جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات

# تقييم أداء خوارزميات التوجيه في الشبكات الساتلية

# Performance Evaluation of Routing Algorithms in Satellite Networks

المهندس ربيع عماد الجهني
الدكتور المهندس محمد ميهوب

## الملخص

يتناول البحث مسألة تقييم أداء خوارزميات التوجيه في الشبكات الساتلية ، حيث أنه بسبب الحركية الدائمة والعدد الكبير نسبياً من السواتل تبرز أهمية خوارزميات التوجيه وتأثيرها بشكل كبير على الأداء في شبكات الاتصالات الساتلية من ناحية متوسط التأخير ومتوسط حمل الحركة تبعاً للاستراتيجية المتبعة.

قمنا في هذا البحث بدراسة شاملة لخوارزميات التوجيه في الشبكات الساتلية ذات الطبقة الواحدة متضمنة استراتيجيتي توجيه العقدة الافتراضية والطوبولوجيا الافتراضية. وجرى تقييم أداء الخوارزميات ELB و DDRA و DTDR و LCPR ؛ وتم اقتراح تحسين أداء الخوارزمية LCPR بإدخال تعديل على آلية اختيار المسار الأقصر، كما قمنا بدراسة خوارزميات التوجيه في الشبكات الساتلية ذات الطبقتين LEO/MEO اعتماداً على الخوارزمية M-BMDP وتم المقارنة بين أداء الخوارزميات السابقة من أجل عدة مقاييس: التأخير بدلالة معدل البت والتأخير بدلالة عدد أزواج المحطات الأرضية ونسبة إسقاط الرزم ومعدل التدفق .

## القسم النظري

يقدم الفصل الأول الإطار العام للبحث ويتضمن مقدمة وبعض الدراسات المرجعية السابقة ومشكلة البحث وهدف البحث وأهمية البحث ومسوغات البحث ومحددات البحث وحدود البحث ومنهج البحث وأدواته.

يتناول الفصل الثاني أساسيات الشبكات الساتلية حيث يعرض بالتفصيل هندسة السواتل وبنية الشبكة الساتلية.

يعرض الفصل الثالث التوجيه في الشبكات الساتلية متضمناً استراتيجيات التوجيه المستخدمة في الشبكات الساتلية ذات الطبقة الواحدة LEO وذات الطبقتين LEO/MEO.

## القسم العملي

جرى الاعتماد على المنهج التجريبي لإجراء هذا البحث حيث تم تطبيق استراتيجية توجيه الطوبولوجيا الافتراضية على شبكة السواتل المدروسة اعتماداً على خوارزمية موازنة الحمل الصريحة ELB وخوارزمية التوجيه بالكشف الدينامي DDRA ، ثم تم تطبيق استراتيجية توجيه العقدة الافتراضية اعتماداً على خوارزمية التوجيه الموزعة المتسامحة في الاختلال DTDR وخوارزمية التوجيه الاحتمالي منخفض التعقيد LCPR ثم قمنا بإدخال تحسين على آلية عمل LCPR. ثم قمنا بتطبيق الاستراتيجيتين بآن واحد باستخدام خوارزمية توجيه عرض المجال الترددي المقيد بالحد الأدنى من مسار التأخير المعدلة M-BMDP التي تعمل في الشبكات الساتلية ذات الطبقتين MEO و LEO.

تم تقييم أداء عمل الخوارزميات واختيار مجال عمل كل منها.

## النتائج والمناقشة

الخوارزمية DDRA هي الأفضل في استراتيجية الطبولوجيا الافتراضية والخوارزمية LCPR هي الأفضل في استراتيجية العقدة الافتراضية. وعند المقارنة بين الخوارزميتين وجدنا أنهما تتقاربان في الأداء، لكن الخوارزمية DDRA تتميز بأن التأخير من طرف إلى طرف يكون أقل بسبب استخدام خوارزمية المسار الأقصر Dijkstra لتحديد القفزة اللاحقة؛ لكن يترتب على ذلك زيادة تعقيد المنظومة ومن ثمَّ استهلاك أعلى لموارد المنظومة.

أما الخوارزمية LCPR فتتميز بنسبة فقد رزم أخفض بسبب آلية الإعلام الأكثر فاعلية المسؤولة عن إيقاف إرسال الرزم عندما تكون قائمة انتظار العقدة اللاحقة ممتلئة، وتتميز بمعدل تدفق أعلى. ويعود السبب في ذلك إلى موازنة حمل المرور بشكل تكيّفيّ بوساطة الآليات المستخدمة لاعتماد احتمال تحديد القفزة اللاحقة بالإضافة إلى التعقيد المنخفض، ومن ثمَّ استهلاك منخفض لموارد المنظومة.

التعديل على الخوارزمية LCPR بآلية اختيار المسار الأقصر نتج عنه تناقص قيمة التأخير مقارنة مع الخوارزمية LCPR، إلا أن الخوارزمية DDRA بقيت أفضل من ناحية التأخير المنخفض كونها تستخدم خوارزمية المسار الأقصر ديكسترا Dijkstra

حققت خوارزمية التوجيه في الشبكات الساتلية ذات الطبقتين M-BMDP نتائج أفضل من خوارزميات التوجيه في الشبكات الساتلية ذات الطبقة الواحدة بعد مقارنتها مع الخوارزمية MLCPR ويعود السبب في ذلك إلى اعتماد الخوارزمية على المسار البديل مباشرةً عند حدوث أي فشل أو ازدحام في إحدى الوصلات، وبفضل خوارزمية (خلية النحل) المُستخدمة في هذه الخوارزمية

## المراجع


- [1] Xu .X, et al. (2021). Optimization of Load Balancing Routing Algorithm Based on Extended Localized Link States in Low Earth Orbit Satellite Networks. International Journal of Satellite Communications and Networking, 39(6), 591-604.
- [2] Geng .S, et al. (2020). An Optimal Delay Routing Algorithm Considering Delay Variation in the LEO Satellite Communication Network. Computer Networks, 173, 107166.
- [4] Kodheli .O, et al. (2021) Satellite Communications in the New Space Era: A Survey and Future Challenges, IEEE Communications Surveys & Tutorials, 23 (1), 70-109.
- [5] Xiaogang. I, et al. (2016). A Survey of Routing Techniques for Satellite Networks. Journal of Communications and Information Networks, 1(4), 66-85.
- [6] Kuruba. P, et al. (2019). Distributed Small Satellite Network and the Routing Protocols. In International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE),8(154), 822 - 831.
- [7] Liu. W, et al. (2019). Load-Balancing Routing Algorithm Based on Segment Routing for Traffic Return in LEO Satellite Networks. IEEE Access, 7, 112044-112053.
- [8] Deng. X, et al. (2022). An Ant Colony Optimization-Based Routing Algorithm for Load Balancing in LEO Satellite Networks. Wireless Communications and Mobile Computing, 2022(3032997), 1-18.
- [9] Jin, J., Tian, F., Yang, Z., Di, H., & Li, G. (2022). A Disruption Tolerant Distributed Routing Algorithm in LEO Satellite Networks. Applied Sciences, 12(8), 3802 , 1-15.
- [10] Liu. G, et al. (2022). Adaptive Access Selection Algorithm for Large-Scale Satellite Networks Based on Dynamic Domain. Sensors, 22(16), 5995, 1-16.
- [11] Yang, M. et al. (2023). Swarm and Location-Based QoS Routing Algorithm in MEO/LEO Double-Layered Satellite Networks. Wireless Communications and Mobile Computing, 2023(4897698),1-10