

Posudek na disertační práci

Autor: Ing. Tomáš KREJČÍ

Název: ZPRACOVÁNÍ ŠIROKOPÁSMOVÝCH RADAROVÝCH SIGNÁLŮ SE ZAMĚŘENÍM NA SPOLEHLIVOST DETEKCE OBJEKTŮ

Disertační práce pana Ing. Tomáše Krejčího je věnovaná aktuálnímu tématu „Zpracování širokopásmových radarových signálů se zaměřením na spolehlivost detekce objektů“, které se týká velice perspektivního odvětví. Práce vykazuje původní části s originálním přínosem v návrhu řešení a ověření tohoto řešení jak pomocí numerických simulací, tak i experimentálně. Nepochybně přináší řadu důležitých poznatků, na které může úspěšně navázat další rozvoj vědy a techniky.

Po stručném úvodu se práce zabývá teoretickým rozborem problematiky. První kapitola pojednává o řetězci signálového zpracování pulsních primárních radarů s podporou určení radiální rychlosti cílů na základě vyhodnocení dopplerovských posuvů spektra vysílaných vysokofrekvenčních pulsů. Jelikož hlavními cíli disertační práce jsou optimalizace průběhu vysílaných pulsních signálů s využitím modulace OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) pro aplikaci v MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) radarovém senzoru, je nejprve nutné definovat parametry radarového senzoru tak, aby bylo možné tyto vlastnosti a algoritmy ověřovat v reálných podmínkách s využitím HW prostředků dostupných na školicím pracovišti, tj. s využitím synchronních vícekanálových softwarově definovaných rádií USRP (Universal Software Radio Peripheral).

Metody určení směru příchodu signálu odraženého od cílů popisuje 2. kapitola. 3. kapitola se věnuje aplikaci OFDM pro využití v radarových systémech. Kapitola 4 analyzuje signálové zpracování v OFDM radarech. Aplikace MIMO v radarových systémech je v kapitole 5. Jádrem disertační práce je v následujících částech. V 6. kapitole jsou popsány matematické modely používané k simulaci jak klasického pulsního radaru, tak radaru na bázi OFDM signálu, včetně jeho varianty využívající MIMO technologii. Kapitola je rozdělena do částí dle simulované konfigurace anténního systému a druhu využívaného radarového signálu. Pro potřeby experimentálního ověření navržených postupů, algoritmů a technik radarového signálového zpracování v reálných podmínkách bylo sestaveno měřicí pracoviště v kapitole 7. Kapitola 8 je zaměřena na porovnání výsledků zejména úhlových rozlišovacích schopností klasických pulsních radarů s výsledky, kterých je dosaženo s využitím OFDM radaru, a především jeho varianty v MIMO režimu. V závislosti na navržených scénářích byla experimentální měření zaměřena i na možnosti odhadu vzdálenosti a rychlosti. Na rozdíl od kapitoly 6, kde bylo toto porovnání provedeno s využitím řady simulačních modelů v rámci různých scénářů, je zde porovnání provedeno na základě experimentálního ověření s využitím radarového senzoru na bázi USRP, popsaného v kapitole 7. Závěr shrnuje získané teoretické, numerické a experimentální poznatky disertace.

Podrobný popis experimentů včetně jejich detailního shrnutí umožnil následující poznatky: radarový senzor dokázal spolehlivě detekovat zkušební cíle, při použití MIMO systému 2Tx-8Rx se zdokonalil rozlišovací schopnost v azimutu o 35-50 % dle použité metody AoA, optimalizovaný OFDM signál má nižší šumové pozadí v RDM. Lze tedy uvést, že hlavní cíl disertační práce, tedy prokázání aplikačního potenciálu OFDM signálu v kombinaci s MIMO technologií byl naplněn. I když je zmíněn vliv nerovností povrchu, bylo by asi vhodné poznamenat, že daná problematika je mnohem složitější a dané hodnoty jsou funkcemi nejen terénního reliéfu, ale i frekvence, jak je uvedeno např. v „*Electrical characteristics of the surface of the earth*“. Recommendation ITU-R P.527-3. Problematika

řešená v disertační práci je velice aktuální jak z hlediska vědeckého, tak i z hlediska uplatnění v praxi, neboť snižuje celkové náklady na výrobu radarového systému.

V závěru doktorand také uvádí, které oblasti lze dále rozvíjet. Předložená disertace bude sloužit pro další rozvoj oboru. Na základě získaných poznatků lze dále rozvíjet OFDM MIMO radarový systém za účelem zvýšení spolehlivosti detekce cílů. Zejména bude nezbytné zdokonalit měřicí systém tak, aby měl větší vzorkovací frekvenci. To umožní využívat OFDM signál s větší šířkou pásma (s více subnosnými) a poskytne detailnější rozlišení v radiální vzdálenosti. Lze předpokládat, že měřicí systém by mohl být tzv. platforma RFSoc, která slučuje širokopásmový RF front-end s vysokorychlostním FPGA. Dále je nutné provést návrh anténního systému s menším přeslechem mezi vysílací a přijímací částí.

Jazyková úroveň disertační práce je na relativně dobré úrovni (uvážíme-li dnešní katastrofální stav znalostí mluvnice) s malým množstvím překlepů (např. několikrát zle místo lze). Kladně lze hodnotit, že se autor pokusil v úvodní části shrnout poznatky o dané problematice, neboť často jednotlivé citované práce popisují více či méně zdařile pouze některé aspekty dané problematiky.

Zvolené metody zpracování jsou adekvátní disertační práci. Rozsah provedených prací významně převyšuje obvyklou úroveň. Vysoce kladně lze hodnotit množství názorných obrázků, ilustrujících jednotlivé procesy. To platí zejména o detailních popisech jednotlivých experimentů. Mnoho výsledků provedených prací uvádí autor jakoby mimochodem. Například: „Tyto anténní prvky vznikly v rámci kolektivní činnosti výzkumné skupiny, již je autor členem. Z důvodu využití prvků při experimentálním ověřování uvádím jejich popis a využití.“

Závěrem se dá shrnout, že byly naplněny všechny stanovené cíle disertační práce. Dílčí části práce byly verifikovány jak počítačovou simulací, tak i rozsáhlými měřeními. Práce je silně navázána na řešení konkrétních výzkumných projektů a nepochybně prospěje i při řešení nových výzkumných úkolů.

Vlastní publikace a výstupy uváděné autorem jsou dostačující. Jedná se o jeden článek v prestižním časopise, 3 příspěvky na konferencích a 5 projektů.

K disertační práci nemám žádné dotazy.

I při uvážení všech drobných výhrad, splňuje práce všechny náležitosti, odpovídá obecně uznávaným požadavkům a lze ji doporučit k obhajobě.

Prof. Ing. Vladimír Schejbal, CSc.
DFJP
Univerzita Pardubice

V Pardubicích 13. září 2023.