

Technologies Radio-Fréquence de localisation Indoor

MARS 2010

Introduction

Aujourd'hui, les progrès techniques, la libération des fréquences et la standardisation des protocoles d'échanges permettent aux liaisons radios de se banaliser au sein du milieu industriel. Cependant, dans le cadre d'applications de géolocalisation indoor où précision et robustesse demeurent indispensables, les techniques de positionnement utilisées (triangulation, trilatération) nécessitent une parfaite maîtrise du transfert des données par onde radio. Cette étape reste délicate : tout phénomène de propagation des ondes demeure complexe et soumis aux perturbations extérieures. Les flux radio transmis subissent en effet de fortes atténuations en fonction des phénomènes d'échos, d'interférences, ou encore de saturation ou de brouillage.

Ce bulletin technique vous propose ici un rappel des principes de bases du codage des couches radio, essence même de la transmission des données sans fils.

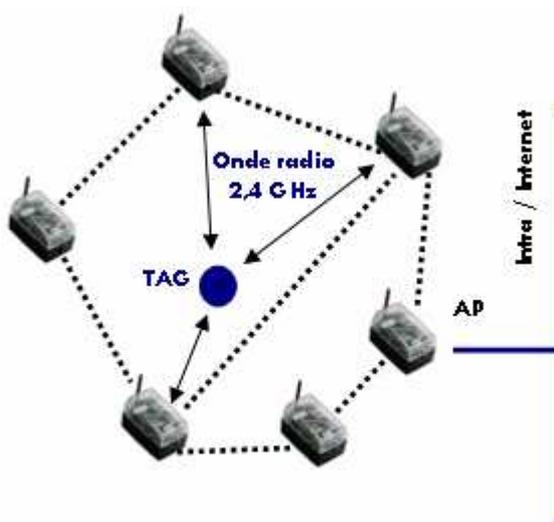


Sommaire :

INTRODUCTION	1
LES TECHNIQUES DE CODAGE	1
LE FHSS	2
LE DSSS	3
L'OFDM	4
CONCLUSION	5

Grâce à la libération de nombreuses fréquences et à l'apparition de "standards", la radio a d'ores et déjà fait son entrée dans le milieu industriel...

Application typique :



Les techniques de codage :

Au sein de l'environnements industriel, la transmission d'ondes radio demeure basée sur une modulation de fréquences contenant l'information à transmettre. La propagation s'effectue dans un ou plusieurs intervalles de fréquences appelés canaux de transmission. Actuellement, deux grandes bandes de fréquences utilisables existent : la bande ISM (*Industrial Scientific Medical*) dont la fréquence 2,4 GHz demeure principalement utilisée en France ainsi que la bande UN-II (*Unlicensed National Information Infrastructure*) des 5 GHz. L'émetteur et les récepteurs échangent des informations sous la forme de messages "codés" et forment entre eux un ensemble d'équipements en réseau. Cependant, seule la couche physique détermine le codage de l'information à l'aide de trois techniques principales :

- étalement de spectre par sauts de fréquences ou **FHSS** (*Frequency Hopping Spread Spectrum*)
- étalement de spectre à séquence directe ou **DSSS** (*Direct Sequence Spread Spectrum*)
- multiplexage par répartition en fréquences orthogonales ou **OFDM** (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*).

Afin de saisir les domaines d'application possibles de ces trois techniques spécifiques, il paraît utile d'en examiner les principes fondamentaux .

Technologies Radio-Fréquence de localisation Indoor

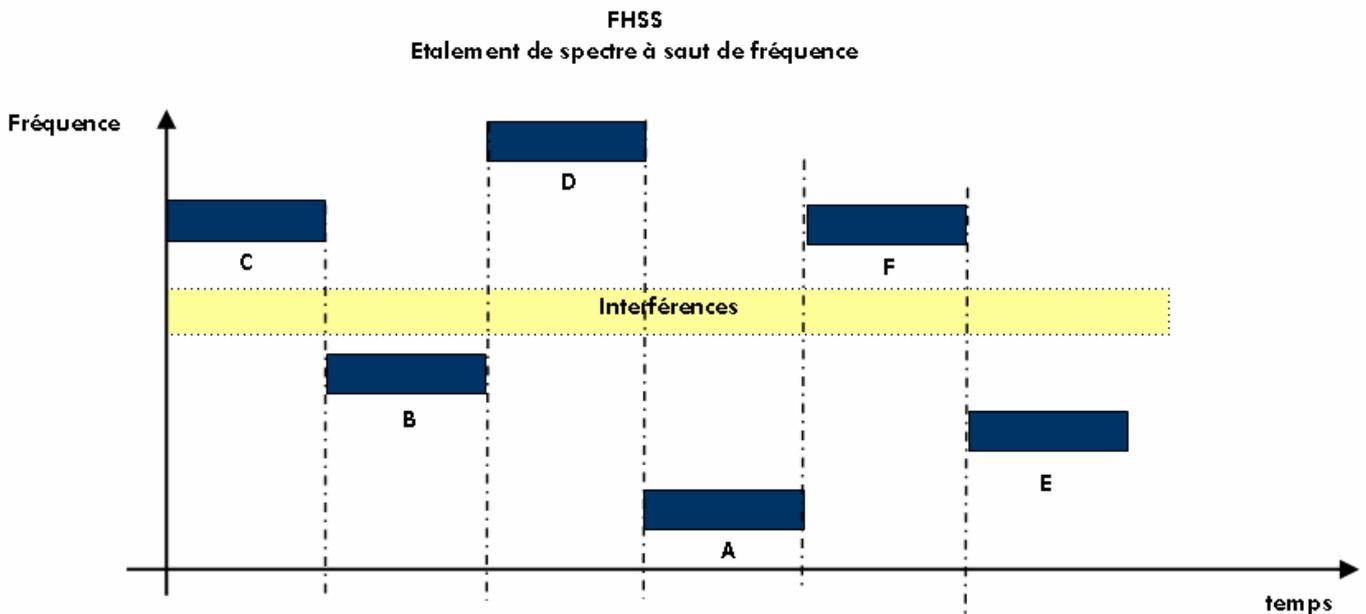
Le FHSS : *Frequency Hopping Spread Spectrum*

Apparu au cours de la seconde guerre mondiale, le FHSS est une technologie dont le champ d'applications s'est progressivement élargi. On y utilise un signal porteur à bande étroite qui "saute" sans discontinuer d'une fréquence à l'autre et ce suivant un algorithme spécifique connu de l'émetteur et du récepteur (maître / esclave). Cependant, tout dépend du système standard ou propriétaire employé : bande de fréquence, nombre de canaux dans lequel le signal peut sauter ou encore, temps de séjour du signal dans chaque canal. Suivant la norme 802.15.1 par exemple, le réseau Bluetooth est basé sur le codage FHSS avec une fréquence de 1 600 sauts par seconde

Dans la bande ISM des 2,4 GHz (divisée en 79 canaux de 1 MHz), le FHSS offre certains avantages : relativement peu sensible aux interférences, il permet de les "contourner". On utilise alors des systèmes « intelligents » capables de modifier à l'avance la séquence des sauts afin d'ignorer les perturbations rencontrées (fréquences parasites sur un canal réduit).

Malgré tout, le FHSS présente quelques inconvénients : efficacité spectrale réduite limitant son débit ou encore nécessité d'une synchronisation très fine entre l'émetteur et le récepteur ; il faut en effet que ces derniers puissent se placer simultanément sur le même canal. Enfin, le procédé convient mieux à la transmission de messages relativement courts (saut rapide d'une fréquence à l'autre). Pour des messages plus longs, la transmission demeure délicate : nécessité d'un découpage puis d'une reconstitution.

Les liaisons radio se distinguent notamment par leur couche physique autrement dit par la manière dont sont "codées" les informations à transmettre. Pour cela, il existe trois grands principes : le FHSS, le DSSS et l'OFDM



Le FHSS utilise un signal à bande étroite qui "saute" d'une fréquence à l'autre, suivant un algorithme connu de l'émetteur et du récepteur. Ici la séquence de fréquences ("spreading code") est CBDAFE.

Technologies Radio-Fréquence de localisation Indoor

Le DSSS : Direct Sequence Spread Spectrum

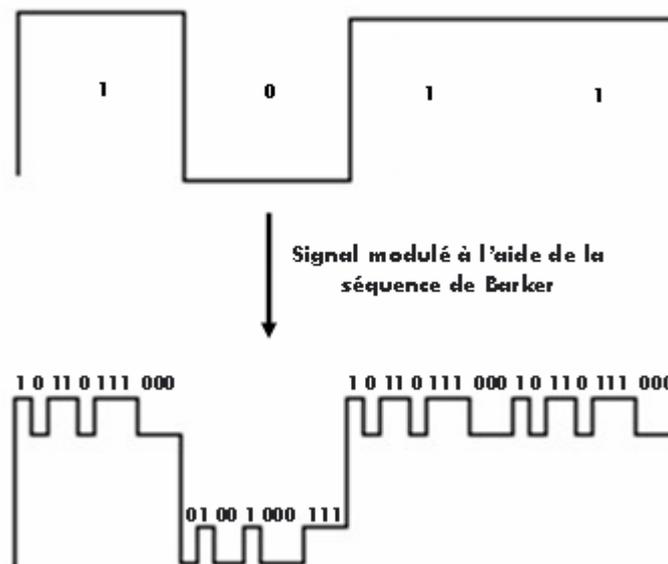
Introduit plus récemment, le DSSS ne présente pas ces inconvénients. Dans ce procédé, chaque bit à transmettre est transformé en une suite de n bits (suivant une séquence spécifique). Dans le domaine des fréquences, cela équivaut à étaler le signal par un facteur n . Il suffit ensuite d'appliquer le même vecteur d'étalement au niveau de la réception ; on retrouve alors le signal utile libéré des signaux parasites (qui n'ont pas été codés). Le principal avantage de ce procédé est d'assurer une redondance dans la transmission de l'information. Prenons le cas de WiFi (802.11b) : la couche physique de la norme définit une séquence de 11 bits (10110111000) pour représenter chaque bit 1 ; la séquence complémentaire (01001000111) traduit alors chaque bit 0. Ce codage est connu sous le nom de séquence de Barker (bruit pseudo-aléatoire) ou « chipping ». Grâce à ce dernier, si l'on perd un ou plusieurs bits, il y a de fortes chances de les retrouver et ce d'autant plus facilement que la séquence est longue.

En augmentant la longueur du vecteur d'étalement, on peut donc obtenir des systèmes très peu sensibles aux interférences ou aux erreurs de transmission. Contrairement au FHSS, le DSSS utilise l'intégralité de la bande de fréquences. Il permet ainsi d'obtenir des débits supérieurs. Enfin, il convient à la transmission de messages relativement longs, puisque le signal est transmis dans son intégralité sur le même canal.

Cependant, ces performances théoriques sont atteintes uniquement si l'environnement demeure faiblement perturbé. Au-dessus d'un certain seuil (en fonction du vecteur d'étalement), le rapport signal / bruit n'est plus négligeable.

La norme 802.11b (WiFi) demeure divisée en 14 canaux de 20 MHz, il est alors possible d'atteindre un débit théorique de 11 Mbits/s. De même ZigBee (standard 802.15.4) fonctionne essentiellement en DSSS dans la bande ISM des 2,4 GHz (avec 16 canaux de 3 MHz espacés de 5 MHz).

DSSS
Étalement de spectre à séquence directe



Dans un codage DSSS, chaque bit est transformé en une suite de n bits suivant une séquence spécifique. Ici, la séquence Barker transforme chaque bit 1 en 10110111000 et chaque bit 0 en son complémentaire (01001000111).

Qui fait quoi :

Standard	Wi-Fi 802.11a	Wi-Fi 802.11b	Wi-Fi 802.11g	Bluetooth 3.0	ZigBee
Bande fréquences principales	ISM 2,4 Ghz	ISM 2,4 Ghz	ISM 2,4 Ghz	ISM 2,4 Ghz	ISM 2,4 Ghz
Codage	OFDM	DSSS	OFDM	FHSS	DSSS
Débit théorique maximum	54 Mbits / s	11 Mbits / s	54 Mbits / s	24 Mbits / s	11 Mbits / s

Technologies Radio-Fréquence de localisation Indoor

L'OFDM : *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*

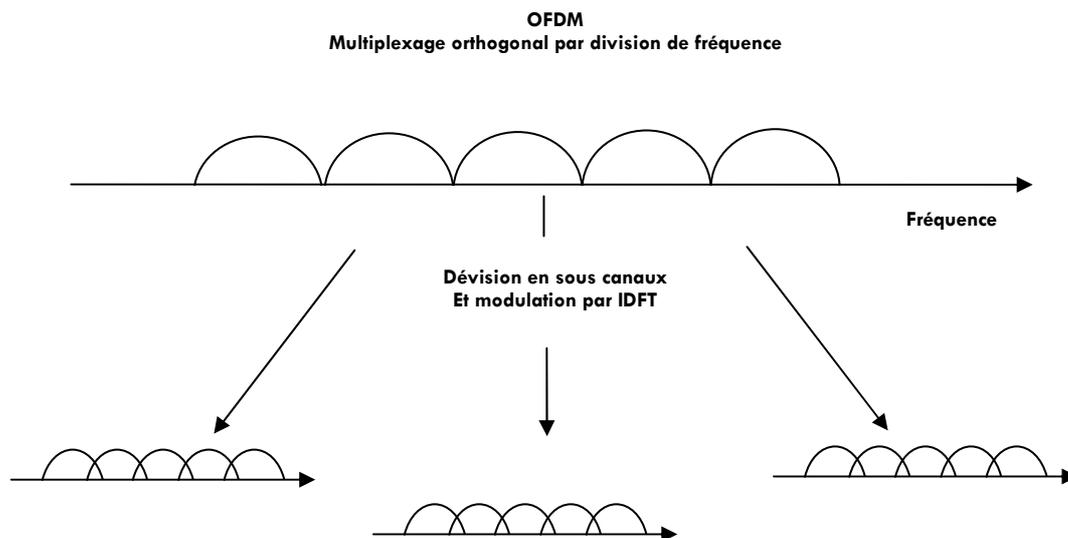
L'OFDM repose quant à lui sur un principe radicalement différent. Chaque canal de fréquence y est divisé en plusieurs sous-canaux utilisés en parallèle pour la transmission du signal. La transmission en parallèle de plusieurs canaux à faible débit crée globalement l'effet d'un seul canal à haut débit.

Le principal intérêt de cette méthode réside dans le fait que les porteuses de chaque sous-canal ont des fréquences proches et orthogonales entre elles (déphasées de 90°). En pratique, les signaux rectangulaires d'entrée sont modulés par une transformée de Fourier inverse (IDFT) qui les transforme en ondes sinusoïdales. A l'arrivée, les ondes occupent globalement la totalité du spectre, mais demeurent décalées : le maximum de l'une correspond au minimum de l'autre ; on peut ainsi exploiter au maximum la bande de fréquences tout en discriminant facilement les différents "paquets" du signal...

Cette technique, inventée dans les années 60, connaît aujourd'hui un nouvel essor (notamment grâce aux progrès réalisés dans le domaine du traitement du signal).

Il faut dire qu'elle présente de nombreux avantages. Ainsi, elle permet tout d'abord de tirer le meilleur parti du spectre, et donc d'obtenir des débits très élevés. Le standard Wi-Fi 802.11a, par exemple, définit une transmission basée sur le codage OFDM dans la bande des 5 GHz, avec un débit théorique allant jusqu'à 54 Mbits/s. (le bilan de liaison doit permettre l'obtention d'un tels débits : le signal émis doit parvenir au récepteur malgré une puissance "étalée" sur plusieurs canaux...).

La robustesse représente le second intérêt de l'OFDM, peu sensible aux interférences causées par les signaux ayant subi de multiples réflexions. Pour illustrer, imaginons un signal d'origine transmis en différents "sous paquets" : même si l'un d'entre eux arrive à destination avec un léger décalage temporel (dû à de multiples réflexions), il restera toujours distinct des autres.



Avec un multiplexage OFDM, chaque canal de fréquence est divisé en plusieurs sous-canaux utilisés en parallèle pour la transmission du signal. Les porteuses de chaque sous-canal ont des fréquences proches, mais orthogonales entre elles. On peut ainsi exploiter au maximum la bande passante tout en différenciant facilement les différents "paquets" du signal.

L'OFDM requiert toutefois davantage de puissance que le DSSS ou le FHSS et nécessite l'utilisation d'outils de traitement du signal relativement sophistiqués.

De plus, l'OFDM reste difficile à mettre en œuvre avec des équipements mobiles : la vitesse relative de l'émetteur et du récepteur engendre en effet des dérives de fréquences perturbatrices (effet Doppler).

Malgré ces inconvénients, le champ d'application de la méthode OFDM ne cesse de s'élargir comme par exemple dans les standards Wi-Fi (802.11a et 802.11g).

Technologies Radio-Fréquence de localisation Indoor

FHSS, DSSS ou OFDM ?

Technologie	Principaux avantages	Principales limitations	Applications
FHSS	<ul style="list-style-type: none"> - Technologie simple et économique - Permet de "contourner" les interférences (possibilité de modifier la séquence des sauts en fonction des obstacles rencontrés) - Portée relativement élevée - Technologie avantageuse en termes de sécurité et de fiabilité - Consommation d'énergie relativement faible 	<ul style="list-style-type: none"> - Efficacité spectrale peu élevée - Débits relativement faibles - Nécessite une synchronisation fine entre l'émetteur et le récepteur - Sensible au nombre d'émetteurs émettant dans la même bande 	<ul style="list-style-type: none"> - Convient à la transmission de signaux courts, y compris en environnement perturbé - Solution retenue notamment par Bluetooth (1 600 sauts de fréquence par seconde entre 79 fréquences dans la bande ISM 2,4 GHz)
DSSS	<ul style="list-style-type: none"> - Systèmes de redondance par étalement peu sensibles aux interférences et aux erreurs de transmission - Bonne efficacité spectrale - Possibilité d'obtenir des débits élevés - Possibilité d'améliorer les performances par allongement du vecteur d'étalement - Durée d'établissement relativement courte 	<ul style="list-style-type: none"> - Technologie relativement sophistiquée - Nécessite des composants rapides - Consommation d'énergie relativement élevée 	<ul style="list-style-type: none"> - Convient à la transmission de signaux relativement longs (en dessous d'un seuil de perturbations, qui est fonction du vecteur d'étalement) - Solution retenue notamment pour ZigBee et Wi-Fi (802.11b)
OFDM	<ul style="list-style-type: none"> - Grande efficacité spectrale - Possibilité d'obtenir des débits très élevés (si le bilan de liaison le permet) - Offre une grande robustesse au regard des interférences (notamment celles qui sont dues aux multi trajets) 	<ul style="list-style-type: none"> - Consommation d'énergie relativement élevée - Nécessite d'une synchronisation très fine entre l'émetteur et le récepteur - Efficacité limitée aux interférences sélectives 	<ul style="list-style-type: none"> - Convient pour s'affranchir des interférences causées par les multitrajets - Solution retenue pour Wi-Fi (802.11a dans la bande des 5 GHz et 802.11g dans la bande des 2,4 GHz)

Conclusion

Chaque méthode de codage des couches radio (FHSS, DSSS, OFDM) présente un champ d'applications qui lui est propre. Avant de mettre en place une solution de géolocalisation radio, il faut donc examiner dans les détails l'environnement dans lequel les signaux seront transmis. Si l'on doit s'affranchir d'interférences occupant une bande de fréquences relativement large, il est préférable d'utiliser le DSSS qui permettra d'"écraser" uniformément les différents bruits. Si au contraire, on se trouve en présence d'interférences situées sur une bande étroite de fréquence, le FHSS permettra de contourner cette bande et de transmettre l'information sur les autres fréquences. Enfin, l'OFDM doit être privilégié s'il l'on souhaite s'affranchir des interférences causées par les multitrajets. Cependant, malgré l'énoncé de ces quelques règles de base, seule une expérimentation grandeur nature autorisera à coup sûr l'identification de la technologie et donc la détermination du protocole d'échange le mieux adapté en matière de performance, coût et facilité de mise en œuvre.

Adresses utiles...

<http://www.acksys.fr>
<http://www.prosoft-technology.com>
<http://www.ruggedcom.com>
<http://www.a.deunis-rf.com>

Contact pour conseils ...

Monsieur Parladère Pascal
 ☎ 02 99 57 17 64
 ✉ pascal.parladere@institutmaupertuis.fr

BULLETIN TECHNIQUE N° 21



Centre d'études techniques en productique et mécatronique

Contour A. De St. Exupéry
Campus de Ker Lann, 35170 Bruz

www.institutmaupertuis.fr

☎ 02 99 57 17 64

L'Institut Maupertuis est un centre de ressources technologiques en productique et en mécatronique. Il accompagne les entreprises de l'Ouest, et plus particulièrement les PME/PMI, dans l'innovation de leurs produits et de leurs outils de production. Nos activités s'organisent en deux pôles :

- **Le Pôle Projets** : Définition, montage et conduite de projets techniques pour accroître la productivité des outils industriels et développer des produits innovants. Les projets mis en œuvre par l'Institut Maupertuis bénéficient d'un soutien des collectivités locales.
- **Le Pôle Assemblage** : centre de compétence en assemblages innovants et en particulier en soudage de tôles minces par laser : études de faisabilité industrielle, études collectives en soudage, transfert de technologie vers les PME-PMI.

Sous forme associative, l'Institut Maupertuis s'inscrit dans la politique régionale de soutien à la recherche appliquée et à l'innovation. Son pilotage est assuré par des personnalités industrielles locales en partenariat avec le CETIM. L'association est soutenue et subventionnée par la Région Bretagne, le Conseil Général d'Ille et Vilaine et Rennes Métropole.

