

Spoof proof GPS timing

A detection and mitigation system for GPS time spoofing

A. Schultzen¹

¹Institutt for informatikk
Universitetet i Oslo

9. 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:
Utilsiktet
forstyrrelse

Konklusjon

Videre arbeid

Introduksjon

Spoof proof GPS
timing

A. Schultzen

- ▶ Lage rammeverk
- ▶ Deteksjon
- ▶ Styring

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 lokasjon- og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av klokkemodell og filtre

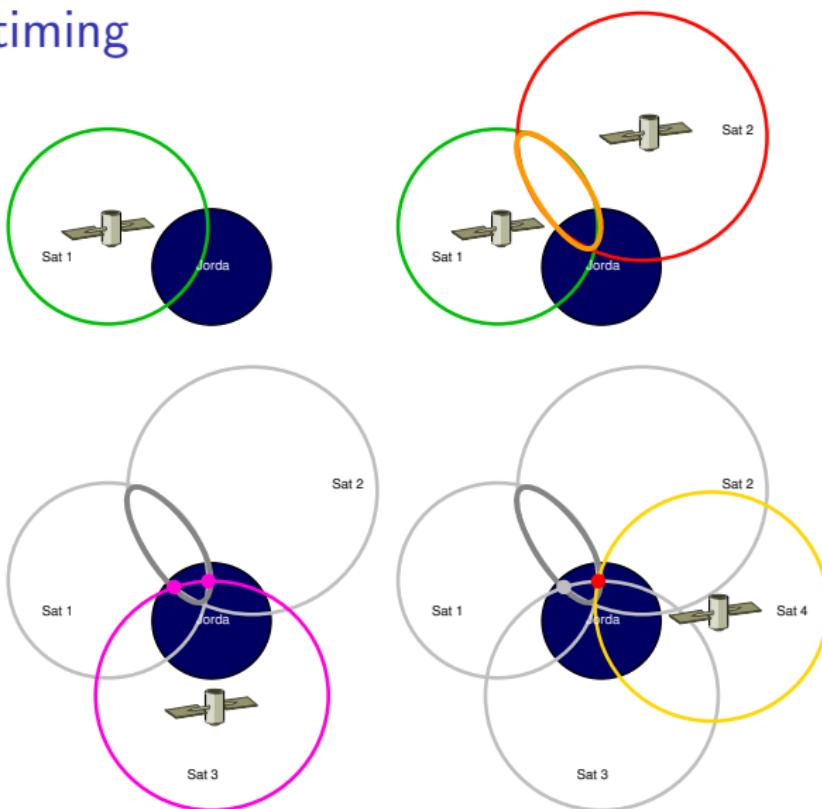
Observasjon

Observasjon: Utilstikt forstyrrelse

Konklusjon

Videre arbeid

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:
Utilskitt
forstyrrelse

Konklusjon

Videre arbeid

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

Deteksjon og
mottiltak

Flere GPS mottakere
Referansekkloke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet
Sensor server
arkitektur
Klokkekemodell
Filtre

Test av lokasjons-
og hastighetsfilter
Beskrivelse

Test av
klokkekemodell og
filtre

Observasjon

Observasjon:
Utilsiktet
forstyrrelse

Konklusjon

Videre arbeid

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:
Utilskitt
forstyrrelse

Konklusjon

Videre arbeid

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

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
forstyrrelse

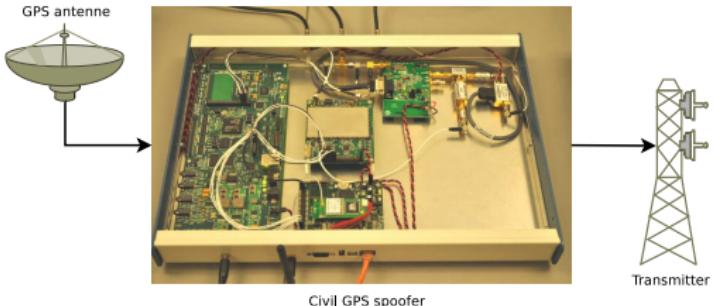
Konklusjon

Videre arbeid

Referansestrusselen

Spoof proof GPS
timing

A. Schultzen



Figur: Civil GPS Spoofer [4]

- ▶ Laget et av et team fra *The University of Texas at Austin* i 2012
- ▶ Software-definert radio
- ▶ 14 «falske» satellitter
- ▶ Sømløs narring

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utvordringer og trusler

Referansestrusselen

Dekeksjon og
mottiltak

Flere GPS mottakere
Referansekklokkene

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server
arkitektur

Klokkekmodell

Filtre

Test av lokasjons-
og hastighetsfilter
Beskrivelse

Test av
klokkekmodell og
filtre

Observasjon

Observasjon:
Utilskittet
forstyrrelse

Konklusjon

Videre arbeid

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

Observasjon:
Utilsiktet
forstyrrelse

Konklusjon

Videre arbeid

- ▶ 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

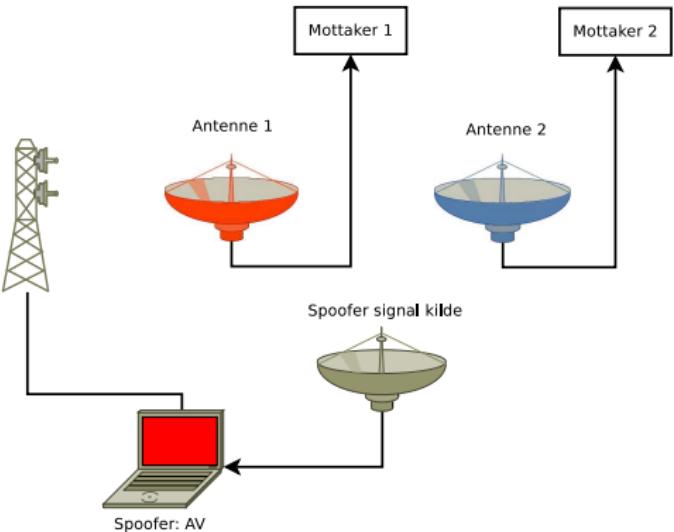
Test av lokasjons-
og hastighetsfilter
Beskrivelse

Test av
klokkestrek og
filtre
Observasjon

Observasjon:
Utilskitt
forstyrrelse

Konklusjon

Videre arbeid



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

Referansekklokket

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server
arkitektur

Klokkemodell

Filtre

Test av lokasjons-
og hastighetsfilter
Beskrivelse

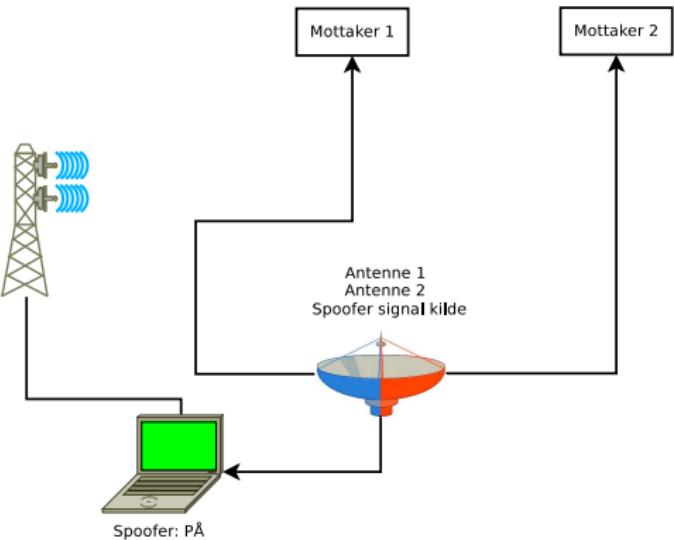
Test av
klokkemodell og
filtre

Observasjon

Observasjon:
Utilskitt
forstyrrelse

Konklusjon

Videre arbeid



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:
Utilskittet
forstyrrelse

Konklusjon

Videre arbeid

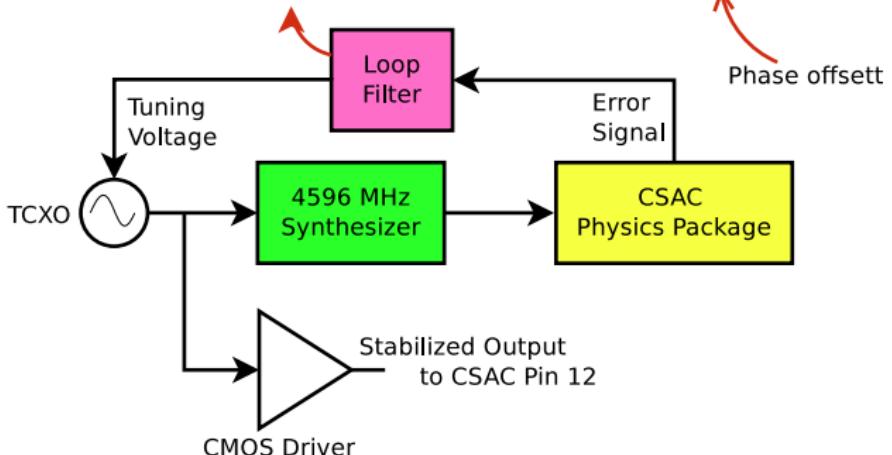
Referanseklokke

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

Flere GPS mottakere
Referanseklokke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet
Sensor server arkitektur
Klokkestørelse
Filtre

Test av lokasjons- og hastighetsfilter
Beskrivelse

Test av klokkestørelse og filtre

Observasjon

Observasjon:
Utilskiktet
forstyrrelse

Konklusjon

Videre arbeid

Ønsket funksjonalitet

- ▶ Detektere angrep
- ▶ 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

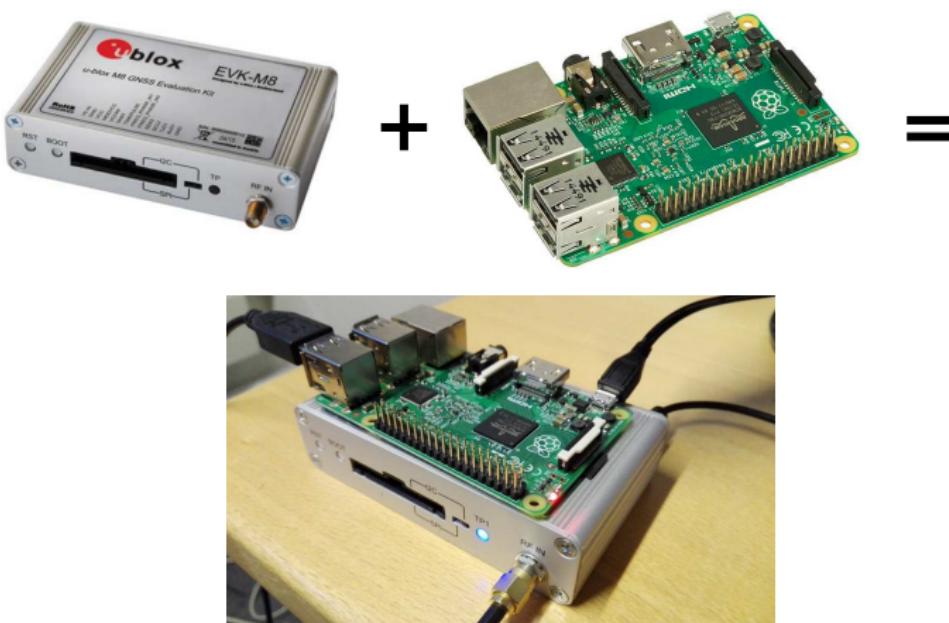
Observasjon

Observasjon:
Utilsiktet
forstyrrelse

Konklusjon

Videre arbeid

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:
Utilskitt
forstyrrelse

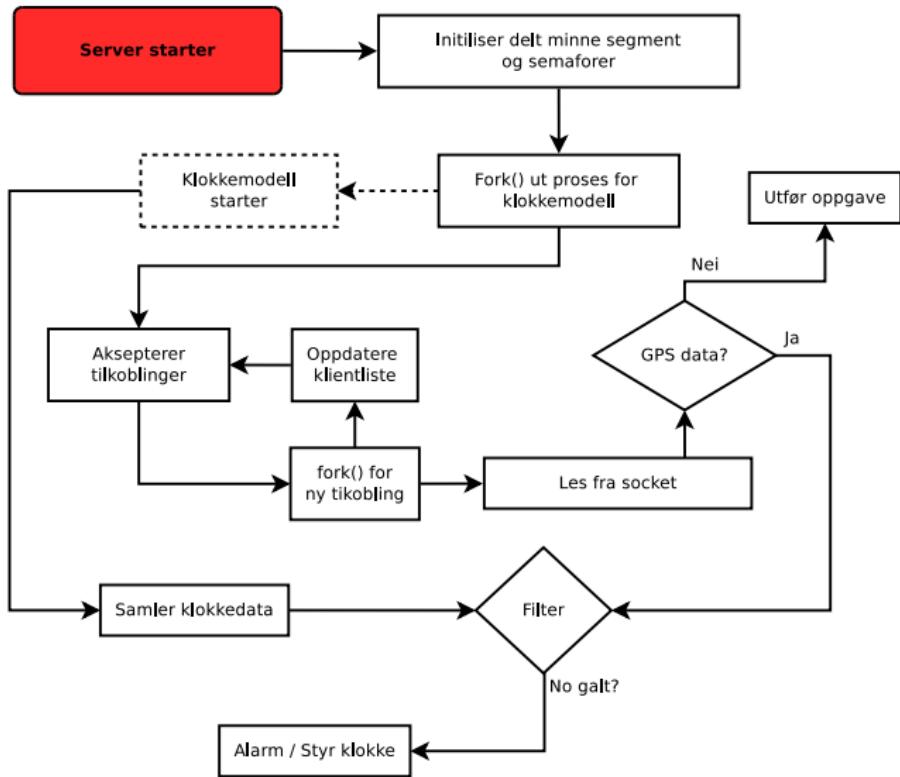
Konklusjon

Videre arbeid

Sensor server arkitektur

Spoof 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

KlokkeModell
Filtre

Test av lokasjons-
og hastighetsfilter
Beskrivelse

Test av
klokkeModell og
filtre

Observasjon

Observasjon:
Utilskikt
forstyrrelse

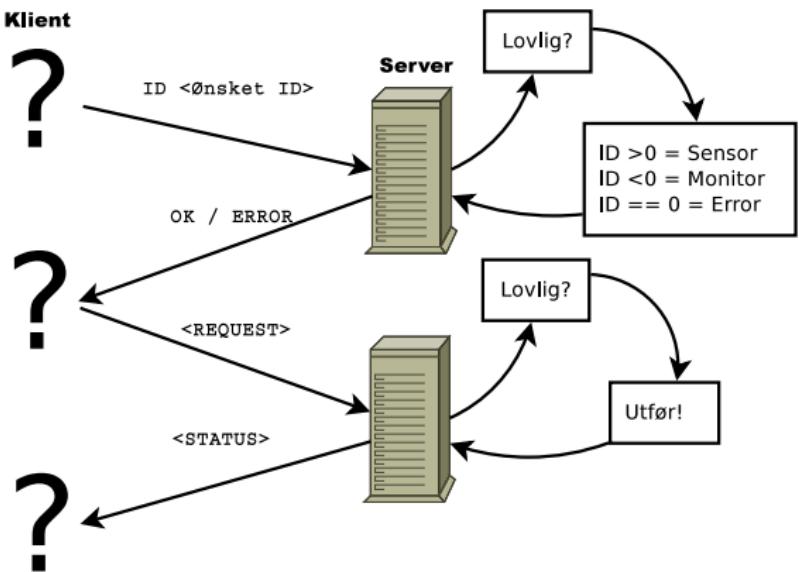
Konklusjon

Videre arbeid

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
forstyrrelse

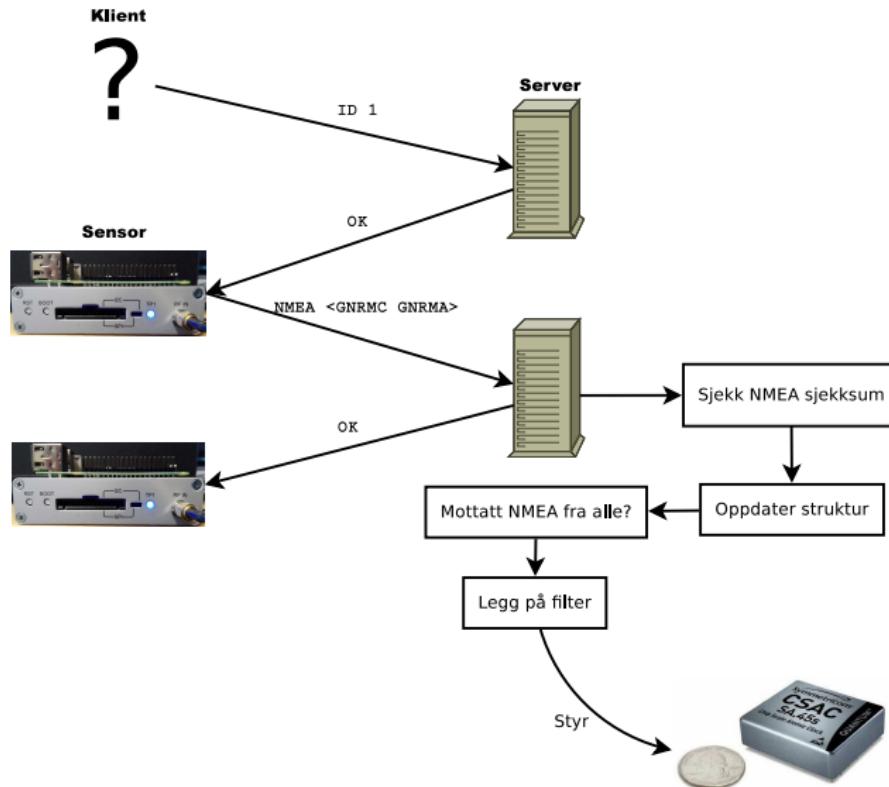
Konklusjon

Videre arbeid

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 forstyrrelse

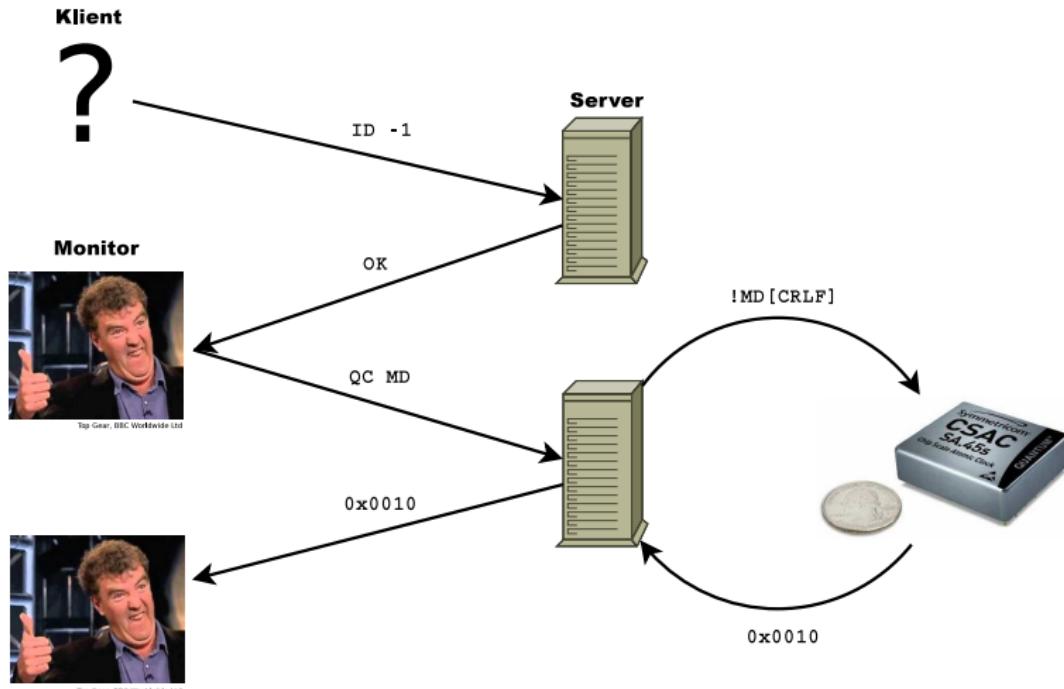
Konklusjon

Videre arbeid

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

Klokkestrek

Filtre

Test av lokasjons-
og hastighetsfilter
Beskrivelse

Test av
klokkestrek og
filtre

Observasjon

Observasjon:
Utilskitt
forstyrrelse

Konklusjon

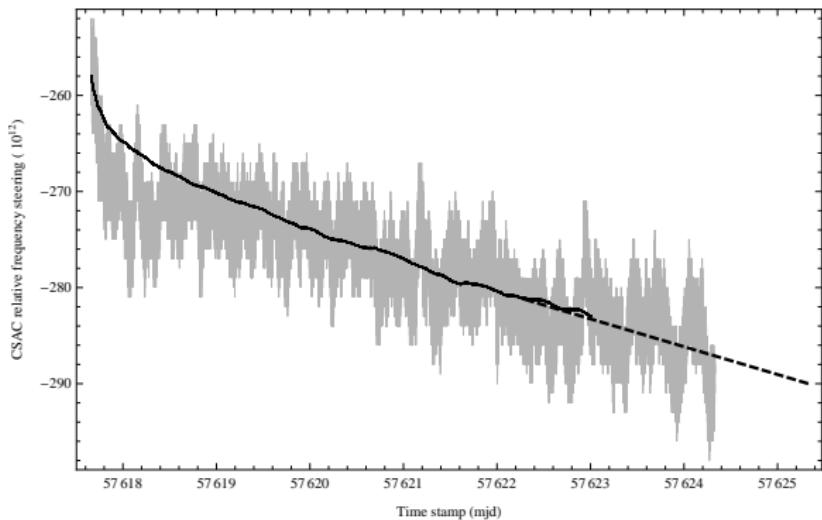
Videre arbeid

Klokkestyring

Spoof proof GPS timing

A. Schultzen

- ▶ Utviklet av Harald Hauglin
- ▶ Bruker klokkedata (telemetri)
- ▶ 10^{-11} relativ frekvensfeil tilsvarer 1 mikrosekund/døgn



Figur: CSAC styringskorreksjon, fra klokke og predikert.

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrusselen

Dektekjøn og
mottiltak

Fleire GPS mottakere
Referansekklokkene

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server
arkitektur

Klokkestyring

Filtre

Test av lokasjons-
og hastighetsfilter
Beskrivelse

Test av
klokkestyring
og filtre

Observasjon

Observasjon:
Utilskitt
forstyrrelse

Konklusjon

Videre arbeid

Filtre

Spoof proof GPS
timing

A. Schultzen

- ▶ Lokasjon og hastighet
- ▶ Fasehopp
- ▶ Frekvenskorreksjon

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:
Utilsiktet
forstyrrelse

Konklusjon

Videre arbeid

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

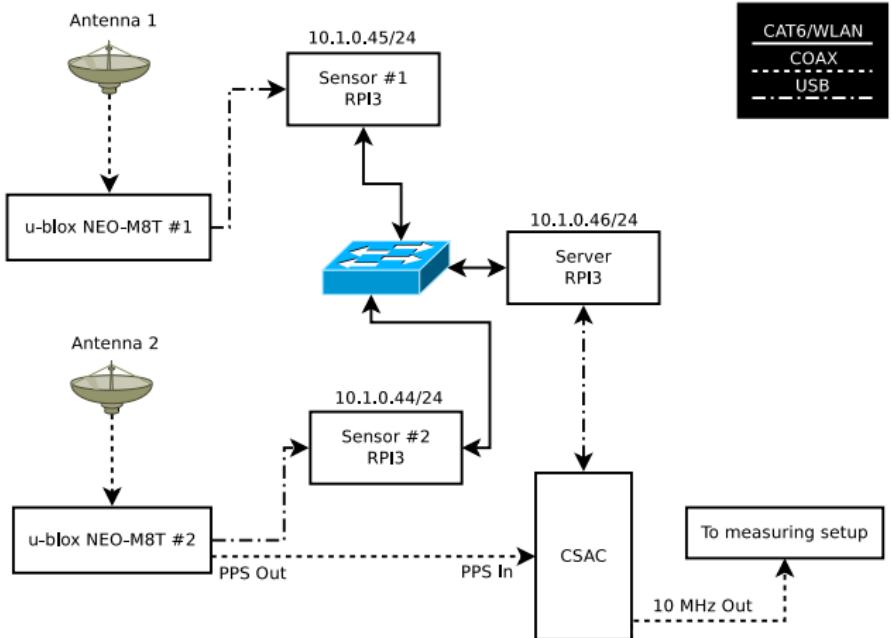
Test av lokasjons- og hastighetsfilter
Beskrivelse

Test av klokkestrekmodell og filtre
Observasjon

Observasjon:
Utilskitt
forstyrrelse

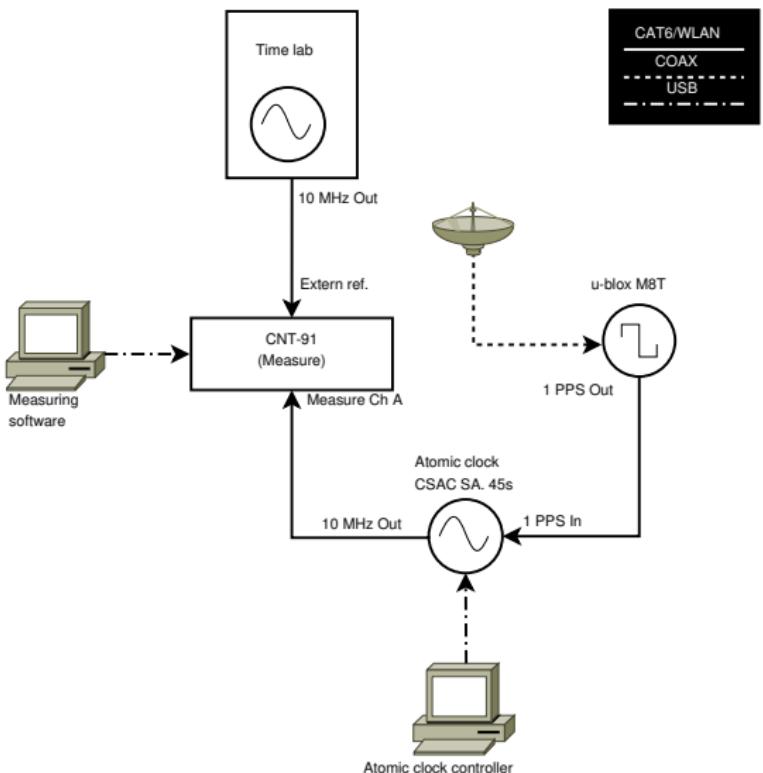
Konklusjon

Videre arbeid



Figur: Oppsett av server og klienter under test

Oppsett



Figur: Oppsett av måleutstyr

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

Klokkemodell

Filtre

Test av lokasjons- og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av klokkemodell og filtre

Observasjon

Observasjon: Utilsiktet forstyrrelse

Konklusjon

Videre arbeid

Oppsett

Spoof proof GPS
timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Uf ordninger og trusler

Referansestrusselen

Dek sejon og
mottiltak

Fle re GPS mottakere
Referanse klokke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server
arkitektur

Klokke modell

Filtre

Test av lokasjons-
og hastighetsfilter
Beskrivelse

Test av
klokke modell og
filtre

Observasjon

Observasjon:
Util siktet
forstyrrelse

Konklusjon

Videre arbeid

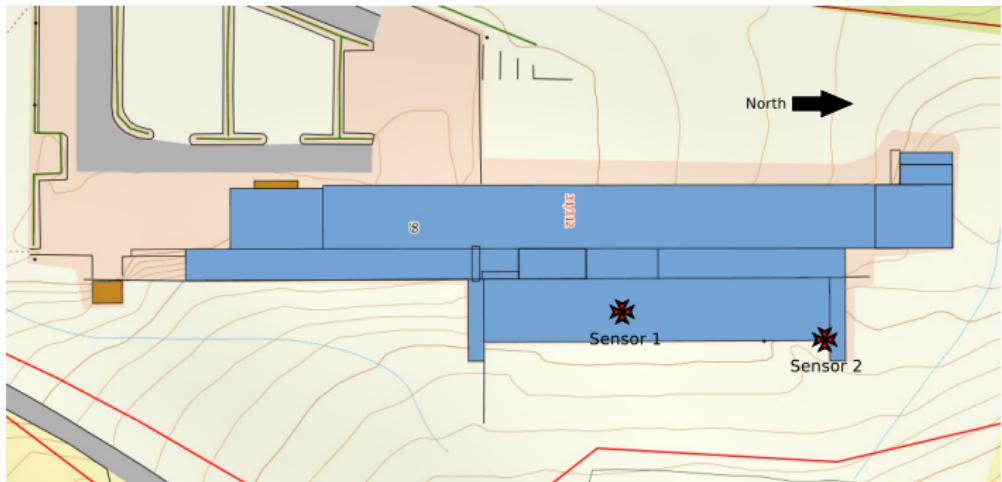


Figur: Oppsett av måleutstyr

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
forstyrrelse

Konklusjon

Videre arbeid

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

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:
Util siktet
forstyrrelse

Konklusjon

Videre arbeid

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
forstyrrelse

Konklusjon

Videre arbeid

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

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:
Utilsiktet
forstyrrelse

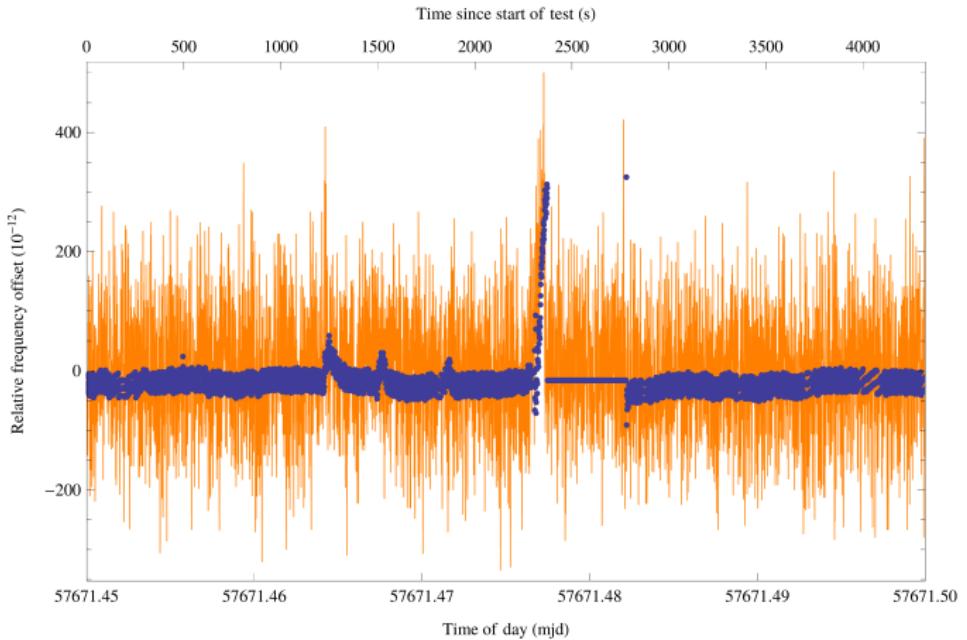
Konklusjon

Videre arbeid

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

Observasjon:
Utilsiktet
forstyrrelse

Konklusjon

Videre arbeid

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:
Utilstikt
forstyrrelse

Konklusjon

Videre arbeid

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

Referansekklokkene

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server
arkitektur

Klokkemodell

Filtre

Test av lokasjon-
og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av
klokkemodell og
filtre

Observasjon

Observasjon:
Utilstikt
forstyrrelse

Konklusjon

Videre arbeid

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:
Utilsiktet
forstyrrelse

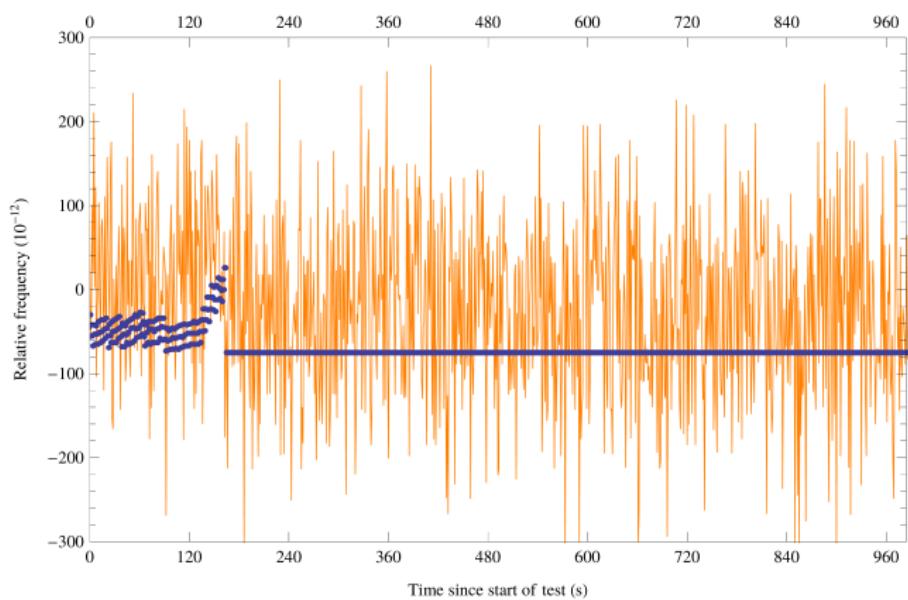
Konklusjon

Videre arbeid

Observasjon

Spoof proof GPS
timing

A. Schultzen



Figur: Måleserie gjort under klokkestrekken test

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Uforskning og trusler

Referansestrussen

Dekeksjon 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:
Utilstikt
forstyrrelse

Konklusjon

Videre arbeid

Observasjon: Utilsiktet

Spoof proof GPS timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Uf ordninger og trusler

Referansestrussen

D deteksjon og mottiltak

Fle GPS mottakere
Referansekklokk

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet
Sensor server arkitektur
Klokke modell
Filtre

Test av lokasjons- og hastighetsfilter
Beskrivelse

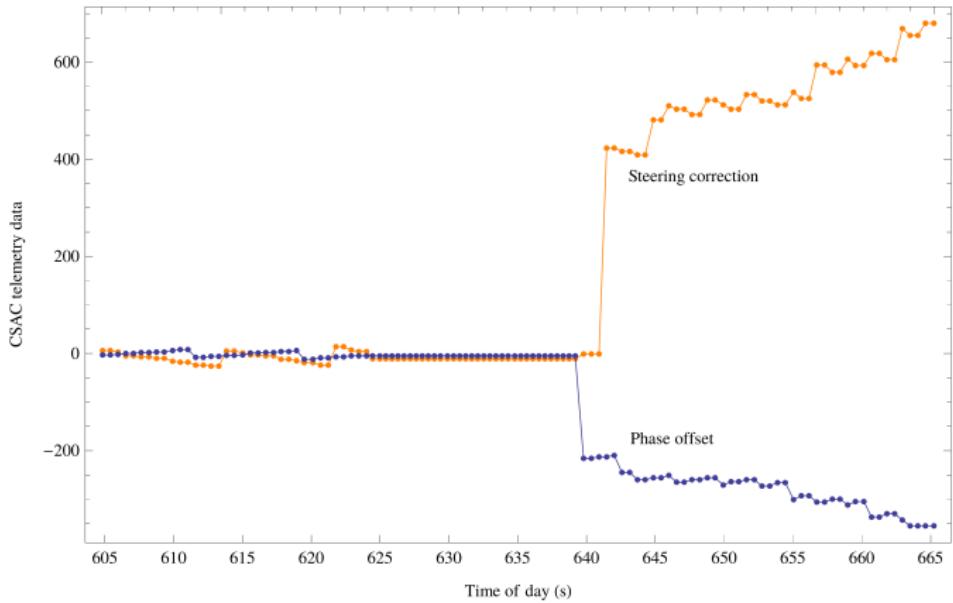
Test av klokke modell og filtre

Observasjon

Observasjon:
Utilsiktet
forstyrrelse

Konklusjon

Videre arbeid



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

Uf ordninger og trusler

Referansestrussen

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:
Utilisert
forstyrrelse

Konklusjon

Videre arbeid

Videre arbeid

- ▶ Kommunikasjon med atomklokke
 - ▶ Fastvare problem?
- ▶ Integrasjon av filtre

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 lokasjons-
og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av
klokkemodell og
filtre

Observasjon

Observasjon:
Utilsiktet
forstyrrelse

Konklusjon

Videre arbeid

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:
Utilskitt
forstyrrelse

Konklusjon

Videre arbeid

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.
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.

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:
Utilsiktet
forstyrrelse

Konklusjon

Videre arbeid

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