

Posudek diplomové práce

Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy

Autor práce Bc. Jan Hrach

Název práce Passive Emitter Tracking

Rok odevzdání 2019

Studijní program Informatika **Studijní obor** Softwarové a datové inženýrství

Autor posudku Mgr. David Klusáček, PhD. **Role** vedoucí

Pracoviště ÚFAL

Text posudku:

Autor práce se zabývá zaměřováním rádiových vysílačů pomocí softwarově definovaných rádií, tedy přijímačů, které obsahují co nejjednodušší analogovou část následovanou A/D převodníkem a počítačem. Práce popisuje praktickou implementaci dvou zaměřovacích metod s důrazem na nízkou pořizovací cenu a minimální hardwarové úpravy.

Práce je psaná dobrou angličtinou a je rozdělena na 3 části: teoretický úvod, hyperbolická metoda (TDOA – time difference of arrival) a část popisující interferometrickou metodu (AOA – angle of arrival).

Úvodní část obsahuje základní definice a fakta o zpracování signálů, což činí práci přístupnou komukoliv se znalostí základů matematické analýzy a programování. Některá tvrzení jsou dokazovaná jen pro speciální tvar signálu, čímž se autor vyhne vyšetřování konvergence sum a integrálů, které by neúměrně prodloužilo text práce. Ta je díky tomu pro začátečníky čitelnější. Text obsahuje některé překlepy ve vzorcích (např. v poznámce pod čarou 2 na straně 8 má být ve jmenovateli N^2 místo N), nemají však vliv na pochopitelnost výkladu.

Následující část je věnována metodě TDOA, kterou považuji za těžiště práce. Metoda je založena na měření rozdílu časů zachycení signálu vysílače na dvojicích přijímačů a byla principem známého pasivního lokátoru Tamara.

Konstantní časové zpoždění dvou přijímačů (jejichž polohy jsou známé) odpovídá rotačnímu hyperboloidu možných poloh vysílače. Čtyři přijímače postačují (až na degenerované případy) pro určení polohy ve 3D (průnik šesti hyperboloidů), tři přijímače stačí pro určení polohy ve 2D, tedy na povrchu země (tj. nezměříme nadmořskou výšku zdroje).

Autor se rozhodl implementovat 2D poloautomatický systém jehož výstupem nebudou přímo zeměpisné souřadnice nalezených vysílačů, ale obraz hyperbol od jednotlivých dvojic přijímačů nakreslený na mapě. Úkolem operátora je pak rozhodnout zda se tyto přibližně protínají v nějakém bodě, do něhož pak umístí polohu vysílače. Operátor též zadává frekvenci na které se bude zdroj

hledat. K tomu aplikace zobrazuje frekvenční grafy rádiového provozu a grafy korelačních funkcí, ze kterých operátor po krátkém zaškolení snadno pozná, zda je signál dostatečně entropický a nezarušený pro účely zaměření polohy.

Autorův přínos vidím zejména ve vyřešení problémů synchronizace jednotlivých přijímačů (která musí být natolik přesná, že ji nelze provést přes internetové připojení, kterým přijímače předávají data do centrálního uzlu) a kompenzace frekvenčního driftu přijímače.

Autor samostatně navrhl a provedl experimenty se stabilitou mezifrekvence a vzorkovací frekvence jím používaných přijímačů. Zjistil, že prvních 10 minut po začátku měření se frekvence změní o 4ppm, zatímco po té se pomalu mění už jen o ± 0.5 ppm. Dále navrhl naladit oba přijímače na známý zdroj přesně časovaného signálu (vhodný BTS vysílač GSM telefonů) a použít ho pro softwarovou korekci frekvencí obou přijímačů, pak rychle přeladit na operátorem žádanou frekvenci a tam provést měření (s aplikací této korekce). Autor si povšiml, že mezifrekvence přijímačů je pevně svázána s jejich vzorkovací frekvencí, což umožnilo jedním měřením korigovat nepřesnosti obou. Řešení je zdůvodněné teoretickým rozбором výpočtu vzájemné korelace ze dvou ne zcela synchronně běžících přijímačů, který využívá výsledků první teoretické kapitoly.

Poslední část se zabývá konstrukcí zařízení pro metodu AOA. Zde autor navrhl a sestavil zařízení skládající se ze 3 přijímačů a 3 antén, které interferometricky dovedou odhalit směr odkud přichází vlna na zadané frekvenci. Výhodou oproti TDOA metodě je jedno přenosné zařízení, nevýhodou je menší přesnost zaměření a to, že metoda poskytuje pouze směr k vysílači. Pro synchronizaci přijímačů se zde používá signál USB sběrnice, který je na krátkou chvíli před začátkem měření přepnut na vstup všech tří přijímačů.

Celkově hodnotím práci vysoko. Ačkoliv již existují podobné systémy pro sledování letadel na základě signálu z jejich odpovídače a sledování blesků, autorovo řešení je univerzálnější, srozumitelně popsané a klade jen malé nároky na kvalitu přijímačů.

Práci doporučuji k obhajobě.

Práci nenavrhuji na zvláštní ocenění.

V Praze dne 5. 6. 2019

Podpis: