Poster: Modèlisation de protocoles MAC pour réseaux de capteurs à l'aide de chaînes de Markov

Fadila Khadar, David Simplot-Ryl

Modèlisation de protocoles MAC pour réseaux de capteurs à l'aide de chaînes de Markov

Fadila Khadar, David Simplot-Ryl

IRCICA/LIFL, Univ. Lille 1
CNRS UMR 8022, INRIA Lille Nord-Europe, France
Email: {fadila.khadar,david.simplot}@lifl.fr

RÉSUMÉ. *La conception d'une pile de communication pour une application pour réseaux de capteurs est fastidieuse. En effet, il faut déterminer les protocoles les plus aptes à convenir à cette application bien particulière. Il faut donc disposer d'un moyen pour les comparer en tenant compte des caractèristiques de l'application et de ses besoins. Nous proposons une méthode permettant d'évaluer les performances d'un protocole MAC dans un réseau donné et en fonction du trafic généré par l'application. Cette analyse s'appuie sur l'utilisation des chaînes de Markov à temps discret. Cette méthode offre une séparation claire entre le comportement du protocole et la topologie étudiée, permettant ensuite de les réutiliser pour former d'autres scénarios.*

ABSTRACT. *Protocol stack design for wireless sensor network is a tedious work. One must choose the best protocol for specific application and should have the ability to compare protocols to see which one best fit the characteristics of the application and its needs. We propose a method that evaluate MAC protocols performances which takes into account traffic generated by the application. This analysis is done using Discrete Time Markov Chains (DTMC). This method offers a clear separation between the behavior of the protocol and the studied topology. This way, the description of the protocol has to be written only once and then be reused with other applications.*

MOTS-CLÉS : *réseaux de capteurs, modèlisation de performances, protocole MAC, chaîne de Markov*

KEYWORDS: *wireless sensor network,performance modelisation,MAC protocol, markov chain*

1. Introduction

La conception d'une application pour réseaux de capteurs peut être laborieuse. A cela s'ajoute la difficulté de concevoir la pile de communication qui doit gérer les communications entre les nuds du réseau pour faire remonter l'information. En effet, de nombreux protocoles effectuant la même tâche sont disponibles, et chacun peut obtenir des résultats meilleurs que les autres dans une configuration donnée, mais également de pietres résultats dans une autre. Notre objectif principal est donc de proposer une méthode permettant, à partir d'une configuration (matériel utilisé, topologie du réseau etc), de déterminer les protocoles qui obtiendront les meilleurs résultats, notamment en consommation d'énergie. S'agissant des protocoles MAC, nous proposons une modèlisation à l'aide de chaîne de Markov. L'originalité de notre approche réside dans le fait que nous effectuons une séparation claire entre le protocole et la topologie qui permet d'utiliser la description d'un protocole avec des topologies différentes sans avoir à la réécrire.

Notre modèle repose donc sur une description du comportement du protocole au niveau d'un capteur et sur la specification de la topologie. Un comportement et une topologie forment un *scénario* à partir duquel nous obtenons une chaîne de Markov à temps discret. L'étude de celle-ci permet d'évaluer les performances du protocole.

2. État de l'art

Les chaines de Markov ont déjà utilisées pour étudier des systèmes concurrents tels que les réseaux de capteurs. On peut notamment citer les travaux de T. Razafindralambo et F. Valois ([RAZ 06]) qui utilisent PEPA (Performance Evaluation Process Algebra) pour modèliser le protocole 802.11. PEPA utilise des chaines de Markov à temps continu et permet de décrire le système à l'aide d'une algèbre de processus. Cependant, la modularité dont nous avons besoin n'est pas disponible. Pour un même protocole et des topologies différentes, il faut réecrire toute la modèlisation du canal radio. De plus l'utilisation de chaînes de Markov à temps continu ne permet pas de modéliser des évenements simultanés. Une analyse analytique du protocole IEEE 802.11 est également proposée dans [BIA 00]. Celle-ci donne des résultats très précis mais présente deux inconvénients majeurs pour l'utilisation que nous voulons en faire. Le premier est que cette analyse n'est pas réutilisable avec un autre protocole sans une étude poussée de ce protocole. Le deuxiéme inconvénient est qu'elle n'est valable que pour un réseau saturé, or nous voulons pouvoir étudier n'importe quel type de trafic.

3. Description du scénario

Description de la topologie La topologie du réseau à étudier est représentée par un graphe dont les sommets représentent les nuds du réseau et les arcs entre deux sommets indiquent que deux nuds peuvent communiquer.

Description du protocole Le comportement d'un protocole est représenté par un graphe dont les sommets indiquent l'activité du capteur à l'instant t. Par exemple, le sommet $compute$ montre que le capteur est en train de faire des calculs (ou tout autre activité) qui n'a pas de rapport avec la radio et le protocole MAC. Il existe un arc entre deux sommets i et j du graphe si il est possible au capteur de passer de l'activité i à l'activité j en un pas. La figure 3 montre un exemple de protocole MAC (qui correspond en fait à l'absence de protocole MAC) décrit sous forme d'automate. Les arcs entre les états i et j sont annotés par des couples de type $c\ :\ p$ qui indiquent que si la condition c est satisfaite, alors le nud a une probabilité p de passer de l'état i à l'état j. Par exemple, la condition C_2 qui régit le passage de l'état $compute$ à l'état $receive$ s'écrit :

$$C_2 : (exactly\ 1\ IN\ start\_send)\ AND\ (exactly\ 0\ IN(end\_send\ OR\ send))$$

Ainsi, un nud qui effectue des tâches de traitement peut passer dans l'état $receive$ si exactement un de ses voisins commence à envoyer des données et qu'aucun autre n'est déjà en train de transmettre (ce qui engendrerait une collision au niveau du nud). La probabilité p sur l'arc entre $compute$ et $start\_send$ indique que le capteur génère un paquet avec une probabilité p. Dans cet exemple, la génération de paquet se fait seulement dans l'état $compute$. On peut utiliser un autre automate que l'on associe à celui ci pour gérer la génération de paquet. Ainsi, des paquets peuvent être générés dans n'importe quel état. Cet autre automate correspond au buffer du capteur.

Modélisation du canal radio Dans notre exemple, on suppose une couche physique idéale : tous les paquets émis d'un nud sont correctement reçus par ses voisins. Il serait cependant d'intégrer un mécanisme permettant d'utiliser une couche physique plus réaliste. Il faudrait pour cela modifier légèrement le modèle de topologie. Nous considérons également qu'un nud dont deux voisins (ou plus) émettent ne peut recevoir aucun des messages émis.

4. Génération de la chaîne de Markov

Une fois que l'on dispose du comportement du protocole et de la topologie, on définit l'état initial de la chaîne de Markov comme étant la concaténation des états initiaux des nuds. On détermine ensuite les états atteignables jusqu'à ce qu'ils soient tous énumérés. Dans notre exemple, et pour une topologie à deux nuds, l'état initial serait $(compute, compute)$. Les états atteignables en un pas sont alors $(compute, compute)$, $(compute, listen)$, $(listen, compute)$, et $(listen, listen)$. La chaine obtenue comporte alors 27 états.

On peut ensuite déterminer par exemple le nombre de paquets envoyés et correctement reçus par tous les voisins du nud émetteur en définissant un motif d'état. Dans ce cas précis le motif d'état serait de la forme :

$$M\ =\ atleast\ 1\ (instate\ end\_send)\ suchthat\ atmost\ 0\ not\_in\ receive$$

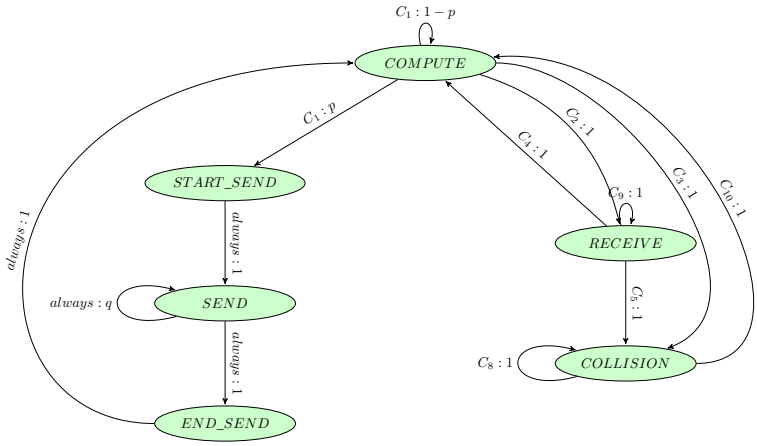

Figure 1. *Exemple d'automate*

Ce motif se lit : il existe, dans cet état, au moins un nud venant de terminer d'envoyer un paquet et dont tous les voisins sont dans l'état $receive$. Une fois la chaîne de Markov générée et les états auxquels on s'intéresse déterminés, la distribution stationnaire de la chaîne de Markov est calculé. Cette distribution permet de connaître la probabilité que l'on a d'être dans un état donné au temps t. *reformuler*

5. Conclusion et perspectives

Nous avons proposer une méthode de modèlisation des protocoles MAC offrant la possibilité de réutiliser la spécification d'un protocole pour étudier diverses topologies. Des améliorations à cette mèthode ont été apportées mais ne sont pas décrites dans cet article. Elles concernent notamment la mèthode de génération de paquets. Nous envisageons également d'utiliser l'algèbre tensorielle pour faciliter la résolution du système. Il sera ensuite possible de tester ce procédé avec des protocoles MAC plus élaborés. Il serait également intéressant d'intégrer une méthode simple pour changer le modèle de couche physique et le modèle d'interférences.

6. Bibliographie

[BIA 00] BIANCHI G., « Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function », *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, vol. 18, n° 3, Mar 2000, p. 535-547.

[RAZ 06] RAZAFINDRALAMBO T., VALOIS F., « Performance Evaluation of Backoff algorithms in 802.11 Ad-Hoc Networks », *3rd ACM Workshop on Performance Evaluation of Wireless Ad Hoc, Sensor, and Ubiquitous Networks (PE-WASUN)*, Malaga, Spain, octobre 2006.