

Résumé

Le codage réseau (CR) est une nouvelle technique dans laquelle les données sont codées et décodées par les nœuds afin d'améliorer le débit et réduire les retards. En utilisant des algorithmes algébriques, le codage consiste à combiner les transmissions ensemble et le décodage consiste à restaurer ces transmissions. Cette opération réduit le nombre total de transmissions nécessaire pour échanger les données, mais requière plus de traitement au niveau des nœuds. NC peut être appliquée à l'une des couches ISO. Toutefois dans ce travail, l'accent est mis surtout au niveau de la couche réseau.

Dans ce travail, nous présentons des nouveautés de CR pour construire des protocoles afin d'améliorer l'utilisation de la bande passante, la qualité de service et réduire l'impact de la perte de paquets dans les réseaux à pertes. Plusieurs défis ont été soulevés par cette thèse concernant les détails de codage et de décodage et tous les mécanismes connexes utilisés pour livrer les paquets échangés entre les nœuds. Notamment, des questions comme le cycle de vie des paquets dans le réseau, la cardinalité des messages codés, le nombre total d'octets transmis et la durée du temps de maintien des paquets ont été inspectés, analytiquement comptés, soutenus par de nombreux théorèmes puis vérifiés par des simulations. Dans les réseaux à pertes, les méthodes utilisées pour étudier de près le comportement du réseau conduisaient à la proposition de nouveaux mécanismes pour surmonter cette perte et réduire la surcharge.

Dans la première partie de la thèse, un aperçu du CR est mené depuis son déclenchement par Alshwede et al. Les différentes techniques sont détaillées mettant l'accent sur les codages linéaire et binaire. Ces techniques sont élaborées avec des exemples extraits de différents scénarios pour aider à comprendre les avantages et les inconvénients de chacune d'elles.

Dans la deuxième partie, un nouveau protocole basé sur la corrélation des adresses (ACNC) est présenté, et deux approches utilisant ce protocole sont introduites; l'approche centralisée où le décodage se fait aux nœuds d'extrémités et l'approche distribuée où chaque nœud dans le réseau participe au décodage. Le décodage centralisé est élaboré en présentant d'abord ses modèles de décision et le détail du décodage aux nœuds d'extrémités. La cardinalité des messages codés reçus et les exigences de mise en mémoire tampon au niveau des nœuds d'extrémités sont étudiées et les notions d'âge et de maturité ont été introduites. La méthode de décodage distribué est présentée comme une solution pour réduire la charge sur les nœuds d'extrémités en distribuant le processus de décodage et les exigences en mémoire tampon aux nœuds intermédiaires.

La Perte et le recouvrement en CR sont examinés pour les deux approches proposées. Pour l'approche centralisée, deux mécanismes pour limiter l'impact de la perte sont présentés. A cet effet, le concept de fermetures et des ensembles couvrant sont introduits et la découverte des revêtements optimaux afin de trouver l'ensemble optimal de paquets à retransmettre afin de décoder tous les paquets reçus est proposée. Pour le décodage distribué, un nouveau mécanisme de fiabilité hop-à-hop est proposé tirant profit du CR et permettant de se récupérer de la perte sans la nécessité d'un mécanisme d'acquiescement.

Abstract

Network coding (NC) is a new technique in which transmitted data is encoded and decoded by the nodes of the network in order to enhance throughput and reduce delays. Using algebraic algorithms, encoding at nodes accumulates various transmissions in fewer ones and decoding restores these transmissions. NC requires fewer transmissions to transmit all the data but more processing at the nodes. NC can be applied at any of the ISO layers. However, the focus is mainly on the network layer level.

In this work, we introduce novelties to the NC paradigm with the intent of building easy to implement NC protocols in order to improve bandwidth usage, enhance QoS and reduce the impact of losing packets in lossy networks. Several challenges were raised by this thesis concerning details in the coding and decoding processes and all the related mechanisms used to deliver packets between end nodes. Notably, questions like the life cycle of packets in coding environment, cardinality of coded messages, number of byte overhead transmissions and buffering time duration were inspected, analytically counted, supported by many theorems and then verified through simulations. When the packet loss problem was addressed, methods used in this thesis to closely investigate the behavior of the network as a response to the loss led to the proposition of novel mechanisms to overcome this loss and to help reducing the overhead caused by packet loss.

In the first part of the thesis, an overview of NC is conducted since triggered by the work of Alshwede et al. NC techniques are then detailed with the focus on linear and binary NC. These techniques are elaborated and embellished with examples extracted from different scenarios to further help understanding the advantages and disadvantages of each of these techniques.

In the second part, a new address correlated NC (ACNC) protocol is presented and two approaches using ACNC protocol are introduced, the centralized approach where decoding is conducted at end nodes only and the distributed decoding approach where each node in the network participates in the decoding process. Centralized decoding is elaborated by first presenting its decision models and the detailed decoding at end nodes procedure. Moreover, the cardinality of received coded messages and the buffering requirements at end nodes are investigated and the concepts of aging and maturity were introduced. The distributed decoding approach is presented as a solution to reduce the overhead on end nodes by distributing the decoding process and buffering requirements to intermediate nodes.

Loss and recovery in NC are examined for both centralized and distributed approaches. For the centralized decoding approach, two mechanisms to limit the impact of loss are presented. To this effect, the concept of closures and covering sets are introduced and the covering set discovery is conducted on undecodable messages to find the optimized set of packets to request from the sender in order to decode all received packets. For the distributed decoding, a new hop-to-hop reliability mechanism is proposed that takes advantage of the NC itself and depicts loss without the need of an acknowledgement mechanism.