

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 QUOITIN

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
2	État de l'art	3
2.1	Proto	3
2.2	LoRa	3
2.3	IEEE 802.15.4	4
2.3.1	Types de noeuds	4
2.3.2	Topologies	4
2.3.3	Beacon Enabled mode	5
2.3.4	Non-Beacon Enabled mode	7
2.3.5	80.15.4e	8
2.3.6	TSCH	9

Table des figures

2.1	802.14.4 topologie peer-to-peer.	4
2.2	802.15.4 topologie en étoile.	4
2.3	802.15.4 structure de la Superframe.	5
2.4	Schéma de l'algorithme slotted CSMA-CA.	6
2.5	Schéma de l'algorithme unslotted CSMA-CA.	8

Chapitre 1

Introduction

Expliquez le contexte du travail, et les objectifs du travail. The Latex typesetting markup language is specially suitable for documents that include mathematics. [?]

Chapitre 2

État de l'art

2.1 Proto

2.2 LoRa

hey it's Lora

2.3 IEEE 802.15.4

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.

2.3.1 Types de noeuds

La norme 802.15.4 définit deux types de noeuds :

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

2.3.2 Topologies

Ces noeuds peuvent former des réseaux suivant plusieurs topologies : la topologie en étoile (Fig 2.2) pour laquelle plusieurs RFD sont connectés à un FFD qui joue le rôle de coordinateur, la topologie peer-to-peer (Fig 2.1) pour laquelle les FFD sont connectés les uns aux autres.

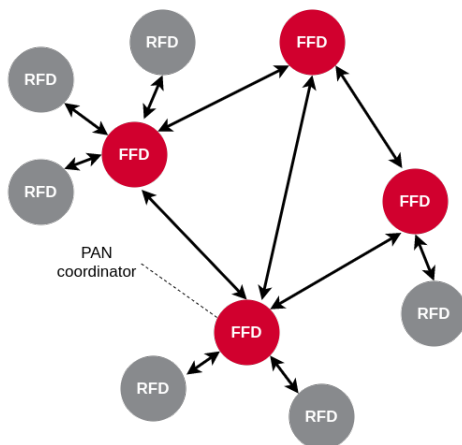


FIGURE 2.1 – 802.15.4 topologie peer-to-peer.

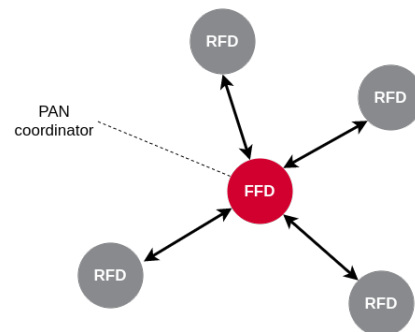


FIGURE 2.2 – 802.15.4 topologie en étoile.

2.3.3 Beacon Enabled mode

Dans ce mode d'accès, le réseau est synchronisé par des messages de contrôles (beacons) et une structure appelée Superframe (Fig. 2.3). Cette Superframe est générée périodiquement par les coordinateurs. Elle est délimitée par des beacons qui sont émis à un intervalle *beacon interval* (BI) qui est défini par le paramètre *beacon order* (BO) $BI = 15.36 \cdot 2^{BO}$ avec $0 \leq BO \leq 14$.

La superframe peut être divisée en deux périodes : la période active et la période inactive. La période active a une durée *Superframe duration* (SD) qui est définie par le paramètre *Superframe order* (SO) $SD = 15.36 \cdot 2^{SO}$ avec $0 \leq SO \leq BO \leq 14$. Elle est elle-même divisée en deux périodes : *contention acces period* (CAP) et *contention free period* (CFP).

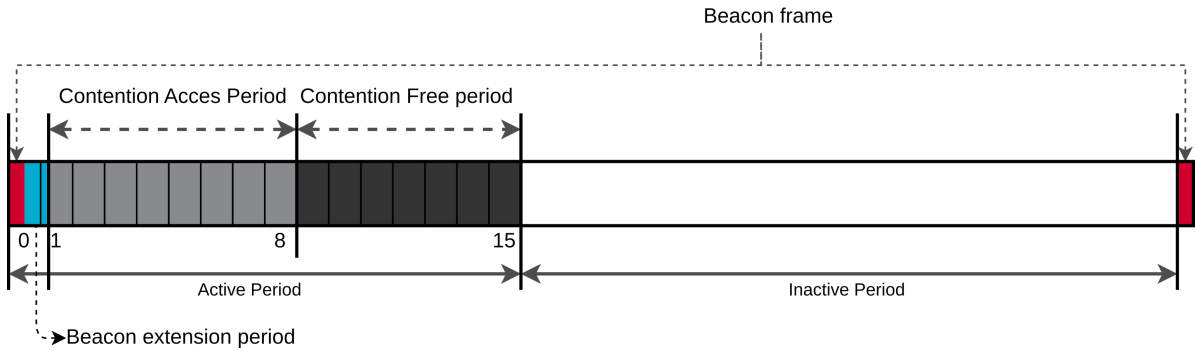


FIGURE 2.3 – 802.15.4 structure de la Superframe.

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 2.4 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 choisis aléatoirement. Sinon, la communication ne sera pas établie et les paquets ne seront pas transférés.

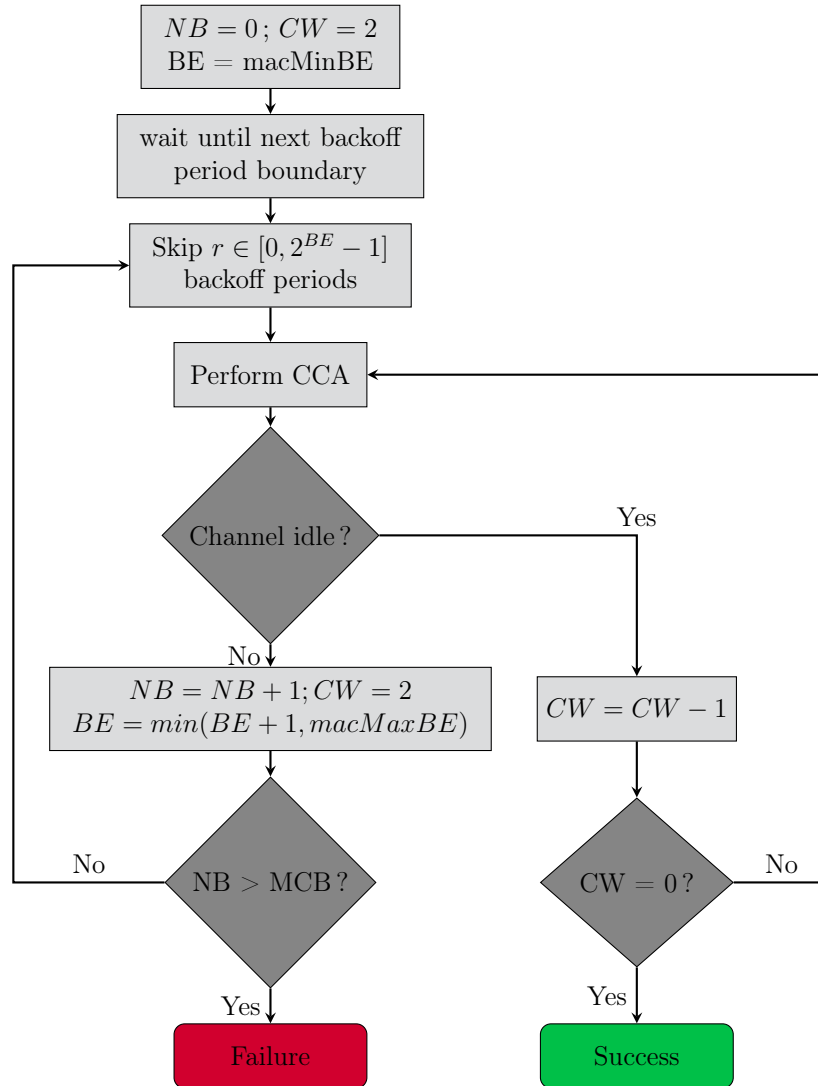


FIGURE 2.4 – Schéma de l'algorithme slotted CSMA-CA.

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 2.3, 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 descriptor lorsque les ressources demandées sont disponibles.

2.3.4 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 2.5. 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.

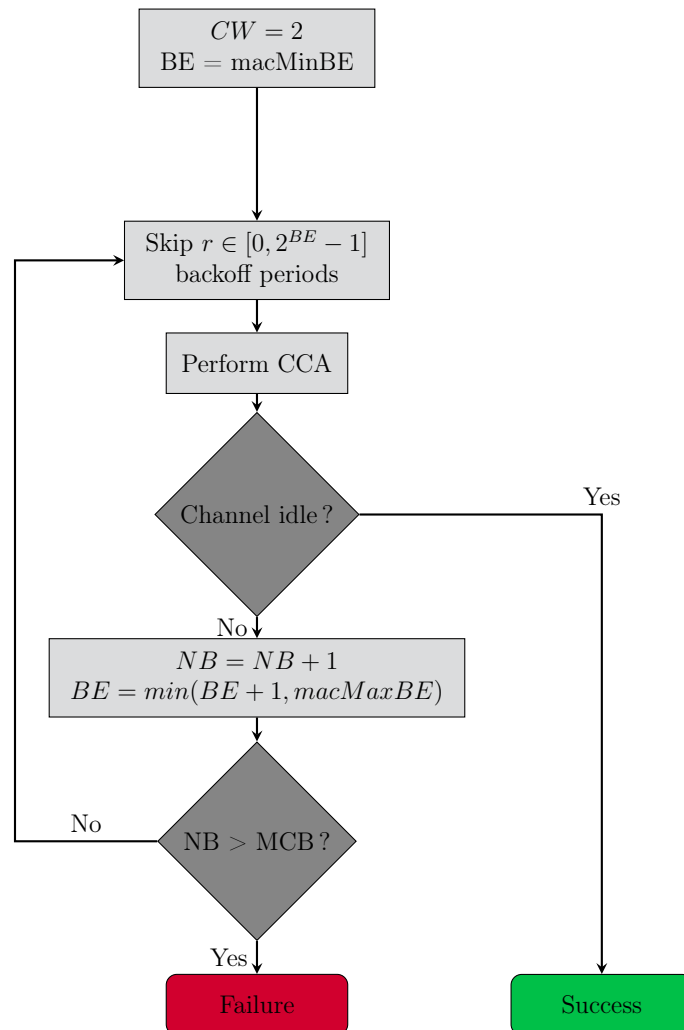


FIGURE 2.5 – Schéma de l'algorithme unslotted CSMA-CA.

2.3.5 80.15.4e

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)**
Cible les applications tel que l'automatisation de processus. Permet des communications multi-sauts et multi-canaux.
2. **Deterministic and Synchronous Multi-channel Extension (DSME)**
Réalise pour des applications industrielles et commerciales ayant des contraintes de délai et fiabilité. Permet des communications multi-sauts ainsi que la création de réseaux MESH.
3. **Low Latency Deterministic Network (LLDN)**
Conçu pour les applications nécessitant une latence faible et les réseaux n'utilisant qu'un seul canal pour des chemins d'un saut maximum.
4. **Asynchronous multi-channel adaptation (AMCA)**
Cible les applications où de grands déploiements sont nécessaires comme le monitoring d'infrastructures.
5. **Radio Frequency Identification Blink (BLINK)**
Conçu pour l'identification de personnes ou d'objets. Il permet aux nœuds de communiquer leur ID aux autres nœuds sans avoir été préalablement associés.

2.3.6 TSCH