HAL
open science

Modèle PS multi-classe pour les performances des utilisateurs mobiles dans les réseaux LTE

Narcisse Nya Kamtchoum, Bruno Baynat

To cite this version:

Narcisse Nya Kamtchoum, Bruno Baynat. Modèle PS multi-classe pour les performances des utilisateurs mobiles dans les réseaux LTE. ALGOTEL 2016 - 18èmes Rencontres Francophones sur les Aspects Algorithmiques des Télécommunications, May 2016, Bayonne, France. hal-01303690

HAL Id: hal-01303690

https://hal.science/hal-01303690v1

Submitted on 18 Apr 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Modèle PS multi-classe pour les performances des utilisateurs mobiles dans les réseaux LTE

Narcisse Nya[1] et Bruno Baynat[1]

[1]*Sorbonne Universités, UPMC Univ Paris 06, CNRS, LIP6 UMR 7606, 4 place Jussieu 75005 Paris*

Il est important de développer des modèles pour évaluer les performances des réseaux LTE dans un contexte où les utilisateurs sont mobiles. Les quelques travaux existants dans ce domaine se basent sur des simulations ou sur des modèles à base de chaînes de Markov multidimensionnelles difficiles à résoudre. Ce papier se concentre sur l'évaluation de performances des utilisateurs mobiles dans les réseaux LTE constitués de macro cellules avec différentes zones de transmission. Pour cela, nous développons un modèle basé sur l'utilisation d'une file d'attente de type *Processor Sharing* (PS) multiclasse, qui capture la mobilité des utilisateurs au travers de la distribution du temps de séjour physique d'un utilisateur dans chaque zone. L'originalité de ce modèle est de découpler le modèle de mobilité, du modèle de la cellule elle-même, en reliant les taux d'arrivées et les taux de service de la file PS aux paramètres de performances. Les enseignements de ce modèle sont que la mobilité des utilisateurs améliore le débit qu'ils obtiennent pendant leur séjour dans la cellule, ainsi que la capacité globale du système, tout en étendant la zone de stabilité.

Mots-clefs : LTE, Modèle, Mobilité, File d'attente, Processor Sharing, Round Robin

1 Introduction

L'*Adaptative Modulation and Coding* (AMC) est une technique de modulation/codage adaptative de l'information, utilisée dans les réseaux LTE. L'idée est d'adapter dynamiquement la modulation et le codage en fonction des conditions de canal du mobile, de manière à obtenir à tout instant la meilleure efficacité spectrale. Cela se traduit par l'attribution à tout instant d'un MCS à chaque mobile, parmi un ensemble prédéfini, en fonction de sa distance et de ses conditions radio. La mobilité à la fois intra et inter cellulaire est alors un enjeu important. En effet, le déplacement des utilisateurs se traduit par des changements de conditions radio et donc des changements de MCS au cours de leurs transferts.

Plusieurs travaux se sont intéressés à l'évaluation de performances des utilisateurs dans les réseaux cellulaires. La plupart de ces travaux (par exemple [BP03]) supposent que les utilisateurs sont statiques. D'autres comme [CT08] considèrent la mobilité des utilisateurs, mais font usage des modèles à base de chaînes de Markov multidimensionnelles, les rendant difficiles à résoudre. Dans ce papier nous proposons un modèle se basant sur la théorie des files d'attente et sur des files de type Processor Sharing (PS), intégrant la mobilité de façon simple. A notre connaissance, nous sommes les premiers à utiliser ce type de modèles pour évaluer les performances d'utilisateurs mobiles dans les réseaux LTE.

2 Modèle de mobilité et de trafic

Considérons une macro-cellule LTE avec une discipline d'ordonnancement Round Robin. Les ressources de la cellule (*Resource Blocs*) sont équitablement partagées entre tous les utilisateurs actifs présents dans la zone de couverture de la cellule. La capacité de transmission d'un utilisateur mobile dépend du type de terminal utilisé, de sa position par rapport à la station de base (*eNodeB*), des interférences et autres phénomènes d'atténuation, donc du MCS utilisé. Nous considérons que la cellule est découpée en J zones ou classes de codage, ayant chacune une capacité de transmission $C_j, j = 1, ..., J$, et que les zones forment des cercles concentriques autour de l'eNodeB [BP03], la zone 1 étant la zone centrale de la cellule. Contrairement aux modèles existants basés sur des files PS, nous supposons que les utilisateurs sont mobiles. Un utilisateur dans une zone j peut donc quitter cette zone au cours de son transfert de données, pour aller soit

dans la zone $j-1$ (si $j>1$) avec une probabilité $P_{j\ j-1}$, soit dans la zone $j+1$ (si $j<J$) avec une probabilité $P_{j\ j+1}$ ($P_{j\ j-1}+P_{j\ j+1}=1$). L'extérieur de la cellule sera, par convention, indexé 0. Un utilisateur dans la zone J, pourra donc quitter la cellule avec la probabilité P_{J0}. Nous ne nous intéressons qu'au trafic dans le sens descendant et supposons que les demandes de connexion arrivent dans la cellule suivant un processus de poisson d'intensité Λ. Nous supposons que l'utilisateur qui initie une demande de connexion a une probabilité p_j d'être initialement dans la zone j. Ainsi les nouvelles demandes de connexion arrivent dans la zone j suivant un processus de poisson de taux $\Lambda_j = p_j\Lambda$.

Nous notons Θ_j la variable aléatoire mesurant le temps de séjour physique d'un utilisateur dans la zone j à chaque visite de la zone. Θ_j est le temps qui s'écoule entre le moment où l'utilisateur apparaît dans la zone j (soit parce qu'il y débute son transfert, soit parce qu'il arrive d'une zone voisine ou de l'extérieur), et le moment où il quitte la zone (pour une zone voisine ou pour l'extérieur). Nous supposons que chaque nouvelle demande de connexion (peu importe sa classe) apporte une quantité de données Σ à transférer. L'arrivée d'une nouvelle connexion déclenche un nouveau téléchargement (dans la zone concernée). Ce téléchargement prend fin soit parce que l'utilisateur a complété son transfert (peu importe le nombre de zones visitées) soit parce qu'il a quitté la cellule avant la fin de son transfert. Ainsi la quantité moyenne de données transférées par un utilisateur est toujours inférieure ou égale à Σ. Nous supposons dans ce papier que les variables aléatoires Σ et Θ_j suivent des distributions exponentielles.

Dans le cas où les zones forment des cercles concentriques de rayon R_j, la surface de la zone j est $S_j = \pi({R_j}^2 - {R_{j-1}}^2)$, pour $j>1$, et $S_1 = \pi {R_1}^2$. En supposant que les arrivées de nouvelles demandes de connexion sont distribuées uniformément sur toute la surface de la cellule, la probabilité p_j qu'une demande de connexion apparaisse dans la zone j est proportionnelle à la surface de cette zone. Concernant le temps moyen de séjour dans une zone, $\mathbb{E}(\Theta_j)$, nous pouvons raisonnablement supposer qu'il est proportionnel à la racine carré de la surface de la zone, avec un coefficient inversement proportionnel à la vitesse V des utilisateurs. Les probabilités P_{ij} d'aller dans la zone j lorsqu'on quitte la zone i, dépendent des tailles des zones, donc de leurs rayons, mais aussi de la mobilité réelle des utilisateurs. Cependant, sans hypothèse supplémentaire sur la mobilité physique des utilisateurs, nous considérerons l'approximation linéaire donnée dans l'équation 1 :

$$p_j = \frac{S_j}{\pi {R_J}^2}, \qquad \mathbb{E}(\Theta_j) = K\sqrt{S_j} \quad avec \quad K = \frac{1}{V\sqrt{\pi}} \qquad et \qquad P_{j\ j-1} = \frac{R_{j-1}}{2R_j},\ j>1, \tag{1}$$

3 Modèle PS à multiclasse

File PS à J classes. Le modèle représentant l'occupation de la cellule par une file d'attente PS à J classes est présenté Figure 1. Cette file est une extension du modèle présenté dans [NB15]. Chaque classe correspond à une zone de la cellule. Les clients de la classe j arrivent dans la file selon un processus de Poisson de taux λ_j. Il est important de noter que λ_j est différent du taux Λ_j de nouvelles demandes de connexion qui apparaissent dans la zone j, car ce taux doit inclure l'arrivée d'utilisateurs venant des zones ou des cellules voisines tout en étant actifs. Notons Λ_{ij}, le nombre moyen d'utilisateurs actifs qui quittent la zone i pour la zone j par unité de temps, et Λ_{0J}, le nombre moyen d'utilisateurs actifs venant de l'extérieur par unité de temps. Les zones formant des cercles concentriques, les utilisateurs qui arrivent de l'extérieur de la cellule se retrouvent dans la zone J à leur arrivée dans la cellule. Ainsi, les taux d'arrivées et les taux de service de la file peuvent être exprimés comme suit :

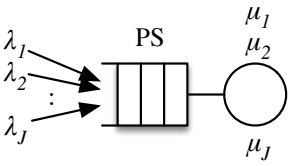

FIGURE 1: Modèle PS

$$\begin{cases} \lambda_1 = \Lambda_1 + \Lambda_{21} \\ \lambda_j = \Lambda_j + \Lambda_{j-1\,j} + \Lambda_{j+1\,j},\ j=2,\ldots,J-1 \\ \lambda_J = \Lambda_J + \Lambda_{J-1\,J} + \Lambda_{0J} \end{cases} \qquad et \qquad \mu_j = \frac{C_j}{\overline{x}_j}, \tag{2}$$

$\overline{x}_j$ étant le nombre moyen de bits transférés par un utilisateur dans la zone j, à chaque visite de la zone.

Si les capacités C_j et les taux d'arrivées de nouvelles demandes Λ_j sont déterminés à priori, ce n'est pas le cas des taux de passages Λ_{ij} d'une zone à l'autre et de la quantité moyenne $\overline{x}_j$ de données transférées

par un utilisateur à chaque passage dans cette zone j. En effet, ces paramètres dépendent du débit obtenu par l'utilisateur lors de son passage dans la zone. Ainsi, les paramètres d'entrée de la file, à savoir λ_j et μ_j, ou plus précisément Λ_{ij}, $\bar{x}_j$ et Λ_{0J}, restent à déterminer. Une question importante est de savoir comment estimer le nombre moyen Λ_{0J} d'utilisateurs actifs qui arrivent dans la cellule venant des cellules voisines par unité de temps. Dans [NB15], nous supposions que la cellule était isolée, donc qu'aucun utilisateur n'arrivait dans la cellule en venant de l'extérieur ($\Lambda_{0J} = 0$). Cette hypothèse n'est en fait pas très réaliste. En effet, si certains utilisateurs peuvent sortir de la cellule sans avoir terminé leur transfert, il est normal de considérer que certains utilisateurs peuvent également entrer dans la cellule en venant de l'extérieur, avec un certain volume de données restant à transférer. Afin d'estimer Λ_{0J}, nous proposons une solution alternative qui consiste à supposer que la cellule considérée se trouve dans un réseau de cellules dans lequel toutes les cellules sont statistiquement équivalentes. Sous cette hypothèse, le nombre moyen d'utilisateurs actifs qui quittent la cellule considérée pour les cellules voisines par unité de temps, doit être égal au nombre moyen d'utilisateurs actifs qui arrivent dans la cellule venant de l'extérieur par unité de temps. En d'autres termes, nous devons avoir $\Lambda_{0J} = \Lambda_{J0}$. Dès lors, Λ_{0J} et les autres paramètres manquants de la file, Λ_{ij} et $\bar{x}_j$, sont tous reliés au débit qu'obtient un utilisateur dans chaque zone. Ce débit étant une sortie de notre file, nous faisons usage de la technique itérative de point-fixe présentée en [BIN$^+$15] pour déterminer ces paramètres. Notons que dans [BIN$^+$15] seul le paramètre $\bar{x}_j$ était à déterminer.

Performance utilisateurs. Les résultats classiques des files PS, nous permettent de calculer le nombre moyen de clients Q présents dans le système, correspondant au nombre moyen d'utilisateurs actifs dans la cellule. Grace à la loi de Little, nous pouvons déterminer le temps moyen de séjour R d'un utilisateur actif dans la cellule. C'est le temps qui s'écoule entre le moment où l'utilisateur débute son transfert dans la cellule (peu importe qu'il ait initié son téléchargement dans la cellule ou qu'il soit arrivé dans la cellule venant d'une cellule voisine) et le moment où il quitte la cellule soit parce qu'il a terminé son transfert, soit parce qu'il a quitté la cellule pour une cellule voisine avant la fin de son transfert. Q et R sont donnés par :

$$Q = \frac{\sum_{j=1}^{J} \lambda_j/\mu_j}{1-\sum_{i=1}^{J} \lambda_j/\mu_j} \qquad et \qquad R = \frac{Q}{\Lambda + \Lambda_{0J}}. \tag{3}$$

Notons $\bar{X}$ le nombre total de bits transférés en moyenne par un utilisateur durant son séjour dans la cellule, et notons H la probabilité qu'un utilisateur quitte la cellule avant d'achever son transfert (probabilité de handover), quel que soit le nombre de zones visitées. Nous décomposons $\bar{X}$ et H suivant la loi de probabilités totales :

$$\bar{X} = \sum_{j=1}^{J} q_j \bar{X}_j, \qquad et \qquad H = \sum_{j=1}^{J} q_j H_j. \tag{4}$$

q_j étant la probabilité qu'un utilisateur débute son transfert dans la zone j. Cette probabilité tient compte des utilisateurs qui se déplacent des cellules voisines pour la cellule considérée tout en étant encore actifs : $q_j = \frac{\Lambda_j}{\Lambda+\Lambda_{0J}}$, $j = 1,...,J-1$, et $q_J = \frac{\Lambda_J+\Lambda_{J0}}{\Lambda+\Lambda_{0J}}$. $\overline{X}_j$ est le volume transféré par un utilisateur dans la cellule, conditionné par le fait qu'il a débuté son transfert dans la zone j. H_j est la probabilité pour un utilisateur de la cellule de faire un handover, conditionné par le fait qu'il a débuté son transfert dans la zone j.

Soit h_j la probabilité qu'un utilisateur qui se trouve dans la zone j la quitte sans avoir terminé son transfert (probabilité de handover de la zone j). Comme le volume de données Σ à télécharger par un utilisateur suit une distribution exponentielle, lorsque l'utilisateur se déplace d'une zone à une autre, le volume restant à transféré dans la nouvelle zone possède exactement la même distribution que la loi initiale (propriété sans mémoire de la loi exponentielle). Ainsi les quantités $\overline{X}_j$ et H_j sont liées comme suit :

$$\begin{cases} \bar{X}_1 = \bar{x}_1 + h_1 \bar{X}_2 \\ \bar{X}_j = \bar{x}_j + h_j P_{j\,j-1} \bar{X}_{j-1} + h_j P_{j\,j+1} \bar{X}_{j+1},\ j = 2,...,J-1 \\ \bar{X}_J = \bar{x}_J + h_J P_{J\,J-1} \bar{X}_{J-1} \end{cases}, \begin{cases} H_1 = h_1 H_2 \\ H_j = h_j P_{j\,j-1} H_{j-1} + h_j P_{j\,j+1} H_{j+1},\ j = 2,...,J-1 \\ H_J = h_J P_{J0} + h_J P_{J\,J-1} H_{J-1}, \end{cases} \tag{5}$$

h_j dépend de la charge de la cellule lors du passage de l'utilisateur dans la zone j et est déterminé par une méthode de point-fixe similaire à celle présentée dans [NB15].

4 Validation Expérimentale

Nous avons comparé les résultats fournis par le modèle à ceux d'un simulateur à événements discrets développé sur Matlab. Nous avons reproduit dans la simulation les hypothèses du modèle de trafic et du modèle de mobilité décrits dans la Section 2. Nous supposons que la cellule utilise 100 *Resource Blocs* dans le sens descendant et offre quatre MCS aux utilisateurs (28, 23, 16, 6). Il en résulte quatre zones de transmission avec des capacités $C_1 = 75$ Mbit/s, $C_2 = 51$ Mbit/s, $C_3 = 31$ Mbit/s et $C_4 = 10$ Mbit/s. Nous avons fixé à 10 Mo le volume moyen $\mathbb{E}(\Sigma)$ de données que doit transférer un utilisateur. Les rayons des zones ont été fixés aux valeurs suivantes : $R_1 = 100$ m, $R_2 = 150$ m, $R_3 = 200$ m et $R_4 = 250$ m.

La Figure 2 (resp. 3) compare le débit moyen (resp. la probabilité de handover) d'un utilisateur actif dans la cellule, en fonction du taux d'arrivée total des nouvelles demandes de connexion dans la cellule. Différentes valeurs de la vitesse V des utilisateurs ont été considérées et comparées cas où les utilisateurs sont statiques. Nous observons que les résultats fournis par le modèle sont très proches de ceux de la simulation avec une erreur relative qui, dans cas le plus défavorable (correspondant ici à une vitesse V de 30 km/h), est égale à 6% en moyenne, et reste inférieure à 20% dans tous les cas.

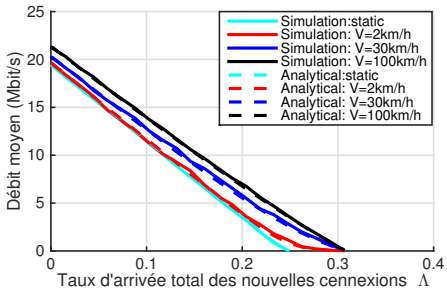

FIGURE 2: Débit moyen obtenu par un utilisateur dans la cellule

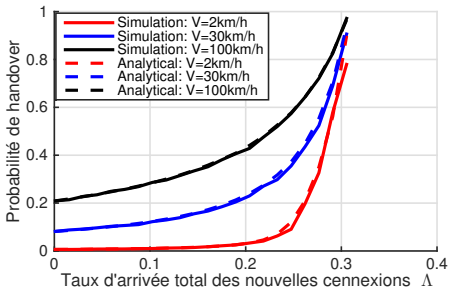

FIGURE 3: Probabilité de handover d'un utilisateur dans la cellule

Ces résultats montrent que la capacité de la cellule et le débit obtenu par les utilisateurs croissent avec la vitesse. Ceci est dû au fait que la mobilité crée des opportunités supplémentaires pour les utilisateurs d'être servis dans des zones de conditions favorables. En l'absence de toute mobilité, le débit obtenu par les utilisateurs chute plus rapidement vers zéro, montrant que la mobilité permet également d'améliorer la zone de stabilité du système.

5 Conclusion

Nous avons proposé un modèle pour l'évaluation des performances des utilisateurs mobiles dans une cellule LTE avec différentes zones de codage. Nous avons validé ce modèle par comparaison avec des simulations et prouvé son efficacité. Les résultats de ce modèle montrent que la mobilité des utilisateurs améliore leurs débits ainsi que la capacité globale du système, tout en étendant la zone de stabilité.

Références

[BIN+15] Bruno Baynat, R-M Indre, Narcisse Nya, Philippe Olivier, and Alain Simonian. Impact of mobility in dense lte-a networks with small cells. In *VTC Spring, 2015 IEEE 81st*. IEEE, 2015.

[BP03] Thomas Bonald and Alexandre Proutière. Wireless downlink data channels : user performance and cell dimensioning. In *MobiCom*. ACM, 2003.

[CT08] Tijani Chahed and Chadi Tarhini. Impact of mobility on the performance of data flows in ofdma-based ieee802. 16e systems. In *Wireless Communication Systems*. IEEE, 2008.

[NB15] Narcisse Nya and Bruno Baynat. A ps queue model for lte macrocells taking into account mobility of users. In *Proceedings of the 2015 MOBICOM Workshop on Wireless of the Students, by the Students, & for the Students*. ACM, 2015.