

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrusselen

Deteksjon og
mottiltak

Flere GPS mottakere
Referansekklokke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet
Sensor server
arkitektur
Klokkekemodell
Filtre

Test av lokasjons-
og hastighetsfilter
Beskrivelse

Test av
klokkekemodell og
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

Spoof proof GPS timing

A detection and mitigation system for GPS time spoofing

A. Schultzen¹

¹Institutt for informatikk
Universitetet i Oslo

8. desember 2016

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

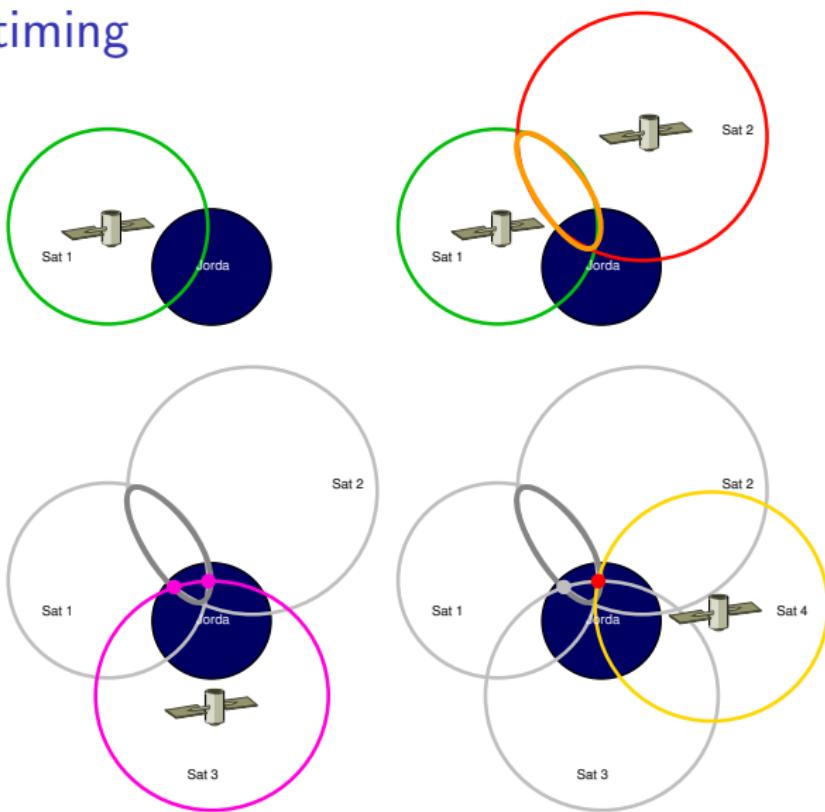
Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

GPS timing



Figur: Trilaterasjon

Spoof proof GPS timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrussen

Dektekjøn og
mottiltak

Fleire GPS mottakere

Referansekklokk

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server
arkitektur

Klokkekemodell

Filtre

Test av lokasjons-
og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av
klokkekemodell og
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

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

Referansestrusselen

Dektekjøn og
mottiltak

Flere GPS mottakere
Referansekklokket

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server
arkitektur

Klokkekmodell
Filtre

Test av lokasjons-
og hastighetsfilter
Beskrivelse

Test av
klokkekmodell og
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

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

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

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

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



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

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

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

The Civil GPS Spoofer"

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 lokasj-
on og hastighetsfilter
Beskrivelse

Test av
klokkestrek og
filtre

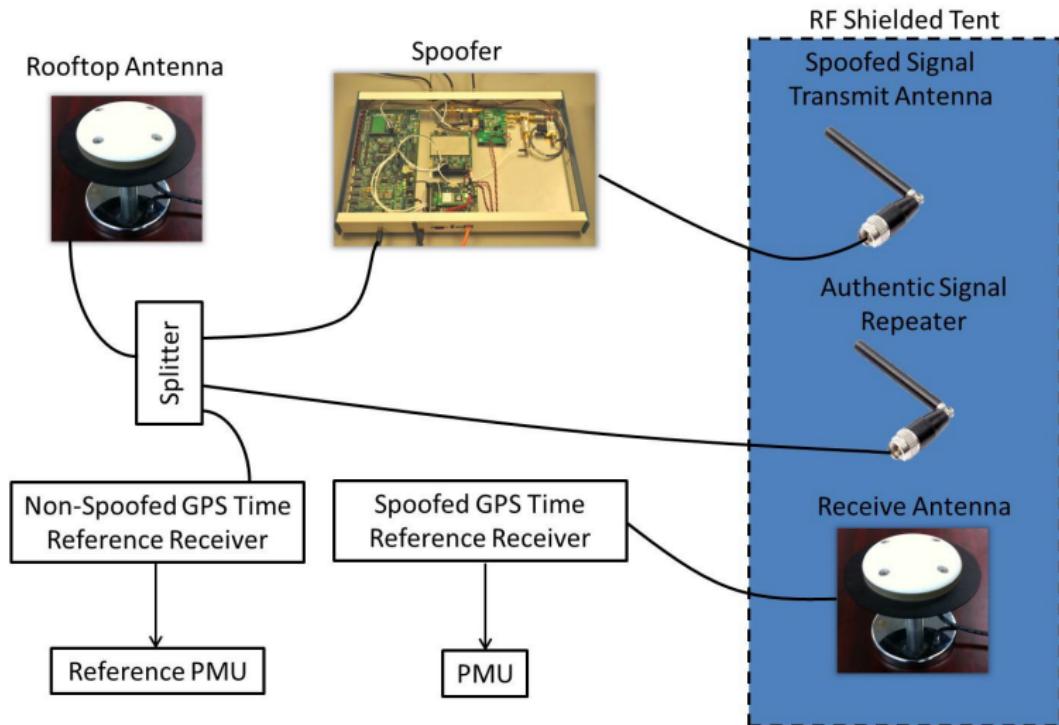
Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser



Figur: Civil GPS Spoofer [4]

Deteksjon og mottiltak

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
Klokkestrek
Filtre

Test av lokasjons-
og hastighetsfilter
Beskrivelse

Test av
klokkestrek og
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

- ▶ 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

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

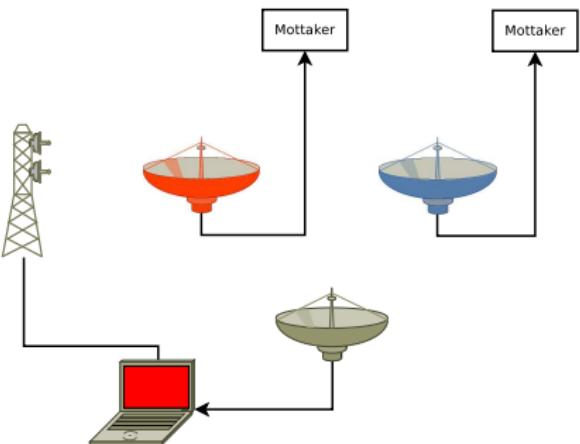
Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser



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
Referansekkloke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet
Sensor server
arkitektur
Klokkestrek
Filtre

Test av lokasjons-
og hastighetsfilter
Beskrivelse

Test av
klokkestrek
og
filtre

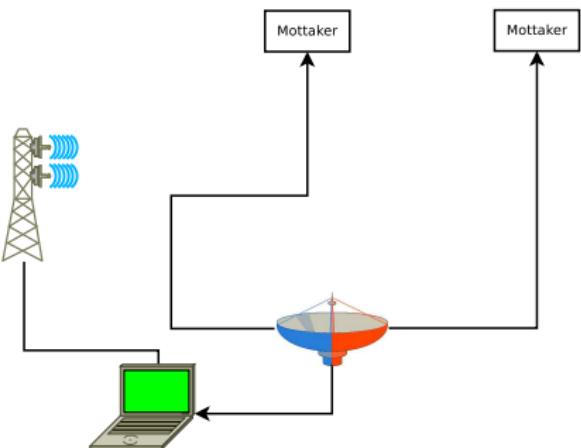
Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser



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

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

- ▶ 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

Dekeksjon 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

Konklusjon

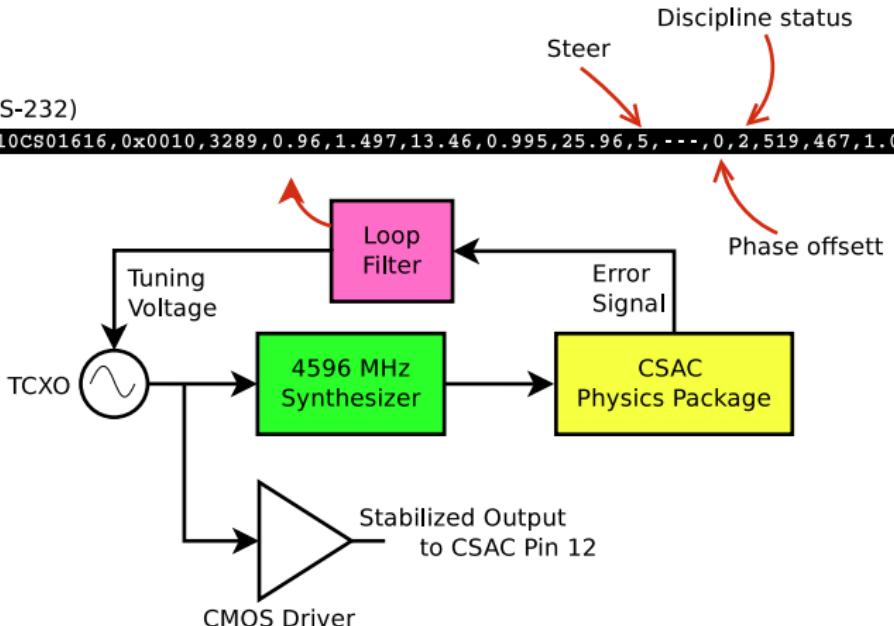
Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

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

Spoof proof GPS
timing

A. Schultzen

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

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordninger og trusler

Referansestrusselen

Deteksjon og
mottiltak

Flere GPS mottakere

Referansekklokke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server
arkitektur

Klokkemodell

Filtre

Test av lokasjons-
og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av
klokkemodell og
filtre

Observasjon

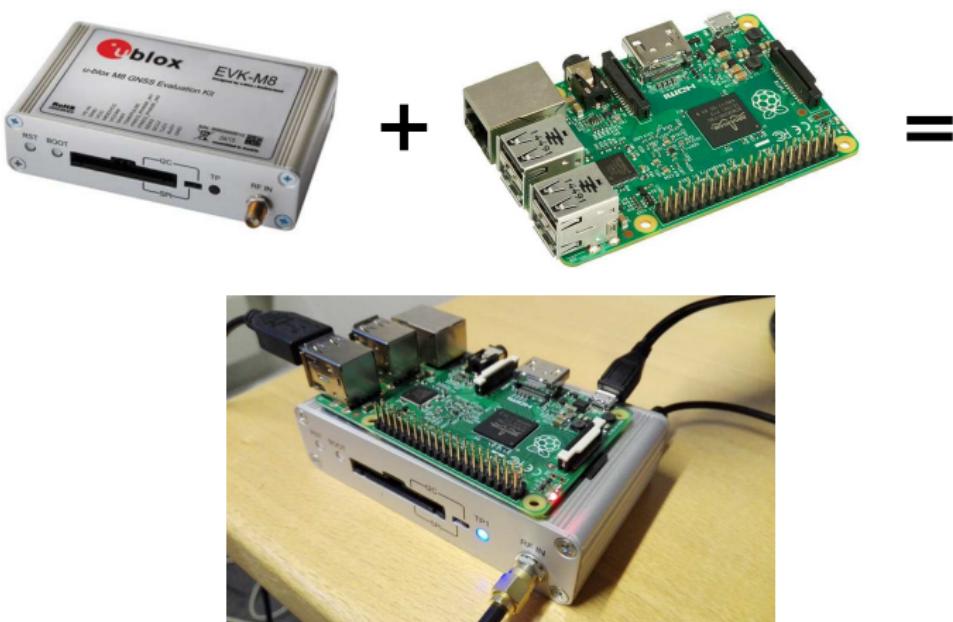
Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

Sensor server arkitektur



(Sensor)

Spoof proof GPS
timing

A. Schultzen

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

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

Sensor server arkitektur

Spoof proof GPS
timing

A. Schultzen

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

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Uf ordninger og trusler

Referansetrusselen

Deteksjon og
mottiltak

Flere GPS mottakere
Referansekklokk

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server
arkitektur

Klokke modell
Filtre

Test av lokasjon-
og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av
klokke modell og
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

Klokkestyring

Spoof proof GPS timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrusselen

Dekselasjon og mottiltak

Flere GPS mottakere
Referansekkloke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet
Sensor server arkitektur
Klokkestyring
Filtre

Test av lokasjons- og hastighetsfilter
Beskrivelse

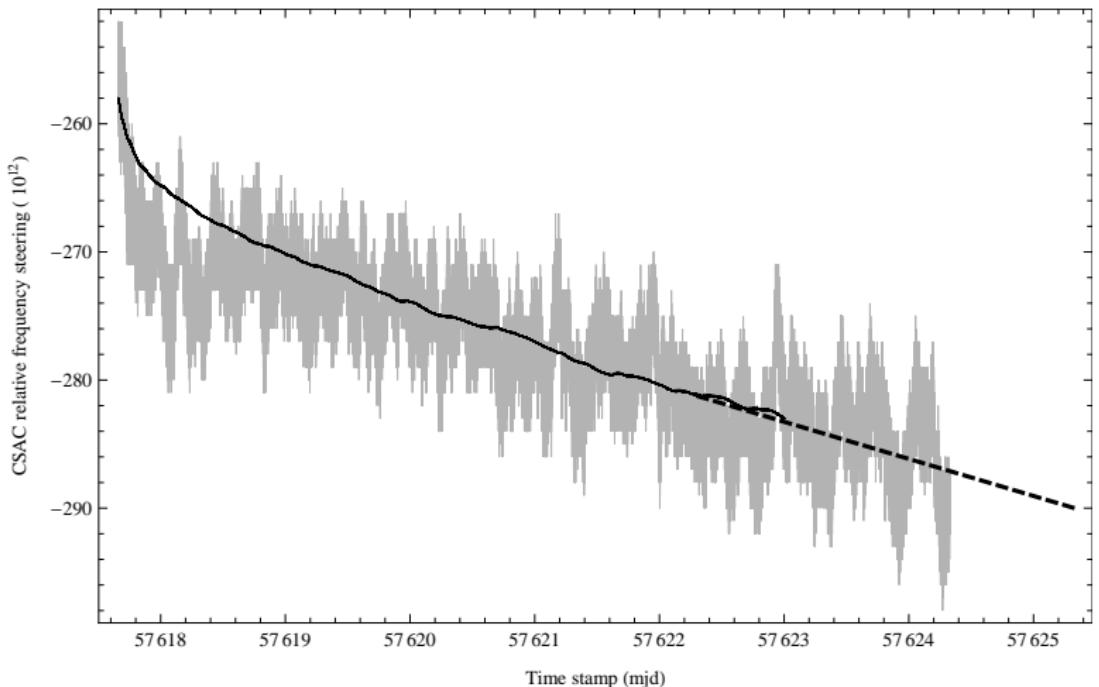
Test av klokkestyring og filtre
Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser



Figur: CSAC styringskorrektsjon, fra klokke og predikert.

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utdringere og trusler

Referansestrusselen

Deksjon og
mottiltakFlere GPS mottakere
Referansekkloke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server
arkitektur

Klokkemodell

Filtre

Test av lokasj-
on- og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av
klokkemodell og
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

Filtre

Filtrene brukes til å detektere avvik. Enten:

- ▶ GPS-basert
- ▶ Klokkemodell-basert

For øyeblikket kun implementert tre filtre:

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

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

Oppsett

Spoof proof GPS timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Uf ordninger og trusler

Referansetrusselen

Dekksjon og
mottiltak

Fle GPS mottakere
Referansekkloke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server
arkitektur

Klokke modell
Filtre

Test av lokasj-
on og hastighetsfilter
Beskrivelse

Test av
klokke modell og
filtre

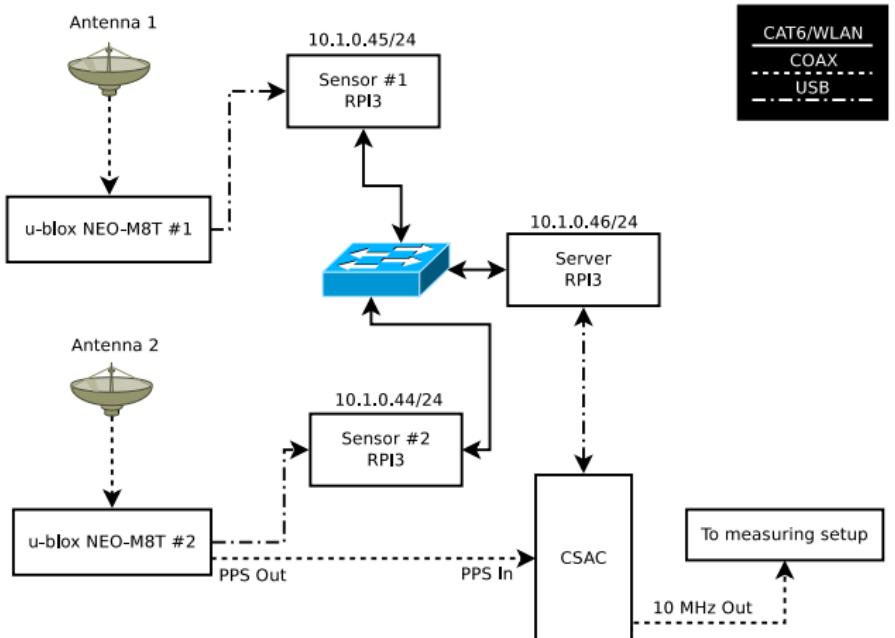
Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser



Figur: Oppsett av server og klienter under test

Oppsett

Spoof proof GPS
timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrussen

Dekeksjon og
mottiltak

Flere GPS mottakere
Referansekkloke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet
Sensor server
arkitektur
Klokkemodell
Filtre

Test av lokasjons-
og hastighetsfilter
Beskrivelse

Test av
klokkemodell og
filtre

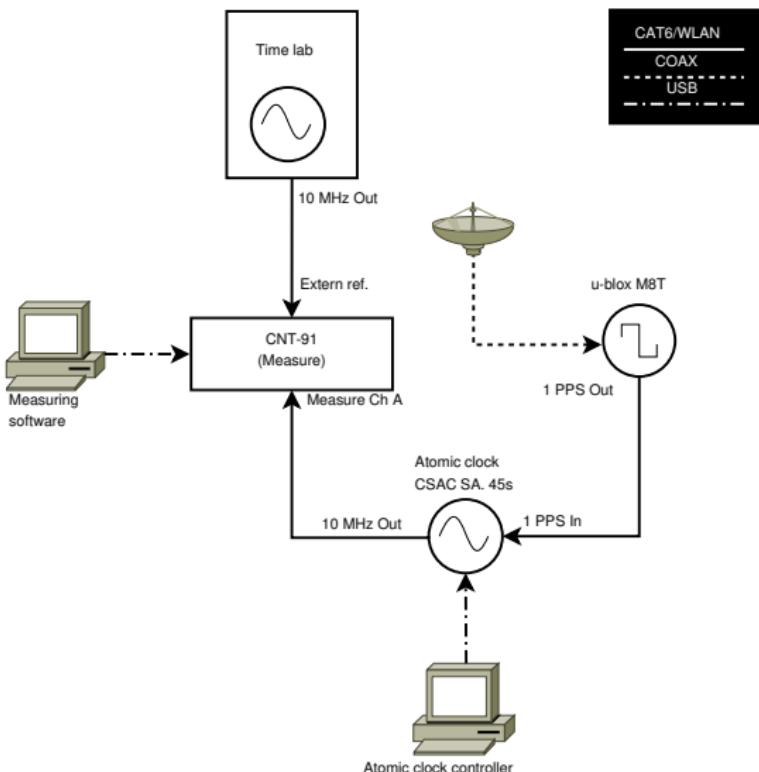
Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

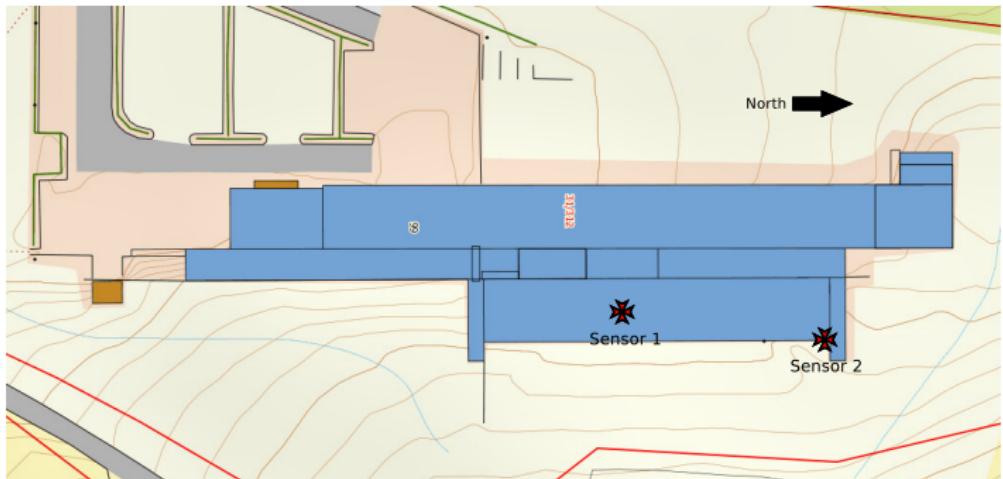


Figur: Oppsett av måleutstyr

Oppsett: plassering av mottakere

Spoof proof GPS
timing

A. Schultzen



Figur: Plasseringen av GPS mottakere

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Uf ordninger og trusler

Referansestrusselen

Dekk sjon 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

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

Utførelse

Spoof proof GPS
timing

A. Schultzen

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

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrusselen

Dekeksjon og
mottiltak

Flere GPS mottakere
Referansekklokk

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet
Sensor server
arkitektur
Klokkekemodell
Filtre

Test av lokasjons-
og hastighetsfilter
Beskrivelse

Test av
klokkekemodell og
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

Utførelse

Spoof proof GPS
timing

A. Schultzen



Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrusselen

Deteksjon og
mottiltak

Flere GPS mottakere

Referansekklokke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server
arkitektur

Klokkemodell

Filtre

Test av lokasjons-
og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av
klokkemodell og
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

Observasjon

Spoof proof GPS
timing

A. Schultzen

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

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrusselen

Deteksjon og
mottiltak

Flere GPS mottakere
Referansekklokke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet
Sensor server
arkitektur
Klokkestasjon
Filtre

Test av lokasjons-
og hastighetsfilter
Beskrivelse

Test av
klokkestasjon og
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

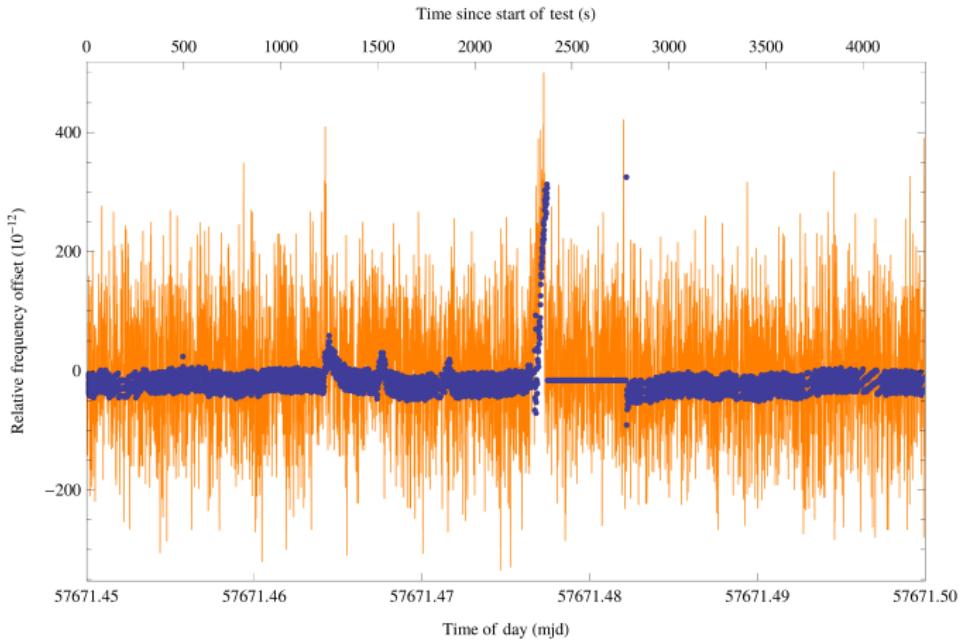
Bibliografi

Referanser

Observasjon: Målesystem

Spoof proof GPS timing

A. Schultzen



Figur: Måleserie gjort under test av lokasjon og hastighetsfilter

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrusselen

Deteksjon og mottiltak

Fleire GPS mottakere
Referansekklokkene

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet
Sensor server arkitektur
Klokkemodell
Filtre

Test av lokasjon- og hastighetsfilter
Beskrivelse

Test av klokkemodell og filtre
Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

Oppsett

Spoof proof GPS
timing

A. Schultzen

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

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

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

- ▶ 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

Dekeksjon og
mottiltak

Flere GPS mottakere

Referansekklokke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server
arkitektur

Klokkemodell

Filtre

Test av lokasjons-
og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av
klokkemodell og
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

Observasjon

Spoof proof GPS
timing

A. Schultzen

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

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrusselen

Deteksjon og
mottiltak

Flere GPS mottakere
Referansekklokke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet
Sensor server
arkitektur
Klokkestasjon
Filtre

Test av lokasjons-
og hastighetsfilter
Beskrivelse

Test av
klokkestasjon og
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

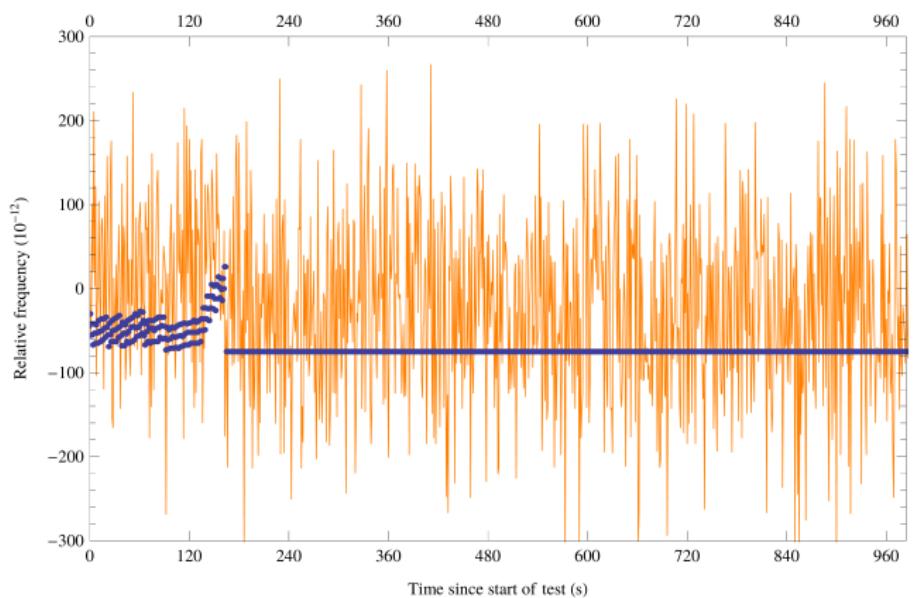
Bibliografi

Referanser

Observasjon

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

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

Konklusjon

Spoof proof GPS
timing

A. Schultzen

Vi har demonstrert:

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

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrusselen

Deteksjon og
mottiltak

Flere GPS mottakere

Referansekklokkene

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server
arkitektur

Klokkestasjon

Filtre

Test av lokasjons-
og hastighetsfilter

Beskrivelse

Test av
klokkestasjon
og
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

Ikke løste problemer

Spoof proof GPS
timing

A. Schultzen

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

Introduksjon

GPS timing

Anvendelse

Utfordringer og trusler

Referansestrusselen

Deteksjon og
mottiltak

Flere GPS mottakere
Referansekklokk

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet

Sensor server
arkitektur

Klokkestasjon
Filtre

Test av lokasjons-
og hastighetsfilter
Beskrivelse

Test av
klokkestasjon
og
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

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

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser

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

Referansestrusselen

Deteksjon og
mottiltak

Fleire GPS mottakere
Referansekklokke

Implementasjon

Ønsket funksjonalitet
Sensor server
arkitektur
Klokkemodell
Filtre

Test av lokasjons-
og hastighetsfilter
Beskrivelse

Test av
klokkemodell og
filtre

Observasjon

Konklusjon

Etter innlevering

Bibliografi

Referanser



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