

Sujet de Doctorat

Doctorante : Amel TIBHIRT

Encadrant : Dirk SLOCK

Encadrante Industriel: Yi YUAN-WU

Sujet:

Réduction de l'Interférence des Liens Croisés pour les Systèmes MIMO TDD Dynamique dans les Réseaux 5G+

Topic:

Cross Link Interference Reduction for Dynamic TDD MIMO Systems in 5G+ Networks

Contexte

Ces dernières années, l'augmentation de la transmission de données mobiles a été démontré être énorme, et cette tendance devrait se poursuivre d'une croissance exponentielle dans la prochaine décennie. L'approche la plus prometteuse pour augmenter rapidement la capacité du réseau est la densification du réseau qui profite d'une large réutilisation spatiale. Une façon de réaliser la densification du réseau correspond au déploiement de petites cellules dans des réseaux hétérogènes (HetNets: heterogeneous networks). Une autre consiste à créer de nouveaux réseaux de petites cellules sur une bande de fréquence plus élevée, comme les ondes millimétriques, en utilisant le contrôle du réseau d'accès radio en nuage (C-RAN: cloud radio access network). Les petites cellules donneront la priorité aux schémas de mode duplexage par répartition du temps (TDD: time division duplexing) par rapport aux schémas en mode duplexage par répartition en fréquence (FDD: frequency division duplexing) car les transmissions TDD peuvent mieux correspondre à l'asymétrie du trafic entre la liaison descendante (DL: downlink) et la liaison montante (UL: uplink) et sont particulièrement adaptées aux scénarios de point chaud (hot spot) avec fluctuation de trafic dans les deux sens de liaison. Dans les systèmes FDD, l'asymétrie du trafic peut être supportée par l'ajustement de la bande passante allouée aux deux liaisons, ce qui n'est pas faisable dans les systèmes pratiques. D'un autre côté, les systèmes TDD peuvent supporter l'asymétrie de trafic en ajustant le temps d'allocation de liaison montante et celui de liaison descendante. Toujours pour augmenter la capacité du réseau, une autre solution efficace consiste à augmenter le nombre d'antennes aux stations de base (BS: base station) et aux équipements d'utilisateur (UE: user equipment) ; et il est connu que le système multi-antennaire est plus à l'aise avec le mode TDD car la réciprocité du canal de transmission peut être exploitée.

Ainsi, nous pouvons prédire que les futurs réseaux de communication sans fil adopteront le mode TDD. Dans les réseaux de Release 8-11 de LTE, sept configurations de TDD, chacune étant associée à un rapport des sous-trames DL et UL dans une trame de transmission de 10 ms, sont disponibles pour une sélection semi-statique à la planification des réseaux. Cependant, la sélection semi-statique adoptée de la configuration TDD n'est pas en mesure d'adapter les ressources de sous-trame DL/UL aux fluctuations rapides des charges de trafic DL/UL. Ces fluctuations sont exacerbées dans les petites cellules en raison du faible nombre d'UEs connectés par petite cellule et du caractère spontané de leurs demandes de trafic DL et UL. Pour permettre aux petites cellules d'adapter de manière intelligente et indépendante leur service de communication à la variation rapide des demandes de trafic DL et UL, une nouvelle technologie, i.e., TDD dynamique, a attiré beaucoup d'attention dans les études 3GPP 5G et dans la recherche académique récemment. Dans TDD dynamique, la configuration de TDD sur le rapport de sous-trames DL versus UL peut être changée de façon dynamiquement trame par trame.

Etat de l'art : Certaines nouvelles interférences spécifiques produites par le TDD dynamique telles que l'interférence DL à UL et l'interférence UL à DL, appelée interférence de liens croisés (CLI: cross link interference), seront très destructrices pour les performances du système si elles ne sont pas correctement maîtrisées dans la conception du système; ainsi ces interférences spécifiques ont été étudiées. Il a été démontré que l'interférence DL à UL est la plus nuisible. Certaines techniques de gestion des interférences DL à UL telles que les schémas de regroupement (clustering), l'allocation de slots temporels, la réduction de puissances DL associée à l'augmentation de puissance UL, etc., ont été proposées [6,7,8]. Une autre technique efficace d'annulation d'interférence (IC: interference cancellation) a également été proposée et bien investiguée pour dans le système TDD dynamique [1,2,3] avec l'option d'IC partiel. Cependant, la technique IC est très consommateur en capacité de backhaul et complexe sur l'hardware de BS. Ces précédentes techniques de gestion des interférences n'utilisent pas la capacité multi-antenne pour fournir plus de degrés de liberté afin de faire face aux interférences. Outre, si la CLI la plus nuisible, celle de DL à UL, ne nuit plus aux performances du réseau, les interférences UL à DL peuvent devenir la limite du système TDD dynamique. Nous devons regarder ce problème. Nous devons étudier les techniques d'atténuation des interférences UL à DL en tenant compte de la consommation dépense de puissance d'UE en raison de la durée de vie très limitée de la batterie d'UE. Cette thèse étudiera les techniques d'atténuation des interférences DL à UL et UL à DL pour le déploiement dynamique de TDD dans des réseaux hétérogènes et/ou dans des réseaux d'accès radio en nuage. En particulier, nous envisageons les techniques MIMO et/ou MIMO massives de manière centralisée ou décentralisée avec CSIT (connaissance du canal au transmetteur) parfait ou partiel (voir par exemple [10]).

Enjeux Industriels

Pour un opérateur comme Orange, le réseau cellulaire est bien sûr au cœur de notre métier. La sélection semi-statique des configurations TDD n'est pas en mesure d'adapter les ressources de sous-trames DL/UL aux fluctuations rapides du trafic DL/UL et conduira le réseau d'Orange à être sous exploité. Il est donc primordial de bien concevoir le système TDD dynamique pour utiliser efficacement notre spectre TDD. Les systèmes MIMO, spécifiés dans les 3G, 4G et 5G avec une tendance croissante à la taille, apportent une autre dimension pour améliorer la capacité du réseau et devraient être particulièrement étudiés dans Olabs afin d'exploiter pleinement cette dimension dans notre réseau. De plus, le MIMO et/ou le MIMO massif est l'un des sujets les plus prometteurs de la théorie de l'information depuis la dernière décennie.

Objectif scientifique de la thèse - verrous à lever

Cette thèse durera trois ans. Son objectif est d'étudier les techniques d'atténuation des interférences DL à UL et UL à DL pour le déploiement de TDD dynamique dans des réseaux hétérogènes et/ou dans des réseaux d'accès radio en nuage. En particulier, nous envisageons les techniques de beamforming de MIMO et/ou MIMO massif de manière centralisée ou décentralisée et avec CSIT parfait ou partiel. Notez que même avec la réciprocité de canal dans le mode TDD, les émetteurs peuvent ne pas avoir du CSIT parfait au moment de la transmission en raison de la mobilité des UEs. Certaines études très récentes tendent à trouver des solutions de type le sens de MIMO beamforming [4,5]. Nous essaierons d'optimiser les utilitaires du système tels que la maximisation de la somme-MSE ou de la somme-débit, la minimisation de la somme-MSE ou de la puissance, l'équité de débit entre utilisateurs, etc. Souvent le beamforming optimal, surtout pour le MIMO massif, nécessite des calculs complexes et il convient de développer des techniques à complexité réduite, comme par exemple dans [11]. Cette thèse peut également prendre en compte le composant de la communication ultrae-fiable et à faible latence (URLLC: ultra-reliable and low-latency communication) spécifique à la 5G afin d'adapter dynamiquement la capacité sporadique d'URLLC dans les directions UL et DL [9]. Nous pouvons également considérer le problème de coordination multi-pays car différent pays peuvent utiliser différentes stratégies de sous-trames TDD. Pour augmenter la capacité du réseau, nous pouvons également étendre notre étude initiale au déploiement en full-duplex, dans lequel certaines BSs peuvent émettre et recevoir simultanément. Dans ce scénario, la situation d'interférence est similaire à celle présentée dans un réseau TDD dynamique; mais elle inclut un terme d'auto-interférence supplémentaire, voir [12]. Une station de base full duplex permet des techniques de neutralisation d'interférence. Par contre, cela nécessite du CSIT à la station de base concernant le lien entre les UE,

pour lequel différentes techniques devraient être étudiées. Tout au long de la progression de la thèse, nous travaillerons sur la faisabilité de ces techniques pour de la couche physique de ces techniques ainsi que sur l'évaluation de leur performances au niveau du système. Nous pouvons utiliser les outils mathématiques de l'analyse de grand système pour aider à la conception de MIMO beamforming et pour analyser le système MIMO massif dans une perspective de géométrie stochastique multi-antenne, comme développé dans [11], [13].

Approche méthodologique - Planning

Approche classique prévue :

Etudier les techniques d'atténuation des interférences DL à UL et UL à DL pour le déploiement de TDD dynamique dans les réseaux MIMO hétérogènes et/ou dans les réseaux MIMO d'accès radio en nuage.

Etudier les algorithmes de conception de beamforming pour augmenter la capacité du réseau ainsi que les utilitaires du système tels que la minimisation de la somme des puissances, l'équité des débits d'UEs, etc., en utilisant les outils mathématiques de l'optimisation convexe et de l'analyse de grand système. Faire des simulations sur Matlab et/ou C++.

Analyser notre système de MIMO beamforming dans une perspective de géométrie stochastique avec les outils mathématiques de l'analyse de grand système.

Eventuellement inclure le composant URLLC spécifique à la 5G et élargir au déploiement en full-duplex.

Diffusion (conférences, revue, brevets).

Références

- [1] Z. Shen, A. Khoryaev, E. Eriksson, and X. Pan, "Dynamic uplink/downlink configuration and interference management in TD-LTE," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 50, no. 11, pp. 51–59, Nov. 2012.
- [2] M. Ding, D. López-Pérez, R. Xue, A. V. Vasilakos, W. Chen, "Small cell dynamic TDD transmissions in heterogeneous networks", *Communications (ICC) 2014 IEEE International Conference on*, pp. 4881-4887, 2014.
- [3] M. Ding, D. Lopez-Prez, R. Xue, A. V. Vasilakos, and W. Chen, "On dynamic time-division-duplex transmissions for small-cell networks," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 65, no. 11, pp. 8933–8951, Nov. 2016.
- [4] C. Yoon, D.H.Cho and O. Jo, "MSE-Based Downlink and Uplink Joint Beamforming in Dynamic TDD System Based on Cloud-RAN," *IEEE System Journal*, vol.13, no.3, pp.2228-2239, Sep. 2019.
- [5] E. O. Cavalcante, G.Fodor, Y.C.B.Silva and W.C.Freitas, "Bidirectional Sum-Power Minimization Beamforming in Dynamic TDD MIMO Networks," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 68, no. 10, pp. 9988–10002, Oct. 2019.
- [6] Z. Shen, A. Khoryaev, E. Eriksson, and X. Pan, "Dynamic uplink-downlink configuration and interference management in TD-LTE," *IEEE Commun.Mag.*, vol. 50, no. 11, pp. 51–59, Nov. 2012.
- [7] Y. S. Choi, I. Sohn, and K. B. Lee, "A novel decentralized time slot allocation algorithm in dynamic TDD system," in *Proc. IEEE Consum.Comm., Netw. Conf.*, Jan. 2006, vol. 2, pp. 1268–1272.
- [8] M. Ding, D. López Pérez, A. V. Vasilakos, W. Chen, "Dynamic TDD transmissions in homogeneous small cell networks," *IEEE International Conf. on Commun. (ICC)*, Sydney, Australia, pp. 616-621, Jun. 2014.
- [9] A.A. Esswie, K. I. Pedersen and P. E. Mogensen, "Quasi-Dynamic Frame Coordination For Ultra-Reliability and Low-Latency in 5G TDD Systems," *IEEE International Conf. on Commun. Workshops (ICC Workshops)*, Shanghai, China, May 2019.
- [10] C. Kurisummoottil Thomas, W. Tabikh, D. Slock, Y. Yuan-Wu, "Noncoherent multi-user MIMO communications using covariance CSIT", *Asilomar Conf. Signals, Systems, and Computers*, Nov. 2017, Pacific Grove, CA, USA.
- [11] C. Kurisummoottil Thomas, D. Slock, "Massive MISO IBC reduced order zero forcing beamforming - A multi-antenna stochastic geometry perspective", *Int'l Conf. Computing, Networking and Communications (ICNC)*, Honolulu, Hawaii, USA, Feb. 2019.
- [12] C. Kurisummoottil Thomas, C.K. Sheemar, D. Slock, "Multi-stage/hybrid BF under limited dynamic range for OFDM FD backhaul with MIMO SI nulling", *Int'l Symp. Wireless Communication*

Systems (ISWCS), Workshop Full Duplex Radio Communications for 5G and Beyond (FDB5G), Oulu, Finland, Aug. 2019.

[13] C. Kurisummoottil Thomas, D. Slock, "A massive MIMO stochastic geometry analysis of various beamforming designs with partial CSIT", Int'l Symp. on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks (WIOPT), Avignon, France, June 2019.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'D. Slock', with a long horizontal flourish underneath.

Dirk Slock

Professor
Fellow IEEE, EURASIP

Communication Systems Department
EURECOM