

Spoof proof GPS timing

A detection and mitigation system for GPS time spoofing

A. Schultzen¹

¹Institutt 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
Klokkekemodell
Filtre

Test av lokasjons-
og hastighetsfilter
Beskrivelse

Test av
klokkekemodell 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

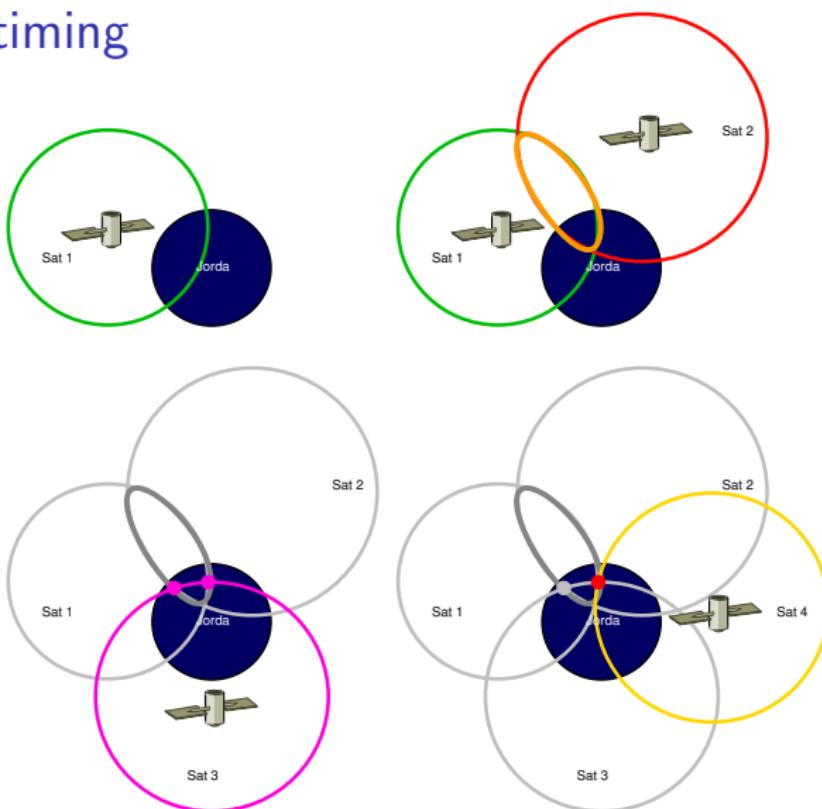
Observasjon: Utilstiktet

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:
Utilsiktet

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

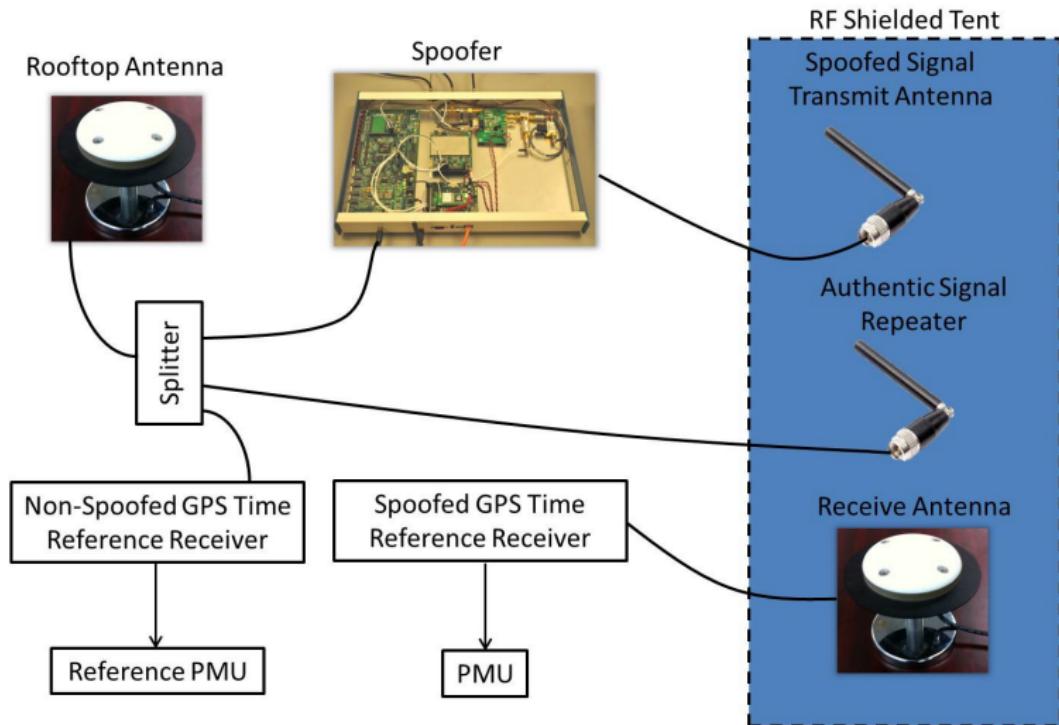
Test av
klokkestrek og
filtre
Observasjon

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

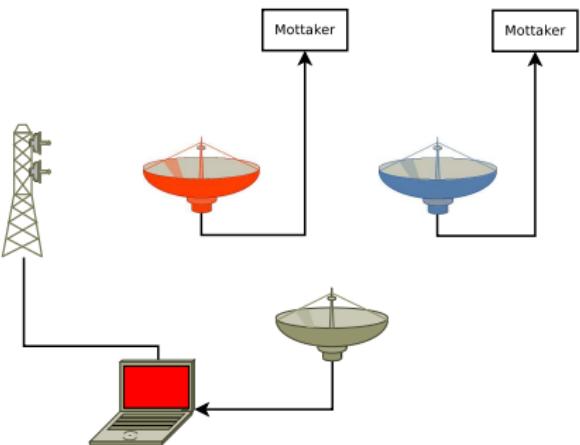
Bibliografi

- ▶ 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

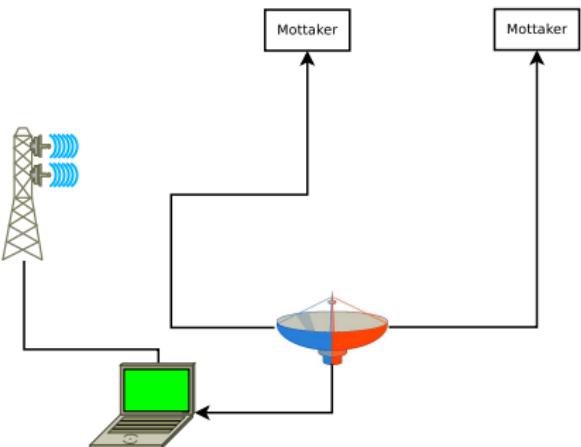
Observasjon

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
Klokkestasjon
Filtre

Test av lokasjons-
og hastighetsfilter
Beskrivelse

Test av
klokkestasjon
og
filtre

Observasjon

Observasjon:
Utilstiktet

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

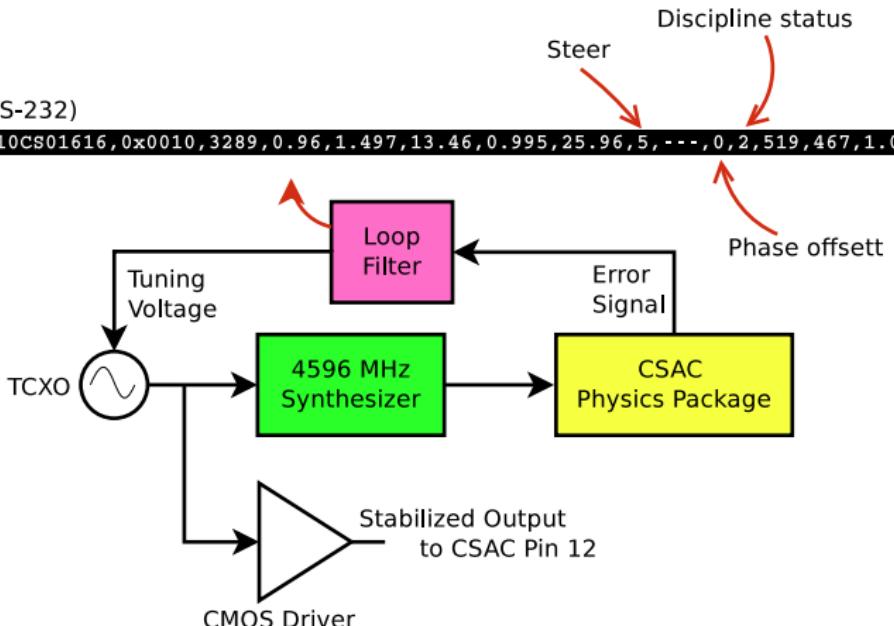
Konklusjon

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

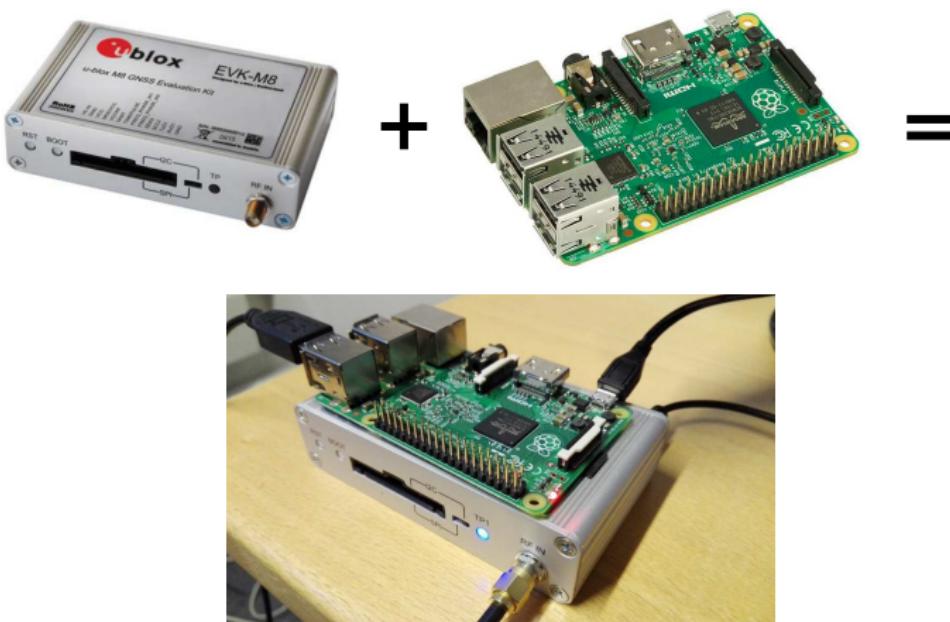
Observasjon:
Utilsiktet

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Sensor server arkitektur



(Sensor)

Spoof proof GPS
timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Uf ordninger 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

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:
Utilskikt

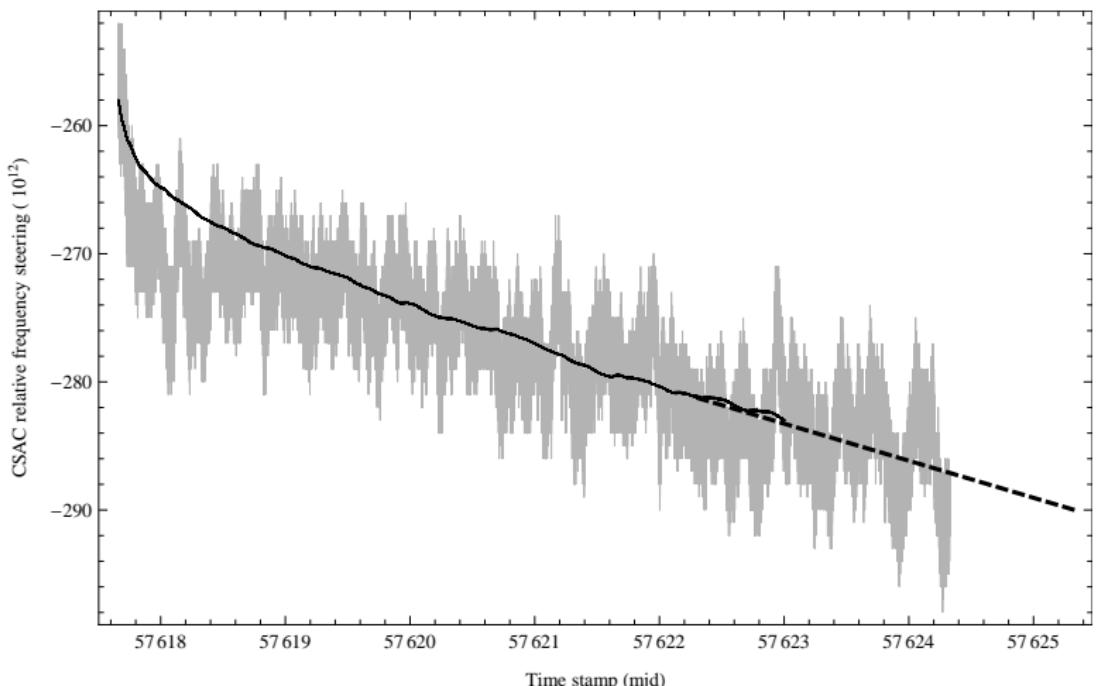
Konklusjon

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 lokasjons- og hastighetsfilter
Beskrivelse

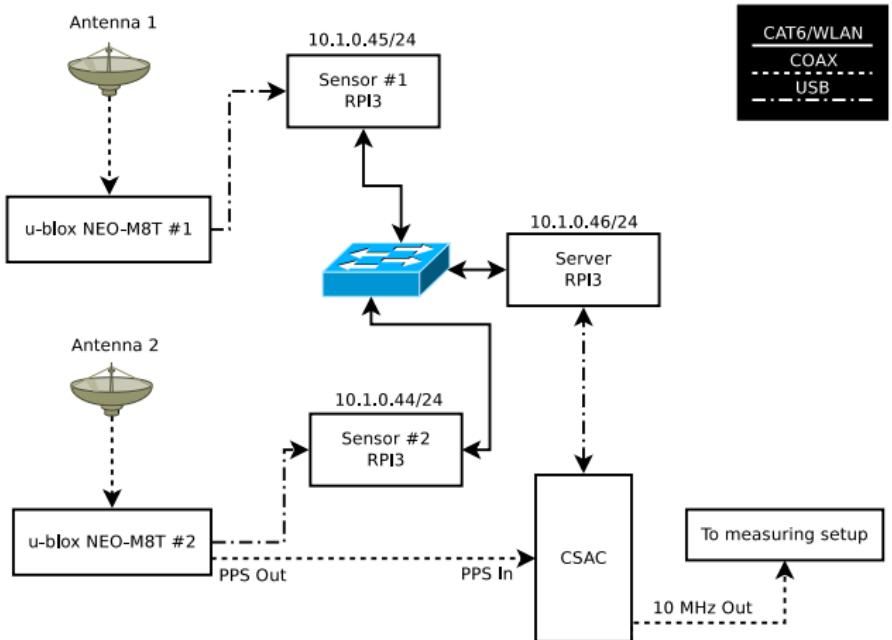
Test av klokke modell og filtre
Observasjon

Observasjon:
Utilskittet

Konklusjon

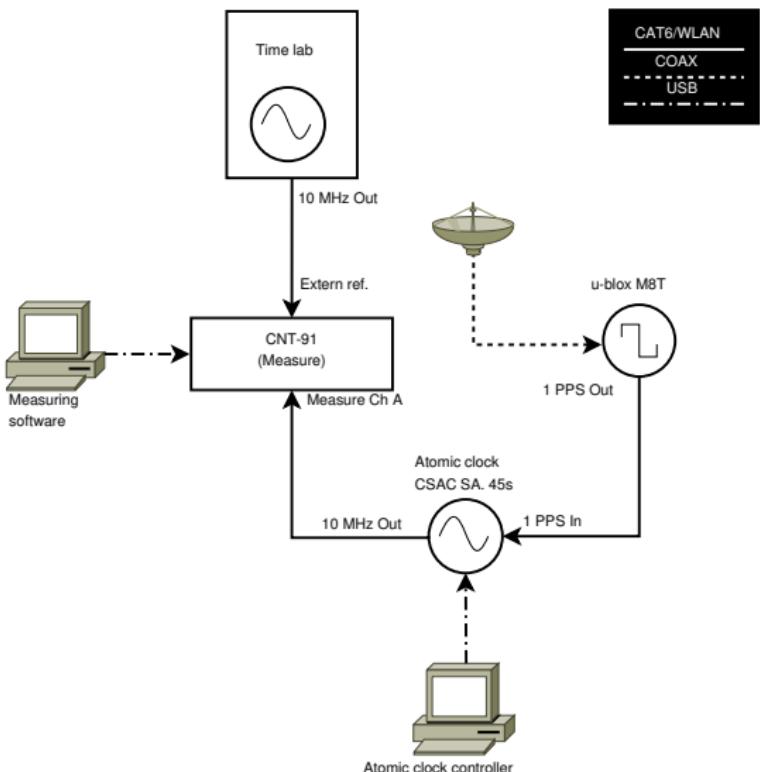
Etter innlevering

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

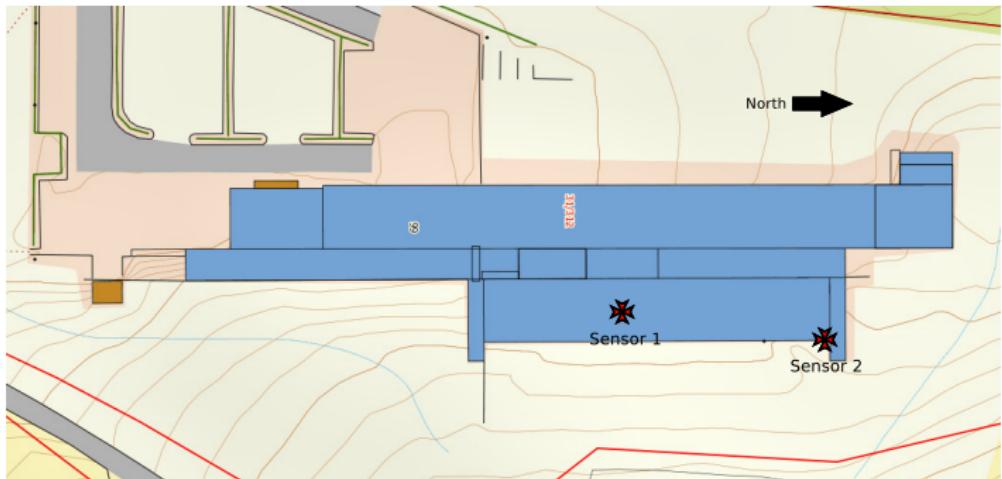
Etter innlevering

Bibliografi

Oppsett: 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

Klokkemodell

Filtre

Test av lokasjons-
og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av
klokkemodell og
filtre

Observasjon

Observasjon:
Utilsiktet

Konklusjon

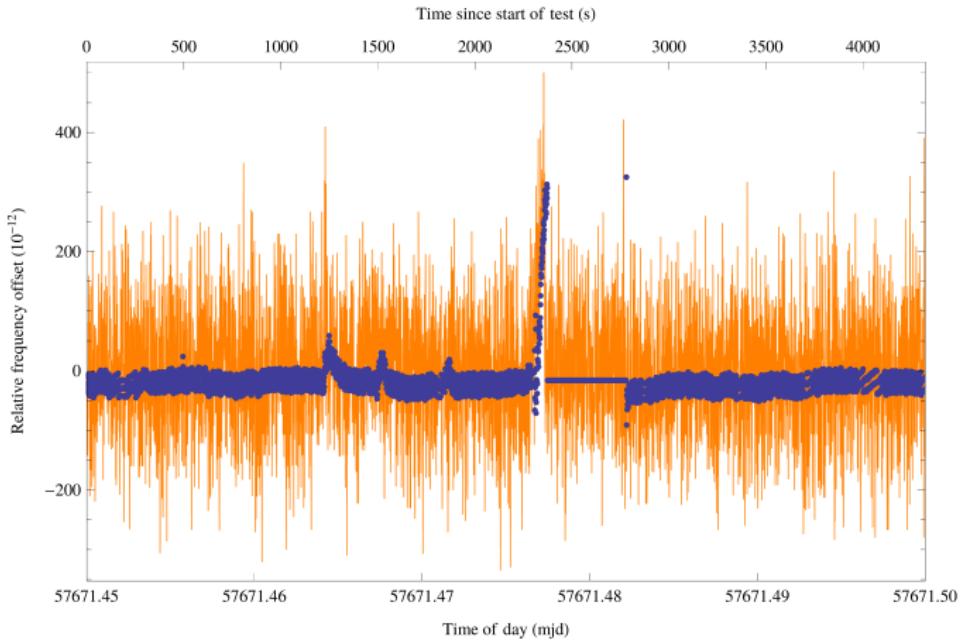
Etter innlevering

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

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

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

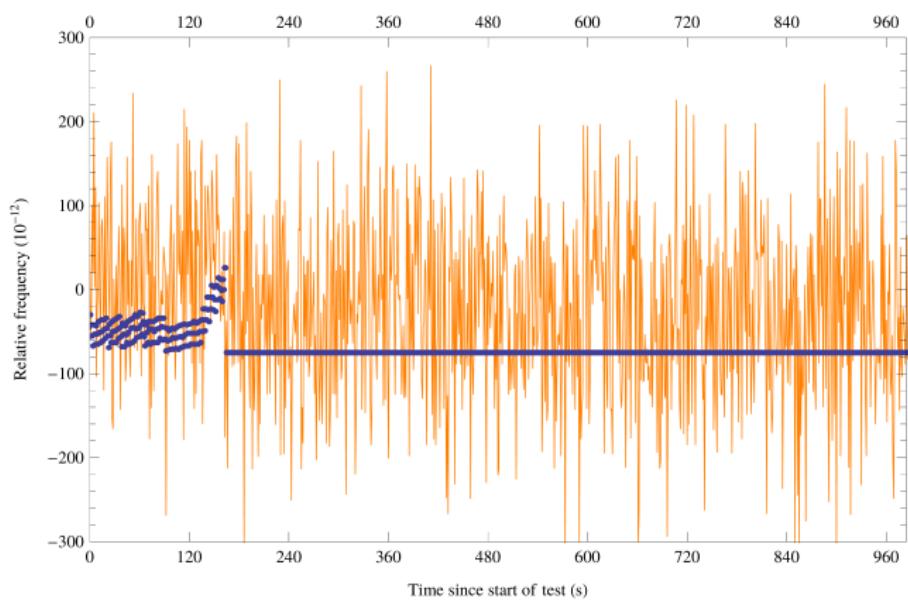
Etter innlevering

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

Fle re GPS mottakere
Referansekklokk e

Implementasj on

Ønsket funksjonalitet
Sensor server arkitektur
Klokke modell
Filtre

Test av lokasj on- og hastighetsfilter
Beskrivelse

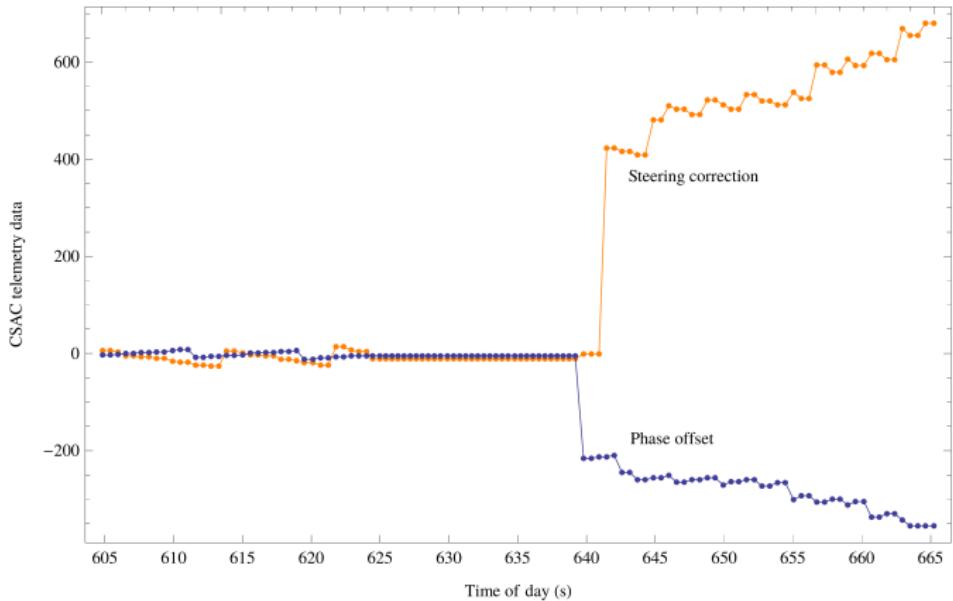
Test av klokke modell og filtre

Observasjon

Observasjon:
Utilsiktet

Konklusjon

Etter innlevering



Figur: Måleserie gjort under klokke modell test

Bibliografi

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

Referansetrusselen

Dtek sjon og mottiltak

Fle re GPS mottakere

Referanse klokke

Implementasj

Ønsket funksjonalitet

Sensor server arkitektur

Klokke modell

Filtre

Test av lokasj

og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av klokke modell og filtre

Observasjon

Observasjon:

Util siktet

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

Utfordringer og trusler

Referansestrusselen

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

Observasjon:
Utilstiktet

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.

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:
Utilstiktet

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).