



HAL
open science

Qu'attendre de la collecte de données dans une ville par des bus équipés de capteurs ?

Pedro Cruz, Rodrigo S Couto, Luís Henrique Maciel Kosmalski Costa, Anne Fladenmuller, Marcelo Dias de Amorim

► To cite this version:

Pedro Cruz, Rodrigo S Couto, Luís Henrique Maciel Kosmalski Costa, Anne Fladenmuller, Marcelo Dias de Amorim. Qu'attendre de la collecte de données dans une ville par des bus équipés de capteurs?. CoRes 2019 - Rencontres Francophones sur la Conception de Protocoles, l'Évaluation de Performance et l'Expérimentation des Réseaux de Communication, Jun 2019, Saint Laurent de la Cabrerisse, France. hal-02127132

HAL Id: hal-02127132

<https://hal.science/hal-02127132>

Submitted on 13 May 2019

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.

Qu'attendre de la collecte de données dans une ville par des bus équipés de capteurs ?

Pedro Cruz^{1,2}, Rodrigo S. Couto¹, Luís Henrique M. K. Costa¹, Anne Fladenmuller² et Marcelo Dias de Amorim²

¹GTA/PEE/COPPE – Federal University of Rio de Janeiro

²LIP6/CNRS – Sorbonne Université

Une option prometteuse pour le déploiement de réseaux de capteurs sans-fil en milieu urbain consiste à placer les capteurs dans des bus. En tirant parti de la mobilité de ces véhicules, une telle solution permet d'augmenter la couverture spatiale du réseau, à condition qu'un certain délai dans l'acheminement des données soit toléré. Afin de définir quelles applications seraient adaptées à ce type de réseau, il est donc important d'en étudier la couverture spatio-temporelle. Dans cet article, nous proposons un modèle de couverture qui prend en compte le délai de livraison et la fréquence des visites pour chaque rue d'une mégapole. Nous utilisons les traces de la flotte de bus de la ville de Rio de Janeiro pour valider notre modèle et générer une carte de couverture de la ville. Grâce à nos analyses, nous proposons un guide en forme d'abaque pour que les développeurs sachent quoi attendre de la couverture spatiale en fonction des délais de livraison tolérés par leurs applications. À titre d'illustration, une application tolérant un délai de 120 s atteint au plus 78% de la couverture obtenue par une application acceptant un délai de 1 200 s.

Mots-clefs : Réseaux de capteurs, capteurs en mobilité, ville intelligente.

1 Introduction

Les réseaux de capteurs mobiles sans fil (MWSN) améliorent la couverture spatiale des applications des villes intelligentes car un seul capteur peut, grâce à son déplacement, couvrir une vaste zone géographique [LBD⁺05]. Comparés aux capteurs statiques, les capteurs mobiles présentent un gain de couverture spatiale au détriment de trois coûts principaux : (i) un coût lié au délai de livraison des données, les nœuds mobiles ne pouvant être connectés en permanence aux passerelles de collecte ; (ii) un coût lié à la couverture temporelle qui dépend de la fréquence de capture des données puisque les capteurs mobiles ne sont présents que temporairement sur certaines zones ; et (iii) un coût lié au déploiement d'une telle flotte de capteurs mobiles. Ce dernier coût peut néanmoins s'avérer négligeable dans le paradigme de l'Internet des objets (IoT) si les capteurs sont transportés par des entités déjà en mouvement telles que des piétons, des taxis ou des bus. Dans le cas spécifique d'un réseau de transport public urbain, les trajectoires des bus sont prévisibles, car ceux-ci suivent des itinéraires prédéfinis. Ainsi, les bus peuvent facilement collecter des données dans une ville intelligente et les transmettre aux passerelles qui seraient placées par exemple au niveau des arrêts de bus. Ces données collectées peuvent être utilisées dans des applications diverses telles que les poubelles intelligentes, l'enregistrement du climat ou la surveillance de la qualité de l'air. Néanmoins, les bus doivent stocker les données mesurées jusqu'à ce qu'une connexion à une passerelle soit établie, entraînant alors un délai de livraison. Pour certaines applications, si ce délai de livraison excède un certain seuil, les données perdent de leur pertinence et peuvent être considérées comme perdues.

Placer des capteurs dans des bus permet de gérer à moindre coût leur mobilité. La couverture spatiale de ce MWSN doit ensuite être étudiée au regard de la dimension temporelle qui s'exprime à la fois en termes de délais de livraison et de fréquence de collecte des données. Dans cet article, nous considérons que les bus sont des nœuds munis de capteurs et les arrêts de bus des passerelles de collecte. Nous proposons alors d'évaluer la couverture spatiale en considérant les contraintes temporelles afin d'estimer quelles zones de la ville sont réellement couvertes. Le problème de la couverture spatiale des MWSN a déjà été étudié dans la littérature scientifique. Liu *et al.* [LBD⁺05] et Ekici *et al.* [EGB06] étudient les effets de la mobilité sur

la couverture spatiale. Les projets Mosaic et Opensense [GDG⁺16, MAM15] montrent la faisabilité de tels réseaux pour des applications de qualité de l'air, ainsi que des techniques d'apprentissage automatique pour en améliorer la couverture. Les travaux de Ali *et al.* et Cruz *et al.* [AD17, CCdSCMKC⁺18] proposent des modèles de couverture des MWSN déployés sur des bus, mais ils ne tiennent pas compte des retards générés par la mobilité et les délais de livraison. Dans cet article, nous proposons un modèle en forme d'abaque qui spécifie les zones de la ville qui sont couvertes par les capteurs embarqués dans des bus en tenant compte des délais imposés par les applications. Nous appliquons ce modèle aux données réelles des bus de la ville de Rio de Janeiro afin de mettre en évidence l'impact des délais de livraison tolérés par les applications sur la couverture spatiale. L'étude montre ainsi que, pour ce scénario, une application qui tolère un délai de livraison de 120 s peut couvrir au plus 78% de la région couverte par une autre application, qui tolère un délai de 1 200 s.

2 Modèle de couverture

Une représentation classique de la carte routière d'une ville consiste à la modéliser comme un graphe simple $\mathcal{G} = \{\mathcal{V}, \mathcal{E}\}$, où les sommets $x_1, \dots, x_{|\mathcal{V}|} \in \mathcal{V}$ sont des points distincts qui représentent les intersections ou qui segmentent les rues afin d'éviter d'obtenir des sections trop sinueuses. Une arête $(x_i, x_j) \in \mathcal{E}$ existe si un segment de rue relie directement les sommets x_i et x_j . Dans la suite de cet article, nous utilisons les termes *arête* et *segment* indifféremment. Le poids de (x_i, x_j) est la distance géographique séparant x_i de x_j , notée $l_{(x_i, x_j)}$. Les segments de rue sont uniques et ne se chevauchent pas [CCdSCMKC⁺18, AD17, MAM15]. On note \mathcal{B} l'ensemble de tous les bus circulant dans la ville et L la longueur totale de l'ensemble des segments de la ville.

La figure 1 illustre une situation dans laquelle le segment de rue $(x_k^b, x_{k+1}^b) \in \mathcal{E}$ est traversé par le bus b . Ce segment de rue est le $k^{\text{ème}}$ segment du chemin parcouru par b . En poursuivant son trajet, le bus b finit par rejoindre le sommet x_{k+2} qui se trouve dans la zone de couverture de la passerelle g ; b peut donc lui transmettre les données collectées jusqu'alors. On note t_k^b le délai entre la collecte des données sur le segment (x_k^b, x_{k+1}^b) et le moment de la transmission des données collectées vers la passerelle. Si t_k^b est inférieur à un intervalle de temps seuil D_{\max} , nous disons que (x_k^b, x_{k+1}^b) a été *visitée* par b . Un même bus peut visiter le même segment de rue plusieurs fois, et un segment de rue peut aussi être visité par des bus différents. Ainsi, $v_{(x_i, x_j)}^T$ est défini comme le nombre de fois que le segment (x_i, x_j) a été visitée par des bus pendant l'intervalle de temps T . Comme une seule mesure peut ne pas suffire pour toutes les applications, nous considérons que le segment (x_i, x_j) est *couvert* si la fréquence $f_{(x_i, x_j)}$ à laquelle il est visité est supérieure à la fréquence minimum acceptable F_{\min} . Les valeurs seuil de D_{\max} , le délai de livraison, et de F_{\min} , la fréquence minimum de visite, sont à définir en fonction des contraintes des applications.

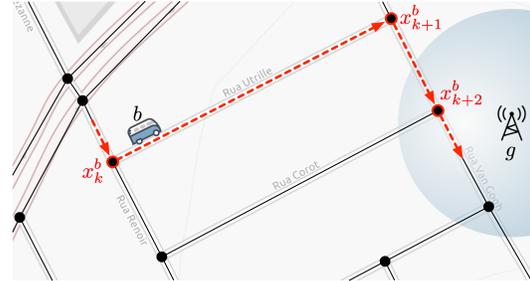


FIGURE 1: Parcours du bus b sur le segment (x_k^b, x_{k+1}^b) pour une livraison plus tard lorsqu'il se trouvera sur x_{k+2}^b .

Soit \mathcal{S}_c l'ensemble de tous les segments couverts de la ville pour une application donnée. La couverture C de l'ensemble de la ville est définie de la manière suivante :

$$C = \sum_{(x_i, x_j) \in \mathcal{S}_c} \frac{l_{(x_i, x_j)}}{L}. \quad (1)$$

où les variables $l_{(x_i, x_j)}$ et L sont, respectivement, la longueur du segment (x_i, x_j) et de toute la ville, comme définit au début de cette section.

3 Analyse expérimentale

Nous analysons la couverture d’un MWSN à l’aide de notre modèle et des traces de position réelles provenant des bus de la ville de Rio de Janeiro. La couverture est évaluée pour différents retards D_{\max} et présentée en fonction de la fréquence de leurs visites. Nous commençons par la construction de notre modèle des segments de rues de Rio de Janeiro à l’aide d’un extrait de OpenStreetMap[†]. Ensuite, nous recueillons les coordonnées GPS de tous les bus ayant circulé le 7 novembre 2018 entre 00h00 et 23h59. Les positions sont capturées toutes les minutes. Pour reconstruire les chemins de chaque bus, nous filtrons les données bruitées et utilisons les coordonnées GPS comme entrée de l’outil de routage routier OSRM[‡] (Routeur Open Source). Puis, nous associons un instant dans le temps à chaque coordonnée et ce sur chaque chemin, en interpolant les heures des positions GPS générant ainsi chaque sous-séquence des chemins. Le dernier jeu de données utilisé comprend les coordonnées de tous les arrêts de bus, c’est-à-dire les coordonnées pouvant héberger une passerelle. Afin de déterminer les instants où les bus peuvent transmettre ces données, nous avons évalué la distance minimale de toute passerelle par rapport aux sommets de la carte dans \mathcal{E} . Dans nos analyses, nous supposons qu’un sommet de la carte est considéré à portée d’une passerelle si la distance les séparant est inférieure à 10 m. Les bus ne peuvent transférer des données que lorsqu’ils atteignent l’un de ces sommets.

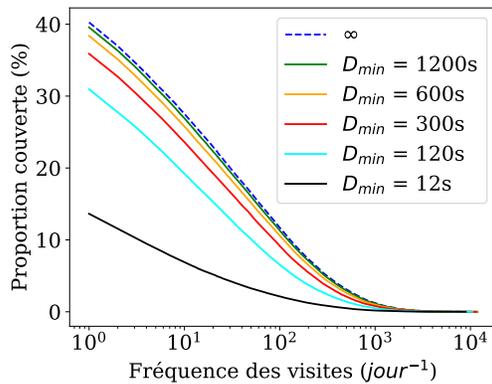


FIGURE 2: La couverture de Rio de Janeiro en fonction de $f_{(x_i, x_j)}$ pour différents délais D_{\max} ’s. Un concepteur d’application peut se référer à cet abaque pour déterminer si le réseau de bus pour satisfaire ses besoins en terme de couverture.

fréquence de visite de 2 par jour, la couverture spatiale est réduite de 2/3 par rapport à celle obtenue avec $D_{\max} = 1200$ s et $F_{\min} = 1$. Ces résultats mettent en évidence que l’on ne peut estimer la couverture spatiale qu’une application d’une ville intelligent peut envisager que si l’on intègre ses contraintes dans le modèle de collecte des données.

La figure 3 montre une partie de la carte de couverture de la ville, pour des seuils D_{\max} de 12 s et 1 200 s. On observe ici que même s’il existe de nombreuses rues couvertes avec un délai de livraison seuil de 12 s, l’augmentation de ce seuil permet de couvrir des rues plus longues. Cela signifie que la quantité de données collectées est alors plus grande. Notre métrique de couverture prenant en compte les longueurs des rues reflète ainsi la quantité de données collectées, comme indiqué dans le modèle proposé dans la section 2.

A l’aide des données obtenues, il est possible d’évaluer la couverture de notre MWSN. La figure 2 montre la proportion de couverture du réseau pour différents délais de livraison en fonction de la fréquence des visites $f(\cdot)$. Cette proportion est calculée en prenant comme longueur de référence la somme de toutes les longueurs de routes de la carte (13 852 km). Les valeurs seuil des délais de livraison considérés sont fixées à 12 s, 120 s, 300 s, 600 s, 1 200 s et ∞ . A noter, dans notre étude $D_{\max} = \infty$ représente un jour, c’est à dire qu’aucune borne n’est imposée sur le délai de livraison. La fréquence minimum des visites est, dans un premier temps, fixée à 1 visite par jour, donnant ainsi une borne lâche à la valeur de F_{\min} . La couverture spatiale est alors évaluée en fonction de D_{\max} . Ainsi elle est de 2 513 km, 5 157 km, 5 876 km, 6 232 km, 6 414 km et 6 520 km pour les valeurs de D_{\max} de 12, 120, 300, 600, 1 200 et ∞ , respectivement. Ainsi, en considérant un D_{\max} de 120 s au lieu de 1 200s on observe une diminution de 22% de la couverture spatiale. Cette différence augmente lorsque l’on impose une valeur minimum de

†. <https://www.openstreetmap.org>.

‡. <http://project-osrm.org/>.

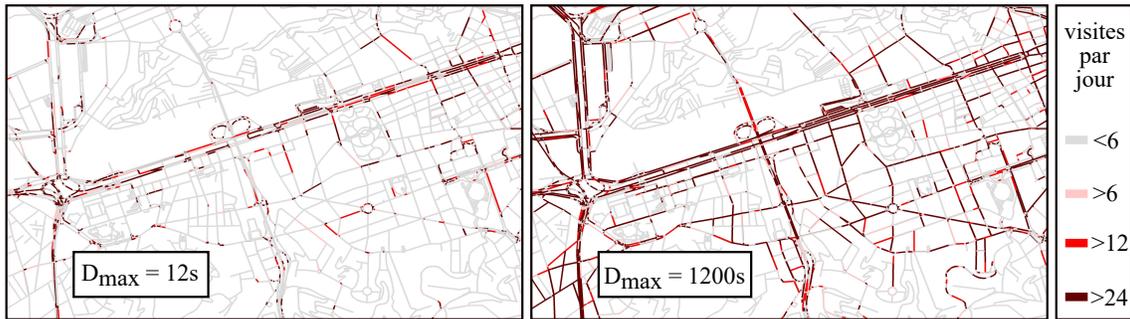


FIGURE 3: Carte de couverture de Rio de Janeiro, pour différents D_{\max} 's.

4 Conclusion

Ce travail présente un modèle pour obtenir la couverture spatio-temporelle de capteurs mobiles sans-fil placés sur une infrastructure de bus. Le réseau de capteurs utilise la mobilité des bus améliorant ainsi la couverture spatiale, au détriment de la fréquence et du délai de transmission des données. Pour évaluer la couverture du réseau, le modèle prend en compte le délai entre la livraison des données ainsi que la fréquence de détection de chaque segment de rue. Ce modèle a été appliqué à un ensemble de données contenant les positions des bus sur une journée et tous les arrêts de bus de la ville de Rio de Janeiro. Il a permis de tracer une carte des rues couvertes. Ces résultats mettent en évidence que le seuil de délai de transmission toléré par une application impacte significativement la couverture spatiale du réseau, ainsi une variation d'un facteur 10 sur le délai seuil toléré induit une modification de 44% de la couverture spatiale. À l'avenir, nous prévoyons d'évaluer la couverture sur des budgets plus limités, en limitant le nombre d'autobus et d'arrêts de bus participants.

Références

- [AD17] J. Ali and V. Dyo. Coverage and mobile sensor placement for vehicles on predetermined routes : a greedy heuristic approach. In *Proceedings of the 14th International Joint Conference on e-Business and Telecommunications (ICETE 2017)*. SCITEPRESS, 2017.
- [CCdSCMKC⁺18] P. Cruz Caminha, R. de Souza Couto, L. H. Maciel Kosmalski Costa, A. Fladenmuller, and M. Dias de Amorim. On the coverage of bus-based mobile sensing. *Sensors*, 18(6), 2018.
- [EGB06] E. Ekici, Y. Gu, and D. Bozdog. Mobility-based communication in wireless sensor networks. *IEEE Communications Magazine*, 44(7) :56 – 62, July 2006.
- [GDG⁺16] Y. Gao, W. Dong, K. Guo, X. Liu, Y. Chen, X. Liu, J. Bu, and C. Chen. Mosaic : A low-cost mobile sensing system for urban air quality monitoring. In *INFOCOM 2016-The 35th Annual IEEE International Conference on Computer Communications, IEEE*, pages 1–9. IEEE, 2016.
- [LBD⁺05] B. Liu, P. Brass, O. Dousse, P. Nain, and D. Towsley. Mobility improves coverage of sensor networks. In *ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc)*. ACM, 2005.
- [MAM15] A. Marjovi, A. Arfire, and A. Martinoli. High resolution air pollution maps in urban environments using mobile sensor networks. In *International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS)*, pages 11 – 20. IEEE, 2015.