

Project Digitale Signaalverwerking

Locatiebepaling van een drone uit een radiokanaalmeting

David Plets, Emmeric Tanghe

2023-2024

Het doel van dit project is het bepalen van de positie van een drone met behulp van radio-frequente elektromagnetische golven. Een basisstation zendt een reeks frequentietonen uit. De drone pikt de frequentietonen op en bepaalt hun relatieve amplitude en fase t.o.v. de uitgezonden amplitude en fase. Het draadloos radiokanaal gedraagt zich hier dus als een filter, waarvan we voor een aantal specifieke frequenties het gedrag meten.

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

$$\begin{aligned}x_n &= 2 + \frac{t}{2} \\y_n &= \frac{t^2}{32} - \frac{t}{2} + 6\end{aligned}\tag{1}$$

In (1), $t = 0, 1, \dots, 24$.

We veronderstellen dat het signaal uitgezonden door het basisstation de drone bereikt via twee propagatiepaden. Het zendsignaal bereikt de drone enerzijds via het direct propagatiepad dat loopt langs de verbindinglijn tussen basisstation en drone. De reistijd van het signaal langsheen dit pad noemen we τ_0 . Anderzijds reflecteert het zendsignaal ook op de grond en bereikt het via deze reflectie de drone. 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 τ_1 .

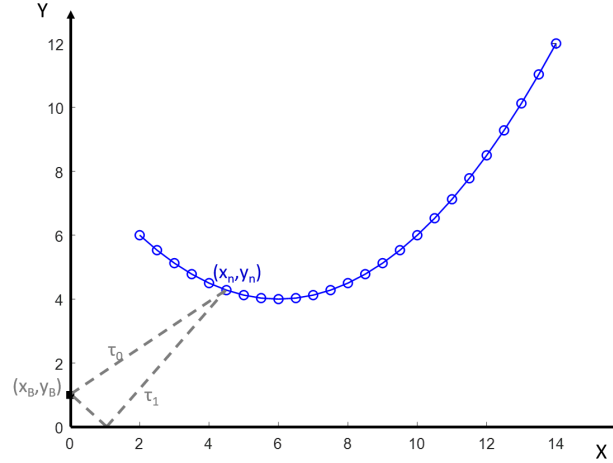
De reistijden τ_0 en τ_1 kunnen gedetecteerd worden als pieken in een zogenaamd *power delay profile* of PDP. Een PDP is een grafiek die het verloop van het door de drone ontvangen signaalvermogen geeft als functie van de reistijd (Engels: *delay*). De PDP wordt bekomen door een inverse Fourier transformatie uit te voeren op de opgemeten frequentiekaracteristiek (wat de impulsrespons van het kanaal geeft) en het vermogen van het resultaat te nemen. Eventueel kan vooraf een venster over de frequentiekaracteristiek gezet worden, je kan het effect hiervan onderzoeken. In de praktijk (en in de gegeven dataset) 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.

Wat is het vermogen van het signaal $x[n]$? \rightarrow Parseval: $\frac{1}{N_0} \sum_{n=0}^{N_0-1} |x[n]|^2 = \sum_{k=0}^{N_0-1} |c_k|^2$

$P = \frac{1}{4}(3^2 + 2^2 + 1^2 + 0^2) = \frac{7}{2} \rightarrow$ via het tijdsdomein

$P = |\frac{3}{2}|^2 + |\frac{1}{2} - \frac{1}{2}j|^2 + |\frac{1}{2}|^2 + |\frac{1}{2} + \frac{1}{2}j|^2 = \frac{9}{4} + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{2} = \frac{7}{2} \rightarrow$ via het f-domein

} zelfde resultaat



Figuur 1: basisstation-drone configuratie

Opdrachten

Het doel is het schatten van de baan van de drone 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 25 dropenposities. 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. Uit de practica weet je nog dat de afstand tussen de opeenvolgende tijdssamples ($\Delta T = 1/f_S$) bepaalde wat de range van de samples in het frequentiedomein was (0 tot f_S) en hun onderlinge afstand of frequentieresolutie (f_S/N). Maak de analogie en denk na over de range van de nu bekomen samples in het tijdsdomein (of hier delaydomein), welke delay stelt elk sample voor (wat is de tijdsresolutie) en hoe linkt dit aan de afstand tussen de opeenvolgende frequentietonen en aan de bandbreedte van het signaal?
- Schrijf een functie '*APDP2delays*' die uit een APDP de twee grootste lokale maxima vindt; deze komen overeen met de reistijden τ_0 en τ_1 van het rechtstreeks en het gereflecteerd propagatiepad. De APDP is namelijk het (uitgemiddeld) vermogen van het

impulsantwoord; dus als je een impuls aanbiedt aan het draadloos kanaal, dan toont de APDP het ontvangen vermogen en de delay, langsheen die twee paden.

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 τ_0 en τ_1 . Dit kan via een stelsel, aan de hand van Fig. 1.
- Pas deze functie toe met de numerieke waarden voor τ_0 en τ_1 bekomen in opdracht 1, en doe dit voor elk van de 25 droneposities.
- Wat is de mediaan fout op de lokalisatie t.o.v. de exacte droneposities in (1)? Wat is de impact van een venster?

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 25 droneposities. Hier heb je dus een bandbreedte van 10 GHz. 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 de drone 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: 25 posities voor dataset 1, 25 posities voor dataset 2.
- Een document met (a) wiskundige uitdrukking APDP en toelichting rond de bijhorende vragen i.v.m. delay en range; (b) een afleiding van het stelsel om de locatie te vinden; (c) een tabel met de mediaan fout; dit voor zowel dataset 1 als dataset 2, met en zonder window, incl. vergelijking en toelichting (d) plotjes van het gereconstrueerd traject vs. het echte traject, voor dataset 1 en 2, en met en zonder toepassing van een geschikt venster.