

# 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

8. desember 2016

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrussen

Dektekjøn 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

Observasjon:  
Utilstiktet

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

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
- Referansekklokkene

## Implementasjon

- Ønsket funksjonalitet
- Sensor server  
arkitektur
- Klokkestokkmodell
- Filtre

## Test av lokasjons- og hastighetsfilter

Beskrivelse

## Test av klokkestokkmodell og filtre

Observasjon

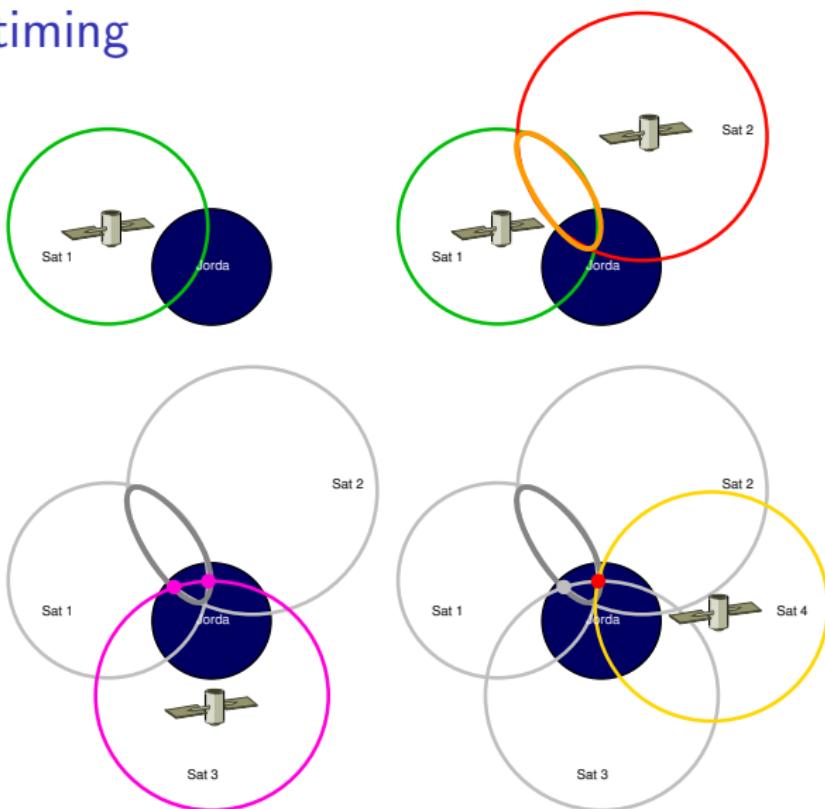
## Observasjon: Utilstiktet

## Konklusjon

## Etter innlevering

## Bibliografi

# 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 lokasj-  
on og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av  
klokkemodell og  
filtre

Observasjon

Observasjon:  
Utilskittet

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

# GPS timing

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen



Figur: Mobilmast [1]



Figur: PMU [2]



Figur: Wall Street [3]

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordninger og trusler

Referansestrussen

Deteksjon 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

Observasjon:  
Utilskittet

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

# Utfordringer og trusler

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrusselen

Deteksjon 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

Observasjon:  
Utilskittet

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

LORENZO FRANCESCHI-BICCHIERAI SECURITY 07.19.12 5:32 PM

## GPS HIJACKING CATCHES FEDS, DRONE MAKERS OFF GUARD

### SPOOFING GPS AND GETTING YOUR OWN UAV

July 1, 2012 by Brian Benchoff



SEPTEMBER 3, 2015

### SPOOFING GPS LOCATIONS WITH LOW COST TX SDRS

At this years Defcon 2015 conference researcher Lin Huang from Qihoo 360 presented her work on spo

Getting lost near the Kremlin? Russia could  
be 'GPS spoofing'

by Clare Sebastian @clarecn

December 2, 2016 4:34 AM ET

### Iran–U.S. RQ-170 incident

From Wikipedia, the free encyclopedia

In Lockheed Martin RQ-170 Sentinel unmanned aerial vehicle was brought down by its cyberwarfare unit which c

89 Comments

### US spy drone hijacked with GPS spoof hack, report says

Electronic warfare comes of age – in Iran



### WE DECLARE THE GRANDMASTER OF POKEMON GO GPS CHEATS

July 26, 2016 by Mike Szczys

47 Comments

# Utfordringer og trusler

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen



# FARE

*"GPS based timing may be viewed as an unencrypted and physically unsecured port into industrial control systems"*

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

Observasjon:  
Utilskittet

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

# The Civil GPS Spoofer"

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrussen

Deteksjon og  
mottiltak

Fleire GPS mottakere  
Referansekklokk

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokkestrek  
Filtre

Test av lokasj-  
on og hastighetsfilter  
Beskrivelse

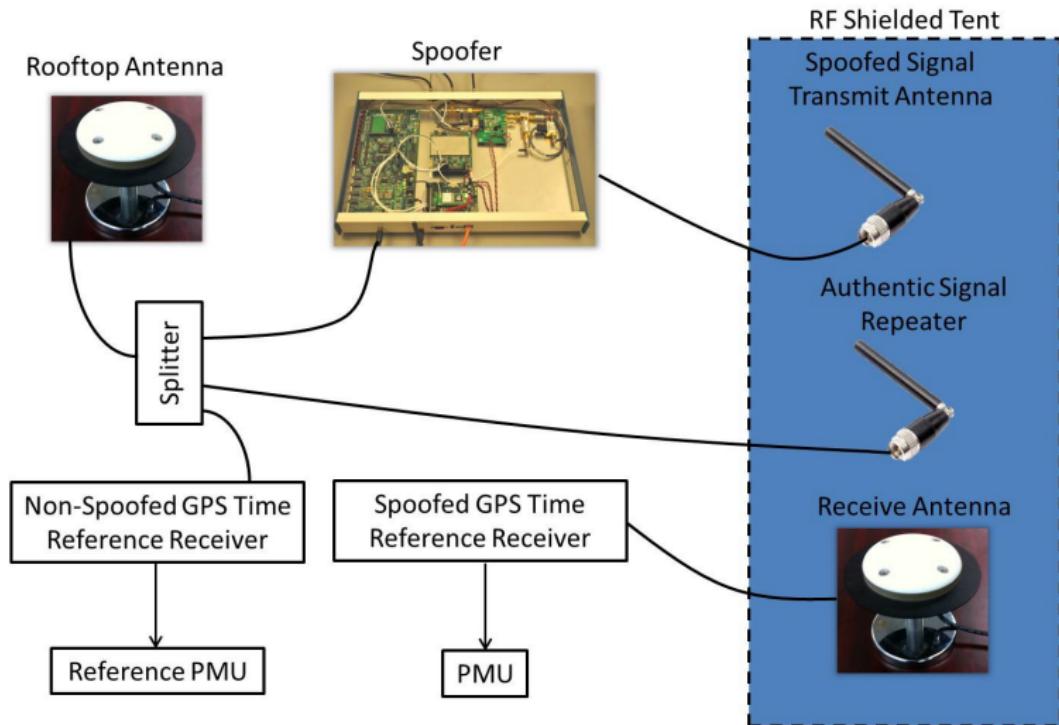
Test av  
klokkestrek og  
filtre  
Observasjon

Observasjon:  
Utilskittet

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi



Figur: Civil GPS Spoofer [4]

# Deteksjon og mottiltak

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordninger og trusler

Referansetrusselen

Deteksjon og  
mottiltak

Flere GPS mottakere  
Referansekklokkene

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet  
Sensor server  
arkitektur  
Klokkestrek  
Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av  
klokkestrek og  
filtre

Observasjon

Observasjon:  
Utilstiktet

Konklusjon

Etter innlevering

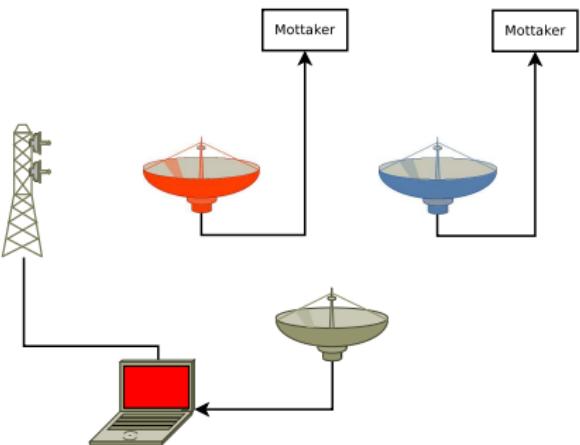
Bibliografi

- ▶ Bruke flere GPS mottakere med kjent posisjon og hastighet.
- ▶ Gode klokker – Små korreksjoner.

# Flere GPS mottakere og kjent posisjon

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen



Figur: Spoofing deteksjon med to antenner

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrussen

Deteksjon 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

Observasjon:  
Utilstikt

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

# Flere GPS mottakere og kjent posisjon

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrussen

Deteksjon 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

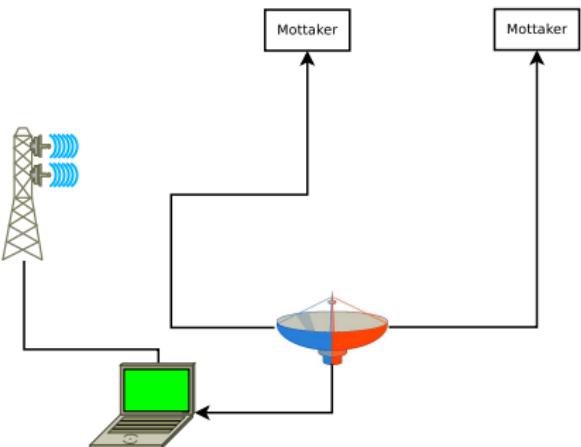
Observasjon

Observasjon:  
Utilskittet

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi



Figur: Spoofing deteksjon med to antenner

# Referanseklokke

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansetrusselen

Deteksjon og  
mottiltak

Flere GPS mottakere  
Referanseklokke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet  
Sensor server  
arkitektur  
Klokkemodell  
Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av  
klokkemodell og  
filtre

Observasjon

Observasjon:  
Utilsiktet

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

- ▶ Trenger få korreksjoner
- ▶ Lite påvirket av temperatur
- ▶ Intern frekvensteller og styringsalgoritme



Figur: Symmetricom SA.45s CSAC

# Referanseklokke

Spoof proof GPS timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansetrusselen

Deteksjon og mottiltak

Flere GPS mottakere  
Referansekklokkene

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet  
Sensor server arkitektur  
Klokkekemodell  
Filtre

Test av lokasjons- og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av klokkekemodell og filtre

Observasjon

Observasjon:  
Utilskiktet

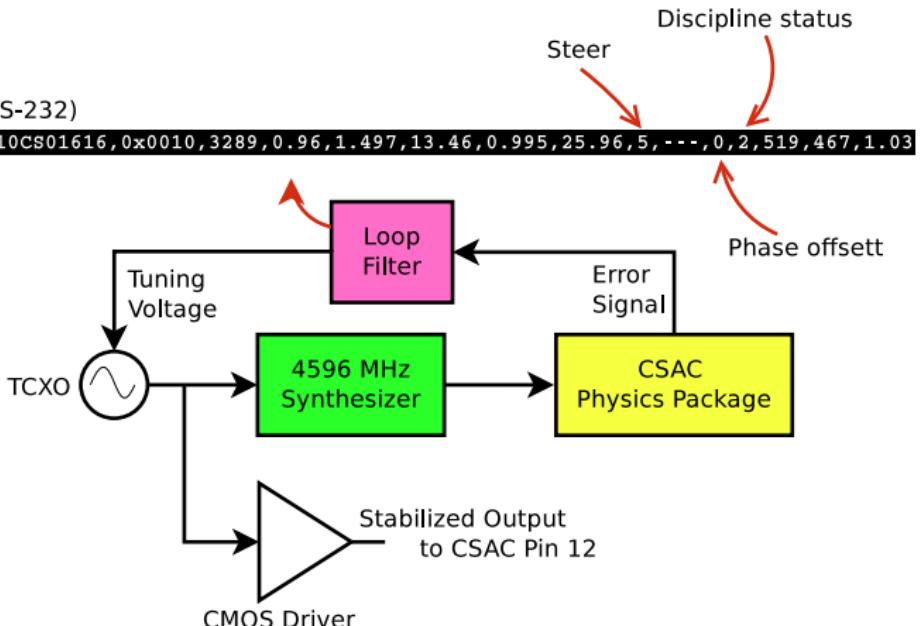
Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Telemetri (RS-232)

0,0x0000,1110CS01616,0x0010,3289,0.96,1.497,13.46,0.995,25.96,5,---,0,2,519,467,1.03



Figur: CSAC blokkdiagram

# Ønsket funksjonalitet

- ▶ Detektere angrep:
  - ▶ GPS
  - ▶ Klokke
- ▶ Logging
- ▶ Enkel utbygging
- ▶ Administreres over nettverk
- ▶ Konfigurerbar

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordninger og trusler

Referansetrusselen

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

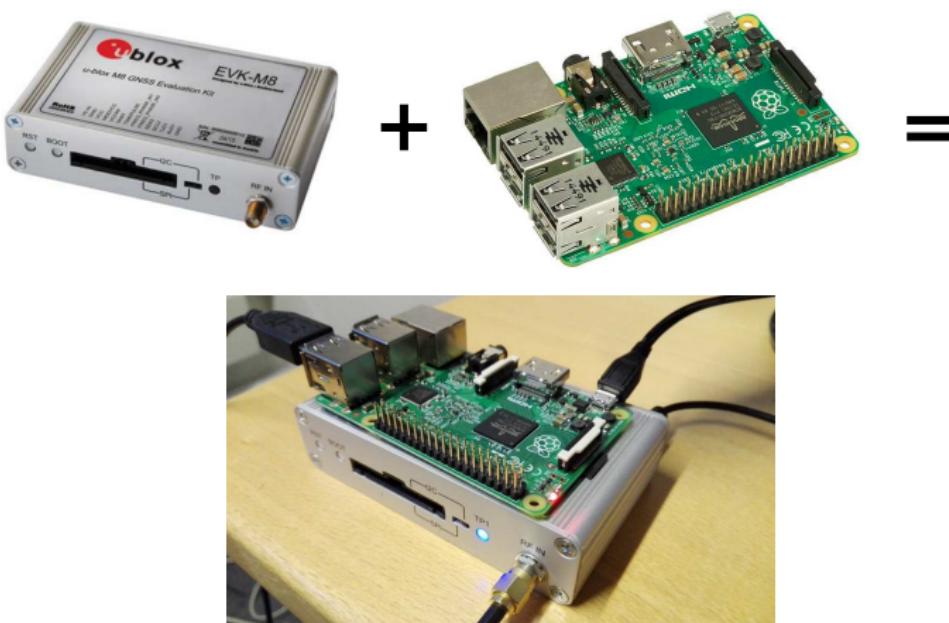
Observasjon:  
Utilsiktet

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

# Sensor server arkitektur ide



**(Sensor)**

Spoof proof GPS timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Uf ordninger og trusler

Referansestrussen

Dek sjon og  
mottiltak

Fle GPS mottakere  
Referansekkloke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet  
Sensor server  
arkitektur

Klok kmodell  
Filtre

Test av lokasj-  
on og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av  
klok kmodell og  
filtre

Observasjon

Observasjon:  
Util skittet

Konklusjon

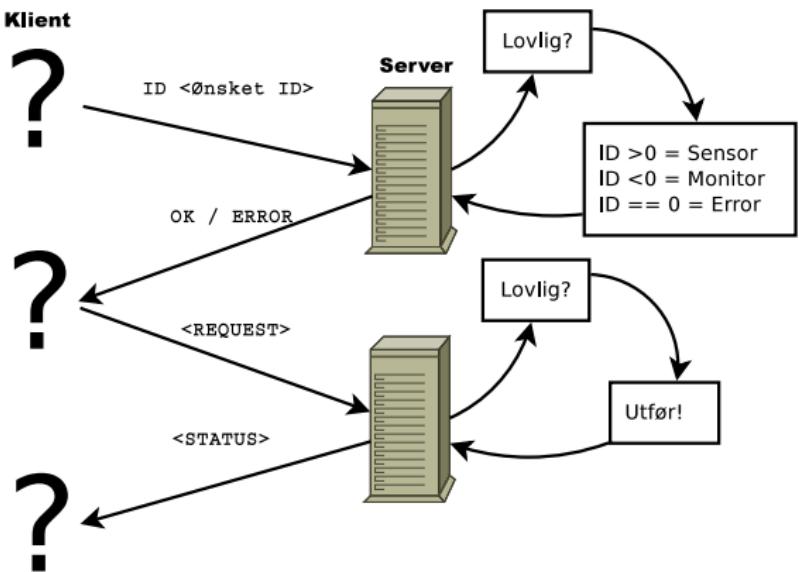
Etter innlevering

Bibliografi

# Kommunikasjon: Roller

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen



Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrussen

Deteksjon og  
mottiltak

Flere GPS mottakere  
Referansekklokk

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokkemodell

Filtre

Test av lokasj-  
on og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av  
klokkemodell og  
filtre

Observasjon

Observasjon:  
Utilsiktet

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

# Kommunikasjon: GPS data

Spoof proof GPS timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrusselen

Deteksjon og mottiltak

Flere GPS mottakere  
Referansekklokkene

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet  
Sensor server arkitektur  
Klokkemodell  
Filtre

Test av lokasjons- og hastighetsfilter  
Beskrivelse

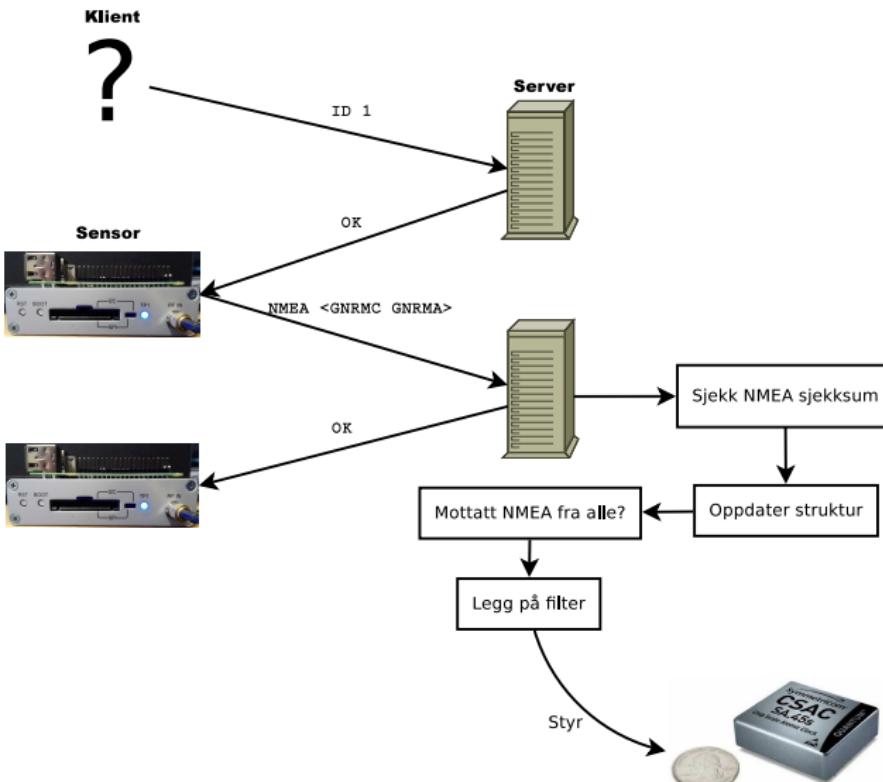
Test av klokkemodell og filtre  
Observasjon

Observasjon:  
Utilskittet

Konklusjon

Etter innlevering

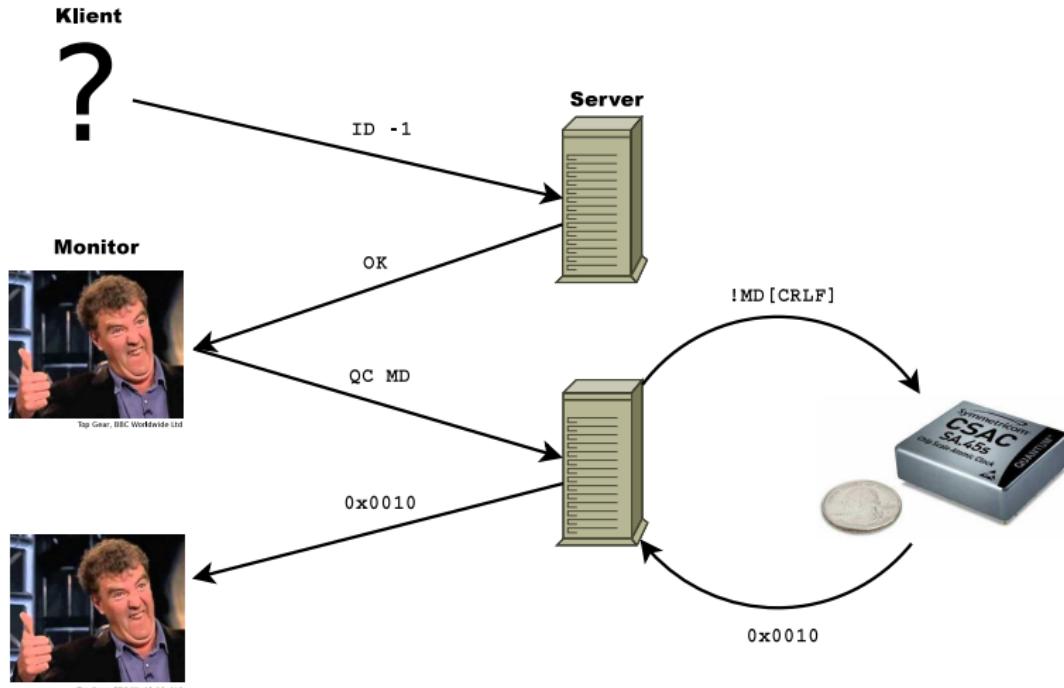
Bibliografi



# Kommunikasjon: Interaksjon

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen



Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrussen

Deteksjon og  
mottiltak

Flere GPS mottakere  
Referansekklokk

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokkestrek  
Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av  
klokkestrek og  
filtre

Observasjon

Observasjon:  
Utilskittet

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

# 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

D deteksjon 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

Observasjon:  
Utilskiktet

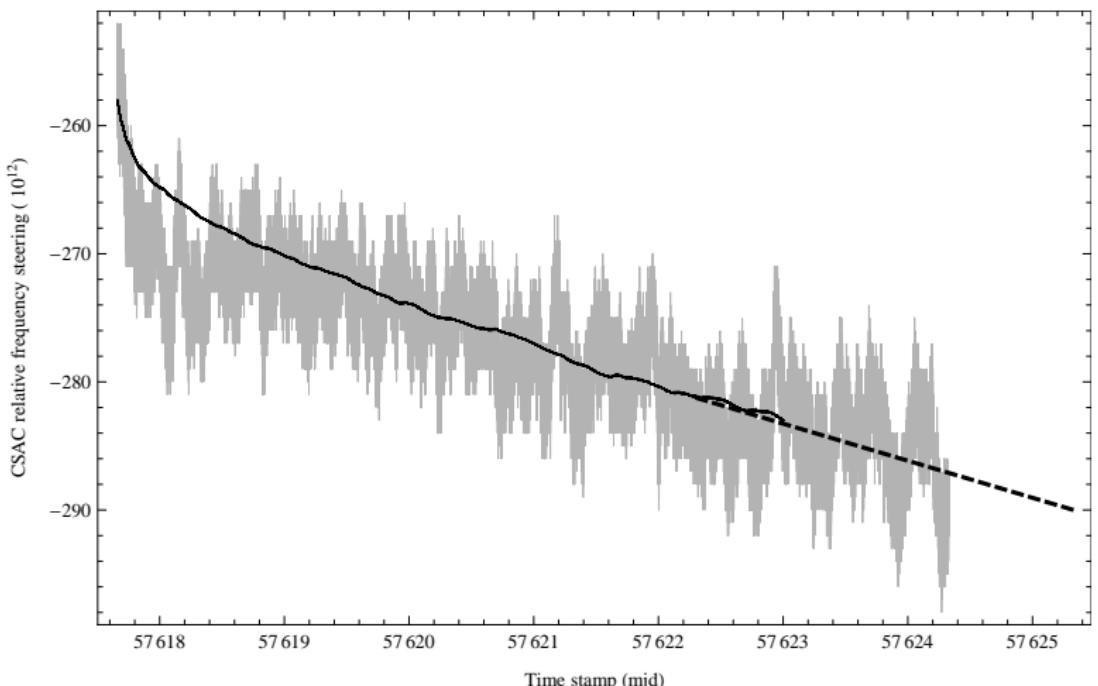
Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

# Klokke modell

- ▶ Utviklet av Harald Hauglin
- ▶ Bruker klokke data (telemetri)



Figur: CSAC styringskorrekjon, fra klokke og predikert.

# Filtre

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

Klokkestasjon

Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av  
klokkestasjon og  
filtre

Observasjon

Observasjon:  
Utilstiktet

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

- ▶ Lokasjon og hastighet
- ▶ Fasehopp
- ▶ Frekvenskorreksjon

# Oppsett

Spoof proof GPS timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Uf ordninger og trusler

Referansetrusselen

Dekksjon og  
mottiltak

Fle GPS mottakere  
Referansekklokk

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet  
Sensor server  
arkitektur  
Klokke modell  
Filtre

Test av lokasj-  
on og hastighetsfilter  
Beskrivelse

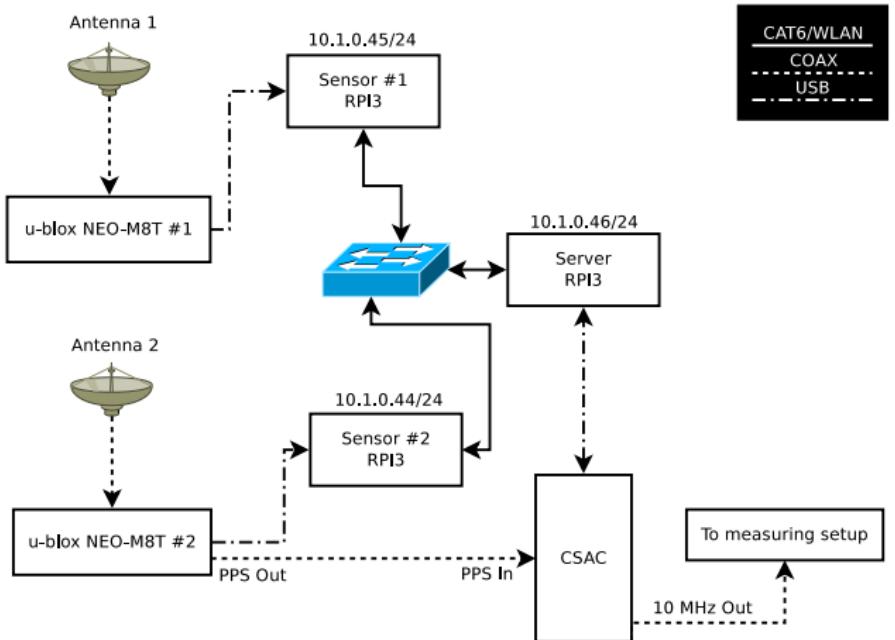
Test av  
klokke modell og  
filtre  
Observasjon

Observasjon:  
Utilskittet

Konklusjon

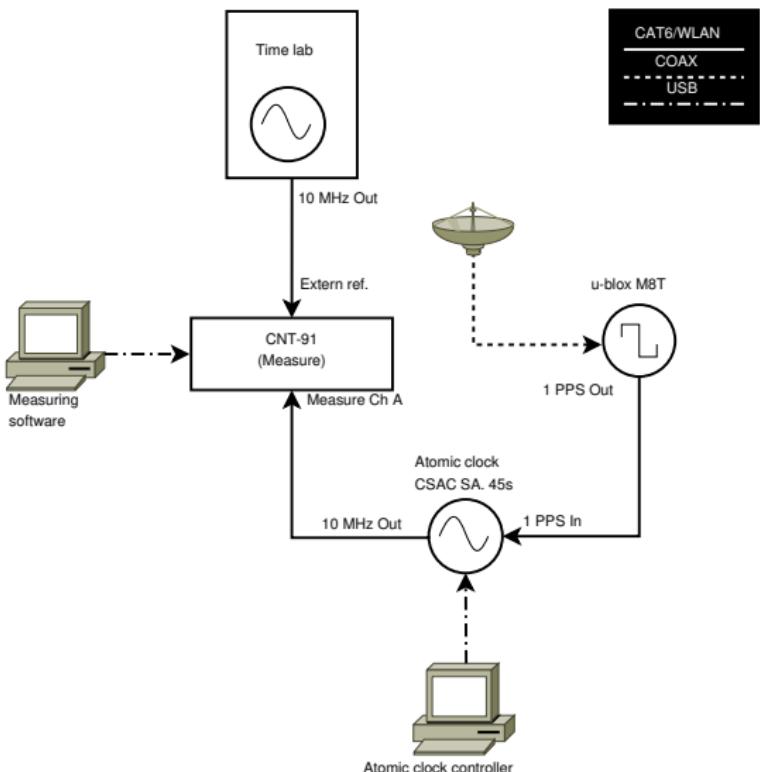
Etter innlevering

Bibliografi



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

Dektekjøn 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

Observasjon:  
Utilskiktet

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

# Oppsett

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Uf ordninger og trusler

Referansestrusselen

Dek sejon og  
mottiltak

Fle GPS mottakere  
Referansekklokk

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokke modell  
Filtre

Test av lokasj-  
on og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av  
klokke modell og  
filtre

Observasjon

Observasjon:  
Utilstikt

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

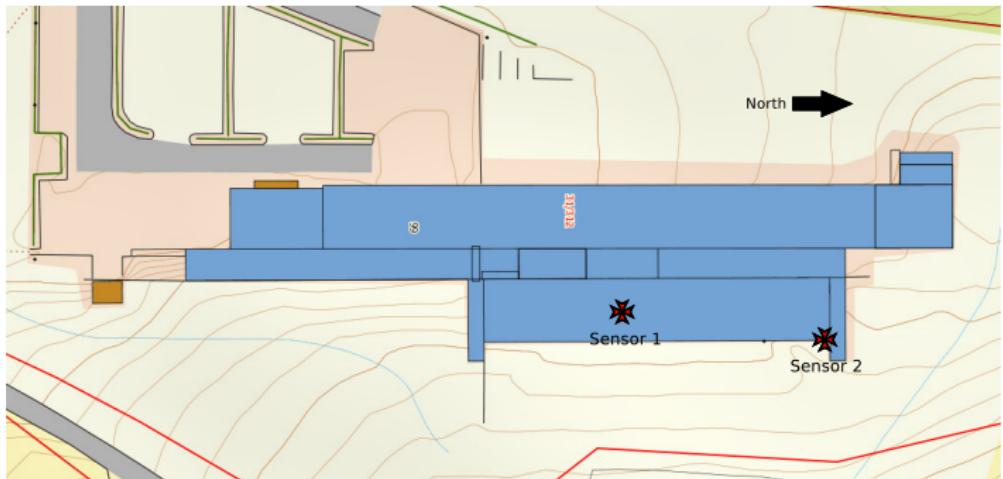


Figur: Oppsett av måleutstyr

# 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  
Referansekklokk

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokke modell

Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av  
klokke modell og  
filtre

Observasjon

Observasjon:  
Utilskittet

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

# Utførelse

- ▶ 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

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansetrusselen

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

Observasjon:  
Utilsiktet

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

# Utførelse

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen



Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrussen

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

Observasjon:  
Utilsiktet

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

# Observasjon

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

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

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordninger 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

Observasjon:  
Utilstiktet

Konklusjon

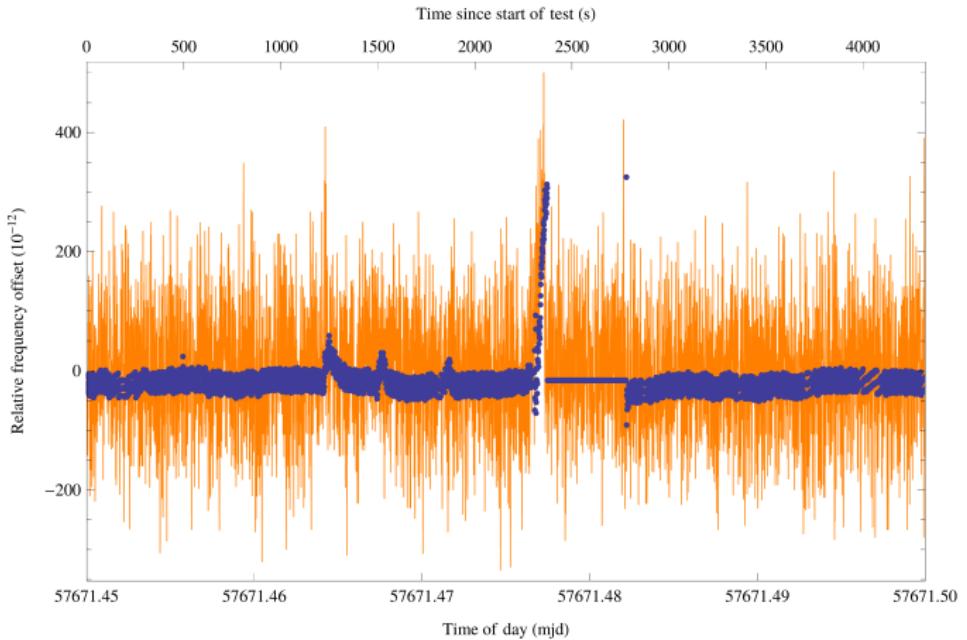
Etter innlevering

Bibliografi

# 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 lokasjon- og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av klokkemodell og filtre  
Observasjon

Observasjon:  
Utilskittet

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

# Oppsett

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrusselen

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

Observasjon:  
Utilstiktet

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

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

# Utførelse

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

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansetrusselen

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

Observasjon:  
Utilstiktet

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

# Observasjon

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

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  
Klokkestasjon  
Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av  
klokkestasjon og  
filtre

Observasjon

Observasjon:  
Utilstiktet

Konklusjon

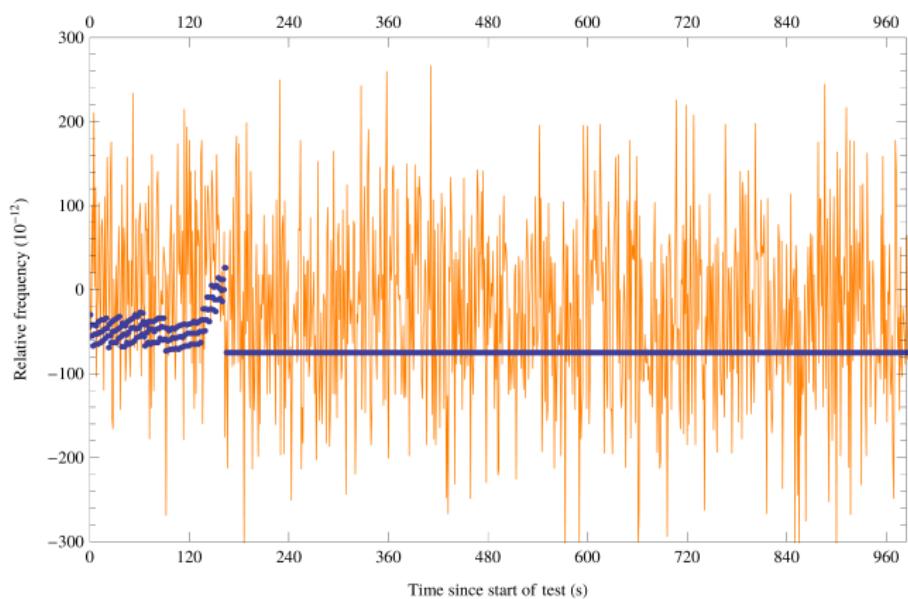
Etter innlevering

Bibliografi

# Observasjon

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen



Figur: Måleserie gjort under klokkestrekken test

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Uf ordninger og trusler

Referansestrussen

Deteksjon og  
mottiltak

Fleire GPS mottakere  
Referansekklokkene

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokkestrekken

Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av  
klokkestrekken og  
filtre

Observasjon

Observasjon:  
Utilstikt

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

# Observasjon: Utilsiktet

Spoof proof GPS timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Uf ordninger og trusler

Referansestrussen

Dektek sjon 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

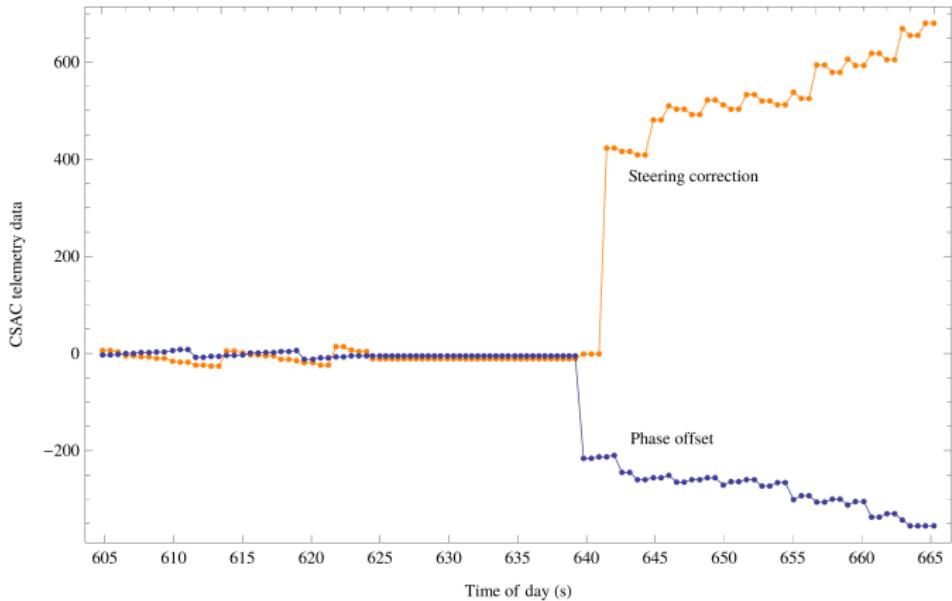
Observasjon

Observasjon:  
Utilsiktet

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi



Figur: Måleserie gjort under utilsiktet forstyrrelse

# Konklusjon

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

Spoof proof GPS timing

A. Schultzen

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 hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av klokkestasjon og filtre

Observasjon

Observasjon: Utilsiktet

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

# Ikke løste problemer

- ▶ 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.

Spoof proof GPS timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Uf ordninger og trusler

Referansestrusselen

Deksjon og mottiltak

Flere GPS mottakere

Referansekklokk

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server arkitektur

Klok kmodell

Filtre

Test av lokasjons- og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av klok kmodell og filtre

Observasjon

Observasjon: Utilsiktet

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrussen

Deteksjon 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

Observasjon:  
Utilskittet

Konklusjon

Etter innlevering

# Bibliografi I



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>.



Kontinuum Engineering og Design Center. URL: <http://ec-continuum.ru/eng/projects/pmu.shtml>.



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).

# Bibliografi II

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansetrusselen

Dtekasjon 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

Observasjon:  
Utilskittet

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

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