



CHALMERS



Kan man avgöra skogstyp med hjälp av GNSS?

Kandidatarbete inom elektroteknik, automation och mekatronik, teknisk matematik och globala system

Nader Ghodusi, Maja Lingström, Hedda Nooij,
Wilma Widegren

Institutionen för rymd-,geo- och miljövetenskap

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2025
www.chalmers.se

KANDIDATARBETE 2025

Kan man avgöra skogstyp med hjälp av GNSS?

Nader Ghodusi, Maja Lingström, Hedda Nooij, Wilma Widegren



Institutionen för rymd-geo- och miljövetenskap
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2025

Kan man avgöra skogstyp med hjälp av GNSS?
Nader Ghodusi, Maja Lingström, Hedda Nooij, Wilma Widegren

© Nader Ghodusi, Maja Lingström, Hedda Nooij, Wilma Widegren, 2025.

Handledare: Rüdiger Haas, Onsala rymdobservatorium
Examinator: Jan Johansson, Onsala rymdobservatorium

Kandidatarbete 2025
Institutionen för rymd-,geo- och miljövetenskap
Chalmers tekniska universitet
SE-412 96 Göteborg

Skriven i L^AT_EX
Göteborg, Sverige 2025

Kan man avgöra skogstyp med hjälp av GNSS?
Nader Ghodusi, Maja Lingström, Hedda Nooij, Wilma Widegren
Institutionen för rymd-geo- och miljövetenskap
Chalmers tekniska universitet

Sammandrag

Detta kandidatarbete undersöker möjligheten att använda GNSS-funktionaliteten i android-baserade mobiltelefoner för att kunna identifiera skogstyp genom analysering av signalstyrkans dämpning. GNSS-signaler påverkas när de passerar genom vegetation, och dämpningen kan potentiellt användas som indikator för vegetationens täthet, fukthalt och skogstyp. Syftet med studien är att utvärdera om skillnader i signaldämpning kan användas för att skilja på barr- och lövskog med mobiltelefoner som verktyg. Datainsamlingen genomfördes med stationära referensantennor och android-baserade mobiltelefoner på öppen yta och olika skogsmiljöer. Mätdata bearbetades därefter i Python, där signalstyrkan normaliserades och visualiserades. En AI-modell utvecklades för att klassificera skogstyper baserat på signalmönster. Resultaten visade att metodens tillförlitlighet begränsades av tekniska variationer mellan mobiltelefonerna, liten datamängd samt säsongsmässiga begränsningar. AI:n gav inget tydligt resultat då mängden data var för liten. Trots detta visar studien på att GNSS-signaler påverkas av vegetation på ett mätbart sätt, och metoden har potential för vidareutveckling vid mer standardiserade och omfattande studier.

Nyckelord: GNSS, Android, satellitnavigering, signaldämpning, skogskartläggning, signalstyrka.

Abstract

This bachelor's thesis investigates the potential of using the GNSS functionality in Android-based smartphones to identify forest types and analyzing signal attenuation. GNSS signals are affected when passing through vegetation and may indicate the forest density, vegetation water content and type of vegetation. The aim of the study is to evaluate whether differences in signal attenuation can be used to tell the difference between coniferous and deciduous forest using smartphone to collect data. Data was collected using stationary reference antennas and Android-based smartphones in open areas and different forest environments. The measured data was then processed in Python, where the signal strength was normalized and visualized. An AI model was also developed to classify forest types based on signal patterns. The results showed that the reliability of the method was limited by technical differences between the smartphones, a small dataset, and seasonal constraints. The AI did not provide clear results because the amount of data was too small. Despite these limitations, the study shows that GNSS signals are measurably affected by vegetation, and the method has potential for further development in more standardized and large-scale studies.

Keywords: GNSS, GNSS-T, VWC, Android, satellite navigation, signal attenuation, forest mapping, signal strength.

Förord

Vi vill tacka vår handledare, Rüdiger Haas, som har gett oss värdefulla tankar och påpekanden. Han har med sin erfarenhet och expertis inom området har bidragit med nyttiga idéer och bra återkoppling under projektets gång.

Ett stort tack ska även riktas till avdelningen för fackspråk och kommunikation som har hjälpt oss nå vårt mål genom att bidra med sina kunskaper och stöd kring skrivandet i projektarbetet.

Nader Ghodusi, Maja Lingström, Hedda Nooij, Wilma Widegren
Göteborg, Maj 2025

Beteckningar

Nedan är de använda akronymerna och beteckningarna som har använts i texten, listade i alfabetisk ordning:

BeiDou	BeiDou Navigation Satellite System
CNN	Convolutional Neural Network
CS	Control Segment
Galileo	Galileo Satellite Navigation
GLONASS	Globalnaja Navigacionnaja Sputnikovaja Sistema
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GNSS-R	Global Navigation Satellite System-Reflectometry
GNSS-T	Global Navigation Satellite System-Transmissometry
GPS	Global Positioning System
IRNSS	Indian Regional Satellite System
LHCP	Left-Handed Circular Polarization
LOS	Line-of-Sight
MEO	Medium Earth Orbit
MP	Multipath
PNT	Position Navigation and Timing
QZSS	Quasi-Zenith Satellite System
RHCP	Right-Handed Circular Polarization
RINEX	Receiver Independent Exchange Format
SATNAV	Satellite Navigation
SNR	Signal-to-Noise Ratio
SS	Space Segment
US	User Segment
VOD	Water Optical Depth
VWC	Vegetation Water Content

Innehåll

1	Introduktion	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte och frågeställning	2
1.3	Avgränsningar	2
2	Teori	4
2.1	GNSS	4
2.1.1	Signalegenskaper	5
2.1.2	GNSS-signalens utbredning	5
2.1.3	GNSS-T	5
2.2	RINEX	6
2.3	Mobiltelefoner	6
2.4	Träslag och deras egenskaper	6
3	Metod	8
3.1	Datainsamling	8
3.1.1	Mobiltelefonerna	9
3.2	Matematiska beräkningar	10
3.3	Analys och behandling av data	10
3.3.1	Visualisering av datan	11
3.3.1.1	AI-modellen	11
4	Resultat	13
4.0.1	Lövträd	13
4.0.2	Barrträd	15
4.0.3	Kalibreringen	17
4.0.4	Antennerna	18
5	Diskussion	19
5.1	Tolkning av resultat	19
5.2	Matematiska antaganden och förenklingar	19
5.3	Felkällor och förbättringsförslag	20
5.3.1	Tidsramen	20
5.3.2	Utrustning	20
5.3.3	Multipath-effekter	20
5.3.4	Datamängd	21
5.3.5	Andra relevanta frågeställningar	21

Innehåll

5.4	Metodens potential och användningsområden	22
6	Slutsats	23
	Literaturförteckning	24
A	Pythonkod	I

1

Introduktion

Global Navigation Satellite System (GNSS) används främst för position, navigation and timing (PNT) världen över. Det omfattar system som GPS, Galileo, Beidou och GLONASS [1]. Förutom att bestämma användarens geografiska position registrerar GNSS även data om signalens kvalitet, exempelvis brusnivå och signalstyrka. Tidigare studier baserade på GNSS-reflektometri (GNSS-R) har fastställt GNSS-signalernas känslighet för vegetationens egenskaper som vegetation water content (VWC) och vegetation optical depth (VOD) [2].

Att direkt mäta VWC på plats är resurskrävande och kan skada träden [3]. På senare år har mobiltelefoner med Android-baserade operativsystem fått utökade möjligheter att ta emot rådata från GNSS. Genom att studera hur GNSS-signaler förändras när de passerar genom olika skogstyper kan VWC och VOD estimeras. Dessa parametrar är viktiga för att kunna utvärdera vegetationstillväxt, biomassa, klimatförändringar och förutsägelse av torka eller skogsbränder [4].

Denna rapport undersöker möjligheten att identifiera olika skogstyper, specifikt barr- och lövskog, genom att analysera hur GNSS-signaler dämpas vid mottagning i mobiltelefoner. Genom att jämföra signalstyrkor i skogsmiljö med mätningar gjorda på öppen yta kan dämpningsgraden uppskattas. Denna metod skulle kunna bidra till en effektiv och icke-invasiv teknik för skogskartläggning.

1.1 Bakgrund

Satellitbaserade navigationssystem har revolutionerat modern positionering och tidsbestämning, med tillämpningar inom en rad olika områden såsom transport, miljöövervakning och skogskartläggning. Genom användning av globala nätverk av satelliter möjliggörs högprecisionsmätningar över hela världen. Dessa system utgör grunden för exakta geografiska och tidsmässiga referenser, vilket är avgörande för många tekniska applikationer.

Under de senaste decennierna har utvecklingen av GNSS-teknologi lett till förbättrad positionsnoggrannhet och bredare användningsområde, vilket möjliggör tillämpningar inom bland annat miljöövervakning och skogskartläggning [2]. Ett intressant forskningsområde är hur GNSS-signaler interagerar med olika material och miljöer, såsom vegetation och terräng. Genom att analysera dessa interaktioner kan GNSS användas som ett verktyg för att analysera skogstyper, trädthet och biomassa.

Vegetation påverkar GNSS-signaler på flera sätt och faktorer som lövverkets täckningsgrad, trädens densitet och säsongsvariationer spelar en central roll i detta [5] [6]. Forskning har visat att denna påverkan kan användas för att studera förändringar i skog över tid [7]. Även att vegetation har en signifikant påverkan på GNSS-signaler genom absorption, reflektion och spridning [2] [6]

Under senare år har Adroid-baserade mobiltelefoner fått ökad kapacitet att ta emot rå GNSS-data, vilket för dem lättillgängliga för analyser inom exempelvis miljö eller skog [8]. Trots tekniska begränsningar är de lättillgängliga, bärbara och erbjuder en kostnadseffektiv lösning för datainsamling.

1.2 Syfte och frågeställning

Syftet med detta projekt är att, genom analys av signaldämpningen, undersöka möjligheten att använda mobiltelefonens GNSS-funktion till att identifiera och karakterisera olika skogstyper. Ett av målen är att utvärdera om denna metod kan vara en kostnadseffektiv och hållbar lösning för att kartlägga skogsområden i stor skala utan att behöva skada träden.

Projektet fokuserar särskilt på att utveckla en metodik för att med hjälp av signalanalys kunna särskilja olika skogstyper. Målsättningen är att kartlägga och kvantifiera skillnader mellan skogstyper utifrån deras påverkan på GNSS-signaler. För att uppnå detta kommer mätdata att samlas in från GNSS-mottagare i mobiltelefonerna och därefter analyseras. Genom denna process avses att identifiera specifika signalegenskaper som kan korreleras med olika skogstyper.

Utifrån detta har följande frågeställning formulerats för projektet: Går det, med hjälp av GNSS-data uppmätt med mobiltelefoner, att urskilja barr- och lövskog?

1.3 Avgränsningar

Projektets huvudsakliga avgränsningar är relaterade till tid, resurser och klimatologiska faktorer. Tidsramen för projektet är januari till mitten på maj 2025 och genomförs parallellt med andra studier. De enda resurser som finns tillgängliga är de som tillgodoses av institutionen, samt eventuella privata ägodelar.

Därför är det inte möjligt att undersöka samtliga träd och skogsmiljöer inom projektets ram. För att göra det skulle ett större geografiskt område och en mer omfattande datainsamling krävas, vilket inte är praktiskt genomförbart. Studien kommer därför att fokusera på barr- och lövskog som är ett urval av representativa skogstyper inom Göteborgsområdet. En första avgränsning görs till att enbart skilja på barr- och lövskog, för att därefter se om möjligheten att identifiera specifika träddarter kan utvärderas.

Yttre faktorer, så som väderförhållanden och årstider kan påverka signalmätningarna. Exempelvis kan lövträd ge olika signaldämpningar beroende på årstid, då täckningsgraden varierar mellan sommar och vinter [6]. Andra meteorologiska faktorer, såsom nederbörd, molnighet och luftfuktighet kan också påverka signalstyrkan och mätningarnas noggrannhet [9]. I den mån det är möjligt kommer normalisering av data genomföras för att minimera dessa effekter. De variabler som inte kan normaliseras bort kommer istället att dokumenteras och tas i hänsyn vid analys.

Datainsamlingen är begränsad av de resurser som finns tillgängliga och den totala mängden mätningar förväntas bli relativt låg i förhållande till vad som skulle krävas för en heltäckande studie. Denna begränsning innebär att resultaten bör tolkas med försiktighet och ses som en undersökande studie snarare än en fullständig kartläggning av skogstypers påverkan på GNSS-signaler.

2

Teori

I detta avsnitt presenteras en översiktlig bild av hur GNSS fungerar, samt en genomgång av andra teoretiska områden som är relevanta för studien.

2.1 GNSS

GNSS är ett samlingsbegrepp för alla satellite navigation (SATNAV) system. GNSS inkluderar både globala system (GPS, GLONASS, BeiDou och Galileo) och regionala system (QZSS, IRNSS). GNSS delas in i tre huvudsakliga segment: rymdsegmentet (SS), kontrollsegmentet (CS) och användarsegmentet (US). Kommunikationslänken mellan dessa segment består av elektromagnetiska vågor som färdas med ljusets hastighet. Den globala GNSS-konstellationen består av minst 24 satelliter per system i medium earth orbit (MEO), fördelade över tre till sex omloppsbanor där varje bana inrymmer minst fyra satelliter [10] [11].

Den grundläggande principen för positionsbestämning inom GNSS bygger på beräkning av avståndet från sändaren till mottagaren, så kallat pseudorange. Varje satellit sänder signaler innehållande information om position och tidpunkt för utsändningen som tas emot av en mottagare. Mottagaren jämför tidpunkten för mottagningen med den tidpunkt som signalen sändes. Tidskillnaden multipliceras med ljusets hastighet för att beräkna avståndet till varje satellit [12].

För att få en korrekt avståndsmätning måste sändarens klocka vara synkroniserad med mottagarens klocka. I praktiken förekommer det dock avvikelser. För en mer noggrann mätning kompenseras eventuella avvikelser genom en tidsförskjutning. Ett exempel på detta är en 3D-positioneringsmätning, som kräver minst fyra satelliter: tre satelliter används för positionsmätning och en fjärde satellit för att kompensera för eventuella avvikelser i tidmätningen [12].

2.1.1 Signalegenskaper

En omfattande användning av GNSS och de höga krav som ställs på dess tillförlitlighet och tillgänglighet förutsätter en mycket hög signalkvalitet. När satellitsända signaler passerar genom medier med olika brytningsindex i enlighet med Snells lag, eller interfererar med inhomogena hinder såsom byggnader, jordens atmosfär och vegetation, kan dess amplitud, frekvens, fas och specifika polariseringsegenskaper, exempelvis right-handed circular polarization (RHCP) eller left-handed circular polarization (LHCP) påverkas [10].

Dessa hinder kan antingen blockera signalens line-of-sight (LOS) helt eller ge upphov till fenomenet multipath (MP), vilket innebär att signalen reflekteras en eller flera gånger innan den når mottagaren [5]. Träd tycks däremot varken reflektera eller fullständigt blockera signaler, utan de absorberar en del av signalen och släpper igenom resten. Denna dämpning påverkar i sin tur signalens signal-to-noise ratio (SNR), vilket är ett mått på signalkvalitet baserat på förhållandet mellan användbar signal och omgivande brus [13].

2.1.2 GNSS-signalens utbredning

GNSS klassificeras antingen som passiva eller aktiva, beroende på om mottagaren enbart tar emot signaler eller även sänder dem. I ett aktivt system krävs det att mottagaren emitterar signaler. De flesta globala GNSS-system, undantaget BeiDou, är passiva och använder envägskommunikation där signaler sänds från satelliter till mottagare [14].

Jordens inhomogena atmosfär delas in i olika lager. Troposfären, även kallad den neutrala atmosfären, sträcker sig från jordens yta upp till cirka 20 km och jonosfären utgör det övre lagret och når höjder upp till omkring 400 km [1]. Med ökad höjd minskar atmosfärens densitet, vilket leder till variationer i brytningsindexet n . När GNSS-signaler färdas genom dessa lager till mottagaren avviker siktlinjen (LOS) vilket resulterar i en tidsfördröjning [14].

Denna fördröjning är frekvensberoende och uppkommer framför allt i jonosfären. Genom att sända två synkroniserade signaler på olika frekvenser från samma satellit kan fördröjningen kancelleras. För att uppnå en väderberoende GNSS används frekvensbandet L, som ligger mellan 1 och 2 GHz. Inom detta intervall är signalernas våglängd mellan 15 och 30 cm [15].

2.1.3 GNSS-T

Global navigation satellite system transmissometry (GNSS-T) är en relativt ny metod för att övervaka VWC. Metoden använder två GNSS-mottagare: en stationär referensenhet placerad på en öppen mark och en andra mottagare, som kan vara stationär eller mobil, i skogsmiljö. Den logaritmiska skillnaden mellan signalstyrkorna från de två mottagarna ger ett mått på skogens transmissivitet och därmed dess vatteninnehåll [16].

Transmissivitet är relaterad till VOD, vilket vanligtvis används som en parameter för att kvantifiera dämpningen av mikrovågssignaler vid korsning av vegetation [17].

2.2 RINEX

Receiver INdependent EXchange (RINEX) är ett standardiserat filformat som används för att lagra GNSS-observationer i textformat i syfte att underlätta datadelning och analys mellan olika GNSS-system och mottagare [18]. Innan RINEX blev standarden använde varje tillverkare sina egna format, vilket försvårade jämförelse och bearbetning av GNSS-data från olika mottagare och stationer [18] [19]. Genom att införa en gemensam struktur blev det möjligt att standardisera hur observationer lagras och analyseras [18].

2.3 Mobiltelefoner

Sedan 2016 är det möjligt att extrahera råa GNSS-mätningar från Android-enheter med operativsystemet Nougat eller senare [8]. GNSS-mottagarna integrerade i dessa enheter kännetecknas av låg kostnad, hög känslighet för fenomenet MP och begränsningar i både storlek och design. Dessa antenner är vanligtvis placerade på den övre delen av mobilskärmen för att på så sätt optimera singalmottagningen [20].

De flesta Android-enheter tar enbart emot GNSS-signaler på L1-frekvensen (1575.42 MHz) inom L-bandet. Den nya generationen av android-enheter är däremot utrustade med dubbelfrekvensfunktionalitet och kan ta emot både från L1 och ytterligare frekvenser från L-bandet, såsom L5(1176,45 MHz). Denna utökade funktionalitet tillsammans med kraftfull GNSS-chip bidrar till förbättrad noggrannhet genom reduktion av felkällor, minskad jonosfäriska påverkan och ökad robusthet mot störningar [20] [1].

Android-enheter är dock inte optimala som GNSS-mottagare. Detta beror på att GNSS-mätningar är känsliga för interferens, samt att antennens mångsidiga användning tillsammans med andra system, såsom Wi-Fi och Bluetooth, bidrar till en försämrade GNSS-prestanda [21].

2.4 Träslag och deras egenskaper

Skogsmiljön har en betydande inverkan på GNSS-signalernas utbredning, framför allt genom signaldämpning som orsakas av vegetationens fysiska egenskaper. En viktig faktor i detta är trädens VWC som varierar mellan olika träslag, säsonger och växtdelar, såsom lövverk, grenar och stam. Då vatten absorberar elektromagnetiska vågor effektivt i de frekvensintervall som GNSS-signalerna opererar i leder en hög VWC till ökad signaldämpning. Vilket i sin tur leder till en försämrade signalstyrka och noggrannhet vid positionsbestämning [22].

Barrskogar domineras av trädslag som gran och tall och kännetecknas av hög biomassa och nålformade blad som är närvarande året runt. Detta leder till en relativt konstant och mätbar dämpningseffekt på GNSS-signaler under hela året. Lövskogar, som huvudsakligen består av björk, ek och asp, förlorar sina blad under hösten och vinter. Detta innebär att signaldämpningen varierar beroende på årstid [23].

Studier visar på att barrträd generellt har en jämnare vattenhalt året om medan lövträd har en större variation i fukthalt beroende på årstid. När lövverket är som tätast under våren och sommaren ökar lövverkets densitet. Detta, i kombination med en ökad vattenmängd i växtdelarna, orsakar en betydligt högre signaldämpning än under andra halvan av året. Detta innebär att signaler som passerar genom trädkronor med hög biomassa och högt vatteninnehåll påverkas mer än signaler som passerar genom torrare och glesare skogsområden [22].

Vegetationen påverkar inte bara signalernas intensitet utan även dess väg. Fuktiga ytor i skogen som blad, bark och grenar kan leda till MP-effekter som påverkar mottagarens signalanalys och positionens noggrannhet [24].

3

Metod

I detta kapitel beskrivs de metoder som har använts för datainsamling, bearbetning av data och analys i projektet.

3.1 Datainsamling

Datainsamlingen genomfördes med två olika metoder:

- Android-baserade mobiltelefoner med inbyggd antenn och mottagare
- Stationära antenner kopplade till GNSS-mottagare

I båda fallen användes minst två mottagare där den ena placerades på en öppen yta och den andra under vegetation. Båda mätningarna behövde genomföras samtidigt för att möjliggöra senare databehandling.

De stationära antennerna började samla in mätdata i januari och gjorde detta kontinuerligt under hela projektets gång. Antennerna var placerade vid Onsala rymdobservatorium och kopplade till GNSS-mottagare (se Figur 3.1). Eftersom antennernas position var fast lämpade de sig inte för att studera skillnader mellan olika skogstyper men kunde fortfarande ha ett visst värde under dataanalysen.



(a) Referensantenn öppen yta.



(b) Referensantenn nära skog.

Figur 3.1: Bilderna ovan visar de stationära antennerna vid Onsala observatorium.

Mobiltelefonerna placerades ut och plockades in för varje enskild mätning. Det var inte givet hur långa mätningarna skulle vara. De behövde vara tillräckligt långa för att kunna analyseras men tillräckligt korta för att hinna få en tillräcklig mängd mätningar. Därav har en mängd olika tider på mätningar genomförts, allt mellan 20 minuter och 8 timmar. Mot projektets slutfas låg fokus på att skapa mätningar på cirka 2 timmar.

För att telefonerna skulle ta emot signaler på samma sätt var placeringen viktig. De placerades på en horisontell yta med skärmen uppåt och telefonens övre del i nordlig riktning. En telefon placerades på en öppen yta och övriga i närliggande skog. Innan en mätning startades dokumenterades platsen genom video och bild. Det som dokumenterades var den omkringliggande vegetationen, himlavalvet och väderstreck. För datainsamling användes applikationen Geo++ RINEX Logger för att logga enheternas råa GNSS-mätdata i RINEX-format.

3.1.1 Mobiltelefonerna

Datainsamlingen genomfördes, undantaget för de stationära antennerna, enbart med Android-baserade mobiltelefoner vilka hade stöd för mottagande av GNSS-signaler. Som en konsekvens av yttre påverkan användes flera olika mobiltelefoner under olika delar av projektet. De olika telefonerna listas i Tabell 3.1 tillsammans med deras ägare och vilka miljöer de mätte under projektets gång.

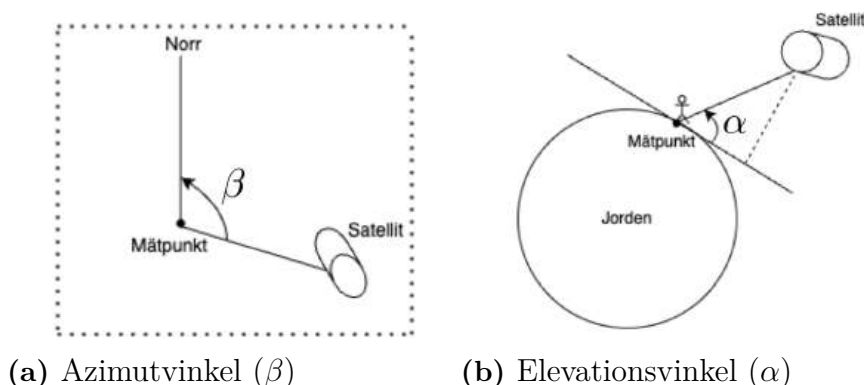
Tillgången till telefonerna varierade under projektets gång. Inledningsvis användes de båda OnePlus2-telefonerna men efter att en stals under en fältstudie kompletterades utrustningen med ytterligare två modeller. Därmed varierade antalet telefoner mellan två till tre per mätning.

Tabell 3.1: Tabellen nedan listar de mobiltelefoner som användes vid någon tidpunkt under arbetets gång. Den listar även respektive mobiltelefons användningsområde och ägare.

Enhet	Ägare	Miljö
OnePlus 2 (stulen)	Institutionen	Öppen yta
OnePlus 2	Institutionen	Skog
OnePlus 7T	Institutionen	Skog
Redmi 8A	Privat	Öppen yta
Samsung Galaxy A52S	Privat	Skog

3.2 Matematiska beräkningar

För att analysera signalerna användes flera matematiska metoder. Till detta användes platsinformation från NASA, denna data kom i SP3-filer. Dessa gav endast satelliternas position var femte minut. Därför beräknades aktuella positioner genom linjär interpolation mellan närliggande tidpunkter. Därefter projicerades satellitens position på ett plan ortogonalt mot jordens yta vid mätpunkten. Höjdvinkeln α från marken upp till satelliten och azimuthvinkeln β mot norr beräknades. Dessa bestämdes med hjälp av trigonometri baserat på avstånden mellan olika projektioner (se Figur 4.5).



Figur 3.2: Bild a illustrerar hur Azimutvinkeln relativt mätarens position beräknades och bild b gör detsamma för elevationsvinkeln.

3.3 Analys och behandling av data

Efter datainsamlingen bearbetades materialet för att kunna analyseras. Detta inkluderade normalisering av data samt metoder för att identifiera och analysera variationer i GNSS-signalernas styrka beroende på miljö.

För att möjliggöra jämförelse mellan data insamlad från olika mobiltelefoner vid olika tidpunkter och platser behövde mätvärdena normaliseras. Denna normalisering tog hänsyn till två huvudsakliga aspekter. Dessa var kalibrering mellan mobiltelefonerna och väderförhållandena som kunde påverka signalstyrkan.

För att kunna möjliggöra jämförelse mellan olika telefonmodeller normaliserades signalstyrkan med hjälp av en fast faktor. För att finna denna faktor genomfördes flertalet försök till insamling av data på öppna områden. Detta då denna insamling visade sig vara mycket känslig för brus, underlag och avstånd. Den mätning som slutligen användes genomfördes i en öppen skogsglänta där mobiltelefonerna lades på en handduk mycket nära varandra för att få så ren och likvärdig data som möjligt.

Kalibreringen byggde på antagandet att $x = y \cdot a$ där x och y representerade mätningar från två olika mobiltelefoner vid samma plats och tidpunkt. a var då normaliseringsfaktorn som behövs för att de ska skulle bli lika. Faktorn varierade

mellan olika mätpunkter och därför togs ett medelvärde över längre tid. Då mer än två mobiltelefoner användes beräknades faktorer mellan alla telefonpar, där en och samma mobiltelefon alltid användes som referens.

Därefter gjordes antagandet att väderförhållandena påverkar signalstyrkan med en viss konstant och att denna är densamma oberoende av mobiltelefonernas övriga omgivning. Det bestämdes då att mobiltelefonen som mätte på den öppna yta användes som referens för dagen. Utöver detta undveks det att mäta på dagar med markant sämre väder, exempelvis har ingen mätning genomförts då det regnat.

Vid ett tillfälle under arbetet genomfördes det en lång mätning precis bredvid antennerna vid Onsala. Detta för att kunna jämföra det mobiltelefonerna klarar av att ta emot med det som antennerna uppfattade. Likt tidigare kunde väderförhållandena anses avspelas på ett likvärdigt sätt i båda mätningarna då de genomfördes samma tid och på samma plats.

Slutligen bearbetades och analyserades insamlad data genom Python kod sammansatt för detta projekt, se appendix för några utdrag ur koden. Programmet gick igenom de matematiska beräkningarna som krävdes, organiserade och visualiserade datan. Det var även relevant att utveckla metoder för att filtrera bort felaktig och bristfälligt data.

3.3.1 Visualisering av datan

Då en dataframe av data var svår att överskådligt observera skapades det flertalet plottar för olika scenarion, ett urval av dessa presenteras senare i rapporten under resultat.

När detta hade genomförts för referensdata såväl som barr- och lövskog kunde dessa bilder observeras samt matas till AI-modellen, som beskrivs nedan. Förhoppningen var att se märkbara mönster vad gäller trädtyp eller identifiera signifikanta skillnader mellan löv- och barrskogs påverkan på signalstyrkan.

3.3.1.1 AI-modellen

För att undersöka möjligheten att klassificera en skogstyp utifrån GNSS-signaler konstruerades en AI-modell. Modellen baserades på ett Convolutional neural network (CNN), vilket är en vanlig metod inom AI och maskininlärning som är lämplig vid bildklassificering och mönsterigenkänning. CNN är ett neuralt nätverk som består av olika lager som på olika sätt extraherar och bearbetar information från bilder [25]. Följande typer av lager användes i modellen:

- **Convolutional layer:** identifierade lokala mönster i bilden genom att applicera filter som lyfter fram kanter och strukturer.
- **Pooling layer:** Minskar dimensionen på data genom summering eller ta maxvärdet från mindre områden, vilket reducerar beräkningskostnad och motverkar överanpassning.

- **Dropout layer:** Slumpmässig inaktivering av vissa neuroner för att minska risken för överanpassning och förbättra modellens generalisering.
- **Fully connected layers:** Kopplade samman alla tidigare extraherade egenskaper genom att genomföra den slutliga klassificeringen [26].

För att avgöra om det går att klassificera bilderna efter löv eller barr, delades de in i tre olika dataset: träningsset, testset och valideringsset. Modellen tränades på träningssetet, utvärderades med hjälp av valideringssettet och testades på testsetet. Resultatet från testkörningen, i form av ett valideringsvärde i procent, användes för att bedöma hur väl metoden kunde klassificera skogstyp [25].

4

Resultat

I detta kapitel presenteras resultaten från de genomförda mätningarna och analyserna. Mätningarna implementerades i den egenutvecklade Python koden, vilket resulterade i de plottar som illustreras i detta avsnitt.

Signalstyrkan visade sig vara starkt beroende av den omgivande miljön och biomassan. Topografin dämpar signalerna olika mycket, vilket gör mätresultaten känsliga för störfaktorer.

Den relativa signalstyrkan beräknades genom att dividera signalstyrkan i skogen, som borde vara svagare, med referensdatan från öppen yta. Resultatet uttrycks som en procentsats mellan 0 och 1. Det framgår dock av plottarna på både löv och barrskog att denna procentsats ofta överstiger 1, vilket antyder att telefonerna inte är helt konsekventa när de tar emot mätdata.

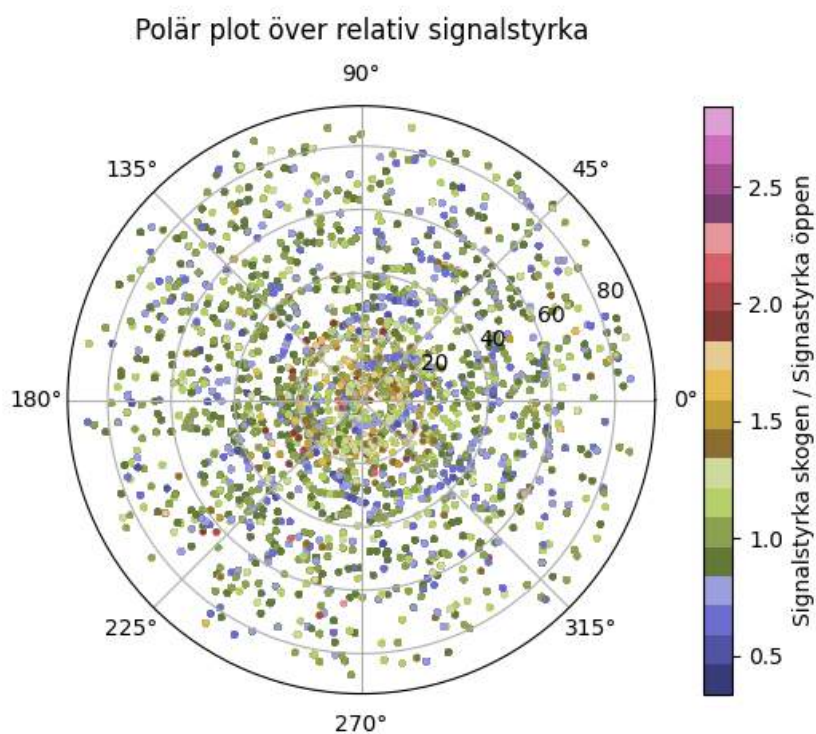
Totalt genererades det 16 plottar, varav 8 från lövskogsmätningar och 8 från barrskogsmätningar. Dessa lades in i AI-modellen och fördelades enligt Tabell 4.1. När modellen var testad på testsetet visade den en träffsäkerhet på 50%. Detta tyder på att det inte går att avgöra om det är löv- eller barrskog utifrån dessa plottar och visar på att mer data skulle krävas för förbättring av klassificeringsresultaten.

Tabell 4.1: Tabellen nedan visar antalet plottar i olika dataset för AI-modellens träning, validering och testning.

Set	Antal plottar
Träningsset	10
Valideringsset	2
Testset	4

4.0.1 Lövträd

Som visas av Figur 4.1 är den relativa signalstyrkan starkast i mitten. Vilket samstämmer med omgivningsbilden i Figur 4.2 där det framgår att satelliterna direkt ovanför mobiltelefonen blockeras av minimalt med biomassa, vilket resulterar i en hög relativ signalstyrka. I figurens utkant observeras däremot lägre relativa signalstyrkor, vilket också styrks av Figur 4.2, där det framgår att mobiltelefonen är placerad mitt i en skog.



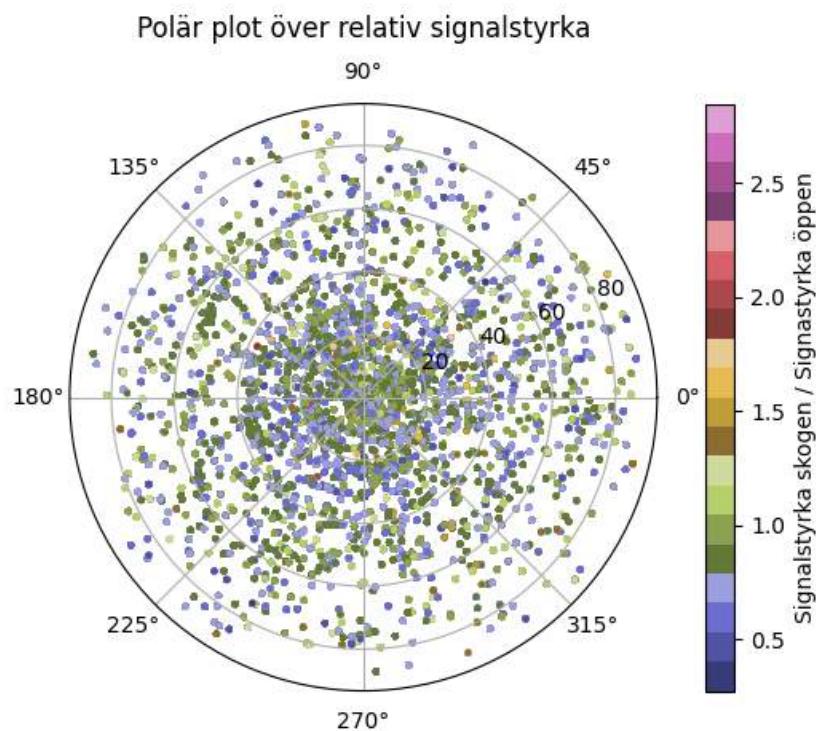
Figur 4.1: Den polära plotten ovan visar de relativa signalstyrkorna vid en mätning i lövskog. Varje punkt är en sekund.



Figur 4.2: Bilden ovan är tagen rakt upp ovanför mobiltelefonens placering i Figur 4.1. Denna bild har samma orientering som plotten, vilket innebär att norr är riktat åt höger

4.0.2 Barrträd

Resultatet från mätningarna i barrskog uppvisar ett i stort sett identiskt mönster som i lövskog. I Figur 4.3 framgår att signalstyrkan är som högst i figurens centrum och avtar successivt mot kanterna. Bilden i Figur 4.4 illustreras en liknande tät skogsmiljö.

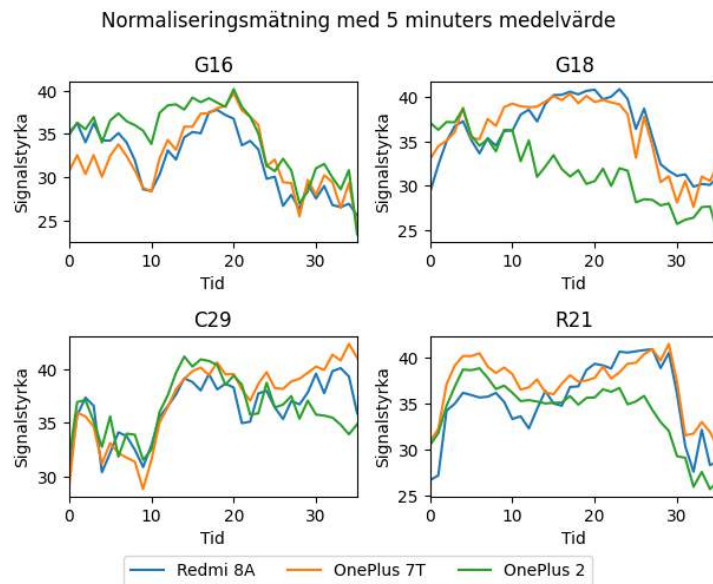


Figur 4.3: Den polära plotten ovan visar de relativa signalstyrkorna vid en mätning i barrskog. Varje punkt är en sekund.

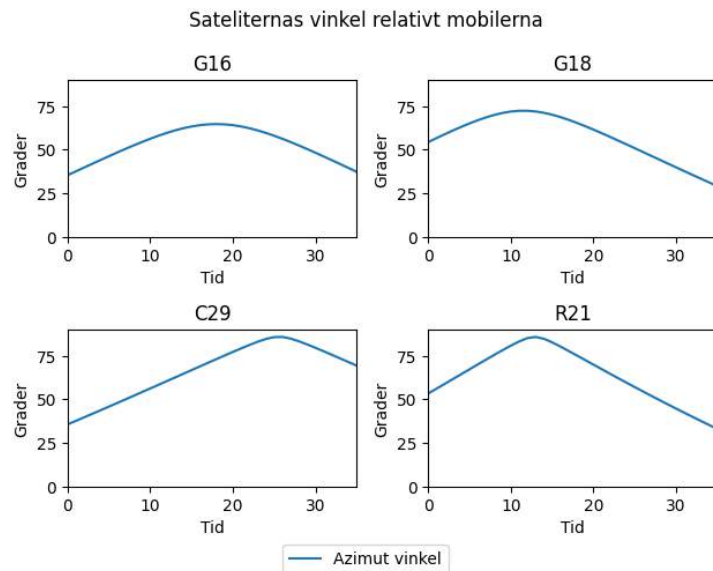


Figur 4.4: Bilden ovan är tagen rakt upp ovanför mobiltelefonens placering i Figur 4.3. Denna bild har samma orientering som plotten, vilket innebär att norr är riktat åt höger

4.0.3 Kalibreringen



(a) Ovan visas den mottagna signalstyrkan från fyra olika satelliter i tre olika mobiltelefoner. Varje punkt är medelvärdet över 5 minuter och mätningen pågick knappt 3 timmar. De satelliter som visas ovan är ett urval av de satelliter som alla mobiltelefonerna mottog under hela mätningen.



(b) Dessa plottar visar satelliternas elevationsvinkel under hela mätningen. Det är samma val av satelliter som i a.

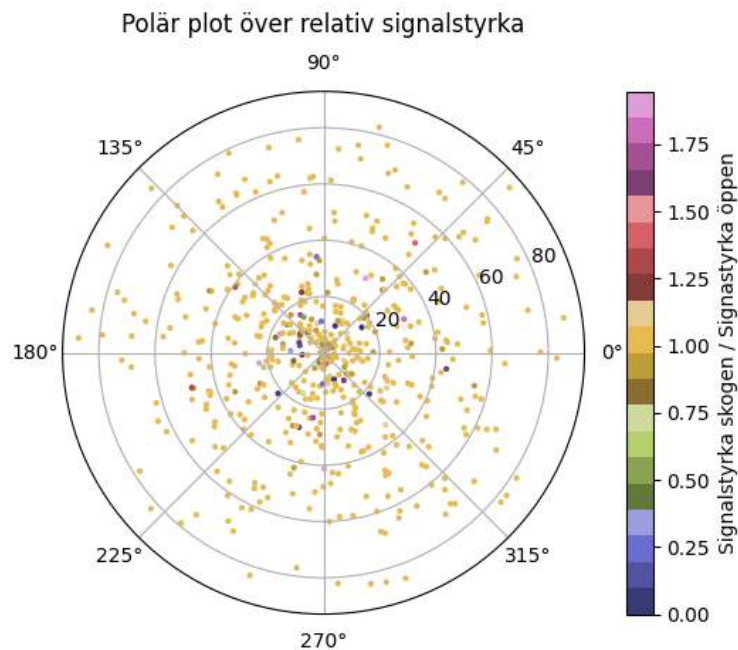
Figur 4.5: Beräkning av vinklar för satelliternas position och illustration av normaliseringsmätningen

Figur 4.5 illustrerar signalstyrkorna som uppmättes av de olika telefonerna under normaliseringsmätningen där varje färg representerar en telefon. Varje subplot visar signalstyrkan från en specifik satellit där namnet på satelliten står ovanför plotten. Som visas i Figur 4.5a så gick det i vissa fall inte alls att normalisera. Det tydligaste exemplet på detta är satellit G18 som visar på inkonsistens i signalmottagningen.

4.0.4 Antennerna

Då den mobiltelefonen som användes som referens mobil vid de mätningar som utfördes bredvid antennerna även var den mobiltelefon som stals har det inte kunnat genomföras ordentliga jämförelser mellan mobiltelefonerna och antennerna. Däremot har det över ett dygn skapats en plot, se Figur 4.6 vilken illustrerar antennernas relativa signalstyrkor. Där syns det tydligt att nästan alla relativa signalstyrkor är centrerade runt 1 vilket innebär att båda antennerna tagit emot lika starka signaler.

Vid granskning av datafilerna framgår det tydligt att antennerna tagit emot betydligt fler frekvenser än mobiltelefonerna. Dessutom uppvisar de mottagna signalerna ofta högre värden, vilket emellertid är frekvensberoende



Figur 4.6: Denna plot visar antennernas relativa signalstyrka under ett dygn i mars.

5

Diskussion

Resultaten visar att det med de GNSS-data insamlade med mobiltelefoner inte gick att avgöra skogstyp. I detta kapitel diskuteras orsakerna till utfallet, identifieras felkällor och föreslås förbättringsmöjligheter.

5.1 Tolkning av resultat

Trots att analysen visar en viss påverkan på GNSS-signalernas styrka i olika skogsmiljöer, kan ingen tydlig skillnad mellan barr- och lövskog fastställas. Detta bekräftas även av AI-modellens träffsäkerhet på 50%, vilket motsvarar en slumpmässig klassificering. De variationer som observerades i signalstyrkan tycks till stor del bero på externa faktorer, såsom telefonmodell, dess placering och väder, än enbart vegetationstyp. Resultaten tyder på att den insamlade datamängden och metodens nuvarande utformning inte är tillräckliga. Dock visar studien att GNSS-signaler påverkas märkbart av vegetation och indikerar potential för fortsatt utveckling av metoden.

5.2 Matematiska antaganden och förenklingar

Vid databehandling gjordes flera matematiska förenklingar som potentiellt kan ha påverkat resultatets noggrannhet. Ett exempel är användningen av satellitdata från NASA:s data där satelliternas positioner endast tillhandahålls med fem minuters intervall [27]. Då mätningarna av signalstyrka tas betydligt mer frekvent än så görs det för varje dimension en linjär approximation av satellitens position. När denna approximation görs mellan två positioner som är 10 minuter ifrån varandra och jämförs med den i mitten är det genomsnittliga felet 500 mil per koordinat. Då detta är ett större glapp än de som faktiskt approximeras kan man anta att felet blir mindre än så. Under de analyser som gjorts har medelvärdet tagits av signalerna under en fem minuters period och kopplat samman det värdet med satellitens faktiska position, vilket betyder att ingen linjärapproximering gjorts i dessa fall.

Ett ytterligare antagande var att mobiltelefonernas position behandlades som identisk, trots att de kunde vara upp till 2 km från varandra. Givet att de aktuella satelliterna befinner sig på omkring 20 000 kilometers höjd, bildas en likbent triangel mellan de två mobiltelefonerna och en satellit, där sidorna är 2 km, 20 000 km och 20 000 km.

Den resulterande vinkeln mellan de två långa sidorna blir då 0,0057 grader, vilket avrundades till 0 grader. Detta motiverade att avståndet mellan de två telefonerna kunde försummas i beräkningarna.

5.3 Felkällor och förbättringsförslag

Nedan presenteras förslag på förändringar som kan genomföras i framtida studier för att möjliggöra mer tillförlitliga och tydliga resultat.

5.3.1 Tidsramen

En utmaning under datainsamlingen var den begränsade tidsramen. Mätningarna genomfördes huvudsakligen i Mars och April, vilket innebar att lövträden i Göteborgsområdet inte utvecklade sitt fulla lövverk. Detta begränsade möjligheten för att undersöka maximal signaldämpning från lövskog, vilket är centralt i jämförelsen med barrskog. Detta innebar att skillnaderna i signaldämpning mellan de två skogstyperna inte blev lika tydliga som de potentiellt kunnat vara om möjligheten att mäta under flera årstider hade funnits. För att uppnå ett mer rättvist resultat bör mätningar genomföras även under sommarhalvåret när vegetationens täthet är som störst. I detta fall är det möjligt att signaldämpningarna i lövträden skiljer sig mellan vinter och sommar. Därför skulle det kunna vara ett förslag att dela upp lövskogsmätningarna i fler kategorier, baserat på om träden har löv eller inte. Alternativt skulle projektet enbart ha utförts på sommarhalvåret då det är som mest blad på träden.

5.3.2 Utrustning

Under arbetets gång användes fem olika mobiltelefoner för datainsamling. Dessa var av olika modeller. Det visade sig att dessa har olika bra GNSS-prestanda och att de tar emot olika signaler från olika satelliter. Detta medförde svårigheter vid jämförelse av mätningarna och minskade tillförlitligheten i vissa delar av datamängden. Alla telefoner användes inte under hela arbetet. En blev stulen och två tillkom senare under arbetet. Detta skapade variationer i mätresultaten som kan ha påverkat slutresultatet, trots försök till normalisering och kalibrering.

Det hade varit önskvärt att genomföra samtliga mätningar med identiska telefonmodeller, helst med kända GNSS-egenskaper, för att minimera den tekniska variationen i resultatet. Detta skulle skapa en mer tillförlitlig grund för analys.

5.3.3 Multipath-effekter

Utöver de tekniska skillnader fanns också miljörelaterade felkällor. Som nämnts i teori-delen så påverkar vegetationen inte bara signalstyrkan utan även dess utbredningsväg. Fuktiga ytor i skogen, som bladverk eller barr, kan orsaka reflektioner (MP-effekter) och försämra signalens tillförlitlighet. Ett sätt att minska dessa effekter är genom att placera mobiltelefonerna på material som dämpar reflektionerna

från marken. Dessutom borde två telefoner ha placerats vid varje plats, med en skärmen uppåt och en nedåt i samma riktning, för att kontrollera skillnader i signalens polarisation. Detta hade kunnat minimera mätfel relaterade till polarisationsskillnader.

5.3.4 Datamängd

Av flera skäl genererade inte detta projekt så många användbara mätningar som förväntat. Inledningsvis genomfördes mätningar under 20-minutersintervall med två telefoner, vilket resulterade i ett stort antal mätpunkter. Vid den efterföljande analysen framkom det dock att intervallen var för korta för att möjliggöra en meningsfull analys. Som en åtgärd förlängdes intervallen till två timmar, vilket visade sig vara mycket tidskrävande och resulterade i färre mätpunkter. Under en fältstudie blev en referenstelefonen stulen. Datan som var sparad på denna telefon försvann då också. Eftersom det var referenstelefonen innebar det även att mätningar gjorda på den andra telefonen inte heller gick att använda. I detta skede tillkom två nya telefoner vilket gjorde att datainsamlingen kunde gå dubbelt så fort.

Eftersom telefonerna var av olika modeller och tog emot signaler från olika satelliter blev en stor utmaning att normalisera detta. Detta tog tid som skulle kunnat användas till att mäta mer. Även om telefonerna hade varit av samma modell och gått att normalisera så hade inte mängden data varit tillräcklig. Den tänkta metoden för att avgöra om det går att se skillnad på olika skogstyper var via AI modellen. För att träna en sådan krävs en stor mängd data. Detta har inte samlats in i detta arbete vilket innebär att det inte går att dra någon slutsats utifrån denna modell.

5.3.5 Andra relevanta frågeställningar

Eftersom mobiltelefoner visade sig vara relativt opålitliga i att uppfatta små signalvariationer är det möjligt att differentiering mellan olika trädsorter kan vara svårt att lyckas hitta vid observation. Däremot kan det vara relevant att undersöka huruvida en enskild mobiltelefon kan särskilja mellan olika miljötyper, såsom en äng och en skog. Med sådan information kan man kartlägga områden där människor går runt med mobiltelefoner. Det är också intressant att analysera orsakerna till signalvariationer och om de går att motverka eller kompensera för.

5.4 Metodens potential och användningsområden

Trots utmaningarna under projektets gång visar studier att det är möjligt att observera mätbara skillnader i GNSS-signaler.

Om metoden vidareutvecklas och kända felkällor beaktas, skulle den kunna användas till skogskartläggning, miljöövervakning och bedömning av brandrisk, där förändringar i skogens fukthalt skulle kunna övervakas över tid.

Nuvarande metoder för att mäta bland annat biomassa innefattar ofta att direkt mäta VWS. Detta är resurskrävande. Att utveckla metoden som påbörjats i detta projekt hade kunnat göra det på ett mer resurssnålt sätt. Med den metoden hade inte heller träden tagit någon skada. Metoden har även potential för att kunna förbättra positionering i skogsmiljöer.

6

Slutsats

Projektet visar att det finns potential kring att med hjälp av telefoners GNSS-funktion kunna avgöra skillnader mellan skogstyper, men flera faktorer har begränsat studiens tillförlitlighet.

De största utmaningarna låg i de tekniska begränsningarna, såsom variationer mellan mobiltelefoner och dess signalupptagning. Även den tidsmässiga begränsningen påverkade möjligheten att observera tydliga skillnader mellan skogstyper. Dessa faktorer försvårade analysen och tolkningen av resultaten.

Trots dessa begränsningar finns det faktorer som visar att biomassans påverkan på signaler är mätbar och att en mer kontrollerad och standardiserad metodik sannolikt skulle kunna ge tydligare resultat. För framtida studier rekommenderas det att mätningarna genomförs under olika säsonger, särskilt under sommaren då lövverket är som tätast. Även att enhetliga mobiltelefonmodeller används för att minska tekniska variationer och att datainsamlingen skalas upp.

Om dessa förbättringar genomförs kan metoden potentiellt användas för skogskartering, analys av skogstäthet och förbättrad noggrannhet vid positionering i skogsmiljöer.

Litteraturförteckning

- [1] P. J. Teunissen and O. Montenbruck, *Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems*. Springer International Publishing AG, 2017.
- [2] E. Santi, S. Paloscia, S. Pettinato, G. Fontanelli, M. P. Clarizia, D. Comite, L. Dente, L. Guerriero, N. Pierdicca, and N. Floury, “Remote sensing of forest biomass using gnss reflectometry,” *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2020.
- [3] P. O’Neill, A. Joseph, R. Nelson, R. Lang, M. Kurum, M. Cosh, T. Jackson, and M. Spicknall, “Comrad active / passive microwave measurement of tree canopies,” in *2007 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2007.
- [4] Y. Zhang, J. Bu, X. Zuo, K. Yu, Q. Wang, and W. Huang, “Vegetation water content retrieval from spaceborne gnss-r and multi-source remote sensing data using ensemble machine learning methods,” *Remote Sensing*, 2024.
- [5] A. Hussain, F. Akhtar, Z. H. Khand, A. Rajput, and Z. Shaukat, “Complexity and limitations of gnss signal reception in highly obstructed environments,” *Engineering, Technology Applied Science Research*, 2021.
- [6] V. Humphrey and C. Frankenberg, “Continuous ground monitoring of vegetation optical depth and water content with gps signals,” *Biogeosciences*, vol. 20, pp. 1789–1811, 2023.
- [7] L. Guerriero, F. Martín, A. Mollfulleda, S. Paloscia, N. Pierdicca, E. Santi, and N. Floury, “Ground-based remote sensing of forests exploiting gnss signals,” *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Oktober 2020.
- [8] F. Zangenehnejad and Y. Gao, “Gnss smartphones positioning: advances, challenges, opportunities, and future perspectives,” *Satellite Navigation*, 2021.
- [9] A. Moore, N. Rymer, J. S. Glover, and D. Ozturk, “Predicting gps fidelity in heavily forested areas,” in *Proceedings of the ION GNSS+ 2023*. IEEE, 2023.
- [10] D. B. Hofmann-Wellenhof, D. H. Lichtenegger, and D. E. Wasle, *GNSS – Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo, and more*. Springer-WienNewYork, 2008.
- [11] E. D. Kaplan and C. J. Hegarty, *Understanding GPS/GNSS Principles and Applications*. ARTECH HOUSE, 2017.
- [12] G. P. Petropoulos and P. K. Srivastava, *GPS AND GNSS TECHNOLOGY IN GEOSCIENCES*. Candice Janco, 2021.
- [13] V. Kubelka, P. Dandurand, P. Babin, P. Giguère, and F. Pomerleau, “Radio propagation models for differential gnss based on dense point clouds,” *Field Robotics*, 2020.

- [14] S. Jin, E. Cardellach, and F. Xie, *GNSS Remote Sensing*. Springer, Dordrecht, 2013.
- [15] K. BORRE, I. FERÁNDEZ-HERNÁNDEZ, and J. A. L.-S. . M. Z. H.BAHUIYAN, *GNSS SOFTWARE RECEIVERS*. Cambridge University Press, 2023.
- [16] A. Ghosh, M. M. Farhad, D. Boyd, and M. Kurum, “A ugv-based forest vegetation optical depth mapping using gnss signals,” *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2024.
- [17] A. Ghosh, M. M. Farhad, M. E. Hoque, D. R. Boyd, L. B.-C. M. H. Cosh, A. Colliander, and M. Kurum, “Estimating vegetation optical depth with mobile gnss transmissiometry in temperate forests during smapvex22,” *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2025.
- [18] M. Chen, “What is rinex format and its latest version?” <https://igs.org/formats-and-standards/>, 2024, hämtad 2025-05-06.
- [19] International GNSS Service, “Formats and standards,” <https://igs.org/formats-and-standards/>, 2024, hämtad 2025-05-06.
- [20] M. Z. Haro, M. Furones, and M. J. Jiménez-Martínez, “Comprehensive analysis of xiaomi mi 8 gnss antenna performance,” *Sensors*, 2024.
- [21] M. Fortunato, J. Critchley-Marrows, M. Siutkowska, M. L. Ivanovici, E. Benedetti, and W. Roberts, “Enabling high accuracy dynamic applications in urban environments using ppp and rtk on android multi-frequency and multi-gnss smartphones,” in *2019 European Navigation Conference (ENC)*. Warsaw, Poland: IEEE, 2019. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8714140>
- [22] J. Bergh, K. Blennow, M. Andersson, E. Olofsson, U. Nilsson, O. Sallnäs, and M. Karlsson, “Effekter av ett förändrat klimat på skogen och implikationer för skogsbruket,” Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp, Arbetsrapport 34, 2007, hämtad 2025-04-15. [Online]. Available: https://www.slu.se/globalassets/ew/org/inst/ssv/press/arbetsrapporter/34_s_effekter-av-ett-andrat-klimat_bergh_et-al.pdf
- [23] J. Dolezal, T. Vitek, and J. Kolar, “Gnss signal quality in forest stands for off-road vehicle navigation,” *Applied Sciences*, vol. 13, no. 10, p. 6142, 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/10/6142>
- [24] M. Brach, K. Stereńczak, L. Bolibok, Kwaśny, G. Krok, and M. Laszkowski, “Impacts of forest spatial structure on variation of the multipath phenomenon of navigation satellite signals,” *Folia Forestalia Polonica, Series A*, vol. 61, no. 1, p. 3–21, 2019. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85092784066&doi=10.2478%2fffp-2019-0001&partnerID=40&md5=233804a1fb9fbbcfddd30a78258a6560>
- [25] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, “Deep residual learning for image recognition,” 2015.
- [26] I. Goodfellow, Y. Bengio, and A. Courville, *Deep Learning*. MIT Press, 2016, <http://www.deeplearningbook.org>.
- [27] I. G. S. (IGS), “Gnss broadcast ephemeris data,” <https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/data/daily/2025/119/>, 2025, hämtad 2025-05-06.

A

Pythonkod

```
def remove_noise(mätning_i_skog, öppen_mätning):
    """
    Ta bort bruset som uppfattas av mobilen på det öppna området.

    Args:
        mätning_i_skog (matrix): Mätningen från mobilen i skogen.
        mätning_öppen (matrix): Mätningen från mobilen på det öppna området.
    """
    mätning_i_skog = mätning_i_skog.copy()
    öppen_mätning = öppen_mätning.copy()
    startTid = mätning_i_skog["Time"].iloc[0]
    startradtidöppen = np.where(öppen_mätning==startTid)[0][0]
    slutTid = mätning_i_skog["Time"].iloc[-1]
    slutradtidöppen = np.where(öppen_mätning==slutTid)[0][0] + 1
    öppen_mätning = öppen_mätning.iloc[startradtidöppen:slutradtidöppen]
    öppen_mätning.reset_index(drop=True, inplace=True)
    mätning_i_skog.reset_index(drop=True, inplace=True)

    for satelit in mätning_i_skog.columns[mätning_i_skog.columns.get_loc('Time')+1:]:
        satelit = str(satelit)
        if satelit in öppen_mätning:
            mätning_i_skog[satelit] = mätning_i_skog[satelit] / öppen_mätning[satelit]
        else:
            del mätning_i_skog[satelit]
    return mätning_i_skog
```

```

def projection_on_my_plane(x_me: float, y_me: float, z_me: float,
↳ x_sat: float, y_sat: float, z_sat: float) -> float:

    """
    Projektion av punkt till plan ortagonalt mot jordens yta.

    Args:
        x_me (float): x koordinat för positionen på jordens yta.
        y_me (float): y koordinat för positionen på jordens yta.
        z_me (float): z koordinat för positionen på jordens yta.
        x_sat (float): x koordinat för satelliten.
        y_sat (float): y koordinat för satelliten.
        z_sat (float): z koordinat för satelliten.
    """

    x = x_sat - x_me
    y = y_sat - y_me
    z = z_sat - z_me
    sat_punkt = np.array([[x], [y], [z]])
    normalisera = 1/(x_me**2+y_me**2+z_me**2)
    matris = np.array([
        [y_me**2+z_me**2, -x_me*y_me, -x_me*z_me],
        [-x_me*y_me, x_me**2+z_me**2, -y_me*z_me],
        [-x_me*z_me, -y_me*z_me, x_me**2+y_me**2]
    ])
    projection = np.dot(matris, sat_punkt) * normalisera
    return projection

def angle_up_flat(x_me: float, y_me: float, z_me: float, x_sat:
↳ float, y_sat: float, z_sat: float) -> float:

    """
    Hittar vinkeln från det ortagonala planet upp till satelliten.

    Args:
        x_me (float): x koordinat för positionen på jordens yta.
        y_me (float): y koordinat för positionen på jordens yta.
        z_me (float): z koordinat för positionen på jordens yta.
        x_sat (float): x koordinat för satelliten.
        y_sat (float): y koordinat för satelliten.
        z_sat (float): z koordinat för satelliten.
    """

    x = x_sat - x_me
    y = y_sat - y_me
    z = z_sat - z_me
    sat_punkt = np.array([[x], [y], [z]])
    projection = projection_on_my_plane(x_me, y_me, z_me, x_sat,
↳ y_sat, z_sat)
    hight = np.linalg.norm(sat_punkt-projection)
    diagonal = np.linalg.norm(sat_punkt)
    angle_rad = np.arcsin(hight/diagonal)
    return angle_rad * 180 / np.pi

```

```
def angle_to_north(x_me: float, y_me: float, z_me: float, x_sat:
↳ float, y_sat: float, z_sat: float) -> float:

    """
    Hittar vinkeln från nordpolen till satelitet med x_me, y_me,
    ↳ z_me som referens punkt.

    Args:
        x_me (float): x koordinat för positionen på jordens yta.
        y_me (float): y koordinat för positionen på jordens yta.
        z_me (float): z koordinat för positionen på jordens yta.
        x_sat (float): x koordinat för sateliten.
        y_sat (float): y koordinat för sateliten.
        z_sat (float): z koordinat för sateliten.
    """

    north = projection_on_my_plane(x_me, y_me, z_me, 0, 0,
↳ 6356000)
    sat_projection = projection_on_my_plane(x_me, y_me, z_me,
↳ x_sat, y_sat, z_sat)
    me = np.array([[0], [0], [0]])
    c = np.linalg.norm(me-north)
    b = np.linalg.norm(me-sat_projection)
    a = np.linalg.norm(sat_projection-north)
    angle_rad = np.arccos((a**2-b**2-c**2)/(2*b*c))
    angle_deg = angle_rad * 180 / np.pi

    cross = np.cross((north-me).flatten(),
↳ (sat_projection-me).flatten())
    up_vector = np.array([x_me, y_me, z_me])
    if np.dot(cross, up_vector) < 0:
        angle_deg = 360 - angle_deg
        angle_rad = 2*np.pi - angle_rad

    return angle_deg
```

```
def where_is_the_satelite(xyz_soon: str,xyz_past:
↳ float,time_soon: float,time_past: float,time_now: float) ->
↳ list:

    """
    Linjär approximation av satelitens position i exakt
    ↳ tidpunkt.

    Args:
        xyz_soon (float): Den närmast kommande kända positionen.
        xyz_past (float): Den senast kända positionen.
        time_soon (float): Tiden i julian time vid den närmast
        ↳ kommande kända positionen.
        time_past (float): Tiden i julian time vid den senast
        ↳ kända positionen.
        time_now (float): Tiden i julian time då positionen
        ↳ efterfrågas.
    """

    time_diff = time_soon - time_past
    xyz_now = []
    xyz_past = xyz_past.split()
    xyz_soon = xyz_soon.split()

    xyz_now.append(((float(xyz_soon[0]) - float(xyz_past[0])) *
    ↳ time_now / time_diff + float(xyz_past[0])))
    xyz_now.append(((float(xyz_soon[1]) - float(xyz_past[1])) *
    ↳ time_now / time_diff + float(xyz_past[1])))
    xyz_now.append(((float(xyz_soon[2]) - float(xyz_past[2])) *
    ↳ time_now / time_diff + float(xyz_past[2])))
    return xyz_now
```

Institutionen för rymd-,geo- och miljövetenskap
Chalmers tekniska högskola
Göteborg, Sverige
www.chalmers.se

