

الجمهورية الشعبية الديمقراطية الجزائرية
People's Democratic Republic of Algeria
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research
المدرسة العليا للإعلام الآلي 8 ماي 1945 - سيدي بلعباس
Higher School of Computer Science
8 Mai 1945 - Sidi Bel Abbès



Master's Thesis

To obtain the diploma of Master's Degree

Field of Study: Computer Science

Specialization: Computer System Engineering

Theme

Dynamic Resource Allocation for 5G Network Slicing: A Comparative Study of Optimization-Based and Learning-Driven Strategies

Presented by
DJIROUN Hiba

Defended on: **June 28th**
In front of the jury composed of

Ms.BABA-AHMED Manel
Mr.BENDAOU Fayssal
Ms.NAIB Rabiaa

President of the Jury
Thesis Supervisor
Examiner

Academic Year: 2025/2026

Abstract

The advent of Fifth Generation (5G) and the emergence of network slicing have enabled multiple logical networks to coexist on a shared physical infrastructure, each tailored to heterogeneous services with distinct quality of service requirements, such as Enhanced Mobile Broadband (eMBB), Ultra-Reliable Low-Latency Communications (URLLC), and Massive Machine-Type Communications (mMTC). However, efficiently allocating radio, computing, and transport resources across slices while preserving strict performance isolation remains a major challenge. Static resource allocation guarantees isolation but leads to underutilisation, whereas dynamic sharing improves efficiency at the risk of violating service level agreements.

This thesis conducts a systematic comparative study of representative resource allocation strategies for 5G network slicing, namely heuristic (e.g., static partitioning, threshold-based borrowing), optimisation-based (e.g., convex programming, utility maximisation), and learning-driven approaches (e.g., reinforcement learning with continuous action spaces). All strategies are evaluated under identical simulation conditions, considering dynamic Vehicle-to-Everything (V2X) traffic, multiple slice types, and real-time overload events. Performance is assessed using key indicators: resource utilisation, inter-slice isolation, quality of service satisfaction, and adaptability.

The results quantify the inherent trade-offs between efficiency and isolation. Learning-driven methods demonstrate superior adaptability and utilisation but require careful training to avoid instability. Optimisation-based approaches offer strong theoretical guarantees but react slowly to sudden traffic bursts. Heuristic strategies are simple and robust yet waste significant capacity. Based on these findings, practical guidelines are provided for selecting an appropriate strategy according to deployment priorities. Finally, open challenges and future research directions in dynamic resource lending for 5G network slicing are identified.

Keywords— 5G, network slicing, resource allocation, comparative study, sharing, lending mechanism, reinforcement learning, V2X, isolation, URLLC, eMBB.

Résumé

L'avènement de la Fifth Generation (5G) et du découpage de réseau (network slicing) permet à plusieurs réseaux logiques de coexister sur une même infrastructure physique, chacun étant adapté à des services hétérogènes ayant des exigences de qualité de service distinctes, telles que le Enhanced Mobile Broadband (eMBB), les Ultra-Reliable Low-Latency Communications (URLLC) et les Massive Machine-Type Communications (mMTC). Cependant, l'allocation efficace des ressources radio, de calcul et de transport entre les tranches tout en préservant un strict isolement des performances reste un défi majeur. L'allocation statique garantit l'isolement mais conduit à une sous-utilisation, tandis que le partage dynamique améliore l'efficacité au risque de violer les contrats de niveau de service.

Cette thèse présente une étude comparative systématique des stratégies représentatives d'allocation de ressources pour le découpage de réseau 5G, à savoir les approches heuristiques (partitionnement statique, emprunt basé sur des seuils), les approches basées sur l'optimisation (programmation convexe, maximisation d'utilité) et les approches pilotées par l'apprentissage (apprentissage par renforcement avec espaces d'actions continus). Toutes les stratégies sont évaluées dans des conditions de simulation identiques, prenant en compte un trafic dynamique de type Vehicle-to-Everything (V2X), plusieurs types de tranches et des événements de surcharge en temps réel. Les performances sont mesurées à l'aide d'indicateurs clés : utilisation des ressources, isolation entre tranches, satisfaction de la qualité de service et adaptabilité.

Les résultats quantifient les compromis inhérents entre efficacité et isolation. Les approches pilotées par l'apprentissage offrent une adaptabilité et une utilisation supérieures, mais nécessitent un entraînement minutieux pour éviter l'instabilité. Les approches par optimisation fournissent de solides garanties théoriques mais réagissent lentement aux pics de trafic soudains. Les stratégies heuristiques sont simples et robustes, mais gaspillent une capacité significative. Sur la base de ces constats, des recommandations pratiques sont fournies pour choisir la stratégie appropriée en fonction des priorités de déploiement. Enfin, les défis ouverts et les directions futures de recherche pour le prêt dynamique de ressources dans le découpage de réseau 5G sont identifiés.

Mots-clés — 5G, découpage de réseau, allocation de ressources, étude comparative, partage, mécanisme de prêt, apprentissage par renforcement, V2X, isolation, URLLC, eMBB.

الملخص

مع ظهور 5G (Generation Fifth) وتقنية تجزئة الشبكة، أصبح من الممكن تشغيل شبكات منطقية متعددة على نفس البنية التحتية المادية، حيث تُخصص كل شبكة لخدمات غير متجانسة لها متطلبات مختلفة لجودة الخدمة، مثل Enhanced Massive، و (eMBB) Broadband Mobile، و (URLLC) Communications Low-Latency Ultra-Reliable، و (mMTC) Communications Machine-Type. إلا أن التوزيع الفعال للموارد الراديوية والحاسوبية والنقلية بين الشرائح مع الحفاظ على عزل صارم للأداء لا يزال تحدياً كبيراً. التوزيع الثابت للموارد يضمن العزل لكنه يؤدي إلى نقص الاستغلال، بينما المشاركة الديناميكية تحسّن الكفاءة ولكنها تخاطر بانتهاك اتفاقيات مستوى الخدمة.

تُجري هذه الأطروحة دراسة مقارنة منهجية لاستراتيجيات توزيع الموارد التمثيلية لتجزئة شبكة 5G، وهي الاستراتيجيات الاستكشافية (مثل التقسيم الثابت، والاقتراض القائم على العتبات)، والاستراتيجيات القائمة على التحسين (مثل البرمجة المحدبة، وتعظيم المنفعة)، والاستراتيجيات المعتمدة على التعلم (مثل التعلم المعزز بفضاءات الأفعال المستمرة). يتم تقييم جميع الاستراتيجيات تحت نفس ظروف المحاكاة، مع الأخذ بعين الاعتبار حركة مرور ديناميكية من نوع (V2X) Vehicle-to-Everything، وأنواع متعددة من الشرائح، وأحداث التحميل الزائد في الوقت الفعلي. يُقاس الأداء باستخدام مؤشرات رئيسية: استخدام الموارد، والعزل بين الشرائح، وتلبية جودة الخدمة، والقدرة على التكيف.

تحدد النتائج المقايضات الكامنة بين الكفاءة والعزل. تظهر الاستراتيجيات المعتمدة على التعلم قدرة فائقة على التكيف والاستخدام، لكنها تحتاج إلى تدريب دقيق لتجنب عدم الاستقرار. توفر الاستراتيجيات القائمة على التحسين ضمانات نظرية قوية ولكنها تستجيب ببطء للزيادات المفاجئة في حركة المرور. الاستراتيجيات الاستكشافية بسيطة ومتينة لكنها تهدر سعة كبيرة. بناءً على هذه النتائج، يتم تقديم إرشادات عملية لاختيار الاستراتيجية المناسبة حسب أولويات النشر. وأخيراً، يتم تحديد التحديات المفتوحة واتجاهات البحث المستقبلية للإقراض الديناميكي للموارد في تجزئة شبكة 5G.

الكلمات المفتاحية: 5G، تجزئة الشبكة، توزيع الموارد، دراسة مقارنة، المشاركة، آلية الإقراض، تعلم معزز، V2X، عزل، eMBB، URLLC.