Défis et solutions des réseaux de capteurs sans fil

Par Lance Doherty, Ingénieur systèmes, Jonathan Simon, Directeur de l'ingénierie systèmes et Thomas Watteyne, Ingénieur systèmes, Groupe de produits Dust Networks, Linear Technology Corporation

Bien que les capteurs basse consommation et les réseaux sans fil soient omniprésents, il y a encore relativement peu d'exemples sur le marché de réseaux de capteurs sans fil basse consommation. Ce n'est pas par manque d'intérêt – les capteurs sans fil promettent de réduire considérablement le coût d'installation, et fournissent un accès à des données précédemment impossibles ou exagérément coûteuses à obtenir. Bien que les capteurs soient devenus plus petits, moins chers, et présentent une moindre consommation, les coûts d'installation n'ont pas suivi ce rythme, le travail de câblage dans des nouvelles constructions éclipse le coût d'un commutateur. Lorsqu'il s'agit d'équiper un immeuble existant, ou dans un environnement de contrôle de processus, le coût d'installation par capteur peut atteindre des centaines ou des milliers de dollars.

Avec une telle motivation économique, pourquoi les réseaux de capteurs sans fil ne dominent-ils pas le marché ? Deux facteurs – la puissance radio et la fiabilité des réseaux – ont confiné les réseaux de capteurs sans fil à des marchés de niche.

Choix technologiques

Les utilisateurs veulent une technologie économique, permettant une disposition sans contrainte des capteurs, un envoi des données fiable et rapide, et fonctionnant des années sans remplacement de la pile ou de la batterie. Les avancées récentes dans les systèmes radios et les protocoles de communication basse consommation nous ont permis de proposer ces fonctions dans de nombreux marchés.

Les applications de collecte de données mettent habituellement en œuvre un grand nombre de points transmettant des données à un hôte central qui peut répondre avec un traitement des points de consigne ou d'autres modifications de configuration. Plusieurs technologies sont en concurrence pour ce rôle, comme les solutions satellites, cellulaires, Wi-Fi et basées sur la norme IEEE 802.15.4.

Le satellite et le cellulaire ont le coût le plus élevé par paquet, et ne conviennent généralement pas aux applications alimentées par batterie. Ces solutions ne conviennent que pour des applications transmettant à un débit très faible (par exemple un paquet de données par jour) avec une connectivité réputée bonne.

Les capteurs Wi-Fi (IEEE 802.11b, g) sont maintenant largement disponibles. Le coût en énergie d'un paquet Wi-Fi est beaucoup plus faible qu'en cellulaire, mais encore élevé pour les applications sur pile ou batterie. La connectivité et la couverture restent des problèmes importants, parce que la densité des points d'accès nécessaires pour des communications fiables avec un capteur fixe est généralement élevée.

La norme IEEE 802.15.4 définit une couche physique (PHY) et une couche de contrôle

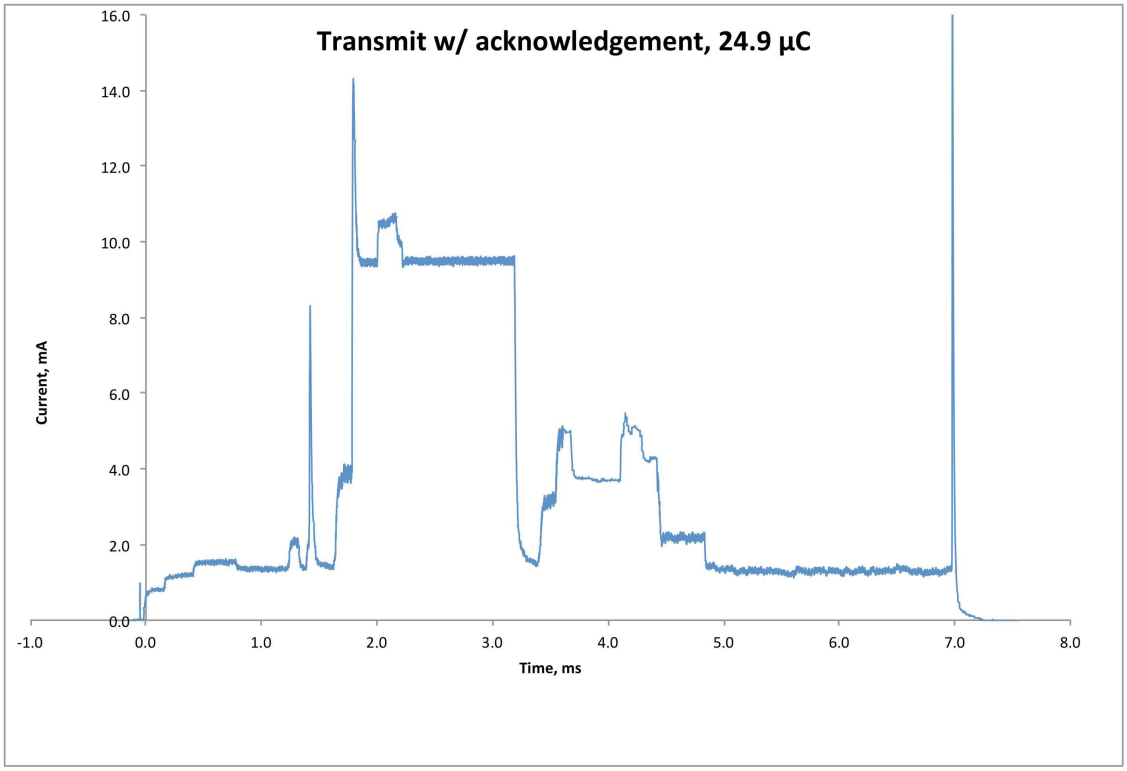


Figure 1 – Énergie nécessaire pour émettre un paquet court 802.15.4 et pour recevoir un accusé de réception.

d'accès au média (MAC) pour un fonctionnement basse consommation à courte portée, idéal pour les réseaux de capteurs sans fil. IEEE 802.15.4 est à la base de plusieurs protocoles propriétaires et standard comprenant le réseau à canal unique non synchronisé ZigBee et les réseaux multicanaux synchronisés WirelessHART[1]. En utilisant le LTC5800-IPM802.15.4 Mote-on-Chip™ de Linear Technology, l'envoi de quelques octets de données du capteur, avec le routage, la cryptographie et d'autres entêtes utilise une charge de moins de 30 µC, y compris la réception d'un accusé de réception sécurisé de la couche de liaison. (voir Figure 1).

Réseaux maillés

La fiabilité est un problème lors du passage à des réseaux sans fil. Le canal sans fil n'est pas fiable par nature, et de nombreux phénomènes peuvent empêcher un paquet émis d'atteindre un récepteur – ce qui peut être exacerbé lorsque la puissance radio diminue.

Des interférences se produisent quand de multiples émetteurs fonctionnent en même temps sur la même fréquence. Ceci est particulièrement problématique s'ils ne peuvent pas s'entendre respectivement (le problème du "terminal caché"). Des mécanismes de

renvoi, de retransmission et d'acquittement sont nécessaires pour résoudre les collisions. Les interférences peuvent provenir de l'intérieur du réseau, d'un autre réseau similaire fonctionnant dans le même espace radio, ou d'une technologie radio différente fonctionnant dans la même bande, ce qui se produit souvent dans la bande partagée par les Wi-fi, Bluetooth, et 802.15.4.

Un second phénomène variant beaucoup, appelé fading de chemins multiples (multipath), peut empêcher la transmission même lorsque la marge de la liaison en vue directe est suffisante. Ceci se produit lorsque des copies multiples de la transmission se réfléchissent sur des objets environnants (plafonds, portes, personnes, etc.) se situant à des distances différentes. Avec des interférences destructrices, un affaiblissement (fading) de 20 à 30 dB est courant. Ce fading dépend de la fréquence d'émission, de la position de l'équipement, et de tous les objets avoisinants, sa prévision est pratiquement impossible.

Comme les objets environnants se déplacent, l'effet des chemins multiples change au cours du temps, et il n'est pas prudent de se fier à une connexion particulière entre les équipements, ou chemin (path), pour l'utiliser définitivement. La figure 2 montre le rapport de distribution des paquets sur une liaison sans fil unique entre deux capteurs industriels, pendant une période de 26 jours, et pour chacun des 16 canaux utilisés par le système. A certains moments, des canaux sont bons (ratio de distribution élevé), d'autres mauvais, d'autres variant énormément. Plus important, on n'a pas observé de période pendant laquelle un canal était bon sur tous les chemins partout dans le réseau.[2]

En raison des interférences et du fading, la clé de la réalisation d'un système sans fil fiable est d'exploiter la diversité des canaux et des chemins. Dans un réseau maillé, les capteurs peuvent transmettre des paquets radio provenant d'autres nœuds, étendant la portée du réseau bien au delà de celle d'une radio unique, et apportant au réseau une immunité aux pannes d'une liaison radio unique. En utilisant un schéma TDMA (Accès multiple à répartition dans le temps) on réduit les auto collisions et on préserve la possibilité d'évolution du réseau.

Plusieurs protocoles de réseaux maillés sont disponibles pour la mise en réseau de capteurs : 802.11s pour le Wi-Fi, divers protocoles de routage ad-hoc comme ceux utilisés dans ZigBee, et le protocole de réseau maillé synchronisé de Linear Technology qui constitue la base des normes WirelessHART et 802.15.4e.

Solutions

Les critères de choix essentiels d'une technologie de réseau de capteurs sans fil sont le coût d'exploitation et la polyvalence. Les technologies sans fil réduisent considérablement le coût d'installation par rapport aux solutions câblées, mais le remplacement des piles ou batteries nécessaires pendant la durée de vie augmente le coût d'exploitation total. Les protocoles doivent être conçus pour pouvoir évoluer en densité et en nombre total de capteurs, s'accommoder des interférences et survivre à la perte d'équipements individuels.

Les réseaux de capteurs sans fil doivent être conçus pour fonctionner de façon fiable dans des environnements rencontrant de larges variations de température, et avec des ratios de distribution de paquets (PDR) pouvant descendre à 50 %. Pour les applications industrielles, l'objectif de fiabilité est habituellement de recevoir au moins 99,9 % des données générées, parce qu'une perte de données peut déclencher des conditions d'alarme coûteuses. Le système doit supporter un nombre minimum de paquets de données des capteurs par seconde avec une latence contrôlée, les paquets "périmés" sont habituellement ignorés et altèrent la fiabilité.

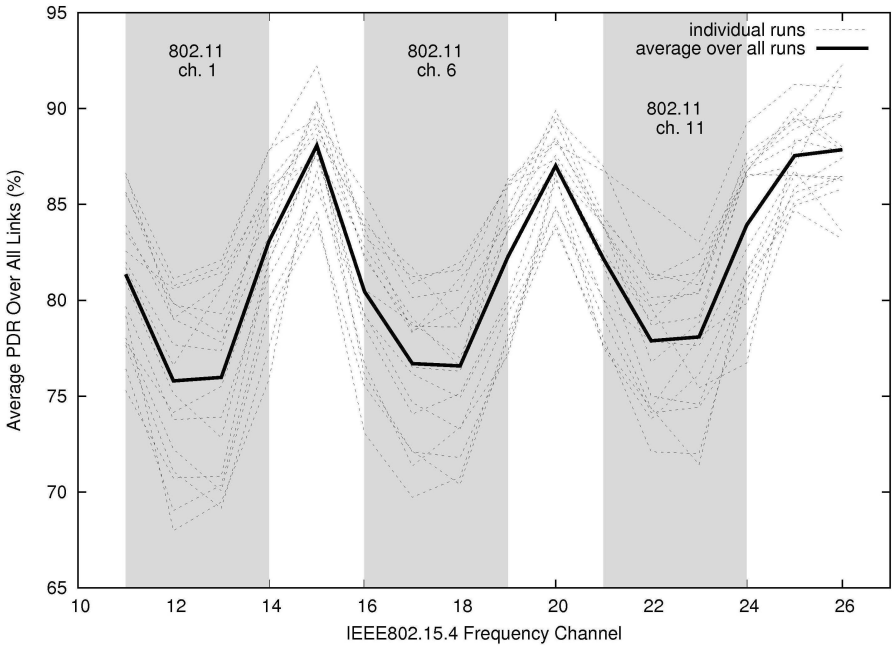


Figure 2 – Le ratio de distribution de paquets d'une liaison sans fil varie avec le temps.

Applications

La ligne de produits Dust Networks SmartMesh™ de Linear comporte des offres de produits WirelessHART et 6LoWPAN-conforme à IPv6 qui s'appuient sur la norme 802.15.4 pour fournir les solutions de réseaux de capteurs sans fil sécurisées les plus fiables et consommant le moins sur le marché. Dust Eterna™ *motes* (famille LTC5800) sont des circuits monolithiques qui associent un microprocesseur Cortex-M3, de la mémoire et des périphériques à une radio 802.15.4 ayant la plus basse consommation actuellement disponible. Les concepteurs incorporent un de ces circuits dans le boîtier de leur capteur et peuvent s'appuyer sur le réseau pour former, optimiser et acheminer les données de leur capteur vers leur application. Les gestionnaires de Dust permettent au réseau d'évoluer de quelques dizaines à plusieurs milliers de composants, fournissant des interfaces de données et de configuration pour tout le réseau. Les deux familles de produits permettent la construction de réseaux maillés à nœuds multiples de haute

fiabilité permettant des débits de données configurables pour chaque nœud. Quelques exemples d'applications utilisant les produits motes et les gestionnaires Dust comprennent :

Parking – Streetline[3] est un fournisseur de parkings évolués qui supervise en temps réel les places disponibles avec des détecteurs de véhicules à chaque emplacement et intègre ces informations dans une base de données couvrant toute une ville. Une technologie sans fil basse consommation est essentielle pour cette application parce qu'il est irréaliste de câbler des capteurs dans chaque emplacement de parking, et qu'une diversité des chemins est essentielle parce le déplacement des véhicules modifie la qualité des chemins entre les paires d'équipements.

Supervision de l'énergie – Vigilent[4] fournit des systèmes de gestion intelligente de l'énergie pour les centres de données, où la climatisation fonctionne en permanence à fond, gaspillant de l'énergie. Vigilent déploie une grande densité d'équipements sans fil sécurisés qui n'interfèrent pas avec le fonctionnement normal du centre de données et déploie de façon régulière des réseaux à recouvrements multiples pour installer le nombre nécessaire de capteurs.

Conclusion

Les réseaux maillés synchronisés multicanaux basés sur la norme radio 802.15.4, relèvent les nombreux défis posés par la construction de réseaux de capteurs sans fil polyvalents, fiables et basse consommation.

Références

1. http://www.hartcomm.org/hcf/documents/documents_spec_list.html

2. L. Doherty, W. Lindsay, J. Simon, K. Pister, “Channel-Specific Wireless Sensor Network Path Analysis,” Proc. ICCCN ’07, Honolulu, HI, 2007.

3. http://www.streetline.com/

4.http://www.vigilent.com/