

# Spoof proof GPS timing

A detection and mitigation system for GPS time spoofing

A. Schultzen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institutt for informatikk  
Universitetet i Oslo

5. desember 2016

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrusselen

Dekeksjon og  
mottiltak

Flere GPS mottakere  
Referansekklokke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet  
Sensor server  
arkitektur  
Klokkekemodell  
Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av  
klokkekemodell og  
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

Laget et rammeverk for å teste forskjellige spoofing  
deteksjonsalgoritmer. Ikke gjort før.

## Introduksjon

- GPS timing
- Anvendelse
- Utfordringer og trusler
- Referansestrusselen

## Dekeksjon og mottiltak

- Flere GPS mottakere
- Referansekklokke

## Implementasjon

- Ønsket funksjonalitet
- Sensor server  
arkitektur
- Klokkestokkmodell
- Filtre

## Test av lokasjons- og hastighetsfilter

Beskrivelse

## Test av klokkestokkmodell og filtre

Observasjon

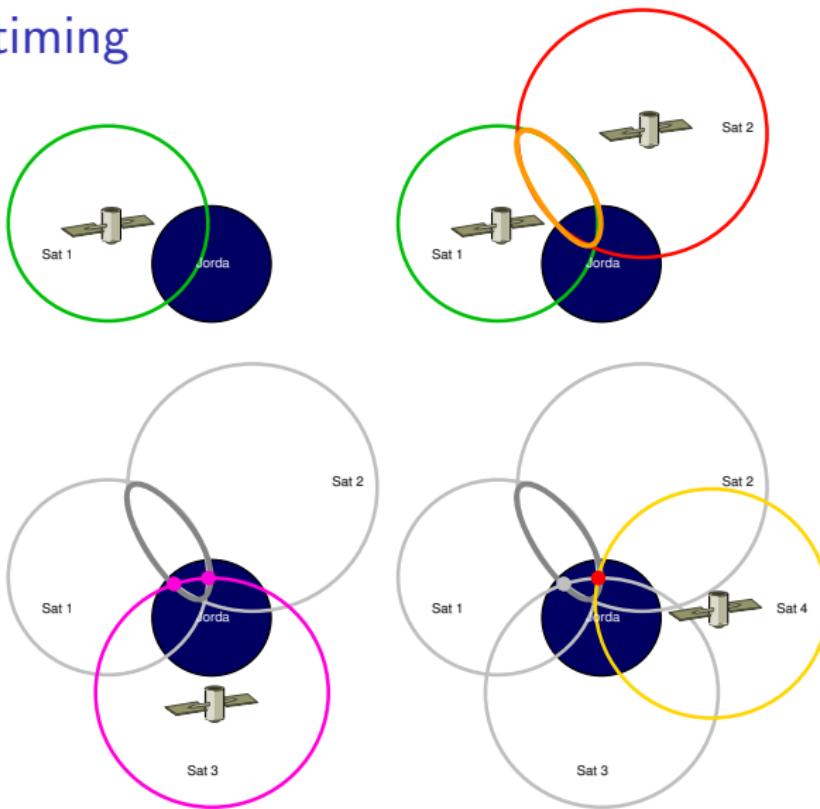
## Konklusjon

## Etter innlevering

## Bibliografi

## Referanser

# GPS timing



Figur: Trilaterasjon

Spoof proof GPS timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrussen

Dektekjøn og  
mottiltak

Fleire GPS mottakere

Referansekklokk

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokkemodell

Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av  
klokkemodell og  
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Uf ordninger og trusler

Referansetrusselen

Deteksjon og  
mottiltak

Fleire GPS mottakere  
Referansekkloke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokkekemodell  
Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av  
klokkekemodell og  
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser



Figur: Mobilmast [1]



Figur: Wall Street [2]

# Utfordringer og trusler

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

## Utfordringer:

- ▶ Avhengig av å ha en antenn med fri sikt.
- ▶ Kjent kodestruktur.
- ▶ Naive mottakere.

## Terror, sabotasje mulig motiv for:

- ▶ Jamming.
- ▶ Spoofing.
- ▶ Feil i utstyr.

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansetrusselen

Deteksjon og  
mottiltak

Fleire GPS mottakere

Referansekklokke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokkemodell

Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av  
klokkemodell og  
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

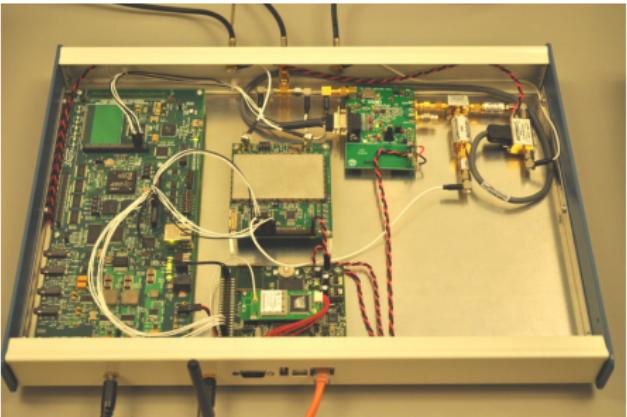
Bibliografi

Referanser

# The Civil GPS Spoofing

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen



Figur: Civil GPS Spoofer

## The Civil GPS Spoofing

- ▶ Laget et av et team fra *The University of Texas at Austin* i 2012 [3]
- ▶ Implementert i SDR"
- ▶ Simulere opptil 14 falskesatellitter.

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Uf ordninger og trusler

Referansetrusselen

Dektekjøn og  
mottiltak

Flere GPS mottakere

Referansekklokk

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokke modell

Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av  
klokke modell og  
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

# The Civil GPS Spoofing

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansetrusselen

Dekselasjon og  
mottiltak

Flere GPS mottakere

Referansekklokkene

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokkemodell

Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av  
klokkemodell og  
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

## Nøkkelfunksjoner:

- ▶ Sømløs narr, offeret låser på en kopi av det autentiske signalet. Ingen forandring i løsning.
- ▶ Angriper manipulerer signalet.
- ▶ Angriperen har gjerne et stort spillerom under angrepet da oscillatoren i mottakeren ofte er av lav kvalitet.

# Deteksjon og mottiltak

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordninger og trusler

Referansestrusselen

Deteksjon og  
mottiltak

Flere GPS mottakere  
Referansekklokke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokkemodell  
Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av  
klokkemodell og  
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

- ▶ Deteksjon
  - ▶ Bruke flere GPS mottakere med kjent posisjon.
  - ▶ Bruke stabil klokke som referanse.
- ▶ Mottiltak: Bruke klokke som tidskilde.

# Flere GPS mottakere og kjent posisjon

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrusselen

Deteksjon og  
mottiltak

Flere GPS mottakere  
Referansekklokke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokkemodell  
Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av  
klokkemodell og  
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

- ▶ En GPS mottakere med ukjent posisjon: Lett
- ▶ En GPS mottakere med kjent posisjon: Gjennomførbart
- ▶ To GPS mottakere med kjent posisjon: Svært komplisert
  - ▶ Minimum en mottakere løser feil posisjon.
  - ▶ Med mindre spooferene like langt fra begge, forskjell i tidsløsning.

Kompleksiteten øker for hver GPS mottaker som legges til.

# Referanseklokke

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

Med en stabil og pålitelig klokke, har en muligheter til å:

- ▶ Verifisere GPS løsning.
- ▶ Realisere nøyaktig timing selv når GPS disciplinering ikke er mulig.



**Figur:** Symmetricom 5071A  
Cesium Primary Frequency  
Standard (500 000 NOK)



**Figur:** Symmetricom SA.45s  
CSAC (5000 NOK)

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Uf ordninger og trusler

Referansetrusselen

Deteksjon og  
mottiltak

Flere GPS mottakere

Referansekklokk

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokkekemodell

Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av  
klokkekemodell og  
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

# Referanseklokke

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

Vi valgte Symmetricom SA.45s.

- ▶ Lav vekt og størrelse
- ▶ Kortidsstabilitet på rundt  $10^{-11}$  sekunder.
- ▶ Intern frekvensteller og styringsalgoritme
- ▶ Kommuniserer telemetri over RS-232

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Uf ordninger og trusler

Referansetrusselen

Dtek sjon og  
mottiltak

Flere GPS mottakere

Referanse klokke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klok kmodell

Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av  
klok kmodell og  
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

# Ønsket funksjonalitet

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

- ▶ Detektere angrep hurtig
- ▶ Mulighet for å logge data
- ▶ Rask og enkel tilgang til innsamlet data
- ▶ Enkelt koble til flere GPS mottakere
- ▶ Administreres over nettverk
- ▶ Konfigurerbar

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrusselen

Deteksjon og  
mottiltak

Flere GPS mottakere

Referansekklokke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokkemodell

Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av  
klokkemodell og  
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

# Sensor server arkitektur

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

- ▶ Mottaker + Raspberry PI = Sensor
- ▶ Eliminerer behovet for lange signalkabler, bruker nettverk:
  - ▶ Fiber
  - ▶ Mobilnett (3G og 4G)
  - ▶ WiFi
- ▶ Antall mottakere begrenset av serverens maskinvare.

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrusselen

Deteksjon og  
mottiltak

Flere GPS mottakere

Referansekklokke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokkemodell

Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av  
klokkemodell og  
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

# Sensor server arkitektur

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

- ▶ 3000+ linjer med C99 kode
- ▶ Håndterer av/pålogging av klienter
- ▶ Håndtere mottak og formatering av GPS data
- ▶ En prosess per pålogging
- ▶ Delt minne mellom prosesser (anonym MMAP)
  - ▶ Semaforer og barrierer for beskyttelse
- ▶ Mulighet for brukere å koble på og gi kommandoer, f.eks:
  - ▶ Rapporterer lokasjon og tid
  - ▶ Rapportere server status
  - ▶ Rapportere filterstatus
  - ▶ Lagre og gjenopprette tilstand i sensorer
  - ▶ Laste inn nye lokasjonsdata
  - ▶ Avslutte egen og andres tilkobling
  - ▶ Sende kommandoer til atomklokka

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Uf ordninger og trusler

Referansetrusselen

Deteksjon og  
mottiltak

Flere GPS mottakere  
Referansekklokk

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokke modell  
Filtre

Test av lokasjon-  
og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av  
klokke modell og  
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

Klokkestasjonen brukt i oppgaven er designet av Harald Hauglin. Brukes til:

- ▶ Referanse for frekvensavvik og klokke drift
- ▶ Generere brukbare styringsparameter i tilfelle GPS løsning ikke lenger er til å stole på.

Modellen er logisk en del av serveren og kjører i en egen prosess.

- ▶ Kommuniserer med atomklokka
- ▶ Moden etter to dager (konfigurerbart).

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utvurderinger og trusler  
Referansetrusselen

Dekeksjon og  
mottiltak

Flere GPS mottakere  
Referansekklokkene

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet  
Sensor server  
arkitektur

Klokkestasjon  
Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av  
klokkestasjon og  
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utdringinger og trusler

Referansestrusselen

Deksjon og  
mottiltakFlere GPS mottakere  
Referansekkloke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokkekmodell

Filtre

Test av lokasj-  
on- og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av  
klokkekmodell og  
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

# Filtre

Filtrene brukes til å detektere avvik. Enten:

- ▶ GPS-basert
- ▶ Klokkekmodell-basert

For øyeblikket kun implementert tre filtre:

- ▶ Lokasjon og hastighetsfilter
  - ▶ Data fra sensorene blir samlet formatert.
  - ▶ Sjekker løst posisjon og hastighet mot referanseverdier
- ▶ Fasehoppfilter
  - ▶ Sammenlikner nåværende fase med pre-konfigurert grense.
- ▶ Frekvenskorreksjonsfilter
  - ▶ Sammenlikner nåværende styringsverdi med en forventet styringsverdi

Pre-konfigurerete referanseverdier er basert på et gjennomsnitt kalkulert fra en lengre måleserie.

# Oppsett

Spoof proof GPS timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Uf ordninger og trusler

Referansetrusselen

Deteksjon og mottiltak

Fleire GPS mottakere  
Referansekklokkene

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet  
Sensor server arkitektur  
Klokke modell  
Filtre

Test av lokasjons- og hastighetsfilter  
Beskrivelse

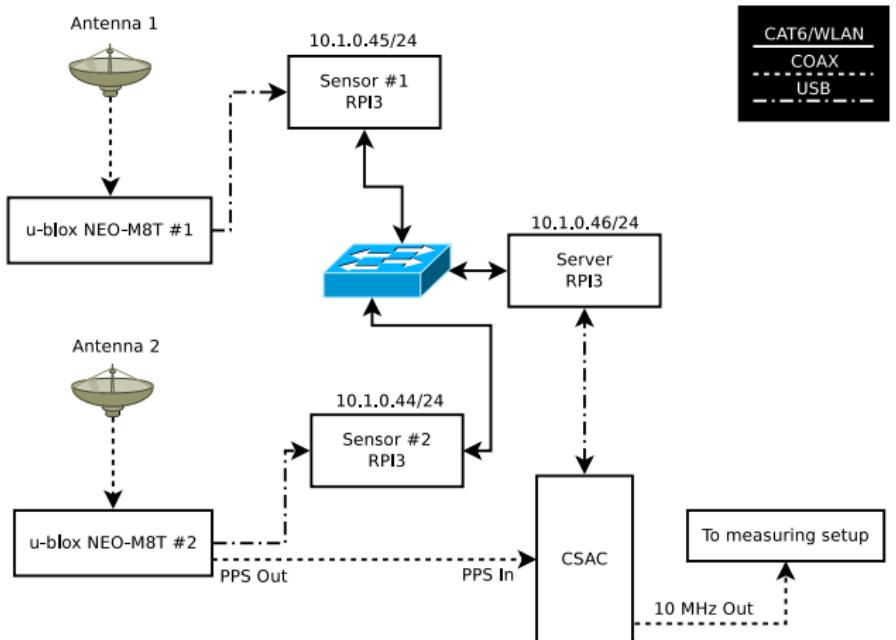
Test av klokke modell og filtre  
Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

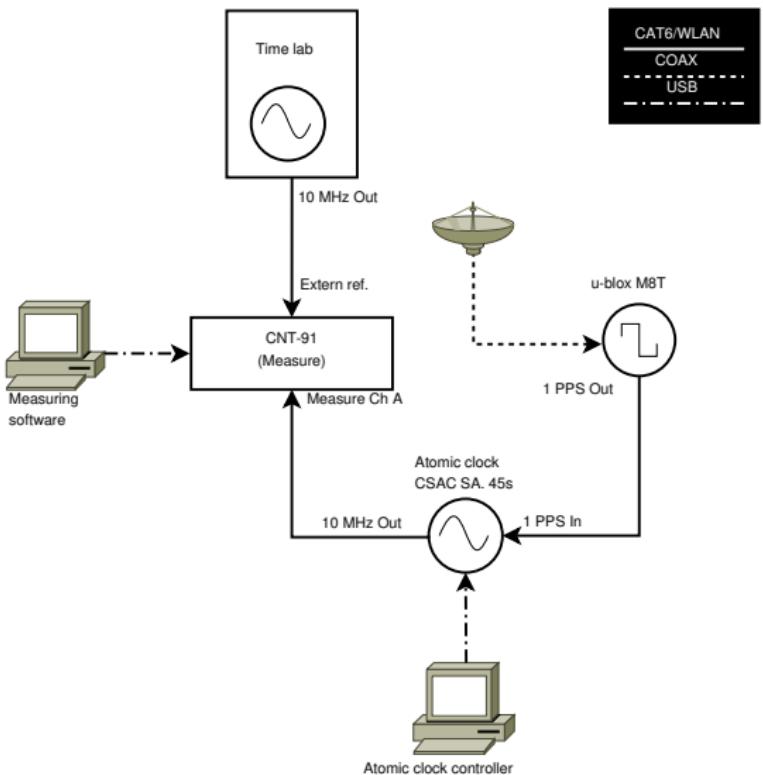
Bibliografi

Referanser



Figur: Oppsett av server og klienter under test

# Oppsett



Figur: Oppsett av måleutstyr

Spoof proof GPS timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrussen

Dekeksjon og mottiltak

Flere GPS mottakere  
Referansekkloke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet  
Sensor server arkitektur  
Klokkemodell  
Filtre

Test av lokasjons- og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av klokkemodell og filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

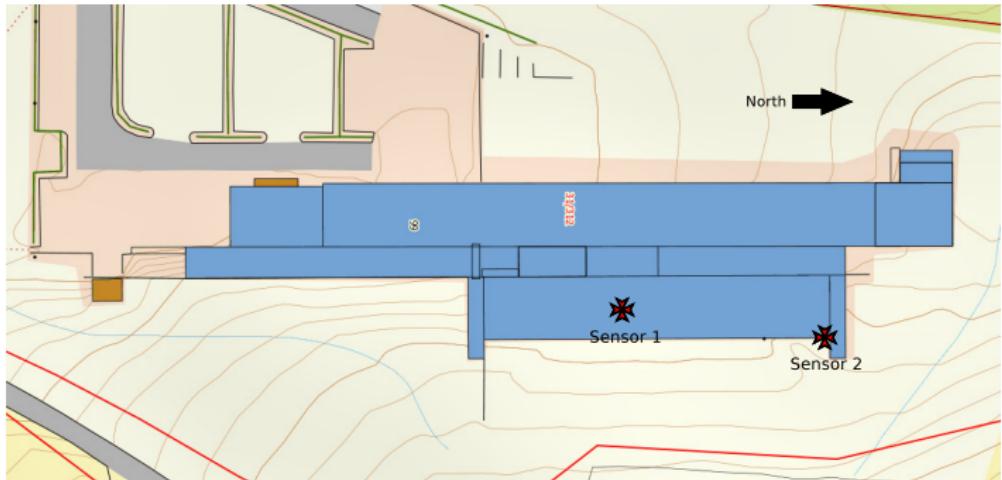
Bibliografi

Referanser

# Oppsett: plassering av mottakere

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen



Figur: Plasseringen av GPS mottakere

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Uf ordninger og trusler

Referansestrusselen

Deteksjon og  
mottiltak

Fleire GPS mottakere  
Referansekklokke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokke modell

Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av  
klokke modell og  
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

# Utførelse

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

- ▶ Flyttet antennen 1 mot antennen 2
- ▶ Flyttet antennen 2 mot antennen 1
- ▶ Viftet antennen 1 rundt i en halvsirkel
- ▶ Viftet antennen 2 rundt i en halvsirkel
- ▶ Dekket antennene

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrusselen

Dekeksjon og  
mottiltak

Flere GPS mottakere

Referansekklokk

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokkemodell

Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av  
klokkemodell og  
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

# Utførelse

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen



Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrusselen

Deteksjon og  
mottiltak

Flere GPS mottakere  
Referansekklokke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokkemodell  
Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av  
klokkemodell og  
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

# Observasjon

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

- ▶ Ingen falske positive
- ▶ GPS log korrelerer
- ▶ Server log korrelerer
- ▶ Frekvensmåling korrelerer

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrusselen

Deteksjon og  
mottiltak

Flere GPS mottakere  
Referansekklokke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet  
Sensor server  
arkitektur  
Klokkestasjon  
Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av  
klokkestasjon og  
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

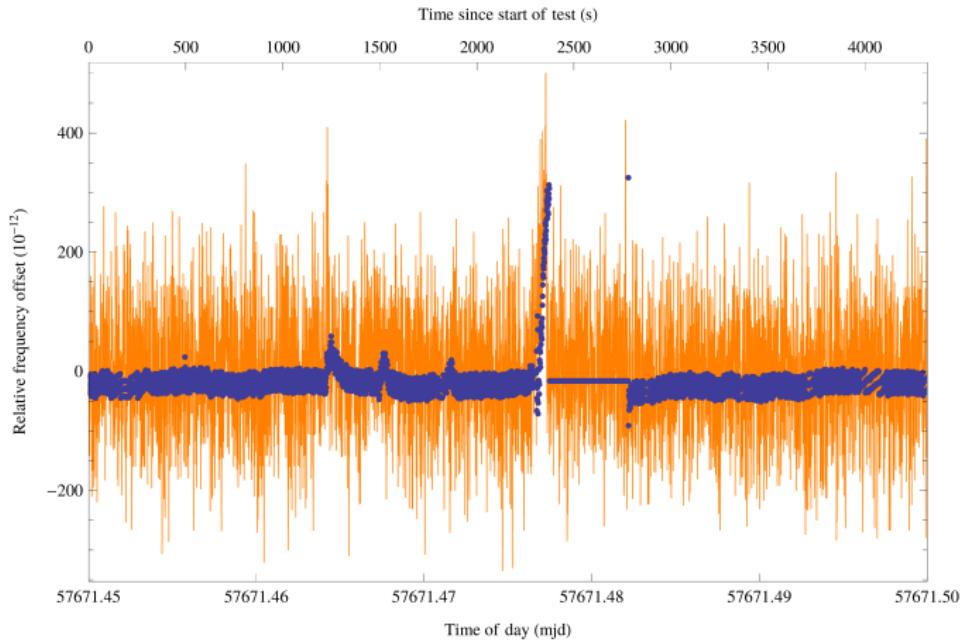
Bibliografi

Referanser

# Observasjon: Målesystem

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen



**Figur:** Måleserie gjort under test av lokasjon og hastighetsfilter

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrussen

Deteksjon og  
mottiltak

Fleire GPS mottakere  
Referansekklokk

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet  
Sensor server  
arkitektur  
Klokkemodell  
Filtre

Test av lokasj-  
on og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av  
klokkemodell og  
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

# Oppsett

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansetrusselen

Deteksjon og  
mottiltak

Flere GPS mottakere

Referansekkloke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokkestasjon

Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av  
klokkestasjon og  
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

- ▶ Testet klokkestasjonen og styring.
- ▶ Tok bare med en sensor da fokus var på klokkestasjon.
- ▶ Justerte grenseverdier

# Utførelse

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrusselen

Deteksjon og  
mottiltak

Flere GPS mottakere

Referansekklokke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokkemodell

Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av  
klokkemodell og  
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

- ▶ Flyttet antennen
- ▶ Viftet antennen rundt i en halvsirkel
- ▶ Aktiverte disiplinering av klokka manuelt

# Observasjon

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

- ▶ Ingen falske positive
- ▶ GPS log korrelerer
- ▶ Server log korrelerer
- ▶ Frekvensmåling korrelerer

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrusselen

Deteksjon og  
mottiltak

Flere GPS mottakere  
Referansekklokke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet  
Sensor server  
arkitektur  
Klokkestasjon  
Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av  
klokkestasjon og  
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

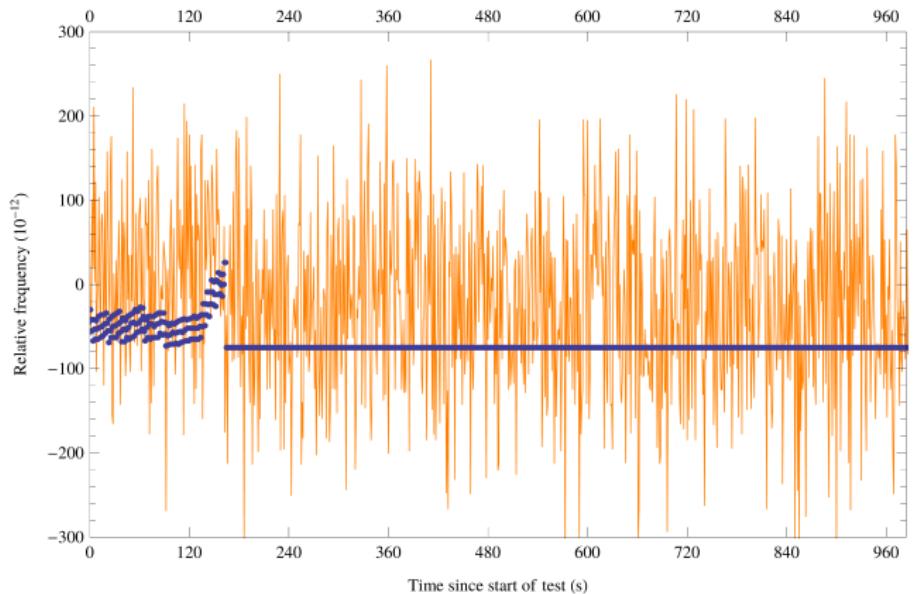
Bibliografi

Referanser

# Observasjon

Spoof proof GPS timing

A. Schultzen



Figur: Måleserie gjort under klokkestrekken

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordninger og trusler

Referansestrussen

Deteksjon og mottiltak

Fleire GPS mottakere  
Referansekklokke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet  
Sensor server arkitektur  
Klokkestrekke  
Filtre

Test av lokasjons- og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av klokkestrekke og filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

# Konklusjon

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

Vi har demonstrert:

- ▶ At en fullt fungerende *spoof proof atomic clock controller* ville ha vært i stand til å stå imot et angrep utført med en sofistikert GPS spoofer slik som *The Civil GPS spoofer*.
- ▶ Nåværende implementasjonen evne til å detektere en forstyrrelse av GPS signaler og en begrenset evne til å begrense skaden av nevnte forstyrrelse.
- ▶ Effektivitet til Sensor server arkitekturen.
  - ▶ Lav responstid
  - ▶ Høy stabilitet
  - ▶ Enkel å bygge ut med flere sensorer

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrusselen

Deteksjon og  
mottiltak

Flere GPS mottakere

Referansekklokkene

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokkestasjon

Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfiltere  
Beskrivelse

Test av  
klokkestasjon  
og  
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

# Ikke løste problemer

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

- ▶ Kommunikasjon med atomklokke
  - ▶ Antatt å ha vært et problem med konfigurasjonen av serialport.
  - ▶ Systematisk feilsøkt etter innlevering. Forsøkt:
    - ▶ Forskjellige kabler
    - ▶ Forskjellige datamaskiner
    - ▶ Verifisert med serial port sniffer", riktig kommando sendes.
  - ▶ Kan være et fastvare problem
- ▶ GPS filter ikke ferdig integrert.

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrusselen

Deteksjon og  
mottiltak

Flere GPS mottakere  
Referansekklokk

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokkestasjon  
Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av  
klokkestasjon  
og  
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

# Bibliografi I

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen



Justin Smith.

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cell-Tower.jpg>. CC BY-SA 2.5  
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/deed.en>. URL: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/85/Cell-Tower.jpg>.



Mike Peel.

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File>New\\_York\\_Stock\\_Exchange,\\_Wall\\_Street.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File>New_York_Stock_Exchange,_Wall_Street.jpg).  
Licenced under CC-BY-SA-4.0  
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en>. URL: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/58/New\\_York\\_Stock\\_Exchange%2C\\_Wall\\_Street.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/58/New_York_Stock_Exchange%2C_Wall_Street.jpg).

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Uf ordninger og trusler

Referansetrusselen

D deteksjon og  
mottiltak

Fleire GPS mottakere  
Referansekkloke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet  
Sensor server  
arkitektur  
Klokke modell  
Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av  
klokke modell og  
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

# Bibliografi II

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrusselen

Deteksjon og  
mottiltak

Fleire GPS mottakere  
Referansekklokke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet  
Sensor server  
arkitektur  
Klokkemodell  
Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av  
klokkemodell og  
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser



Daniel P. Shepard, Todd E. Humphreys og Aaron A. Fansler. "Evaluation of the Vulnerability of Phasor Measurement Units to GPS Spoofing Attacks". I: (2012).