



أثر تقنيات الخوارزميات الإرشادية في رفع أداء بروتوكولات التوجيه لشبكات الجيل الخامس (5G)

نور عيدان نجف كرم الخميس
مديرية تربية محافظة واسط

Edannoor529@gmail.com

المستخلص

يهدف هذا البحث إلى دراسة أثر تقنيات الخوارزميات الإرشادية في تحسين أداء بروتوكولات التوجيه في شبكات الجيل الخامس (5G)، من خلال تعزيز كفاءة نقل البيانات داخل الشبكة وتقليل زمن التأخير ونسبة فقدان الحزم. تم اعتماد بيئة محاكاة باستخدام برنامج Ns-3 لإنشاء عدة سيناريوهات لشبكة G5، مع تغيير عدد المستخدمين (UEs) وعدد الخوادم (Servers) وبقية عناصر الشبكة، وذلك بهدف تحليل تأثير هذه المتغيرات على أداء بروتوكولات التوجيه. تم تطبيق خوارزمية مستعمرة النمل (ACO) والخوارزمية الهجينة (PSO-ACO) كخوارزميات تحسين متعددة الأهداف، بهدف إيجاد مسارات توجيه قريبة من المثالية مقارنة بالحالة التقليدية غير المحسنة. واعتمد التقييم على ثلاثة مقاييس رئيسية هي نسبة تسليم الحزم (PDR)، وزمن التأخير (Delay)، ونسبة فقدان الحزم (Packet Loss). أظهرت النتائج أن استخدام الخوارزميات الإرشادية أدى إلى تحسين واضح في أداء الشبكة مقارنة بالحالة التقليدية، حيث حققت الخوارزمية الهجينة (PSO-ACO) أفضل أداء من خلال زيادة نسبة تسليم الحزم، وتقليل زمن التأخير، وخفض نسبة فقدان الحزم بشكل ملحوظ. وبشكل عام، أثبتت الدراسة أن الخوارزميات الإرشادية تمثل أسلوباً فعالاً في تحسين كفاءة بروتوكولات التوجيه في بيئات شبكات الجيل الخامس.

الكلمات المفتاحية: الخوارزميات الإرشادية، شبكات الجيل الخامس (G5)، بروتوكولات التوجيه، Ns-3، خوارزمية مستعمرة النمل (ACO).

تقنيات الخوارزميات الفعالة في تحسين أداء الخطوط التوجيهية لشبكات الجيل الخامس (5G)

نور عيدان نجف كرم الخميس
مديرية تربية محافظة واسط

Abstract

This research aims to study the impact of metaheuristic algorithms on improving the performance of routing protocols in fifth-generation (5G) wireless networks by enhancing data transmission efficiency and reducing transmission delay and packet loss ratio. A simulation environment based on the Ns-3 simulator was adopted to construct several 5G network scenarios, where the number of users (UEs), servers, and other network elements were varied in order to analyze their effect on routing protocol performance. The Ant Colony Optimization (ACO) algorithm and the hybrid PSO-ACO algorithm were applied as multi-objective optimization techniques to find near-optimal routing paths compared to the traditional non-optimized approach. The evaluation was conducted using three main performance metrics: Packet Delivery Ratio (PDR), Transmission Delay, and Packet Loss Ratio.



The results showed that the use of metaheuristic algorithms significantly improved network performance compared to the conventional method. The hybrid PSO-ACO algorithm achieved the best performance by increasing the Packet Delivery Ratio, reducing transmission delay, and minimizing packet loss ratio. Overall, the study demonstrates that metaheuristic algorithms are an effective approach for enhancing routing protocol efficiency in 5G network environments.

Keywords: Metaheuristic algorithms, 5G networks, routing protocols, Ns-3, Ant Colony Optimization (ACO).

المقدمة

يشهد العالم في العقود الأخيرة تطورًا متسارعًا في تقنيات الاتصالات اللاسلكية، إذ انتقلت أنظمة الاتصالات المتنقلة عبر أجيال متعاقبة بدءًا من الجيل الأول (1G) وصولًا إلى الجيل الخامس (5G) حيث يمثل كل جيل نقلة نوعية في طبيعة النظام من خلال تحسين معايير التكنولوجيا، والترددات المستخدمة، ومعدلات نقل البيانات، وعرض النطاق الترددي، وكفاءة الشبكة. وقد أدى الانتشار الواسع لخدمات الإنترنت المتنقل والتطبيقات الذكية إلى زيادة هائلة في حجم حركة البيانات داخل الشبكات اللاسلكية، الأمر الذي فرض تحديات كبيرة على البنى التحتية الحالية للاتصالات.

ومع ظهور تطبيقات حديثة مثل إنترنت الأشياء (IoT)، والواقع الافتراضي، والمدن الذكية، والأتمتة الصناعية، ازدادت متطلبات الشبكات من حيث توفير سرعات نقل عالية جدًا، وزمن تأخير منخفض، وقدرة على استيعاب عدد هائل من الأجهزة المتصلة في الوقت نفسه. وقد أصبح من الواضح أن تقنيات الجيل الرابع (4G/LTE) لم تعد قادرة على تلبية هذه المتطلبات المتزايدة، مما دفع إلى تطوير شبكات الجيل الخامس (5G) بوصفها الجيل القادر على دعم الاتصالات المستقبلية ذات الكثافة العالية والأداء الفائق.

تتكون شبكة الجيل الخامس من ثلاثة مكونات رئيسية تتمثل في معدات المستخدم (UE)، وشبكة النفاذ الراديوي (RAN)، والشبكة الأساسية (Core Network). وتتميز هذه الشبكات باستخدام تقنيات متقدمة مثل الموجات المليمترية والهوائيات الضخمة متعددة الإدخال والإخراج، والتي توفر سرعات عالية وسعات كبيرة. ومع ذلك، فإن هذه التطورات التقنية صاحبها تعقيد متزايد في إدارة الشبكة، ولا سيما في عمليات التوجيه (Routing)، التي تُعد من أكثر القضايا حيوية نظرًا لدورها في ضمان نقل البيانات بكفاءة وموثوقية داخل الشبكة.

تواجه بروتوكولات التوجيه في شبكات 5G تحديات متعددة، منها ازدحام الشبكة، والتغير المستمر في طوبولوجيا الاتصال، وزيادة عدد العقد، وارتفاع متطلبات جودة الخدمة. ومن هنا برزت الحاجة إلى استخدام تقنيات متقدمة قادرة على إيجاد حلول مثلى أو شبه مثلى لمشكلات التوجيه المعقدة.

وفي هذا السياق، ظهرت الخوارزميات الإرشادية (Metaheuristics) بوصفها من أهم التقنيات الحديثة المستخدمة في حل مشكلات التحسين المعقدة، إذ تعتمد هذه الخوارزميات على مبادئ مستوحاة من الطبيعة والذكاء السربي والأنظمة البيولوجية والفيزيائية. وتتميز بقدرتها على البحث في فضاءات الحلول الكبيرة بكفاءة عالية، مما يجعلها مناسبة لمعالجة مشكلات التوجيه في الشبكات اللاسلكية الحديثة.

ومن أبرز هذه الخوارزميات خوارزمية مستعمرة النمل (ACO) وخوارزمية تحسين سرب الجسيمات (PSO)، حيث تحاكي الأولى سلوك النمل في إيجاد أقصر المسارات اعتمادًا على أثر الفيرومونات، بينما



تحاكي الثانية سلوك أسراب الطيور في البحث الجماعي عن أفضل الحلول. وقد أثبتت هذه الخوارزميات كفاءة كبيرة في تحسين أداء الشبكات من خلال تقليل زمن التأخير، وتحسين استخدام الموارد، وزيادة موثوقية نقل البيانات.

وبناءً على ما تقدم، يركز هذا البحث على دراسة أثر تقنيات الخوارزميات الإرشادية في تحسين أداء بروتوكولات التوجيه في شبكات الجيل الخامس، من خلال تحليل آليات عمل هذه الخوارزميات وتقييم دورها في معالجة مشكلات التوجيه المعقدة وتحسين كفاءة الشبكة بشكل عام.

1.2 مشكلة البحث

على الرغم من النجاحات الكبيرة التي حققتها شبكات الجيل الخامس (5G)، إلا أنها ما تزال تواجه العديد من التحديات المعقدة المرتبطة بإدارة الموارد الراديوية، وترشيد استهلاك الطاقة، وتحقيق التوجيه الأمثل، وهي قضايا تتطلب حلولاً متقدمة تعتمد على أساليب التحسين الذكية. وقد أدى التوسع الهائل في استخدام الإنترنت والتطبيقات الحديثة إلى ظهور مشكلات حرجة تتعلق بعمليات التوجيه، ولا سيما في الاتصالات متعددة القفزات (Multi-hop Communications)، حيث تؤدي عملية تخطيط المسار دوراً حاسماً في اختيار الطريق الأكثر كفاءة لنقل البيانات.

وفي ظل بيئات الشبكات الحديثة، ولا سيما الشبكات اللاسلكية الافتراضية غير المتجانسة المعتمدة على الخلايا الصغيرة، أصبح تخصيص الموارد الراديوية يُعدّ مطلباً أساسياً لضمان كفاءة أداء الشبكة. إذ تواجه هذه البيئات تحديات كبيرة تتمثل في محدودية الموارد المتاحة، وازدياد التداخل، والتغير المستمر في أحمال الشبكة، فضلاً عن الحاجة إلى تحقيق متطلبات جودة الخدمة للمستخدمين. كما أن مسألة تخصيص الموارد وإدارة السماحيات الخاصة بقبول المستخدمين تُصنّف ضمن مسائل التحسين المعقدة متعددة الأهداف، نظراً لتعارض الأهداف المتعلقة بتقليل التداخل، وتعظيم استخدام الموارد، وتحسين جودة الخدمة في الوقت نفسه.

وتزداد هذه التعقيدات بسبب الطبيعة الحسابية الصعبة لمشكلة التخصيص والتوجيه، إذ تُعدّ من المسائل ذات التعقيد العالي (NP-Hard)، مما يجعل حلها بالطرق التقليدية غير عملي في بيئات الشبكات الديناميكية. لذلك برزت الحاجة إلى تحويل هذه المسائل إلى نماذج قابلة للتحسين باستخدام تقنيات ذكية تعتمد على تقسيم المشكلة إلى مسائل فرعية يمكن التعامل معها بصورة متتابعة وأكثر كفاءة.

وفي هذا السياق، أصبح إيجاد المسار الأمثل في شبكات الجيل الخامس موضوعاً بحثياً مهماً، نظراً لتأثيره المباشر في مؤشرات أداء الشبكة، مثل زمن التأخير، وفقدان الحزم، وطول المسار، وكفاءة استخدام الموارد. كما تتمثل إحدى أهم الإشكاليات في تحقيق التوازن بين تقليل الكلفة التشغيلية للشبكة وزيادة معدل تسليم الحزم وتحسين جودة الخدمة للمستخدمين.

وانطلاقاً من هذه التحديات، برزت تقنيات الخوارزميات الإرشادية بوصفها أدوات فعّالة لمعالجة مشكلات التحسين المعقدة في شبكات الجيل الخامس، لما تتميز به من قدرة على إيجاد حلول شبه مثلى بكفاءة عالية وفي زمن حسابي مناسب. ومن هنا تأتي أهمية هذا البحث في دراسة أثر هذه التقنيات في تحسين أداء بروتوكولات التوجيه من خلال تحقيق إدارة أكثر كفاءة وعدالة للموارد الراديوية، وتقليل التداخل، وتعظيم إعادة استخدام التردد، بما يسهم في رفع كفاءة الشبكة وتحسين جودة الخدمة في البيئات اللاسلكية الحديثة.

1.3 أهداف البحث

يهدف هذا البحث إلى تحسين استراتيجيات التوجيه في شبكات الجيل الخامس اللاسلكية من خلال تطبيق تقنيات الخوارزميات الإرشادية للتحسين الأمثل. ويمكن تحديد أهداف البحث فيما يأتي:



1. تصميم نموذج لشبكة الجيل الخامس اللاسلكية مع إنشاء سيناريوهات مختلفة لبيئة التشغيل.
2. إيجاد الحل الأمثل لمشكلات التوجيه باستخدام خوارزميات التحسين الإرشادية.
3. تطوير خوارزميات هجينة تجمع بين أكثر من أسلوب إرشادي للحصول على نتائج أكثر دقة وكفاءة.
4. تقييم أداء الخوارزميات المقترحة ومقارنتها بالتقنيات التقليدية المستخدمة في التوجيه.

1.4 حدود البحث

يمكن تطبيق النظام المقترح في العديد من مجالات الاتصالات الحديثة مثل المدن الذكية، والأنظمة الصحية الذكية، وأنظمة النقل الذكية، والتي تتطلب استراتيجيات توجيه فعالة للوصول إلى أفضل الحلول المثلى في نقل البيانات.

1.5 إسهامات البحث

يسهم هذا البحث في تحقيق تحسينات مهمة في مجال التوجيه ضمن شبكات الجيل الخامس، ومن أبرز هذه الإسهامات:

1. تحقيق نتائج تجريبية أفضل مقارنة بالطرق التقليدية التي لا تعتمد على الخوارزميات الإرشادية.
2. اقتراح نموذج هجين يجمع بين خوارزميتي PSO وACO لتجنب حالات الركود في اختيار المسارات.
3. تنفيذ النموذج في بيئة شبكات الجيل الخامس، التي تُعد من أحدث البيئات التقنية في مجال الاتصالات.

1.6 الدراسات السابقة

أظهرت الدراسات السابقة اهتمامًا متزايدًا بتطوير بنى وخوارزميات التوجيه في شبكات الجيل الخامس، حيث تناولت العديد من الأبحاث مشكلات اختيار المسار وجدولة الموارد وتحسين الأداء الشبكي باستخدام تقنيات متعددة.

فقد تناولت بعض الدراسات مشكلة اختيار المسار وجدولة الموارد في شبكات الموجات المليمترية، واقترحت أساليب متعددة الأهداف تعتمد على خوارزميات إرشادية لإيجاد أقصر المسارات وتحقيق أفضل استغلال للموارد. كما ركزت دراسات أخرى على تطوير بروتوكولات التوجيه في البيئات غير المتجانسة، وأظهرت النتائج تحسناً في نسبة تسليم الحزم وانخفاض زمن التأخير.

وفي سياق متصل، اقترحت بعض الأبحاث استخدام خوارزميات جينية هجينة لمعالجة مشكلات جدولة الروابط وتعظيم سعة الشبكة وتقليل زمن التشغيل. كما اتجهت دراسات حديثة إلى توظيف تقنيات التعلم الآلي في الشبكات ذاتية التنظيم لتحديد المسارات المثلى وفقاً لسعة العقد والمسافة.

ومن جانب آخر، تناولت عدة أبحاث استخدام الشبكات المعرفة برمجياً لتحسين استراتيجيات التوجيه في الشبكات كثيفة العقد، إضافة إلى تطبيق أساليب إرشادية متعددة الأهداف لتحقيق موازنة الحمل وتقليل زمن التأخير وتحسين الموثوقية.

كما ركزت دراسات حديثة على استخدام خوارزميات تحسين سرب الجسيمات في تخطيط المسارات للطائرات غير المأهولة ضمن بيئات الجيل الخامس، وأظهرت النتائج كفاءة عالية في إيجاد مسارات مناسبة والحفاظ على جودة الخدمة. كذلك تم اقتراح نماذج اتصال مباشر بين الأجهزة لتحسين معدل تسليم الحزم وتقليل التأخير.

وأخيراً، تناولت بعض الدراسات تحسين التوجيه متعدد المسارات المعتمد على جودة الخدمة باستخدام أساليب برمجية وخوارزميات إرشادية، حيث أظهرت النتائج تحسناً ملحوظاً في زمن التنفيذ وكفاءة التشغيل.



1.2 مقدمة إلى نظام الجيل الخامس (5G)

شهد عصر شبكات الهاتف المحمول، الذي يمتد تاريخه إلى نحو أربعين عامًا تقريبًا على غرار شبكة الإنترنت، تغييرات مهمة. فقد ظهر كل جيل من أجيال الاتصالات المتنقلة في العالم بعد نحو عشر سنوات من الجيل السابق. إضافة إلى ذلك، يوفر كل جيل مجموعة من المعايير التي تتضمن تقنيات حديثة وخصائص ناشئة وقدرات متعددة تجعله مختلفًا عن الجيل الذي سبقه.

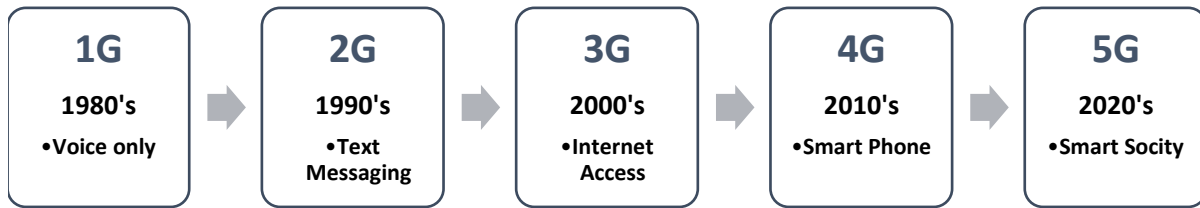
ظهر الجيل الأول من شبكات الهاتف المحمول (1G) في أوائل ثمانينيات القرن العشرين، وكان يدعم الاتصال الصوتي فقط للتواصل في المواقع البعيدة. وقد اعتمد على تقنية الإشارات التناظرية (Analog) مع مفهوم التبديل الدائري (Circuit Switching)، ولم يكن يوفر الإنترنت أو الخدمات المرتبطة به. أما السرعة القصوى المتوقعة فكانت 2.4 كيلوبت/ثانية، وكانت المكالمات تتعرض للانقطاع بشكل متكرر مع عمر بطارية محدود للغاية.

في أوائل تسعينيات القرن العشرين ظهر الجيل الثاني (2G)، والذي شكّل ثورة في تكنولوجيا الهاتف المحمول في ذلك الوقت. فقد دعم المكالمات الصوتية والرسائل النصية القصيرة (SMS) واعتمد على تقنيتي الوصول المتعدد بتقسيم الزمن (TDMA) والوصول المتعدد بتقسيم الشفرة (CDMA) ضمن مفاهيم التعديل الرقمي. ومع ذلك، كانت هناك قيود على السرعة حيث بلغت 50 كيلوبت/ثانية كحد أقصى. وكانت تقنيًا خدمة الحزم الراديوية العامة (GPRS) والنظام العالمي للاتصالات المتنقلة (GSM) الأكثر استخدامًا في هذا الجيل. [1]

أما الانتقال إلى الوصول واسع النطاق فقد مثل ثورة أخرى مع ظهور الجيل الثالث (3G) في أوائل العقد الأول من القرن الحادي والعشرين. فقد دمج هذا الجيل تقنيات الهواتف الذكية مع الوسائط المتعددة والبريد الإلكتروني وتصفح الويب والفيديو، بسرعة نقل بيانات تصل إلى 2 ميغابت/ثانية. ومن التقنيات المستخدمة في هذا الجيل CDMA2000 و WCDMA. وقد وفر هذا الجيل سرعات تنزيل عالية مع مستوى أداء أعلى مقارنة بالأجيال السابقة. [2]

ثم جاء الجيل الرابع (4G) الذي تطور في العقد الثاني من القرن الحادي والعشرين (2010s)، ويدعم خدمات متقدمة تشمل الاتصالات الهاتفية عبر بروتوكول الإنترنت (IP Telephony)، والخدمات السحابية، ومؤتمرات الفيديو المباشرة، والتلفزيون عبر الإنترنت، والألعاب المباشرة، والوسائط المتعددة بسرعة نقل بيانات تصل إلى 100 ميغابت/ثانية، وذلك للتغلب على القيود الموجودة في الجيل الثالث. وتُعد تقنيتا LTE و WiMAX من تقنيات الجيل الرابع. [3]

وفي الوقت الحاضر يتجه قطاع الاتصالات نحو الجيل الخامس (5G)، الذي يتميز بدرجة عالية جدًا من التطور والدقة. ويعد الجيل الخامس بزيادة معدل نقل البيانات عشرة أضعاف، بسرعة قد تصل إلى 10-100 غيغابت/ثانية. ويتمثل الدافع الرئيس لتطوير هذا الجيل في توفير خصائص جديدة تتعلق بالسعة، وعرض النطاق الترددي العالي، والسرعة، ومعدلات البيانات بالغيغابايت، وتحسين التكلفة وكفاءة الطاقة [4]. يوضح الشكل (2.1) مسار تطور الأجيال وصولاً إلى شبكات الجيل الخامس.



الشكل (2.1): مسار تطور شبكات الهاتف المحمول نحو الجيل الخامس.

ومع ذلك، فإن الجيل الخامس لا يقتصر فقط على تحسين عرض النطاق الترددي. بل يقوم بإعادة هيكلة أساسية لشبكة الوصول بطريقة تستفيد من العديد من الاتجاهات التكنولوجية الرئيسية وتضعها على طريق يتيح ابتكارات متقدمة للغاية. ويكمن وعد الجيل الخامس أولاً في التحول من خدمة وصول واحدة إلى مجموعة أوسع من الخدمات. كما يُتوقع أن يدعم الجيل القادم واجهات مستخدم غامرة مثل الواقع المعزز (AR) والواقع الافتراضي (VR)، بالإضافة إلى إنترنت الأشياء (IoT) والتطبيقات الحساسة للمهام مثل المركبات ذاتية القيادة. وسوف تشمل هذه الاستخدامات كل شيء بدءاً من الأجهزة المنزلية وصولاً إلى الأتمتة الصناعية والسيارات ذاتية القيادة وغيرها.

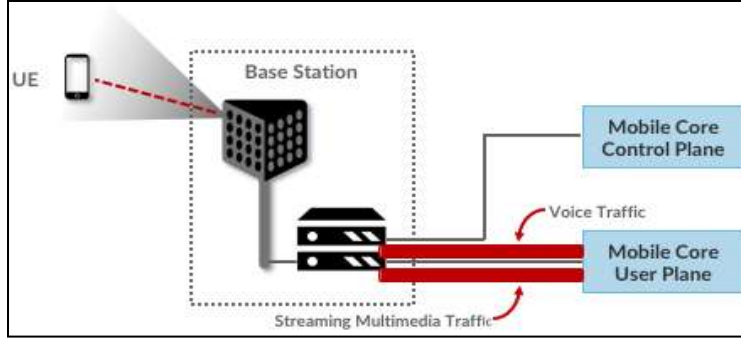
وتتضمن المكونات المعمارية الرئيسية لشبكات الجيل الخامس وخصائصها، كما حددها مشروع شراكة الجيل الثالث [5][6] (3GPP)، ما يلي:

1- معدات المستخدم (UE)

وهي أجهزة المستخدم التي غالباً ما تتمثل في الهواتف الذكية والأجهزة اللوحية، لكنها ستشمل أيضاً الروبوتات والسيارات والطائرات المسيرة والأجهزة الطبية والأجهزة المنزلية وغيرها. وتمتاز هذه الأجهزة بإمكانية الاتصال اللاسلكي والقدرة على الحركة.

2- شبكة الوصول الراديوي (RAN)

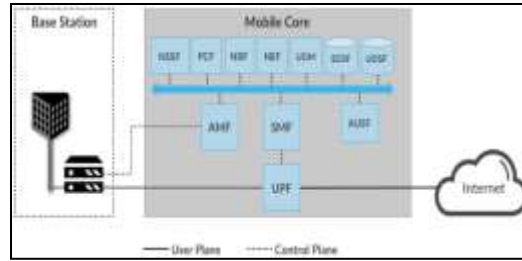
وهي المسؤولة عن إدارة الطيف الراديوي، وتمثل مجموعة موزعة من المحطات القاعدية. ويتغير مصطلح شبكة الوصول الراديوي مع كل جيل) فمثلاً تُسمى المحطة القاعدية gNB في الجيل الخامس. (في البداية، تقوم كل محطة gNB بإنشاء قناة لاسلكية للمشاركين عند تشغيل جهاز المستخدم أو إيقاف تشغيله عندما يكون الجهاز نشطاً. ويتم تحرير هذه القناة عندما يبقى الجهاز في حالة خمول لفترة معينة. بعد ذلك تنشئ gNB اتصال مستوى التحكم (3GPP Control Plane) بين جهاز المستخدم ومستوى التحكم في النواة المتنقلة، ثم تقوم بتمرير إشارات التحكم بينهما. كما تنشئ gNB نفقاً واحداً أو أكثر بين مستوى المستخدم في النواة المتنقلة لكل جهاز نشط. وأخيراً تقوم بتمرير حزم مستوى التحكم ومستوى المستخدم بين النواة المتنقلة وجهاز المستخدم عبر بروتوكولي SCTP/IP و GTP/UDP/IP كما هو موضح في الشكل (2.2).



الشكل (2.2): إنشاء الأنفاق بين جهاز المستخدم ومستوى المستخدم في النواة المتنقلة بواسطة gNB.

3- النواة المتنقلة (Mobile Core)

تتمثل الوظيفة الرئيسية للنواة المتنقلة في توفير الاتصال بشبكات البيانات الخارجية مثل الإنترنت لأجهزة المستخدم. وتسمى شبكة النواة المتنقلة في الجيل الخامس النواة من الجيل التالي (NG-Core). ويجري تنظيم الكتل الوظيفية فيها في ثلاثة مستويات كما في الشكل (2.3).



الشكل 2.3: النواة المتنقلة لشبكة الجيل الخامس (NG-Core). [7].

المستوى الأول – مستوى التحكم (CP)

ويشمل العناصر التالية:

AMF: وظيفة إدارة الوصول والتنقل، وتوفر إمكانية الوصول وإدارة الاتصالات والمصادقة وإدارة التنقل.

SMF: وظيفة إدارة الجلسات، وتدير جلسة كل جهاز مستخدم بما في ذلك تخصيص عنوان IP وجودة الخدمة واختيار وظيفة مستوى المستخدم المرتبطة ومراقبة التوجيه.

PCF: وظيفة التحكم بالسياسات، وهي المسؤولة عن إدارة قواعد السياسات التي تطبقها وظائف مستوى التحكم الأخرى.

UDM: إدارة البيانات الموحدة، وهي المسؤولة عن إدارة هوية المستخدم وإنشاء بيانات المصادقة.

المستوى الثاني – مستوى التحكم (CP)

ويشمل:

SDSF: وظيفة تخزين البيانات المنظمة، المسؤولة عن تخزين البيانات المنظمة مثل قواعد بيانات SQL.

UDSF: وظيفة تخزين البيانات غير المنظمة مثل مخازن المفاتيح والقيم



NEF: وظيفة عرض الشبكة، المسؤولة عن إتاحة بعض القدرات لخدمات الأطراف الثالثة.

NRF: وظيفة مستودع وظائف الشبكة.

NSSF: وظيفة اختيار تقسيم الشبكة.

المستوى الثالث – مستوى المستخدم (UP)

ويشمل:

UPF: وظيفة مستوى المستخدم، المسؤولة عن تمرير حركة المرور بين شبكة الوصول الراديوي والإنترنت، إضافة إلى إعداد تقارير استخدام الحركة ومراقبة جودة الخدمة.

2.2 الخوارزميات الإرشادية (Metaheuristic Algorithms)

تُعدّ الخوارزميات الإرشادية من الأساليب الحديثة في مجال التحسين، وقد استلهمت أفكارها من الظواهر والعمليات الطبيعية المختلفة. ومع التطور المستمر في هذا المجال، أصبحت هذه الخوارزميات أداة فعّالة في معالجة المشكلات المعقدة التي يصعب حلها باستخدام الطرق التقليدية. إذ أثبتت الخوارزميات الإرشادية قدرتها على الوصول إلى حلول شبه مثالية للمشكلات العددية الواقعية ذات التعقيد العالي، خاصة في الحالات التي تعجز فيها الأساليب التحليلية الدقيقة عن إيجاد حلول مناسبة خلال زمن حسابي معقول. [8]

وتُصنّف الخوارزميات الإرشادية إلى نوعين رئيسيين، هما: **خوارزميات التحسين أحادي الهدف** التي تعتمد غالبًا على تقنيات البحث المحلي، و**خوارزميات التحسين متعدد الأهداف** التي تعتمد على الأساليب التطورية. وتمثل هذه الخوارزميات أهمية كبيرة في تحسين أداء الأنظمة الحديثة، ومنها بروتوكولات التوجيه في شبكات الجيل الخامس (5G)، من خلال تحسين معايير مثل زمن التأخير، واستهلاك الطاقة، وكفاءة المسارات.

2.2.1 التحسين أحادي الهدف (Single Objective Optimization)

يشير التحسين أحادي الهدف إلى عملية تعظيم أو تصغير دالة هدف واحدة اعتمادًا على متغيرات محددة، سواء في ظل قيود معينة أو دون قيود. ويُستخدم هذا النوع من التحسين عندما يكون الهدف الأساسي هو تحسين معيار واحد فقط، مثل تقليل زمن الإرسال أو تقليل استهلاك الطاقة في بروتوكولات التوجيه الخاصة بشبكات الجيل الخامس.

وفي هذا النوع من التحسين، يتم البحث عن أفضل قيمة ممكنة للدالة الهدف، وقد تكون النتائج على شكل:

١. قيمة صغرى محلية
٢. قيمة عظمى محلية
٣. قيمة صغرى عالمية
٤. قيمة عظمى عالمية



ويستخدم التحسين أحادي الهدف في المشكلات ذات البنية الأبسط نسبيًا، إلا أن بيئات شبكات الجيل الخامس تتطلب غالبًا تحسين أكثر من معيار في الوقت نفسه، مما يجعل الاعتماد على هذا النوع وحده محدود الفاعلية في بعض تطبيقات بروتوكولات التوجيه. [9]

2.2.2 التحسين متعدد الأهداف (Multi Objective Optimization)

التحسين متعدد الأهداف هو أسلوب يهدف إلى تحسين هدفين أو أكثر في الوقت نفسه مع مراعاة مجموعة من القيود المحددة. ويُعد هذا النوع من التحسين أكثر ملاءمة للأنظمة المعقدة مثل شبكات الجيل الخامس، حيث تتعدد معايير الأداء المطلوب تحسينها، مثل تقليل التأخير، وزيادة معدل نقل البيانات، وتقليل فقدان الحزم، وترشيد استهلاك الطاقة.

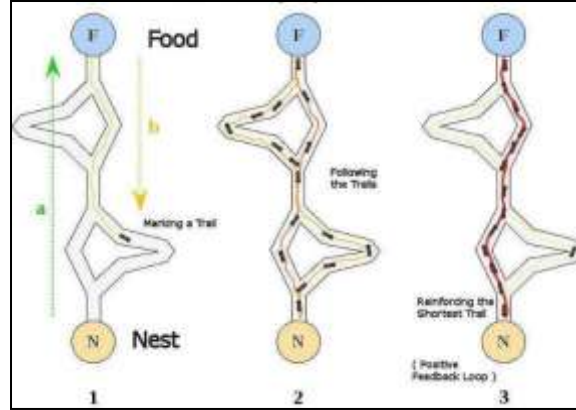
وعلى خلاف التحسين أحادي الهدف، لا يوفر التحسين متعدد الأهداف حلاً أمثلًا واحدًا، بل ينتج مجموعة من الحلول المتوازنة، بحيث يؤدي تحسين أحد الأهداف غالبًا إلى التأثير في هدف آخر. لذلك يُستخدم هذا الأسلوب لإيجاد أفضل توازن ممكن بين المعايير المختلفة.

وتبرز أهمية التحسين متعدد الأهداف في تحسين أداء بروتوكولات التوجيه لشبكات الجيل الخامس، إذ يساعد على اختيار المسارات الأكثر كفاءة اعتمادًا على عدة معايير متزامنة، مما يساهم في رفع موثوقية الشبكة وتحسين جودة الخدمة. وقد استُخدمت هذه الأساليب بنجاح في العديد من المجالات مثل هندسة الأنظمة، وتصميم الشبكات، والاتصالات، والمعلوماتية الحيوية. [9]

خوارزمية مستعمرة النمل (Ant Colony Optimization - ACO)

تُعد خوارزمية مستعمرة النمل (ACO) إحدى خوارزميات التحسين الإرشادي المعتمدة على الأساليب الاحتمالية الجماعية، وقد اقترحها الباحث Marco Dorigo، اعتمادًا على محاكاة السلوك الاجتماعي للنمل في الطبيعة [10]. وتعتمد هذه الخوارزمية على مفهوم النمل الاصطناعي الذي يحاكي سلوك مستعمرات النمل الحقيقي في البحث عن أقصر المسارات بين المستعمرة ومصدر الغذاء.

في الطبيعة، تقوم النملات أثناء حركتها بإفراز مادة كيميائية تُعرف باسم الفيرومون (Pheromone) على المسار الذي تسلكه، وتعمل هذه المادة كإشارة لبقية أفراد المستعمرة. ومع مرور الوقت تتبخر هذه المادة تدريجيًا، إلا أن المسارات الأقصر تحتفظ بتركيز أعلى من الفيرومون بسبب تكرار مرور عدد أكبر من النمل عبرها، مما يجعلها أكثر جذبًا لبقية النمل. وبهذا الأسلوب يتم التوصل تدريجيًا إلى أقصر مسار بين المستعمرة ومصدر الغذاء، كما هو موضح في الشكل (2.5).



الشكل (2.5): الطبيعة السلوكية للنمل داخل المستعمرات

وقد استُخدم هذا السلوك الطبيعي في تطوير خوارزمية ACO لحل مشكلات التحسين، ومنها تحديد أفضل المسارات في بروتوكولات التوجيه لشبكات الجيل الخامس (5G)، إذ تسهم الخوارزمية في اختيار المسارات المثلى التي تحقق كفاءة أعلى في نقل البيانات وتقليل التأخير وتحسين أداء الشبكة. [11]

تتحرك كل نملة اصطناعية داخل فضاء البحث من عقدة إلى أخرى وفق قاعدة احتمالية تعتمد على تركيز الفيرمون وكفاءة المسار، ويُعبر عنها بالمعادلة (2.1)

$$P_{x,y}^k = \frac{(t_{x,y}^a) \cdot (c_{x,y}^b)}{\sum_k (t_{x,y}^a) \cdot (c_{x,y}^b)} \quad (2.1)$$

حيث يشير $(t_{x,y})$ إلى تركيز الفيرمون الموجود على المسار بين العقدتين 'x', 'y'، بينما يشير $c_{x,y}$ إلى جودة أو صلاحية المسار التي تُحدد بناءً على معايير معينة مثل زمن التأخير أو المسافة. أما الثابتان 'x', 'y' فيستخدمان لتحديد درجة تأثير كل من الفيرمون وكفاءة المسار في عملية الاختيار. [12]

بعد كل تكرار، يتم تحديث مستوى الفيرمون باستخدام المعادلة: (2.2)

$$t_{x,y}(t) = [t_{x,y} \cdot (1 - e)] + \sum \Delta t_{x,y} \quad (2.2)$$

حيث تمثل $\Delta t_{x,y}$ معامل تبخر الفيرمون، وقيمه تقع بين (0,1)، بينما تمثل $\Delta t_{x,y}$ كمية الفيرمون المضافة إلى المسار نتيجة مرور النملة، وتحسب وفق المعادلة: (2.3)

$$\Delta t_{x,y} = \begin{cases} \frac{1}{L}, & \text{ant travel on the path } x, y \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.3)$$

ويمثل L تكلفة المسار أو طول الرحلة التي قطعتها النملة عبر المسار المحدد.



وتُعد خوارزمية ACO مناسبة جدًا لتطبيقات التوجيه الديناميكي في شبكات الجيل الخامس، إذ تمتاز بقدرتها على التكيف مع تغيرات الشبكة واختيار المسارات المثلى بشكل مستمر، مما يؤدي إلى تقليل الازدحام وتحسين جودة الخدمة ورفع كفاءة بروتوكولات التوجيه.

2.7.4 خوارزمية سرب الجسيمات (Particle Swarm Optimization - PSO)

تُعد خوارزمية سرب الجسيمات (PSO) من خوارزميات التحسين الإرشادي المستوحاة من السلوك الجماعي للطيور أثناء الطيران أو حركة أسراب الأسماك، وقد طُورت لأول مرة من قبل James Kennedy و Russell Eberhart [57]. وتعتمد هذه الخوارزمية على مجموعة من الجسيمات (Particles) التي تتحرك داخل فضاء البحث بهدف الوصول إلى أفضل حل ممكن.

تبدأ الخوارزمية بمجموعة من الحلول العشوائية، حيث يمتلك كل جسيم موقعًا وسرعة يتم تحديدهما في مرحلة التهيئة الأولية. وتتحرك هذه الجسيمات في فضاء البحث اعتمادًا على خبرتها الذاتية وخبرة المجموعة للوصول إلى الحل الأمثل.

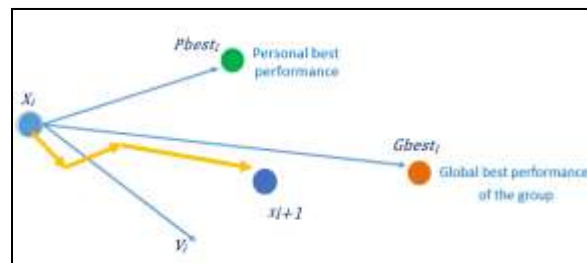
وفي تطبيقات شبكات الجيل الخامس، يمكن استخدام خوارزمية PSO لتحسين أداء بروتوكولات التوجيه من خلال اختيار أفضل المسارات وتقليل زمن التأخير وزيادة كفاءة استهلاك الموارد، مما ينعكس إيجابيًا على جودة أداء الشبكة. [13][14]

يتم تحديث سرعة كل جسيم في كل تكرار وفق المعادلة: (2.4)

$$V_i^d(t+1) = w(t)V_i^d + c1r1 (pbest_i^d - x_i^d(t)) + c2r2 (gbest^d - x_i^d(t)) \quad ..(2.4)$$

حيث:

حيث يُرمز إلى $V_i^d(t)$, $x_i^d(t)$ على التوالي بسرعة الجسيم وموقعه عند التكرار t في البعد d . كما يُعبر عن وزن العطالة بالرمز w ، بينما تمثل $c1$, $c2$ معاملات التسارع الثابتة، وتمثل $r1$, $r2$ قيمًا عشوائية ضمن المدى $(0,1)$. ويشير $pbest$ إلى أفضل حل شخصي يحتفظ به كل جسيم لنفسه، في حين تقوم خوارزمية سرب الجسيمات باختيار أفضل حل عالمي $gbest$ من بين جميع الحلول المختارة في المجتمع، ويتم تحديثه ديناميكيًا خلال عملية البحث، كما هو موضح في الشكل (2.6).





الشكل 2.6: متغيرات خوارزمية PSO.

تعتمد الخوارزمية على مبدئين رئيسيين:

الأول هو أفضل تجربة فردية للجسيم (pbest) ، والثاني هو أفضل تجربة جماعية للسرب (gbest) ، ويتم تحديثهما باستمرار أثناء عملية البحث للوصول إلى أفضل حل ممكن.

بعد تحديث السرعة، يتم تحديث موقع الجسيم باستخدام المعادلة: (2.5)

$$x_i^{t+1} = x_i^t + v_i^{t+1} \dots (2.5)$$

ومن خلال هذه الآلية، تستطيع خوارزمية PSO تحقيق تحسين فعال في بيئات الشبكات المعقدة، مثل شبكات الجيل الخامس، حيث تساعد في تحسين اختيار المسارات وتقليل فقدان البيانات ورفع كفاءة بروتوكولات التوجيه، مما يساهم في تعزيز الأداء العام للشبكة.

2-9-1 نسبة تسليم الحزم (Packet Delivery Ratio – PDR)

تمثل نسبة تسليم الحزم معدل عدد الحزم التي تستقبلها عقدة الوجهة إلى عدد الحزم التي تُنشأها عقدة المصدر، وهي من المقاييس المهمة لتقييم أداء الشبكة. ويُفضّل أن يصل أكبر عدد ممكن من الحزم بنجاح إلى الوجهة، لأن ارتفاع قيمة نسبة تسليم الحزم يدل على تحسن كفاءة الشبكة وموثوقية نقل البيانات فيها. لذلك، كلما ازدادت قيمة PDR كان أداء الشبكة أفضل. وتُستخدم المعادلة (2.6) لحساب نسبة تسليم الحزم [15].

2.9.2 تأخير الإرسال (Transmission Delay)

يشير تأخير الإرسال إلى الزمن الكلي الذي تستغرقه الحزمة حتى تصل إلى عقدة الوجهة. ويقاس هذا المقياس مقدار التأخير الذي تتعرض له الحزمة منذ مغادرتها عقدة الإرسال وحتى وصولها إلى عقدة الاستقبال. وقد يحدث هذا التأخير نتيجة الانتظار في الطوابير، أو بسبب آلية التحكم في الوصول إلى الوسط الناقل، أو نتيجة زمن انتشار الإشارة عبر القناة. ويُفضل أن تكون قيمة هذا المقياس منخفضة، لأن انخفاض التأخير يدل على كفاءة أعلى في أداء الشبكة. وتُستخدم المعادلة (2.7) لحساب زمن التأخير. [16]

$$\text{Delay} = \frac{\text{whole time to deliver packets for destinations}}{\text{number of packets received}} \dots (2.7)$$

2.9.3 نسبة الحزم المفقودة (Dropped Packets Ratio)

تمثل نسبة الحزم المفقودة عدد الحزم التي يتم إرسالها من عقدة المصدر ولكنها لا تصل إلى عقدة الوجهة. ويُعد هذا المقياس من المقاييس المهمة، لأن الاتصالات اللاسلكية البعيدة تكون عرضة لأخطاء الإرسال، كما أن بنية الشبكة قد تتغير بشكل مستمر. وقد تُفقد الحزم بسبب أخطاء في الإرسال، أو عدم توفر مسار إلى العقدة الهدف، أو انقطاع الاتصالات، وغير ذلك من الأسباب. ويُفضّل أن تكون قيمة هذا المقياس منخفضة قدر الإمكان، لأن انخفاض نسبة الحزم المفقودة يؤدي إلى تحسين أداء الشبكة وزيادة كفاءتها. وتُستخدم المعادلة (2.8) لحساب نسبة الحزم المفقودة.

$$\text{DPR} = (\sum \text{packets sent} - \sum \text{packets received}) * 100\% \dots (2.8)$$



3.1 المقدمة (Introduction)

يمثل هذا الفصل الجانب العملي من هذا البحث، حيث يتم توضيح آلية تنفيذ العمل على ثلاث مراحل رئيسية مترابطة تهدف إلى تحسين أداء بروتوكولات التوجيه في شبكات الجيل الخامس (5G).

تتمثل المرحلة الأولى في بناء وتنفيذ شبكة الجيل الخامس باستخدام محاكي 3-NS، من خلال إنشاء مجموعة من السيناريوهات المختلفة التي تعتمد على تغيير عدة معلمات شبكية مثل عدد المستخدمين (UEs) وعدد الخوادم (Servers) وبقية عناصر الشبكة. ولكل سيناريو يتم إنشاء ملف تتبع (Trace File) يحتوي على جميع تفاصيل الحزم المرسل والمستقبل داخل الشبكة، إضافة إلى معلومات أخرى تخص سلوك الشبكة أثناء التشغيل. كما يتم إنشاء ملف رسوم متحركة (Animation File) لكل سيناريو بهدف تمثيل نتائج المحاكاة بشكل بصري بعد انتهاء التنفيذ.

أما المرحلة الثانية فتتعلق بأساليب التحسين المستخدمة في هذا البحث، حيث تم اعتماد خوارزميتين من الخوارزميات الإرشادية متعددة الأهداف، وهما خوارزمية مستعمرة النمل (ACO) والخوارزمية الهجينة (PSO-ACO) وتعمل هذه الخوارزميات على البحث عن أفضل مسارات التوجيه الممكنة داخل الشبكة من أجل تحسين الأداء العام واختيار الحل الأمثل من بين مجموعة الحلول المتاحة.

في حين تتضمن المرحلة الثالثة استخدام مقاييس التقييم لقياس أداء الشبكة بعد تطبيق خوارزميات التحسين، حيث تم الاعتماد على مجموعة من المؤشرات الأساسية التي تعكس كفاءة بروتوكولات التوجيه وجودة الأداء داخل بيئة شبكات الجيل الخامس.

وبذلك يوضح هذا الفصل كيفية ربط بيئة المحاكاة بعمليات التحسين والتقييم من أجل الوصول إلى أفضل أداء ممكن للشبكة.

3.2 إعداد بيئة المحاكاة

في هذا القسم، تم تنفيذ سيناريوهات المحاكاة باستخدام برنامج 3-NS لمحاكاة الشبكات، وذلك بهدف دراسة أثر تقنيات الخوارزميات الإرشادية في رفع أداء بروتوكولات التوجيه لشبكات الجيل الخامس (5G). في هذا العمل، تم استخدام مجموعة من معلمات الشبكة المختلفة مع زيادتها تدريجياً لتحليل تأثيرها في أداء الشبكة. تضمنت السيناريوهات أنواعاً متعددة من العقد، شملت عقد معدات المستخدم (UE)، وعقد محطات الجيل الجديد (gNB)، وعقد المبدل الافتراضي المفتوح (OVS)، بالإضافة إلى عقد الخوادم (Servers). كما تتبع كل عقدة متنقلة من نوع UE نموذج حركة داخل الشبكة لمحاكاة تنقل المستخدمين. أما عقد OVS الوسيطة فتم ربطها بعقدة أو أكثر من العقد المجاورة لتحقيق الاتصال فيما بينها، ثم ربط هذه العقد بالخوادم لضمان تمرير البيانات داخل بيئة الشبكة. وقد تم اختيار مساحة المحاكاة لتكون 3×3 كم²، مع تثبيت مدى الإرسال لكل عقدة داخل منطقة المحاكاة. أما إعدادات المعلمات والقيم المستخدمة في تنفيذ هذا العمل فقد تم توضيحها في الجدول (3.1).

معلمة المحاكاة	القيمة
مساحة المحاكاة	3×3 كم ²
وحدة المحاكاة	mmWave
عدد عقد المستخدم (UEs)	20-100
عدد محطات الجيل الخامس (gNBs)	10
عدد العقد الوسيطة	20-50



نسبة حركة المستخدمين	5-30%
حجم الحزمة	500 KB
زمن الانتشار	15 ms
زمن المحاكاة	ثانية 200

3.3 توليد السيناريوهات وتفاصيل التنفيذ

يشرح هذا القسم السيناريوهات التي تم إنشاؤها في بيئة المحاكاة Ns-3 لتقييم أداء الشبكة، وذلك ضمن إطار دراسة أثر تقنيات الخوارزميات الإرشادية في رفع أداء بروتوكولات التوجيه لشبكات الجيل الخامس (5G). وكما تم توضيحه سابقاً، تم إنشاء عدة سيناريوهات مختلفة باستخدام معلمات متعددة، حيث يمكن تقسيم عملية توليد سيناريوهات شبكات الجيل الخامس اللاسلكية إلى عدة خطوات رئيسية تشمل: إنشاء العقد، وتوفير الحركة (Mobility)، وإنشاء أجهزة الشبكة، وتثبيت طبقات البروتوكول (Stacks)، إضافة إلى تنفيذ التطبيقات وبروتوكولات الاتصال، وذلك بطريقة تحاكي آلية بناء مكونات الشبكة في الواقع الفعلي. وفي النهاية، تم تهيئة ملفات التتبع (Tracing Files) ومخرجات الرسوم المتحركة لعرض ومحاكاة سلوك الشبكة.

3.3.1 إنشاء العقد (Node Creation)

في السيناريوهات التي تمت محاكاتها باستخدام Ns-3، تمثل العقد مجموعة من العناصر تشمل: معدات المستخدم (UE)، ومحطات الجيل الخامس (gNB)، والمبدلات الافتراضية المفتوحة (OVS)، والخوادم (Servers). وقد تم إنشاء هذه العقد باستخدام إنشاء كائن من الفئة NodeContainer لكل نوع من أنواع العقد ضمن السيناريو. بعد ذلك، يتم ربط كل عقدة من نوع UE مع عقدة gNB المقابلة لها لضمان الاتصال ضمن الشبكة.

3.3.2 إنشاء الأجهزة وطبقات البروتوكول (Devices Creation and Stack)

يمكن اعتبار جهاز الشبكة في Ns-3 بمثابة بطاقة واجهة شبكة (Network Interface). في هذا السيناريو، تم تثبيت جهاز واحد باستخدام فئة NetDevice على كل عقدة للتعامل مع عملية الاتصال مع العقد الأخرى عبر قناة الاتصال من نوع mmWave. بعد ذلك، تم تثبيت طبقة بروتوكول الإنترنت باستخدام الفئة InternetStackHelper.

علاوة على ذلك، بالنسبة لعقد OVS، تم اعتماد بروتوكول OpenFlow لعملية تبديل الحزم (Packet Switching) باستخدام الفئة OpenFlowSwitchHelper، ومن ثم تم تثبيته ضمن طبقات البروتوكول الخاصة بالعقد. بعد ذلك، تم استخدام بروتوكول IPv4 لتخصيص عناوين الإنترنت لأجهزة الشبكة باستخدام الفئة Ipv4AddressHelper، مع تهيئة عملية التوجيه (Routing) داخل الشبكة بما يتناسب مع بنية السيناريو.

3.3.3 توفير الحركة (Mobility Provision)

تم ربط كل عقدة من نوع UE بنموذج الحركة من خلال تحديد السرعة ومسار الحركة (Trajectory) لكل عقدة خلال فترة المحاكاة، حيث يتم تعريف موقع العقدة وحركتها بشكل ديناميكي ضمن بيئة الشبكة. ويمكن



تمثيل حركة العقد باستخدام الفئة Ns2MobilityHelper من خلال ملفات تتبع الحركة الخاصة بـ Ns-2 بصيغة (.tcl).

وفي ملف TCL كما هو موضح في الشكل (3.2)، يتم تحديد الموقع الابتدائي لجميع عقد UE، بالإضافة إلى الزمن الذي تبدأ فيه كل عقدة بالحركة نحو موقعها الهدف وبالسرع المحددة مسبقاً، وذلك لمحاكاة الحركة الواقعية للمستخدمين داخل شبكة الجيل الخامس.

```
nsnode_0 set X 50.000000
nsnode_0 set Y 3.000000
nsnode_0 set Z 0.0

nsnode_1 set X 50.000000
nsnode_1 set Y 50.000000
nsnode_1 set Z 0.0

nsnode_2 set X 50.000000
nsnode_2 set Y 80.000000
nsnode_2 set Z 0.0

nsnode_3 set X 50.000000
nsnode_3 set Y 100.000000
nsnode_3 set Z 0.0

Sns_at 20.000000000000 "nsnode_0" outdest 298.238258355189 34.823408931042 5.763240783280
Sns_at 50.000000000000 "nsnode_1" outdest 298.258258355189 1889.553480938942 5.763240783280
Sns_at 100.000000000000 "nsnode_2" outdest 298.258258355189 2780.553480938942 5.763240783280
Sns_at 15.000000000000 "nsnode_3" outdest 298.258258355189 348.155408931042 5.763240783280
```

الشكل 3.2: ملف الحركة (Mobility) بصيغة Tcl.

3.4 إعداد التطبيقات والتكوينات (Set up Applications and Configurations)

في هذا البحث تم استخدام تطبيقات On-Off ضمن بيئة محاكاة شبكات الجيل الخامس (5G) باستخدام برنامج Ns-3، حيث تم توليد حركة البيانات من العقد المرسل إلى العقد المستقبلة باستخدام فئة (ApplicationContainer).

كما تم تفعيل خاصية التتبع (Tracing) باستخدام (AsciiTraceHelper) لغرض تسجيل بيانات الشبكة وتحليلها لاحقاً. وتم كذلك استخدام أداة (NetAnim) لإنتاج تمثيل مرئي (Animation) لسيناريو المحاكاة. وأخيراً، تم تشغيل المحاكاة باستخدام الدالة (Simulator::Run()).

3.5 ملف التتبع (Tracing File)

يتم إنشاء ملف التتبع بعد تنفيذ سيناريوهات شبكة 5G في بيئة Ns-3، ويهدف إلى جمع بيانات تفصيلية عن أداء الشبكة.

تم استخدام نوع التتبع النصي (ASCII) (ASCII)، حيث يتم حفظ النتائج في ملف بامتداد (.tr)، ويتضمن معلومات عن جميع الحزم المرسل والمستلمة، مثل:

- زمن الإرسال
- العقدة المرسل والمستقبلة
- حالة الحزمة (مرسل، مستلمة، مفقودة)

تستخدم هذه الملفات لاحقاً في تحليل الأداء واستخراج النتائج.

3.6 ملف الرسوم المتحركة (NetAnim)



يتم إنشاء ملف الرسوم المتحركة لعرض سلوك الشبكة بصرياً أثناء المحاكاة. حيث يقوم NetAnim بتوضيح حركة العقد واتصالاتها داخل الشبكة، مما يساعد في فهم كيفية انتقال البيانات بين المستخدمين (UEs) والعقد الأخرى مثل المحطات القاعدية والخوادم.

3.7 تنفيذ خوارزميات التحسين (Optimization Algorithms)

نظراً لأن الهدف من هذا البحث هو تحسين أداء بروتوكولات التوجيه في شبكات G5، فقد تم استخدام خوارزميات إرشادية متعددة الأهداف لاختيار أفضل مسار لنقل البيانات.

تعتمد عملية التحسين على دالة هدف (Fitness Function) تهدف إلى:

1. زيادة نسبة تسليم الحزم (PDR)
2. تقليل زمن التأخير (Delay)
3. تقليل فقدان الحزم (Packet Loss)

3.7.1 خوارزمية مستعمرة النمل (ACO)

تعتمد هذه الخوارزمية على سلوك النمل في إيجاد أقصر طريق بين المصدر والوجهة، حيث يتم اختيار المسارات بناءً على تركيز الفيرمونات. كلما زادت قيمة الفيرمون على مسار معين، زادت احتمالية اختياره.

تقوم الخوارزمية بتحديث هذه القيم بشكل مستمر حتى يتم الوصول إلى أفضل مسار ممكن داخل الشبكة.

3.7.2 خوارزمية سرب الجسيمات (PSO)

تعتمد هذه الخوارزمية على مفهوم الجماعات، حيث تتحرك الجسيمات داخل فضاء البحث للوصول إلى أفضل حل.

يتم تحديث موقع كل جسيم بناءً على:

- أفضل موقع شخصي (Pbest)
- أفضل موقع عام (Gbest)

وتستخدم هذه القيم لتحسين أداء الشبكة واختيار أفضل مسار لنقل البيانات.

3.7.3 الخوارزمية الهجينة (PSO-ACO)

تم دمج خوارزميتي PSO و ACO للاستفادة من مميزات كل منهما، حيث توفر PSO قدرة بحث عالمية جيدة، بينما توفر ACO دقة في البحث المحلي.

يساعد هذا الدمج في:

- تجنب الوقوع في الحلول المحلية



- تحسين سرعة الوصول إلى الحل الأمثل
- رفع كفاءة التوجيه في شبكة G5

3.8 مقاييس التقييم (Evaluation Metrics)

تم استخدام ثلاثة مقاييس رئيسية لتقييم أداء الشبكة:

١- نسبة تسليم الحزم (Packet Delivery Ratio - PDR)

تمثل نسبة الحزم التي تصل بنجاح إلى الوجهة، وكلما زادت هذه النسبة دلّ ذلك على تحسن الأداء.

٢- زمن التأخير (Delay)

يمثل الزمن الذي تستغرقه الحزمة للوصول من المصدر إلى الوجهة، وكلما قلّ هذا الزمن كان الأداء أفضل.

٣- نسبة فقدان الحزم (Packet Loss)

تمثل عدد الحزم التي لم تصل إلى الوجهة، ويُفضّل أن تكون هذه النسبة منخفضة لتحقيق كفاءة أعلى للشبكة.

3.9 خلاصة الفصل

يتناول هذا الفصل الجانب العملي للبحث من خلال استخدام محاكي Ns-3 لتنفيذ سيناريوهات مختلفة لشبكات الجيل الخامس. كما تم تطبيق خوارزميات إرشادية (ACO) و PSO والخوارزمية الهجينة (بهدف تحسين أداء بروتوكولات التوجيه).

وأظهرت منهجية البحث اعتماد مقاييس تقييم أساسية (PDR، Delay، Packet Loss) لتحليل كفاءة الأداء، والتي سيتم مناقشة نتائجها في الف النتائج والمناقشة

4.1 المقدمة

يتناول هذا الفصل عرض وتحليل نتائج تطبيق تقنيات الخوارزميات الإرشادية، والمتمثلة بخوارزمية مستعمرة النمل (ACO) والخوارزمية الهجينة (ACO-PSO)، على أداء بروتوكولات التوجيه في شبكات الجيل الخامس (5G)، مع مقارنتها بالحالة التقليدية التي لا تستخدم أي أسلوب تحسين. وقد تم تنفيذ مجموعة من السيناريوهات باستخدام محاكي Ns-3 من خلال تغيير عدد العقد في الشبكة، سواء عقد المستخدمين (UEs) أو الخوادم، وذلك بهدف دراسة تأثير هذه التغيرات على أداء الشبكة. واعتمد التقييم على ثلاثة مقاييس رئيسية تمثلت بنسبة تسليم الحزم (PDR)، وزمن التأخير (Delay)، ونسبة فقدان الحزم (Packet Loss)، لكونها تعكس بشكل مباشر كفاءة بروتوكولات التوجيه في بيئات شبكات الجيل الخامس.

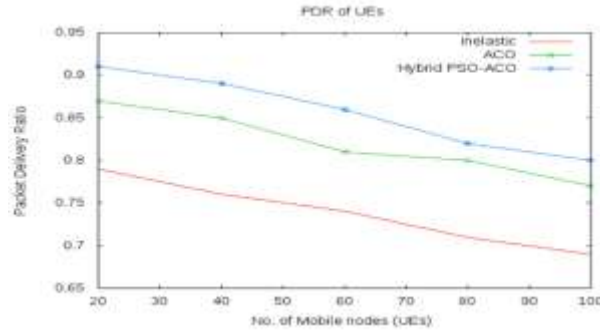
4.2 نتائج الأداء اعتماداً على عدد المستخدمين (UEs)



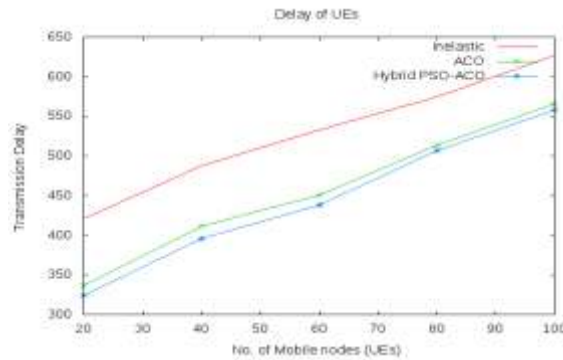
تم في هذا الجزء دراسة تأثير عدد المستخدمين على أداء الشبكة من خلال اختبار عدة سيناريوهات تضمنت أعدادًا مختلفة من العقد (20، 40، 60، 80، 100). وقد تم إجراء المقارنة بين ثلاث حالات، هي الحالة التقليدية بدون تحسين، وحالة استخدام خوارزمية ACO، وحالة استخدام الخوارزمية الهجينة PSO-ACO. أظهرت النتائج أن الأداء في الحالة التقليدية كان منخفضًا نسبيًا، حيث سجلت نسبة تسليم الحزم قيمًا تتراوح بين (0.69–0.79)، في حين كان زمن التأخير مرتفعًا، إذ وصل إلى (627 ms) عند زيادة عدد المستخدمين، كما ارتفعت نسبة فقدان الحزم لتصل إلى (31%).

عند تطبيق خوارزمية ACO، لوحظ تحسن واضح في أداء الشبكة، حيث ارتفعت نسبة تسليم الحزم لتصل إلى (0.87) عند عدد مستخدمي منخفض، مع انخفاض ملحوظ في زمن التأخير ونسبة فقدان الحزم مقارنة بالحالة التقليدية. أما عند استخدام الخوارزمية الهجينة (PSO-ACO)، فقد تحقق أفضل أداء، إذ ارتفعت نسبة تسليم الحزم إلى ما يقارب (0.91)، وانخفض زمن التأخير إلى حوالي (324 ms)، كما انخفضت نسبة فقدان الحزم إلى (9%)، مما يدل على كفاءة هذا الأسلوب في تحسين مسارات التوجيه داخل الشبكة.

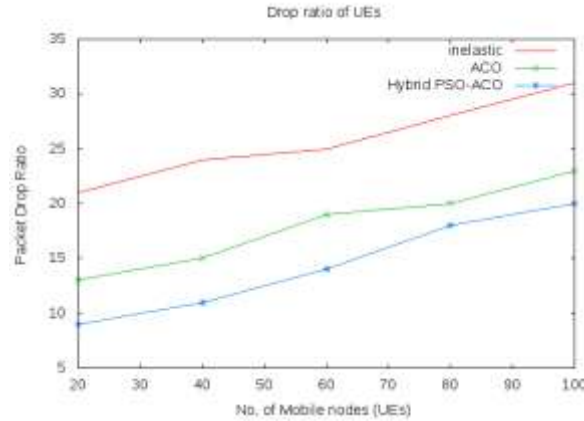
يوضع هنا الشكل 4.1: تأثير عدد المستخدمين على (PDR)



يوضع هنا الشكل 4.2: تأثير عدد المستخدمين على (Delay)



يوضع هنا الشكل 4.3: تأثير عدد المستخدمين على (Packet Loss)

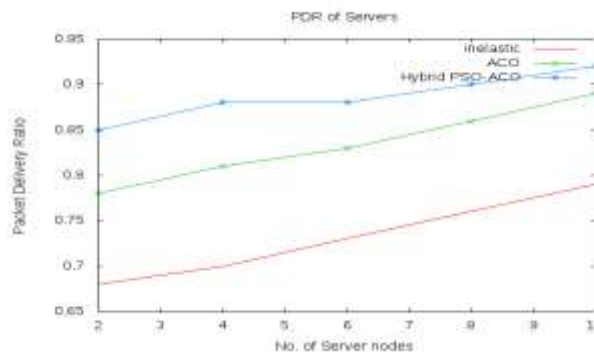


4.3 نتائج الأداء اعتماداً على عدد الخوادم

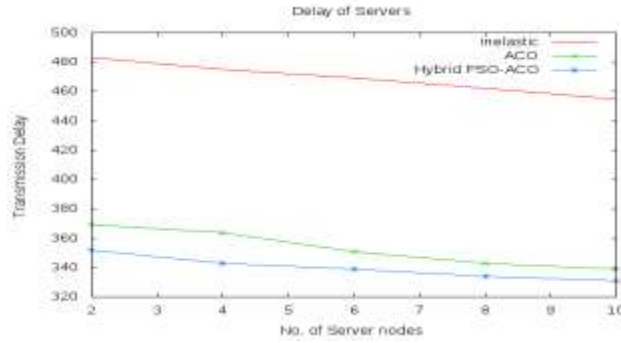
في هذا الجزء، تم تحليل تأثير عدد الخوادم على أداء الشبكة، حيث تم اختبار عدة سيناريوهات بأعداد مختلفة من الخوادم (2، 4، 6، 8، 10). وقد أظهرت النتائج أن الأداء في الحالة التقليدية كان ضعيفاً، حيث تراوحت نسبة تسليم الحزم بين (0.68–0.79)، مع ارتفاع في زمن التأخير ونسبة فقدان الحزم، والتي بلغت (32%) عند أقل عدد من الخوادم.

عند تطبيق خوارزمية ACO، تحسن الأداء بشكل ملحوظ، حيث ارتفعت نسبة تسليم الحزم إلى (0.89) وانخفضت نسبة فقدان الحزم إلى (12%)، كما انخفض زمن التأخير مقارنة بالحالة التقليدية. أما عند استخدام الخوارزمية الهجينة (PSO-ACO)، فقد أظهرت النتائج تفوقاً واضحاً، حيث بلغت نسبة تسليم الحزم (0.92)، وانخفض زمن التأخير إلى حوالي (331 ms)، كما انخفضت نسبة فقدان الحزم إلى (8%)، مما يعكس قدرة هذه الخوارزمية على تحسين كفاءة التوجيه في ظل زيادة عدد الخوادم.

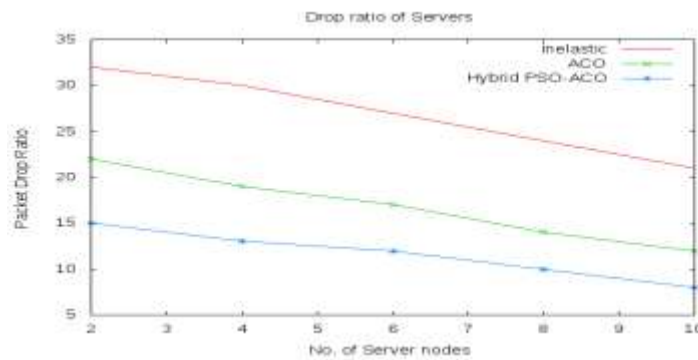
يوضع هنا الشكل 4.4: تأثير عدد الخوادم على (PDR)



يوضع هنا الشكل 4.5: تأثير عدد الخوادم على (Delay)



يوضع هنا الشكل 4.6: تأثير عدد الخوادم على (Packet Loss)



4.4 خلاصة الفصل

تشير النتائج التي تم التوصل إليها في هذا الفصل إلى أن استخدام الخوارزميات الإرشادية يسهم بشكل فعال في تحسين أداء بروتوكولات التوجيه في شبكات الجيل الخامس. إذ أظهرت خوارزمية ACO قدرة جيدة على تحسين الأداء مقارنة بالحالة التقليدية، إلا أن الخوارزمية الهجينة (PSO-ACO) حققت أفضل النتائج من خلال تحقيق توازن بين البحث العالمي والمحلي، مما أدى إلى زيادة نسبة تسليم الحزم وتقليل زمن التأخير ونسبة فقدان الحزم. وبناءً على ذلك، يمكن التأكيد على أن دمج تقنيات الخوارزميات الإرشادية يمثل حلاً فعالاً لتحسين كفاءة الشبكات الحديثة، خصوصاً في بيئات الجيل الخامس التي تتطلب أداءً عاليًا واستجابة سريعة. صل التالي.

5.1 الاستنتاج (Conclusion)

في الختام، تم في هذا البحث اقتراح تحسين أداء بروتوكولات التوجيه في شبكات الجيل الخامس (5G) من خلال إنشاء سيناريوهات داخل بيئة محاكاة تعتمد على معايير متعددة للشبكة، مثل عدد المستخدمين (UEs) وعدد الخوادم (Servers) وعقد الشبكة الأخرى.

وقد تم استخدام طريقتين من الخوارزميات الإرشادية متعددة الأهداف، وهما خوارزمية مستعمرة النمل (ACO) والخوارزمية الهجينة (PSO-ACO)، بهدف تحسين عملية التوجيه وإيجاد حلول قريبة من المثالية، والتغلب على مشكلة التوقف في الحلول المحلية داخل مسارات الشبكة.



وبالمقارنة مع الطرق التقليدية أحادية الهدف مثل خوارزمية ديكسترا (Dijkstra) ، فإن هذه الطريقة لا توفر تنوعاً في الحلول الممكنة داخل فضاء البحث، مما يحد من القدرة على الوصول إلى أفضل مسار ممكن. أما الخوارزميات المقترحة في هذا البحث فقد أظهرت نتائج أفضل من حيث رفع نسبة تسليم الحزم (PDR) ، وتقليل زمن التأخير، وتقليل نسبة فقدان الحزم.

وبذلك يمكن الاستنتاج أن استخدام الخوارزميات الإرشادية، خصوصاً الأسلوب الهجين، يعد أكثر كفاءة وفاعلية من الطرق التقليدية في تحسين أداء بروتوكولات التوجيه في شبكات الجيل الخامس.

5.2 الأعمال المستقبلية (Future Work)

يمكن تلخيص الأعمال المستقبلية المقترحة في هذا البحث بعدة اتجاهات مهمة. أولاً، يمكن توسيع الدراسة من خلال دمج تقنيات افتراضية الشبكات مثل شبكات الوظائف الافتراضية (NFV) والشبكات المعرفة برمجياً (SDN) لتحسين إدارة الموارد داخل شبكات الجيل الخامس.

كما يمكن مستقبلاً دمج خوارزمية PSO مع خوارزميات تحسين أخرى مثل خوارزمية التطور التفاضلي (Differential Evolution - DE) بهدف تعزيز أداء البحث عن الحلول المثلى.

إضافة إلى ذلك، يمكن استخدام خوارزمية التطور التفاضلي للتحكم في خوارزمية PSO وتحسين أدائها مع بروتوكولات توجيه أخرى. كما يمكن توسيع معايير التقييم في الدراسات المستقبلية لتشمل مقاييس إضافية مثل زمن التنفيذ (Execution Time).

وأخيراً، يمكن إدخال معلمات شبكية إضافية مثل عرض الحزمة (Bandwidth) للحصول على تحليل أكثر شمولية ودقة لأداء شبكات الجيل الخامس.

المصادر

[1] R. Yadav, "Challenges and Evolution of Next generation Wireless Communication," *Lect. Notes Eng. Comput. Sci.*, vol. 2228, pp. 619–623, 2017.

[2] X. Li, A. Gani, R. Salleh, and O. Zakaria, "The future of mobile wireless communication networks," *Proc. 2009 Int. Conf. Commun. Softw. Networks, ICCSN 2009*, pp. 554–557, 2009, doi: 10.1109/ICCSN.2009.105.

[3] M. Anju and U. Gawas, "An Overview on Evolution of Mobile Wireless Communication Networks : 1G-6G," *Ijritcc.Org*, vol. 3, no. 5, pp. 3130–3133, 2015.

[4] J. G. Andrews *et al.*, "What will 5G be?," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 32, no. 6, pp. 1065–1082, 2014, doi: 10.1109/JSAC.2014.2328098.

[5] M. Shafi *et al.*, "5G: A tutorial overview of standards, trials, challenges, deployment, and practice," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 35, no. 6, pp. 1201–1221, 2017, doi: 10.1109/JSAC.2017.2692307.



- [6] P. Varga *et al.*, “5G Support for Industrial Iot Applications – Challenges, Solutions, and Research Gaps,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 3, 2020, doi: 10.3390/s20030828.
- [7] L. P. and O. Sunay, “5G Mobile Networks: A Systems Approach,” 2020. <https://5g.systemsapproach.org/>.
- [8] A. Sadollah, Y. Choi, and J. H. Kim, “metaheuristic optimization algorithms for approximate solutions to ordinary differential equations,” *IEEE Congr. Evol. Comput. (CEC 2015)*, pp. 792–798, 2015.
- [9] P. Punia and M. Kaur, “Various Genetic Approaches for Solving Single and Multi-Objective Optimization Problems: A Review,” *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci. Softw. Eng.*, vol. 3, no. 7, p. 2277, 2013, [Online]. Available: www.ijarcse.com.
- [10] M. Dorigo and L. M. Gambardella, “Ant colony system: A cooperative learning approach to the traveling salesman problem,” *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 1, no. 1, pp. 53–66, 1997, doi: 10.1109/4235.585892.
- [11] S. Shaikh, S. Taras, and H. Wagh, “Application of Ant Colony Optimization for finding the Navigational path of Mobile Robot- A Review,” vol. 3, no. 2, pp. 191–196, 2016.
- [12] M. Dorigo and C. Blum, “Ant colony optimization theory: A survey,” *Theor. Comput. Sci.*, vol. 344, no. 2–3, pp. 243–278, 2005, doi: 10.1016/j.tcs.2005.05.020.
- [13] R. Islam, M. N. Akhtar, B. R. Ahmad, U. K. Das, M. Rahman, and Z. I. A. Khalib, “An approach to building energy clusters using particle swarm optimization algorithm for allocating the tasks in computational grid,” *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 14, no. 2, pp. 826–833, 2019, doi: 10.11591/ijeecs.v14.i2.pp826-833.
- [14] A. H. Alsaedi, A. H. Aljanabi, M. E. Manna, and A. L. Albukhnefis, “A proactive metaheuristic model for optimizing weights of artificial neural network,” *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 20, no. 2, pp. 976–984, 2020, doi: 10.11591/ijeecs.v20.i2.pp976-984.
- [15] R. A. Santos, A. Edwards, R. M. Edwards, and N. L. Seed, “Performance evaluation of routing protocols in vehicular ad-hoc networks,” *Int. J. Ad Hoc Ubiquitous Comput.*, vol. 1, no. 1–2, pp. 80–91, 2005, doi:



10.1504/ijahuc.2005.008022.

[16] S. Naimi, A. Busson, V. Vèque, and R. Bouallegue, “Metric anticipation to manage mobility in mobile mesh and ad hoc wireless networks,” *Ann. des Telecommun. Telecommun.*, vol. 73, no. 11–12, pp. 787–802, 2018, doi: 10.1007/s12243-018-0666-z.