

Improving the Performance of Wi-Fi Networks by Using the Hysteresis Margin to Reduce Ping-Pong Phenomenon

D. Jamal Khalifah*
D. Mohannad Issa**
Ruba Ahmad Daoud***

(Received 30 / 4 / 2024. Accepted 25 / 6 / 2024)

□ ABSTRACT □

The intensive use of wireless devices and the increasing need to support users wherever they are have prompted the search for solutions to enhance the capacity of local wireless networks to support seamless transitions between access points. This study presents a mathematical model for the handover process in wireless networks, specifically within WiFi networks. This model does not rely on a fixed and predetermined signal strength threshold (RSSI_Threshold) to initiate the handover process. Instead, the decision to trigger handover depends on the chosen station's signal strength surpassing the current station's signal strength by a margin known as the 'Hysteresis Margin'. This is designed to reduce frequent handovers and the ping-pong effect, particularly in the overlapping coverage area of the current and targeted access points, which adversely affects the continuity and quality of network connectivity. The model was implemented programmatically using Python to simulate and compare the handover process, and the results showed a reduction in the number of handovers when using the hysteresis margin method compared to the traditional method based on a fixed threshold. Furthermore, the study examined the impact of the hysteresis margin value and the distance between connection points on the reduction ratio, enabling the determination of the most suitable values according to the nature of the network.

Keywords: Handover - HM (Hysteresis Margin) - RSSI - RSSI_Threshold.

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* Professor, Department of Communication and Electronics, Faculty of mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. Email: jam2kh58@hotmail.com.

** PHD. Communication Engineering. Tishreen University. Lattakia. Syria. Email: mohannadissa@gmail.com

***Postgraduate Student (PhD student), Department of Communication and Electronics, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. Email: rubadaod@gmail.com

تحسين أداء شبكات الواي فاي باستخدام هامش التباطؤ في تقليل ظاهرة التآرجح

د جمال خليفة*

د. مهند عيسى**

ربي داؤد**

(تاريخ الإيداع 30 / 4 / 2024. قُبِلَ للنشر في 25 / 6 / 2024)

□ ملخص □

أدى الاستخدام المكثف للأجهزة اللاسلكية وزيادة الحاجة إلى دعم المستخدمين أينما كانوا إلى البحث عن حلول لزيادة قدرة الشبكات المحلية اللاسلكية في دعم الانتقال المرن بين نقاط الوصول. تقدم هذه الدراسة نموذجاً رياضياً لعملية التسليم في الشبكات اللاسلكية وشبكات WiFi بشكل خاص. لا يعتمد هذا النموذج على عتبة ثابتة ومحددة لقوة الإشارة (RSSI_Threshold) لبدء عملية التسليم، بل يعتمد قرار البدء في التسليم على تجاوز قوة إشارة المحطة المختارة، إشارة المحطة الحالية بفارق يُسمى 'هامش التباطؤ' (Hysteresis Margin). وذلك بهدف التقليل من عمليات التسليم المتكررة وظاهرة تآرجح الاتصال (Ping-Pong)، والتي تحدث بشكل خاص في منطقة التغطية المتداخلة لنقطتي الوصول الحالية والمستهدفة، مما يؤثر سلباً على استمرارية وجودة الاتصال في الشبكة. تم تنفيذ النموذج برمجياً باستخدام البايثون لمحاكاة ومقارنة عملية التسليم، وأظهرت النتائج تخفيضاً في عدد عمليات التسليم عند استخدام طريقة هامش التباطؤ مقارنة بالطريقة التقليدية المعتمدة على عتبة ثابتة. كما تمت دراسة تأثير قيمة هامش التباطؤ والمسافة بين نقاط الاتصال على نسبة التخفيض لتحديد القيم الأنسب بحسب طبيعة الشبكة.

الكلمات المفتاحية: التسليم - WLAN - هامش التباطؤ - مؤشر قوة الإشارة المستقبلية - عتبة RSSI

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين - سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

* أستاذ، قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية سورية .

jam2kh58@hotmail.com

** دكتوراه - هندسة الاتصالات ، جامعة تشرين، اللاذقية ، سورية. mohannadissa@gmail.com

*** طالبة دكتوراه، قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية
rubadaod@gmail.com

مقدمة:

شهدت تكنولوجيا الاتصالات اللاسلكية تطوراً سريعاً، مما أدى إلى توسع كبير في مناطق التغطية ونمو ملحوظ في استخدام الشبكات المحلية اللاسلكية (WLANs). أفضى هذا التوسع إلى زيادة حركة البيانات والاعتماد المتزايد على نقاط الوصول اللاسلكية (APs)، مما يتطلب جودة خدمة محسنة للمستخدمين المتنقلين [1]. ومع زيادة عدد المحطات المتنقلة، أصبح من الضروري تبسيط تشغيل الشبكة وإدارتها، خاصة أن الشبكات قد أصبحت أكبر وأكثر تعقيداً [2]. أحد التحديات الرئيسية في الشبكات المحلية اللاسلكية IEEE802.11 هو توفير عملية تسليم سلسة وسريعة لتطبيقات الوسائط المتعددة التي تعمل بالوقت الفعلي. فالطريقة التقليدية للتسليم، التي تعتمد على انخفاض قوة إشارة نقطة الوصول الحالية إلى ما دون عتبة معينة، غالباً ما تؤدي إلى عمليات تسليم غير ضرورية متكررة، مما قد يؤدي إلى تدهور أداء الشبكة وتأثيرها على جودة خدمة التطبيقات [3]. تواجه الشبكات أيضاً تبايناً وتقلباً في قوة الإشارة المستقبلية، والتي تتأثر بحركة التجهيز الشبكي والتغيرات البيئية المرتبطة [4,5]. ومن أجل معالجة مشكلة التسليم المتكرر، تقترح هذه الدراسة نموذجاً رياضياً يبرز أهمية وجود عتبة لقوة الإشارة قبل بدء عملية التسليم. هذا النموذج يقارن بين عدد عمليات التسليم باستخدام معيار IEEE802.11 التقليدي بعتبة ثابتة ونهج التسليم القائم على هامش التباطؤ.

أهمية البحث وأهدافه:

تعد عملية التسليم تحدياً يواجه أي تجهيزات تنتقل خلال مجالات نقاط وصول مختلفة، ومن المستحسن إجراء عمليات التسليم الضرورية للحفاظ على جودة اتصال مناسبة، وكذلك تقليل عدد عمليات التسليم غير الضرورية التي يتم إجراؤها نتيجة طبيعة الإشارة اللاسلكية المتغيرة والتي قد تؤدي إلى عمليات تسليم متكررة "ظاهرة التآرجح" عند الاعتماد على عتبة قوة إشارة ثابتة كمبدأ للقيام بعملية التسليم، وأيضاً إذا كانت حركة التجهيزات تتم بغالبيتها ضمن المجال المشترك لتغطية نقاط الوصول حيث تتكرر أيضاً عمليات التسليم والتي تؤدي إلى استهلاك المزيد من الوقت للقيام بعمليات التسليم وبالتالي عدم ثبات الاتصال. لذا تم العمل في هذا البحث على تقليل عمليات التسليم المتكررة التي تحدث في الحالات التي ذكرناها، وذلك بوضع مسافة أمان تدعى هامش التباطؤ Hysteresis Margin تقلل من حدوث عمليات التسليم المتكررة وتؤدي إلى اتصال أكثر ثباتاً.

طرائق البحث ومواده:

تم بداية تصميم نموذج رياضي يوضح أهمية هامش التباطؤ HM في تقليل عمليات التسليم المتكررة والغير ضرورية والحد من ظاهرة ال Ping-Pong. يحاكي هذا النموذج شبكة لاسلكية توجد فيها أماكن خاضعة لتغطية نقطة وصول واحدة وأماكن تغطية متداخلة بين نقاط الوصول، قامت الدراسة باعتماد نموذج حركة يتجول ضمن المناطق السابقة ويقضي % 50 من زمن الحركة ضمن منطقة التغطية المشتركة، وتنفيذ النموذج (كود برمجي) باستخدام لغة البرمجة python وسنقوم لاحقاً بالتنفيذ الفعلي لهذه الخوارزمية في شبكات SDN والاعتماد على التجهيزات الشبكية الداعمة للشبكات المعرفة برمجياً والتي يمكن برمجتها بلغة P4 الأعمال ذات الصلة:

في البداية، كانت آليات التسليم في الشبكات اللاسلكية المحلية تحدث فقط بعد فقدان الاتصال بنقطة الوصول الحالية، حيث يضطر المستخدم إلى إنشاء اتصال جديد مع نقطة وصول أخرى. كانت تستغرق هذه العملية وقتاً طويلاً نظراً لضرورة إجراء عمليات المصادقة والارتباط مع نقطة الوصول الجديدة. تم إحداث تغييرات جوهرية في المعيار IEEE802.11r في عام 2008 لتسريع هذه العملية، حيث تمكنت التعديلات من تسهيل إجراء المصادقة والتحضيرات الأخرى الضرورية مع نقطة الوصول المرشحة لتكون الهدف التالي قبل بدء عملية التسليم الفعلية. هذا التحسين، المعروف بـ Fast Transition (FT) [7]. أدى إلى تسريع التحضيرات لعملية التسليم، مما دفع إلى دمج هذه التعديلات في المعيار IEEE802.11 في عام 2016. في هذا المعيار، يتم اختيار نقطة الوصول التالية بناءً على عدة معايير، ويتم التجهيز لعملية التسليم، لكن توقيت بدء التسليم الفعلي يقرره الجهاز المتنقل، وعادة ما يتم بدء التسليم عندما تتخفف قوة الإشارة للنقطة المرتبط بها تحت عتبة معينة RSSI_Threshold، مما يؤدي أحياناً إلى عدم استقرار الاتصال في بعض الحالات [6].

كانت آليات التسليم في شبكات WLAN وWiFi محور العديد من الأوراق البحثية التي اقترحت طرقاً متعددة لتحسين هذه العملية وتسريعها.

تمت دراسة استخدام عتبات قوة الإشارة (RSSI_Thresholds) للتنبؤ بقطع الاتصال المحتمل بنقطة الوصول الحالية وتنسيق إعداد موارد الشبكة قبل بدء عملية التسليم. تساعد هذه العتبات في توقع انقطاع الاتصال الوشيك من نقطة الوصول الحالية [8].

تقترح الدراسة [9] تقنية التسليم السريع التي تعتمد على معلومات الموقع بين شبكات WiMAX وشبكات Wi-Fi لتقليل تأخير اكتشاف الشبكة المستهدفة. هذه التقنية تساعد في تحديد الشبكة المستهدفة الأنسب للتسليم والقضاء على تأثير ظاهرة Ping-Pong. أيضاً، اقترح مقياس جديد لاختيار نقطة الوصول "الأفضل" لأنظمة IEEE 802.11، حيث يتم تنفيذ قرار التسليم بواسطة كل محطة مع تقديم معلومات الحالة المناسبة لكل نقطة وصول [10].

قُدمت نظرة عامة شاملة على التقنيات والإجراءات المتاحة لاختيار الشبكة والتسليم الرأسي (Vertical Handover, VHO) في الشبكات اللاسلكية غير المتجانسة، مما يساعد المستخدمين على اتخاذ قرارات فعالة استناداً إلى الاعتبارات الاقتصادية واعتبارات التغطية [11].

تقترح [12] خوارزمية (HO) Handover للتحسين الذاتي التي تعتمد على المنطق الغامض لتقليل تأثيرات HOP وHOPP. تمت دراسة هذه الخوارزمية من خلال المحاكاة باستخدام برنامج MATLAB.

كما اقترحت خوارزمية تستطيع التخفيف بشكل فعال من ظاهرة الـ Ping-Pong وعمليات التسليم الرأسية غير الضرورية بين نقاط اتصال G3 الخلوية وWLAN. تحدد هذه الخوارزمية المقترحة الوقت المناسب الذي يجب أن تبدأ فيه المحطة عملية التسليم [13].

أجرت الدراسة [14] سلسلة من عمليات المحاكاة للتخلص من تأثير Ping-Pong وتقليل عمليات التسليم غير الضرورية. استخدمت هذه العمليات مفهوم RSS النفاذ، وهو قياس لقوة الإشارة المستقبلية، واستقراء النقاط المقاسة لتحديد الوقت المناسب لفقدان الاتصال. تمت مقارنة هذه النتائج بالقرارات المتخذة استناداً إلى عتبات RSS وقيمة هامش التباطؤ. يقدم الجدول (1) ملخصاً للدراسات المرجعية والأعمال ذات الصلة بإدارة عمليات التنقل (Mobility) والتسليم (HO) في الشبكات الخليوية [15].

جدول (1) بعض الأعمال ذات الصلة بإدارة الـ Mobility والـ HO في الشبكات الخليوية

الدراسة	نوع الشبكة المستهدفة للدراسة	اهداف الدراسة
16	LTE-A	-إدارة التنقل في الشبكات الخلوية ذات المستويين-تحديد الخلية- اختيار/إعادة تحديد الخلية، التحكم في الوصول-قرار التسليم، تنفيذ التسليم
17	5G,4G	إدارة التسليم في شبكات 5G/4G • المقارنة بين آليات التسليم في G5 و G4 -اختيار BS الهدف.
18	5G (VANET)	الحلول المقترحة لفشل التسليم في شبكات VANET
19	5G	نظرة عامة مختصرة على تقنيات التسليم

إضافة إلى ذلك، توجد عدة طرق لاتخاذ قرار التسليم في شبكات الهاتف المحمول، منها طريقة عتبة مؤشر قوة الإشارة المستقبلية (RSSI) وطريقة التنبؤ بالوقت للبقاء. تعد طريقة عتبة RSSI الأكثر استخداماً والأبسط لتصميم هذا النوع من قرارات الـ Handover، حيث تعتمد على تحديد عتبة كميّار للحكم على إجراء عملية التسليم [20].

تقترح الدراسة [21] بروتوكول تسليم سريع يعتمد على تحديد المواقع لتقليل زمن التسليم، يمكنه تحديد نقطة وصول (AP) مناسبة استناداً إلى أقصر مسافة من المحطة المتحركة (MT). يسمح هذا البروتوكول لمستخدم الهاتف المحمول بالاستجابة بسرعة عند اتخاذ قرار الاتصال بنقطة الوصول التالية.

تم التركيز أيضاً على أهمية التسليم في الاتصالات اللاسلكية المتنقلة، خصوصاً في شبكات WiMAX. وُحُتت العلاقة بين المسافة (بين STA و AP) ومؤشر قوة الإشارة المستقبلية RSSI وتأخير التسليم في شبكات WiMAX، مع التأكيد على تأثير قوة الإشارة المستقبلية RSSI على جودة الشبكة والخدمات والاتصال ضمن الشبكة [22].

كذلك، تم الكشف عن طريقة لاكتشاف وتقليل تأثير PING-PONG للشبكة الخلوية. توفر هذه الطريقة منهجية لتحديد أزواج الخلايا داخل الشبكة والتي لديها احتمال كبير للمعاناة من تأثير تسليم PING-PONG. تشمل الطريقة جمع بيانات إحصائية لحركة مرور الشبكة لعناصر متعددة، حيث يتوافق كل عنصر من العناصر مع تغيير حالة وحدات متنقلة متعددة داخل الخلايا [23].

تبين الدراسات السابقة أن الشبكات الخلوية قد شهدت تطوراً كبيراً في معالجة مشاكل التسليم، في حين أن الشبكات اللاسلكية المحلية WLAN لم تحظ بنفس القدر من الاهتمام في هذا المجال. عند تطوير أي خوارزمية أو طريقة لمعالجة التسليم في هذه الشبكات، يجب التركيز على تصميم دقيق يقلل بشكل فعال من تأثير Ping-Pong ويحسن جودة الخدمة بالشبكة.

لا تستغل الحلول الحالية لإدارة عمليات التسليم في الشبكات اللاسلكية بشكل كافٍ تحليلات قوة الإشارة المستقبلية RSSI وهامش التباطؤ للتخلص من عمليات التسليم غير الضرورية. تهدف الدراسة إلى تقليل عمليات التسليم الهوائية (HO)، خاصة للمستخدمين الذين ينتقلون بشكل متكرر، في الشبكات اللاسلكية المحلية وشبكات Wi-Fi. زيادة هذه العمليات يمكن أن تؤدي إلى ضياع الوقت وخسارة البيانات، ما يؤثر سلباً على جودة أداء الشبكة ويجعل اتصالات الشبكة اللاسلكية غير مستقرة.

التسليم (Handover):

هو العملية التي تتيح للعقدة المتنقلة الحفاظ على اتصالها النشط عند الانتقال من نقطة وصول (AP) إلى أخرى. إذ يمكن أن تُبادر المحطة المتحركة نفسها أو مدير الشبكة بعملية التسليم.

تتضمن المرحلة الثانية إنشاء اتصال جديد، حيث تحتاج الشبكة إلى تخصيص موارد جديدة لعملية الـ HO وتنفيذ أي عمليات توجيه إضافية ضرورية. إضافةً إلى السيطرة على تدفق البيانات ضرورية لضمان استمرارية تسليم البيانات من مسار الاتصال القديم إلى المسار الجديد، وذلك وفقاً لمعايير جودة الخدمة المتفق عليها والتي تعتمد بدورها على حركة الجهاز المتحرك [24]. يتم خلال عملية التسليم تحديد الخلية الهدف بإرسال رسالة أولية من المحطة المتحركة (المصدر) إلى نقطة الوصول (الهدف). تحتوي هذه الرسالة الأولية على معرف الجهاز اللاسلكي الذي لديه رابط اتصال مع المحطة الأساسية المصدر ومعلومات تُستخدم للحصول على بيانات المصادقة لهذا الجهاز اللاسلكي. تعتمد بيانات المصادقة هذه على المفتاح السري المشترك بين الجهاز اللاسلكي والمحطة الأساسية المصدر، وكذلك على هوية الخلية المستهدفة.

في حالة فشل ارتباط الاتصال، يتم تحديد خلية على الجهاز اللاسلكي، يرسل إليها طلب إعادة التأسيس يشمل معرف الخلية وبيانات المصادقة المعتمدة على المفتاح السري وهوية الخلية المحددة. إذا كانت الخلية المحددة تُخدم من قبل محطة قاعدة مستهدفة واستقبلت الرسالة الأولى، يتم التحقق من مطابقة بيانات المصادقة المضمنة في طلب إعادة التأسيس مع البيانات التي تم الحصول عليها من الرسالة الأولى لتمكين نقل رابط الاتصال إلى الخلية المحددة [25]. أصبحت تكنولوجيا الشبكة اللاسلكية التي تعتمد على المعيار 802.11 حلاً لمعالجة متطلبات الاتصال في تطبيقات متعددة. إحدى المشكلات الرئيسية لهذه التطبيقات عبر شبكة WLAN هي التأثير على جودة الخدمة، خصوصاً خلال عملية التسليم داخل الشبكة أو بين شبكات WLAN الفرعية، حيث يمكن أن يتأثر زمن الوصول بشكل كبير عندما تنتقل العقدة المتحركة من نقطة وصول (AP) إلى أخرى. هذه المشكلة تشكل تحدياً في توفير الوقت والحفاظ على جودة الخدمة لمستخدمي تطبيقات الوقت الفعلي ضمن شبكة WLAN [26].

تتكون عمليات التسليم في شبكات WLAN من نوعين رئيسيين:

1. التسليم المرن (Soft Handover): يسمح هذا النوع بإمكانية الاحتفاظ بالاتصال بنقطة الوصول الحالية قبل إنشاء اتصال جديد بنقطة الوصول المستهدفة. يتم إجراء التسليم المرن عادة عبر شبكة المنطقة المحلية اللاسلكية (WLAN) بموجب المعيار IEEE 802.11، مما يتيح للمحطة المتحركة التبديل بين نقاط الوصول بسلاسة دون فقدان الاتصال.
2. التسليم القاسي (Hard Handover): في هذا النوع، ينقطع الاتصال بين المحطة المتحركة ونقطة الوصول الحالية قبل أن يتم إنشاء الاتصال بنقطة الوصول المستهدفة. يؤدي هذا إلى فترة انقطاع مؤقتة في الاتصال، والتي قد تؤثر سلباً على جودة الخدمة للتطبيقات التي تتطلب استمرارية في الاتصال، مثل التطبيقات الصوتية وتطبيقات الفيديو الحية. كل نوع من عمليات التسليم له مزاياه وعيوبه، واختيار الطريقة المناسبة يعتمد على متطلبات الشبكة والتطبيقات المستخدمة.

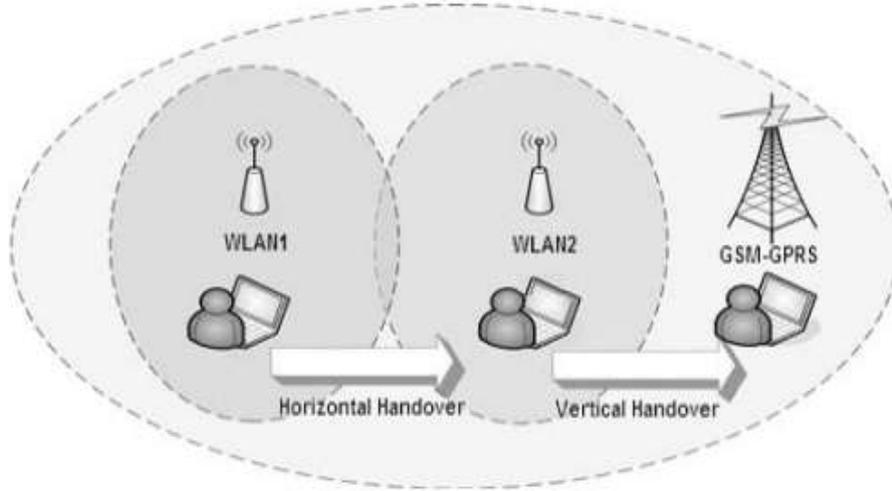
يمكن تصنيف عمليات التسليم في الشبكات اللاسلكية إلى نوعين رئيسيين: التسليم الأفقي والتسليم الرأسي.

1. التسليم الأفقي (Horizontal Handover): هذا النوع من التسليم يحدث داخل نفس تقنية الاتصالات الشبكية. تقوم فيه المحطة المتحركة بالتبديل بين نقطتي وصول داخل نفس النظام الشبكي. يُعرف هذا النوع أيضاً باسم التسليم

داخل النظام، وعادة ما يحدث عندما تقل قوة إشارة نقطة الوصول الحالية عن عتبة محددة، مما يدفع المحطة للبحث عن نقطة وصول ذات إشارة أقوى ضمن نفس التقنية [27].

2. التسليم الرأسى (Vertical Handover): يتضمن هذا النوع من التسليم التبديل بين نقاط وصول تستخدم تقنيات اتصال شبكية مختلفة. تقوم المحطة المتحركة بتغيير اتصالها من تقنية شبكية إلى أخرى، مما يتيح استمرارية الاتصال عبر بيئات شبكية متنوعة. هذا النوع من التسليم مفيد خصوصاً في الشبكات غير المتجانسة حيث يمكن للمستخدمين الاستفادة من مزايا تقنيات متعددة.

كل نوع من أنواع التسليم له دوره في تحسين أداء الشبكة وضمان استمرارية الخدمة للمستخدمين أثناء تنقلهم، سواء داخل نطاق تقنية شبكية واحدة أو عبر تقنيات مختلفة.

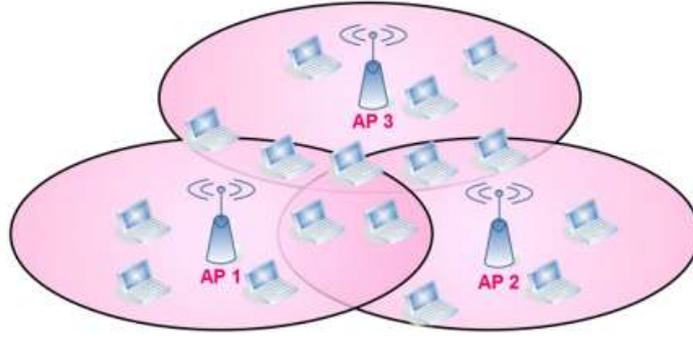


الشكل (1) التسليم الأفقي والعمودي

يعتمد قرار التسليم على مستوى الطاقة، وعلى مؤشر شدة الإشارة المستقبلية (RSSI)، وعلى قيمة العتبة (T)، والتي تُعرف بأنها أدنى قيمة مقبولة لمستوى الإشارة. تبدأ عملية التسليم عندما تنخفض قوة الإشارة المستقبلية دون هذا المستوى [28].

:BSS (Basic Service Sets)

تُعرف BSS بأنها طوبولوجيا شبكة تسمح للأجهزة اللاسلكية بالتواصل فيما بينها من خلال وسيط مشترك، وهو نقطة الوصول (AP) عادة ما تحتوي على نقطة وصول واحدة متصلة بجميع المحطات، أي جميع الأجهزة اللاسلكية داخل الشبكة. تعمل نقطة الوصول هذه كوسيط، مما يؤسس شبكة محلية لاسلكية (WLAN) تمكن الأجهزة من الاتصال بشبكة سلكية وبدء الاتصال فيما بينها. وتُعتبر بذلك النقطة الرئيسية التي تتحكم في جميع المحطات اللاسلكية. من خلال نظام التوزيع (DS)، يتم تقليل وقت التعطيل عبر تبادل الرسائل بين المحطة المتحركة ونقطة الوصول المستهدفة قبل تغيير قناة التردد اللاسلكي، مما يقلل من وقت انقطاع الخدمة [29].



الشكل (2) بنية BSS [30]

مؤشر قوة الإشارة المستقبلية (RSSI):

هو قياس يظهر حالة طاقة الإشارة المستقبلية في عقد الشبكة ويستخدم في معظم معايير الاتصالات اللاسلكية. تتأثر قيمة RSSI بالمسافة وبالتغيرات في البيئة المحيطة.

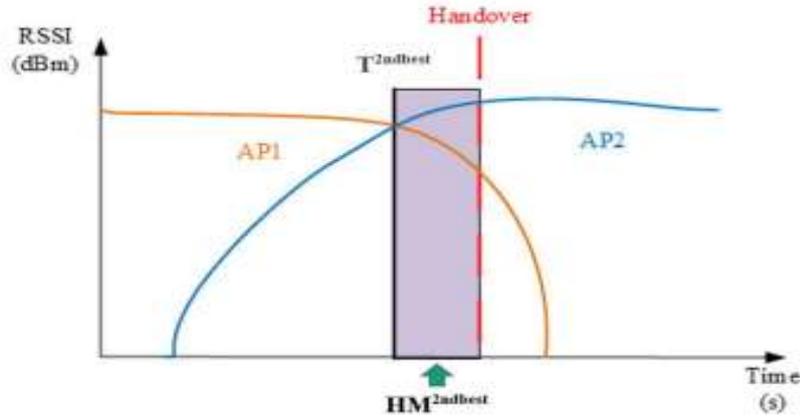
طريقة عتبة RSSI هي الأكثر استخداماً والأبسط لتصميم قرارات التسليم، حيث تنطوي على تحديد عتبة كمعيار للحكم على إجراء عملية التسليم، المعروفة باسم "طريقة حكم التسليم ذات العتبة الواحدة". [31][32].

عند اتخاذ قرار عملية الـ Handover، تعتمد أسوأ قوة إشارة مقبولة لإجراء عملية الـ Handover بشكل عاجل كعتبة. إذا كانت قوة الإشارة بين المحطة المتحركة ونقطة الوصول الحالية أقل من أسوأ قوة إشارة مقبولة، فهذا يعني أن جودة الإشارة الحالية سيئة للغاية، ويجب على المحطة المتحركة أن تبدأ على الفور عملية التسليم وإجراء الاتصال بنقطة وصول قريبة ذات جودة إشارة أفضل [33].

تشمل المشكلات الشائعة التي تؤدي إلى انخفاض قيمة RSSI عوامل مثل الحيود، الانعكاس، التشتت، ونوع الهوائي، والتي يمكن أن تؤثر بشكل كبير على جودة الإشارة. بالإضافة إلى ذلك، قد تعيق العوائق الفيزيائية مثل الجدران، الأبواب، أو الأثاث بين جهاز التوجيه والجهاز المتقل جودة الاتصال. كذلك، تُعتبر المسافة بين جهاز التوجيه والجهاز المتقل عاملاً مؤثراً؛ فإذا كانا متباعدين بشكل كبير، فمن المحتمل أن يواجه صعوبات في الاتصال [34].

هامش التباطؤ (Hysteresis Margin, HM): هو الهامش المستخدم للحفاظ على الفرق الأدنى بين قوة الإشارة المستقبلية من المحطة الأساسية الحالية والمحطة الأساسية المستهدفة. عادةً، يكون هامش التباطؤ ثابتاً، لكن هامش التباطؤ التكيفي يعتمد على تعديل فعلي لقيمة HM وفقاً لموقع المستخدم داخل الخلية، حيث تتناقص HM كلما اقتربت المحطة المتحركة من حدود الخلية. يخفف التحديد الصحيح لهامش التباطؤ من معدل التسليم غير الضروري والمتكرر، أو ما يُعرف بظاهرة التآرجح "Ping-Pong".

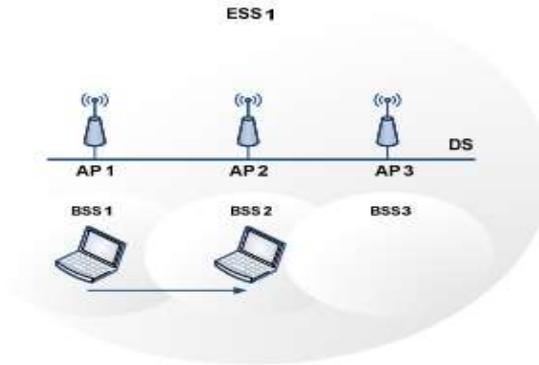
في تصميم خوارزميات التسليم من الضروري أخذ جودة الارتباط بالحسبان، والتي يمكن تحليلها من خلال قوة الإشارة المستلمة (RSS). يعد هامش التباطؤ عاملاً مهماً إلى جانب عتبة قوة الإشارة المستقبلية في خوارزميات التسليم المعتمدة على RSS. يلعب هذا البارامتر دوراً مهماً في تطوير خوارزميات تسليم RSS، حيث أن التكوين غير الصحيح لهذا البارامتر يمكن أن يؤدي إلى عدد كبير من عمليات التسليم الفاشلة [35][36]. يبين الشكل (3) هامش التباطؤ لإجراءات التسليم [37].



الشكل (3) هامش التباطؤ لإجراءات التسليم

الدراسة النظرية:

تتألف بنية IEEE 802.11 من عدة عناصر، حيث تُعد مجموعة الخدمات الأساسية (BSS) المكون الأساسي في هذه البنية. تتواصل الوحدات المختلفة من BSS فيما بينها أو مع مضيفي الإنترنت من خلال نقاط الوصول (APs). يمكن لعدة أنظمة BSS أن ترتبط مع بعضها البعض عبر نظام التوزيع (Distributed System, DS) لتشكيل مجموعة الخدمة الموسعة (ESS). تشمل كل BSS على عدة محطات متنقلة. عند انتقال المحطة بين BSS مختلفة، يلزمها تبديل نقطة الوصول الخاصة بها، والتي تعمل كجسر يسمح بالربط البيئي ضمن نظام التوزيع [38، 39]. يتيح بروتوكول الانتقال السريع لمجموعة الخدمات الأساسية (BSS FT) للمحطة المتنقلة إمكانية الأداء الكامل من خلال المصادقة مع نقطة الوصول الأولى AP في المجال، واستخدام إجراء اقتران أقصر مع نقاط الوصول التالية في نفس المجال. يُعرّف تعديل IEEE 802.11r المجال بأنه مجموعة من نقاط الوصول التي تدعم بروتوكول FT والمتصلة عبر نظام التوزيع (Distributed system).



الشكل (4) BSS FT

مراحل عملية التسليم:

تتألف إجراءات التسليم من ثلاث مراحل أساسية: المسح، المصادقة، والارتباط أو إعادة الاقتران.

1. **المسح:** في هذه المرحلة، تسعى المحطة المتنقلة لإيجاد نقطة وصول جديدة (AP) توفر أفضل جودة للإشارة. تقوم المحطة المتنقلة بإرسال إطار طلب التحقق إلى النقاط المحتملة لتحديد جودة ومعلومات قدرة الاتصال لكل AP. يتضمن الرد من AP على طلب التحقق معلومات مثل القدرة ومعدلات البيانات المدعومة. من الضروري أن تقوم

المحطة المتنقلة بمسح جميع القنوات المحددة بدقة — 11 قناة في b/g802.11 و 8 قنوات في a802.11 — لتحديد APs المحتملة. بعد فحص جميع القنوات المحددة، تختار المحطة المتنقلة AP المناسبة بناءً على المعلومات المستقبلية ونسبة الإشارة إلى الضجيج (SNR) المرتبطة بها. ومع ذلك، يمكن أن يكون التأخير في هذه المرحلة طويلاً نظراً للحاجة إلى انتظار الفاصل الزمني على كل قناة [40].

2. **المصادقة:** تعالج مرحلة المصادقة عملية التحقق من هوية المحطة المتنقلة. تبدأ المحطة المتنقلة العملية بإرسال إطار المصادقة، الذي يحتوي على هويتها، إلى AP المحددة. بعد ذلك تقرر AP رفض أو قبول الاتصال بناءً على ذلك الإطار [41].

مرحلة إعادة الارتباط Reassociation: تتضمن هذه المرحلة طلب إعادة الارتباط والاستجابة له. عندما تتجول المحطة المتنقلة بعيداً عن نقطة الوصول التي ترتبط بها حالياً وتجد نقطة وصول جديدة تقدم نسبة أفضل للإشارة إلى الضجيج (SNR)، ترسل إطار إعادة الاقتران إلى هذه النقطة الجديدة. تقوم النقطة الجديدة بتنسيق إعادة توجيه أي إطارات بيانات متبقية في المخزن المؤقت للنقطة السابقة والتي لم تُرسل بعد إلى المحطة المتنقلة. يلي ذلك استجابة من AP تتضمن إشعار قبول طلب إعادة الارتباط. مثلما في عملية الارتباط الأولية، يحتوي إطار الاستجابة على معلومات تتعلق بالارتباط مثل معرف الارتباط (ID) ومعدلات البيانات المدعومة. يجب أن تضمن عملية التسليم استمرارية الاتصال بالمحطة المتنقلة أثناء انتقاله من نقطة وصول إلى أخرى [42].

ظاهرة (HOPP) Handover PING PONG: يُقصد بها التسليم ذهاباً وإياباً بين خليتين بشكل متكرر، وغالباً ما يحدث بسبب الحركة المتكررة للمحطات المتنقلة بين خليتين متجاورتين، أو بسبب التذبذب العالي للإشارة عند حدودهما المشتركة. هذه الظاهرة تؤثر سلباً على جودة الاتصال وتزيد الحمل على الشبكة اللاسلكية. والأسوأ من ذلك، فإن تحرك المستخدم عبر حدود منطقة التغطية يمكن أن يؤدي إلى تقلبات شديدة في قوة الإشارة، مما يستدعي إجراء عمليات تسليم تُغير الارتباط مع نقاط الوصول للخليتين [43].

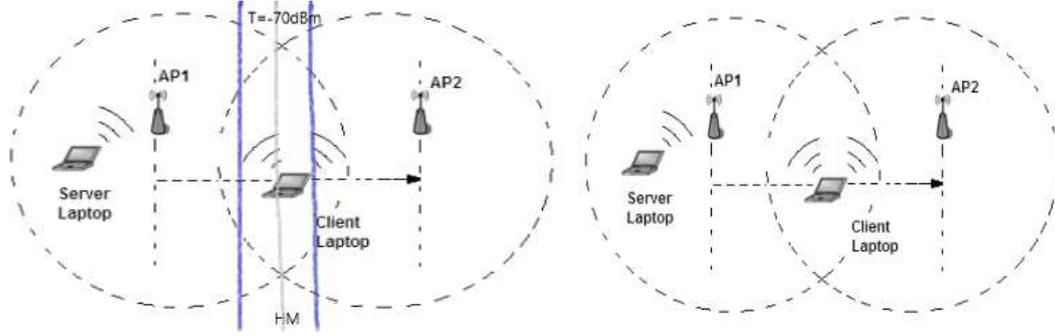
أهمية هامش التباطؤ (Hysteresis Margins, HMs)

يشبه هامش التباطؤ مساحة أمان مضافة إلى عتبة التسليم الأصلية في خوارزميات التسليم التقليدية، مما يزيد قيمة HMs لتحقيق ثبات أكبر في عمليات التسليم. تُظهر الأبحاث أن إضافة هذا البارامتر إلى خوارزمية التسليم يحسن استقرار الإشارة بشكل كبير، خاصة في مناطق تداخل التغطية بين نقطتين وصول، حيث تكون الإشارة متقلبة بشكل كبير. للتخفيف من التسليم الزائد (HO)، إذا كانت قوة الإشارة بين المحطة المتنقلة ونقطة الوصول الهدف أعلى من العتبة الأصلية مضافاً إليها RSSI لنقطة الوصول الحالية، فإن هذا يُعتبر مؤشراً للانتقال. بالإضافة إلى ذلك، يجب أن يتجاوز RSSI لنقطة الوصول الهدف قيمة RSSI لنقطة الوصول الحالية بمقدار لا يقل عن HM بالديسيبل مضافاً إليها قيمة العتبة RSSI_Threshold لتفعيل التسليم [44].

تقدم التحسينات التي تدخلها الطريقة المحسنة والمبسطة للتسليم باستخدام هامش التباطؤ العديد من الفوائد الهامة لإدارة الشبكات اللاسلكية، بما في ذلك تقليل عمليات التسليم وتحسين جودة الاتصال داخل الشبكة. فيما يلي بعض المزايا الرئيسية لاستخدام هامش التباطؤ في إدارة الشبكات اللاسلكية [45]:

النتائج والمناقشة:

قامت الدراسة في البداية بإنشاء النموذج الرياضي الذي يوضح أهمية وجود عتبة قبل القيام بعملية التسليم، كما طورت نموذج رياضي لعملية التسليم، إذ يمكن إنشاء سيناريو معين ومقارنة عدد عمليات التسليم باستخدام معيار IEEE802.11 التقليدي مقابل نهج التسليم القائم على هامش التباطؤ وبروتوكول IEEE802.11r FT ومؤشر قوة الإشارة المستقبلية RSSI. يوضح الشكل (5) مخططاً لعملية التسليم بوجود هامش التباطؤ.



الشكل (5) مخطط عملية التسليم بوجود هامش التباطؤ HM

نموذج التسليم التقليدي IEEE802.11

في النموذج التقليدي، تحدث عملية التسليم عندما تكتشف المحطة STA1 أن مؤشر RSSI لنقطة الوصول المجاورة يتجاوز RSSI لنقطة الوصول الحالية بأي مقدار أعلى من العتبة T (والتي تبلغ 70dBm - في حالتنا المدروسة):

$$RSSI_{st1,ap2}(t) > RSSI_{st1,ap1}(t) \text{ and } RSSI_{st1,ap2}(t) > RSSI_threshold$$

قيمة RSSI لنقطة الوصول AP1 عند المحطة Sta1 في الزمن t $RSSI_{st1,ap1}(t)$

عتبة RSSI للتسليم، مضبوطة على 70 dB mw $RSSI_threshold$

دالة التسليم القياسية في الزمن t والتي ترجع 1 في حالة حدوث التسليم، و 0 في غير ذلك. $Hstd(t)$

عدد عمليات التسليم:

يتم إعطاء إجمالي عدد عمليات التسليم في النموذج التقليدي خلال فترة T بواسطة:

$$Hstd_total = \sum_{t=0}^T Hstd(t)$$

نموذج التسليم القائم على التباطؤ:

يشتمل النموذج القائم على التباطؤ على هامش M (وهو 4 ملي ديسيبل) لمنع عمليات التسليم غير الضرورية. يحدث التسليم فقط عندما يتجاوز RSSI لنقطة الوصول المجاورة RSSI لنقطة الوصول الحالية بما لا يقل عن M dBm فوق العتبة $RSSI_Threshold$.

المتغيرات:

M: هامش التباطؤ، مضبوط على 4dBm.

• $Hys(t)$: دالة التسليم القائمة على التباطؤ في الوقت t والتي ترجع 1 في حالة وجوب التسليم، و 0 في خلاف ذلك.

معيار التسليم:

يتم التسليم في الوقت t إذا كان:

$$((RSSI_{st1,ap2}(t) - RSSI_{st1,ap1}(t)) > M \text{ and } RSSI_{st1,ap2}(t) > RSSI_{threshold}$$

عدد عمليات التسليم:

يتم إعطاء إجمالي عدد عمليات التسليم في النموذج القائم على التباطؤ خلال فترة T بواسطة:

$$H_{hys_total} = \sum_{t=0}^T H_{hys}(t)$$

معدل انقاص عمليات التسليم:

$$Improvement \ Ratio = \frac{H_{std_total} - H_{hys_total}}{H_{std_total}}$$

التمثيل الرياضي لنمط الحركة:

لنمذجة نمط الحركة، يمكننا النظر في مسار خطي عبر مناطق التغطية المتداخلة لنقطتي الوصول. ستتغير قيمة RSSI وفقاً للمسافة من كل نقطة وصول.

لنفترض أن: نقطتي الوصول اللاسلكية ap1 و ap2 لهما نفس القطر d والمسافة بينهما هي d/4، وأن العقدة اللاسلكية STA1 تتحرك داخل منطقة تغطية نقاط الوصول وكذلك في المنطقة المتداخلة، وعتبة RSSI هي -70 dBm و هامش التباطؤ 4 dBm، لتوضيح الانخفاض في عملية التسليم، يمكن أن يقضي مسار الحركة بعض الوقت في التحرك داخل منطقة التغطية المتداخلة لذلك لا تحدث عملية تسليم في طريقتنا ولكن سيحدث عملية تسليم متكررة في IEEE802.11r

• نقاط الوصول لها تغطية دائرية بقطر d.

• المسافة بين مركزي AP1 و AP2 هي d/4، مما يخلق تداخلاً في مناطق التغطية.

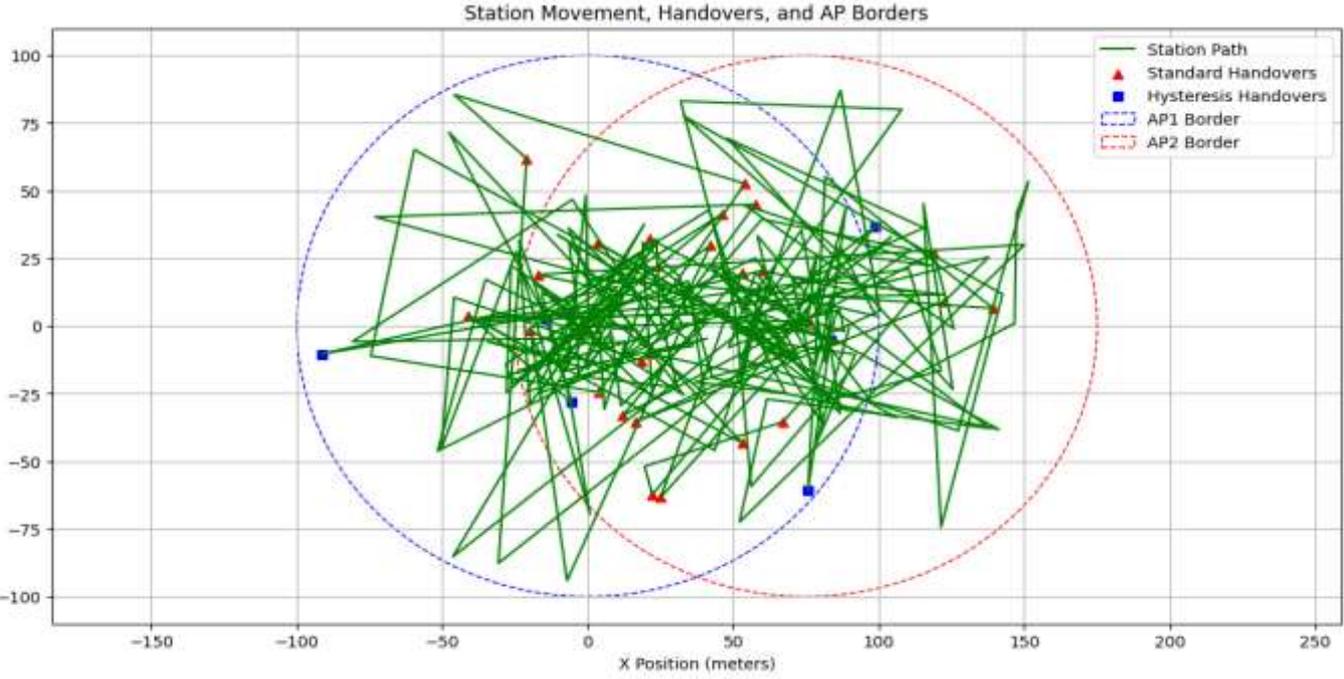
• هامش التباطؤ هو 4 dB.

• يتناقص مؤشر RSSI خطياً مع المسافة من نقطة الوصول.

• تتحرك المحطة Stat1 بشكل عشوائي وبسرعة ثابتة على طول المسار الذي يمر بها عبر منطقة التغطية المتداخلة. حيث أن RSSI max هو الحد الأقصى لـ RSSI في مركز منطقة التغطية، و d/2 هو نصف قطر منطقة التغطية. يمكن تحديد التحسن في أعداد عمليات التسليم من خلال عدد عمليات التسليم التي ستجريها الطريقة القياسية مقارنةً بطريقة التباطؤ أثناء تحرك المحطة اللاسلكية sta1 عبر المنطقة.

النتائج:

قمنا بتطبيق النموذج الرياضي باستخدام لغة البرمجة python، وحرصنا على أن يشمل نموذج الحركة مناطق مختلفة ضمن تغطية نقاط الوصول وكذلك منطقة التغطية المشتركة، وهي المنطقة الأهم والتي تبين أهمية وجود هامش تباطؤ خصوصاً إذا كانت حركة المحطة اللاسلكية تتم بشكل متكرر ضمن هذه المنطقة.



الشكل (6) مقارنة عدد عمليات التسليم باستخدام طريقة العتبة المعيارية وباستخدام طريقة هامش التباطؤ

عدد عمليات التسليم بالطريقة القياسية ▲

عدد عمليات التسليم باستخدام هامش التباطؤ ■

مقدار تخفيض عدد عمليات التسليم 86.84%

تبين النتائج بوضوح كيف يمكن لطريقة التسليم القائمة على التباطؤ أن تقلل من تكرار عمليات التسليم مقارنة بطريقة IEEE802.11 القياسية المعتمدة على العتبة. وفيما يلي تفصيل لما نراه:

• **مسار المحطة station path**: إن المسار الذي تسلكه المحطة متنوع وواسع النطاق، ويغطي كامل مساحة نقطتي الوصول والمنطقة المتداخلة بينهما. تحاكي هذه العشوائية سيناريو واقعي، إذ أن الجهاز قد يتحرك بشكل غير متوقع داخل منطقة تغطية الشبكة.

• **عمليات التسليم القياسية Standard Handover** تكون عمليات التسليم القياسية أكثر تكراراً، وتحدث عندما تتجاوز قيمة RSSI الخاص بالمحطة لنقطة الوصول غير الحالية تلك الخاصة بنقطة الوصول الحالية وعتبة RSSI. تتفاعل الطريقة القياسية مباشرة مع هذه التغييرات دون مراعاة استقرار الاتصال، مما يؤدي إلى عدد أكبر من عمليات التسليم.

• **عمليات التسليم القائمة على التباطؤ Hysteresis Handover**: تكون أقل تكراراً لأن الطريقة القائمة على التباطؤ تتطلب أن تتجاوز قيمة RSSI لنقطة الوصول الأخرى تلك الخاصة بنقطة الوصول الحالية لكن أيضاً أن تتجاوزها بهامش معين (هامش التباطؤ) (والتي تمثل هنا حسب النموذج الرياضي مساحة عازلة لا تحصل فيها عمليات التسليم) يقلل هذا المتطلب الإضافي من الحساسية للتقلبات الصغيرة في قوة الإشارة، مما يؤدي بدوره إلى تقليل عدد عمليات التسليم، بالتالي سيؤدي إلى انقطاعات أقل في اتصال الشبكة.

• **تخفيض نسبة التسليم:** يمكن قياس الانخفاض في عدد عمليات التسليم من خلال مقارنة العدد الإجمالي لعمليات التسليم الحمراء (عمليات التسليم القياسية) مع العلامات الزرقاء (عمليات التسليم القائمة على التباطؤ). يُترجم العدد الأقل من العلامات المتقاطعة الزرقاء مباشرةً إلى عدد أقل من الاضطرابات وربما تجربة شبكة أكثر استقراراً للمستخدم.

دراسة تأثير هامش التباطؤ: فيما يلي شرح للنتائج المتوقعة بناءً على تأثير تغيير هامش التباطؤ:

انخفاض هامش التباطؤ: سيؤدي انخفاض هامش التباطؤ إلى:

• **زيادة الحساسية:** مع وجود هامش تباطؤ أقل (أقرب إلى 0 dBm)، يكون النظام أكثر حساسية لتقلبات قيمة RSSI. ويمكن أن تؤدي هذه الحساسية إلى عمليات تسليم أكثر تكراراً نظراً لأن هامش بدء عملية التسليم ضئيل للغاية.

• **ارتفاع عدد عمليات التسليم:** بالتالي، ستلاحظ عادةً عدداً أعلى من عمليات التسليم القياسية وعمليات التسليم القائمة على التباطؤ. قد تتفاعل الشبكة بسرعة كبيرة جداً مع تغييرات قيمة RSSI البسيطة، مما قد يؤدي إلى عمليات تسليم غير ضرورية، ويؤدي إلى تأخر زمن الوصول.

هامش التباطؤ العالي: تؤدي زيادة هامش التباطؤ إلى:

• **انخفاض الحساسية:** زيادة هامش التباطؤ يجعل النظام أقل حساسية للتغيرات الطفيفة في RSSI. بالتالي لن تتم عملية التسليم إلا عندما يكون هناك اختلاف كبير في قوة الإشارة، مما يشير إلى أن الحاجة الماسة أصبحت أكبر من أجل التبديل إلى نقطة وصول أخرى.

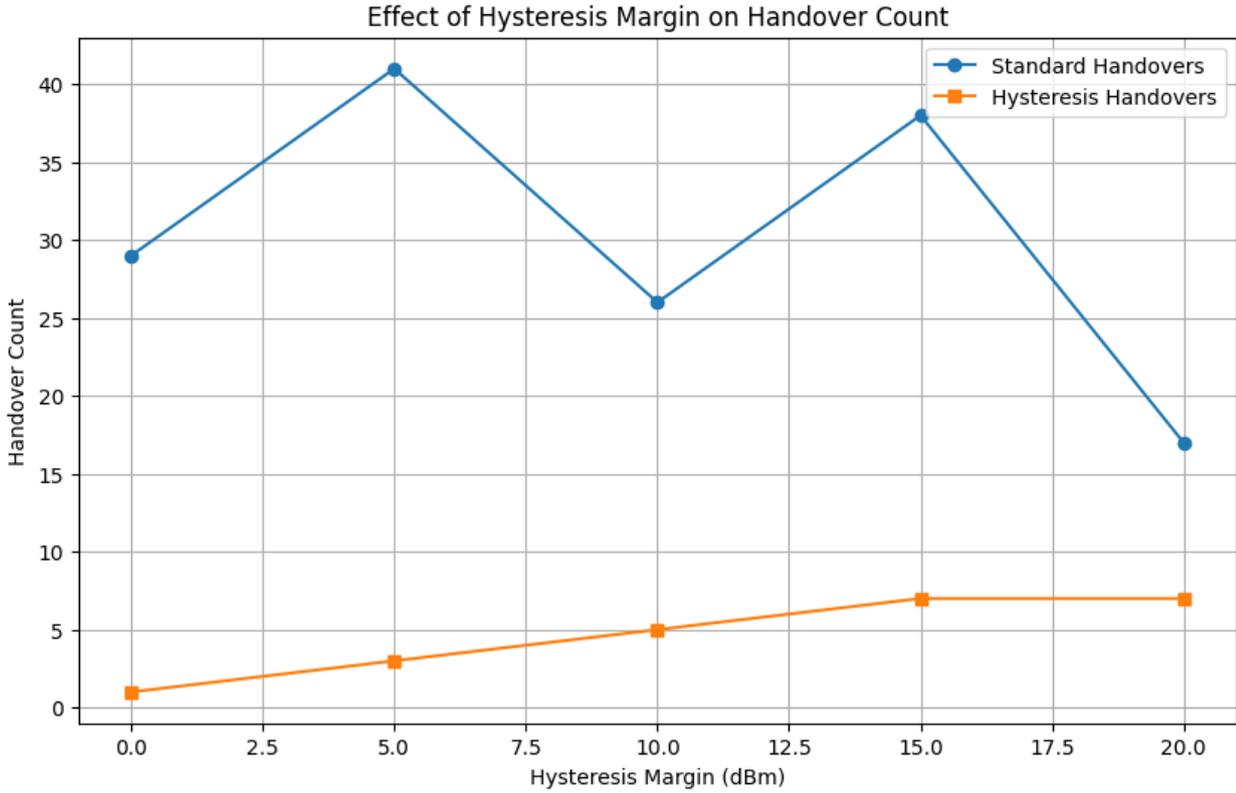
• **انخفاض عدد عمليات التسليم:** نتيجةً لذلك، ينبغي أن ينخفض العدد الإجمالي لعمليات التسليم. يؤدي هذا التخفيض إلى اتصالات أكثر استقراراً، حيث سيلتزم المستخدمون بنقطة الوصول الحالية الخاصة بهم لفترة أطول، مع تجنب الحمل المحتمل والانقطاعات الناجمة عن عمليات التسليم المتكررة.

• في حين أن الهامش الأعلى يمكن أن يقلل من عمليات التسليم غير الضرورية، لذلك فإن تعيين قيمته على مستوى مرتفع للغاية قد يؤدي إلى المخاطرة بالحفاظ على الاتصال بنقطة وصول دون المستوى الأمثل لفترة طويلة جداً، مما قد يؤدي إلى تعريض جودة الاتصال للخطر إذا انتقل المستخدم إلى منطقة ذات إشارة بديلة أقوى.

• الفكرة الرئيسية هي إيجاد توازن في هامش التباطؤ والذي يقلل من عمليات التسليم غير الضرورية (تعزيز استمرارية الاتصال دون التضحية بالقدرة على الاستجابة للتغيرات الهامة في بيئة الشبكة (ضمان الاتصال الأمثل)).

جدول (2): مقارنة متوسط عدد عمليات التسليم باستخدام الطريقة التقليدية مع عدد عمليات التسليم باستخدام هامش التباطؤ المقترح

17	38	25	40	30	متوسط عدد عمليات التسليم في الطريقة التقليدية تقريباً
7	7	5	3	2	عدد عمليات التسليم باستخدام هامش التباطؤ المقترح
20	15	10	5	0	قيمة هامش التباطؤ (dBm)



الشكل (7) مقارنة عدد عمليات التسليم باستخدام الطريقة التقليدية وهامش التباطؤ المقترح

نلاحظ أن متوسط عدد عمليات التسليم في الطريقة المقترحة أقل من متوسط عدد عمليات التسليم في الطريقة التقليدية للتسليم.

تعزيز استقرار الشبكة: يتم دعم وتعزيز استقرار الشبكة أثناء عملية التسليم عن طريق:

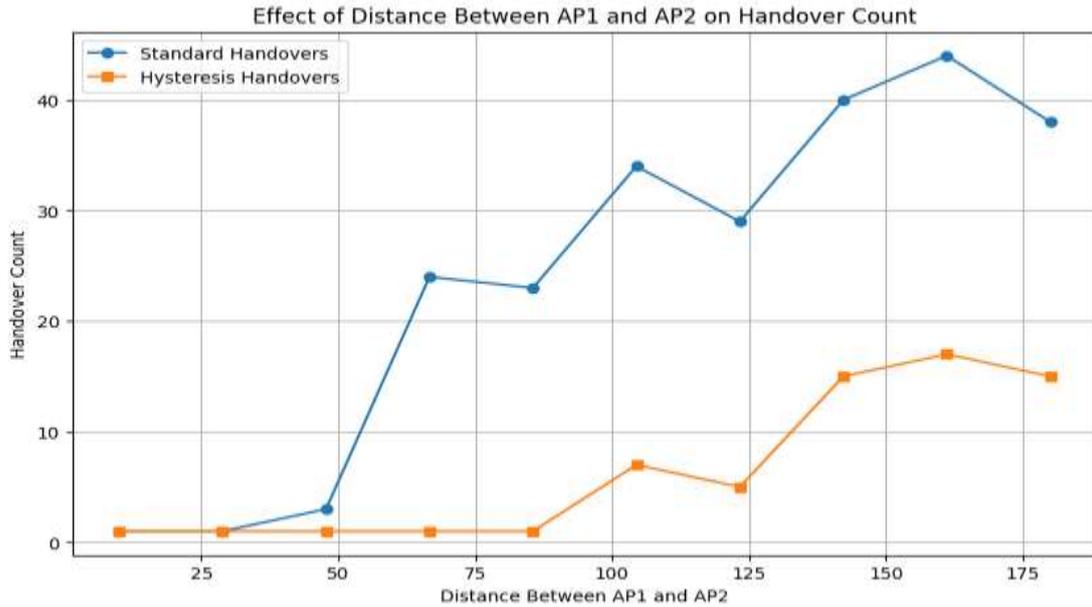
- **تقليل تأثير Ping-Pong:** من خلال دمج العناصر التنبؤية في عملية البدء بالتسليم، يمكن للنظام توقع الاحتياجات الحقيقية بشكل أفضل لتبديل نقاط الوصول، مما يقلل من عمليات التسليم غير الضرورية (تأثير Ping-Pong) التي تحدث بسبب التقلبات الطفيفة في قوة الإشارة. يؤدي هذا إلى اتصال شبكة أكثر استقراراً للمستخدم.
- **الاستخدام الفعال للموارد:** مع عدد أقل من عمليات التسليم غير الضرورية، يتم استخدام موارد الشبكة بشكل أكثر كفاءة. تستهلك كل عملية تسليم موارد الشبكة وطاقة جهاز المستخدم. يساعد تحسين قرارات التسليم في الحفاظ على هذه الموارد، وتحسين الأداء العام للشبكة، وإطالة عمر بطارية الجهاز.

إن تحديد هذا الهامش يتطلب دراسة متأنية تراعي ظروف الشبكة. حيث يجب أن يكون الهامش الأمثل كبيراً بما يكفي لمنع عمليات التسليم غير الضرورية بسبب ضجيج الإشارة، ولكن ليس كبيراً جداً بحيث يمنع عمليات التسليم في الوقت المناسب عندما يتحرك الجهاز فعلياً إلى منطقة التغطية الأفضل لنقطة وصول أخرى.

دراسة تأثير المسافة بين نقطتي الوصول اللاسلكيتين:

إذا فرضنا أن نصف قطر التغطية لكل AP=100m، يعني ذلك أن تغير المسافة بين AP1 و AP2 ستؤدي إلى زيادة حادة أولية في عدد عمليات التسليم باستخدام الطريقة القياسية مع زيادة المسافة من 10 إلى حوالي 70 متراً. قد يشير هذا إلى أنه مع تحرك نقاط الوصول بعيداً عن بعضها البعض ضمن هذا النطاق، يتناقص تداخل منطقة التغطية، مما يؤدي إلى نقاط تسليم أكثر تميزاً عندما تتحرك المحطة بين حواف مناطق تغطية نقاط الوصول.

بالمقابل نلاحظ أن طريقة هامش التباطؤ تحافظ على خط مستقر نسبياً مقارنة بطريقة العتبة، مما يوضح أن طريقة التباطؤ تقلل بشكل فعال عدد عمليات التسليم، مع زيادة المسافة أكثر، هناك زيادة تدريجية في أعداد عمليات التسليم ولكن ليس بشكل كبير كما هو الحال مع الطريقة القياسية، مما يشير إلى أن التباطؤ يوفر استقراراً على سلوك التسليم.



الشكل (8) مقارنة تأثير المسافة بين نقطتي العبور اللاسلكيتين على عدد مرات التسليم

جدول (3) : مقارنة تأثير المسافة بين نقطتي العبور اللاسلكيتين على عدد مرات التسليم

40	42	30	30	25	5	0	0	متوسط عدد عمليات HO التقليدية
18	17	6	7	0	0	0	0	متوسط عدد HO بالطريقة المقترحة
175	150	125	100	75	50	25	0	المسافة بين 2Aps (meter)

توضح النتائج أن طريقة التباطؤ يمكن أن تقلل بشكل كبير من عدد عمليات التسليم مقارنة بالطريقة القياسية، خاصة مع تغير المسافة بين نقاط الوصول. يعد هذا التخفيض مفيداً لاستقرار الشبكة ويمكن أن يوفر اتصالاً أكثر استقراراً عن طريق تقليل تكرار عمليات التسليم وانقطاع الاتصال المحتمل. توضح النتائج أيضاً أهمية مراعاة المسافة بين نقاط الوصول عند تصميم الشبكات اللاسلكية وفوائد تطبيق منطق التباطؤ في خوارزميات التسليم. وبالتالي فإن نموذج التسليم المقترح هو وسيلة فعالة لتحسين أداء التسليم في الشبكات اللاسلكية.

أي إذا كانت المسافة بين نقطتي الوصول من 0 وحتى 30m تقريباً عندها لن تحدث عملية التسليم، كذلك إذا كانت 50m تبدأ عملية التسليم مع الحفاظ على عدد مرات تسليم أقل.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

مقارنة بين النموذج التقليدي ونموذج هامش التباطؤ لتوضيح الفروق بين النهجين وتأكيد مزايا النموذج المقترح:

1. عدد عمليات التسليم:

في البيئة التقليدية، تتكرر عمليات التسليم بشكل كبير بسبب التفاعل المباشر مع التغيرات الطفيفة في قوة الإشارة.

بينما يقلل نموذج هامش التباطؤ المقترح من عدد عمليات التسليم بشكل ملحوظ عن طريق تضمين هامش تباطؤ ويمنع التسليم غير الضروري.

2. استقرار الشبكة:

يؤدي التفاعل المباشر مع التغيرات الطفيفة في قوة الإشارة في النموذج التقليدي إلى عمليات تسليم متكررة، مما يتسبب في انقطاعات متكررة في الاتصال وانخفاض استقرار الشبكة، أما النموذج المقترح فهو يمنع هذه العمليات المتكررة عن طريق إضافة هامش التباطؤ، مما يؤدي إلى تحسين استقرار الشبكة وتقليل الانقطاعات.

3. استخدام الموارد:

تستهلك عمليات التسليم المتكررة موارد الشبكة وطاقة الأجهزة بشكل غير فعال في النموذج التقليدي، مما يؤدي إلى انخفاض الأداء العام للشبكة وقصر عمر البطارية للأجهزة المتصلة. بينما يؤدي تقليل عدد عمليات التسليم في النموذج المقترح إلى استخدام أكثر كفاءة للموارد، مما يحسن من الأداء العام للشبكة ويطيل عمر بطارية الأجهزة المتصلة.

4. جودة الاتصال:

التفاعل السريع مع التغيرات الطفيفة في قوة الإشارة النموذج التقليدي يمكن أن يؤدي إلى عمليات تسليم غير ضرورية، مما يؤثر سلباً على جودة الاتصال، فيما يعزز نموذج هامش التباطؤ جودة الاتصال عن طريق تقليل الحساسية للتقلبات الطفيفة في قوة الإشارة، مما يؤدي إلى تحسين تجربة المستخدم النهائية.

5. تأثير المسافة بين نقاط الوصول:

يظهر في النموذج التقليدي تأثير كبير على عدد عمليات التسليم عندما تتغير المسافة بين نقاط الوصول. حيث يؤدي تداخل مناطق التغطية إلى زيادة حادة في عدد عمليات التسليم مع زيادة المسافة. أما نموذج هامش التباطؤ نلاحظ أنه يحافظ على عدد مستقر نسبياً من عمليات التسليم، حتى مع تغير المسافة بين نقاط الوصول، مما يوضح أن النموذج المقترح يقلل بشكل فعال عدد عمليات التسليم ويعزز استقرار الشبكة.

التوصيات:

لتطبيق النموذج المقترح بفعالية في المستقبل، يمكن الاستفادة من تقنيات الشبكات المعرفة برمجياً (SDN)، حيث تتيح هذه التقنية إدارة أكثر ديناميكية ومرنة لحركة البيانات. من خلال دمج النموذج المقترح في قرارات التسليم ضمن متحكم SDN، يمكن تحسين استجابة الشبكة للتغيرات في قوة الإشارة وتقليل عمليات التسليم غير الضرورية، مما يعزز كفاءة الشبكة بشكل عام. إضافة إلى ذلك، يتيح SDN تحديث السياسات والمعايير بسهولة دون الحاجة لتغيير الأجهزة، مما يسهل تطبيق وتعديل النموذج المقترح وفقاً للظروف المختلفة للشبكة.

فيما يتعلق ببيئة المحاكاة، يمكن استخدام Mininet-WIFI لتجربة النموذج المقترح في سيناريوهات متنوعة. يتيح هذا المحاكى اختبار أداء النموذج تحت ظروف مختلفة، مما يساعد في تحديد نقاط القوة والضعف فيه وضمان توافقه مع بروتوكولات الشبكة المختلفة مثل IEEE802.11n.

ويمكن تنفيذ النموذج المقترح على مستوى معالجة الحزم من خلال كتابة برامج مخصصة باستخدام لغة البرمجة P4 والتي تعد أداة قوية لتطوير السياسات المخصصة لمعالجة الحزم في الشبكة، مما يتيح تطبيق سياسات التسليم بفعالية عالية. يمكن دمج هذه البرمجيات مع متحكمات SDN، مما يوفر بيئة شبكة موحدة ومرنة قادرة على تنفيذ وتحسين النموذج المقترح بشكل فعال.

References:

- [1]. L. Zhang, K. Wang, D. Xuan, K. Yang, *Optimal task allocation in near-far computing enhanced C-RAN for wireless big data processing*. IEEE Wireless. Communication. 25(1), 50–55 (2018).
- [2]. Larasati, Harashta Tatimma, et al. "Performance evaluation of handover association mechanisms in SDN-based wireless network." 2017 3rd International Conference on Wireless and Telematics (ICWT). IEEE, 2017.
- [3]. Nahida, K., Yin, C., Hu, Y., Arain, Z. A., Pan, C., Khan, I. & Rahman, G. S. (2017). *Handover based on AP load in software defined Wi-Fi systems*. Journal of Communications and Networks, 19(6), 596-604.
- [4]. Fink, A., Mogensen, R.S., Rodriguez, I., Kolding, T., Karstensen, A. and Pocovi, G., 2021, November. *Empirical performance evaluation of Enterprise WI-fi for IIoT applications requiring mobility*. In European Wireless 2021; 26th European Wireless Conference (pp.1-8).
- [5]. Shi, J.; Wang, Y.; Li, C.; Jiang, Y. *Test method of power and packet loss rate in smart home*. In Proceedings of the 2013 International Conference on Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer (MEC), IEEE, Shenyang, China, 20–22 December 2013
- [6]. Zeljković, E., Slamnik-Kriještorac, N., Latré, S., & Marquez-Barja, J. M. (2019). ABRAHAM: machine learning backed proactive handover algorithm using SDN. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 16(4), 1522-1536.
- [7]. Y. Sun, K. Zhang, Y. Li, and Y. Yang, "A fuzzy-logic based predictive handover algorithm for location-aware wireless networks," in 2013 IEEE Globecom Workshops
- [8]. L. Suresh, J. Schulz-Zander, R. Merz, A. Feldmann, T. Vazao, in *Paper presented at the 1st ACM International Workshop on Hot Topics in Software Defined Networks*. Towards programmable enterprise WLANs with Odin, (Helsinki, 2012)
- [9]. Guo, J., Tsuboi, T., & Zhang, J. (2010). *Location aware fast handover between wimax and wifi networks*. MITSUBISHI ELECTRIC RESEARCH LABORATORIES, <http://www.merl.com>.
- [10]. Abusubaih, M., Wiethoelter, S., Gross, J., & Wolisz, A. (2008). *A new access point selection policy for multi-rate IEEE 802.11 WLANs*. International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems, 23(4), 291-307
- [11]. R. Rizk, E. Zeljković, and J. M. Marquez-Barja, "A Survey of SDN-Based Handover Mechanisms in Wireless Networks," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 23, no. 2, pp. 1003-1038, 2021.
- [12]. Kim, W.I., Lee, B.J., Song, J.S., Shin, Y.S. and Kim, Y.J., 2007, September. *Ping-pong avoidance algorithm for vertical handover in wireless overlay networks*. In 2007 IEEE 66th Vehicular Technology Conference (pp. 1509-1512). IEEE.
- [13]. Kukliński, S., Li, Y., & Dinh, K. T. (2014, December). *Handover management in SDN-based mobile networks*. In 2014 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps) (pp. 194-200). IEEE.
- [14]. Ahmad, M.H., 2009. *Minimizing Handoff Ping-Pong Effect in 802.11 Data Networks Using Differential RSS and Extrapolation*. Journal of Science and Technology, 14(1).
- [15]. Haghrah, A., Abdollahi, M. P., Azarhava, H., & Niya, J. M. (2023). *A survey on the handover management in 5G-NR cellular networks: aspects, approaches and challenges*. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2023(1), 52.
- [16]. D. Xenakis, N. Passas, L. Merakos, C. Verikoukis, *Mobility management for femtocells in LTE-advanced: key aspects and survey of handover decision algorithms*. IEEE Commun. Surveys Tutorials 16(1), 64–91 (2013)

- [17]. M. Tayyab, X. Gelabert, R. Jäntti, *A survey on handover management: from LTE to NR*. IEEE Access 7, 118907– 118930 (2019)
- [18]. A.A. Ahmed, A.A. Alzahrani, *A comprehensive survey on handover management for vehicular ad hoc network based on 5G mobile networks technology*. Trans. Emerg. Telecommun. Technol. 30(3), 3546 (2019).
- [19]. D. Zhao, Z. Yan, M. Wang, P. Zhang, B. Song, *Is 5g handover secure and private? A survey*. IEEE Internet Things J. (2021)
- [20]. I. Shayea, M. Ergen, M.H. Azmi, S.A. Çolak, R. Nordin, Y.I. Daradkeh, *Key challenges, drivers and solutions for mobility management in 5G networks: a survey*. IEEE Access 8, 172534–172552 (2020)
- [21]. Zaidi, M., Bhar, J., Ouni, R., & Tourki, R. (2011, March). *Reducing Wi-Fi handover delay using a new positioning process*. In 2011 International Conference on Communications, Computing and Control Applications (CCCA) (pp. 1-6). IEEE.
- [22]. Gustafsson, F., & Gunnarsson, F. (2005). *Mobile positioning using wireless networks: possibilities and fundamental limitations based on available wireless network measurements*. IEEE Signal processing magazine, 22(4), 41-53.
- [23]. Chiou, T.G., Groundhog Tech Inc, 2007. *Method for detecting and reducing ping-pong handover effect of cellular network*. U.S. Patent 7,263,358.
- [24]. Rehman, A.U.; Roslee, M.B.; Jiat, T.J. *A Survey of Handover Management in Mobile HetNets: Current Challenges and Future Directions*. Appl. Sci. **2023**, 13, 3367
- [25]. Fischer, P., LG Electronics Inc, 2016. *Handover method with link failure recovery, wireless device and base station for implementing such method*. U.S. Patent 9,319,935
- [26]. Choudhari, D.P.; Dorle, S.S. *Maximization of packet delivery ratio for DADCQ protocol after removal of Eavesdropping and DDoS attacks in VANET*. In Proceedings of the 2019 10th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT), IEEE, Kanpur, India, 6–8 July 2019
- [27]. Rehman, A.U.; Roslee, M.B.; Jiat, T.J. *A Survey of Handover Management in Mobile HetNets: Current Challenges and Future Directions*. Appl. Sci. 2023, 13, 3367. [CrossRef]
- [28]. Abolade, J.O., Fakolujo, O.A. and Orimogunje, A., 2017. *Handover in mobile wireless communication network-a review*. International Journal of Advanced Engineering, Management and Science, 3(9), pp.934-940
- [29]. Hwang, H. and Kim, Y.T., 2017, November. *Enhanced fast BSS transition on enterprise WLAN with SDN-based distribution system*. In 2017 13th International Conference on Network and Service Management (CNSM) (pp. 1-5). IEEE.
- [30]. Networks Attar, A., Li, H., Leung, V.C. and Pang, Q., 2012. *Cognitive wireless local area network over fibers: Architecture, research issues and testbed implementation*. IEEE Communications Magazine, 50(6), pp.107-11
- [31]. Shojaifar, A. (2015). *Evaluation and improvement of the RSSI-based localization algorithm: Received signal strength indication (RSSI)*.
- [32]. Elmabruk Elgembari 1, Kamaruzzaman Seman1•Institutions (1) *The performance of lma based on rssi and distance on handover delay in wimax networ*01 Jan 2013-pp 242-247
- [33]. Adewale, A.A., Ekong, E.E., Ibikunle, F.A., Orimogunje, A. and Abolade, J., 2019, November. *Ping-pong reduction for handover process using adaptive hysteresis margin: a methodological approach*. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 640, No. 1, p. 012118). IOP Publishing
- [34]. Benkic, Karl, et al. "Using RSSI value for distance estimation in wireless sensor networks based on ZigBee." 2008 15th international conference on systems, signals and image processing. IEEE, 2008

- [35]..Adewale, A.A., Ekong, E.E., Ibikunle, F.A., Orimogunje, A. and Abolade, J., 2019, November. *Ping-pong reduction for handover process using adaptive hysteresis margin: a methodological approach*. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 640, No. 1, p. 012118). IOP Publishing
- [36]. Aisa, J.; Fotouhi, H.; Almeida, L.; Villarroel, J.L. DoTHa-a *Double-Threshold Hand-off algorithm for managing mobility in wireless mesh networks*. In Proceedings of the 2016 IEEE 21st International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Berlin, Germany.
- [37]. Zdenek B and Pavel M 2010 *Adaptive Hysteresis Margin for Handover in Femtocell Networks* Proc. of Int. Conf. on Wireless and Mobile Communications (Valencia) vol 10 IEEE pp 256- 61].
- [38]. Zaidi, M., Bhar, J., Ouni, R. and Tourki, R., 2011, March. *Reducing Wi-Fi handover delay using a new positioning process*. In 2011 International Conference on Communications, Computing and Control Applications (CCCA) (pp. 1-6). IEEE.
- [39]. Jidong, Wang and Lichun Bao, "Mobile Context Handoff in Distributed IEEE 802.11 Systems," Bren School of Information and Computer Sciences, University of California, Irvine, CA 92697.
- [40]. Monji ZAIDI, Jamila BHAR, Ridha OUNI, Rached TOURKI, "A new solutions for micro-mobility management in 802.11 Wireless LANs using FPGA," International Conference on Signals, Circuits & Systems (SCS'08), November 7-9, 2008 Hammamet, Tunisia.
- [41]. Zaidi, M., Bhar, J., Ouni, R. and Tourki, R., 2011, March. *Reducing Wi-Fi handover delay using a new positioning process*. In 2011 International Conference on Communications, Computing and Control Applications (CCCA) (pp. 1-6). IEEE.
- [42]. Monji ZAIDI, Ridha OUNI, Jamila BHAR, Rached TOURKI, "New approaches reducing handoff latency in 802.11 wireless LANs," IJCSES International Journal of Computer Sciences and Engineering.
- [43]. Aisa, J.; Fotouhi, H.; Almeida, L.; Villarroel, J.L. DoTHa-a *Double-Threshold Hand-off algorithm for managing mobility in wireless mesh networks*. In Proceedings of the 2016 IEEE 21st International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Berlin, Germany, 6–9 September 2016;
- [44]. Aisa, J.; Fotouhi, H.; Almeida, L.; Villarroel, J.L. DoTHa-a *Double-Threshold Hand-off algorithm for managing mobility in wireless mesh networks*. In Proceedings of the 2016 IEEE 21st International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Berlin, Germany, 6–9 September 2016; pp. 1–8.
- [45]. Lakas, A., & Boulmalf, M. (2007). *Experimental Analysis of VoIP over Wireless Local Area Networks*. J. Commun., 2(4), 3-9
-