

# Projecttitel: Object tracking

Organisatie: lectoraat Data Intelligence, Zuyd

Contactpersonen: ing. G. Dols, drs. J. Beumers

## Achtergrond/aanleiding

Object tracking op basis van GPS-navigatie verloopt meestal als volgt:

- het object ontvangt signalen van GPS-satellieten
- die signalen worden door het object omgezet naar coördinaten
- de coördinaten worden verstuurd (via GSM) naar een centrale server

Deze aanpak vraagt naast de beschikbaarheid van GSM-ontvangers ook rekenkracht en stevige energievoorziening van het object, enerzijds om de GPS-signalen om te zetten naar coördinaten en anderzijds om deze coördinaten te verzenden naar een centrale server.

Voor objecten met een (zeer) beperkte rekenkracht en energievoorziening en in omgevingen met beperkte GSM-dekking is deze aanpak ongeschikt.

## Doelstelling

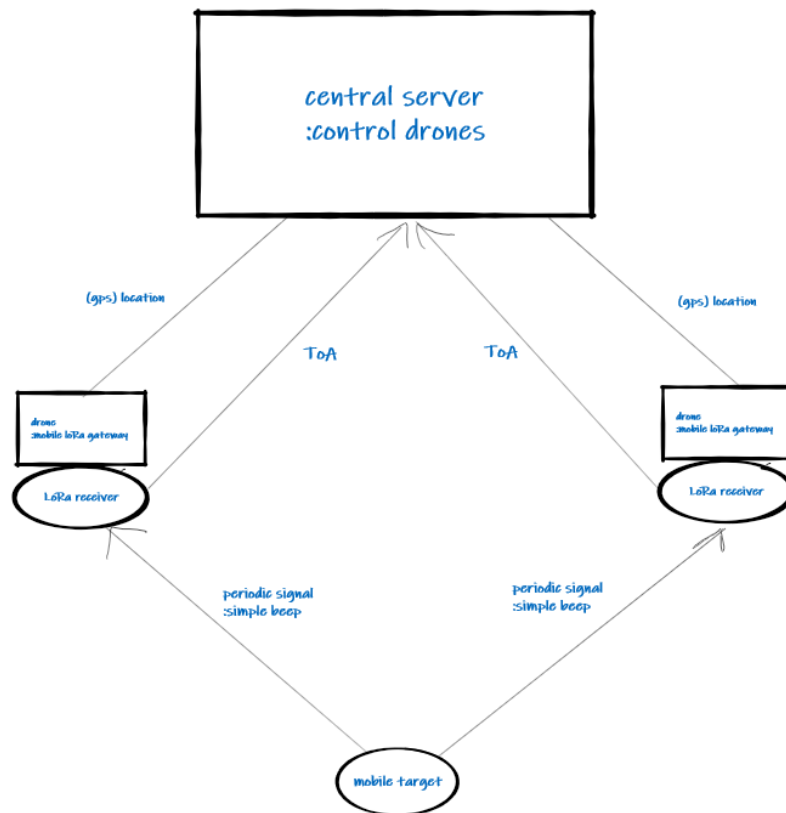
Ontwikkel een prototype object-tracking op basis van LoRa-signalen, voor mobiele objecten met een lage energievoorziening, in mogelijk onbekende omgevingen, met geen of zeer beperkte GSM-dekking. Voordeel van LoRa is de lage energieconsumptie en het grote bereik (kilometers), mogelijke multipaths zijn een nadeel.

## Grove opzet

Het te volgen object wordt uitgerust met een LoRa-zender die periodiek een signaal verzendt. (Twee) Drones, uitgerust met LoRa radio's, verkennen een onbekend gebied, op zoek naar de periodieke signalen. Deze signalen worden vervolgens omgezet naar locatie-coördinaten van het object.

Aanname: de drones worden in eerste instantie centraal aangestuurd.

Een latere uitbreiding is een zelforganiserend multi-agent systeem, waarbij de drones onderling communiceren/coördineren, zonder centrale sturing.



Server controls (via api) locations of drones  
 Drone-server communication: two way  
 ToA: Time of arrival

note: LoRa receiver can also send own gps, if available, to server

## Doel

Haalbaarheid, efficiëntie en nauwkeurigheid in kaart brengen.

- Subdoel 1: koppel LoRa-gateways aan de drones en realiseer communicatie tussen de objecten en de drones/gateways, tussen de drones/gateways en een centrale server en tussen de drones/gateways onderling.
- Subdoel 2: ontwikkel een algoritme om zo efficiënt mogelijk een onbekend gebied met (twee) drones te verkennen.
- Subdoel 3: ontwikkel een algoritme dat zo efficiënt mogelijk, op basis van object-signalen en TDoA (Time Difference of Arrival), de locatie berekent van het object.

## Aanpak

Gegeven de volgende afbakening: de communicatie van de drone/gateway naar de centrale server is beschikbaar.

- Realiseer subdoel 1 iteratief obv 4 deelproblemen:
  1. koppel de gateways bruikbaar aan de drones
  2. realiseer communicatie van object naar gateway

3. realiseer bidirectionele communicatie tussen drone/gateway en server
  4. realiseer communicatie tussen drones/gateways onderling
- Realiseer subdoel 2 en 3 iteratief, verbeter per iteratie de kwaliteit van de algoritmen.
  - Subdoel 2: ontwerp en implementeer een functie met 2 inputs en 1 output:
    1. Input 1: de huidige locatie per drone
    2. Input 2: de vorige locaties per drone
    3. Output: de nieuwe richting en snelheid per drone
  - Subdoel 3: ontwerp en implementeer een functie met 2 inputs en 1 output:
    1. Input 1: locatie en tijdstip ontvangst van het object-sigitaal, per drone
    2. Input 2: de vorige locaties en tijdstippen ontvangst van het object-sigitaal, per drone
    3. Output: de nieuwe richting en snelheid per drone

#### *Ad Subdoel 2*

Een eenvoudige manier (werkt bij n drones) is de drones eerst in een rechte lijn plaatsen (met lengte l).

De onderlinge afstand tussen de drones (=  $l / (n-1)$  drones) baseren op de reikwijdte van het LoRa-sigitaal.

Dan zijn er 2 opties:

1. Cirkelaanpak: De drones draaien als een star lichaam (met lengte l) in een cirkelbaan c. Na iedere volledige draai wordt de straal van cirkelbaan c met lengte l vergroot, beginnend bij 0. Het middelpunt van cirkelbaan c is waar de drones starten. De drones maken zo in feite per volledige draai (360 graden) een cirkelring<sup>[1]</sup>, die per draai groter wordt (straal wordt straal + l).
2. Spiraalaanpak: de drones draaien als een star lichaam in een spiraalbaan s (Archimedes spiraal<sup>[2]</sup>,  $r = a + b * c$ ). Het middelpunt a van spiraalbaan s is waar de drones starten (kan dus 0 zijn). De breedte b van iedere winding is gelijk aan lengte l. De hoek c bepaalt vervolgens de straal r ( $r = l * c$ ).

***De spiraalaanpak is het meest efficiënt, maar waarschijnlijk iets lastiger te implementeren.***

#### *Ad subdoel 3*

Zie onderstaand figuur ter inspiratie

Aanpak x: ?

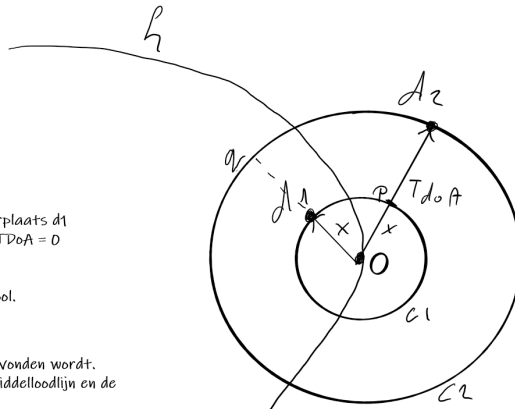
Aanpak 0: verkrijg een aantal TDoA's (verplaats de 2 drones een paar keer).  
Meerdere TDoA's leiden tot meerdere hyperbolen.  
Bereken op basis van de snijpunten van de hyperbolen de locatie van object O.

Aanpak 1: bepaal 1 TDoA en scan de hyperbool.

Aanpak 2:  
- Verplaats d1 of d2 zodanig dat de TDoA 0 wordt. Bijv.: verplaats d1 in een willekeurige richting (maar niet richting d2), totdat TDoA = 0 (d1 en d2 bevinden zich dan beide op cirkel c2).  
- Scan nu de middelloodlijn.  
- Of, bereken het snijpunt van de middelloodlijn en de hyperbool.

Aanpak 3:  
- Verplaats d1 (of d2) zodanig dat punt q (of p) gevonden wordt.  
- Object O bevindt zich nu op het snijpunt van de middelloodlijn en de rechte lijn door d1\_oud en d1\_nieuw.

Aanpak 4:  
- Verplaats d1 in een willekeurige richting (maar niet richting d2, bijv. in tegenovergestelde richting van d2), totdat TDoA = 0.  
d1 en d2 bevinden zich nu op cirkel c2 en 1 middelloodlijn is bekend.  
- Laat d1 nu een stukje terug vliegen (dus richting de oorspronkelijke plek).  
- Verplaats daarna d1 in een willekeurige richting (maar niet richting d2 en niet richting de vorige locatie, bijv. 90 graden gedraaid), totdat TDoA = 0.  
d1 bevindt zich nu weer op cirkel c2, maar op een andere locatie. Nu is een 2-de middelloodlijn bekend.  
- De locatie van object O bevindt zich op het snijpunt van de 2 middelloodlijnen.



d1 = drone 1, locatie is bekend  
d2 = drone 2, locatie is bekend  
TDoA = het tijdsverschil tussen signaalontvangst bij d1 en d2, is bekend  
TDoA is ook een afstand, omdat de lichtsnelheid constant is  
O = het te traceren object (de zender van het signaal)  
c1 = cirkel met middelpunt O en straal x  
c2 = cirkel met middelpunt O en straal x+TDoA  
x en O zijn onbekend

Als d1 en d2 bekend zijn en TDoA is bekend, dan is de hyperbool h bekend.  
Ergens op hyperbool h bevindt zich object O.

Als d1 en d2 evenver van object O zijn (TDoA = 0), dan bevindt O zich op de middelloodlijn van lijnstuk d1d2.  
Object O bevindt zich dus op het snijpunt(en) van de hyperbool en de middelloodlijn.

Ergens op een afstand TDoA van d2 bevindt zich een punt p, waarvoor geldt dat p ook (net als d1) een afstand x heeft tot object O.

Ergens op een afstand TDoA van d1 bevindt zich een punt q, waarvoor geldt dat q ook (net als d2) een afstand x+TDoA heeft tot object O.

Note:

- Object O en de drones bevinden zich in een 3D ruimte (bovenstaande is een vereenvoudigd model in 2D).
- Object O verzendt periodiek een signaal. Met welke frequentie? Hoe vaker, hoe nauwkeuriger en sneller de locatiebepaling, maar ook hoe hoger het energieverbruik. Als de signalen te snel achter elkaar komen kan er ook interferentie ontstaan.
- Object O kan zich verplaatsen.

**Aanpak 0 (subdoel 3) is het snelst, maar ook wiskundig nogal lastig. Een heuristische aanpak (nummerieke benadering) kan als volgt:**

- Verzamel een paar TDoA's.
- Iedere TDoA levert een hyperboloïde op (is een 3D versie van een hyperbool). We zijn op zoek naar de doorsnede (snijpunt) van deze hyperboloiden.
- We nemen aan dat het te traceren object (het object dat periodiek een signaal verzendt) zich op het aardoppervlak bevindt, en dus worden de hyperboloiden hyperbolen.
- Met de locatie van de drones (brandpunten van de hyperbool) en de TDoA, is de middelpuntsvergelijking<sup>[3]</sup> van de hyperbool makkelijk te bepalen. Sla voor iedere hyperbool een grote set aan punten (x,y) op in een tabel.
- Iedere hyperbool (tabel) heeft echter, door de middelpuntsvergelijking, een ander assenstelsel. Transformeer (rotatie en translatie) daarom de punten in de tabellen naar eenzelfde coördinatenstelsel (bij voorkeur GPS-coördinaten).
- Zoek in de getransformeerde tabellen naar de snijpunten.

Gecombineerde aanpak:

1. Verken de omgeving (spiraalaanpak).

2. Als een drone het signaal ontvangt: verplaats de andere drone richting de eerste drone totdat deze ook het signaal ontvangt. Dan hebben we 1 TDoA. Verplaats nu een drone zodat we een 2-de TDoA krijgen (en een 3-de gratis!).
  3. Kies een aanpak bij subdoel 3 (aanpak 0 heuristisch).
- [https://www.researchgate.net/publication/325330322\\_TDoA-Based\\_Outdoor\\_Positioning\\_with\\_Tracking\\_Algorithm\\_in\\_a\\_Public\\_LoRa\\_Network](https://www.researchgate.net/publication/325330322_TDoA-Based_Outdoor_Positioning_with_Tracking_Algorithm_in_a_Public_LoRa_Network)
  - [https://lora-alliance.org/sites/default/files/2018-04/geolocation\\_whitepaper.pdf](https://lora-alliance.org/sites/default/files/2018-04/geolocation_whitepaper.pdf)
- 

1. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Cirkelring> ↔
2. [https://en.wikipedia.org/wiki/Archimedean\\_spiral](https://en.wikipedia.org/wiki/Archimedean_spiral) ↔
3. [https://nl.wikipedia.org/wiki/Hyperbool\\_\(meetkunde\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Hyperbool_(meetkunde)) ↔