Réf. : ONSAR3203

Perfectionnement des services de localisation en intérieur avec Bluetooth® Core Specification v5.1 AoA (angle d'arrivée)

Qu'est-ce que la technique Angle d'arrivée et comment la déployer ?

Par : Denis Zebrowski, Field Applications Systems Engineer, onsemi

Bluetooth® Core Specification v5.1 représente une avancée majeure dans le développement de la technologie Bluetooth, notamment pour ses capacités en radiogoniométrie*. Grâce à elle, les services de localisation gagnent considérablement en précision, cruciale pour la géolocalisation en intérieur et le suivi ou la traçabilité d'objets.

Figure 1 : Bluetooth Angle d'arrivée est de plus en plus sollicité dans les établissements de santé.

La radiogoniométrie Bluetooth est une technologie de pointe améliorant les services de localisation dans de nombreux dispositifs. Il existe deux méthodes : Angle d'arrivée (AoA) et Angle de départ (AoD).

Dans le commerce de détail physique, les modèles de data permettant d'analyser le flux de marchandises, les schémas récurrents de comportement et les tendances en matière d'utilisation sont en plein essor, avec pour objectif des indicateurs KPI. Citons en exemple la durée du service, les itinéraires empruntés le plus souvent, les points

névralgiques et autres métriques en lien avec le comportement des consommateurs (Figure 2).

Figure 2 : Exemple de visualisation de données retail « most used » sur le plan du point de vente.

Les méthodes radiogoniométriques de Bluetooth, exploitables aussi bien sans connexion qu'en mode connecté, sont adaptables pour un éventail d'applications encore plus large. Elles ouvrent pour les années à venir de toutes nouvelles perspectives dans le domaine des liaisons sans fil et des services de localisation.

< VIDEO: How RSL15 Enables Asset-Tracking with Low-Power Bluetooth 5.2 >

Comment fonctionne AoA et quels en sont les principes de base ?

Si les deux méthodes AoA et AoD reposent sur les mêmes principes fondamentaux en ce qui concerne la mesure de signaux de fréquence radio, elles diffèrent dans leur approche du traitement des signaux et des configurations d'antennes. Un réseau d'antennes permet aux dispositifs de déterminer la direction d'un signal avec beaucoup plus de précision qu'auparavant (figure 3).

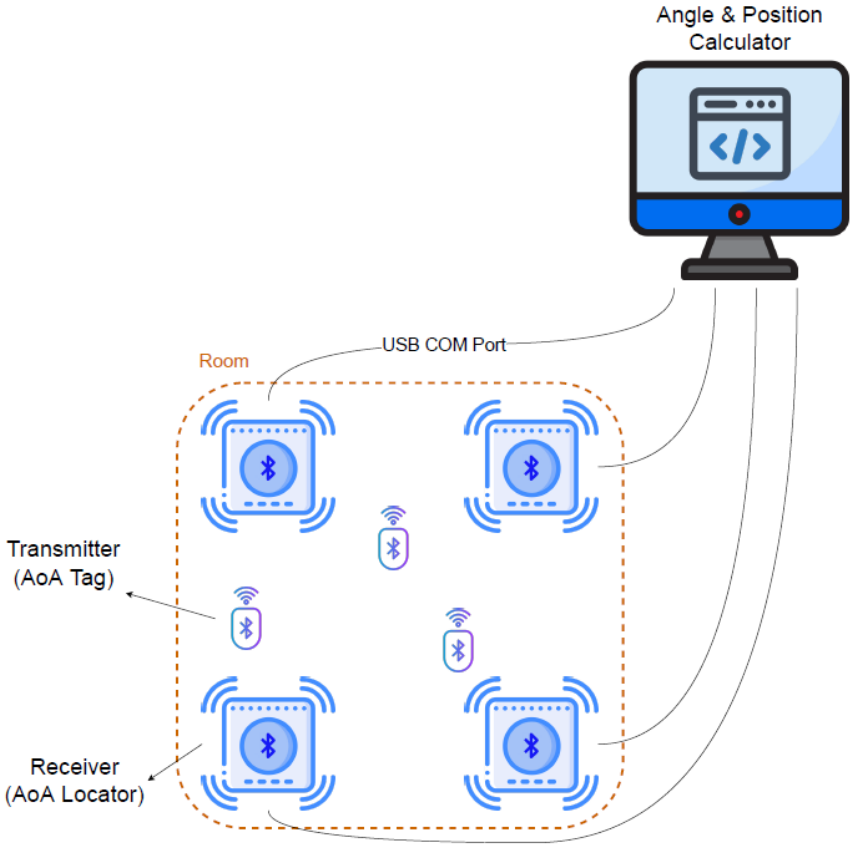

Figure 3 : Vue d'ensemble du système de recherche de direction (structure AoA).

Le système de recherche de direction se compose des éléments suivants :

- Émetteur (tag AoA)
- Récepteur (localisateur AoA)
- Processeur Angle et positionnement

La technique de recherche de direction utilisée par Bluetooth intègre un émetteur diffusant un signal appelé CTE (extension à tonalité continue). Le récepteur, équipé d'antennes multiples, utilise alors ce signal pour déterminer la direction de la source (figure 4).

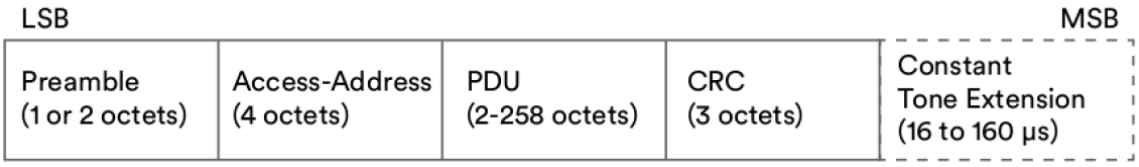

Figure 4 : Bits CTE ajoutés au paquet de Bluetooth LE.

Les principes de base des mécanismes « AoA » peuvent se résumer en quelques paliers (figure 5) :

1. Les tags lancent la communication en envoyant en broadcast des paquets d'annonces (advertising étendu) sur des canaux primaires. Suit alors la publicité transmise à intervalles réguliers sur des canaux secondaires.
2. Les localisateurs détectent le broadcast d'annonce, synchronisent avec les tags avant de capturer les publicités périodiques qui incluent le signal CTE.
3. Le signal CTE est échantillonné par les localisateurs, produisant un ensemble de données appelé IQ échantillons.
4. Ces échantillons IQ sont traités par un calculateur d'angle qui détermine l'angle entre le tag et le localisateur.
5. Une fois connus les angles entre un tag et des détecteurs multiples, le système peut trianguler la position du tag, permettant un suivi d'emplacement précis en mode AoA sans connexion.

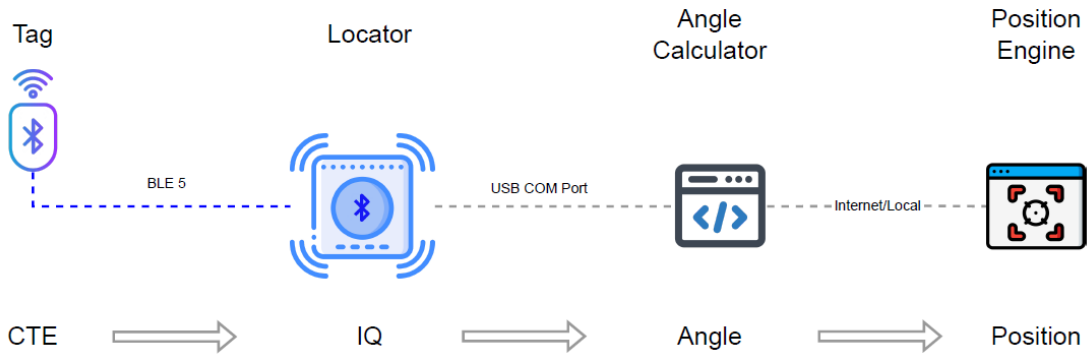

Figure 5 : Flux des données dans un système de recherche de direction AoA.

Quand un émetteur diffuse un signal, celui-ci se propage à la vitesse de la lumière en trois dimensions, comme dans une succession de sphères concentriques.

Pour simplifier l'idée du calcul de l'angle d'arrivée ou de départ, considérons-le seulement en deux dimensions sur le plan cartésien bidimensionnel. De nos jours, ce cas de figure est surtout utilisé dans les applications de suivi ou de traçabilité des objets. En effet, la troisième coordonnée correspondant à «l'élévation» de l'objet n'est pas jugée pertinente (figure 6).

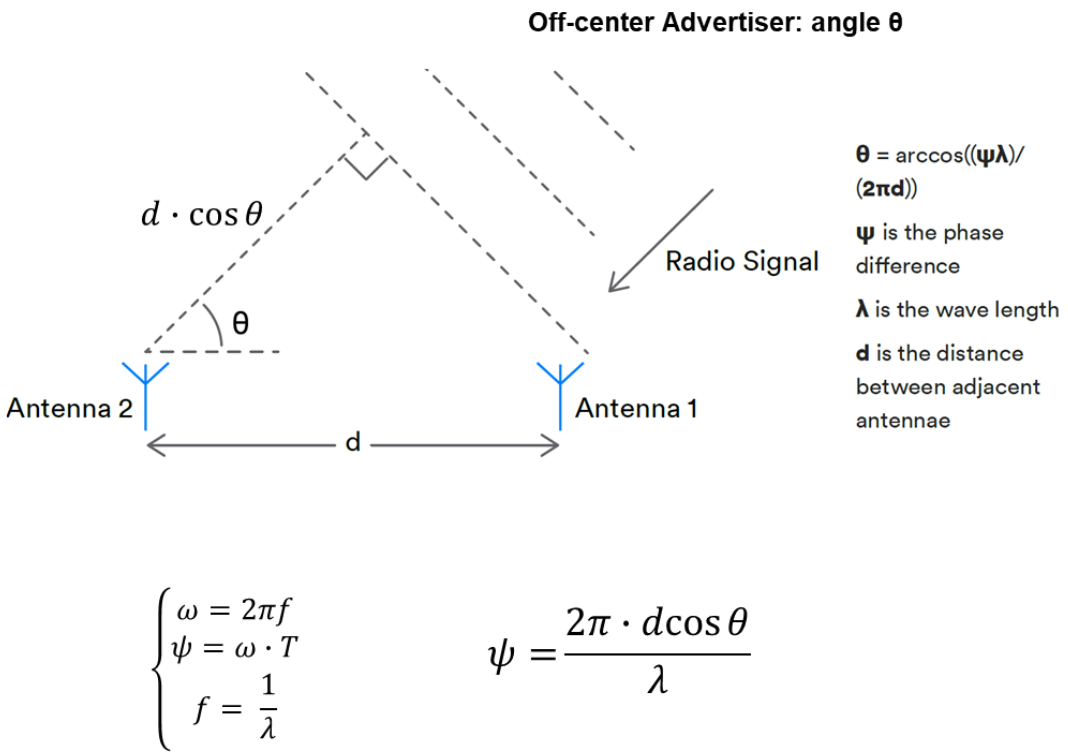

Figure 6 : Principes Angle d'arrivée.

En mesurant la différence de phase entre les deux antennes réceptrices (Ψ 2 - Ψ 1), la distance entre les deux (d) et la longueur d'onde du signal (λ) étant connues, la trigonométrie permet de calculer l'angle du signal.

La démodulation I/Q est une étape critique pour les récepteurs radio modernes. Elle implique d'extraire les composants des données I et Q du signal CTE reçu. L'entrée RF est multipliée par un phaseur complexe (composants I et Q) avant d'être filtrée et sous-échantillonnée pour obtenir les informations de modulation I et Q (figure 7).

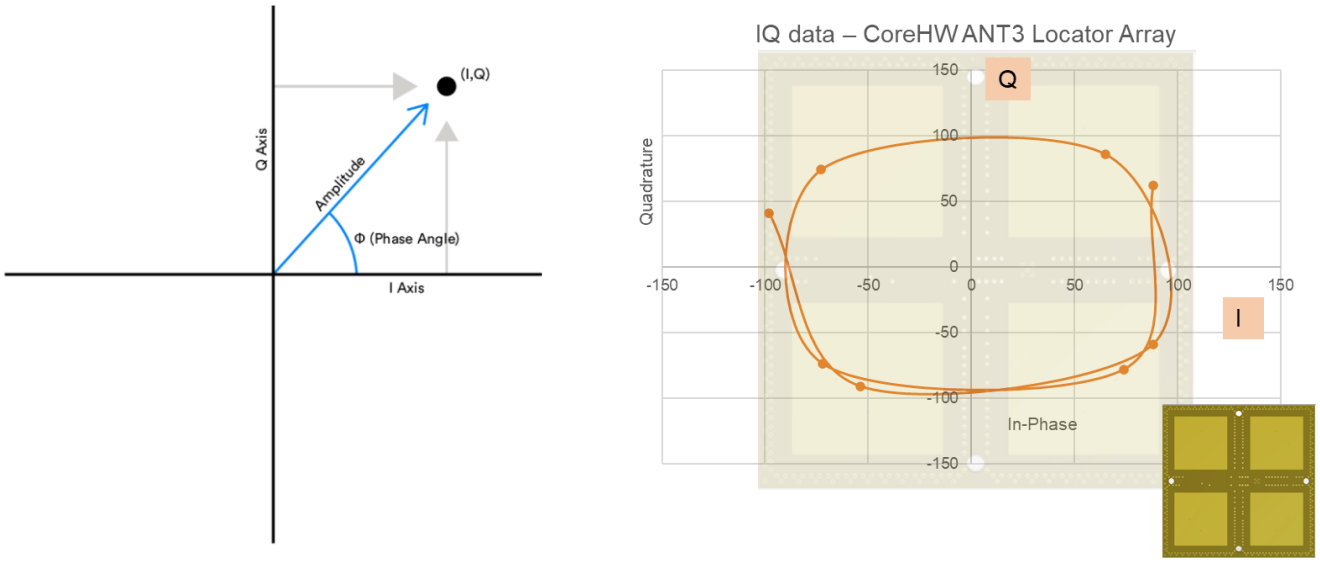

Figure 7 : La représentation graphique de gauche figure les coordonnées IQ. À droite, la position du tag mesurée par un réseau de 4 antennes visualisée dans le plan IQ.

Voici le fonctionnement typique de ce procédé (figure 8) :

- **Transposition :** Les données I/Q sont multipliées par un phaseur complexe (paire sinus et cosinus) à la fréquence de la porteuse ou à une fréquence voisine. Cette transposition amène le signal en fréquence intermédiaire (IF).
- **Filtrage passe-bas :** Après la transposition en fréquence, un filtre passe-bas supprime les composants haute fréquence non désirés, ne laissant que le signal en bande de base.
- **Décimation :** Le signal filtré est ensuite sous-échantillonné, réduisant le taux d'échantillonnage tout en préservant les informations essentielles.

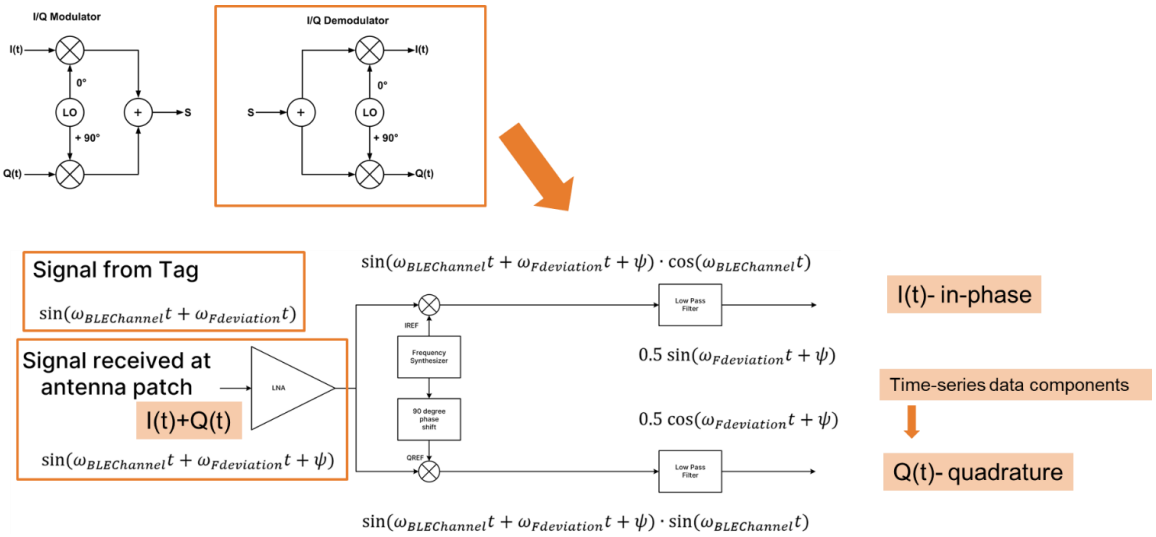

Figure 8 : Démodulation des données IQ au sein de l'appareil Bluetooth partie (front end) RF.

< Pour en savoir plus TND6431 - Designing Power-Efficient Wireless Location Finding Systems (onsemi.com) >

Considérations liées à la conception et contraintes

Dans les systèmes de positionnement plus précis avec la troisième coordonnée cartésienne en sortie, il est nécessaire de calculer au moins deux angles pour montrer la relation entre l'émetteur et le récepteur en trois dimensions (triangulation). Pour obtenir le second angle, un deuxième localisateur AoA est requis. Ces deux angles sont connus sous le nom d'azimut et élévation.

L'autre méthode qui ne requiert aucune mesure d'angle est appelée trilatération. Elle est souvent mise en œuvre en mesurant la distance du Time-of-Flight (ToF) pour laquelle on utilise Le channel Sounding (Bluetooth 5.4) ou L'une de ses variantes Ultra-Wide-Band (UWB).

Le Channel Sounding (CS), sorti avec la version 5.4 Bluetooth Core Specification (et précédemment appelé HADM - High Accuracy Distance Measurement dans la nomenclature Bluetooth), représente une alternative, de très grande précision, à la mesure de la distance fondée sur la puissance du signal reçu (RSSI). Grâce à CS, les applications utilisant déjà Bluetooth Low Energy sont en mesure de bénéficier de précision accrue sans coût supplémentaire pour le matériel.

	RSSI	**Angle d'arrivée**	**Channel Sounding**

Métrique localisation	Estimation de la distance à partir de la force du signal reçu	Angle relatif entre deux points	Distance entre deux points avec ToF et télémétrie basée sur la mesure de phase dite PBR
Antennes requises	Une seule antenne	Antenne multiple selon les spécifications	Antenne multiple non requise, mais utile pour une résolution optimale de la position
Connectivité Bluetooth LE	Orienté connexion et sans connexion	Orienté connexion et sans connexion	Sans connexion
Métriques performance	+/- 5 m, très vulnérables aux interférences de trajets multiples	+- 3 degrés précision – azimut +- 5 degrés précision – élévation	+- .3 m < 5m avec mesure de phase PBR +- 0,5 m > 5 m avec mesure de phase PBR
Avantages des solutions	Technique de mesures RSSI omniprésente dans les produits Bluetooth LE existants	● Solution évolutive pour un suivi de position en temps réel ● Longévité batterie de 5 à 10 ans	● Faible encombrement, choix d'antennes flexible ● Niveau supplémentaire de sécurité par proximité

Tableau 1 : Comparaison des technologies de télémétrie Bluetooth LE.

Solution RSL15 AoA de onsemi

Le microcontrôleur RSL15 5.2 conçu par onsemi permet un suivi d'objets fiable grâce à la méthode Angle d'arrivée. Ce projet se compose de deux constituants :

- Scanner: ble_scanner_DF_multiple application sur la carte du localisateur.
- Advertiser: ble_advertiser_DF application pour les procédures de publicité sur les cartes des tags.

Le cœur sans fil du scanner et de l'advertiser est onsemi's RSL15 5.2 System-on-Chip. Sinon, une solution plus intégrée basée sur le même produit onsemi comprend le dispositif Murata's System-in-Package 2EG (figure 9).

Le scanner reçoit les signaux CTE émis par le tag publicitaire à partir duquel les échantillons IQ sont obtenus.

Ces échantillons sont ensuite envoyés à une autre application qui s'exécute sur PC ou dans le cloud pour calculer l'angle entre le scanner et l'advertiser. Pour terminer, les angles calculés sont convertis en coordonnées cartésiennes et représentées en deux ou trois dimensions.

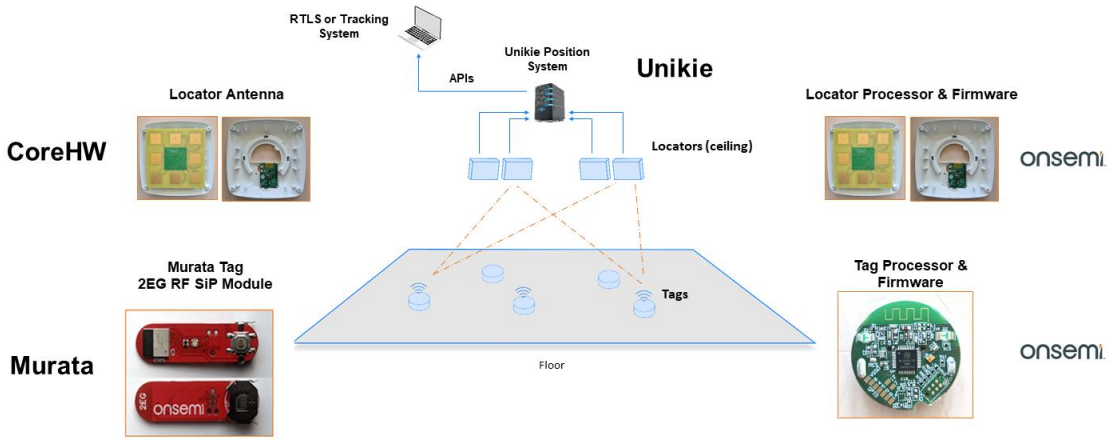

Figure 9 : Solution complète de bout en bout, des tags Bluetooth LE aux données en temps réel de la position.

Le code échantillon mentionné ci-dessus pour les deux applications est disponible sans frais dans le pack CMSIS de onsemi téléchargeable sur le onsemi website (figure 10).

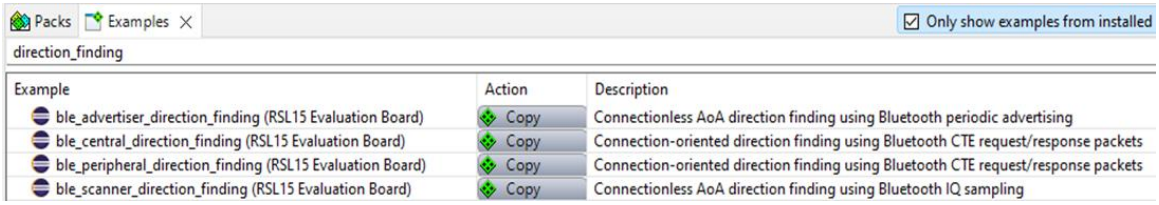

Figure 10 : Exemples de code échantillons de onsemi pour les modes connectables ou non.

L'outil onsemi power estimator tool est accessible à tous. Vous pouvez le télécharger et l'utiliser pour vérifier quels paramètres et schémas de communication utiliser et pour optimiser la durée de vie des batteries. Il s'agit d'une précieuse source d'informations sur les aspects théoriques de la performance attendue du système et de ses limitations (figure 11).

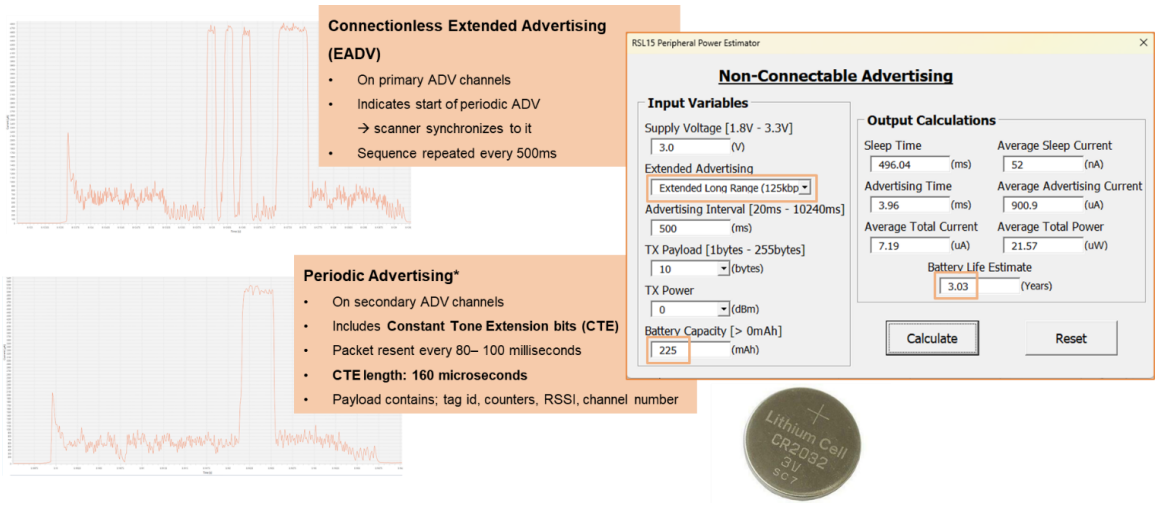

Figure 11 : Estimateur onsemi de la durée de vie de la batterie et métriques de la recherche de direction.

CoreHW conçoit et fournit des cartes réseau en divers facteurs de forme qui sont aptes à détecter la position à l'échelon des centimètres. Ces cartes antennes prêtes pour la production se situent dans la bande de fréquence 2400−2483 MHz comprenant jusqu'à 16 ports antennes à une seule extrémité (figure 12).

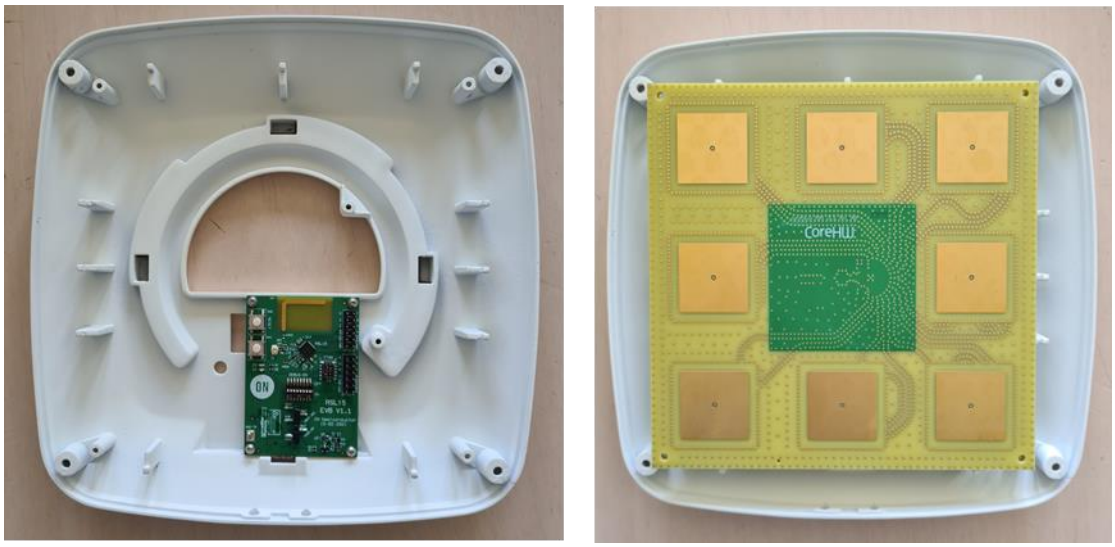

Figure 12 : RSL15 EVB de onsemi à l'intérieur du localisateur CoreHW.

Les antennes incorporent le commutateur d'antenne CHW1010 SP16T Bluetooth AoA et AoD pour sélectionner l'antenne, avec les connecteurs pour RF et les signaux commande numérique pour une interface aisée BLE cartes de contrôle SoC (figure 13).

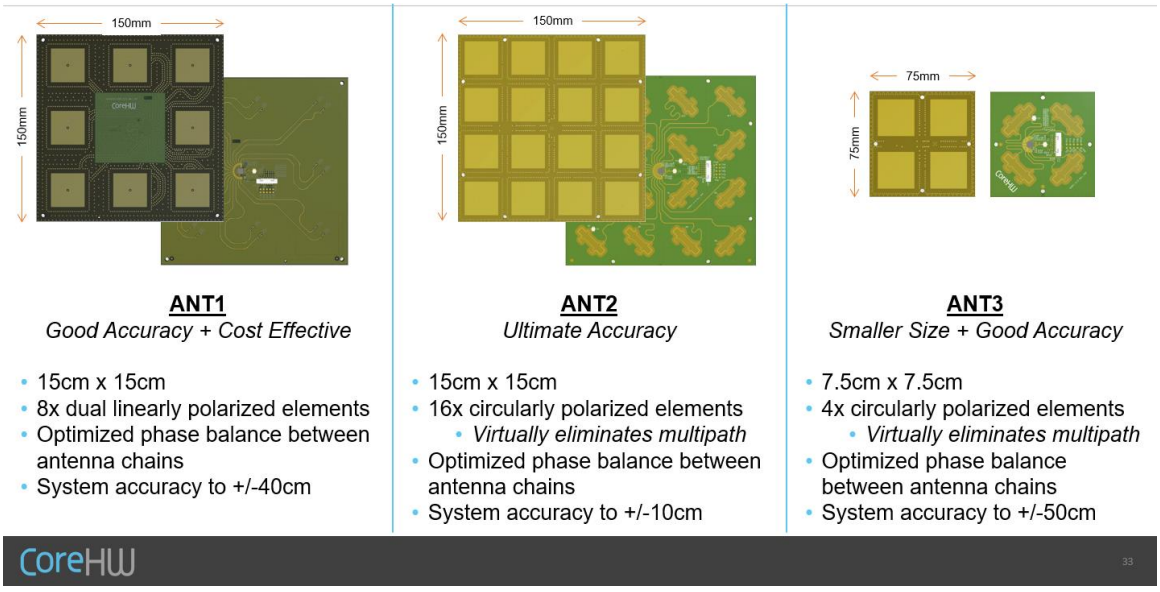

Figure 13 : Réseaux d'antennes CoreHW.

Unikie's Bluetooth Low Energy Localization Engine est destiné au suivi en temps réel des tags Bluetooth Low Energy. Les données générées peuvent être traitées sur un serveur de périphérie ou dans le cloud, offrant plus de souplesse et un meilleur rapport coût-efficacité (figure 14). En outre, les API du moteur de localisation peuvent être facilement intégrées dans les systèmes d'entreprise pour appuyer des modélisations de données sophistiquées. Cela permet aux services Géo dépendants et de gestion

des éléments d'actif une meilleure compréhension des flux de matériel et marchandises, des taux d'utilisation et des schémas de comportement.

Figure 14 : Moteur logiciel de Unikie pour les applications de positionnement.

Conclusion – Comment le dispositif RSL15 peut-il répondre aux nombreux défis ? Qu'a-t-il de si spécial ?

Les conditions préalables essentielles à l'adoption d'une recherche de direction par Bluetooth demeurent la longévité et le coût du dispositif de tags. Chez onsemi, nous considérons que nos Bluetooth SoCs constituent un grand pas vers l'atteinte de cet objectif. Nous tenons à fournir au marché les meilleures solutions technologiques consommant très peu d'énergie, et pour un coût raisonnable.

Ensemble, notre but est de partager les connaissances en lien avec la mise en œuvre de tels systèmes pour rendre la tâche de nos clients plus facile. Mais aussi de réduire l'écart entre les individus et des technologies qui ne cessent d'évoluer afin qu'ils en profitent pleinement dans leur quotidien.

Références

1) Bluetooth Core Specification 5.1 Core Specification | Bluetooth® Technology Website

2) Bluetooth® Low Energy Angle of Arrival Location Solution – Tags, Receiver, Antenna, Firmware, Application Software Bluetooth® Low Energy Angle of Arrival Location Solution – Tags, Receiver, Antenna, Firmware, Application Software | Bluetooth® Technology Website
3) AND90234 - Developing a Location Finding System (onsemi.com)
4) BLE-based Real-Time Positioning solutions - Unikie
5) CHW1010-ANT1_Product_Brief_v1.5.pdf (corehw.com)
6) Indoor Location System and Indoor Tracking | CoreHW
7) Bluetooth Channel Sounding - A Step Towards 10-cm Ranging Accuracy for Secure Access, Digital Key, and Proximity ServicesBluetoothチャネルサウンディング　～セキュアアクセス、デジタルキー、近接サービスに活用できる10cm単位の測距精度へ前進～ | Bluetooth® Technology Website
8) How AoA & AoD Changed the Direction of BluetoothLocation Services | Bluetooth® Technology Website
9) onsemi. “Using IoT Asset Tracking Technologies for Personal Safety Applications and Social Distancing” août 2021 - Rev. 1
10) 4 Martin Woolley. “Bluetooth Direction Finding, A Technical Overview” 22 février 2021
11) * - source: https://www.cnrtl.fr/definition/radiogoniom%C3%A9trie