

# 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

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

Observasjon:  
Utilstiktet

Konklusjon

# Introduksjon

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

- ▶ Lage rammeverk
- ▶ Deteksjon
- ▶ Styring

## 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 lokasjon- og hastighetsfilter

Beskrivelse

## Test av klokkemodell og filtre

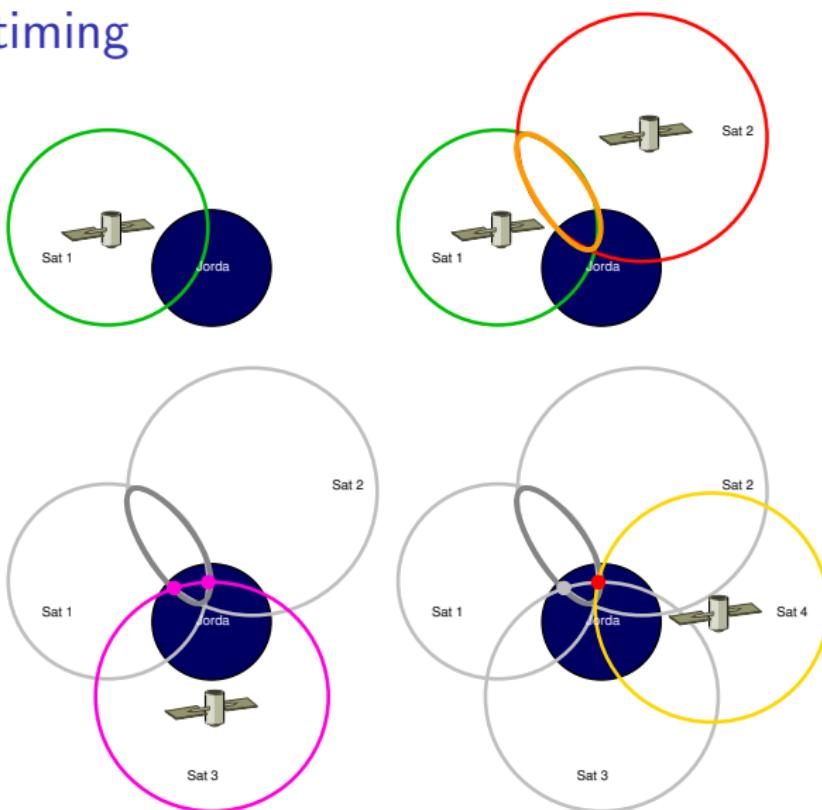
Observasjon

## Observasjon: Utilsiktet

## Observasjon: Utilsiktet

## Konklusjon

# 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:  
Utilstikt

Observasjon:  
Utilstikt

Konklusjon

# GPS timing: Anvendelse

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrusselen

Deteksjon og  
mottiltak

Flere GPS mottakere

Referanseklokke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokkemodell

Filtre

Test av lokasjon-  
og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av  
klokkemodell og  
filtre

Observasjon

Observasjon:  
Utilsiktet

Observasjon:  
Utilsiktet

Konklusjon

# GPS timing: Anvendelse

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen



Figur: Mobilmast [1]



Figur: PMU [2]



Figur: Wall Street [3]

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordninger og trusler

Referansestrussen

Dektekjøn 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

Observasjon:  
Utilstikt

Observasjon:  
Utilstikt

Konklusjon

# Utfordringer og trusler

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrusselen

Dtekasjon og  
mottiltak

Flere GPS mottakere  
Referansekklokk

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet  
Sensor server  
arkitektur  
Klokkemodell  
Filtre

Test av lokasjon-  
og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av  
klokkemodell og  
filtre

Observasjon

Observasjon:  
Utilstiktet

Observasjon:  
Utilstiktet

Konklusjon

# Utfordringer og trusler

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrusselen

Deteksjon og  
mottiltak

Fleire GPS mottakere  
Referansekklokkene

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokkemodell  
Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av  
klokkemodell og  
filtre

Observasjon

Observasjon:  
Utilstikket

Observasjon:  
Utilstikket

Konklusjon

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

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

July 26, 2016 by Mike Szczys

47 Comments

### 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



# 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

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

Observasjon:  
Utilsiktet

Konklusjon

# The Civil GPS Spoofer"

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

## Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrusselen

## Dekeksjon og mottiltak

Flere GPS mottakere

Referanseklokke

## Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokkemodell

Filtre

## Test av lokasjon- og hastighetsfilter

Beskrivelse

## Test av klokkemodell og filtre

Observasjon

## Observasjon: Utilstiktet

## Observasjon: Utilstiktet

## Konklusjon

# 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

Klokkemodell  
Filtre

Test av lokasj-  
on og hastighetsfilter  
Beskrivelse

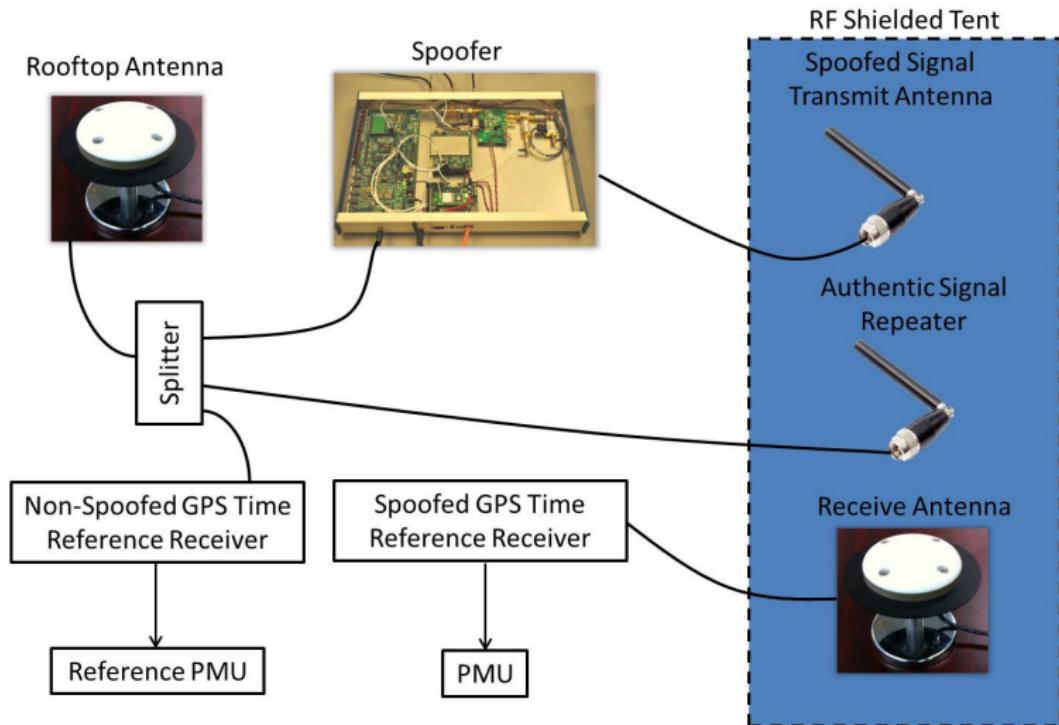
Test av  
klokkemodell og  
filtre

Observasjon

Observasjon:  
Utilstikt

Observasjon:  
Utilstikt

Konklusjon



Figur: Civil GPS Spoofer [4]

# Deteksjon og mottiltak

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordninger og trusler

Referansestrusselen

Deteksjon og  
mottiltak

Flere GPS mottakere

Referanseklokke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokkemodell

Filtre

Test av lokasjon-  
og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av  
klokkemodell og  
filtre

Observasjon

Observasjon:  
Utilsiktet

Observasjon:  
Utilsiktet

Konklusjon

# Deteksjon og mottiltak

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  
Klokkestasjon  
Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av  
klokkestasjon og  
filtre

Observasjon

Observasjon:  
Utilstiktet

Observasjon:  
Utilstiktet

Konklusjon

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

# 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  
Referansekkloke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet  
Sensor server  
arkitektur  
Klokkestrek  
Filtre

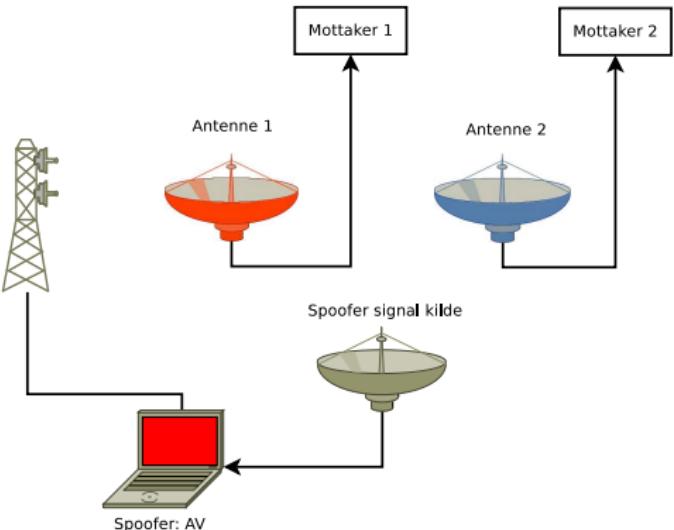
Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av  
klokkestrek og  
filtre  
Observasjon

Observasjon:  
Utilstikket

Observasjon:  
Utilstikket

Konklusjon



Figur: Spoofing deteksjon med to antenner

# 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

Klokkestokkmodell

Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter  
Beskrivelse

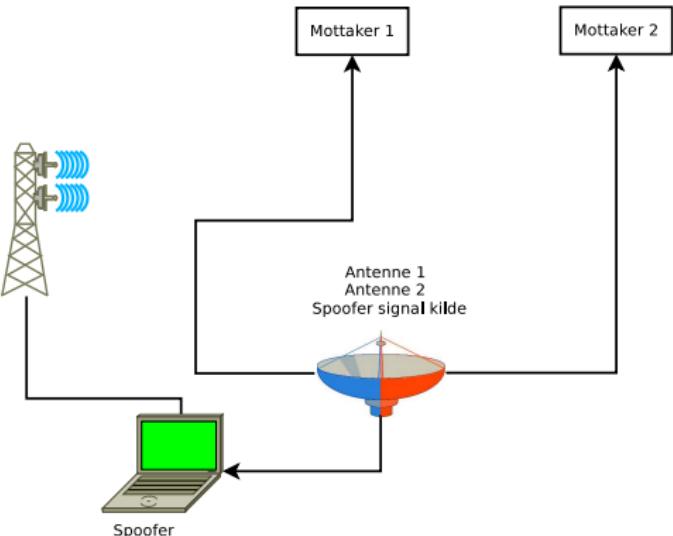
Test av  
klokkestokkmodell og  
filtre

Observasjon

Observasjon:  
Utilstikket

Observasjon:  
Utilstikket

Konklusjon



Figur: Spoofing deteksjon med to antenner

# Referanseklokke

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



Figur: Symmetricom SA.45s CSAC

Spoof proof GPS timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansetrusselen

Dtekasjon 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

Observasjon: Utilsiktet

Konklusjon

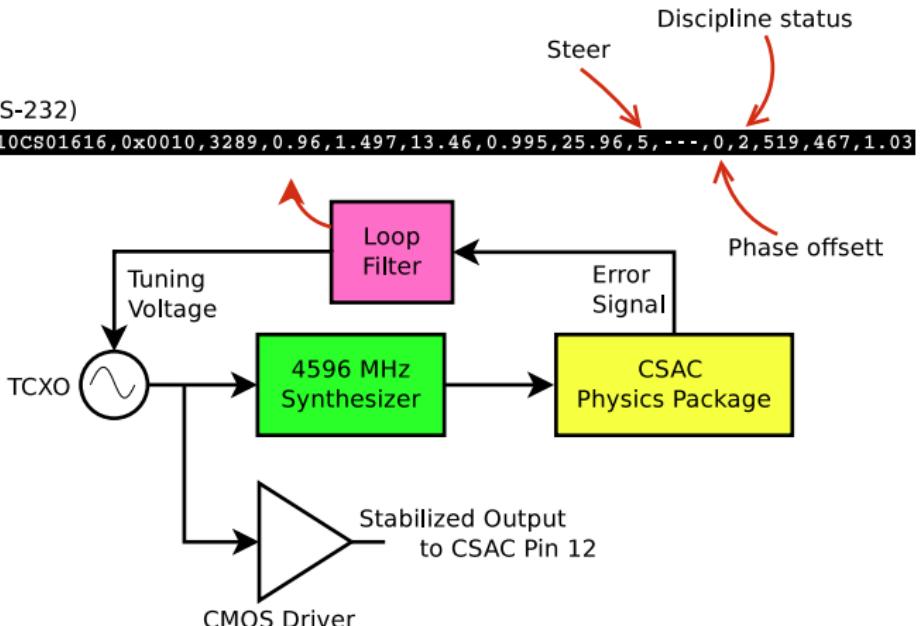
# Referanseklokke

Spoof proof GPS timing

A. Schultzen

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

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansetrusselen

Deteksjon og mottiltak

Fleire GPS mottakere  
Referansekklokkene

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet  
Sensor server arkitektur  
Klokkestørelse  
Filtre

Test av lokasjons- og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av klokkestørelse og filtre

Observasjon

Observasjon:  
Utilstikket

Observasjon:  
Utilstikket

Konklusjon

# Ønsket funksjonalitet

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordninger og trusler

Referansestrusselen

Deteksjon og  
mottiltak

Flere GPS mottakere

Referanseklokke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokkemodell

Filtre

Test av lokasjon-  
og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av  
klokkemodell og  
filtre

Observasjon

Observasjon:  
Utilsiktet

Observasjon:  
Utilsiktet

Konklusjon

# 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

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

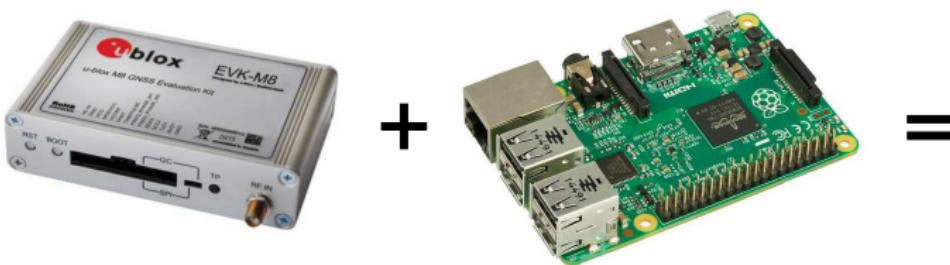
Observasjon

Observasjon:  
Utilsiktet

Observasjon:  
Utilsiktet

Konklusjon

# Sensor server arkitektur ide



## (Sensor)

Spoof proof GPS timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordninger og trusler

Referansestrussen

Dektekjøn og mottiltak

Flere 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

Observasjon:  
Utilstikt

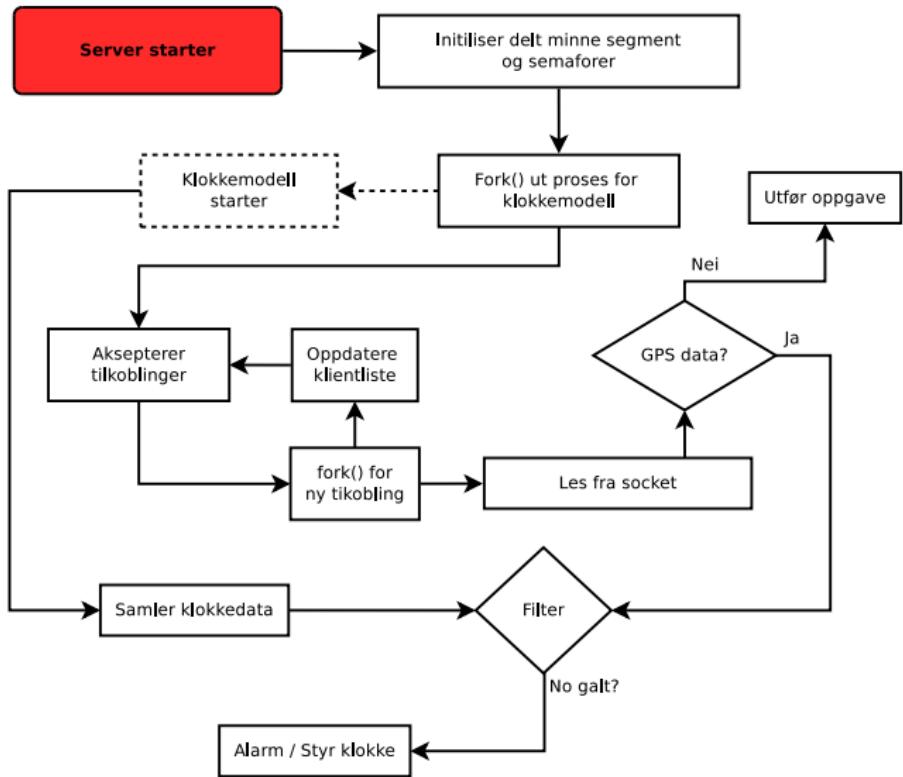
Observasjon:  
Utilstikt

Konklusjon

# Sensor server arkitektur

Spooft proof GPS  
timing

A. Schultzen



Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utvordringer og trusler

Referansestrussen

Deteksjon og mottiltak

Fleire GPS mottakere  
Referansekkloke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokjemodell  
Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av  
klokjemodell og  
filtre

Observasjon

Observasjon:  
Utilstikt

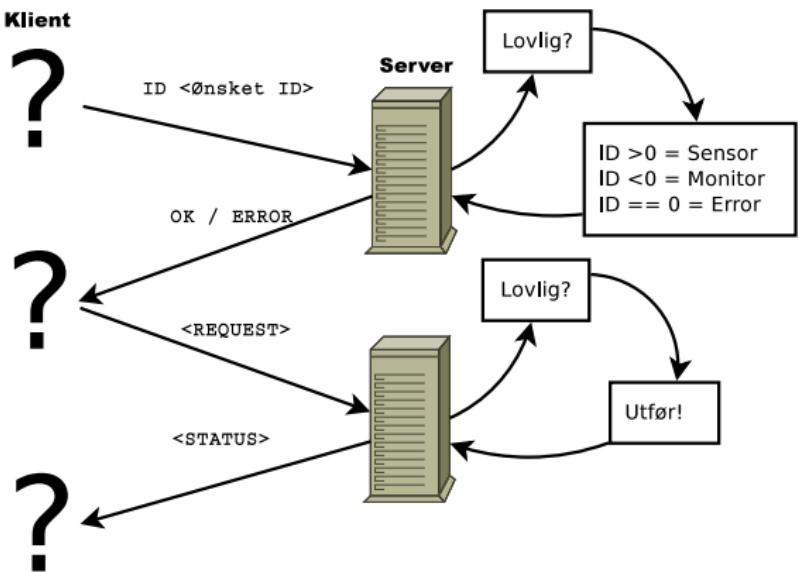
Observasjon:  
Utilstikt

Konklusjon

# 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:  
Utilstikt

Observasjon:  
Utilstikt

Konklusjon

# 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

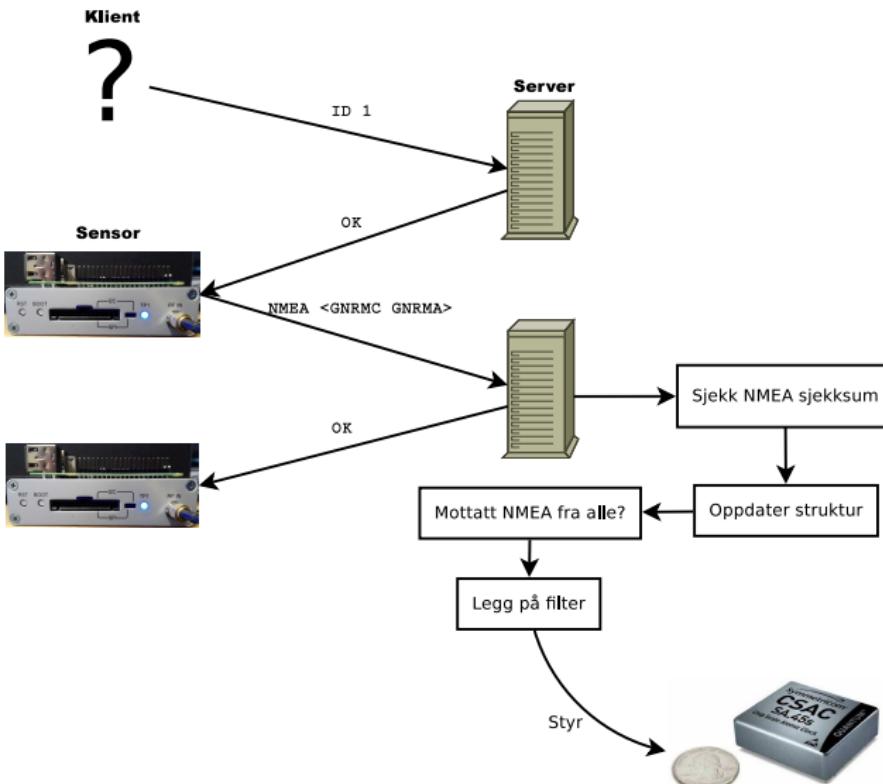
Test av klokkemodell og filtre

Observasjon

Observasjon:  
Utilstikt

Observasjon:  
Utilstikt

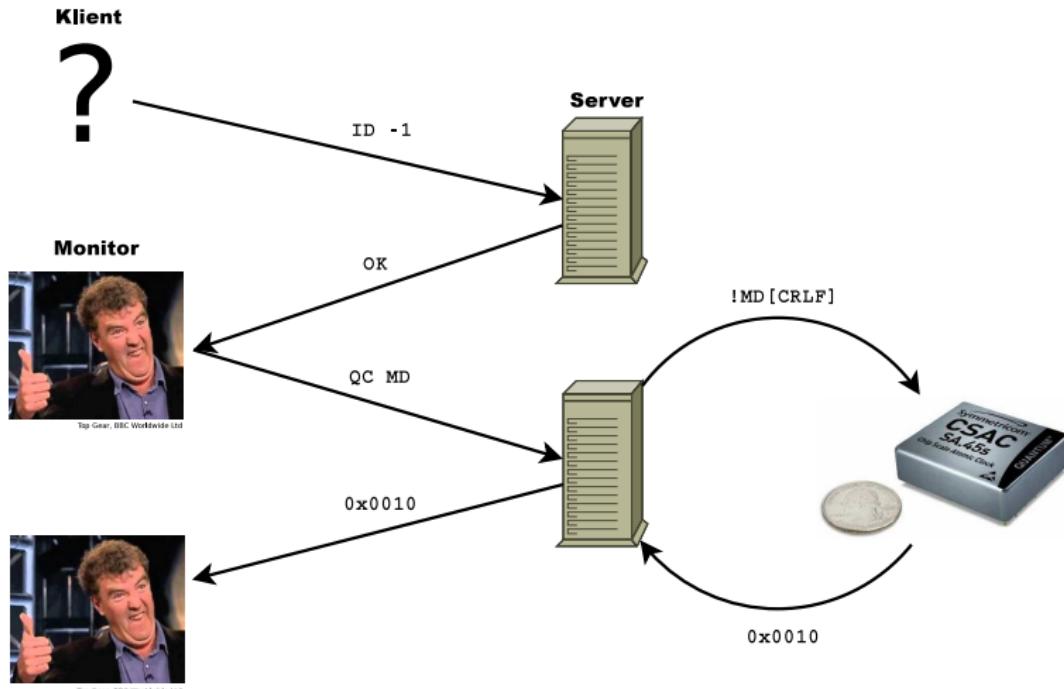
Konklusjon



# Kommunikasjon: Interaksjon

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen



Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrussen

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:  
Utilstikket

Observasjon:  
Utilstikket

Konklusjon

# Klokkestasjon

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

## Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrusselen

## Dekeksjon og mottiltak

Flere GPS mottakere

Referanseklokke

## Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokkestasjon

Filtre

## Test av lokasjon- og hastighetsfilter

Beskrivelse

## Test av klokkestasjon og filtre

Observasjon

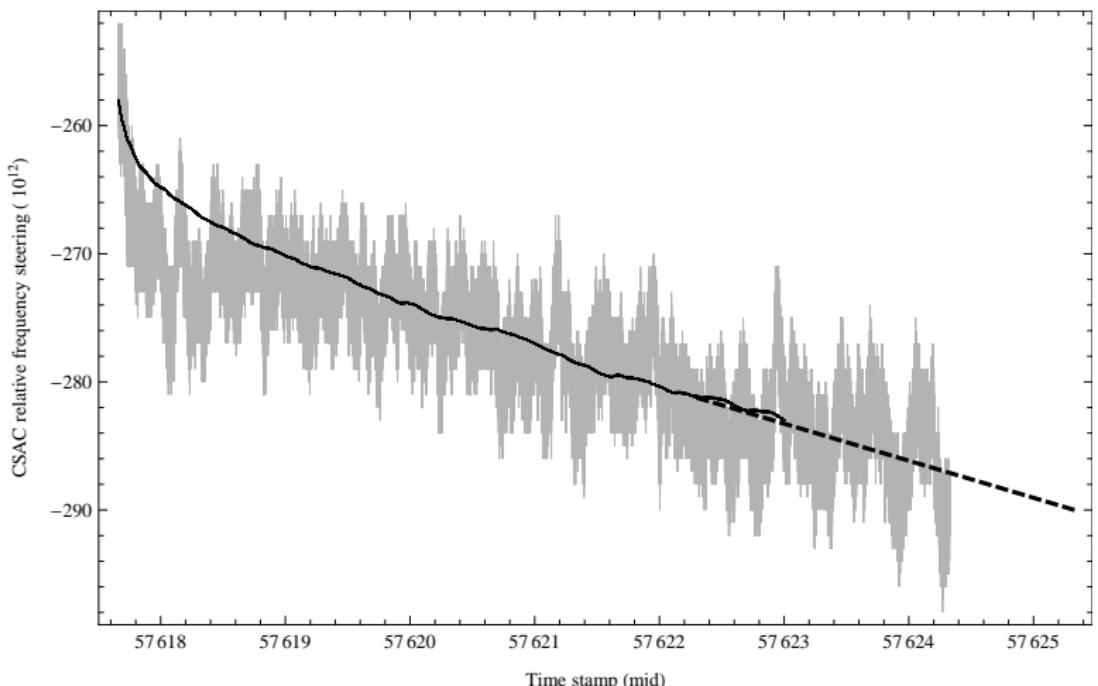
## Observasjon: Utilstiktet

## Observasjon: Utilstiktet

## Konklusjon

# Klokkekmodell

- ▶ Utviklet av Harald Hauglin
- ▶ Bruker klokkedata (telemetri)



Figur: CSAC styringskorrekjon, fra klokke og predikert.

# Filtre

- ▶ Lokasjon og hastighet
- ▶ Fasehopp
- ▶ Frekvenskorreksjon

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 lokasjon  
og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av  
klokkemodell og  
filtre

Observasjon

Observasjon:  
Utilstiktet

Observasjon:  
Utilstiktet

Konklusjon

# Oppsett

Spoof proof GPS timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrussen

Deteksjon og mottiltak

Fleire GPS mottakere  
Referansekkloke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet  
Sensor server arkitektur  
Klokkestrek  
Filtre

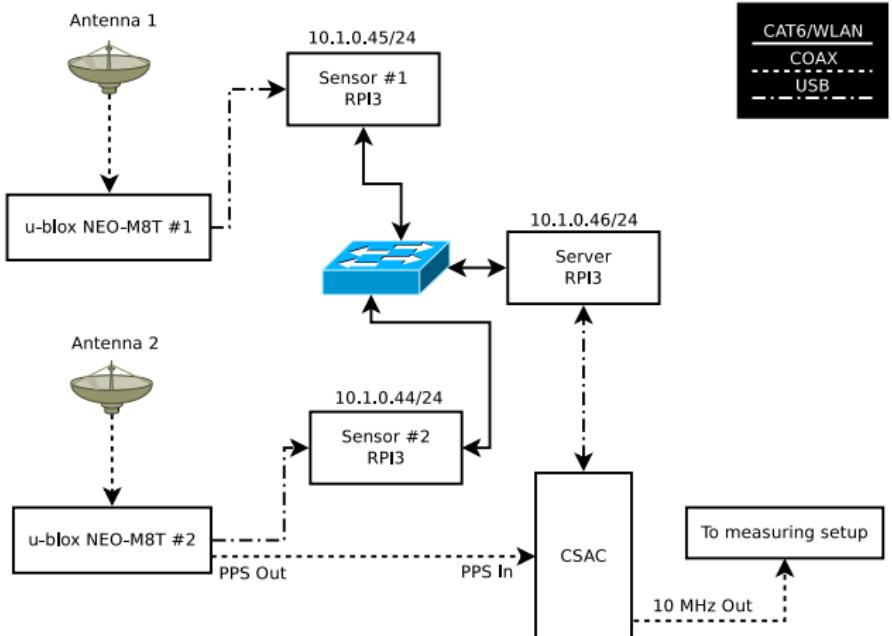
Test av lokasjons- og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av klokkestrek og filtre  
Observasjon

Observasjon:  
Utilskittet

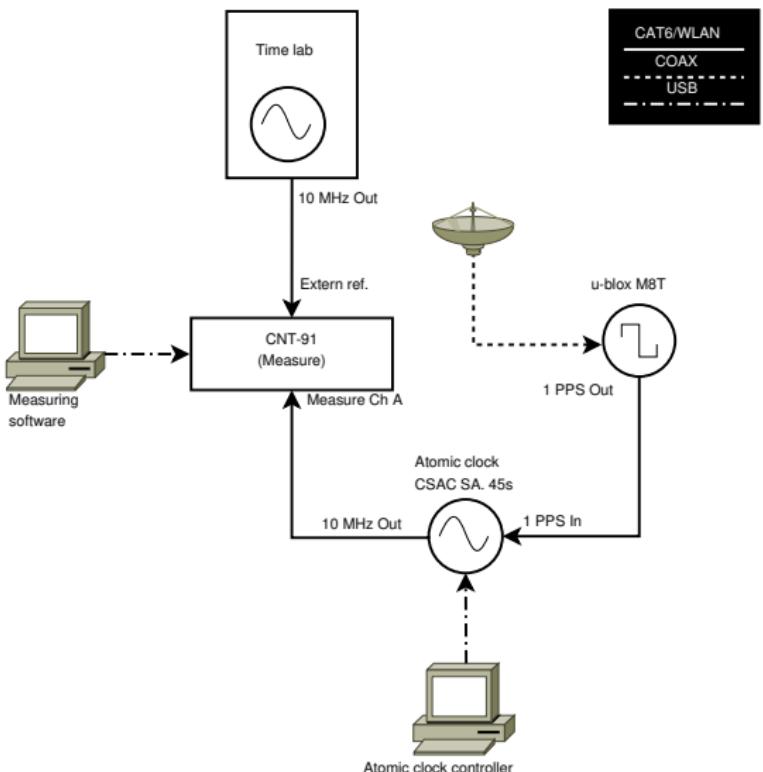
Observasjon:  
Utilskittet

Konklusjon



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:  
Utilstikket

Observasjon:  
Utilstikket

Konklusjon

# Oppsett

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrusselen

Dektekjøn 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:  
Utilstiktet

Observasjon:  
Utilstiktet

Konklusjon

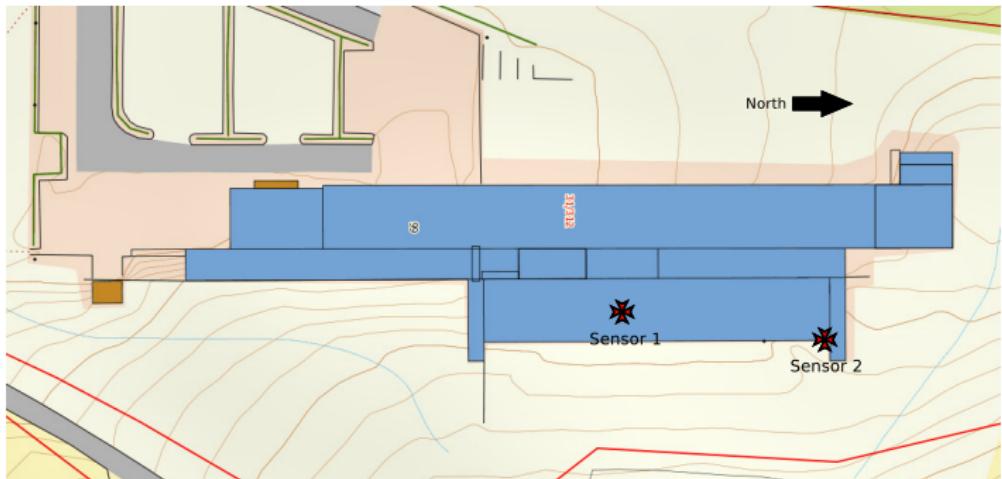


Figur: Oppsett av måleutstyr

# 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

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:  
Utilstikt

Observasjon:  
Utilstikt

Konklusjon

# Utførelse

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

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Uf ordninger og trusler

Referansestrusselen

Dtek sjon og  
mottiltak

Fle 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

Observasjon:  
Util siktet

Observasjon:  
Util siktet

Konklusjon

# Utførelse

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 lokasjon- og hastighetsfilter Beskrivelse

## Test av klokkemodell og filtre

Observasjon

## Observasjon: Utilsiktet

## Observasjon: Utilsiktet

## Konklusjon

# 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

Observasjon:  
Utilsiktet

Konklusjon

# 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

Klokkemodell

Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av  
klokkemodell og  
filtre

Observasjon

Observasjon:  
Utilsiktet

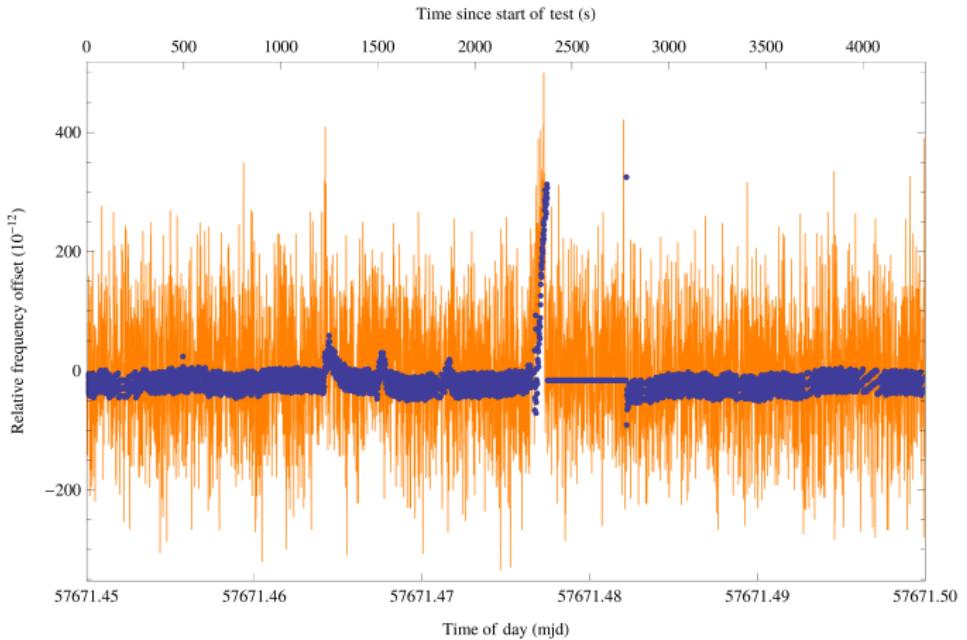
Observasjon:  
Utilsiktet

Konklusjon

# 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  
Klokkestrek  
Filtre

Test av lokasj-  
on og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av  
klokkestrek og  
filtre

Observasjon

Observasjon:  
Utiltsiktet

Observasjon:  
Utiltsiktet

Konklusjon

# Oppsett

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

- ▶ Testet klokkestyringen.
- ▶ Tok bare med en sensor da fokus var på klokkestyring.
- ▶ Justerte grenseverdier

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrusselen

Dekeksjon og  
mottiltak

Flere GPS mottakere

Referansekklokkene

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokkestyring

Filtre

Test av lokasjon-  
og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av  
klokkestyring  
og hastighetsfilter

Observasjon

Observasjon:  
Utilstiktet

Observasjon:  
Utilstiktet

Konklusjon

# Utførelse

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

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

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 lokasjon-  
og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av  
klokkemodell og  
filtre

Observasjon

Observasjon:  
Utilstiktet

Observasjon:  
Utilstiktet

Konklusjon

# 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

Klokkemodell

Filtre

Test av lokasjons- og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av klokkemodell og filtre

Observasjon

Observasjon: Utilsiktet

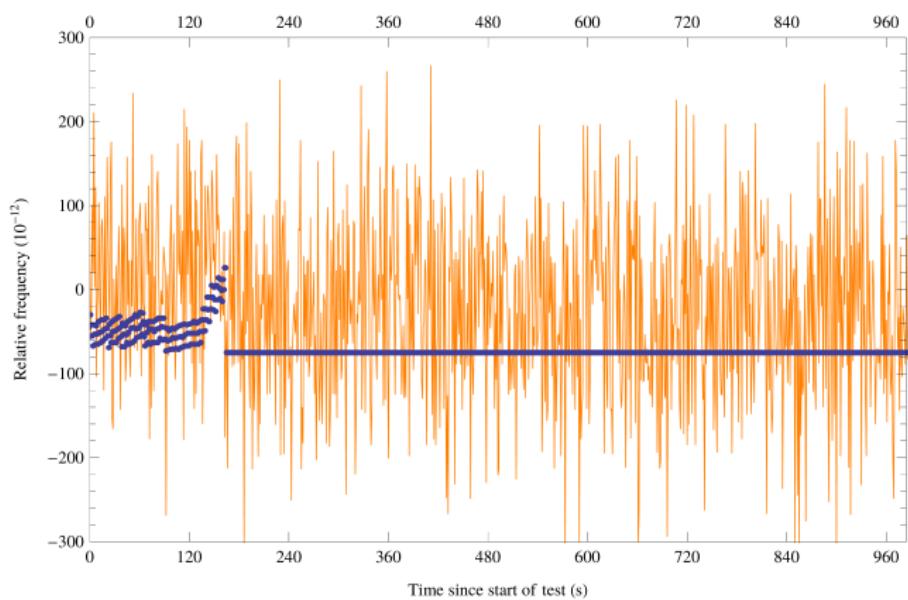
Observasjon: Utilsiktet

Konklusjon

# Observasjon

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen



Figur: Måleserie gjort under klokkestrekken test

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Uf ordninger og trusler

Referansetrusselen

Deteksjon og  
mottiltak

Fleire GPS mottakere  
Referansekklokkene

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokkestrekken modell

Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av  
klokkestrekken modell og  
filtre

Observasjon

Observasjon:  
Utilstikket

Observasjon:  
Utilstikket

Konklusjon

# Observasjon: Utilsiktet

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

## Introduksjon

GPS timing  
Anvendelse  
Utfordringer og trusler  
Referansestrusselen

## Deteksjon og mottiltak

Flere GPS mottakere  
Referanseklokke

## Implementasjon

Ønsket funksjonalitet  
Sensor server  
arkitektur  
Klokkestasjon  
Filtre

## Test av lokasjons- og hastighetsfilter

Beskrivelse

## Test av klokkestasjon og filtre

Observasjon

## Observasjon: Utilsiktet

## Observasjon: Utilsiktet

## Konklusjon

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Uf ordninger og trusler

Referansestrussen

D deteksjon og  
mottiltak

Fleire GPS mottakere  
Referansekklokke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet  
Sensor server  
arkitektur  
Klokke modell  
Filtre

Test av lokasj-  
on og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av  
klokke modell og  
filtre

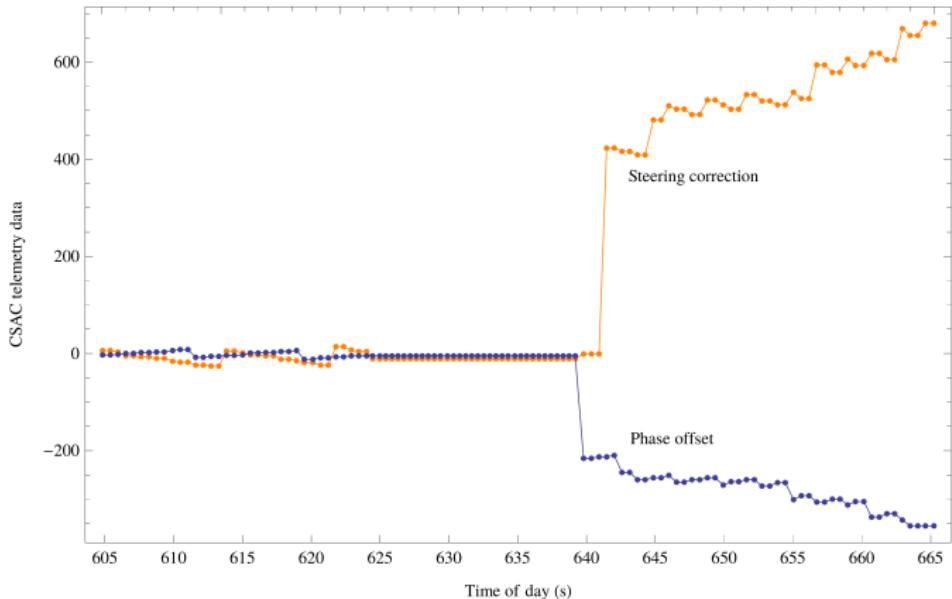
Observasjon

Observasjon:  
Util siktet

Observasjon:  
Util siktet

Konklusjon

# Observasjon: Util siktet



Figur: Måleserie gjort under util siktet forstyrrelse

# Konklusjon

Spoof proof GPS  
timing

A. Schultzen

## Introduksjon

GPS timing  
Anvendelse  
Utfordringer og trusler  
Referansestrusselen

## Deteksjon og mottiltak

Flere GPS mottakere  
Referanseklokke

## Implementasjon

Ønsket funksjonalitet  
Sensor server  
arkitektur  
Klokkestasjon  
Filtre

## Test av lokasjon- og hastighetsfilter

Beskrivelse

## Test av klokkestasjon og filtre

Observasjon

## Observasjon: Utilstiktet

## Observasjon: Utilstiktet

## Konklusjon

# 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

Referansestrussen

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

Observasjon: Utilsiktet

Observasjon: Utilsiktet

Konklusjon

- ▶ 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  
Referansekklokkene

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server  
arkitektur

Klokkestasjon  
Filtre

Test av lokasjons-  
og hastighetsfilter  
Beskrivelse

Test av  
klokkestasjon  
filtre

Observasjon

Observasjon:  
Utilstiktet

Observasjon:  
Utilstiktet

Konklusjon

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:  
Utilstikt

Observasjon:  
Utilstikt

Konklusjon

# 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

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:  
Utilstiktet

Observasjon:  
Utilstiktet

Konklusjon

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