

Bluetooth-bakens in de praktijk

indoor- plaatsbepaling

Dr. Veikko Krypczyk (Duitsland)

Plaatsbepaling buiten gebouwen is meestal gebaseerd op GPS- en/of mobiele telefonietechnieken. Maar hoe lokaliseer je mensen en objecten in gebouwen waar geen satelliet signalen kunnen doordringen en geen mobiele telefoonverbinding beschikbaar is? Daar kunnen zogenaamde bakens op basis van Bluetooth Low Energy-technologie worden toegepast. Laten we eens kijken hoe dat werkt!

Cuxhaven Kugelbake uit 1703

(© A.Savin, WikiCommons,

https://de.wikipedia.org/wiki/Kugelbake#/media/Datei:Cuxhaven_07-2016_photo23_Kugelbake.jpg).



Honderden jaren geleden was een baken (Engels: *beacon*) een natuurlijk of kunstmatig geconstrueerd optisch herkenningspunt dat zeevarenden de juiste weg door de gevaarlijke kustwateren wees. Met de komst van de radio-

communicatie in de zeevaart tegen het einde van de 19e eeuw werden dergelijke stationaire bakens, meestal als keten opgesteld, uitgerust met zenders (maritieme radiobakens). De individuele bakens zonden met tussenpo-

zen niet-directionele individuele morsecodes ter identificatie uit zodat een schip zich veilig van het ene baken naar het volgende kon voortbewegen.

Wat voor de zeevaart goed was, moest

vooral goedkoop zijn voor de luchtvaart: uit de eerste pogingen omstreeks 1920 om de landing met radio veiliger te maken bij ongunstige weersomstandigheden, ontwikkelde de Boheemse ingenieur Ernst Ludwig Kramar een instrument-landingsysteem in het lagere VHF-bereik: het zogenaamde Lorenz-baken [1], dat begin jaren dertig op luchthavens over de hele wereld werd geïnstalleerd. Naarmate radiobakens hun belang in de zeevaart verloren met de komst van GPS-navigatie (met uitzondering van noodbakens), zijn radiobakens in de meest uiteenlopende vormen nog steeds erg belangrijk voor de luchtvaart.

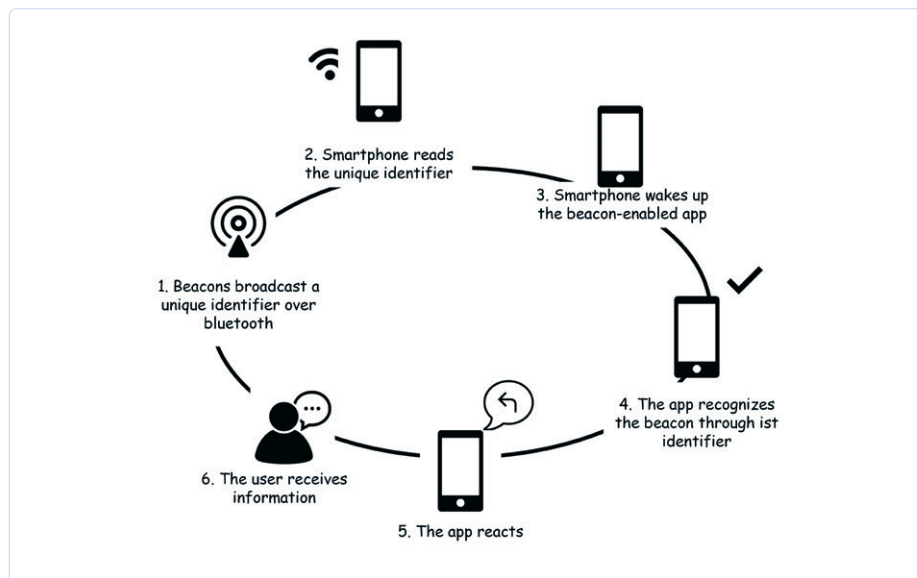
Aan het begin van de 21e eeuw, in het mobiele telefoon-tijdperk, ontstond een nieuwe vorm van bakens die vergelijkbaar is met de originele marifoonbakens: verschillende bakens sturen individuele identificatiegegevens die worden ontvangen door een mobiel apparaat. Aan de hand van de signaalsterkte van de ontvangen *identifiers* kan softwarematig worden bepaald waar men (c.q. smartphone, tablet of wearable) zich ten opzichte van de ontvangen bakens bevindt. Hiervoor wordt uiteraard geen VHF-radio gebruikt, maar het energiebesparende overdrachtsprincipe van Bluetooth Low Energy (BLE). Komt u dat alles bekend voor? Inderdaad – het proces is zeer actueel want daar zijn corona-waarschuwingssapps op gebaseerd!

In dit artikel willen we ons verdiepen in de technologie, die bestaat uit hardware (bakens) en software (configuratie en toepassing). In de eerste experimenten maken we ons vertrouwd met het thema en leggen daarmee de basis voor eigen toepassingen.

Diverse toepassingsmogelijkheden

Afstandsmetingen en plaatsbepaling binnen gebouwen zijn typische toepassingsgebieden voor bakens. Door deze te combineren is een grote diversiteit aan gebruiksscenario's (*use cases*) in het dagelijkse privéleven en in het bedrijfsleven, in *geo-based marketing*, *mobile shopping* en diverse toepassingen op het gebied van *mixed* en *augmented reality* denkbaar. Zo kan relevante informatie of reclame naar een specifieke locatie binnen een gebouw worden gestuurd als de gebruiker zich in daar de buurt (*region*) bevindt.

➤ **Mobile shopping:** productinformatie, actuele aanbiedingen, kortingscodes enzovoort voor afzonderlijke artikelen kunnen op de smartphone van een klant worden weergegeven. Het is ook denkbaar om de gebruiker aanvul-



Figuur 1. Use case voor het gebruik van een baken.

lende producten aan te bieden indien hij/zij interesse toont in een bepaalde productcategorie. Op deze manier kunnen klanten door het assortiment worden geleid. Dit geeft de winkeliers de mogelijkheid om via bakens contact op te nemen met de smartphones van klanten. Marktonderzoek profiteert van de voortschrijdende positiegegevens van de klanten om de productindeling in grote supermarkten te optimaliseren. U kunt zich daarbij het scenario van **figuur 1** voorstellen. Het baken stuurt een signaal via BLE (stap 1). Deze wordt ontvangen door de smartphone (stap 2). De betreffende app wordt dan geactiveerd (stap 3). De app registreert en wijst het baken toe op basis van zijn ID (stap 4), vraagt via het back-end (stap 5) nadere informatie op en toont deze op het display van de smartphone (stap 6).

➤ **Navigatie:** bakens worden gebruikt voor navigatie in gebouwen, bijvoorbeeld in musea, treinstations, luchthavens of sportstadions. Na de plaatsing op verschillende locaties in het gebouw, worden via Bluetooth signalen naar de mobiele apparaten gestuurd. Op deze manier kan de positie van de mobiele apparaten en hun gebruikers continu worden bepaald en doorgegeven aan het indoor-navigatiesysteem. Er is een app op de smartphone nodig om de signalen te interpreteren. Het aantal bakens in het gebouw is afhankelijk van de oppervlakte

en de gewenste nauwkeurigheid.

➤ **Ondersteuning van barrièrevrijheid:** door een doelgerichte gesproken en visuele aanwijzingen, bijvoorbeeld op een monitor, kunnen mensen met een handicap in onoverzichtelijke of drukke plaatsen worden geholpen zich te oriënteren.

➤ **Logistiek:** door langs de verzorgings- of logistieke keten bakens te plaatsen, is het mogelijk deze op een zinvolle manier te combineren met andere moderne technologieën zoals RFID of *Real Time Fleet Management* om zo de uitvoering van logistieke taken te optimaliseren.

Een bijzonder voordeel van de bakentechnologie is de geringe energiebehoefte, waardoor langdurig gebruik zonder externe voeding mogelijk is. De toepassing van bakens is anderzijds echter omstreken om redenen van gegevensbescherming en privacy, omdat ze kunnen worden gebruikt om het gedrag van de gebruiker te analyseren (positie, route, verblijfstijd). Aan de andere kant moeten gebruikers actief instemmen met een applicatie, omdat de plaatsbepaling speciale software op het mobiele apparaat vereist. De bakens zelf zenden alleen signalen, het zijn doorgaans geen ontvangers (zie ook het kader **Bakens en gegevensbescherming**).

Bluetooth Low Energy als basis

De BLE-technologie dateert uit 2006 en werd door Nokia geïntroduceerd voor unidirectionele gegevensoverdracht. BLE-apparaten

BAKENS EN GEGEVENSBESCHERMING

Bakens sturen in eerste instantie alleen niet-gepersonaliseerde informatie en kunnen zelf geen gegevens ontvangen of verwerken. In dit opzicht hoeft men zich geen zorgen te maken over gegevensbescherming bij het verzenden van signalen. Er zou alleen sprake zijn van personalisatie als een baken wordt toegewezen aan een specifieke persoon (die bijvoorbeeld een baken ter identificatie draagt), wanneer daar nadere informatie over de gebruiker wordt gekoppeld.

In tegenstelling tot het baken zelf, wordt informatie ontvangen en verwerkt door de app die op de smartphone is geïnstalleerd. Aangezien de betreffende app in de meeste gevallen aan een gebruikersaccount gekoppeld zal zijn, is in dat geval zeker sprake van personalisatie. Zo kan het programma bepalen waar een bepaalde klant zich hoelang bij welk schap heeft opgehouden, of kan ook het koopgedrag worden geanalyseerd. Door deze personalisatie is de verwerking van de gegevens in principe alleen mogelijk met toestemming van de betrokkene. Aangezien deze de vereiste app actief op zijn smartphone moet installeren, moet hij/zij aan het begin van het gebruiksproces daarover worden geïnformeerd door een privacyverklaring. In het bijzonder moet hij worden geïnformeerd over doel en marketingmaatregelen in dit verband.

De verantwoordelijkheid onder de wetgeving inzake gegevensbescherming ligt daarom bij de aanbieders van de apps die informatie van bakens ontvangen en verwerken. Als de aanbieder zijn gebruikers voldoende informeert en hun toestemming verkrijgt in overeenstemming met de privacywetgeving, hoeft niets het gebruik van bakens in de weg te staan.

(vrij naar David Oberbeck, Datenschutzkanzlei [19]).

hebben veel minder energie nodig dan conventionele Bluetooth-apparaten. De batterij van een baken gaat gemiddeld meerdere jaren mee. De fabricage van de BLE-modules is ook aanzienlijk goedkoper in vergelijking met klassieke Bluetooth-apparaten. In 2013 stelde Apple de bakentechnologie beschikbaar voor het grote publiek. Fabrikanten en ontwikkelaars die bakentechnologie wilden gebruiken, moesten eerst een licentie bij Apple aanvragen. De *software development kit* (SDK) en de programmabibliotheken konden daarna worden gebruikt. Er zijn tegenwoordig tal van bedrijven op de markt die gespecialiseerd zijn in de productie van

bakenzenders. Er zijn drie soorten bakens in omloop die verschillen met betrekking tot dataformaat:

- **iBeacon:** dit is het door Apple gedefinieerde formaat. Onder [2] vindt u een inleiding tot het onderwerp en de volledige specificatie.
- **AltBeacon:** dit is een open formaat dat kan worden geïmplementeerd zonder licentiekosten. De documentatie is te vinden onder [3].
- **Eddystone:** hierbij gaat het om een open formaat dat is gedefinieerd door Google. Meer informatie is te vinden onder [4].

Hoe werken bakens? In de energiebesparende Bluetooth-modus sturen de BLE-geactiveerde bakens korte berichten met een vast interval die kunnen worden ontvangen door Bluetooth-apparaten in de directe omgeving. Daarbij gaat het om een zogenaamd *broadcasting*-proces. Ook elke smartphone, tablet of smartwatch met een BLE-eenheid kan als een potentieel baken worden gezien. Er is echter één belangrijk verschil: een smartphone of tablet kan BLE-signalen zenden en Bluetooth ontvangen. Bakens daarentegen zenden uitsluitend signalen met een kort interval, zodat een signaalgebied ontstaat. Om de resulterende gegevens te kunnen gebruiken, moet de bijbehorende software (app) op de smartphone zijn geïnstalleerd.

Specificaties

Welke informatie wordt door een baken verzonden? Hier moeten we onderscheid maken tussen de bakentypen *iBeacon*, *AltBeacon* en *Eddystone* (figuur 2).

Laten we beginnen met de gegevensspecificatie van *iBeacon* (figuur 2a). De afzonderlijke waarden [5] betekenen:

- **Prefix:** bevat de hexadecimale gegevens *0x 020106 1AFF 004C 02 15*. Hierin definieert *0x 020106* de algemene informatie dat het zendende apparaat niet high speed-compatibel is en dat alleen broadcasting (zenden) en geen bidirectionele verbinding is toegestaan. *0x1AFF* betekent dat de erop volgende data 26 bytes lang en fabrikantspecifiek zijn. *0x004C* is de Bluetooth signaal-ID van Apple. *0x02* is een secundaire ID en *0x15* definieert de resterende lengte als 21 bytes (16 + 2 + 2 + 1).
- **UUID (Universally Unique Identifier):** deze waarde is 16 bytes lang en wordt gebruikt om een unieke toewijzing te garanderen van de gegevens die naar de *iBeacon* worden gestuurd in systemen met meerdere componenten.
- **Major:** de major-waarde is 2 bytes lang. Deze waarde moet de signaalregio definiëren.
- **Minor:** de minor-waarde is ook 2 bytes groot. Deze waarde definieert een subregio.
- **TX Power:** deze waarde geeft de potentiële signaalsterkte aan, en wordt door de app gebruikt om te bepalen hoe ver het baken van de smartphone is verwijderd. Houd er rekening mee dat de *TxPower*-waarde door de gebruiker moet worden gekalibreerd om nauwkeurig te zijn.

Tabel 1. Gebruik van Major en Minor om een regio en subregio toe te wijzen aan een baken [14].

Locatie winkel		Grootte	San Francisco	Parijs	Londen
UUID		16 Bytes	D9B9EC1F-3925-43D0-80A9-1E39D4CEA95C		
Major		2 Bytes	1	2	3
Minor	Kleding	2 Bytes	10	10	10
	Huishouden		20	20	20
	Elektro		30	30	30

Een voorbeeld van een toewijzing van *major*- en *minor*-waarden voor indoor-navigatie in een warenhuis is te zien in **tabel 1**.

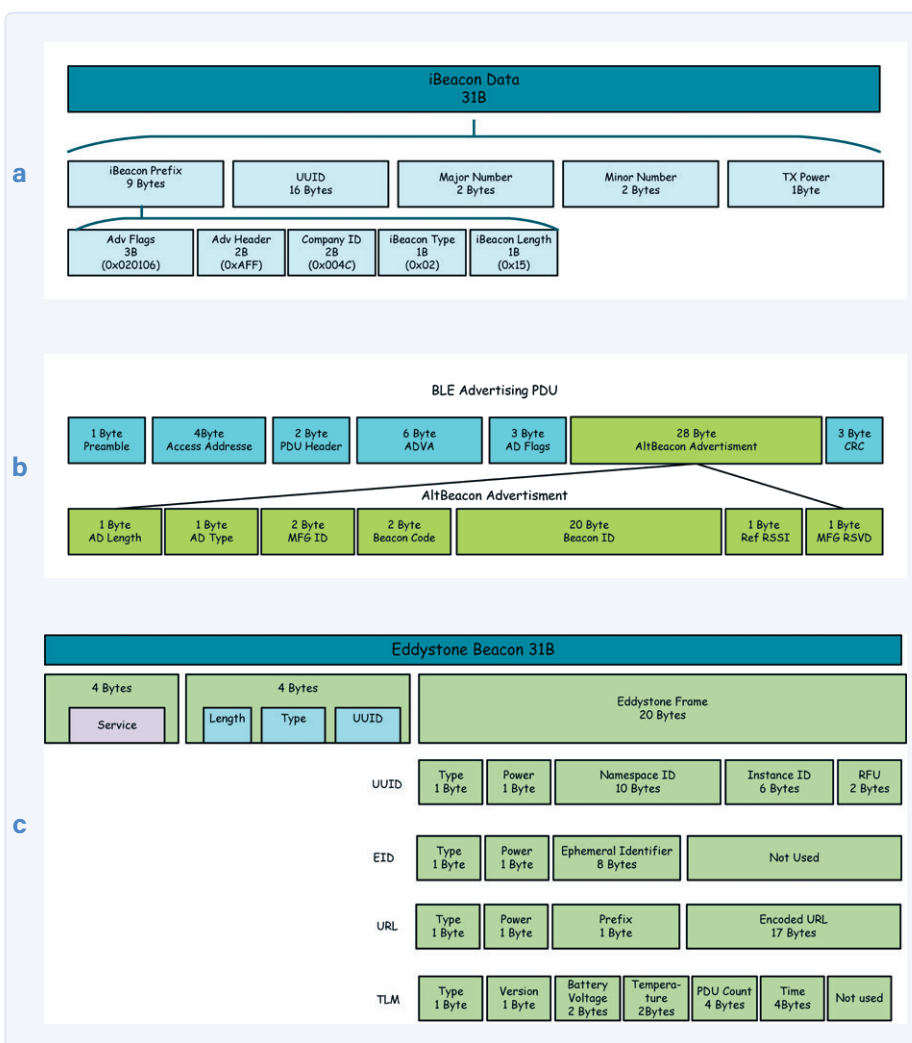
Nu komen we bij de specificatie van het gegevensformaat voor de AltBeacon- typen (figuur 2b). De AltBeacon-specificatie is 28 bytes lang, waarvan 26 bytes door de gebruiker kunnen worden bepaald. De eerste twee bytes worden bepaald door de BLE-stack. *ADV Length* en *ADV Type* geven de lengte van het datapakket en het type aan. Alle andere waarden kunnen worden geconfigureerd. Tenslotte kunnen bij de bakens van het type *Eddystone* verschillende varianten worden gedefinieerd (figuur 2c), die afzonderlijk of in combinatie kunnen worden gebruikt. De betekenis:

- > **UUID**: hiermee wordt een unieke 16-byte baken-ID verzonden.
- > **EID**: dit frame bevat een ID die slechts van korte duur is en bovendien versleuteld, om de gegevensbeveiliging te vergroten.
- > **URL**: hier wordt een URL verstuurd. Gebruikers kunnen met zo'n URL toegang krijgen tot inhoud op internet.
- > **TLM**: gereserveerd voor het verzenden van telemetrie-statusgegevens via het baken-apparaat zelf. Deze informatie omvat de batterijspanning, het aantal broadcast-pakketten en de temperatuur van het apparaat.

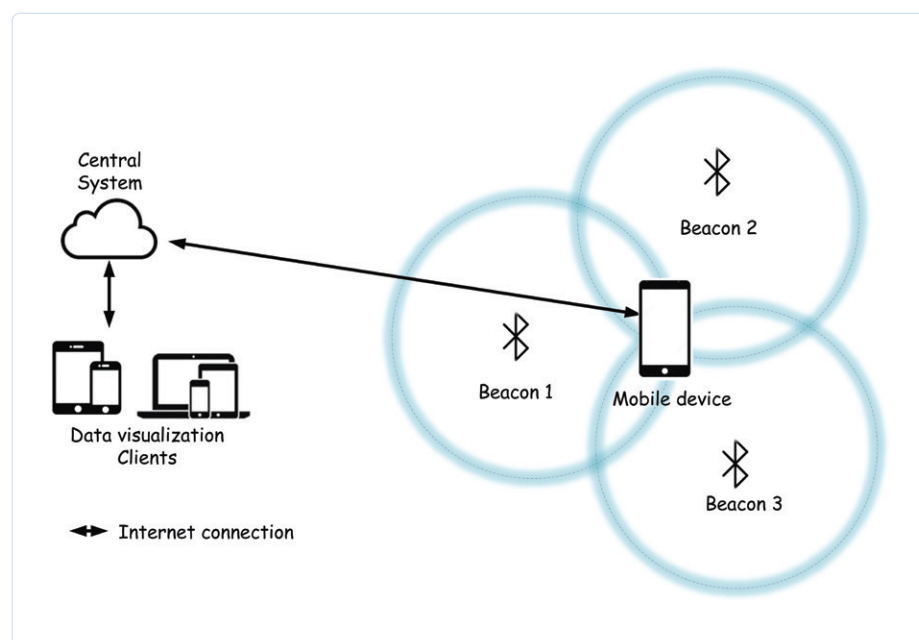
Als u toepassingen met bakens ontwikkelt, moet u rekening houden met het type baken of softwarematig voor een keuzemogelijkheid zorgen.

Plaatsbepaling

De app op het mobiele apparaat identificeert de signaalzenders en berekent de afstanden tussen de zenders en de ontvanger op basis van het inkomende zendvermogen. Het zendvermogen is direct gerelateerd aan het signaalbereik. Hoe meer vermogen, hoe groter het bereik. Met de *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) wordt de sterkte van het bakensignaal op de smartphone aangeduid. De afstand wordt bepaald uit de verhouding van de ontvangen signaalsterkte en de (volgens het datablad) te verwachten RSSI-waarde op een afstand van één meter. Het schalen van de RSSI-waarden wordt overgelaten aan de chipfabrikanten: de databladen laten zien hoe de RSSI-waarde kan worden omgerekend in een vermogen. Voor de specificatie wordt de eenheid



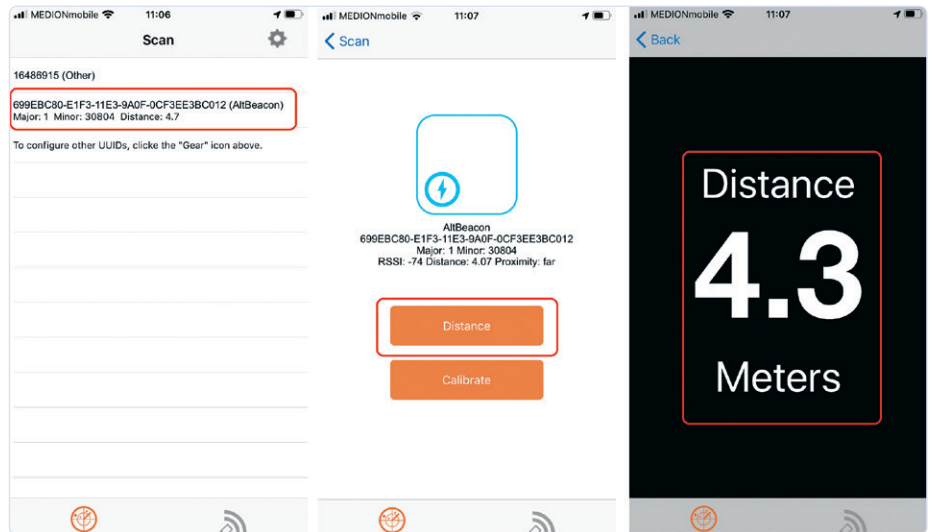
Figuur 2. Specificaties van de bakentypes ([15], [16], [17], [18]).



Figuur 3. Het principe van indoor-plaatsbepaling met bakens.



Figuur 4. Het EMBC01-baken van EM Microelectronic.



Figuur 5. Weergave van de afstand in de EMBC-Finder app.

decibel-milliwatt (dBm) gebruikt. De onderstaande formule beschrijft normaliter het verband tussen de RSSI-waarde en de afstand [6], [7]:

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

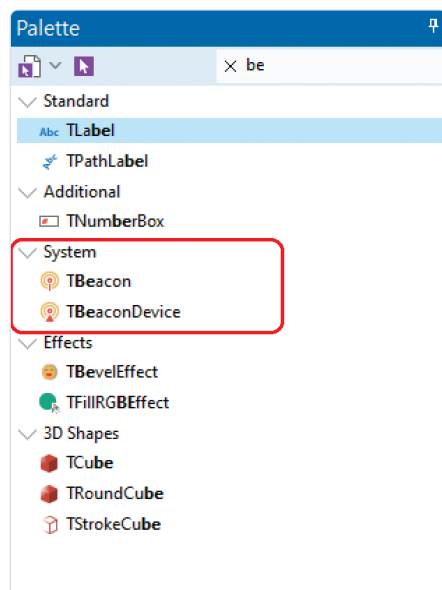
met

n: omgevingsafhankelijke dempingswaarde
a: ontvangen signaalsterkte met de zender op een afstand van één meter (referentiesig-

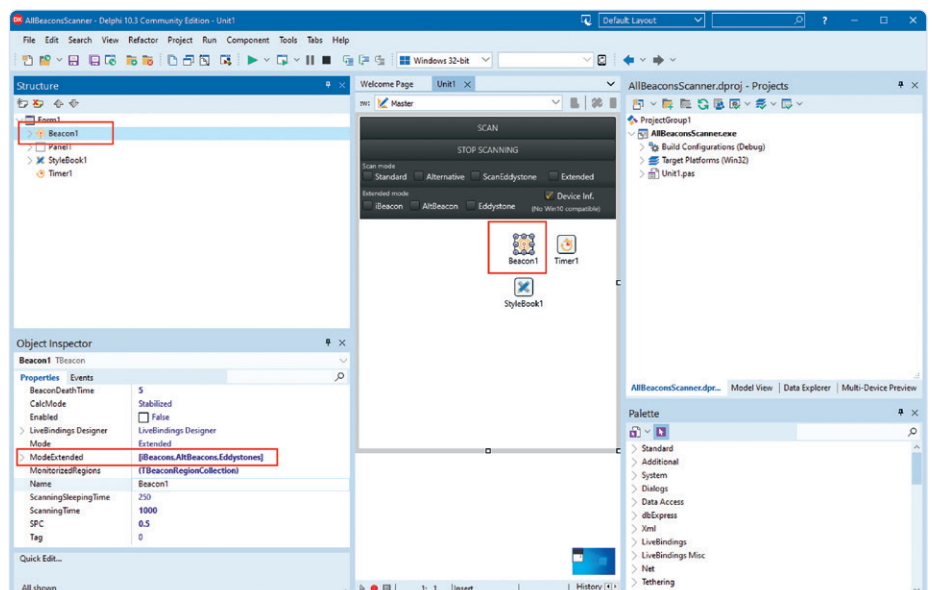
naalsterkte volgens datablad), en
d: afstand tussen zender en ontvanger

Bij indoor-toepassingen wordt een waarde $n = 3$ aangenomen. Opgemerkt moet worden dat de nauwkeurigheid van de metingen en dus ook de nauwkeurigheid van de afstands-bepaling slechter wordt naarmate zender en ontvanger verder van elkaar verwijderd zijn. Om de locatie exact te kunnen bepalen zijn minimaal drie bakens nodig (figuur 3). Net

als bij GPS worden de afstanden tussen de units gemeten volgens het *lateratie*-principe (afstandsverschilmeting). Datatransmissie met bakens is echter ontworpen voor het korte bereik. Er wordt onderscheid gemaakt tussen *Immediate* (minder dan 50 cm), *Near* (tot 3 m), *Far* (meer dan 10 m) en *Unknown*. Krachtige bakens kunnen signalen verzenden tot op 450 m. Obstakels kunnen het bereik echter verkleinen. Flexibele regio's (*geofences*) die keer op keer kunnen worden gewijzigd door



Figuur 6. De componenten TBeacon en TBeaconDevice kapselen alle complexiteit in.



Figuur 7. Configuratie van de TBeacon-component.

de bakens te verplaatsen, worden gedefinieerd met behulp van *Latitude*, *Longitude* en een *Radius* (straal).

Een eerste experiment

Laten we na deze noodzakelijke theoretische overwegingen eens kijken hoe bakens in uw eigen projecten kunnen werken. Als eerste hebben we een of meer bakens nodig (figuur 4), die in soorten en maten verkrijgbaar zijn van [8] in heel Europa.

Het *EMBC01*-model is een Bluetooth Low Energy-baken dat speciaal is ontwikkeld voor afstandsmeting. De verzonden gegevens zijn conform de Apple-standaard UUID, Major ID en Minor ID. De EMBC01 is gemonteerd in een weerbestendige behuizing met een (vervangbare) knoopcel als voeding. Met een drukknop kunt u tussen de verschillende modi omschakelen:

- **Sleep Mode:** opslagmodus met een typische batterij-levensduur van meer dan zeven jaar.
- **ID Short Range Mode:** heeft een transmissie-interval van 100 ms, een bereik van 15 m en een typische batterij-levensduur van 1,5 maand.
- **ID Medium Range Mode:** een transmissie-interval 500 ms, een bereik van 30 m en een typische batterij-levensduur van 7,5 maand.
- **ID Long Range Mode:** met een interval van 1 s, een typisch bereik van 75 m en een typische batterij-levensduur van 12,5 maand.

Op de behuizing van de EMBC01 zijn een serienummer en een QR-code gedrukt. Dit type baken is voorgeprogrammeerd met een unieke *UUID*, *Major ID* en *Minor ID*; om veiligheidsredenen kan dit type niet draadloos worden geherprogrammeerd. Om de werking te demonstreren, hebt u een app op de smartphone nodig, bijvoorbeeld de *EMBC-Finder*-app voor Android en de *Locate*-app onder iOS. Wanneer u in de app een actief zendend baken selecteert, kunt u de afstand ervan bepalen (figuur 5).

Ontwikkeling van eigen software

Om uw eigen toepassingen van de baken-technologie te implementeren, moet u ook uw eigen programma voor het mobiele BLE-apparaat ontwikkelen – een app dus. U kunt bijvoorbeeld de gratis Community Edition van RAD Studio [9] gebruiken. Met behulp van de geïntegreerde ontwikkelom-

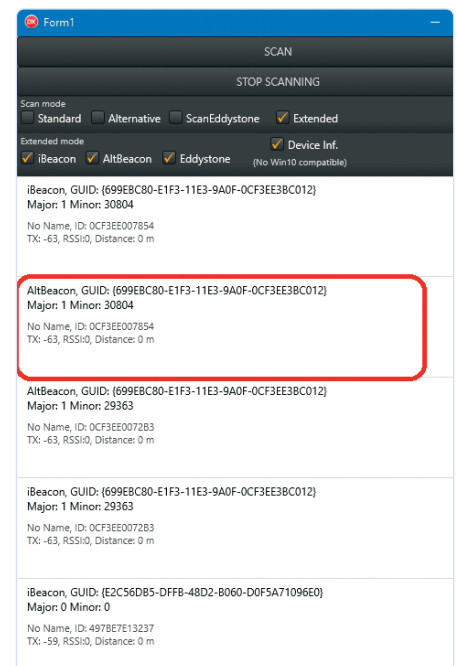
geving kunnen apps voor iOS en Android, maar ook applicaties voor desktopsystemen (Windows, macOS, Linux) worden gemaakt vanuit een gemeenschappelijke broncode-base [10]. Dankzij speciale componenten voor baken-technologie hoeft de ontwikkelaar zich geen zorgen te maken over de verwerking van de BLE-signalen en de protocollen. De componenten worden geconfigureerd in de ontwikkelomgeving en zijn vervolgens direct beschikbaar in de programmacode. RAD Studio biedt de volgende twee componenten voor het werken met de baken-technologie (figuur 6) [11]:

- **TBeacon:** bewaakt een lijst van de gespecificeerde bakengebieden en beheert de informatie over de bijbehorende baken-events; onder andere worden veranderingen in de afstand herkend.
- **TBeaconDevice:** kan een BLE-apparaat gebruiken als een gewoon baken. U kunt een *TBeaconDevice*-component configureren in een applicatie die op een BLE-apparaat draait, zodat dat apparaat nabijheidsgegevens verzendt. De waarden voor de eigenschappen *UUID*, *Major*, *Minor* en *TxPower* kunnen worden geconfigureerd.

De *TBeacon*-component dient om externe zenders (bakens) te gebruiken. Met de *TBeaconDevice*-component kan van een smartphone een actief baken worden gemaakt. De functionaliteit kan in enkele stappen worden gedemonstreerd: op GitHub onder [12] kunt u geschikte broncode-voorbeelden vinden. Hiertoe kloont u de volledige repository op uw computer en opent u de submap *RADStudio10.3.3Demos/Object Pascal/Multi-Device Samples/Device Sensors and Services/Bluetooth/Beacons/ExtendedBeaconScanner/*. Open het project in RAD Studio.

In **figuur 7** is de configuratie- en programmeerprocedure direct te zien. De *TBeacon*-component wordt hier zo geconfigureerd dat deze alle soorten bakens (*iBeacon*, *AltBeacon* en *Eddystone*) herkent.

Het scanproces wordt aangeroepen via de *StartScan*-procedure. Bestudeer hiervoor de broncode. Als er zendbakens in de directe omgeving zijn, worden deze na het starten van het programma in de interface getoond (figuur 8). Voor uw eigen toepassing kunnen de gegevens op vergelijkbare wijze op de smartphone worden verwerkt.



Figuur 8. De gevonden bakens worden weergegeven.

Complexe plaatsbepalingsscenario's

Een eenvoudige taak, zoals bepalen of een mobiel apparaat zich in de buurt van een baken bevindt, vereist geen uitgebreide planning. Maar het wordt ingewikkelder als u de ruimte in een winkel in zones wilt verdelen (*BeaconFence*). In dat geval moeten de bakens correct worden geplaatst om de zones te bestrijken. Gebruikers kunnen vervolgens worden gelokaliseerd met behulp van deze geografische indeling en het betreden of verlaten van een zone kan worden gedetecteerd. Hiervoor kan een grafische editor worden gebruikt, bijvoorbeeld de *BeaconFence*-kaarteditor van RAD Studio [13]. Zo'n kaarteditor kan worden gebruikt om de indeling van de ruimtes en de plaatsing van bakens, zones en paden te definiëren. Acties kunnen worden gedefinieerd voor het geval dat een BLE-compatibel apparaat een zone binnengaat die wordt bestreken door een of meer bakens. Deze grafische procedure maakt de implementatie van *business cases* veel eenvoudiger, omdat anders de complete opstelling en configuratie van de bakens handmatig zou moeten worden uitgevoerd.

Conclusie en vooruitblik

Beacons zijn gebaseerd op de BLE-technologie en bieden de mogelijkheid om de

positie van klanten, gebruikers, bezoekers of bewegende objecten in een ruimte te bepalen. De protocollen zijn gestandaardiseerd. Voor het evalueren van de ontvangen data kunnen we terugvallen op kant-en-klare componenten, zodat de programmeerinspanning binnen de perken blijft. Aan het begin van zo'n project staat altijd een idee (wat is het beoogde doel van indoor-plaatsbepaling?) en vervolgens de conceptie (waar en hoe worden de bakens opgesteld?). En tot slot kun u gaandeweg gaan nadenken over de software-implementatie. Kant-en-klare bibliotheken ondersteunen de softwareontwikkelaar. Interessante scenario's in het 'drielandpunt' van spel, plezier en serieuze toepassingen wachten erop om gerealiseerd te worden. 

200550-04



Vragen of opmerkingen?

Hebt u vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de auteur of naar de redactie van Elektor, via redactie@elektor.com.

Een bijdrage van

Tekst en illustraties: **Dr. Veikko Krypczyk**

Redactie: **Rolf Gerstendorf**

Vertaling: **Eric Bogers**

Layout: **Giel Dols**

WEBLINKS

- [1] **Lorenzbaken:** <https://nl.wikipedia.org/wiki/Radionavigatie>
- [2] **iBeacon-gegevensformaat:** <https://developer.apple.com/ibeacon/>
- [3] **Open source AltBeacon-gegevensformaat:** <https://altbeacon.org/>
- [4] **Google-bakens:** <https://github.com/google/eddystone/blob/master/protocol-specification.md>
- [5] **Bakens in vergelijking:** <https://austinblackstoneengineering.com/ble-beacons-ibeacon-altbeacon-uribeacon-and-derivatives/>
- [6] **Anton Anders: Indoor-plaatsbepaling met Bluetooth Low Energy-bakens en Pedestrian Dead Reckoning:** https://cse.cs.ovgu.de/cse-wordpress/wp-content/uploads/2016/08/BA_Anton_Anders.pdf
- [7] **Zendvermogen en afstand:** <https://community.estimote.com/hc/en-us/articles/201636913-What-are-Broadcasting-Power-RSSI-and-other-characteristics-of-beacon-s-signal->
- [8] **Bakens voor gebruik in Europa:** www.beaconshop24.de/
- [9] **RAD Studio:** www.embarcadero.com/products/rad-studio
- [10] **Krypczyk, Veikko: Mobiele apps voor Android en iOS tegelijk geprogrammeerd, Elektor november/december 2020:** www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-161/59157
- [11] **Bakens gebruiken in RAD Studio:** http://docwiki.embarcadero.com/RADStudio/Sydney/de/Verwenden_von_Beacons
- [12] **RAD Studio demo's:** <https://github.com/Embarcadero/RADStudio10.3.3Demos>
- [13] **Kaart-editor van RAD Studio:** http://docwiki.embarcadero.com/IOt/en/BeaconFence_Map_Editor
- [14] **iBeacons voor ontwikkelaars:** <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] **AltBeacon-specificaties:** <https://github.com/AltBeacon/spec>
- [17] **IoT Projects with Bluetooth Low Energy:** <https://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 und 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] **Bakens en gegevensbescherming:** www.datenschutzkanzlei.de/fachbeitrag-beacons-gefahr-fuer-den-datenschutz/