

Hoe asset tracking op een bouwwerf kan geoptimaliseerd worden met behulp van Bluetooth Low Energy.

Een vergelijkende studie en Proof of Concept.

Stef Boerjan.

Scriptie voorgedragen tot het bekomen van de graad van
Professionele bachelor in de toegepaste informatica

Promotor: Mevr. L. Vuyge

Co-promotor: Dhr. G. Liekens

Academiejaar: 2022–2023

Eerste examenperiode

Departement IT en Digitale Innovatie .

Woord vooraf

Samenvatting

Inhoudsopgave

Lijst van figuren	vi
1 Inleiding	1
1.1 Probleemstelling	1
1.2 Onderzoeksvraag	2
1.3 Onderzoeksdoelstelling	2
1.4 Opzet van deze bachelorproef	2
2 Stand van zaken	3
2.0.1 Asset tracking in de bouwindustrie	3
2.0.2 Bluetooth Low Energy	5
2.0.3 Smartphones	6
2.0.4 Hoe veilig is Bluetooth Low Energy?	6
3 Methodologie	7
3.0.1 Voordelen van BLE asset tracking	7
3.0.2 Nadelen van BLE asset tracking	7
3.0.3 Toelichting van protocols, hardware en software	7
3.0.4 Toelichting app	8
4 Conclusie	9
A Onderzoeksvoorstel	10
A.1 Introductie	10
A.2 State-of-the-art	11
A.3 Methodologie	11
A.4 Verwacht resultaat, conclusie	12
Bibliografie	13

Lijst van figuren

1

Inleiding

Asset tracking is een veel voorkomend fenomeen wanneer een bedrijf de locatie van zijn fysieke activa wil bijhouden. Dit wordt gedaan in diverse sectoren en in de bouwindustrie is dit niet anders. Asset tracking in de bouwsector wordt reeds gedaan aan de hand van global positioning system (GPS), ultra-windband (UWB) en radio-frequency identification (RFID). Deze technologieën worden gebruikt om de locatie van materiaal en personeel op een complexe bouwwerf te bepalen en bij te houden. Een recente technologie genaamd Bluetooth Low Energy (BLE), of wordt soms ook Bluetooth Smart genoemd is een opkomende concurrent voor deze reeds gebruikte technologieën.

Bluetooth Low Energy is een draadloos personal area netwerk (PAN) dat werd ontwikkeld met Internet of Things (IoT) in gedachten. IoT applicaties hebben weinig resources en daardoor is BLE net ontwikkeld. Het wordt vandaag de dag virtueel overal gebruikt, gaande van fitness trackers en smart appliances tot location tracking en contact tracing. Use cases waar geen grote hoeveelheid data moet uitgewisseld worden of waar niet veel vermogen beschikbaar is. Vergeleken met het klassieke bluetooth is BLE bedoeld om het energieverbruik en de kosten aanzienlijk te doen verminderen, terwijl het communicatiebereik vergelijkbaar blijft. Bluetooth Low Energy wordt door bijna elk operating system ondersteund zoals Windows, macOS, Linux, Android en iOS.

waarom kan dit gebruikt worden in de bouw
hoe kan dit bijdragen?

1.1. Probleemstelling

In de bouwindustrie wordt er aan asset tracking gedaan a.d.h.v. al reeds vermelde technologieën. Bluetooth Low Energy hoort hier in de grote meerderheid van de

bedrijven nog niet bij ondanks het potentieel en geschiktheid. Kostreductie is een van de belangrijkste processen binnenin een succesvol bedrijf en hier zou BLE optimaal aan kunnen bijdragen in het kader van asset tracking door de goedkope hardware en lange gebruiksduur.

Bluetooth Low Energy wordt al reeds gebruikt voor indoor traceren. Op het vlak van oppervlakte is een bouwwerf niet erg verschillend met een groot magazijn of bedrijfsgebouw. Werfleiders en andere verantwoordelijken kunnen aan de hand van Bluetooth Low Energy op dezelfde manier hun werkmateriaal, personeel en machines traceren, maar dan veel goedkoper, accurater en mogelijks efficiënter.

Het bedrijf Aucxis, te Stekene liet mij hier onderzoek over doen en ook zij zullen hier meerwaarde in vinden aangezien ook zij Bluetooth Low Energy in hun asset tracking oplossingen willen integreren.

1.2. Onderzoeksvraag

Om deze problematiek uit te zoeken is een onderzoeksvraag opgesteld met bijhorende deelvragen. Hier zal antwoord op proberen gegeven worden door een literatuurstudie en een experimentele uitvoering.

- Kan Bluetooth Low Energy asset tracking op een bouwwerf optimaliseren?
 - Deelvragen...

1.3. Onderzoeksdoelstelling

Het doel van deze scriptie is om te bewijzen dat al dan niet Bluetooth Low Energy een optimale(re) technologie is om assets op een bouwwerf te tracken. De voornaamste criteria zullen kosten, beveiliging, traceernauwkeurigheid en hoe makkelijk de installatie is. Dit zal vergeleken worden met de technologieën die vandaag de dag gebruikt worden door de meerderheid van de bouwbedrijven.

1.4. Opzet van deze bachelorproef

De rest van deze bachelorproef is als volgt opgebouwd:

In Hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van de stand van zaken binnen het onderzoeksdomein, op basis van een literatuurstudie.

In Hoofdstuk 3 wordt de methodologie toegelicht en worden de gebruikte onderzoekstechnieken besproken om een antwoord te kunnen formuleren op de onderzoeksvragen.

In Hoofdstuk 4, tenslotte, wordt de conclusie gegeven en een antwoord geformuleerd op de onderzoeksvragen. Daarbij wordt ook een aanzet gegeven voor toekomstig onderzoek binnen dit domein.

2

Stand van zaken

In dit gedeelte van de scriptie zal de huidige manier van asset tracking binnenin de bouwindustrie beschreven worden. Bluetooth Low Energy en de werking ervan zal ook uitvoerig worden besproken samen met de verschillen tussen BLE en het klassieke Bluetooth. Verder zal er verklaard worden hoe Bluetooth Low Energy bij smartphones werkt. SECURITY???

2.0.1. Asset tracking in de bouwindustrie

Het lokaliseren van middelen op een bouwterrein is in het verleden altijd een uitdagende taak geweest. Onbenutte middelen zoals werkgereedschap of machines zouden tot de grote meerderheid van verspilling in de bouwindustrie bijdragen (Nasr e.a., [2013](#)). Door het gebruik van verschillende technologieën hebben onderzoekers zich gericht tot het ontwikkelen van plaatsbepalingssystemen als poging om dit probleem aan te pakken. Met behulp van deze systemen kan activa zoals werkgereedschap, machines of personeel gevolgd worden met onder andere als doel op deze manier hun veiligheid te bewaren.

De meest technologieën die het meest gebruikt worden voor asset tracking in de bouwindustrie zijn GPS, RFID en UWD.

Global Positioning System

Het Global Positioning System (GPS) is een positionering en navigatie systeem ontwikkeld door de Amerikaans ministerie van defensie (McNeff, [g.d.](#)) in de jaren zestig. Het bestaat ondertussen uit meer dan dertig satellieten die rond onze aarde cirkelen. Deze kunnen met behulp van de atomische klok die elke satelliet aan boord heeft en hun gekende precieze locatie continu signalen uitzenden die gebruikers op aarde kunnen ontvangen. Hiermee is het mogelijk de tijd en locatie van de gebruiker te bepalen met respectievelijk een paar nanoseconden en meter

speling. Elke GPS-satelliet kent zijn eigen baanlocatie en systeemtijd. Om de positie van een ontvanger nauwkeurig te kunnen bepalen moeten er ten minste vier satellieten zichtbaar zijn die voldoende van elkaar gescheiden zijn. Met behulp van trilateratie, wat de basis is van de gebruikte technieken waarbij de afstandsmetingen van $n + 1$ satellieten worden gebruikt voor een n -dimensionale positiebepaling (Rahman, 2012) is het mogelijk de positie te bepalen van een gebruiker op aarde. Hier zal niet verder op uitgebreid worden want dit is niet het doel van deze scriptie.

Nu nog ivm de bouwindustrie...
NOG EEN FIGUURTJE?

Radio Frequency Identifier

Radio Frequency Identifier (RFID) is een draadloze communicatietechnologie die in zijn simpelste vorm objecten kan detecteren, opsporen, identificeren, volgen en controleren (Tan & Sidhu, 2022). Het bestaat voornamelijk uit drie elementen, readers, antennes en tags. De reader of soms ook transeiver genaamd heeft de mogelijkheid radio frequentie (RF) elektrische golven te sturen naar een of meerdere RFID tags. De tags hoeven dus niet in het gezichtsveld van de reader te zitten. Deze tags (actief of passief) ontvangen de elektrische golf met hun antenne en zetten deze met behulp van een spoel om naar elektrische stroom. Vervolgens wordt deze stroom door de tag die bevestigd is aan een fysiek object gebruikt om terug via een RF elektrische golf een antwoord te sturen naar de reader.

RFID tags kunnen opgedeeld worden in drie soorten. Actieve, semi-passief en passieve tags (Mezzanotte e.a., 2021). Actieve tags bezitten een batterij die heel het systeem van stroom voorziet. Zo een systeem van een actieve tag bestaat uit een ontvanger, een zender en omgevingssensoren. Het principe van een passieve tag is vrij verschillende want deze tags zullen de stroom die toekomt als RF elektrische golf omgezet wordt door de ingebouwde spoel gebruiken om een antwoord te verzenden. Passieve tags hebben geen batterij en transmitter. Semi-passieve tags zijn een mix van actief en passief in de zin dat ze dezelfde functioneringsprincipe gebruiken maar ze hebben wel een batterij om de microchip of sensoren van stroom te voorzien.

RFID wordt vaak gebruikt in sectoren waar er bijvoorbeeld producten worden gestockeerd in een magazijn. Indien er door een reader een vraagimpuls wordt verzonden kunnen de tags antwoorden met een digitaal gegeven. Dit is vaak hun identificatienummer. Op deze manier kan zo een ID worden toegewezen aan ieder product bij het printen van de tag en kan een magazijnmedewerker met gebruik van een reader op deze manier het juiste product vinden in een magazijn.

In de bouwindustrie wordt dit op een gelijkaardige manier gebruikt om assets te traceren en lokaliseren.

Ultra-wideband

2.0.2. Bluetooth Low Energy

Ook wel Bluetooth Smart genoemd, Bluetooth Low Energy is een wireless personal area network (PAN). Ontworpen en ontwikkeld door de Bluetooth Special Interest Group (SIG). Dit is het non-profit normalisatie-instituut die toezicht houdt op de ontwikkeling van Bluetooth standaarden en het in licentie geven van de Bluetooth-technologieën en -handelsmerken aan fabrikanten.

BLE zendt gegevens uit via 40 kanalen in de 2.4GHz ISM-frequentieband (Kumbhar, 2017). Dit is een gedeelte van het radiospectrum gereserveerd voor industriële (Industrial), wetenschappelijke (Scientific) en medische (Medical) doeleinden zoals microgolven, medische apparatuur, procesverwarming en soorten elektrolampen. De laatste jaren zijn er ook draadloze communicatie toestellen geproduceerd die ook deze banden kunnen gebruiken zonder storing te veroorzaken voor bestaande apparaten die gebruik maken van de ISM-banden, zoals BLE.

Vergeleken met Bluetooth Classic ondersteunt Bluetooth Low Energy meerdere communicatietopologieën, namelijk point-to-point, mesh en broadcast. Terwijl Bluetooth Classic enkel point-to-point ondersteunt. Door de mesh topologie kunnen er grootschalige en betrouwbare netwerken gebouwd worden tussen verschillende toestellen. Hoewel Bluetooth vroeger meer bekend stond voor gegevens uitwisselen tussen toestellen wordt het tegenwoordig ook vaak gebruikt voor het positioneren van apparaten. Dit wordt gedaan aan de hand van een paar concepten.

Real-Time Locating System

Een Real-Time Locating System heeft als hoofddoel het identificeren en real-time de positie of hoek van bepaalde objecten te kunnen bepalen (Lehtimäki, 2018), in dit geval gebruik makend van radio golven maar nog mogelijkheden zijn infrarood of ultrasound. Dit is meestal in een gebouw of een ander afgebakend gebied. Dit is van toepassing op bijvoorbeeld de locatie bepalen van assets of mensen en nog zeer veel IoT (Internet of Things) toepassingen.

Angle of Arrival

Bluetooth maakt gebruik van twee verschillende methoden om de locatie, specifiek de afstand en richting van een Bluetooth Low Energy signaal te bepalen. Angle of Arrival is hier een van. In deze methode zendt een apparaat zoals een asset tag met behulp van een antenne een signaal uit. Deze wordt opgevangen door een ontvangend apparaat die over een reeks antennes beschikt. Hierdoor kan het ontvangend gegevens verzamelen waarmee de richting van het signaal berekend kan

worden. Theoretisch gezien zullen de ontvangende reeks antennes faseverschillen zien door de verschillende afstanden tot de zender maar dit is net zoals de meeste zaken in de praktijk niet zo simpel.

Angle of Departure

Het fundamentele idee van Angle of Departure is hetzelfde als die van Angle of Arrival maar nu zijn de rollen omgedraaid. Het apparaat dat een signaal ontvangt heeft maar een antenne en degene dat de data verzend heeft er meerdere. Dit kan u zien op figuur ?? waarbij TX de zender is en RX de ontvanger. Bij Angle of Departure berekent het ontvangende apparaat zelf zijn locatie aan de hand van de verschillende antennes van het zendende apparaat en hun posities.

Hier kunnen veel combinaties in gemaakt worden en met behulp van de Received Signal Strength Indicator (RSSI) zijn er nog eens extra mogelijkheden.

Received Signal Strength Indicator

De Received Signal Strength Indicator (RSSI)

2.0.3. Smartphones

Hoe werkt BLE bij smartphone?

Smartphones doen dit aan de hand van RSS (Chen e.a., [2017](#)).

2.0.4. Hoe veilig is Bluetooth Low Energy?

3

Methodologie

Zoals eerder vermeld zal dit onderzoek zich focussen op het voorstel dat Bluetooth Low Energy een optimale oplossing is voor asset tracking in de bouwindustrie. Tegenwoordig worden daar vooral andere technologieën voor gebruikt. BLE zit daar reeds wel al tussen maar in veel mindere mate. In dit gedeelte van de scripte zal er een vergelijking gemaakt worden tussen de verschillende technologieën die vandaag de dag vooral gebruikt worden. Er zal een grondige beschrijving gebeuren van alle voor en nadelen van BLE. Ook bestaat dit deel uit een toelichting van alle geschikte protocols, software en hardware. Op basis hiervan er een experimenteel onderzoek plaatsvinden aan de hand van een zelfontwikkelde Android-applicatie.

3.0.1. Voordelen van BLE asset tracking

De tweede fase houdt een analyse in van wetenschappelijke teksten, met als resultaat een uit-gebreide tekst over de voordelen van BLE assettracking, ten opzichte van technologieën die vandaag de dag gebruikt worden. Hiervoor is een week genoeg.

3.0.2. Nadelen van BLE asset tracking

De derde fase is opnieuw een beschrijving, maar dan over de valkuilen van BLE asset tracking. Deze fase van het onderzoek brengt alle mogelijke tekortkomingen in kaart. Ook voor deze fase is een week voldoende.

3.0.3. Toelichting van protocols, hardware en software

De vierde fase bestaat uit het toelichten van de meest geschikte protocols, compatibiliteit van software en hardware, zoals beacons en gateways. Hierbij wordt er gezocht naar de meest geschikte hardware waarbij er nauwkeurig afgewogen moet worden tussen kosten en functionaliteit. Vervolgens wordt er een veldonderzoek uitgevoerd om, naargelang de vereisten, de keuze te maken op welke manier de app

ontwikkeld zal worden. Totslot zullen alle beschikbare protocols in kaart ge-bracht worden. De geschatte duurtijd van dezefase bedraagt drie weken.

3.0.4. Toelichting app

4

Conclusie



Onderzoeksvoorstel

Het onderwerp van deze bachelorproef is gebaseerd op een onderzoeksvoorstel dat vooraf werd beoordeeld door de promotor. Dat voorstel is opgenomen in deze bijlage.

A.1. Introductie

Bluetooth Low Energy (BLE) is een eenvoudige draadloze netwerktechnologie (Heydon, [2013](#)), onafhankelijk van het klassieke Bluetooth. Het is geoptimaliseerd voor ultra laag energieverbruik en een lagere datacapaciteit. BLE wordt standaard ondersteund door zo goed als alle populaire operating systems zoals iOS, Android, macOS en Windows.

Een technologie zoals deze kan gebruikt worden in diverse sectoren met verschillende toepassingen. Enkele van deze toepassingen zijn bijvoorbeeld access control, blood monitoring en smart watches, maar in deze scriptie zal er gefocust worden op asset tracking op een bouwwerf. Hier rond kunnen verschillende vraagstellingen geformuleerd worden.

In dit onderzoek wordt een proof of concept uitgevoerd om de huidige manier van asset tracking op een bouwwerf te optimaliseren aan de hand van BLE beacons, BLE tags, gateways en compatibele smartphones. Er zal ook een algemene analyse gebeuren van de beveiliging van BLE. Hoewel de beveiligingsfuncties in de loop der jaren opmerkelijk zijn verbeterd, is de BLE-technologie nog steeds vatbaar voor ernstige bedreigingen (Lacava e.a., [2022](#)), waardoor een kloof ontstaat tussen het theoretische standaardontwerp en de uitvoering ervan.

Het doel van dit onderzoek is om een introductie te geven tot de problematiek en waarom dit een verbetering zou kunnen zijn op de huidige manier van asset tracking. Vervolgens volgt er een analyse van wetenschappelijke teksten en artikels, waaruit alle voordelen en nadelen van het gebruik van BLE, in de context van asset

tracking, op een bouwwerf voorkomen. Daaropvolgend wordt er op zoek gegaan naar de meest geschikte protocols, compatibiliteit van software en hardware zoals beacons en gateways. Tot slot wordt een app samengesteld waarmee assets gelokaliseerd en gevisualiseerd kunnen worden, waarna advies over de meest optimale oplossing verleend wordt.

A.2. State-of-the-art

Op een bouwwerf worden vandaag de dag heel wat traceertechnologieën gebruikt (Nasr e.a., 2013), aangezien deze hebben aangetoond efficiënt en betaalbaar te zijn. Enkele hiervan zijn Ultra-Wide Bands (UWB), Radio Frequency Identification Cards (RFID) en Global Positioning Systems (GPS). Real-time assets zoals werkmateriaal, machines en werkpersoneel kunnen aan de hand hiervan getraceerd worden.

Een Bluetooth Low Energy beacon of tag is een simpel toestel dat niet meer hoeft te zijn dan een CPU, radio en batterij. Het is een radio transmitter (Andony, 2022) die BLE signalen verstuurt zodat die geïnterpreteerd kunnen worden door compatibele apps of operating systems binnen een bepaalde afstand. Dit signaal is meestal een uniek ID nummer. Door dit signaal kan ook de locatie van de beacon of tag bepaald worden door de ontvanger. Hier speelt RSSI (Subhan e.a., 2019) een belangrijke rol. Als gevolg van ruis treden er fluctuaties op in de RSSI, wat leidt tot een fout in de afstandsbepaling, die uiteindelijk invloed nauwkeurigheid van de positiebepaling beïnvloed. BLE tags kunnen bijna op elk voorwerp worden aangebracht, zodat het via Bluetooth kan worden geïdentificeerd en gevolgd. Door het minimale stroomverbruik kunnen deze bovendien langer aanstaan zonder te moeten worden opgeladen. Dit maakt BLE tags ideaal voor het volgen van inventaris of het bewaken van de locatie van waardevolle voorwerpen.

Een mogelijke vraag die kan worden gesteld is waarom BLE nog niet gebruikt wordt voor asset tracking op een bouwwerf en dat is wat in deze scriptie onderzocht wordt.

A.3. Methodologie

Het onderzoek houdt zes fasen in. In deze fasen wordt er een kleine vergelijkende studie uitgevoerd en een Proof of Concept opgesteld.

De eerste fase is een introductie over de problematiek. Dit wordt gerealiseerd door een grondige studie van vakliteratuur, zoals wetenschappelijke teksten of blogs. Hieruit volgt een tekst die alle vereisten aanhaalt voor een optimale oplossing. De geschatte duurtijd van deze fase bedraagt twee weken.

De tweede fase houdt een analyse in van wetenschappelijke teksten, met als resultaat een uitgebreide tekst over de voordelen van BLE asset tracking, ten opzichte van technologieën die vandaag de dag gebruikt worden. Hiervoor is een week genoeg.

De derde fase is opnieuw een beschrijving, maar dan over de valkuilen van BLE asset tracking. Deze fase van het onderzoek brengt alle mogelijke tekortkomingen in kaart. Ook voor deze fase is een week voldoende.

De vierde fase bestaat uit het toelichten van de meest geschikte protocols, compatibiliteit van software en hardware ,zoals beacons en gateways. Hierbij wordt er gezocht naar de meest geschikte hardware waarbij er nauwkeurig afgewogen moet worden tussen kosten en functionaliteit. Vervolgens wordt er een veldonderzoek uitgevoerd om, naargelang de vereisten, de keuze te maken op welke manier de app ontwikkeld zal worden. Tot slot zullen alle beschikbare protocols in kaart gebracht worden. De geschatte duurtijd van deze fase bedraagt drie weken.

De vijfde fase van dit onderzoek bedraagt het ontwikkelen van een applicatie waarmee assets gelokaliseerd en gevisualiseerd kunnen worden. Deze app wordt verwacht in .NET te worden geschreven voor het Android operating system. De geschatte duurtijd van deze fase bedraagt vier weken.

De zesde en laatste fase bevat een verduidelijking van de bekomen resultaten, met als doel te bewijzen dat het voorgestelde concept, asset tracking a.d.h.v. Bluetooth Low Energy, een optimale manier is. De geschatte duurtijd van deze fase bedraagt een week.

A.4. Verwacht resultaat, conclusie

Er wordt verwacht dat Bluetooth Low Energy een zeer optimale keuze is voor asset tracking binnen een bouwwerf. Met een lage kostprijs, makkelijke installatie en nauwkeurige tracering, behoort deze technologie aan de top van rendabele en duurzame mogelijkheden.

De doelgroep van dit onderzoek, namelijk werfleiders of andere leidinggevende functies kunnen op dezelfde manier hun werkmateriaal, personeel en machines traceren, maar dan veel goedkoper, accurater en mogelijks efficiënter.

Bibliografie

Andony, B. (2022, februari 17). *Bluetooth Low Energy (BLE) Construction Uses and Applications*. <https://mycomply.net/info/blog/bluetooth-low-energy-ble/>

Chen, D., Shin, K. G., Jiang, Y. & Kim, K.-H. (2017). Locating and Tracking BLE Beacons with Smartphones. *Proceedings of the 13th International Conference on emerging Networking EXperiments and Technologies*. <https://doi.org/10.1145/3143361.3143385>

Heydon, R. (2013). *Bluetooth Low Energy*. Verkregen 5 oktober 2022, van <https://ptgmedia.pearsoncmg.com/images/9780132888363/samplepages/013288836X.pdf>

Kumbhar, A. (2017). Overview of ISM Bands and Software-Defined Radio Experimentation. *Wireless Personal Communications*, 97(3), 3743–3756. <https://doi.org/10.1007/s11277-017-4696-z>

Lacava, A., Zottola, V., Bonaldo, A., Cuomo, F. & Basagni, S. (2022). Securing Bluetooth Low Energy networking: An overview of security procedures and threats. *Computer Networks*, 211, 108953. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2022.108953>

Lehtimäki, S. (2018). Understanding Advanced Bluetooth Angle Estimation Techniques for Real-Time Locationing. <https://www.silabs.com/documents/public/presentations/ew-2018-understanding-advanced-bluetooth-angle-estimation-techniques-for-real-time-locationing.pdf>

McNeff, J. G. (g.d.). The Global Positioning System. *IEEE Transactions on microwave theory and techniques*. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/33214552/gps1-libre.pdf?1394781812=&response-content-disposition=inline;%20filename=The_Global_Positioning_System.pdf&Expires=1670951514&Signature=TfWOhhEIId4FQGOYdreFCPq3VIIntXnbavTxgE2-f-VN9ngQwnPXYEaFrwm~-HlRq~fMpaht~i5luaQ~XAUOjVrgNBaOBVO~-Pb2OQBihU3PQaxSt~DwfGkT2tWlsub-SZDBiGg6BoTlYrVI4QA3zw4xhAiG2evcOUKaPCDLNNQ__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Mezzanotte, P., Palazzi, V., Alimenti, F. & Roselli, L. (2021). Innovative RFID Sensors for Internet of Things Applications. *IEEE Journal of Microwaves*, 1(1), 55–65. <https://doi.org/10.1109/JMW.2020.3035020>

Nasr, E., Shehab, T. & Vlad, A. (2013). Tracking Systems in Construction: Applications and Comparisons. <http://ascpro0.ascweb.org/archives/cd/2013/paper/CPGT11002013.pdf>

- Rahman, M. Z. (2012, februari 3). *Global Navigation Satellite Systems: Signal, Theory and Applications* (S. Jin, Red.). InTech. Verkregen 15 december 2022, van <https://pdfs.semanticscholar.org/7e43/54de28c704b061314a79a3e1d51a46c9bb92.pdf#page=254>
- Subhan, F., Khan, A., Saleem, S., Ahmed, S., Imran, M., Asghar, Z. & Bangash, J. I. (2019). Experimental analysis of received signals strength in Bluetooth Low Energy (BLE) and its effect on distance and position estimation. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 33(2). <https://doi.org/10.1002/ett.3793>
- Tan, W. C. & Sidhu, M. S. (2022). Review of RFID and IoT integration in supply chain management. *Operations Research Perspectives*, 9, 100229. <https://doi.org/10.1016/j.orp.2022.100229>