

z'avez pas vu LoRa™ ?

technique du futur de l'IdO à M2M

L'Internet des Objets ou IdO (*IoT*) est la prochaine étape vers l'interconnexion globale des machines (M2M). Des systèmes astucieux sur de petits appareils alimentés par batterie devraient nous simplifier la vie, mais posent de nouvelles exigences à la technologie sans fil sur laquelle ils reposent. Un critère essentiel est la portée de ces transmissions par radio. Les systèmes sans fil classiques comme WLAN ou Bluetooth n'ont qu'un rayon d'action limité, quelques dizaines de mètres, les appareils en bande ISM ne dépassent pas le kilomètre. LoRa est alors une solution pour aller plus loin.

Norbert Schmidt, IMST GmbH

Pour la communication de machine à machine (M2M), on utilise d'habitude des nœuds terminaux de prix modique. Raison pour laquelle la technique sans fil doit aussi être bon marché. Comme la technique WLAN et la téléphonie mobile sont généralement trop coûteuses pour ce domaine d'application, on se tourne vers l'exploitation de la classique bande de fréquences ISM, accessible sans redevance.

Une nouvelle technique radio du nom de LoRa™, acronyme de **Long Range**, développée et brevetée par la société Semtech, offre une solution à la fois économique et à plus longue portée. En comparaison des systèmes radio classiques dans la bande ISM, LoRa atteint une portée de 15 km selon les conditions de visibilité. C'est ce qui va permettre de combler les lacunes de la téléphonie mobile et d'étendre immanquablement la mise en œuvre de la radio aux applications M2M.

Meilleur récepteur

Pour allonger la distance couverte par une liaison radio, on peut jouer sur la puissance d'émission, mais aussi améliorer la **sensibilité** du récepteur. Il s'agit du seuil de puissance nécessaire à l'entrée du récepteur pour reproduire valablement le signal émis. La sensibilité de beaucoup de systèmes sans fil à courte portée se situe dans l'ordre de grandeur de -100 dBm, on compte sur -90 dBm avec Bluetooth et -100 dBm pour Zigbee. S'il est possible d'augmenter la sensibilité, la même puissance d'émission permettra de couvrir une plus longue distance. Avec la technologie LoRa, Semtech a réussi à pousser la sensibilité de réception dans la bande ISM jusqu'à -137 dBm, et donc augmenter nettement la portée.

L'accroissement de sensibilité s'obtient en étalant le spectre. Au lieu de n'utiliser que le minimum nécessaire à la transmission, la largeur de bande est nettement élargie. C'est

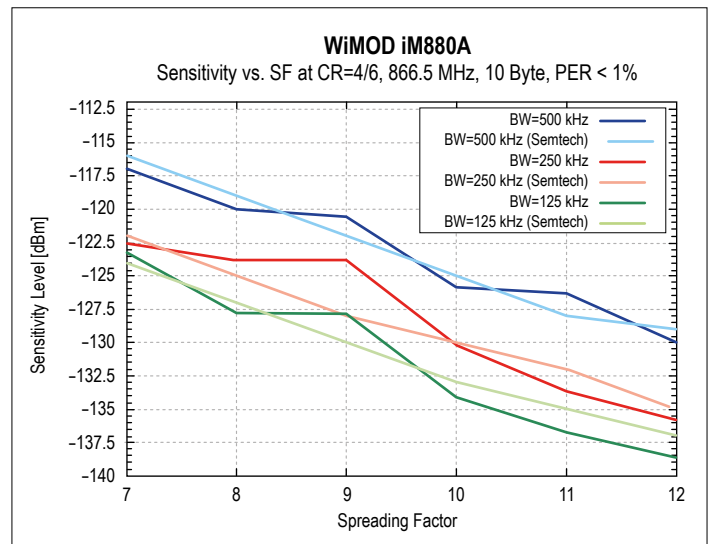
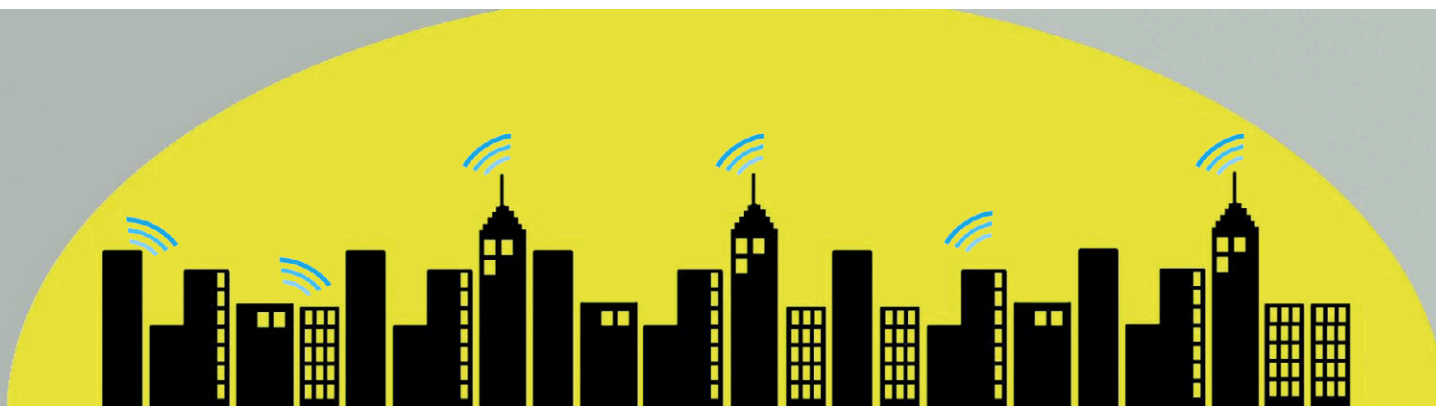


Figure 1. La sensibilité du module radio iM880A en fonction de la largeur de bande et du facteur d'étalement.

ce qui estampille le signal d'une signature particulière sur laquelle le récepteur peut établir une corrélation. Ainsi, la largeur de bande est ramenée à sa valeur normale, mais l'énergie de réception est augmentée de plusieurs dB. Les réalisations pratiques existantes s'approchent très fort des caractéristiques mentionnées dans les fiches techniques des puces radio SX1272 et SX1276. La **figure 1** montre la sensibilité du module radio LoRa iM880A-L de la **figure 2** comparée aux valeurs à atteindre selon la fiche technique en fonction du facteur d'étalement. On remarque qu'avec des spectres très étalés en particulier, on obtient bien les spécifications données.



Le rapport entre largeur de bande et débit binaire ne doit pas être fixe, il peut différer d'une transmission à l'autre et même sur chaque canal. Une caractéristique essentielle du tranceteur radio LoRa est donc le découplage entre bande passante et débit. Le facteur d'étalement de bande autorise un réglage souple de ce rapport. Le remodelage du spectre permet de couvrir des distances de plus de 15 km avec de faibles débits binaires. La **figure 3** montre la relation entre débit binaire et facteur d'étalement ; en général, le facteur d'étalement est maximal pour les plus grandes distances.

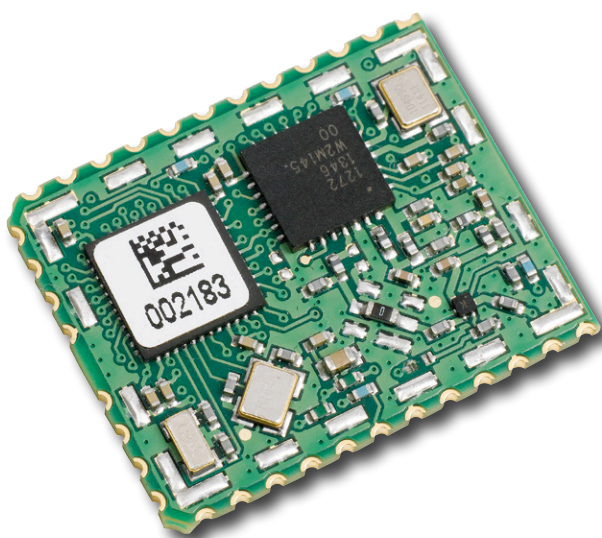


Figure 2. Le module radio LoRa iM880A-L de la société IMST GmbH.

Le canal de transmission d'un nœud terminal est pour l'essentiel caractérisé par la fréquence réglée et le facteur d'étalement, c'est la signature du spectre. Plusieurs transmissions peuvent avoir lieu en même temps pour autant que les signatures soient différentes, parce que les signatures dans l'espace du signal sont perpendiculaires les unes aux autres. Cette perpendicularité signifie que la corrélation dans le récepteur ne peut se faire que sur sa propre signature et que les signaux reçus avec d'autres signatures sont éliminés par la corrélation. On en arrive ainsi, avec trois spécifications de largeur de bande (125 kHz, 250 kHz, 500 kHz) et sept possibilités d'étalement du spectre (SF6, SF7, ... SF12), à 21 configurations différentes, qui donnent

des débits binaires nominaux de 290 bit/s jusqu'à 37,5 kbit/s. La fréquence porteuse pour LoRa se trouve dans la bande ISM européenne de 868 MHz. Dans d'autres pays, on utilise les bandes de 915 MHz, 433 et 477 MHz.

Concentrateur et facteur d'étalement

LoRa permet de créer des réseaux radio dans lesquels une seule cellule peut couvrir plusieurs kilomètres carrés. Par cellule, on peut compter des centaines de nœuds terminaux qui doivent donc être harmonisés et administrés dans cette cellule. C'est

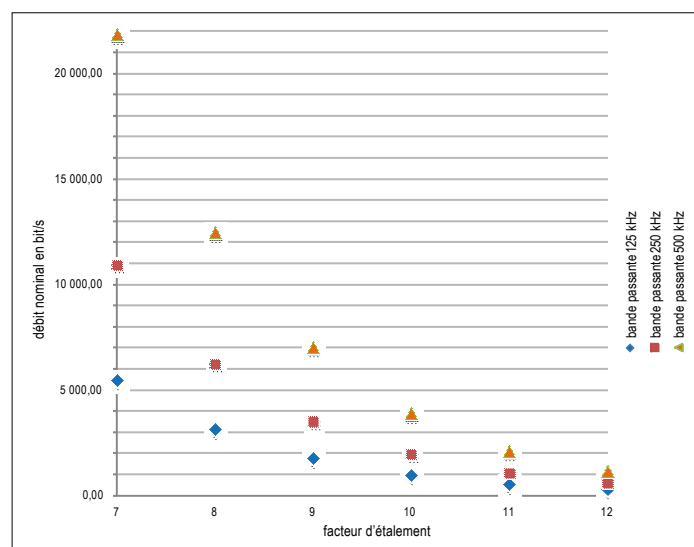


Figure 3. Représentation schématique du rapport entre débit binaire et facteur d'étalement.

réalisé dans cette architecture par le point central des nœuds de communication (*hub*) de la cellule, il s'appelle **concentrateur** et sert de passerelle LoRa. Comme centre de gravité du réseau étoilé, il doit pouvoir recevoir de nombreux canaux en parallèle et du coup, pouvoir gérer des distances et des débits différents. Pour la réalisation de concentrateurs, Semtech, tout comme pour les nœuds de capteurs, propose des modules radio intégrés (SX1255, SX1257, SX1301) qui, grâce à leur architecture particulière et plus complexe que celles des nœuds terminaux, peuvent effectuer toutes ces réceptions parallèles. Dans cette optique, la société IMST GmbH entre autres base son concentrateur sur la puce SX1301 de Semtech. Il est cer-

tifié conforme à la directive européenne R&TTE et propose de multiples possibilités d'accès aux médias et de mise en réseau. Avec une sensibilité de réception allant jusqu'à -138 dBm et une puissance de sortie limitée à 20 dBm, ce concentrateur permet avec LoRa une longue portée dans toute l'étendue de la cellule. Il peut démoduler simultanément dix canaux indépendants les uns des autres. Huit de ces voies servent à la réception sur une largeur de bande de 125 kHz. Il permet de travailler avec tous les facteurs d'étalement utilisés (SF7 à SF12) selon toutes les normes de LoRaWAN, sans devoir faire d'al-

La structure en étoile avec un central de communication au milieu offre de grands avantages dans la gestion des nœuds terminaux. Alors qu'avec des réseaux distribués, il faut une grande quantité de protocoles pour en assurer l'administration, ce contrôle centralisé et la disponibilité immédiate du concentrateur pour les terminaux la réduit à un minimum. Il en découle une utilisation optimale de la capacité radio et une nette diminution de consommation d'énergie pour les terminaux. C'est un gros avantage, parce qu'ils fonctionnent généralement sur batterie.

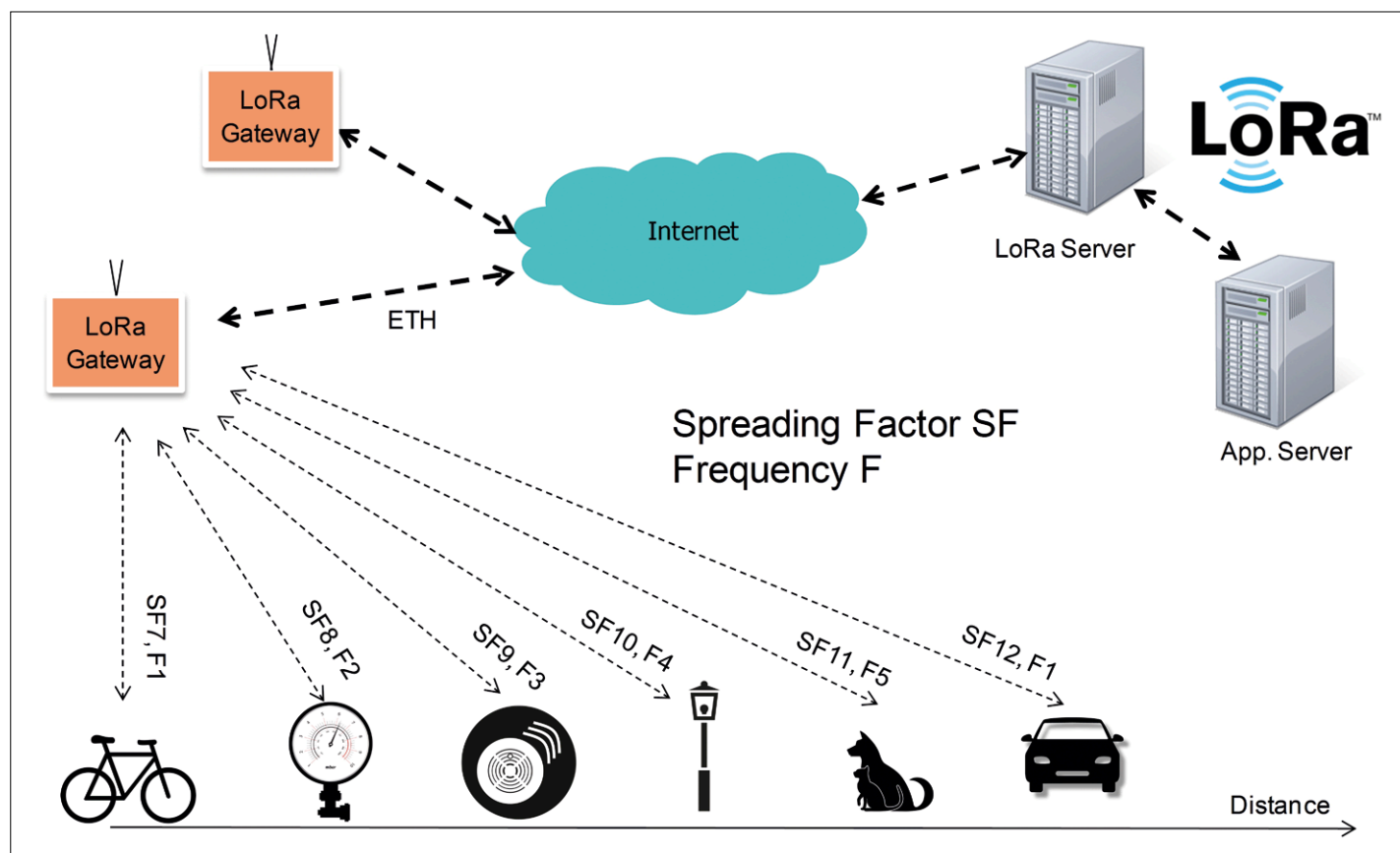


Figure 4. Le réseau LoRaWAN composé de terminaux, passerelles, serveurs de réseau et d'applications.

location fixe. En raison de la perpendicularité des séquences d'étalement utilisées, il peut aussi recevoir en même temps sur une seule fréquence des paquets émis selon différentes séquences d'étalement. C'est réellement ce qui lui permet de recevoir en parallèle des informations simultanées en provenance de différents terminaux.

La neuvième voie est utilisée en émission et réception pour les plus larges bandes (250 kHz et 500 kHz), mais doit pour cela garder une configuration fixe du facteur d'étalement. La dixième voie est disponible en émission et réception à modulation conventionnelle (G)FSK, comme il était d'usage normalisé dans les bandes ISM. En raison de la perpendicularité des séquences d'étalement utilisées, plusieurs abonnés peuvent aussi disposer ensemble d'une même fréquence, pour autant que leurs données soient modulées avec des séquences d'étalement différentes. C'est ce qui permet de grandes cellules de trafic avec des centaines d'abonnés.

Logiciel et protocoles

Évidemment, le logiciel du système qui exécute la pile de protocoles doit tenir compte correctement des nouvelles facultés de l'interface radioélectrique. L'accès aux médias, pour rencontrer la capacité maximale, doit être optimisé en vue de réduire au minimum le nombre de collisions sur le canal radio et les interférences cumulatives pour assurer à l'abonné une réception sans perturbation. On y arrive entre autres en adaptant à tout moment la puissance d'émission et le facteur d'étalement à la situation du réseau radio et spécifiquement en fonction des débits binaires exigés et de la distance des terminaux avec le central. La couche d'accès aux médias (MAC) résout la difficulté au moyen d'un réglage adaptatif du débit (ADR) de données. Pour remplir au mieux les conditions réglementaires, on songe en plus à des procédés d'agilité de fréquence adaptative (AFA) ainsi qu'à l'écoute avant d'émettre (LBT). On pourrait éviter ainsi à l'avenir les limitations réglementaires actuelles du rapport cyclique.

Cellules, passerelles et réseaux

Les systèmes de communication LoRa viendront prochainement compléter idéalement les réseaux mobiles : il n'y a pas de frais pour la transmission de données, les terminaux et les concentrateurs sont bon marché et des distances de l'ordre de celles atteintes actuellement par les cellules de téléphonie mobile sont tout à fait abordables. La topologie des cellules des systèmes LoRa s'adapte donc bien à celles des opérateurs de téléphonie mobile. La **figure 4** schématise l'architecture d'un de ces réseaux. Les passerelles construites à partir des concentrateurs permettent la connexion à l'internet, que ce soit par téléphonie mobile, DSL, Ethernet ou WLAN.

La télémesure est une mine d'applications pour la technique LoRa, elle demande des transmissions de données à débit modéré sur de longues distances. À titre d'exemple, citons l'agriculture, l'industrie, la logistique, les activités environnementales, l'enregistrement des consommations, la surveillance citadine, la domotique.

La grande superficie couverte par un seul concentrateur signifie aussi que de nombreuses applications se situent à portée de ces concentrateurs. Il y a sans doute dans la même cellule autant de capteurs différents que d'abonnés variés.

Il existe une belle occasion de normalisation de la technique de transmission, mais aussi de celle du système sous-jacent. L'idéal serait qu'un seul concentrateur puisse servir de passerelle pour différents abonnés et que leurs données soient quand même individualisées dans une banque de données de l'infrastructure et y restent à disposition pour être redemandées.

Coordination souhaitée

L'interaction et la compatibilité mutuelle des systèmes seront développées par un nouveau comité d'harmonisation du nom de « LoRa™ Alliance » (www.lora-alliance.org) et spécifiées dans une norme. Travaillent ensemble dans ce comité, des fabricants de semi-conducteurs ou de produits radio, des sociétés spécialisées dans le logiciel ou les techniques de l'information, des organismes de contrôle et des opérateurs de téléphonie mobile pour faire approuver une norme harmonisée d'un système écologique LoRa.

Depuis la fondation de *LoRa Alliance* au Mobile World Congress à Barcelone en mars 2015, le nombre de membres de l'alliance a grimpé en flèche de 29 au début à 225 entreprises, compte arrêté au 22 février 2016. L'une des raisons en est certainement la prévision par les analystes de la croissance dans les prochaines années des applications LPWAN.

Le terme LPWAN (*Low Power Wide-Area Network*) recouvre un ensemble de techniques capables de former des réseaux de communication de grande envergure en raison de leur large couverture radio (*Wide Area*) tout en permettant l'alimentation sur batterie de chaque terminal en service (*Low Power*) pendant plusieurs années. Ces exigences de portée et de sobriété sous-entendent un débit de données assez faible, qui en réalité dépend de l'utilisation qui en est faite. Une troisième exigence pour des composants peu onéreux (*Low Cost*) est en définitive un critère essentiel pour la plus grande diffusion possible d'une technique. La technique sans fil de LoRa est, en particulier par

la normalisation en cours et l'harmonisation, un candidat probable pour l'implémentation de LPWAN.

Classes d'appareils

La topologie en étoile utilisée permet de raccourcir l'amoncellement de protocoles (sous forme d'une simple couche de réseau) et de reporter la complexité du système sur un seul point central par étoile. C'est au profit de la simplicité et de la modicité de coût des terminaux. Dans la norme LoRaWAN, il y a actuellement trois classes d'appareils : A, B et C. Les terminaux de classe A accèdent au canal radio lors d'un événement, comme la réception d'une mesure du capteur, pour transmettre leur paquet de données. À l'intérieur du paquet, il peut y avoir une demande d'accusé de réception (*Confirmed*). Après le cycle d'émission, le terminal ouvre deux fenêtres temporelles successives pour pouvoir recevoir la confirmation et éventuellement d'autres données de la passerelle au point central. Les terminaux de classe B travaillent comme les A, mais sont en plus capables de négocier avec la passerelle/le serveur des fenêtres de réception supplémentaires, grâce aux balises de synchronisation (*Beacon*) envoyées par la passerelle. Les terminaux de classe C n'ont généralement pas d'alimentation autonome du fait qu'on peut les configurer en réception permanente.

Pour certifier ces normes, des laboratoires de test proposent déjà des essais d'appareils de classe A, les autres classes suivront. Les procédures de test OTAA (*Over The Air Activation*), ABP (*Activation by Personalization*) ainsi que l'agilité de fréquence sont déjà établies et enregistrées dans un rapport d'essai. Si, lors des essais, une panne survient ou des lacunes sont observées, on peut encore y remédier pendant le déroulement des tests.

Une fois certifiées, les différentes applications peuvent être introduites sans encombre sur les réseaux LoRaWAN. C'est donc une plateforme idéale pour transplanter efficacement et en toute conformité les applications les plus diverses dans un réseau qui assure une haute qualité durable. Par conséquent, dans les années à venir, on s'attend à une forte augmentation d'applications LoRaWAN dans des réseaux en croissance permanente. ◀

(150809 – version française : Robert Grignard)

IMST

La société allemande IMST GmbH (www.imst.de), installée près de Düsseldorf, est un bureau d'étude et un centre de développement de modules radio, de systèmes de communication, de conception de puces, d'antennes, de logiciel de CAO, avec certification réglementaire et un centre d'essais accrédité. IMST propose aussi bien des produits normalisés comme des modules radio avec matériel et logiciel, que le développement de systèmes complets et de produits.