

Stratégies de protocoles inter-couche pour la localisation coopérative améliorée avec WBAN avec prise en compte d'un canal réaliste

Arturo Guizar, Claire Goursaud, Jean-Marie Gorce

► To cite this version:

Arturo Guizar, Claire Goursaud, Jean-Marie Gorce. Stratégies de protocoles inter-couche pour la localisation coopérative améliorée avec WBAN avec prise en compte d'un canal réaliste. ALGOTEL 2016, May 2016, Bayonne, France. 18èmes Rencontres Francophones sur les Aspects Algorithmiques des Télécommunications. <hal-01303399>

HAL Id: hal-01303399

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01303399>

Submitted on 19 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.

Stratégies de protocoles inter-couche pour la localisation coopérative améliorée avec WBAN avec prise en compte d'un canal réaliste

Arturo Guizar¹, Claire Goursaud¹ et Jean-Marie Gorce¹

¹Univ Lyon, INSA Lyon, Inria, CITI, F-69621 Villeurbanne, France

Dans ce papier, nous considérons le taux de positionnement pour des applications de localisation avec des réseaux corporels sans fil (WBAN). La localisation se fait grâce à des impulsions en ultra-large bande (IR-UWB) : la distance entre deux nœuds sur le corps est estimée avec la transmission de trois paquets, tel que défini par le protocole 3-Way ranging (3-WR). Tout d'abord, nous évaluons la performance du 3-WR avec 2 modèles de canal : un modèle théorique basé sur l'affaiblissement sur le trajet du canal CM3 et un modèle de canal obtenu lors de mesures expérimentales. Nous analysons le taux de perte de position en considérant une stratégie d'ordonnancement d'agrégation et diffusion (A&B) avec une couche MAC basée sur le principe du TDMA. Nous montrons les effets du canal sur le taux de réussite du positionnement en fonction du seuil de sensibilité au niveau du récepteur. Pour résoudre ce problème, nous proposons et testons un algorithme coopératif pour améliorer le nombre de positions estimées avec une permutation conditionnelle des ancres sur le corps.

Mots-clefs : Body Area Networks, Ultra Wideband, Motion Capture, Scheduling, IEEE802.15.6

1 Introduction

Les réseaux corporels sans fil (WBAN) ont émergé comme une nouvelle technologie capable de collecter diverses informations sur un individu afin de couvrir un large spectre d'applications en matière de sécurité, santé, sports et divertissement [1]. Dans ce contexte, on peut imaginer exploiter les avantages des WBANs pour répondre aux besoins des services basés sur la localisation (LBS). En général, les algorithmes de positionnement sont basés sur les estimations de distances avec le temps de vol (ToF) qui dépendent de la précision des mesures du temps d'arrivée (ToA) des signaux. Par exemple, l'ultra large bande (UWB) utilise des impulsions ayant une durée de l'ordre de quelques nanosecondes et une largeur de bande de plusieurs centaines de mégahertz [2]. Cette résolution temporelle permet d'atteindre une précision sur l'estimation de distance et de position de l'ordre du centimètre, nécessaires pour les applications de localisation à l'intérieur et à courte portée. Dans le cas des WBAN, l'estimation de la distance est possible avec le ToF des paquets transmis entre des nœuds mobiles et des nœuds de référence placés sur le corps, tel que défini par le protocole '3-Way Ranging' (3-WR) [3]. Cependant, la performance de localisation peut être dégradée facilement en raison de la mobilité des nœuds et l'instabilité du canal autour du corps [3]. En effet, les nœuds suivent le mouvement dynamique du corps, ce qui produit des variations sur le canal. En particulier, le masquage par le corps peut gêner la visibilité avec les ancres, ce qui entraîne une augmentation de la perte de paquets et donc, du positionnement. Il faut donc en tenir compte dans l'algorithme de positionnement.

L'estimation de qualité du lien (LQE) est un outil fondamental dans les communications sans fil pour augmenter la fiabilité des liens [4]. Dans ce travail, nous proposons un algorithme coopératif distribué basé sur des LQE à court et à long terme pour augmenter la performance de localisation des nœuds WBAN dans le cas d'un scénario de mobilité réaliste. Pour cela, nous quantifions le taux de réussite de positionnement défini comme une LQE à long terme qui mesure la probabilité de réaliser l'estimation de distances avec le minimum d'ancres nécessaires pour un positionnement en 3D. Ensuite, nous analysons les variations du canal à court terme entre les différents nœuds du WBAN afin d'identifier les nœuds mobiles les plus adaptés pour devenir des ancres virtuelles coopératives pour les nœuds ayant un taux de positionnement faible.

2 Modélisation du système

Topologie du réseau. Nous considérons un WBAN complètement maillé où les nœuds (N_i) communiquent pair à pair pour estimer leur position. Nous définissons deux types de capteurs sur le corps : les *ancres* (N_A) qui ont connaissance de leurs positions relatives et absolues à tout moment et les *nœuds mobiles* (N_M) qui souhaitent estimer leurs positions relatives, tel que $N_i = N_A + N_M$. La position est définie dans un système de coordonnées locales (LCS) pour le positionnement des nœuds sur les corps, et par rapport à un système de coordonnées globales (GCS) pour le positionnement absolu. Pour calculer sa position $\hat{P}_i(t)$, chaque nœud mobile i doit estimer sa distance $\hat{d}_{ij}(t)$ avec les ancres j . Ainsi, les nœuds mobiles effectuent un positionnement relatif avec le LCS associé avec les ancres du corps.

Algorithme pour l'estimation de la distance et la position des nœuds WBAN. Les nœuds utilisent une couche physique basée sur une radio impulsionnelle pour atteindre une estimation de distance précise. Pour cela, la distance est évaluée avec le ToF de trois paquets transmis entre le nœud et l'ancre, tel que défini par le protocole 3-WR [3] : 1) d'abord, le nœud i envoie un paquet requête (Q_{ij}) à l'ancre j ; 2) puis, l'ancre répond avec un paquet réponse ($R1_{ji}$) au nœud i , ce qui permet d'avoir une première estimation de la distance avec le ToF (principe du 2-WR) et enfin, 3) l'ancre transmet une deuxième réponse ($R2_{ji}$) pour finaliser le 3-WR et compenser la dérive d'horloge entre les nœuds. Lorsque chaque nœud a réussi ses transactions 3-WR avec les N_A ancres du réseau (e.g. avec au moins 4 pour un positionnement 3D), le positionnement est atteint. Nous ne considérons pas les erreurs d'estimation de la position. Ainsi, nous évaluons le *taux de succès de positionnement* (P_{succ}) (i.e. la probabilité que la position puisse être calculée) avec une couche MAC basée sur le TDMA. Nous utilisons une stratégie d'ordonnancement de type *agrégation et diffusion* (A&B) [3] où tous les nœuds transmettent les requêtes Q_i en broadcast. Chaque ancre collecte les ToA de chaque requête pour envoyer une première réponse $R1_j$ contenant les timers agrégés, suivie par la deuxième réponse $R2_j$.

3 Méthodologie et formulation du problème

Terminologie. $\{P_i^M(t)\}_{i=1\dots N_M}$ et $\{P_j^A(t)\}_{j=1\dots N_A}$ représentent les positions inconnues (resp. connues) des nœuds mobiles (resp. ancres). A chaque trame de durée τ , les nœuds mobiles calculent leur propre position $\hat{P}_i(t)$ à l'aide des distances estimées avec les ancres. Notons $\hat{d}(t) = [\hat{d}_{11}(t), \hat{d}_{12}(t), \dots, \hat{d}_{1N_A}(t), \hat{d}_{21}(t), \dots, \hat{d}_{N_M N_A}(t)]$ le vecteur de distances estimées, où $t = k\tau$. Nous cherchons à maximiser le nombre de distances estimées avec une stratégie coopérative inter-couche pour augmenter le taux de succès de positionnement.

Pour cela, nous analysons les effets du canal pour chaque paquet 3-WR transmis. Nous définissons $l_{ij}(t)$ comme la qualité du lien perçue des paquets et on suppose que les nœuds sont à portée des autres pour pouvoir estimer la qualité de tous les liens. Les liens peuvent ne pas être symétriques $l_{ij}(t) \neq l_{ji}(t)$, et donc les distances non plus $\hat{d}_{ij}(t) \neq \hat{d}_{ji}(t)$, $\forall i \neq j$. On définit le taux d'erreur de paquet (PER_r) comme la probabilité de perdre un paquet 3-WR. Ceci peut se produire lorsqu'un paquet est reçu avec une puissance de réception (P_{Rx}) inférieure à un seuil prédéfini (ρ), tel que $PER = \mathbb{P}(P_{Rx}(d_{ij}) \leq \rho)$.

Modèles de canal sur le corps. Nous évaluons le PER en considérant deux modèles de canal pour le même scénario de mobilité réaliste. Le premier consiste en un *modèle empirique* qui implémente le path loss ($PL_{on-Body}(d)[dB]$) du modèle CM3 en chambre anéchoïde pour la bande de fréquence de 3,1-10,6 GHz, tel que décrit dans [3]. Ainsi, la puissance de réception est calculée avec le bilan de liaison classique $P_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - PL(d)$ où la puissance de transmission et les gains d'antenne sont fixés à $P_{Tx} = -10dBm$ et $G_{Tx} = G_{Rx} = 0dB$ respectivement selon le standard ($-41dBm/MHz$). Le deuxième modèle repose sur des mesures expérimentales réelles [3] obtenues avec des capteurs *HiKoB FOX* qui utilisent une couche PHY basée sur le standard IEEE 802.15.4 (bande ISM 2.45GHz) et une couche MAC basée sur le TDMA. En particulier, le RSSI utilisé prend en compte le shadowing du corps.

Modèle de mobilité. Nous considérons un scénario réaliste de mobilité d'un piéton qui marche à vitesse modérée. Ce modèle a été obtenu avec un système optique (Vicon) [3] composé de 16 caméras infrarouge dans une salle de $10 \times 6 m^2$ et avec un taux de rafraîchissement de $100Hz$. Les ancres sont placées dans les endroits statiques du corps : le torse droit (A_1), le torse gauche (A_2), la hanche gauche (A_3) et le dos (A_4). Les nœuds mobiles sont placés sur le poignet droit (N_5), le poignet gauche (N_6), le pied droit (N_7), la tête (N_8), le pied gauche (N_9) et le genou gauche (N_{10}).

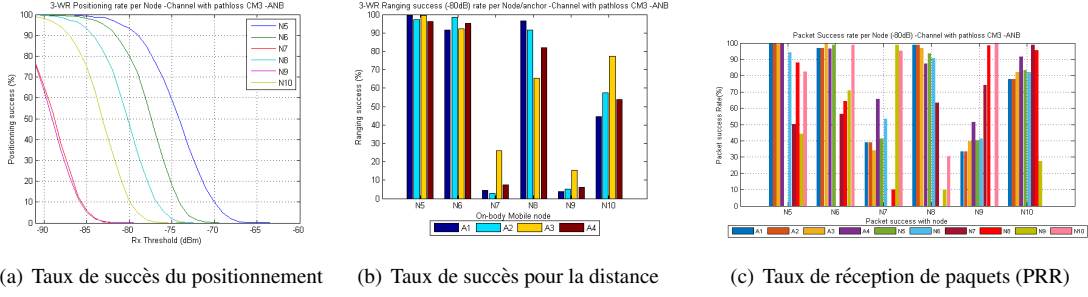


FIGURE 1: (a) P_{succ} , (b) R_{succ} et (c) PRR avec le canal empirique et un seuil de réception $\rho = -80$ dBm

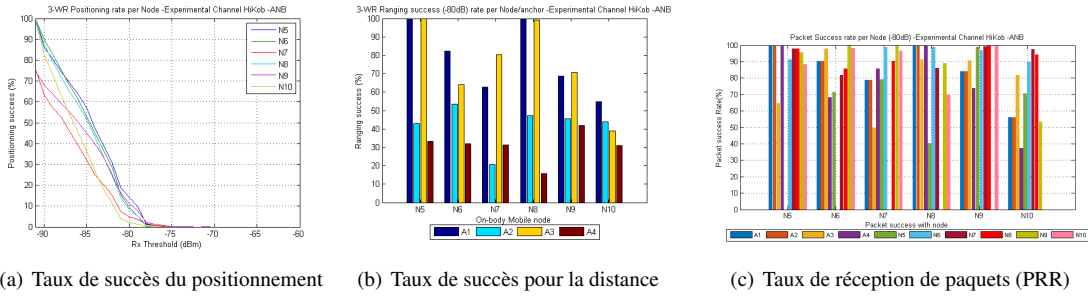


FIGURE 2: (a) P_{succ} , (b) R_{succ} et (c) PRR avec le canal expérimental et un seuil de réception $\rho = -80$ dBm

Outils de simulation. Nous évaluons le taux de succès de positionnement (P_{succ}) avec le simulateur à événements discrets WSNnet. En particulier, nous avons implémenté les deux modèles de canal, ainsi qu'une couche MAC basée sur le TDMA avec un ordonnancement A&B pour les paquets 3-WR. La durée de la trame est conçue en fonction de la couche PHY basé sur le standard IEEE802.15.6 en mode par défaut (modulation OOK et 0,4875 Mbs). Avec ce framework, nous analysons l'impact des effets du canal sur P_{succ} avec le même scénario de mobilité pour une simulation de 100s.

4 Proposition et résultats

Analyse à long terme du taux de succès de positionnement en fonction du seuil de sensibilité. D'abord, on évalue le P_{succ} de chaque nœud lorsque les ancres sont fixées préalablement pour les nœuds. Les Figures 1(a) et 2(a) montrent l'évolution du P_{succ} en fonction du seuil de sensibilité ρ à la réception. Nous pouvons observer que P_{succ} se dégrade rapidement lorsque le seuil augmente avec les deux modèles de canal. En effet, la perte de paquets 3-WR augmente, ce qui empêche l'obtention d'une estimation de distance. Si l'on compare le P_{succ} entre les différents canaux, on observe que le shadowing du corps (Figure 2(a)) a un effet plus important sur P_{succ} que l'affaiblissement dans l'espace libre (Figure 1(a)). En effet, pour le canal empirique, les pieds (N_7 et N_9), qui sont les plus éloignés des ancres, rencontrent le P_{succ} le plus bas. Ceci est dû au mauvais taux d'estimation de distances $< 30\%$ (Figure 1(b)) avec les ancres A_1 , A_2 et A_4 . Par conséquent, ces ancres devraient être remplacées pour augmenter le P_{succ} des pieds. À l'inverse, pour le canal expérimental (Figure 2(a)), on obtient des P_{succ} similaires pour tous les nœuds (même si les pieds montrent toujours le résultat plus bas). Si on analyse la Figure 2(b), on observe que l'ancre A_4 a le pire taux de succès sur l'estimation de distance avec tous les nœuds, donc il faudrait trouver un meilleur emplacement pour ce nœud. Dans la partie suivante, on étudie donc un algorithme de sélection d'ancre mieux adapté.

Fiabilité du lien à court terme pour un positionnement coopérative et distribué. À chaque trame, chaque nœud met à jour son taux de succès d'estimation distance (R_{succ}) avec chaque ancre et l'information sur la qualité des liens des paquets 3-WR reçus. Avec cette information, nous proposons une approche bayésienne pour augmenter la probabilité de succès du positionnement $\mathbb{P}(P_{succ}|\theta)$ basée sur deux paramètres (θ) : la distribution sur la qualité des liens et le taux de succès d'estimation de distance avec les nœuds, où $\theta_{ik} = \{L_{ik}, (R_{succ})_{ik}\}$ est le vecteur qui contient ces deux paramètres pendant une période d'activité ($T_L > \tau$).

Comme P_{succ} diminue lorsque R_{succ} est faible, chaque nœud doit analyser quelle ancre présente le R_{succ} le plus faible. Puis, chaque nœud va chercher les liens ayant une meilleure qualité de réception. Ainsi, on définit la probabilité de réception de paquets (PRR) comme suit : $\mathbb{P}_x(X \geq \rho) = \int_{\rho}^{\rho_{max}} L_{ik}^{(r)}(x) dx$, où

X représente la variable aléatoire de la qualité du lien obtenue à chaque T_L . On suppose que le décodeur de canal fonctionne correctement au-dessus du seuil. Donc, la probabilité de réception est limitée par les capacités de l'antenne : $\mathbb{P}_x(X \geq \rho)$ converge et peut être calculé entre $[\rho, \rho_{max}]$, où ρ_{max} est la puissance de réception maximale. Ainsi, nous pouvons estimer la probabilité de R_{succ} entre un nœud i et une ancre virtuelle k par $\mathbb{P}(R_{succ}|\theta)_{ik} = \prod_r(\mathbb{P}_x^{(r)}(X \geq \rho))$ et la probabilité de P_{succ} du nœud i avec N_A ancres par l'expression $\mathbb{P}(P_{succ}|\theta)_i = \prod_{k=1}^{N_A} \prod_r(\mathbb{P}_x^{(r)}(X \geq \rho))$.

Les Figures 1(c) et 2(c) montrent le PRR avec nos deux canaux. Nous pouvons observer dans les deux cas que les nœuds ayant un PRR bas avec certaines ancres (par exemple N_7 , N_9 et N_{10}) montrent une meilleure qualité de lien avec d'autres nœuds. Ceci permet d'intuire comment choisir les nœuds pour être des ancres virtuelles. Cependant, le nombre d'ancres à remplacer n'est pas un nombre fixe ou homogène pour tous les nœuds. Par conséquent, il faut un algorithme qui aide au choix avec une stratégie de permutation.

Permutation conditionnelle des ancres. Pour résoudre le problème de remplacement d'ancres, nous proposons un mécanisme conditionnel pour augmenter le $\mathbb{P}(P_{succ})$ calculé à chaque période d'activité. Notons $\{s_i | i = 1 \dots N_M\}$ et $\{s_j | j = 1 \dots N_A\}$ les ensembles des nœuds mobiles et ancres respectivement, où $\{s_{-i}\}$ représente l'ensemble des nœuds différents de s_i . Chaque nœud s_i est attaché à un ensemble de N'_A ancres noté par $A_i = \{a_i^k | k = 1 \dots N'_A\}$, où a_i^k peut être une ancre s_j ou un nœud mobile s_{-i} qui agit comme une ancre virtuelle pendant une certaine période d'activité. Ainsi, on définit une *stratégie unique* [5] de changement d'ancre pour le nœud s_i comme la permutation de a_i^k , donné par $\phi_i^w \in \Phi_i$, où w est l'indice de l'ensemble des N_ϕ stratégies uniques possibles Φ_i . De plus, la fonction d'utilité pour s_i est calculée par : $u_i(s_i, \phi_i^w) = \mathbb{P}(P_{succ}|\theta)_i^w$. Dans ce contexte, chaque nœud va chercher la stratégie qui maximise sa $\mathbb{P}(P_{succ})$ dans Φ_i . Par conséquent, la permutation conditionnelle d'une ancre correspond à la meilleure stratégie qui maximise la fonction d'utilité pour tous les nœuds : $\theta^+ = \arg \max_{w \in \{1 \dots N_\phi\}} \sum_{i=1}^{N_M} u_i(s_i, \phi_i^w)$

La Figure 4 montre la comparaison entre le P_{succ} estimé sans appliquer le mécanisme coopératif (rouge) et le $\mathbb{P}(P_{succ}|\theta)$ calculé avec la stratégie de permutation (bleu) pour un seuil de $\rho = -80$ dBm avec le canal expérimental. Pour éviter que deux nœuds soient mutuellement ancres virtuelles, nous avons priorisé la permutation pour les ancres ayant le pire P_{succ} . Dans notre exemple, l'ordre de choix d'ancres a été $[N_{10}, N_7, N_8, N_5, N_9, N_6]$.

Conclusion. Dans ce travail, nous proposons un algorithme basé sur des LQE à long et court terme pour améliorer le positionnement des nœuds sur le corps avec un canal réaliste. On observe que notre stratégie de choix d'ancre favorise les nœuds avec un faible P_{succ} , mais il permet également d'augmenter le P_{succ} pour tous les autres nœuds où il y avait 1 ou 2 ancres à remplacer. Avec ces résultats, nous estimons que l'algorithme est générique. C'est un avantage pour la localisation des WBANs où la corpulence et le comportement de la personne génère un impact important sur la topologie du réseau.

Références

- [1] R. Cavallari, F. Martelli, R. Rosini, C. Buratti, and R. Verdona, "A survey on wireless body area networks : Technologies and design challenges," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 16, no. 3, pp. 1635–1657, 2014.
- [2] H. Soganci, S. Gezici, and H. Poor, "Accurate positioning in ultra-wideband systems," *IEEE Wireless Communications*, vol. 18, no. 2, pp. 19–27, April 2011.
- [3] A. Guizar, C. Goursaud, and B. Uguen, "Impact of on-body channel models on positioning success rate with UWB Wireless Body Area Networks," in *EAI International Conference on Body Area Networks (BodyNets)*, (Sydney, Australia), Sept. 2015.
- [4] E. Ben Hamida, M. Alam, M. Maman, and B. Denis, "Short-term link quality estimation for opportunistic and mobility aware routing in wearable body sensors networks," in *Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), 2014 IEEE 10th International Conference on*, pp. 519–526, Oct 2014.
- [5] L. Wang, C. Goursaud, N. Nikaein, L. Cottatellucci, and J. Gorce, "Cooperative scheduling for coexisting body area networks," *Wireless Communications, IEEE Transactions on*, vol. 12, pp. 123–133, January 2013.

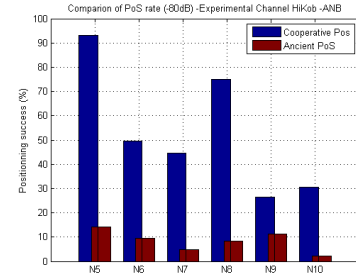


FIGURE 3: Taux de succès du positionnement avec la permutation conditionnelle.