

# Project Digitale Signaalverwerking

## Locatiebepaling van een vliegend object

David Plets, Emmeric Tanghe

2020-2021

Het doel van dit project is het bepalen van de positie van een vliegtuigje met behulp van radio-frequente elektromagnetische golven. Een basisstation zendt een reeks frequentietonen uit. Het vliegtuigje pikt de frequentietonen op en bepaalt hun relatieve amplitude en fase t.o.v. de uitgezonden amplitude en fase.

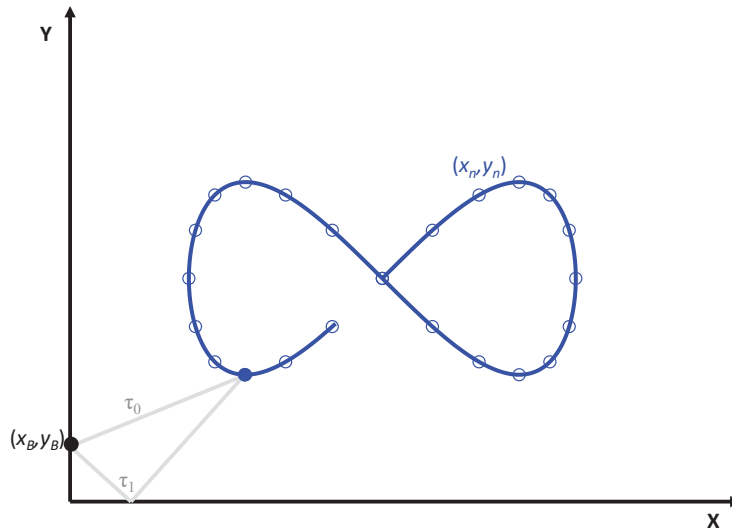
Beschouw de configuratie in Fig. 1. De coördinaten van het basisstation zijn  $(x_B, y_B) = (0 \text{ m}, 1 \text{ m})$ . Het vliegend object beschrijft een baan met coördinaten  $(x_n, y_n)$  in m.

$$\begin{aligned}x_n &= 4 + 3 \cdot \sin(\theta_n) \\ y_n &= 4 + 3 \cdot \sin(\theta_n) \cdot \cos(\theta_n)\end{aligned}\tag{1}$$

In (1),  $\theta_n = n \cdot 15^\circ$  voor  $n = 0, 1, \dots, 23$ .

We veronderstellen dat het signaal uitgezonden door het basisstation het vliegtuigje bereikt via twee propagatiepaden. Het zendsignaal bereikt het vliegtuigje enerzijds via het direct propagatiepad dat loopt langs de verbindinglijn tussen basisstation en vliegtuig. De reistijd van het signaal langsheen dit pad noemen we  $\tau_0$ . Anderzijds reflecteert het zendsignaal ook op de grond en bereikt het via deze reflectie het vliegtuigje. In de configuratie van Fig. 1 valt de grond samen met de X-as. De reistijd van het signaal langsheen het gereflecteerde pad noemen we  $\tau_1$ .

De reistijden  $\tau_0$  en  $\tau_1$  kunnen gedetecteerd worden als pieken in een zogenaamd *power delay profile* of PDP. Een PDP is een grafiek die het verloop van het door het vliegtuig ontvangen signaalvermogen geeft als functie van de reistijd (Engels: *delay*). De PDP wordt bekomen door een inverse Fourier transformatie uit te voeren op de opgemeten frequentiekaracteristiek en het vermogen van het resultaat te nemen. Eventueel kan vooraf een venster over de frequentiekaracteristiek gezet worden. In de praktijk wordt de frequentiekaracteristiek op dezelfde positie vaak meerdere keren opgemeten om het effect van meetfouten en ruis te reduceren. Van elke frequentiekaracteristiek wordt dan een PDP berekend. Al deze PDPs worden vervolgens uitgemiddeld tot een *averaged power delay profile* of APDP.



Figuur 1: basisstation-vliegtuig configuratie

## Opdrachten

Het doel is het schatten van de baan van het vliegtuigje op basis van het opgemeten draadloos kanaal. Dit gebeurt via een door jou te schrijven methode *main*, die gebruik zal maken van verschillende deelmethodes hieronder vermeld.

1. **Bepalen reistijden van paden** - De eerste dataset bevat de opgemeten frequentiekaracteristiek (200 frequentietonen in fasor-notatie), met de frequentietonen  $f_i$  uniform verdeeld tussen 1 en 3 GHz ( $f_i = 1 \text{ GHz} + i \cdot 10 \text{ MHz}$  voor  $i = 0, 1, \dots, 199$ ) voor elk van de 24 vliegtuigposities. Elke frequentiekaracteristiek werd 100 keer opgemeten om meetfouten en ruis te beperken. Schrijf een functie '*calculate\_delays*' om uit de gemeten frequentiekaracteristiek de reistijden te schatten. Dit doe je als volgt:

- Schrijf een functie '*channel2APDP*' die de APDP berekent uit de frequentiekaracteristiek van een bepaalde positie. Schrijf de gebruikte formule ook neer in je kort verslag. Onderzoek het effect van een geschikt window en leg uit in je verslag. Denk na over de range van de bekomen samples in het tijdsdomein (delaydomein), welke delay stelt elk sample voor en hoe linkt dit aan de afstand tussen de frequentietonen? Leg de analogie met de afstand tussen tijdssamples en de resulterende range van de samples in het frequentiedomein zoals in de practica behandeld.
- Schrijf een functie '*APDP2delays*' die uit een APDP de twee grootste lokale maxima vindt; deze komen overeen met de reistijden  $\tau_0$  en  $\tau_1$  van het rechtstreeks en het gereflecteerd propagatiepad.

2. **Locatiebepaling** - Hier gaan we uit bovenstaande reistijden een locatie berekenen.

- Schrijf een functie '*calculate\_location*' die  $x_n$  en  $y_n$  bepaalt als functie van de reistijden  $\tau_0$  en  $\tau_1$ . Dit kan via een stelsel, aan de hand van Fig. 1.

- Pas deze functie toe met de numerieke waarden voor  $\tau_0$  en  $\tau_1$  bekomen in opdracht 1, en doe dit voor elk van de 24 vliegtuigposities.
- Wat is de mediaan fout op de lokalisatie t.o.v. de exacte vliegtuigposities in (1)?

**3. Vergelijking met tweede dataset** - Hier gaan we bovenstaande analyse herhalen voor de tweede dataset.

- De tweede dataset bevat de opgemeten frequentiekaracteristiek (in fasor-notatie) van 1000 frequentietonen  $f_i$  uniform verdeeld tussen 1 en 11 GHz ( $f_i = 1 \text{ GHz} + i \cdot 10 \text{ MHz}$  voor  $i = 0, 1, \dots, 999$ ) voor elk van de 24 vliegtuigposities. Elke frequentiekaracteristiek werd opnieuw 100 keer opgemeten.
- Gebruik de tweede dataset om op analoge wijze als in opdracht 1 en 2 de coördinaten  $(x_n, y_n)$  van het vliegtuig te berekenen. Wat is de mediaan fout op de lokalisatie?
- Wat merk je als je deze fout vergelijkt met die uit dataset 1? Verklaar.

**Wat moet je inleveren?**

- Een functie main, die minstens is opgebouwd is uit bovenstaande functies. Documenteer de code voldoende. Zorg dat je code de geschatte coördinaten als output uitprint: 24 posities voor dataset 1, 24 posities voor dataset 2.
- Een document met (a) uitdrukking APDP en toelichting rond de bijhorende vragen; (b) een tabel met de mediaan fout; dit voor zowel dataset 1 als dataset 2, met en zonder window; (c) plotjes van het gereconstrueerd traject vs. het echte traject, voor dataset 1 en 2, en met en zonder toepassing van een geschikt venster; (d) een vergelijking van de fouten in dataset 1 en dataset 2 en een verklaring van het eventuele verschil.