

Université de Mons
Faculté des Sciences
Département d'Informatique
Réseaux et Télécommunications

**Conception et évaluation d'une architecture
hybride de réseaux de capteurs
reposant sur les technologies radio LoRa et IEEE
802.15.4**

Directeur : M^r Bruno QUOTIN

Mémoire réalisé par
Arnaud PALGEN

Rapporteurs : M^r Prénom NOM
M^r Prénom NOM

en vue de l'obtention du grade de
Master en Sciences Informatiques



Année académique 2020-2021

Remerciements

Nous remercions ...

Table des matières

1	Introduction	2
1.1	IEEE 802.15.4e	3
1.1.1	Types de noeuds	3
1.1.2	Beacon Enabled mode	3
1.1.3	Non-Beacon Enabled mode	6
1.1.4	80.15.4e	7
1.1.5	TSCH (Time Slotted Channel Hopping)	7
1.2	RTOS	8

Table des figures

1.1	Débits de données et distances de transmission.	3
1.2	802.15.4 structure de la Superframe.	4
1.3	Schéma de l'algorithme slotted CSMA-CA.	5
1.4	Schéma de l'algorithme unslotted CSMA-CA.	6
1.5	Slotframe	8

Chapitre 1

Introduction

L'objectif de ce mémoire est de concevoir une architecture réseau permettant la communications avec des capteurs/actuateurs utilisés pour la surveillances de cultures.

Ce déploiement a les caractéristiques suivantes :

- Les noeuds du réseau sont fortement contraints énergétiquement. Ils seront typiquement alimentés par une batterie éventuellement associée à des panneaux solaires et un régulateur de charge.
- Les caractéristiques des liens radio LoRa et IEEE 802.15.4 sont différentes et susceptibles de changer au cours du temps suite à par exemple, la croissance des feuilles des cultures surveillées.
- Le débit des transmissions n'a pas besoin d'être élevé.

Actuellement, il existe une multitude de protocoles radio ayant chacun leurs caractéristiques. La figure 1 illustre le débit et la portée de différents protocoles.

Le choix d'une architecture hybride réalisée avec LoRa et 802.15.4 semble donc le plus approprié pour ce déploiement.

La solution proposée est développée sur la plateforme RE-Mote de Zolertia. Cette plateforme possède les caractéristiques suivantes :

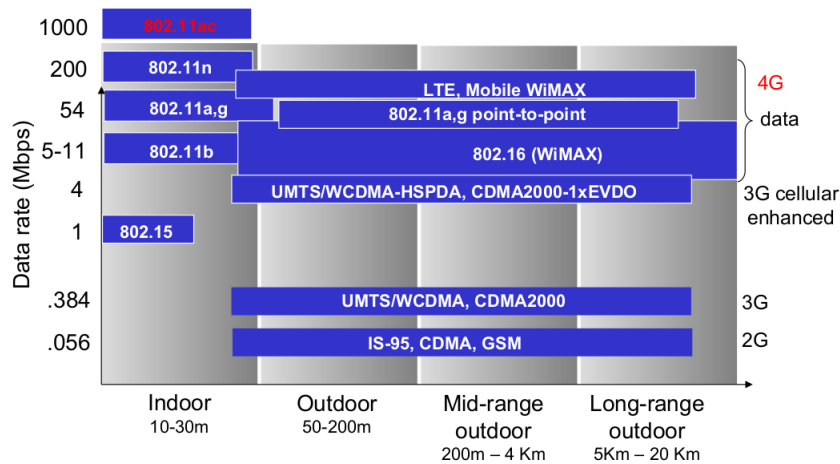


FIGURE 1.1 – Débits de données et distances de transmission.

1.1 IEEE 802.15.4e

802.15.4 est un protocole défini par IEEE en 2003. Il est destiné aux communications à débit faibles réalisées par des dispositifs ayant une alimentation en énergie limitée. Ce protocole qui est un standard pour les réseaux PANs (Personal Area Networks) couvre la couche physique et MAC du modèle OSI.

1.1.1 Types de noeuds

La norme 802.15.4 définit deux types de noeuds :

- Les noeuds **FFD** (Full Function Device) peuvent être des coordonnateurs de PAN, de simples coordonnateurs ou de simples noeuds.
- Les noeuds **RFD** (Reduced Function Device) utilisent une implémentation réduite du protocole et peuvent seulement opérer comme des simples noeuds.

Ces noeuds peuvent former des réseaux suivant plusieurs topologies comme la topologie en étoile pour laquelle plusieurs RFD sont connectés à un FFD qui joue le rôle de coordonnateur ou encore la topologie peer-to-peer pour laquelle les FFD sont connectés les uns aux autres.

1.1.2 Beacon Enabled mode

Dans ce mode d'accès, le réseau est synchronisé par des messages de contrôles (beacons) et une structure appelée Superframe (Fig. 1.2).

La superframe est divisée en deux périodes : la période active et la période inactive.

La période active est elle-même divisée en deux périodes : *contention acces period (CAP)* et *contention free period (CFP)*.

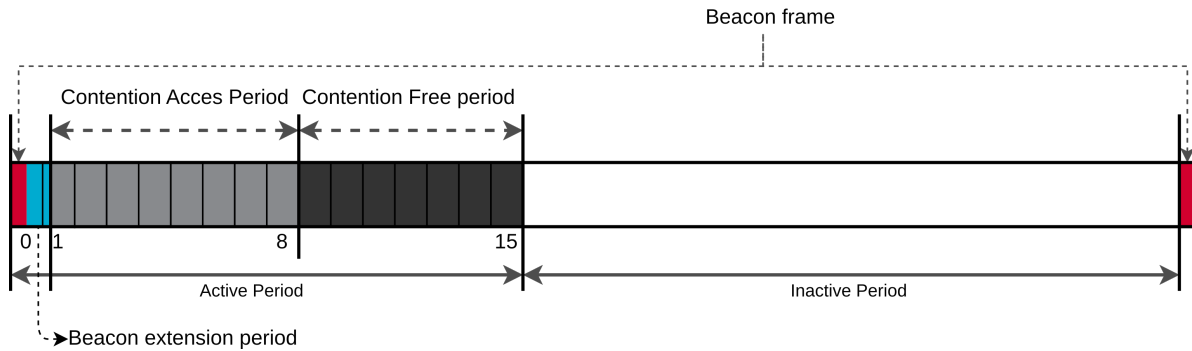


FIGURE 1.2 – 802.15.4 structure de la Superframe.

Accès au canal durant la contention acces period (CAP)

Durant cette période, l'accès au canal se fait par l'algorithme slotted CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance). La figure 1.3 illustre son fonctionnement.

Les time slots de la CAP sont divisés en plus petits time slots appelés **backoff periods**. Un noeud du réseau maintient les variables suivantes :

- NB compte le nombre de backoff. Initialisée à 0
- CW indique la taille de la fenêtre de congestion. Initialisée à 2
- BE est l'exposant du backoff. Initialisée à macMinBE

Les variables macMinBE , macMaxBe et MCB (macCSMABackoffs) sont des constantes du protocole. Lorsque des paquets doivent être transmis, les variables sont d'abord initialisées. Ensuite, le noeud attend le prochain backoff et choisit aléatoirement un nombre entier $rr \in [0, 2^{BE} - 1]$. Après avoir attendu r backoff periods, le noeud vérifie si le canal est occupé en réalisant un CCA (Clear Channel Assessment). Si c'est le cas, CW va être décrémenté et un nouveau CCA va être réalisé. Les paquets ne pourront être transmis qu'après trois CCA consécutifs indiquant un canal libre (i.e. $CW = 0$). Si le canal est occupé, NB et BE sont incrémentés et CW est réinitialisé à 2. Enfin, si NB n'exède pas macCSMABackoffs , le noeud va reprendre à l'étape où un r est choisi aléatoirement. Sinon, la communication ne sera pas établie et les paquets ne seront pas transférés.

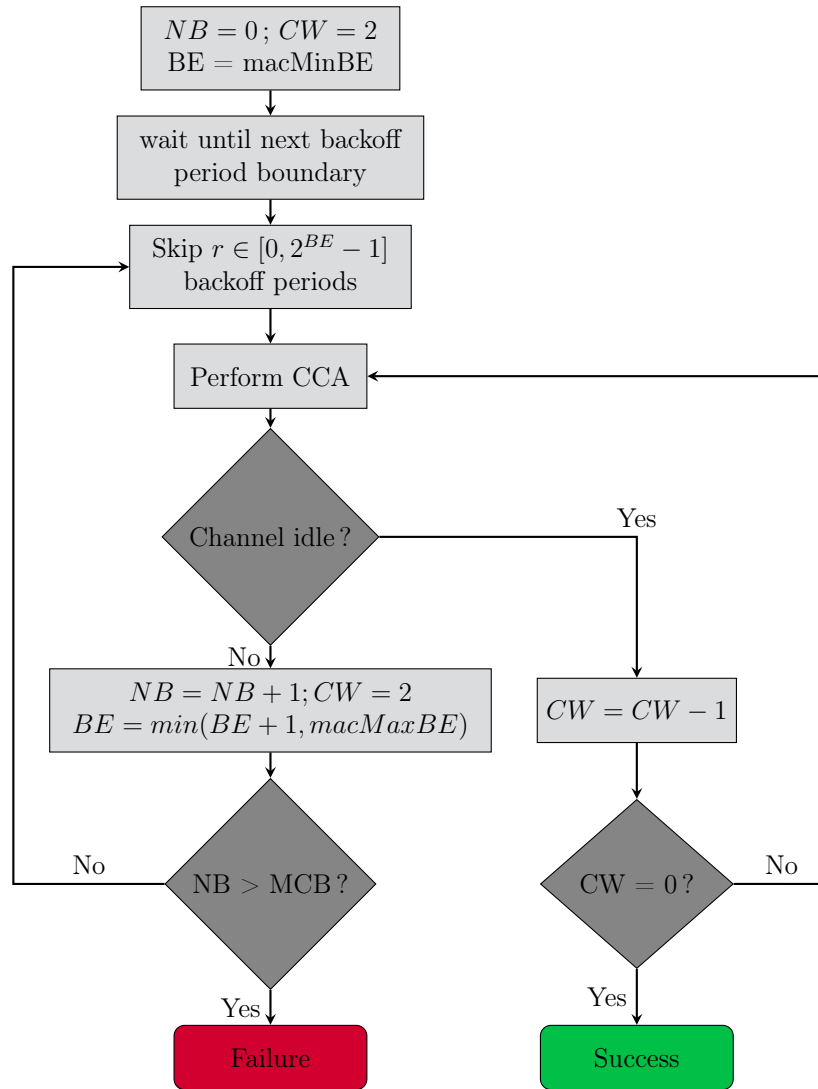


FIGURE 1.3 – Schéma de l'algorithme slotted CSMA-CA.

Accès au canal durant la contention free period (CFP)

Le mécanisme utilisé durant cette phase d'accès est TDMA (Time Division Multiple Access). Comme illustré sur la figure 1.2, cette période est divisée en 7 slots qui sont attribués par le coordinateur aux noeuds ayant émis une GTS (Guaranteed time slots) durant la période de CAP. Cette requête spécifie le nombre de slots consécutifs désirés ainsi que le type de slot demandé : slot de transmission ou de réception. Après réception de cette requête, le coordinateur va répondre en deux temps. D'abord, un ack pour confirmer la réception de la requête et ensuite un beacon appelé GTS des-

cripteur lorsque les ressources demandées sont disponibles.

1.1.3 Non-Beacon Enabled mode

Ce mode d'accès n'utilise pas de beacons. Il n'a donc aucune synchronisation. L'accès au canal se fait alors par l'algorithme Unslotted CSMA-CA illustré par la figure 1.4. On remarque que cet algorithme est similaire à slotted CSMA-CA à l'exception que le CCA est réalisé qu'une seule fois et que l'algorithme n'attend plus un time slot du CAP avant d'attendre un nombre de backoff aléatoire.

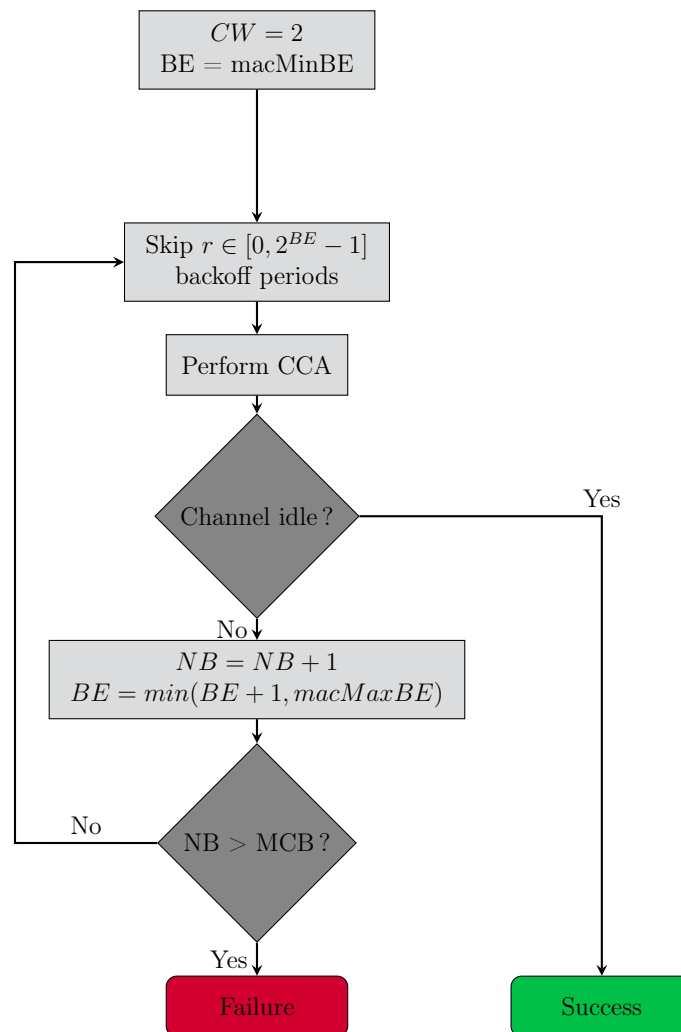


FIGURE 1.4 – Schéma de l'algorithme unslotted CSMA-CA.

1.1.4 802.15.4e

802.15.4 a un certains nombres de limitations :

- Aucune garantie sur le délai maximal pour qu'un paquet puisse atteindre sa destination ne peut être fourni avec l'algorithme CSMA-CA.
- La fiabilité des communications est limitée par l'utilisation de l'algorithme slotted CSMA-CA qui offre un taux de transmission faible.
- Aucune protection contre les interférences due à l'utilisation d'un seul canal et à l'absence de mécanismes de sauts de fréquence (frequency hopping)

Ces limitations ont menées à la création de 802.14.4.e qui redéfinit les protocoles MAC du standard.

Ainsi, 5 modes de fonctionnement de la couche MAC sont définis :

1. **Time Slotted Channel Hopping (TSCH)**
2. **Deterministic and Synchronous Multi-channel Extension (DSME)**
3. **Low Latency Deterministic Network (LLDN)**
4. **Asynchronous multi-channel adaptation (AMCA)**
5. **Radio Frequency Identification Blink (BLINK)**

1.1.5 TSCH (Time Slotted Channel Hopping)

Ce mode de fonctionnement de la couche MAC, comme son nom l'indique, supporte à la fois les sauts en fréquence et des communications divisées en temps.

Slotframe

Dans ce mode, le concept de superframe de 802.15.4 est remplacé par le concept de slotframe. Une slotframe est un intervalle de temps qui est divisé en timeslots. Chaque timeslot permet à un nœud d'envoyer une trame et d'éventuellement recevoir son acquittement (ack). Chaque timeslot possède un identifiant appelé *Absolute Slot Number* (ASN) ... et un identifiant au sein de la slotframe appelé *Time Slot Number* (TSN).

La figure 1.5 illustre une slotframe composée de trois timeslots. Dans cet exemple, on considère 3 noeuds : N, T et U. Chaque timeslot permet une communication. Par exemple le timeslot ayant comme TSN 0, permet à N de transmettre vers T.

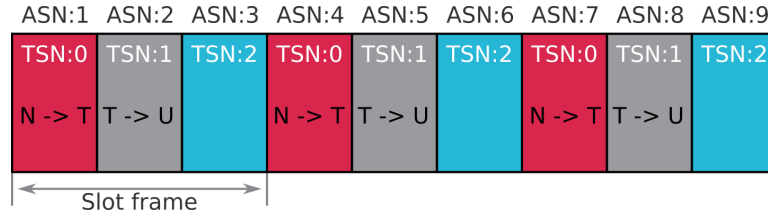


FIGURE 1.5 – Slotframe

Channel Hopping

TSCH peut utiliser 15 canaux différents numérotés de 0 à 15.

1.2 RTOS

Etant donné que ce projet utilise le protocole 802.15.4 ainsi que TSCH, le RTOS choisis, doit supporter la couche physique 802.15.4, le mode TSCH pour la couche MAC de 802.15.4.

Le RTOS choisis doit également posséder une implémentation d'un ou plusieurs algorithmes d'ordonnancement de TSCH. Il est également préférable, que le RTOS choisis, supporte déjà la plateforme utilisée. Une implémentation de la LoRa n'est pas nécessaire car la liaison via UART ou SPI.

Le tableau ci-dessous illustre la comparaison de différents RTOS. Les critères de comparaison sont les suivants : L'implémentation du protocole 802.15.4,

Contiki oS est un RTOS mature, qui dispose de tout ce qui peut être utile pour ce mémoire.

RTOS	802.15.4	ord. TSCH	LoRa	IPv6	routage IP	comp.
Contiki OS	✓	6Tisch, Orchestra	Projet KRATOS	✓	RPL	✓
FreeRTOS	×	×	✓	✓	×	×
RIOT OS	✓	×	✓	✓	RPL	✓
Zephyr	✓	×	✓	✓	Thread	×

TABLE 1.1 – cap