

balises Bluetooth : la pratique

Géolocalisation *intra muros*

Veikko Krypczyk

Pour la géolocalisation à l'extérieur, on fait appel généralement au GPS ou au téléphone portable, mais que fait-on pour localiser des personnes et des objets à l'intérieur de bâtiments où ne pénètre aucun signal de satellite et sans connexion de téléphonie mobile ? On peut utiliser des balises *Bluetooth Low Energy*. Voici comment cela fonctionne !



Balise sphérique de la pointe de Cuxhaven érigée en 1718 (© A.Savin, WikiCommons, https://de.wikipedia.org/wiki/Kugelbake#/media/Datei:Cuxhaven_07-2016_photo23_Kugelbake.jpg)

Il y a des siècles, la balise (*beacon* en anglais) était un repère visible, naturel ou artificiel, qui indiquait p. ex. aux marins la route à suivre dans les eaux côtières dangereuses. Avec

l'avènement de la communication radio dans la navigation à la fin du XIX^e siècle, ces balises fixes, généralement disposées en chaîne, ont été équipées d'émetteurs (balises maritimes).

Chacune émettait à intervalles réguliers un code Morse individuel d'identification tous azimuts, de sorte qu'un navire pouvait caboter de balise en balise.

Après les marins vinrent les aviateurs : dès les premières tentatives dans les années 1920 d'utiliser la radio pour l'approche à l'atterrissage sans visibilité, l'ingénieur Ernst Ludwig Kramar a conçu un système d'atterrissage aux instruments dans le bas de la gamme VHF, appelé Faisceau Lorentz [1], installé dans des aéroports du monde entier au début des années 1930. Avec l'avènement de la navigation GPS, les radiobalises ont perdu de leur importance dans la navigation maritime (à l'exception des balises de détresse). Dans l'aviation, différentes radiobalises sont toujours en service.

Au début du 21^e siècle, avec les téléphones portables, une nouvelle forme de balise est apparue, analogue aux balises marines originales : les balises multiples émettent des identifiants individuels reçus par un appareil mobile. En fonction de la puissance des signaux d'identification reçus, un logiciel approprié détermine la position du téléphone (de la tablette ou d'une autre forme d'électronique portable) par rapport aux balises reçues. Bien entendu, on n'utilise pas de transmission FM pour cela, mais une transmission à *faible consommation d'énergie connue* sous le nom *Bluetooth Low Energy (BLE)*. Cela vous dit-il quelque chose ? Mais oui, c'est le principe des applications d'alerte Corona !

Cet article présente la technique qui réunit matériel (balises) et logiciel (configuration et application). Lors de nos premières expériences, nous nous familiariserons avec le sujet et créerons ainsi la base de nos propres applications.

Innombrables applications

Les mesures de distance et la localisation à l'intérieur des bâtiments sont des applications typiques des balises. En combinant plusieurs balises, une grande variété d'utilisations est concevable dans la vie privée ainsi que dans les affaires : le *marketing* géolocalisé, les *achats* mobiles et diverses applications de réalité mixte et augmentée. Des informations ou des publicités spécifiques peuvent être transmises à des utilisateurs quand ils se trouvent à un endroit précis dans un bâtiment.

➤ **Achats mobiles** : les informations sur les produits, les offres en cours, les codes de réduction, etc. pour des articles individuels peuvent être affichés sur le téléphone tactile du client. Aux utilisateurs intéressés par des produits spécifiques d'une certaine catégorie, on peut proposer des produits complémentaires. Des clients peuvent ainsi



Figure 1. Cas d'utilisation de balises.

être guidés à travers une gamme de produits. Les balises permettent aux détaillants de contacter le téléphone tactile des clients en fonction de leur position. Les analyses de marché exploitent des données de progression des clients dans le magasin pour en optimiser le placement sur des surfaces étendues. C'est ce qu'illustre le scénario de la **figure 1**. La balise envoie un signal par BLE (étape 1). Ce signal est reçu par le téléphone tactile (étape 2). L'application appropriée est alors réveillée en arrière-plan (étape 3). L'application reconnaît et enregistre la balise en fonction de son ID (étape 4), demande des informations complémentaires à un serveur en coulisses (étape 5) pour les présenter sur l'écran du téléphone tactile (étape 6).

➤ **Navigation** : les balises sont utilisables pour la navigation dans les bâtiments, p. ex. dans les musées, les gares, les aéroports ou les stades. Elles sont placées à différents endroits du bâtiment, les signaux sont envoyés aux appareils mobiles par Bluetooth. De cette façon, la position de chaque appareil mobile et de son utilisateur peut être déterminée en permanence et transmise au système de navigation intérieure. Pour interpréter

ces signaux, il faut une application sur le téléphone tactile. Le nombre de balises dans le bâtiment dépend de la superficie à couvrir et de la précision souhaitée.

- **Améliorer l'accessibilité** : des instructions vocales et visuelles ciblées, p. ex. sur un écran, peuvent faciliter la circulation de personnes handicapées dans des lieux complexes ou très fréquentés.
- **Logistique** : en plaçant des balises le long de la chaîne d'approvisionnement ou de logistique, il est possible de combiner les balises avec d'autres techniques modernes telles que la RFID ou la gestion de flotte en temps réel, afin d'optimiser la logistique.

Un avantage particulier de ces balises est leur faible consommation d'énergie, qui permet un fonctionnement de longue durée sans alimentation électrique externe. L'utilisation des données résultantes est toutefois un sujet sensible pour des raisons de protection de la vie privée, car elles permettent d'analyser le comportement de l'utilisateur (position, distances de marche, temps de résidence). Les utilisateurs doivent consentir à l'utilisation de ces données par l'application qui assure le suivi sur l'appareil mobile. Les balises elles-mêmes n'envoient que les signaux, elles ne sont généralement pas des récepteurs (voir

BALISES ET VIE PRIVÉE

Les balises n'émettent que des **informations sans référence personnelle** et ne peuvent ni recevoir ni traiter elles-mêmes des données. À cet égard, l'envoi de signaux ne pose aucun problème de protection des données. Une référence personnelle ne serait concevable que si une balise est attribuée à une personne spécifique (qui porte une balise à des fins d'identification, par exemple), à condition que d'autres informations de l'utilisateur soient liées à cette donnée.

Ces informations sont reçues et traitées par l'**application installée** sur le téléphone. Comme cette application est ordinairement connectée à un **compte d'utilisateur**, on aura ici une référence personnelle. Le programme peut p. ex. traiter des informations telles que le lieu et la durée de présence d'un client particulier dans un rayon, ou même analyser son comportement d'achat. En raison de cette référence personnelle, ces données ne peuvent être traitées qu'avec le **consentement de la personne concernée**. Étant donné que la personne concernée doit installer activement l'application nécessaire sur son téléphone, elle doit être informée dans une **déclaration de protection des données** avant l'utilisation conformément à la réglementation sur la protection des données. Dans ce contexte, l'utilisateur doit notamment être informé de la **finalité de ce démarchage commercial** (art. 13 RGPD). La responsabilité de la protection des données incombe donc essentiellement aux fournisseurs d'applications qui traitent les informations reçues des balises. Si le fournisseur informe suffisamment ses utilisateurs et obtient leur consentement conformément aux lois sur la protection des données, rien ne devrait s'opposer à l'utilisation de balises.

(selon David Oberbeck, du bureau allemand de protection des données [19])

également l'encadré « Balises et vie privée »).

Faible énergie Bluetooth

C'est Nokia qui le premier a utilisé BLE en 2006 pour la transmission unidirectionnelle de données. Les appareils BLE consomment beaucoup moins que les appareils Bluetooth traditionnels. La batterie d'une balise dure en moyenne plusieurs années. La production de modules BLE est également beaucoup moins chère que celle des appareils Bluetooth classiques. En 2013, Apple a mis la technolo-

gie *Beacon* à la disposition du grand public. Fabricants et concepteurs désireux de l'utiliser devaient d'abord en demander une licence à Apple avant de pouvoir utiliser le **kit de développement logiciel** (SDK) et les bibliothèques de programmes. Il existe aujourd'hui de nombreuses entreprises spécialisées dans la production de dispositifs de signalisation par balises. Il existe trois types de balises avec différents formats de données, qui se distinguent par le format des données :

- **iBeacon** : défini par Apple. Voir [2] pour une introduction au sujet et la spécification complète.
- **AltBeacon** : ouvert, sans frais de licence. [3].
- **Eddystone** : ouvert, défini par Google [4].

Comment fonctionnent les balises ? Les balises compatibles BLE envoient à intervalle fixe de courts messages en mode Bluetooth à faible consommation d'énergie, qui peuvent être reçus par les appareils compatibles Bluetooth à proximité immédiate. Il s'agit d'un *processus dit de diffusion*. De même, tout téléphone, tablette ou montre tactiles équipés du BLE peut être considéré comme balise potentielle. Il existe toutefois une différence importante : un téléphone tactile ou une tablette peut envoyer des signaux BLE et en recevoir. Les balises, en revanche, se contentent d'envoyer les signaux à courts intervalles réguliers pour créer une région de signal. Un logiciel correspondant (appli) doit être installé sur le téléphone tactile afin d'utiliser les données de localisation résultantes.

Spécifications

Quelles sont les informations émises par une balise ? Il faut ici distinguer les types de balises *iBeacon*, *AltBeacon* et *Eddystone* (fig. 2).

Commençons par la spécification des données des *iBeacons* (fig. 2a). Ici, les valeurs individuelles signifient [5] :

- **Préfixe** : il contient les données hexadécimales : *0x 020106 1AFF 004C 02 15* où *0x 020106* définit l'information générale selon laquelle l'émetteur est incompatible avec le haut débit et se contente de la diffusion (envoi) sans connexion (bidirectionnelle). *0x1AFF* indique que les données suivantes font 26 octets et sont spécifiques au fabricant. *0x004C* est l'ID du signal Bluetooth d'Apple. *0x02* est un ID secondaire et *0x15* définit la longueur restante, soit 21 octets (16+2+2+1).
- **UUID (Universally Unique Identifier)** : cette valeur de 16 octets identifie de manière unique les données envoyées à l'*iBeacon* dans les systèmes à composants multiples.
- **Major** : la valeur *major* compte 2 octets. Elle définit la région du signal.
- **Minor** : la valeur *minor* compte également 2 octets et détermine une sous-région.
- **TX Power** : indique la puissance poten-

Tableau 1 : Les termes « majeur » et « mineur » sont utilisés pour attribuer une région et une sous-région à une balise [14].

		Taille	San Francisco	Paris	Londres
UUID		16 octets	D9B9EC1F-3925-43D0-80A9-1E39D4CEA95C		
Major		2 octets	1	2	3
Minor	Habits	2 octets	10	10	10
	Maison		20	20	20
	Électro		30	30	30

tielle du signal. Elle est utilisée par l'application pour déterminer à quelle distance se trouve la balise du téléphone. Veuillez noter que la valeur de *TxPower* doit être calibrée par l'utilisateur pour être précise.

Le **tableau 1** présente un exemple de cartographie des données *majeures* et *mineures* pour la navigation intérieure dans un grand magasin.

Venons-en maintenant à la spécification du format des données pour les *types AltBeacon* (fig. 2b). La spécification *AltBeacon* compte 28 octets, dont 26 personnalisables par l'utilisateur. Les deux premiers octets sont déterminés par la pile BLE. *ADV Length* et *ADV Type* précisent la longueur du paquet de données et le type. Toutes les autres valeurs peuvent être configurées.

Enfin, les balises de type *Eddystone* peuvent être définies dans différentes variantes (fig. 2c), utilisables en combinaison ou individuellement. Cela signifie :

- **UUID** : un identifiant unique de 16 octets est émis.
- **EID** : cette trame envoie un identifiant de courte durée et chiffré pour augmenter la sécurité des données.
- **URL** : une URL est émise. Les utilisateurs peuvent utiliser les URL pour accéder au contenu sur l'internet.
- **TLM** : réservé à l'émission des données d'état de la télémétrie par la balise elle-même. Ces informations comprennent la tension de la batterie, le nombre de paquets de diffusion et la température de l'appareil.

Si vous développez des applications avec des balises, tenez compte du type de balise ou prévoyez une option de sélection par le logiciel.

Localisation par trilatération

L'application sur l'appareil mobile identifie les générateurs de signaux et calcule les distances entre les émetteurs et le récepteur en fonction de la puissance de transmission entrante. La puissance d'émission a un effet direct sur la portée du signal. Plus la puissance est forte, plus la portée est grande. *L'indicateur de force du signal reçu (RSSI)* décrit la force du signal de la balise sur le téléphone. La distance est déterminée en mettant en relation la puissance du signal reçu avec la valeur RSSI attendue (selon la fiche technique) à une distance d'un mètre.

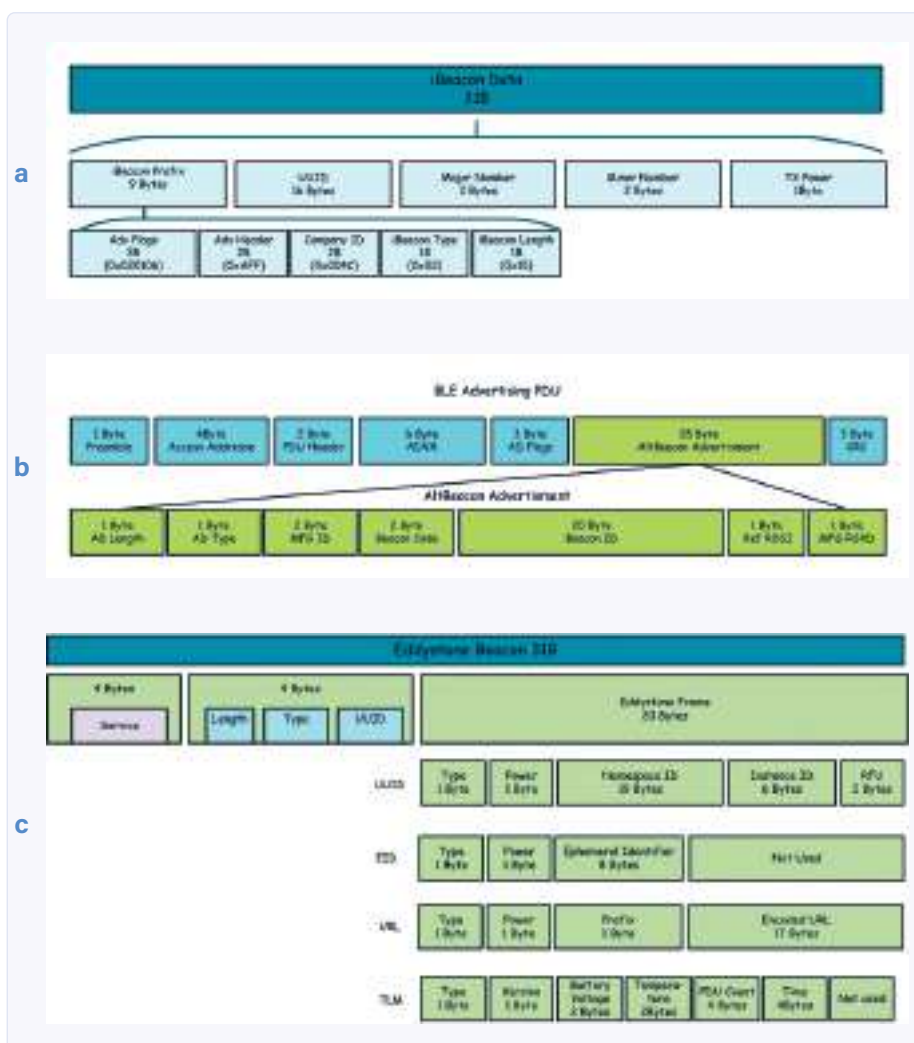


Figure 2. Spécifications des types de balises ([15], [16], [17], [18]).

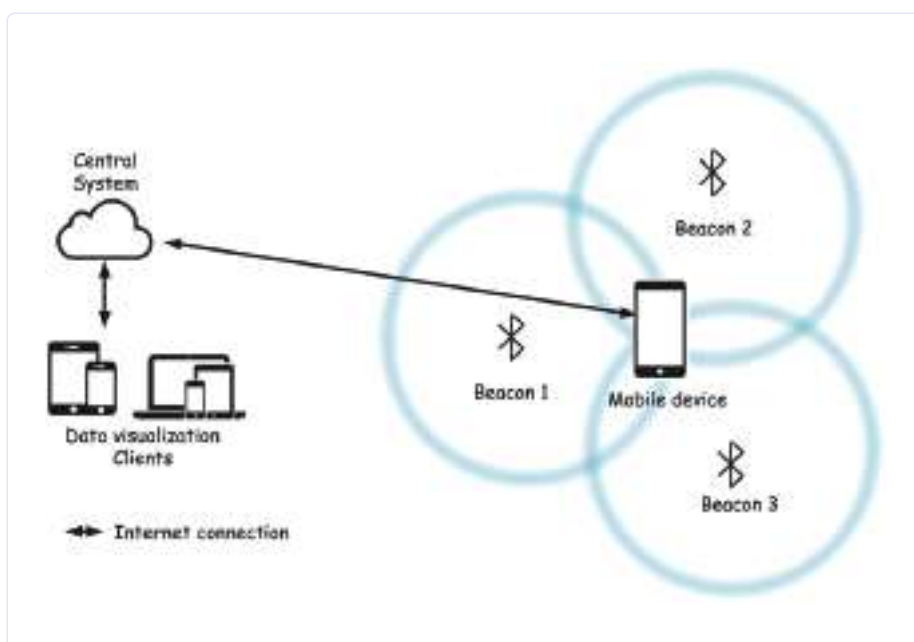


Figure 3. Le principe du suivi à l'intérieur à l'aide de balises.



Figure 4. Balise EMBC01 de EM Microelectronic.

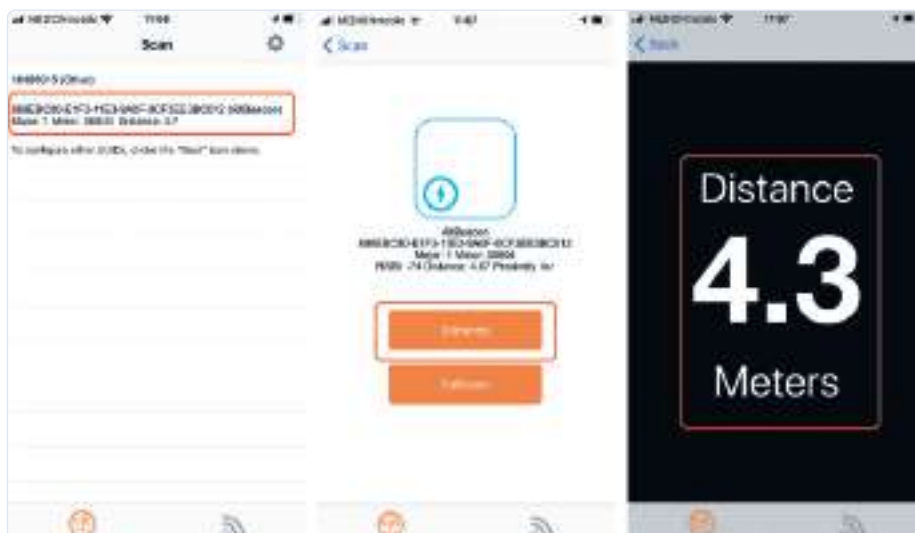


Figure 5. Affichage de la distance dans l'application EMBC Finder.

La mise à l'échelle des valeurs du RSSI est laissée aux fabricants de puces : les fiches techniques montrent comment la valeur du RSSI peut être convertie en puissance. Les valeurs sont exprimées en décibel milliwatt (dBm). La formule suivante décrit généralement la relation entre valeur du RSSI et distance [6], [7] :

$$RSSI = -(10 n \log_{10} d + a)$$

où
 n = valeur d'amortissement dépendant de l'environnement
 a = puissance du signal reçu avec l'émetteur à un mètre de distance (puissance du signal de référence selon la fiche technique) et
 d = distance entre émetteur et récepteur.
 Pour un environnement intérieur, on suppose

une valeur de $n = 3$. Il convient de noter que plus l'émetteur et le récepteur sont éloignés l'un de l'autre, plus la précision des mesures se dégrade et donc aussi la précision de la distance déterminée.

Pour pouvoir déterminer la position avec précision, au moins trois balises sont nécessaires (fig. 3). Comme pour le GPS, les distances entre unités sont mesurées selon le principe

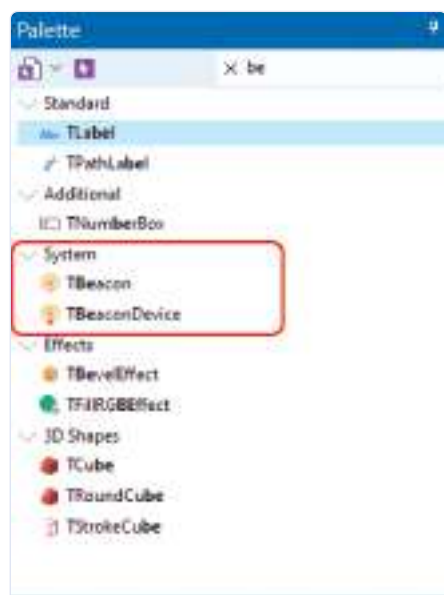


Figure 6. Grâce aux composants TBeacon et TBeaconDevice la complexité est bien encapsulée.

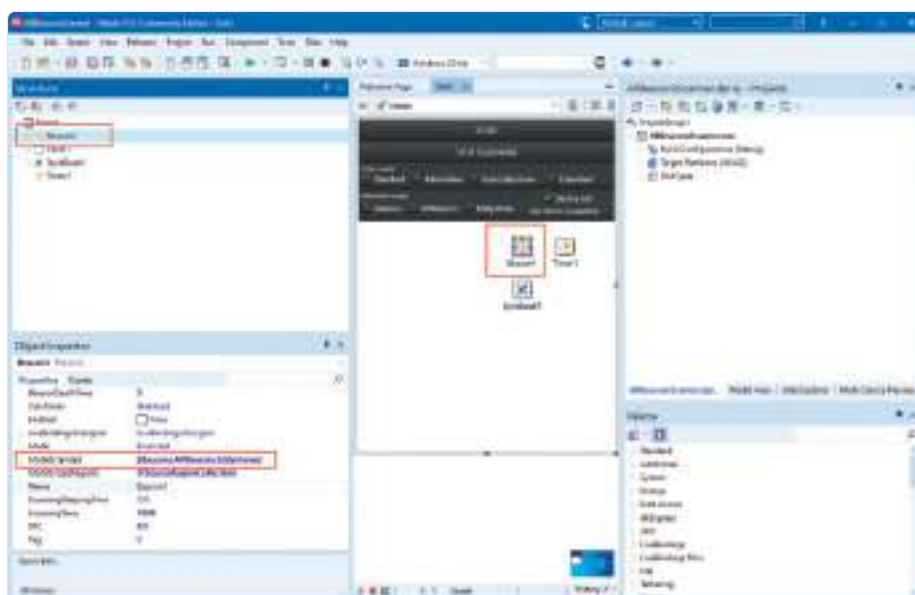


Figure 7. Configuration de la composante TBeacon.

de la *trilatération*. Cependant, l'émission de données par balises est conçue pour une courte portée. Une distinction est faite entre *immédiat* (moins de 50 cm), *proche* (jusqu'à 3 m), *loin* (plus de 10 m) et *inconnu*. Des balises puissantes peuvent émettre des signaux jusqu'à 450 m. La portée peut être réduite par des obstacles. Le géorepérage (flexible) ou *geofencing*, est modifiable par repositionnement de balises ; des zones sont définies par une *latitude*, une *longitude* et un *rayon*.

Première expérience

Après ces nécessaires considérations théoriques, voyons comment les balises fonctionnent dans le cadre d'un projet. Il nous faut une ou plusieurs balises (**fig. 4**), comme on en trouve sous de nombreuses formes [8] (à l'échelle européenne).

Le modèle *EMBC01* est une balise Bluetooth à faible consommation d'énergie, spécialement conçue pour la mesure de distance. Les données émises sont conformes à la norme Apple UUID, Major ID et Minor ID. L'*EMBC01* est sous boîtier étanche avec pile bouton (remplaçable). Un bouton permet de passer d'un mode à l'autre :

- *veille* : mode de stockage avec une durée de vie typique de la batterie de plus de 7 ans.
- *ID à courte portée* : intervalle d'émission de 100 ms, portée de 15 m et autonomie typique de 1,5 mois.
- *ID à moyenne portée* : intervalle de 500 ms, portée de 30 m et durée de vie de la batterie de 7,5 mois.
- *ID longue portée* : intervalle de 1 s, portée typique de 75 m et durée de vie typique de la batterie de 12,5 mois.
- Un numéro de série et un code QR sont imprimés sur le boîtier de l'*EMBC01*. Ce type de balise est préprogrammé avec un *UUID*, un *Major ID* et un *Minor ID* définis de manière unique et ne peut pas être reprogrammé sans fil pour des raisons de sécurité. Pour faire la démonstration de la fonction, vous avez besoin d'une application sur votre téléphone, sous Android p. ex. l'application *EMBC-Finder* et sous iOS l'application *Locate*. Sélectionnez une balise d'envoi active dans l'application, puis vous pouvez déterminer sa distance (**fig. 5**).

Programmer soi-même une application

Pour mettre en œuvre vos propres applications de *Beacon*, vous devez également développer votre propre programme pour le

dispositif BLE mobile, en bref une application. Vous pouvez utiliser l'édition communautaire gratuite de RAD Studio [9]. Grâce à l'environnement de développement intégré, des applications pour iOS et Android, mais aussi des applications pour les systèmes de bureau (Windows, macOS, Linux) peuvent être créées à partir d'une base de code source commune [10]. Grâce à des composants spéciaux pour la technique *Beacon*, le concepteur n'a pas à se soucier de l'évaluation des signaux et des protocoles BLE. Les composants sont configurés dans l'environnement de développement et sont ensuite immédiatement disponibles dans le code du programme. RAD Studio propose les deux composants suivants pour travailler avec la technologie des balises (**fig. 6**) [11] :

- *TBeacon* surveille la liste des régions de balises spécifiées et gère les informations sur les événements associés à la balise ; entre autres, les changements de distance sont détectés.
- *TBeaconDevice* peut utiliser un dispositif BLE comme balise normale. Vous pouvez configurer un *composant TBeaconDevice* dans une application fonctionnant sur un appareil BLE de sorte que celui-ci envoie des données de proximité. Les valeurs *UUID*, *Major*, *Minor* et *TxPower* peuvent être configurées.

Pour utiliser des émetteurs externes (balises), vous utilisez le composant *TBeacon*. Avec le composant *TBeaconDevice*, un téléphone tactile peut être converti en balise active. En quelques étapes, vous pouvez montrer comment cela fonctionne : sur GitHub, vous pouvez trouver des exemples de code source [12]. Clonez le dépôt complet sur votre ordinateur et passez au sous-répertoire *RADStudio10.3.3Demos/Object Pascal/Multi-Device Samples/Device Sensors and Services/Bluetooth/Beacons/ExtendedBeaconScanner/*. Ouvrez le projet dans RAD Studio.

La **fig. 7** illustre la procédure de configuration et de programmation. Le composant *TBeacon* est configuré ici pour reconnaître tous les types de balises (*iBeacon*, *AltBeacon* et *Eddystone*).

Le processus de numérisation est appelé par la procédure *StartScan*. Examinez le code source. Si des balises d'émission se trouvent à proximité, elles seront affichées sur l'interface utilisateur après le démarrage du



Figure 8. Les balises détectées sont affichées.

programme (**fig. 8**). Pour votre propre application, les données peuvent être évaluées sur le téléphone.

Scénarios de localisation complexes

Pour une tâche simple, par exemple pour déterminer si un appareil mobile se trouve à proximité d'une balise, aucune planification globale n'est nécessaire. C'est moins simple si vous voulez diviser un volume en zones (*BeaconFence*), p. ex. dans un magasin. Dans ce cas, les balises doivent être disposées pour surveiller les zones. Les utilisateurs peuvent alors être localisés grâce à cette disposition géographique, et l'entrée ou la sortie d'une zone peut être reconnue. C'est possible avec un éditeur graphique, tel que l'éditeur de cartes *BeaconFence* de RAD Studio [13]. Un tel éditeur de cartes peut être utilisé pour définir la disposition des pièces et l'agencement des balises, des zones et des chemins. Les actions peuvent être définies lorsqu'un appareil BLE entre dans une zone couverte par une ou plusieurs balises. Cette approche graphique facilite considérablement les analyses de rentabilité en vous évitant d'avoir à effectuer manuellement l'ensemble de la disposition et de la configuration des balises.

Conclusion et perspectives

Les balises sont basées sur la technologie BLE et permettent de déterminer la position des clients, des utilisateurs, des visiteurs ou des objets en mouvement dans une pièce. Les protocoles sont normalisés. Le recours à des éléments prêts à l'emploi pour l'évaluation des données reçues simplifie la programmation. Au début d'un tel projet, il y a une idée : *quel est le but du géorepérage intérieur ?* Puis il y a la conception : *où et comment les balises sont-elles disposées ?* Ensuite vient la mise en œuvre technique du logiciel étape par étape. Des bibliothèques prêtes à l'emploi facilitent la tâche du programmeur. Les scénarios intéressants ne manquent pas dans le triangle entre jeux, loisirs et applications sérieuses. 🚩

(200550-02)

Votre avis, s'il vous plaît

N'hésitez pas à poser vos questions ou envoyer vos commentaires sur cet article à l'adresse redaction@elektor.fr



Ont contribué à cet article

Auteur : **Veikko Krypczyk**

Rédaction : **Rolf Gerstendorf**

Maquette : **Giel Dols**

Traduction : **Ursel Keit**

LIENS

- [1] **faisceau Lorenz** : https://fr.wikipedia.org/wiki/Faisceau_Lorenz
- [2] **format des données des balises ibeacon** : <https://developer.apple.com/ibeacon/>
- [3] **format de données ouvert AltBeacon** : <https://altbeacon.org/>
- [4] **format Google Beacons** : <https://github.com/google/eddystone/blob/master/protocol-specification.md>
- [5] **comparaison** : <https://austinblackstoneengineering.com/ble-beacons-ibeacon-altbeacon-uribeacon-and-derivatives/>
- [6] **Anton Anders : Détermination de la position intérieure à l'aide de balises Bluetooth à faible énergie et géorepérage des piétons à l'estime** : https://cse.cs.ovgu.de/cse-wordpress/wp-content/uploads/2016/08/BA_Anton_Anders.pdf
- [7] **puissance d'émission et distance** : <https://bit.ly/3onjNZY>
- [8] **balises européennes** : www.beaconshop24.de/
- [9] **RAD Studio** : www.embarcadero.com/products/rad-studio
- [10] **Krypczyk, Veikko : Applications mobiles pour Android et iOS à partir d'un moule unique, Elektor 11-12/2020** : www.elektormagazine.fr/200265-03
- [11] **utilisation des balises dans RAD Studio** : http://docwiki.embarcadero.com/RADStudio/Sydney/en/Using_Beacons
- [12] **RAD Studio Demos** : <https://github.com/Embarcadero/RADStudio10.3.3Demos>
- [13] **Map-Editor de RAD Studio** : http://docwiki.embarcadero.com/LoT/en/BeaconFence_Map_Editor
- [14] **iBeacons pour les concepteurs** : <https://developer.apple.com/ibeacon/Getting-Started-with-iBeacon.pdf>
- [15] **Understanding the different types of BLE Beacons** : <https://os.mbed.com/blog/entry/BLE-Beacons-URIBeacon-AltBeacons-iBeacon/>
- [16] **Spécifications de AltBeacon** : <https://github.com/AltBeacon/spec>
- [17] **Projets IoT avec Bluetooth Low Energy** : www.oreilly.com/library/view/iot-projects-with/9781788399449/19495b89-8a0a-43f8-8dfd-955bdcc203db.xhtml
- [18] **ixys L. Hernández-Rojas; Tiago M. Fernández-Caramés; Paula Fraga-Lamas & Carlos J. Escudero: Design and Practical Evaluation of a Family of Lightweight Protocols for Heterogeneous Sensing through BLE Beacons in IoT Telemetry Applications, in Sensors 201** : www.mdpi.com/1424-8220/18/1/57
- [19] **Beacons et vie privée (en allemand)** : www.datenschutzkanzlei.de/fachbeitrag-beacons-gefahr-fuer-den-datenschutz/