

Etat de l'art sur le standard IEEE 802.15.4

C. OUANTEUR, D. AÏSSANI et L. BOUALLOUCHE-MEDJKOUNE

Laboratoire de Modélisation et d'Optimisation des Systèmes (LAMOS)
Université de Béjaïa, Béjaïa 06000, Algérie
Tél. (213) 34 81 37 08

Résumé La modélisation analytique par Chaîne de Markov et l'analyse de performances de la norme IEEE 802.15.4 a été le sujet de recherche de plusieurs articles publiés dans la littérature. Les modèles s'inspirent principalement des modèles de la norme IEEE 802.11 qui suppose que le canal de transmission est idéal, or que le canal est sujet à des perturbations et ne peut pas être idéal à tout moment. La sous-couche MAC qui assure le contrôle d'accès à un canal partagé utilise le protocole CSMA / CA, cependant, un état de l'art sur les modèles analytiques de ce mécanisme de la norme IEEE 802.15.4 semble être manquant.

Mots clés : Norme IEEE 802.15.4, Analyse de performance, chaînes de Markov.

4.1 Introduction

La norme IEEE 802.15.4 est récente, elle concerne uniquement les deux premières couches du modèle OSI, à savoir la couche physique et la couche liaison de données adaptées aux réseaux sans fil à faible débit. C'est la sous-couche MAC qui assure le contrôle d'accès à un canal partagé et une transmission des données fiable. L'IEEE 802.15.4 définit deux modes de fonctionnement différents, à savoir [2]

- Le mode sans BEACON : les nœuds utilisent le protocole CSMA / CA non slotté pour accéder au canal et transmettre leurs paquets. L'algorithme est implémenté en utilisant des unités de temps appelées périodes backoff.
- Le mode avec BEACON : l'accès au canal est géré par une super-trame.

Le mécanisme CSMA/CA dans 802.15.4 est similaire à la norme 802.11 utilisant BeB, sauf que contrairement à 802.11, la valeur du compteur du backoff dans IEEE 802.15.4 diminue sans faire de pause, peu importe les conditions du canal [3].

4.1.1 Algorithme CSMA/CA avec BEACON

L'algorithme se base sur une unité de temps appelée période de backoff, une période de backoff est égale à $aUnitBackoffPeriod = 80bits$ (soit 20 symboles) [?]. L'algorithme de CSMA/CA slotté est une variante de CSMA/CA qui exploite une synchronisation précise pour se dispenser de surveiller en permanence l'occupation du canal, ce qui consomme beaucoup d'énergie. Il est basé sur trois variables essentielles : NB, BE et CW tel que

- NB : Nombre d'essais d'accès au canal pour la transmission en cours, initialisé à zéro ;
- BE : Backoff Exponent initialisé à $MacMinBE = 3$ par défaut ;
- CW : représente le nombre d'unités de temps après le temps Backoff où le canal doit être libre avant transmission

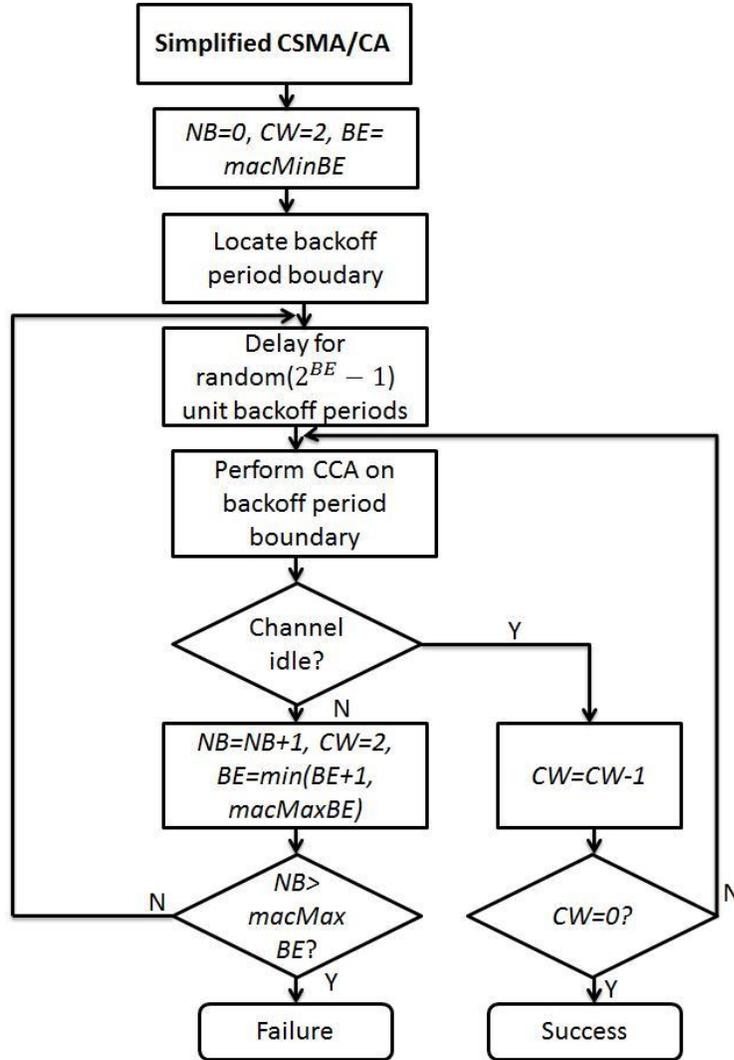


FIGURE 4.1. Algorithme du mécanisme CSMA/CA slotté

- Etape 1 Initialisation des paramètres : $NB=0, CW=2$;
- Etape 2 Vérifier si le coordinateur PAN veut faire fonctionner le réseau en mode BLE(Battery life Extension) pour économiser d'avantage l'énergie ;
Si BLE= 0 (Faux) **alors** BE= MacMinBE= 3 par défaut,
Sinon (si BLE=1) BE= Min(2, MacMinBE) ;
- Etape 3 Trouver le début de la trame Beacon : Les frontières des périodes de backoff de CSMA/CA pour chaque nœud sont alignées avec les frontières des slots de la supertrame. Le début de la première période de backoff est le début du premier slot de la CAP (début de la transmission du beacon) ;
- Etape 4 la couche MAC va retarder toutes les activités d'un nombre aléatoire de périodes Backoff dans l'intervalle $[0, \dots, 2^{BE} - 1]$: Si la durée du backoff tirée est plus longue que le nombre restant de périodes de backoff dans la CAP, l'algorithme consomme le backoff jusqu'à la fin de la CAP et reporte ce qui lui reste pour la CAP de la supertrame suivante ;
- Etape 5 Effectuer un CCA
- Etape 6 **Si** le canal est détecté idle **alors** aller à étape 10,
Sinon aller à étape 7 ;
- Etape 7 Initialiser : $CW=2, NB= NB+1$ et $BE= \text{Min}(BE+1, \text{MacMaxBE})$;
- Etape 8 **Si** $NB \geq \text{macMaxBackoff}$ **alors** aller à étape 9,
Sinon aller à étape 4 ;
- Etape 9 Echec ;

Etape 10 $CW \leftarrow CW-1$;

Etape 11 **Si** $CW=0$ **alors** aller à étape 12,
Sinon aller à étape 5 ;

Etape 12 Succes : le nœud est prêt à transmettre la trame.

4.2 Synthèse sur les travaux existants

Le modèle de BIANCHI pour la modélisation analytique, du protocole IEEE 802.11, est considéré comme un modèle de référence à base duquel se sont construits la plupart des modèles qui existent dans la littérature. Les auteurs de [1] élargissent le modèle de Bianchi et calcule de débit et la consommation d'énergie dans les conditions de saturation. Dans [3], les auteurs proposent un modèle de CM à 2D dans des conditions non saturé pour le mécanisme CSMA/CA slotté du protocole IEEE 802.15.4. En calculant la probabilité de distribution stationnaire de la chaîne de Markov, ils obtiennent une formule d'évaluation pour le débit, la consommation d'énergie, et de la latence d'accès. Le modèle proposé à été validé par le simulateur NS2. Les auteurs de [4] ont établi une analyse comparative du protocole 802.15.4 (MAC) en terme de fiabilité, délai et de consommation énergétique. Ils proposent un modèle analytique généralisant le mécanisme CSMA/CA slotté en tenant compte des tentatives limitées de retransmission et de l'ACK sous un trafic non saturé, la topologie du réseau est en étoile avec un coordinateur PAN. Ils ont étudié le comportement d'un seul nœud en utilisant un modèle de markov tridimensionnel. Ils ont ainsi proposé des approximations de la fiabilité, le délai et la consommation d'énergie et démontré que la distribution du délai dépend principalement des paramètres MAC et des probabilités de collision. Dans [5], les auteurs ont étudié la stabilité du débit, le délai moyen de la file d'attente ainsi que la problématique d'énergie de la couche MAC du protocole IEEE 802.15.4. Le réseau à été modélisé par un système d'attente avec plusieurs files et à un seul serveur, la distribution du temps de service de l'entête des paquets est obtenu à partir de la chaine de markov du BEACON dans un trafic non saturé.

Deux types de transmission du trafic ont été considérés, la transmission avec et sans ACK. Les auteurs de [6] ont analysé les performances de la periode de contention CAP spécifiée dans le standard IEEE 802.15.4 en utilisant les CM 3D à temps discret pour les états du noeud et du canal. Afin de résoudre le problème de collision les auteurs ont défini une nouvelle unité de temps pour modifier les points de démarrage de l'algorithme CSMA/CA. Les auteurs de [7] ont proposé quand à eux un nouveau modèle de CM à 4 D qui est une extention du mdèle existant 3D (Packet loss analysis of the IEEE 802.15.4 MAC without acknowledgements) qui capture l'état de l'ensemble du réseau en étoile, plutôt que l'état de chaque noeud individuel. La nouveauté c'est l'ajout d'un paramètre t qui capture le fait qu'un noeud ne peut pas rester dans l'état backoff pour plus de 2^{BE} slots, ils ont également introduit une technique analytique pour calculer le pdf(probability distribution function) et le nombre moyen de timeslots nécessaire pour compléter toutes les transmissions, lorsque un ensemble de noeuds sont en contention du canal au début de la supertrame.

4.3 Conclusion

Il existe donc un grand nombre de modèles analytiques pour analyser le mécanisme d'accès du protocole IEEE 802.15.4, Les auteurs ont considéré différents paramètres pour les améliorer, la modification apportée par les auteurs a amélioré considérablement le système en terme des paramètres considérés, mais La plupart voire tous les modèles assument des conditions que le canal de transmission radio est idéal. Or cette hypothèse n'est pas valable dans un réseau sans fil, la majorité des modèles s'inspirent principalement du modèle de Bianchi [1] qui suppose un canal de communication idéal, or des modèles de propagation des ondes électromagnétiques et le rapport signal sur bruit prouvent que la qualité du signal est fortement affaiblie et perturbée à la réception par l'augmentation du taux d'erreur par paquet. Pour cela, nous allons prendre en considération l'état du canal qui n'est pas toujours idéal. pour ce faire on aura recours à la modélisation par Chaîne de Markov.

Références

1. G. Bianchi, "Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 3. 2000.
2. C. Buratti and M. Martalò and R. Verdone and G. Ferrari, "Sensor Networks with IEEE 802.15.4 systems", ISignals and Communication Technology, Springer 2011.
3. H. Wen and Z. J. Chen and E. Dutkiewicz, "An Improved Markov Model for IEEE 802.15.4 Slotted CSMA/CA Mechanism", COMPUTER SCIENCE AND TECHNOLOGY, pp. 495-504, 2009.
4. P. Park and P. Di Marco and P. Soldati and C. Fischione, K. H. Johansson, "A Generalized Markov Chain Model for Effective Analysis of Slotted IEEE 802.15.4", Mobile Adhoc and Sensor Systems, 2009. MASS '09. IEEE 6th International Conference on, 2009.

5. D. Yin and T. T. Lee, "Performance analysis of markov modulated IEEE 802.15.4 beacon-enable mode", *Wireless Networks*, 2013.
6. F. Wang and D. Li and Y. Zhao, "On Analysis of the Contention Access Period of IEEE 802.15.4 MAC and its Improvement", *Wireless Pers Commun*, 2012.
7. X. Li and D. K. Hunter, "Four-dimensional Markov chain model of single-hop data aggregation with IEEE 802.15.4 in wireless sensor networks", *Wireless Networks*, 2012.