التي تعمل على نفس التردد. يوجد هذا النوع من المناولة في شبكات الوصول المتعدد بتقسيم الشفرة (CDMA) مع ازدواج التردد (FDD).

- التسليم بين الترددات: هي عملية التسليم في جوال عبر نقاط الوصول العاملة على ترددات مختلفة. يوجد هذا

### 5.1.5. ضرورة التسليم

اعتماداً على ضرورة التسليم، يمكن تصنيف عمليات التسليم مثل إلزامية وتطوعية.

- التسليم الإلزامي: في بعض المواقف، ومن الضروري أن ينقل جهاز الهاتف المحمول الاتصال إلى نقطة وصول أخرى لتجنب انقطاع الاتصال.

- التسليم التطوعي: في حالات أخرى يكون نقل الاتصال اختيارياً، أو قد يحسن جودة الخدمة.[1]

### 5.1.6. سماح تحكم المستخدم

اعتماداً على تحكم المستخدمين في عملية التسليم، يمكن تصنيفها على أنها استباقية أو سلبية.

- التسليم الاستباقي: يُسمح لمستخدم الجهاز المحمول بتحديد موعد التسليم، ويمكن أن يعتمد قرار التسليم على مجموعة من التفضيلات التي يحددها المستخدم.

- التسليم السلبي: المستخدم ليس لديه سيطرة على عملية التسليم، وهذا النوع من التسليم هو الأكثر شيوعاً في الأنظمة اللاسلكية من الجيل الأول والثاني والثالث، وفي حالة وجود جهاز متعدد الوصلات، تدعم الشبكة غير المتجانسة عملية التسليم soft.[1]

### 5.2. عمليات إدارة التسليم

عملية إدارة التسليم هي الإجراء للحفاظ على الاتصال المستمر في جوال نشط أثناء الانتقال من شبكة وصول إلى أخرى، وعملية إدارة التسليم تنطوي على ثلاث مراحل كما هو مبين في الشكل (4):



الشكل (4) عملية إدارة التسليم [10]

النوع من التسليم في شبكات CDMA ذات الإرسال المزدوج بتقسيم الوقت (TDD) وهو نوع التسليم الوحيد المدعوم في أنظمة GSM الخلوية. [1]

### 5.1.3. عدد الاتصالات المعنية

التطور في الأجهزة المحمولة لدعم واجهات متعددة، يؤدي إلى تسليم مثل Hard، Soft، أو Softer اعتماداً على عدد الاتصالات التي تم الحفاظ عليها خلال عملية التسليم.

- Hard handoff (Break before make): يتم تحرير الاتصال الموجود مع المحطة الأساسية الحالية عند إنشاء اتصال جديد مع المحطة الأساسية الجديدة.

- Soft handoff (Make before break): يحافظ الجوال على اتصال لاسلكي مع ما لا يقل عن محطتين أساسيتين في منطقة التسليم المتداخلة، ولا تصدر أي من الإشارات حتى تنخفض إلى ما دون قيمة العتبة.

- Softer handoff: يشبه التسليم Soft، باستثناء أن محطة الهاتف المحمول تقوم بتبديل الاتصالات عبر وصلات الراديو التي تنتمي إلى نفس نقطة الوصول.[1]

### 5.1.4. المجالات الإدارية المعنية

المجال الإداري هو مجموعة من الأنظمة والشبكات التي تديرها منظمة واحدة من السلطة الإدارية، وتلعب المجالات الإدارية دوراً مهماً في شبكات 4G اللاسلكية حيث تتوفر شبكات مختلفة تتحكم فيها سلطات إدارية مختلفة.

- التسليم الإداري الداخلي: هي عملية تسليم حيث يتم فيها نقل الجوال بين شبكات مختلفة (تدعم نفس أو أنواع مختلفة من واجهات الشبكة) التي يديرها نفس المجال الإداري.

- التسليم بين المجالات الإدارية: هي عملية تسليم حيث يتم نقل الجوال بين شبكات مختلفة (تدعم نفس أو أنواع مختلفة من واجهات الشبكة) التي تديرها مجالات إدارية مختلفة. [1]

- يشير استهلاك الطاقة إلى مستوى بطارية الجوال، الذي يصبح مهماً للغاية في حالة الحاجة إلى التسليم إلى شبكة أخرى تستهلك طاقة أقل.
- التكلفة النقدية: تأخذ بعض الخوارزميات في الاعتبار سياسات الشحن لشبكات مختلفة في اتخاذ قرار التسليم الخاص بها.
- الأمان: تعتبر السلامة أو السرية مشكلة حرجة في بعض التطبيقات، حيث يمكن اختيار التسليم الرأسي لمستوى أعلى من أمان البيانات.
- تفضيلات المستخدم: يمكن أن يكون المطلب الخاص أو تفضيل المستخدم هو المشكلة التي تقرر بدء التسليم. [10]

### 6. خوارزميات التسليم الرأسي

هناك عدة طرق لخوارزمية قرار التسليم الرأسي، وبشكل عام يمكن تصنيفها إلى خمس فئات (1) قائم على قوة الإشارة المستقبلية، (2) متعدد المعايير، (3) مدرك للسياق، (4) دالة التكلفة، (5) المنطق الضبابي.

تقليدياً ينظر الجوال في نقطة الاتصال بناءً على معايير فريدة مثل قوة الإشارة المستقبلية، وتعتبر طريقة تقرير التسليم استناداً إلى قوة الإشارة المستقبلية على أنها أبسط طريقة لتقرير التسليم، ولكن من ناحية أخرى قد لا تتمتع بالموثوقية الكافية بسبب تذبذب قوة الإشارة.

كل شبكة تشارك في شبكة غير المتجانسة لها عتبة مختلفة من قوة الإشارة؛ وبالتالي فإن الطريقة القائمة على قوة الإشارة تؤدي إلى تسليم غير فعال، وتحميل غير متوازن، وانقطاع الخدمة (تأثير Ping-Pong) [11] [12]. هناك ثلاثة أنواع من خوارزمية قرار التسليم الرأسي متعددة المعايير: (1) أولوية متساوية، (2) أولوية الهاتف المحمول، (3) أولوية الشبكة.

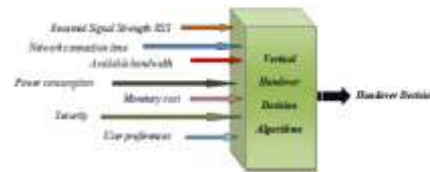
في قرار التسليم الرأسي متعدد المعايير، يجب أن تكون المعايير المختارة مناسبة لضمان دقة القرار. هناك العديد من

- جمع معلومات التسليم: تُستخدم لجمع كل المعلومات المطلوبة لبدء عملية التسليم والمعروف أيضاً باسم اكتشاف النظام أو مرحلة بدء التسليم.
- قرار التسليم: يستخدم لتحديد متى وكيف يتم تنفيذ التسليم عن طريق اختيار أفضل رابط وصول متاح وإعطاء تعليمات إلى المرحلة التالية (تنفيذ التسليم). والمعروف أيضاً باسم اختيار النظام أو الشبكة.
- تنفيذ التسليم: يستخدم لتغيير القنوات المطابقة للتفاصيل التي تم حلها خلال مرحلة اتخاذ القرار. [10]

### 5.3. خوارزميات قرار التسليم الرأسي

تم اقتراح العديد من الخوارزميات في العديد من الأوراق البحثية لاستخدامها في قرار التسليم الرأسي كما هو موضح في الشكل (5).

فيما يلي وصف موجز لكل خوارزمية:



الشكل (5) خوارزميات التسليم الرأسي [10]

- تعد قوة الإشارة المستقبلية RSS أسهل طريقة لقياس جودة الخدمة والمعيير الأكثر استخداماً. ترتبط قراءة RSS ارتباطاً مباشراً بالمسافة من الجوال إلى نقطة اتصاله.
- وقت اتصال الشبكة يشير إلى طول الفترة الزمنية التي يتصل بها المستخدم بنقطة وصول أو محطة أساسية، واختيار اللحظة المناسبة أمر مهم للغاية لبدء جودة تسليم الخدمة.
- عرض النطاق الترددي المتاح هو تعبير bit/sec يشير إلى موارد البيانات المتاحة، وهو مقياس لظروف حركة المرور في الشبكة. نسبة الإشارة إلى التداخل ونسبة الضوضاء SINR ترتبط بخوارزميات النطاق الترددي المتاح.



ثالثاً: يجب أن تكون الخوارزمية دقيقة لدرجة أنها قد تقلل من احتمال حجب الشبكة. [11]

رابعاً: يجب أن تضمن الخوارزمية إعادة توجيه الاتصالات في الجوال من الشبكة الحالية إلى الشبكة الجديدة بطريقة سلسة أي إعادة توجيه الحزم إلى ارتباط الشبكة المناسب.

يعد اتخاذ القرار متعدد المعايير طريقة مناسبة لقرار التسليم الرأسي نظراً لوجود أكثر من شبكة مستهدفة واحدة كبداية للقرار، وعلاوة على ذلك يوفر اتخاذ القرار متعدد المعايير المرونة للنظر في العديد من المعايير لتحديد أفضل شبكة. [11]

## 7. الأعمال ذات الصلة

في العمل [11] اقترح قرار مُحسّن للتسليم الرأسي باستخدام مقاييس متعددة المعايير، تتكون بيئة الشبكة غير المتجانسة من ثلاث واجهات مختلفة: شبكة WLAN، شبكة WCDMA، شبكة WiMAX، في قرار التسليم العمودي تُؤخذ أربعة مقاييس بالحسبان: قوة الإشارة المستقبلية، سرعة العقدة، فئة حركة المرور، إشغال الشبكة. في [12] اقترحت خوارزمية قرار التسليم العمودي المبني على Fuzzy System جنباً إلى جنب مع التنبؤ بالتنقل ضمن بيئة غير متجانسة تتكون من WiMAX و UMTS. استخدم MFNN (Multi-Layer Feed Forward Network) للتنبؤ بالتنقل المستخدم، إذا كانت الخلية المتوقعة لا تفي بالتفضيلات والمتطلبات يُحدّد أفضل اختيار للشبكة من خلال تطبيق خوارزمية متعددة السمات لتحديد أفضل شبكة وصول، ويؤخذ معدل البيانات والموثوقية وقوة الإشارة وطاقة البطارية والتنقل كمدخلات لنظام اتخاذ القرار المنطقي الضبابي ويؤخذ الإخراج كأفضل شبكة. في [13] اقترحت خوارزمية تسليم رأسية جديدة تعتمد على المعايير المتعددة والشبكة العصبية للشبكة غير المتجانسة، كما أنشئ الإطار الكامل للخوارزمية من خلال إعداد بيئة الشبكة التي استخدم فيها موارد الشبكة عن طريق التبديل بين UMTS و GPRS و WLAN و 4G و 5G. المعايير المشاركة

المعايير المتعلقة بالمستخدم أو المتعلقة بالشبكة، مثل قوة الإشارة المستقبلية والتنقل والتطبيق وعرض النطاق الترددي، وهناك طريقتان في استراتيجية دالة التكلفة: وظيفة التكلفة المرتبطة بالشبكة ووظيفة التكلفة المرتبطة بالمستخدم، وتعدّ وحدة الوقت والتكلفة النقدية ومعدل بت المستخدم عدة مقاييس متضمنة في دالة التكلفة المرتبطة بالمستخدم.

هناك تعريف واسع للسياق، يمكن تعريفها على أنها أي معلومات يمكن استخدامها لوصف حالة الكيان، أو قد تكون موقعاً وبيئة، وهوية، ووقتاً.

في استراتيجية المنطق الضبابي، هناك خطوتان للإجراء: إجراء الغموض والوزن واتخاذ القرار، وفي صنع القرار قد تستخدم طريقة المنطق الضبابي MADM (صنع القرار متعدد السمات) أو طريقة متعددة المعايير، أو تقنية ترتيب التفضيلات عن طريق التشابه مع الحل المثالي (TOPSIS)، أو الوزن الإضافي البسيط (SAW)، أو الترجيح الأسّي المضاعف (MEW)، أو التحليل الترابطي الرمادي (GRA)، ويكون للطريقة المستندة إلى قوة الإشارة المستقبلية أقل تعقيد مقارنة بالطرق الأخرى، على الرغم من أن دقة الطريقة المستندة إلى قوة الإشارة المستقبلية قد تكون الأقل.

على العكس من ذلك فإن الطرق عالية التعقيد مثل المنطق الضبابي، ووظيفة التكلفة توفر دقة أعلى وكفاءة الشبكة.

هناك قضايا يجب معالجتها في قرار التسليم الرأسي. أولاً: يجب أن تتمتع الخوارزمية بالموثوقية نظراً لأن قرار التسليم الرأسي غير الدقيق قد يكلف الاستخدام المفرط لموارد الشبكة. ثانياً: يجب أن تعمل الخوارزمية كموازن للشبكة. من خلال إنشاء شبكة متوازنة، يمكن تقديم المزيد من مستخدمي الهاتف المحمول وستكون للشبكة إنتاجية أعلى وتأخير أقل للحزم.

إلزامية بالاعتماد على قرار المنطق الضبابي، تعمل على حل نقاط الضعف المذكورة في الأعمال السابقة، مع إضافة بعض التحسينات والمكونات التي تعمل على تحسين الأداء في تنفيذ الخوارزمية المقترحة ضمن الشبكة اللاسلكية غير المتجانسة ككل وزيادة الإنتاجية.

## 8. خوارزمية التسليم الرأسي المقترحة

### باستخدام المنطق الضبابي وطبقة الارتباط الجديدة

الخوارزمية المقترحة في هذا البحث تعتمد على استخدام المنطق الضبابي ونقطة الوصول الواحدة لشبكات وموفري خدمات مختلفين من أجل الحصول على أفضل شبكة بالاعتماد على سبعة معايير تمّ تحديدها مسبقاً .

بعض المعلمات هي متطلبات ديناميكية بما في ذلك قوة الإشارة المستقبلية وسرعة الهاتف المحمول وتفضيلات المستخدم، وتشمل المتطلبات غير الديناميكية عرض النطاق الترددي (حمل الشبكة) كمعلمات، ويجب أن يحتوي نموذج قرار التسليم الجيد على مقاييس ديناميكية وغير ديناميكية. الخوارزمية المقترحة تختلف عن الأبحاث والخوارزميات السابقة [11] [12] [13] [16] بأخذ تقنيات لاسلكية جديدة، وإضافة نقطة الوصول الواحدة لشبكات مختلفة وإضافة طبقة ارتباط جديدة ضمن نقطة الوصول للتأكد من التسليم الرأسي السلس.

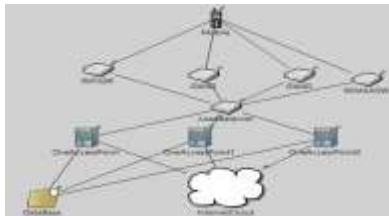
إن الاختلاف الجوهرى عن الأبحاث السابقة هو ضمان استمرار الخدمة وذلك بمساعدة طبقة الارتباط الجديدة التي تقوم بإرسال حركة المرور من المسار القديم إلى المسار الجديد حتى يتم التسليم الكامل؛ نظراً لأن الخوارزمية المقترحة تعمل على تقييم جودة الشبكات المتاحة وترتيب الأولوية لاستخدامها، وسيتم إجراء المصادقة على الجوال مرة واحدة مع نقطة الوصول الواحدة، وسيتم استخدام هذه المعلومات لتمثيل الجوال وستكون أعلى شبكة متاحة في أعلى قائمة الأولويات

في إعداد الخلايا العصبية هي الحد الأقصى لمعدل الإرسال، والتأخير، و SINR (الإشارة إلى التداخل ونسبة الضوضاء)، ومعدل خطأ البت، وسرعة تحرك المستخدم، ومعدل فقدان الحزمة. أخيراً اعتمد معدل تنزيل الشبكة هدف تنبؤ لتقييم الأداء على الشبكات اللاسلكية الخمس. في [14] صممت خوارزمية تسليم رأسي ذكية (M-BBO: Markov Chain Biogeography-Based Optimization) مشابهة للخوارزمية المقترحة في هذا البحث إلى حد ما، وقد نُفذت في بيئة لاسلكية غير متجانسة تتكوّن من شبكة WiMAX وشبكة WiFi وشبكة UTMS، واعتمد البروتوكول MIH في تنفيذ التسليم الرأسي، وكانت الخوارزمية قادرة على اختيار أفضل شبكة بدقة بناءً على الكلفة والتأخير ونسبة فقدان الحزم والإنتاجية. في [15] اقترح نظام لقرار التسليم مبنياً على المنطق الضبابي وفقاً لمتطلبات التطبيق وظروف الشبكة، والذي يجمع بين المعلمات مثل معدل البيانات والتكلفة النقدية وقوة الإشارة المستقبلية وسرعة العقدة المتحركة؛ من أجل بدء عملية التسليم بين نقاط الوصول المتاحة. فقد اقترحت محطة ذكية متنقلة جديدة (SMT: Smart Mobile Terminal) تقوم بمسح البيئة بحثاً عن تقنيات الوصول المتاحة، وتقييم ظروف عملهم وجمع جميع المعلمات الضرورية ومعالجتها باستخدام خوارزمية مبنية على المنطق الضبابي، وتشغيل عملية التسليم إذا لزم الأمر، واختيار أفضل نقطة وصول للاتصال عليها. نُفذت الخوارزمية ضمن بيئة شبكة لاسلكية تتكون من ثلاث شبكات لاسلكية وهي WiFi والباقيتان عبارة عن شبكات GSM ولكل منها معلمات عمل محددة. من خلال استعراض الأعمال السابقة، اقتصرت الخوارزميات على اختيار أفضل شبكة متاحة فقط دون الاهتمام بتحقيق تسليم رأسي ناعم، ومن ثم سيؤدي إلى انقطاع بالخدمة وعدم استمرارية الجلسة وذلك بسبب عدم تحويل حركة المرور القديمة إلى الاتصال الجديد. في هذا البحث سطرّح خوارزمية تسليم رأسي ناعمة سلبية

يمكن تغيير هذه العناوين أثناء تنقل الجوال إذا تم تغيير البوابة، وسينفذ الجوال الخوارزمية المقترحة لقياس جودة الشبكات، وذلك بالاعتماد على المنطق الضبابي لتحديد الشبكة التي تتمتع بجودة أفضل للوصول إلى النقطة. يوضح الشكل التالي تدفقات الشبكة بين الجوال/نقطة الوصول الواحدة من خلال بوابات مختلفة.

ستعمل الخوارزمية على تقييم جودة الشبكات باستمرار وستحصل على النتائج المحدثة، ويتم إرسال هذه النتائج المحدثة إلى نقطة الوصول الواحدة بشكل دوري. هذا التفاعل بين الجوال والنقطة مطلوب للحفاظ على الاتصال نشطاً بين النقطة والجوال.

لضمان استمرار عمل النقطة بشكل فعال، تم إضافة نقاط وصول إضافية تعمل كبداية فيما بينها، حيث أن أي عملية مصادقة بين الجوال مع أي نقطة عبر موزع الحمل سيتم تعميمها إلى بقية النقاط الأخرى، وتخزين الجداول المنشئة لكل موبايل مصادق عليه في قاعدة بيانات منفصلة تتصل بجميع نقاط الوصول الواحدة لتحقيق Performance Evaluation. التصميم مشابه للتصميم الموجود في [15].



الشكل (6) تصميم الجوال/نقطة الوصول الواحدة

## 8.2. مفهوم جودة الشبكة

من أجل قياس جودة الشبكات المتاحة، ونظراً لأن معلمة واحدة غير كافية لتقييم جودة الشبكة، فسنجمع بين العديد من المعلمات.

في البداية نحتاج إلى تحديد أهم المعلمات التي تؤثر على جودة الخدمة، ثم نقوم بتقييم جودة كل شبكة على حدة. تم تحديد المعلمات التالية التي سيتم من خلالها تحديد جودة الشبكة:

بحيث تقوم النقطة بإعادة توجيه البيانات إلى الجوال من خلال أفضل شبكة.

لتجنب عمليات التسليم غير الضرورية يعتمد قرار التسليم (المنطق الضبابي) على حساب جودة الشبكة لأحداث التسليم؛ نظراً لأن بدء التسليم يعتمد على قيم الشبكات الحالية في واجهات الشبكة مختلفة في الجوال، ويتم جمع جودة الشبكات المحدث للشبكات الفردية، ثم يتم فرز هذه القيم لتحديد أفضل شبكة للاتصال ويتم وضع أفضل شبكة في أعلى الجدول. سيتم إرسال هذه المعلومات بشكل دوري إلى النقطة، بحيث تتبع النقطة حالة الاتصال اللاسلكي في بطاقات واجهة الجوال.

## 8.1. تصميم الجوال/نقطة الوصول الواحدة

سيكون الجوال جاهز مع واجهة متعددة الوسائط 4G و5G وWiFi؛ نظراً لأن الشبكات اللاسلكية المختلفة تتواجد معاً في نفس منطقة التغطية، وهذه التقنيات متصلة بالإنترنت من خلال بواباتها الخاصة، وستمنح البوابات الجوال اتصالاً محدوداً من خلال توفير عنوان IP للتفاعل مع نقطة الوصول الواحدة من أجل المصادقة المناسبة، وسيتم تنفيذ إجراء المصادقة على النقطة؛ نظراً لأن كل بوابة ستخصص عنوان IP لكل واجهة في الجوال؛ لذلك سيكون لدى الجوال أكثر من عنوان IP واحد، حيث سيتم استخدام عناوين IP هذه لتوصيل التدفق من/إلى النقطة. في نقطة الوصول الواحدة سيتم إنشاء جدول لكل موبايل مصادق عليه بعنوان IP الخاص به. ستخصص النقطة عنوان IP مميزاً واحداً لكل محطة موبايل متصلة، وسيتم تحديد الجوال من خلال هذا العنوان المسمى بعنوان IP الرئيسي (Master IP)، وسيتم توجيه كل حركة المرور للنقطة عبر عنوان Master IP. سيعمل عنوان IP المتبقي كعناوين مؤقتة من الجوال إلى النقطة والعكس صحيح.

القواعد والسمات الغامضة المستخدمة في المنطق الضبابي ملائمة للتعديل، ويمكن للمستخدمين بسهولة تعديل وظيفة العضو الغامض وكذلك القواعد الغامضة للحصول على المخرجات الأكثر ملائمة لبيئة الشبكة. الخطوات الأساسية لتقنية المنطق الضبابي هي:

- في Fuzzification، يتم أخذ المدخلات الواضحة من السمات المختارة والدرجة التي يكون لها مكان لمدخلات المعلومات مع كل مجموعة ضبابية مناسبة. يتم إعطاء متغيرات الإدخال درجة من مجموعات ضبابية مناسبة. مدخلات الرشفة هي مزيج من من هذه المتغيرات، والاحتمالات المختلفة لكل سمة ترد على النحو التالي:

- RRS (Excellent, Good, Fair, Poor, NoSingle)
- Delay (Excellent, Good, Bad)
- Speed (High, Mid, Low)
- Jitter (Excellent, Good, Bad)
- Bit error rate (Excellent, Good, Bad)
- LinkCost (Cheap, Acceptable, Expensive)
- TrafficClass(Surfing\_ & \_Chatting, VOIP\_&\_Video)

من أجل مقارنة سمات القيم المختلفة ووحدات القياس المختلفة، من الضروري استخدام عملية Normalization. هناك حاجة إلى Normalization للتأكد من أن القيم في الوحدات المختلفة ذات مستوى مقارنة موحد. من أجل الحساب الفعال، وتستخدم وظائف التثايت لتصميم وظيفة العضو التي تعطي نتيجة أفضل.

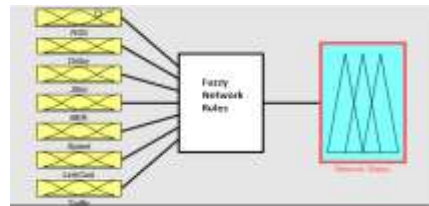
- قاعدة بيانات قواعد ضبابية: تحتوي على عدد من قواعد IF-THEN المبهمة التي كانت مفيدة في معايير اتخاذ القرار للتسليم.

- إذا كان النظام الغامض يحتوي على مدخلات  $n$  ومخرج واحد يتم استدعاؤه في قرار تسليم النموذج المقترح، فإن قاعدته الغامضة تكون بالشكل العام: إذا كانت  $x_1$  هي  $A_1$  و  $x_2$  هي  $A_2$  و  $x_n$  هي  $A_n$ ، ثم  $y$  هي  $B$ . على أساس سبع معلمات، ويتم تحديد قواعد غامضة ويتم تنفيذ خوارزمية

- قوة الإشارة المستقبلية RSS
- جودة الخدمة (Delay, Jitter and BER)
- السرعة Speed
- كلفة الاتصال Link cost
- نوع حركة المرور Traffic class

### 8.3. خوارزمية اختيار الشبكة المثلى

يتم تحديد أفضل شبكة وصول من خلال تطبيق وظيفة تحديد شبكة الوصول كما هو موضح في الشكل (7).



الشكل (7) نموذج المنطق الضبابي المقترح

تعتبر هذه الطريقة هي وظيفة محايدة تستخدم لحساب كفاءة استخدام مورد راديوي؛ لأنه يعزز جودة الخدمة لمستخدمي الهواتف المحمولة المكتسبة عن طريق التسليم إلى شبكة معينة، وهي تمثل جميع شبكات الاتصال الموضوعية الاختيارية التي يمكن أن تخدم منطقة تغطية العميل المحمول، وتعتبر الشبكة ذات القيمة الأعلى هي الخيار الأفضل للانتقال من شبكة الوصول الحالية، ويتطلب حساب اختيار الشبكة إدخال معلومات من الجوال وإطار العمل على حد سواء، ويتم اختيار شبكة وصول لاسلكية مثالية للخدمة الممتازة التي يمكن أن تحقق الأهداف المطلوبة.

### 8.4. تقنية المنطق الضبابي

تتمثل ميزة الخوارزمية المبنية على المنطق الضبابي في القدرة على أخذ معلمات متعددة في الاعتبار وإعطاء أفضل حل ممكن لقرار التسليم، خاصة عندما تظهر طبيعة المشكلة عدم اليقين، ويعتمد محرك الاستدلال الغامض على نظام الاستدلال الضبابي Mamdani، الذي يعتبر أداؤه الحسابي أكثر كفاءة من نظام Sugeno. كما يعتمد على مفهوم نظرية المجموعة الغامضة والاستدلال الغامض وقواعد IF-THEN.

ستقوم بفحص حمل الشبكة ذات الجودة الأفضل (أول شبكة) لاحتمالية تحمل عملية اتصال جديدة.

(ث) إذا كانت أفضل شبكة قادرة على تحمل اتصال جديد، ستقوم نقطة الوصول الواحدة باعتماد هذه الشبكة كشبكة ذات الجودة الأفضل وتوجيه الجوال للاتصال عليها.

(ج) أما إذا كانت أفضل شبكة غير قادرة على تحمل اتصال جديد، ستقوم نقطة الوصول الواحدة بتكرار الخطوة السابقة على ثاني شبكة متاحة وهكذا، وهذه الخطوات ستعمل على توازن الشبكة اللاسلكية غير المتجانسة.

(ح) في القراءة الجديدة، إذا كانت شبكة الوصول الحالية تتطابق مع أفضل شبكة، فإنَّ الجوال سيبقى في شبكة الوصول الحالية ونقطة الوصول الواحدة لا تقوم بأي عملية تسليم، هذا يمكن أن يقلل من عمليات التسليم غير الضرورية.

(خ) إذا كانت شبكة الوصول الحالية لا تتطابق مع أفضل شبكة، فإن نقطة الوصول الواحدة ستقوم بعملية التسليم عن طريقة طبقة الارتباط الجديدة المقترحة، وذلك عن طريق تحويل حركة المرور من المسار القديم إلى المسار الجديد حتى يتم التسليم الكامل.

### 8.5. طبقة الارتباط الجديدة في نقطة الوصول الواحدة

تمت إضافة طبقة ارتباط جديدة MIH فوق طبقة Network في نقطة الوصول الواحدة، هذه الطبقة تحتوي على مكونات تعمل على فهم وتحليل حركة المرور الخاصة بكل شبكة لاسلكية في حالة وجود/عدم وجود عملية تسليم.

## 9. تقييم الأداء

### 9.1. إعداد التجربة

يتم تقييم تنفيذ خوارزمية قرار التسليم العمودي المبني على المنطق الضبابي بواسطة منصة MATLAB و OMNET++، وتم تحديد مساحة منطقة المحاكاة بـ 1500 × 1500 متر.

القرار بمساعدة أدوات غامضة، ويمكن تطبيق التسليم الرأسي الذكي المستند على خوارزمية المنطق الضبابي على عمليات التسليم التي بدأها الجوال، وفي مثل هذه الحالات، يتم استخدام التسليم القائم على المنطق الضبابي لتحديد شبكة محسنة للموبايل، ويمكن حساب عدد القواعد لسبع معلمات وفقاً للتعبير المستخدم في FIS على النحو التالي: بناء على عدد وظائف العضوية لكل معيار، تم كتابة 1945 قاعدة غامضة تغطي كافة الحالات الممكنة للمعايير المحددة. تتراوح وظيفة نطاق الإخراج من 0 إلى 100، ويستند قرار التسليم العمودي إلى نطاق الإخراج.

• محرك الاستدلال الضبابي: ينفذ محرك الاستدلال الضبابي عمليات الاستدلال على القواعد الضبابية. تُستخدم مبادئ المنطق الضبابي للجمع بين قواعد IF-THEN الغامضة في قاعدة القاعدة، والمجموعات الغامضة التي يتم تعيينها في مجموعات ضبابية.

• Defuzzifier: تحول أداة Defuzzifier النتائج الغامضة للاستدلال إلى ناتج مقروء، وهي طريقة للحصول على نتيجة عددية بناءً على ضبابية محددة وعلى وظيفة عضو الإخراج، وتظهر وظيفة عضو الإخراج في الاحتمالات المختلفة التالية:

- Network (Best, Fair, Bad).[12]

يمكن إعطاء مخطط قرار التسليم على النحو التالي:

(أ) في البداية، سيقوم الجوال بقراءة الشبكات اللاسلكية المتاحة للبدء، ويحلل محرك المنطق الضبابي طبقة التوجيه لتحديد أفضل شبكة. يتم جمع المعلومات وتخزينها في حزمة LSPs بالتنسيق الموضح أدناه:

- 1) RRS, 2) Delay, 3) Jitter, 4) BER,
- 5) Speed, 6) LinkCost, 7) TrafficClass

(ب) يقوم الجوال بإجراء المنطق الضبابي للحصول على نتيجة كل شبكة لاسلكية متاحة.

(ت) يقوم الجوال إرسال القراءات مرتبة تنازلياً (حسب الأولوية) إلى نقطة الوصول الواحدة، والتي بدورها

سلس وتوجيه حركة المرور من المسار القديم إلى المسار الجديد.

## 9.2. مقاييس تحليل الأداء

تمّ قياس أداء الشبكة من حيث عدد عمليات التسليم ومؤشر التوازن ومتوسط احتمالية الحجب ومتوسط تأخير التسليم: متوسط التأخير من طرف إلى طرف من الأصل إلى الوجهات لجميع حزم البيانات المتبقية، ومتوسط نسبة تسليم الحزم: يتم حساب متوسط نسبة تسليم الحزم بقسمة عدد الحزم المستلمة بنجاح على العدد الإجمالي للحزم المرسل، وعدد عمليات التسليم هو إجمالي حالات التسليم الرأسي أثناء المكاملة النشطة. يتطلب تنفيذ التسليم قدرًا معينًا من موارد الشبكة؛ وبالتالي قد يؤدي التسليم غير الضروري إلى عدم الكفاءة.

يعد توازن التحميل ضرورياً لأن الحمل غير المتوازن قد يتسبب في حدوث ازدحام في شبكة واحدة بينما لا يتم استخدام موارد الشبكة الزائدة في الشبكات الأخرى.

من خلال إنشاء شبكة متوازنة، ويمكن تقديم المزيد من مستخدمي الهاتف المحمول وستكون للشبكة إنتاجية أعلى وتأخير أقل للحزم، وتمثل قيمة مؤشر الرصيد رصيد الشبكة، حيث يكون الخلل في الشبكة أكبر مع قيمة مؤشر الرصيد الأعلى. ويتم عرض الصيغة كما يلي:

$$B = (LoadWiFi - WiMAX + LoadWiFi - 4G + LoadWiFi - 5G + LoadWiMAX - 4G + LoadWiMAX - 5G + Load4G - 5G) * 4^{-1}$$

$$LoadWiFi - WiMAX = |LoadWiFi - LoadWiMAX|$$

$$LoadWiFi - 4G = |LoadWiFi - Load4G|$$

$$LoadWiFi - 5G = |LoadWiFi - Load5G|$$

$$LoadWiMAX - 4G = |LoadWiMAX - Load4G|$$

$$LoadWiMAX - 5G = |LoadWiMAX - Load5G|$$

$$Load4G - 5G = |Load4G - Load5G|$$

## 9.3. المحاكاة

تنقسم المحاكاة إلى ستة أقسام تمّ تنفيذ كل منها خلال 3 ساعات؛ في القسم الأول سنعرض سلوك الأداء في التسليم

هناك أربع مراحل من المحاكاة وتنفيذ خوارزمية التسليم الرأسي المقترحة:

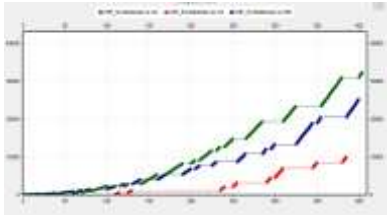
(1) نمذجة الشبكة غير المتجانسة: تتكون الشبكة غير المتجانسة من مجموعة مختلفة من التقنيات اللاسلكية وهي: 5G, 4G, WiMAX, Wi-Fi  
(2) اكتشاف النظام: يجب أن يعرف الجوال الأنظمة اللاسلكية التي يمكن الوصول إليها، وتعلن هذه الأنظمة أيضاً عن معلمات جودة الخدمة (QoS).

(3) قرار التسليم العمودي متعدد المعايير: في قرار التسليم العمودي يحدّد الجوال ما إذا كان ينبغي أن تستمر الاتصالات في استخدام الشبكة الحالية أو أن يتمّ تحويلها إلى شبكة أخرى، وسوف يعتمد الجوال في اتخاذ القرار على المعلمات المحددة، حيث يقوم الجوال بتقييم معلمات التسليم الرأسي المرتبطة بنظام لاسلكي جديد (شبكة) لاتخاذ قرار التسليم، وإذا قرر الجوال التسليم إلى شبكة أخرى، فستستمر الخطوة التالية لها.

هناك معلمتان أساسيتان للجوال في هذه الدراسة: نوع السرعة وحركة المرور. هناك 4 (أربع) فئات للسرعة: (1) محطات متنقلة ثابتة، (2) محطات متنقلة للمشاة 1.5 م/ث، (3) محطات متنقلة للمركبات منخفضة السرعة 17 م/ث، (4) محطات متنقلة للمركبات عالية السرعة 25 م/ث. هناك 2 (اثنتين) لفئات لحركة المرور: (1) الخدمة التقليدية (Chatting & Surfing)، (2) خدمة التدفق والمكالمات الصوتية (Video & VOIP).

(4) تنفيذ اتخاذ القرار (التسليم الرأسي) متعدد المعايير في بيئة الشبكة غير المتجانسة: إذا قرر الجوال إجراء التسليم الرأسي، فإنها تنفذ إجراء التسليم الرأسي ليرتبط بنظام لاسلكي جديد.

لاحظ أن تنفيذ التسليم يعني تسليمًا ناجحاً إلى شبكة أخرى. وبالتالي، في الشبكات اللاسلكية غير المتجانسة، من الأهمية تصميم خوارزمية تسليم رأسي فعالة لتوفير اتصال



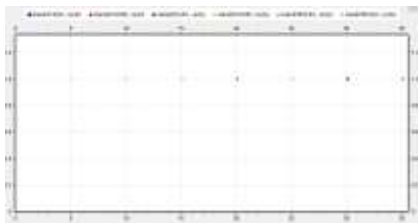
الشكل (11) الإنتاجية على كل واجهة شبكة في الجوال



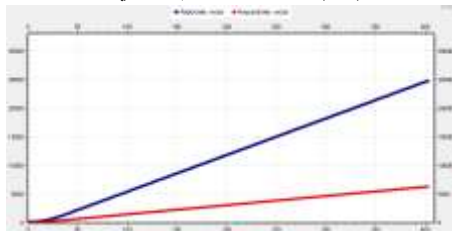
الشكل (12) التأخير بين الجوال والإنترنت عبر كل شبكة متاحة

#### 9.4.2 سيناريو Speed =1.5, Traffic =Surfing & Chatting

توضح الأشكال من 13-17 نتائج عدد عمليات التسليم الرأسي المحققة، وعدد الطلبات المرسلّة والمستقبلة، ونتائج اختبار المنطق الضبابي لكل شبكة متاحة، ومعامل توازن الشبكة، والإنتاجية والتأخير.



الشكل (13) عمليات التسليم الرأسي المحققة



الشكل (14) عدد الطلبات المرسلّة والاستجابة



الشكل (15) نتائج اختبار المنطق الضبابي

الرأسي في الشبكة عندما يكون الجوال ثابت وحركة المرور للخدمة التقليدية (Surfing & Chatting). في القسم الثاني: سوف نعرض سلوك الأداء في الشبكة عندما يكون الجوال يتحرك بسرعة 1.5 م/ث وحركة المرور للخدمة التقليدية (Surfing & Chatting)، أما في القسم الثالث: فسوف نعرض سلوك الأداء في الشبكة عندما يكون الجوال يتحرك بسرعة 25 م/ث وحركة المرور للخدمة التقليدية (Surfing & Chatting). سيتم تكرار السيناريوهات الثلاثة السابقة باختلاف نوعية حركة المرور فقط لتصبح خدمة التدفق والمكالمات الصوتية (VOIP & Video)، وليصبح إجمالي السيناريوهات هو 6.

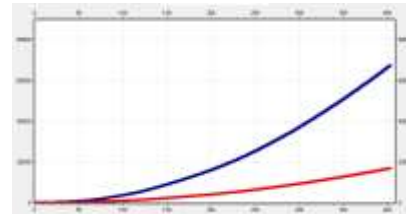
#### 9.4 النتائج التجريبية

##### 9.4.1 Speed=0, Traffic= Surfing & Chatting

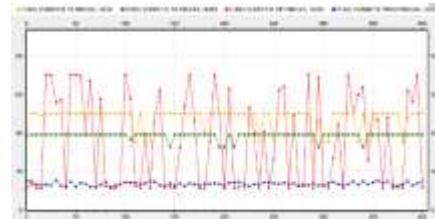
توضح الأشكال من 8-12 نتائج عدد عمليات التسليم الرأسي المحققة، وعدد الطلبات المرسلّة والمستقبلة، ونتائج اختبار المنطق الضبابي لكل شبكة متاحة، ومعامل توازن الشبكة، والإنتاجية والتأخير.



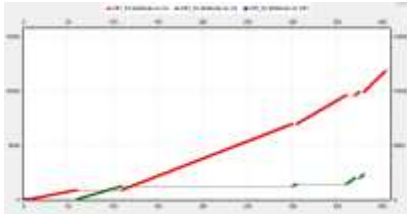
الشكل (8) عمليات التسليم الرأسي المحققة



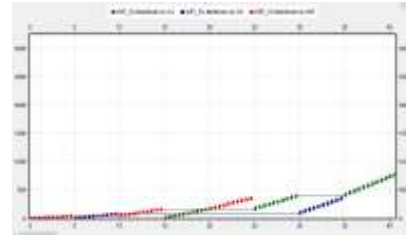
الشكل (9) عدد الطلبات المرسلّة والاستجابة



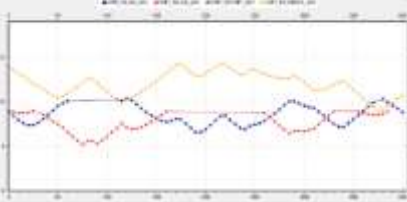
الشكل (10) نتائج اختبار المنطق الضبابي



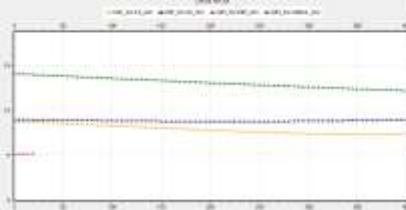
الشكل (21) الإنتاجية على كل واجهة شبكة في الجوال



الشكل (16) الإنتاجية على كل واجهة شبكة في الجوال



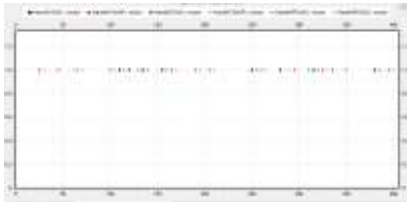
الشكل (22) التأخير بين الجوال والإنترنت عبر كل شبكة متاحة



الشكل (17) التأخير بين الجوال والإنترنت عبر كل شبكة متاحة

9.4.4. سيناريو Speed =0, Traffic= VOIP & Video  
توضح الأشكال من 23-27 نتائج عدد عمليات التسليم الرأسي المحققة، وعدد الطلبات المرسلة والمستقبلة، ونتائج اختبار المنطق الضبابي لكل شبكة متاحة، ومعامل توازن الشبكة، والإنتاجية والتأخير.

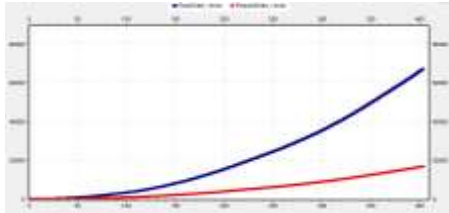
9.4.3. سيناريو Speed =25, Traffic= Surfing & Chatting  
توضح الأشكال من 18-22 نتائج عدد عمليات التسليم الرأسي المحققة، وعدد الطلبات المرسلة والمستقبلة، ونتائج اختبار المنطق الضبابي لكل شبكة متاحة، ومعامل توازن الشبكة، والإنتاجية والتأخير.



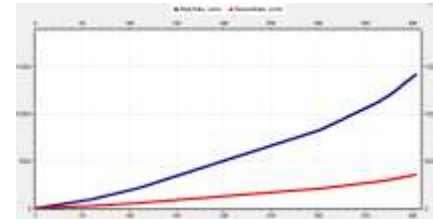
الشكل (23) عمليات التسليم الرأسي المحققة



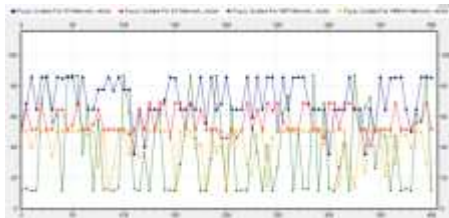
الشكل (18) عمليات التسليم الرأسي المحققة



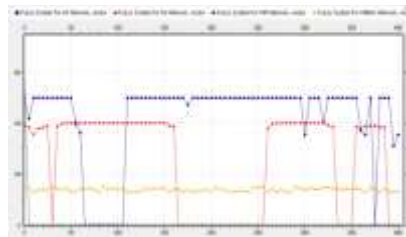
الشكل (24) عدد الطلبات المرسلة والاستجابة



الشكل (19) عدد الطلبات المرسلة والاستجابة

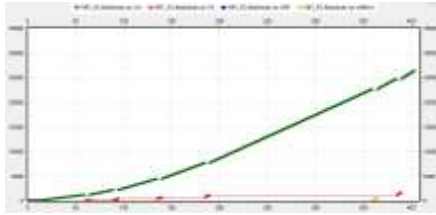


الشكل (25) نتائج اختبار المنطق الضبابي

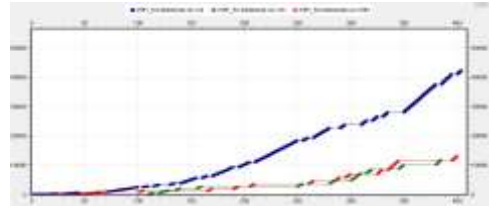


الشكل (20) نتائج اختبار المنطق الضبابي

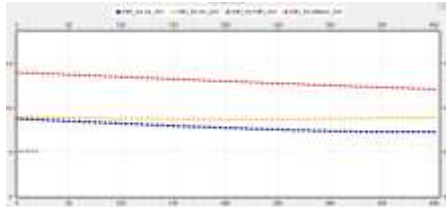




الشكل (31) الإنتاجية على كل واجهة شبكة في الجوال



الشكل (26) الإنتاجية على كل واجهة شبكة في الجوال



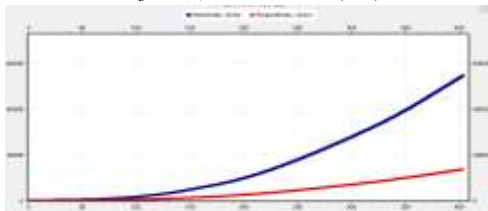
الشكل (32) التأخير بين الجوال والإنترنت عبر كل شبكة متاحة

9.4.6 سيناريو Speed =25, Traffic= VOIP & Video

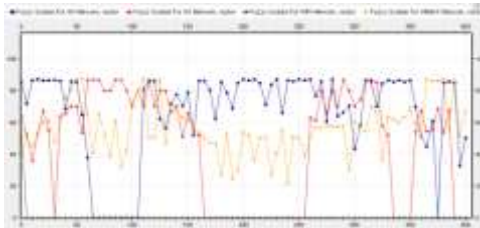
توضح الأشكال من 33-37 نتائج عدد عمليات التسليم الرأسي المحققة، وعدد الطلبات المرسلة والمستقبلة، ونتائج اختبار المنطق الضبابي لكل شبكة متاحة، ومعامل توازن الشبكة، والإنتاجية والتأخير.



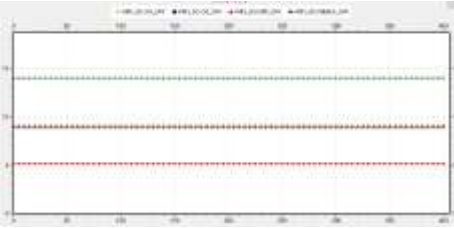
الشكل (33) عمليات التسليم الرأسي المحققة



الشكل (34) عدد الطلبات المرسلة والاستجابة



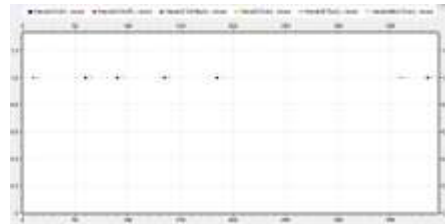
الشكل (35) نتائج اختبار المنطق الضبابي



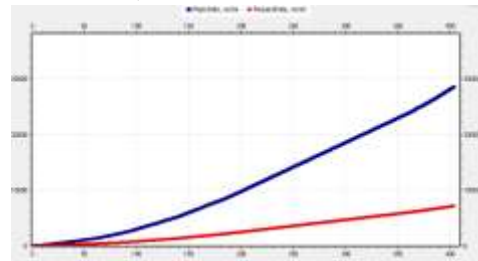
الشكل (27) التأخير بين الجوال والإنترنت عبر كل شبكة متاحة

9.4.5 سيناريو Speed =1.5, Traffic= VOIP & Video

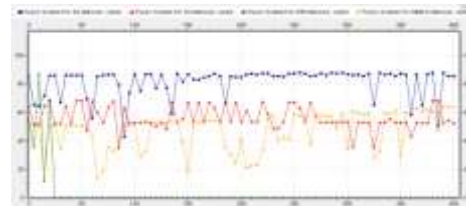
توضح الأشكال من 28-32 نتائج عدد عمليات التسليم الرأسي المحققة، وعدد الطلبات المرسلة والمستقبلة، ونتائج اختبار المنطق الضبابي لكل شبكة متاحة، ومعامل توازن الشبكة، والإنتاجية والتأخير.



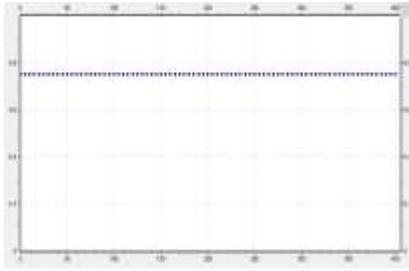
الشكل (28) عمليات التسليم الرأسي المحققة



الشكل (29) عدد الطلبات المرسلة والاستجابة



الشكل (30) نتائج اختبار المنطق الضبابي

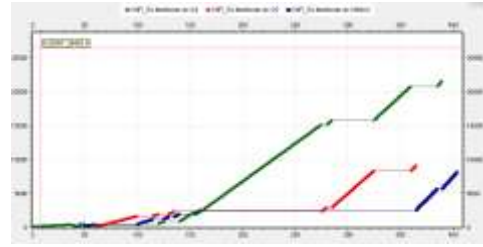


الشكل (38) معامل توازن الشبكة

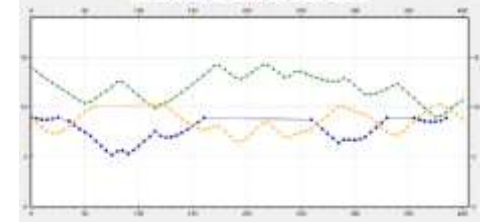
في حالة وجود جوال متصلة سابقة متصلة ضمن الشبكة اللاسلكية غير المتجانسة ستعمل الخوارزمية على الحفاظ على التوازن عن طريق اختيار شبكة ذات جودة أعلى ولديها القدرة على تحمل اتصال جديد لا يؤدي إلى خنق هذه الشبكة ككل وبالتالي الحصول على إنتاجية أعلى واحتمالية حجب أقل.

نلاحظ تدفق البيانات ضمن الأشكال الخاصة بالإنتاجية على كل واجهة شبكة مخصصة في الجوال، حيث بعد تنفيذ التسليم الرأسي على الواجهة الجديدة سيزداد التدفق (الإنتاجية) على هذه الواجهة، فعند مقاطعة الرسم البياني الخاص بعدد عمليات التسليم الرأسي والرسم البياني الخاص بالإنتاجية التي تنتمي لنفس السيناريو سلاحظ انتقال التدفق من واجهة الشبكة الحالية إلى واجهة الشبكة الجديدة بنفس زمن تنفيذ التسليم من الشبكة الحالية إلى الشبكة الجديدة.

يظهر التأخير الحاصل بين الجوال والإنترنت عبر كل شبكة متاحة، وهو قابل للتغيير طالما الجوال في حالة حركة، سيبقى التطبيق الذي يتم تشغيله على الجوال متصلاً بخادم التطبيق، ويتأثر معدل النقل والتأخير لكن الجوال يبقى متصلاً، وتختلف النتائج في مجموعتي السيناريوهات (حركة المرور لخدمة التدفق والمكالمات الصوتية وحركة المرور للخدمة التقليدية بغض النظر عن السرعة) والمقصود بحركة المرور هو التطبيق قيد التشغيل لدى الجوال، حيث تمّ تفضيل الشبكات الوصول ذات الكلفة المنخفضة فقط في حالة حركة المرور للخدمة التقليدية (Surfing or Chatting) وبالتالي تمّ تخفيض عدد الخيارات المتاحة أمام الجوال والذي يؤدي إلى عمليات تسليم أقل.



الشكل (36) الإنتاجية على كل واجهة شبكة في الجوال



الشكل (37) التأخير بين الجوال والإنترنت عبر كل شبكة متاحة

## 9.5. الاستنتاجات

تم إجراء عمليات تسليم رأسية ناعمة ناجحة بنسبة 100% كما ظهر في نتائج عمليات التسليم السابقة؛ حيث لعبت السرعة دوراً هاماً في تخفيض عدد عمليات التسليم، فعلى الرغم من ثبات الجوال في بعض السيناريوهات إلا أنه تمّ تنفيذ عمليات تسليم رأسية وعدم الاستمرار بالاتصال بشبكة واحدة، وذلك لأخذ بعين الاعتبار العوامل البيئية السيئة كالتشويش والضجيج التي قد تؤثر على جودة الشبكات المتاحة.

التسليم الرأسي الناعم عمل على تنفيذ تسليم رأسي سلس حيث كانت نسبة فقد البيانات 0% في كافة السيناريوهات، حيث كل Request كان يقابله 4 طرود Reply. عمليات التسليم الرأسي، قد تم تنفيذها بناء على ناتج المنطق الضبابي لكل شبكة لاسلكية متاحة، كما تم الحفاظ على معامل توازن الشبكة 0.75 في جميع السيناريوهات كما في الشكل (38) وهو ناتج عن اتصال جوال واحد فقط، حيث كلما زادت عدد الجوال المتصلة زادت القيمة وبالتالي زادت احتمالية حجب الشبكة وقلت الإنتاجية.

فكلما كانت هذه القواعد مدروسة بشكل دقيق ويلبي متطلبات المستخدم من جهة ومتطلبات الشبكة من جهة أخرى كانت نتيجة الشبكة المتاحة للجوال دقيقة سواء كانت شبكة ذات جودة مناسبة للجوال أو غير ذلك. الجوال لا يقوم بأي عملية لاختيار للشبكة، بمعنى آخر دوره يتمحور فقط حول قراءة المعلومات من الشبكات اللاسلكية المتاحة وإجراء المنطق الضبابي على هذه القراءات، والحصول على النتائج من المنطق الضبابي (حالة الشبكات المتاحة).

أما في حركة المرور لخدمة التدفق والمكالمات الصوتية (VOIP or Video) تمّ تفضيل جميع الشبكات المتاحة سواء ذات الكلفة المنخفضة أو الكلفة المرتفعة، وبالتالي تمت زيادة عدد الخيارات المتاحة أمام الجوال والذي يؤدي إلى عمليات تسليم أكثر، وتمّ ذلك عن طريق مجموعة القواعد المضمنة في نظام المنطق الضبابي، وهذا قد يؤدي إلى تنفيذ عمليات التسليم التي يتطلبها التطبيق. تلعب القواعد الغامضة ضمن المنطق الضبابي دوراً مهماً وأساسياً في عملية اتخاذ القرار،

[15]	[14]	[13]	[12]	[11]	الحل المقترح	بدوره يقوم الجوال بإرسال هذه النتائج بشكل دوري إلى نقطة الوصول الواحدة لتقوم هي باختيار أفضل شبكة متاحة ومناسبة لمتطلبات المستخدم والشبكة وتعمل على اتصال الجوال بهذه الشبكة، وفي هذه الحالة إما قد تكون النتيجة هي مطابقة للشبكة الحالية التي يتصل بها الجوال وبالتالي لا تقوم نقطة الوصول الواحدة بأي عمليات مصادقة أو عمليات تسليم رأسية جديدة. أما في حالة كانت النتيجة مغايرة للشبكة الحالية للجوال، ستقوم نقطة الوصول الواحدة بتوصيل الجوال بالشبكة الجديدة وإجراء مصادقة جديدة وتسليم رأسية (تحويل حركة المرور من الاتصال القديم إلى الاتصال الجديد) وبهذه الحالة نضمن تسليم رأسية ناعم وسلس دون فقدان للخدمة أو انقطاع بالجلسة. نموذج الجوال/نقطة الوصول الواحدة يحقق إتاحة وأداء عالي وذلك بسبب عدم الاعتماد على نقطة وصول واحدة وإنما تم تضمين أكثر من نقطة وصول تقوم جميعها بنفس العمل وإجراء المزامنة فيما بينها. فيما يلي جدول يلخص لأهم النتائج مقارنة بالأعمال السابقة:
99%	64%	90%	71%	75%	99%	نجاح التسليم
استهلاك للطاقة لدى العقدة	سيتم حجب الشبكة	سيتم حجب الشبكة	سيتم حجب الشبكة	0.13%	0.08%	الحجب
لم يتم معالجته	10%	لم يتم معالجته	50%	لم يتم معالجته	لا يوجد فشل	فشل التسليم
Cost, RSS, Data Rate,	Cost, Delay,	Send Rate, SINR Delay,	Data Rate, Reliability,	RSS, Speed, TrafficClass	RSS, QoL, Speed, Cost, Traffic Class	المعايير المعتمدة

Speed	Packet Lost, Throughput	Speed, BER, Packet Lost	RSS, Power, Speed	.NetworkLoad		
WiFi, GSM	WiMAX, WiFi, UTMS	UMTS, GPRS, WLAN, 4G, 5G	WiMAX, UMTS	،WLAN ،WCDMA WiMAX	4G, 5G, WiFi, WiMAX	التقنيات اللاسلكية المعتمدة
يوجد انقطاع	يوجد انقطاع	يوجد انقطاع	يوجد انقطاع	يوجد انقطاع	لا يوجد انقطاع	انقطاع الجلسة (ضياح للطرود)

المستخدمة، وسيوفر تسجيل الدخول الفردي الكثير من الوقت بسبب المصادقة المركزية على نقطة الوصول. في الأعمال المستقبلية، ويجب تحسين خوارزميات التسليم الرأسي من خلال إضافة التقنيات اللاسلكية الحديثة ومواكبة التطور فيها، بالإضافة إلى تحديد معايير أكثر لها دور فعال في عملية التسليم الرأسي كاستهلاك الطاقة وغيرها من المعلمات الأخرى. كما يمكن التعزيز من مستوى الأمان بين الجوال ونقطة الوصول الواحدة باستخدام خوارزميات التشفير أثناء عملية المصادقة.

هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل (501100020595).

## References

1. B. R. Chandavarkar, G. Ram Mohan Reddy, "Survey Paper: Mobility Management in Heterogeneous Wireless Networks", National Institute of Technology Karnataka, Surathkal, Mangalore, India 2012.
2. ANTONIO DE LA OLIVA, Telemaco Melia, ALBERT BANCHS, IGNACIO SOTO, ALBERT VIDAL, I2CAT FOUNDATION, "AN OVERVIEW OF IEEE 802.21: MEDIAINDEPENDENT HANDOVER SERVICES" UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID TELEMACO MELIA, NEC NETWORK LABORATORIES, August 2008 IEEE.
3. El Fachtali Imad, Saadane Rachid, Mohammed El Koutbi, "A Survey of Handovers Decision Algorithms for Next Generation Wireless Networks", Morocco 2015.
4. Ameer Hocine; Khoukhi Lyes; Esseghir Moez, "MIH (Media Independent Handover) for green wireless communications", France Jan. 2015.
5. Gerdriaan Mulder, "LTE-WiFi Handover Strangelove", Radboud University Nijmegen Institute for Computing and Information Sciences, 31 January 2014.
6. Abdessadeq Fettouh , Najib El Kamoun , Adnane Latif, Abdelaziz El Fazziki, "Mobility Management in Ambient Networks: Performance Optimization of Homogeneous Wireless Network", ISSN 2150-7988 Volume 3 (2011) pp. 507-513,USA.

7. Santosh B. Kumbalavati, Jayashree D. Mallapur, "A Survey on Vertical Handover in Heterogeneous Networks", International Journal of Informative & Futuristic Research (IJIFR), Volume - 2, Issue - 9, May 2015.
8. Feras Zenalden, Suhaidi Hassan, Adib Habbal, "Vertical Handover in Wireless Heterogeneous Networks", InterNetworks Research Laboratory, School of Computing, Universiti Utara Malaysia, 2017.
9. Abhishek Gehlot, Anand Rajavat, "Handoff between WiMAX and WiFi Wireless Networks", Shri Vaishnav Institute of Technology and Science Indore, India 2016 IEEE.
10. Ammar A. Bathich, Mohd Dani Baba, Muhammad Ibrahim, "IEEE 802.21 Based Vertical Handover in WiFi and WiMAX Networks", Faculty of Electrical Engineering, Universiti Teknologi MARA, 40450 Shah Alam, Malaysia, 2012.
11. Gita Mahardhika, Mahamod Ismail, and Rosdiadee Nordin. "Vertical Handover Decision Algorithm Using Multicriteria Metrics in Heterogeneous Wireless Network", Department of Electrical, Electronics and System, Faculty of Engineering and Built Environment, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43000 Bangi, Malaysia, 2014.
12. Amit Kumar Gupta, Vikas Goel, Ruchi Rani Garg, Dasarada Rajagopalan Thirupurasundari, Ankit Verma and Mangal Sain," A Fuzzy Based Handover Decision Scheme for Mobile Devices Using Predictive Model", Electronics India 2021.
13. Xiaonan Tan, Geng Chen and Hongyu Sun, "Vertical handover algorithm based on multi-attribute and neural network in heterogeneous integrated network", College of Electronic and Information Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China, 2020.
14. Shidrokh Goudarzi & Wan Haslina Hassan & Mohammad Hossein Anisi & Muhammad Khurram Khan & Seyed Ahmad Soleymani, "Intelligent Technique for Seamless Vertical Handover in Vehicular Networks", School of Computer Science and Electronic Engineering, University of Essex, Colchester CO4 3SQ, UK 2017.
15. Celal ceken, Huseyin Arslan, "An Adaptive Fuzzy Logic Based Vertical Handoff Decision Algorithm for Wireless Heterogeneous Networks", Computer Education Department, University of Kocaeli, Turkiye & Electrical Engineering Department, University of South Florida, ©2009 IEEE.
16. Iyad Alkhatay, Anup Kumar, Salim Hariri, "End-to-End Mobility Solution for Vertical Handoff between Heterogeneous Wireless Networks", Mobile Information Networks and Distributed Systems Laboratory (MINDS), University of Louisville. 2NSF Center for Autonomic Computing (NSF CAC, nsfcac.arizona.edu), University of Arizona, 2009 IEEE.