Une exploration de méthodes exactes pour une détection et un diagnostic efficaces des défaillances des réseaux.

Auguste Burlats*Pelsser Cristel Pierre Schaus
UCLouvain, ICTeam

prénom.nom@uclouvain.be

Résumé

Cet article est un résumé d'un article accepté à la conférence CPAIOR 2024. Dans les réseaux informatiques, une récupération rapide des défaillances nécessite une détection et un diagnostic rapides. À l'aide de protocoles tels que *Bidirectional Forwarding Detection* (BFD), il est possible de sonder l'état d'une route. Ces protocoles sont exécutés sur des nœuds spécifiques désignés comme des moniteurs réseaux. Les moniteurs sont responsables de vérifier constamment la viabilité des chemins de communication. Il est crucial de choisir soigneusement les moniteurs, car la surveillance entraîne des coûts, nécessitant un équilibre entre le nombre de moniteurs et la qualité de la surveillance. Dans ce contexte, nous explorons deux défis de surveillance issus du domaine de la tomographie booléenne des réseaux : la couverture, qui consiste à détecter les défaillances, et la 1-identifiabilité, qui nécessite également d'identifier le lien ou le nœud défaillant. Nous essayons trois approches exactes pour résoudre ce problème : un modèle de programmation linéaire en nombre entier (ILP), un modèle de programmation par contrainte (CP) et un modèle de satisfaisabilité maximale (MaxSAT). En utilisant 625 topologies de réseaux réels, nous illustrons que l'utilisation de ces méthodes exactes peut réduire le nombre de moniteurs nécessaires par rapport à l'algorithme glouton de l'état-de-l'art.

1 Introduction

Les réseaux informatiques constituent l'épine dorsale de la communication numérique moderne, et leur fiabilité est cruciale pour maintenir une connectivité sans faille dans différents secteurs. Les défaillances de ces réseaux peuvent avoir des conséquences importantes, entraînant des interruptions de service et des pertes financières potentielles. Il est donc essentiel de mettre au point des méthodes efficaces et précises pour détecter et diagnostiquer les pannes de réseau, afin de permettre un rétablissement rapide et de minimiser l'impact sur les utilisateurs finaux.

Dans cette étude, nous nous concentrons sur la tomographie booléenne des réseaux, un domaine de recherche très prometteur pour améliorer la résilience des réseaux. La tomographie booléenne des réseaux combine des mesures de bout en bout avec des algorithmes d'inférence pour estimer l'état des différents éléments du réseau. Son avantage est qu'elle ne nécessite qu'un sous-ensemble de nœuds pour surveiller et superviser l'ensemble d'un réseau.

Avec cette approche, des moniteurs s'envoient des messages sur des *routes de mesure*. Lorsqu'une panne survient sur un nœud, toutes les routes qui le traversent sont défaillantes. La défaillance peut donc être détectée en observant si certaines routes de mesure ne fonctionnent pas. Si l'ensemble des routes de mesure défaillantes forme une signature unique, il est même possible d'identifier le nœud défaillant.

Notre étude se concentre sur la minimisation du nombre de nœuds moniteurs qui sont désignés tout en garantissant un certain niveau de qualité de la surveillance du réseau. Cet aspect est essentiel pour minimiser les coûts de surveillance sans compromettre la santé et les performances globales du réseau. Nous explorons deux défis critiques de surveillance : le *problème de couverture*, où il faut détecter les pannes, et le *problème de 1-identifiabilité*, où il faut aussi localiser précisément le noeud défaillant.

La défaillance d'un nœud dans un réseau entraîne

*Papier doctorant : Auguste Burlats est auteur principal.

l'interruption de toute les routes qui le traversent. Les routes de mesures affectées forment collectivement le *symptôme* associé au noeud défaillant. Un réseau est couvert si chacun de ses noeuds dispose d'un symptôme non nul. De plus, un réseau est considéré comme étant 1-identifiable si chaque noeud possède un symptôme non nul unique, servant donc d'identifiant pour le noeud défaillant. En compilant une liste complète de ces identifiants, il est possible de diagnostiquer efficacement une panne en observant simplement les chemins perturbés et en croisant les références d'un tableau précalculé qui associe l'ensemble de chemins défaillants (symptômes) au nœud correspondant.

Une supposition importante des réseaux considérés dans cette étude est que les routes entre les paires de noeuds sont définies par le protocole de routage et connues par l'outil de gestion qui sélectionnera les moniteurs. Une paire de moniteurs est simplement capable de vérifier le statut des routes les liants. En pratique, les opérateurs réseaux configurent les poids (IGP) des liens pour influencer les routes suivies par le trafic dans le réseau, en supposant qu'ils suivent le plus court chemin (voir par exemple [2] concernant l'optimisation des poids IGP). Par ailleurs, d'autres protocoles tels que le routage par segment ou MPLS [3, 4, 5] rendent possible l'introduction de déviations ou la définition explicite de routes entre les paires de noeuds, déviant des plus courts chemins. Pour tous ces protocoles, les moniteurs sont capables de déterminer quelles routes entre eux sont affectées par une panne.

Pour résoudre le problème de couverture et de 1-identifiabilité, tous deux NP-complets, nous introduisons un modèle exact et facilement adaptable pour la programmation linéaire en nombre entier (PLNE), la programmation par contraintes (PPC) et la satisfaisabilité maximale (MaxSAT). Pour réduire l'espace de recherche, nous proposons des contraintes redondantes et des réductions du problème exploitant les topologies de réseau. En utilisant 625 topologies de réseaux, nous comparons les solutions retournées par les approches exactes avec une version spécialisée d'un algorithme glouton nommé MNMP [6], dédiée à la 1-identifiabilité. Nos résultats montrent que le modèle proposé réduit le nombre de moniteurs par rapport au glouton pour 35 exemplaires du problème de couverture et 167 exemplaires du problème de 1-identifiabilité, permettant l'émergence de réseaux de télécommunications plus robustes et plus fiables.

Cet article fait suite à un article présenté aux JFPC 2023 [1]. Il y ajoute des preuves de NP-complétude pour les deux problèmes. Des contraintes redondantes et des réductions du problèmes ont été ajoutées pour réduire le temps de calcul. Enfin, les résultats sont complétés avec l'usage des solveurs OR-Tools et MaxHS.

Références

[1] Auguste Burlats, Pierre Schaus et Cristel Pelsser : Placement optimal de moniteurs dans un réseau pour la tomographie booléenne. *JFPC*, page 83.

[2] Bernard Fortz et Mikkel Thorup : Internet traffic engineering by optimizing ospf weights. *In Proceedings IEEE INFOCOM 2000. conference on computer communications. Nineteenth annual joint conference of the IEEE computer and communications societies (Cat. No. 00CH37064)*, volume 2, pages 519–528. IEEE, 2000.

[3] Renaud Hartert, Pierre Schaus, Stefano Vissicchio et Olivier Bonaventure : Solving segment routing problems with hybrid constraint programming techniques. *In Principles and Practice of Constraint Programming : 21st International Conference, CP 2015, Cork, Ireland, August 31–September 4, 2015, Proceedings 21*, pages 592–608. Springer, 2015.

[4] Renaud Hartert, Stefano Vissicchio, Pierre Schaus, Olivier Bonaventure, Clarence Filsfils, Thomas Telkamp et Pierre Francois : A declarative and expressive approach to control forwarding paths in carrier-grade networks. *ACM SIGCOMM computer communication review*, 45(4):15–28, 2015.

[5] Youngseok Lee, Yongho Seok, Yanghee Choi et Changhoon Kim : A constrained multipath traffic engineering scheme for mpls networks. *In 2002 IEEE International Conference on Communications. Conference Proceedings. ICC 2002 (Cat. No. 02CH37333)*, volume 4, pages 2431–2436. IEEE, 2002.

[6] Liang Ma, Ting He, Ananthram Swami, Don Towsley et Kin K. Leung : On optimal monitor placement for localizing node failures via network tomography. *Performance Evaluation*, 91:16–37, septembre 2015.