

TEZĂ DE ABILITARE

CONTRIBUȚII ÎN DOMENIUL SISTEMELOR RADAR

Autor: Conf. Andrei ANGHEL

Rezumat

Prezenta teză de abilitare face o trecere în revistă a principalelor contribuții ale autorului în domeniul sistemelor radar, în perioada ulterioară obținerii titlului de doctor (în anul 2015). În general, teza se concentrează pe realizări recente ale autorului ce vizează diferite tipuri de sisteme radar: radar de sol destinat monitorizării infrastructurii critice, senzori cu metamateriale, radar cu apertură sintetică (SAR) satelitar, radar bistatic și sisteme radar instalate pe autovehicule.

Primul capitol realizează o prezentare sintetică a evoluției carierei academice a autorului atât din punct de vedere didactic, cât și din perspectiva activității de cercetare. În ceea ce privește activitatea didactică, sunt expuse disciplinele predate, îmbunătățirile aduse materialelor didactice, precum și cursurile publicate de autor. Prezentarea activității de cercetare începe printr-o descriere succintă a realizărilor autorului din perioada studiilor universitare de doctorat, urmată de o expunere a contribuțiilor ulterioare obținerii titlului de doctor. Sunt evidențiate proiectele de cercetare în care autorul a fost implicat (ca director de proiect, responsabil de proiect sau persoană cheie), articolele publicate, precum și studenții doctoranzi coordonați de autor în calitate de membru în comisiile de îndrumare ale acestora. În capitolele 2-5 sunt prezentate detaliat contribuțiile autorului, clasificate în funcție de sistemele radar avute în vedere.

Capitolul 2 prezintă activitatea autorului legată de sisteme radar de sol care a cuprins atât dezvoltarea de algoritmi de prelucrare a semnalelor, cât și contribuții la partea hardware a unor sisteme radar. În prima parte a capitolului sunt introduse metode de sincronizare și scheme de detecție destinate radarelor cu emisie continuă și modulație de frecvență (FMCW), urmate de prezentarea unui sistem radar în impuls proiectat pentru monitorizarea deplasărilor și a vibrațiilor în timp real. La sfârșitul capitolului este expusă activitatea desfășurată de autor în cadrul unui grant intern acordat de Universitatea Politehnica din București, care a constat în proiectarea și implementarea unei antene de tip metamaterial în banda C pentru imagistică radar bazată pe măsurători compresive.

În cadrul Capitolului 3 sunt descrise trei metode de prelucrare a datelor SAR achiziționate de senzori spațiali. Prima dată este prezentată o metodă de estimare a semnalului micro-Doppler al țintelor vibrante din imagini SAR de înaltă rezoluție achiziționate de satelitul TerraSAR-X. Metoda descrisă se bazează pe efectuarea unei analize timp-frecvență (cu ajutorul unor funcții de ambiguitate de ordin superior) a semnalului defocalizat în azimut. În a doua parte a capitolului este introdusă o metodologie de detecție a schimbărilor în imagini SAR satelitare care evită extragerea de trăsături din subimagini și utilizează o metrică de similaritate bazată pe compresia subimaginilor comparate. Capitolul se încheie cu descrierea unui algoritm de focalizare în domeniul timp a datelor achiziționate de sateliții Sentinel-1 în modul uzual de operare (TOPS) cu scanări progresive și comutare ciclică între zonele iluminate. Acest algoritm poate fi privit ca un prim pas către un procesor SAR independent de geometria de achiziție și misiunea satelitară avută în vedere.

Scopul Capitolului 4 este să prezinte contribuția autorului în domeniul sistemelor SAR de tip bistatic ce sunt formate dintr-un receptor fix amplasat la sol și un transmițător satelitar sau de sol. Această contribuție a constat în principal în dezvoltarea unui lanț de procesare al semnalelor radar de tip bistatic ce cuprinde sincronizarea transmițător-receptor, focalizarea bistatică și prelucrarea interferometrică. Prezentarea este concentrată în jurul unui sistem radar bistatic dezvoltat în cadrul proiectului COBIS („Interferometrie diferențială SAR de tip bistatic în banda C cu transmițător de oportunitate”) finanțat de Agenția Spațială Europeană (ESA) și evidențiază următoarele aspecte principale: arhitectura sistemului, procedura de sincronizare, lanțul de prelucrare interferometrică (pentru estimarea înălțimilor și a deplasărilor) și campania de validare experimentală care s-a bazat atât pe reflectori naturali, cât și pe o țintă electronică. În plus, capitolul prezintă primele rezultate referitoare la conceptul de tomografie SAR în configurație bistatică, obținute în cadrul proiectului TomoSAR-1B (finanțat de ESA ca o continuare a activității din proiectul COBIS). Pe parcursul capitolului este evidențiat faptul că în configurația bistatică prezentată, aceeași regiune de pe sol poate fi iluminată de pe mai multe orbite ale satelitelui comparativ cu cazul monostatic, iar dacă satelitul operează într-un mod de tip TOPS regiunea poate fi iluminată (cel puțin parțial) de mai multe ori de pe aceeași orbită, chiar dacă lobul principal al antenei satelitelui nu vizează direct zona în care se află receptorul de sol. Datele achiziționate din mai multe orbite și din mai multe unghiuri de iluminare în azimut asigură o diversitate crescută în raport cu sistemele monostatice și pot fi exploatate în diverse moduri pentru a detecta, caracteriza și clasifica anumite tipuri de ținte.

În Capitolul 5 prezentarea se axează pe activitatea autorului desfășurată în cadrul unui proiect de tip ECSEL JU (PRYSTINE - „Sisteme programabile pentru automobile inteligente”). În cadrul capitolului sunt expuse două metode de suprimare a interferențelor pentru sisteme radar FMCW instalate la bordul autovehiculelor. Metodele vizează semnale de interferență necorelate cu forma de undă transmisă și au la bază transformata Fourier pe termen scurt a semnalului de bătaie. Prima metodă exploatează caracterul nestaționar al interferenței și presupune efectuarea unor combinații liniare de statistici de ordine pe spectrograma semnalului de bătaie pentru a reține doar componentele staționare ce corespund țintelor reale. Cea de-a doua metodă se bazează pe inteligență artificială și implică utilizarea unei rețele neurale convoluționale ce are ca intrare spectrograma semnalului de bătaie și furnizează la ieșire profilul în distanță fără interferență.

În final, Capitolul 6 concluzionează lucrarea și evidențiază o serie de perspective generale legate de dezvoltarea carierei academice a autorului, iar apoi sunt prezentate în mod detaliat principalele direcții de cercetare avute în vedere în viitorul apropiat (polarimetrie SAR în configurație bistatică, măsurarea deplasărilor 3D prin interferometrie SAR, detecția schimbărilor în imagini SAR satelitare și sisteme radar auto).

HABILITATION THESIS

CONTRIBUTIONS TO RADAR SYSTEMS

Author: Assoc. Prof. Andrei ANGHEL

Abstract

This habilitation thesis summarizes the principal contributions of the author in the field of radar systems, covering the period following his PhD thesis defended in 2015. Overall, it focuses on recent developments for various kinds of radar systems: ground-based radars for infrastructure monitoring, metamaterial sensors, spaceborne synthetic aperture radar (SAR), bistatic SAR and automotive radars. The thesis is organized as described in the following.

The first chapter makes a synthetic presentation of the evolution of the author's academic career, outlining both didactic and research activities. Regarding the didactic part, the courses taught by the author are highlighted among with the enhancements that he brought to the teaching materials and the published textbooks. From the research perspective, the presentation is split between doctoral and post-doctoral activities, and emphasizes the projects in which the author was involved (as manager, project responsible or key person), his main publications and the PhD students that he co-supervised as member of their thesis committees. Chapters 2-5 present in detail the author's contributions, classified according to the envisaged radar system.

Chapter 2 presents the author's activities concerning ground-based radar systems, which cover both hardware and software developments. The chapter begins by introducing synchronization methods and detection schemes for frequency modulated continuous wave (FMCW) radars, followed by a presentation of a pulse-based radar system designed for real-time displacement/vibration monitoring. Lastly, the chapter illustrates the work performed by the author within an internal grant awarded by the University Politehnica of Bucharest, which consisted in the design and implementation of a C-band metamaterial antenna for radar imaging of sparse scenes through compressive sensing.

In Chapter 3, we highlight three monostatic spaceborne SAR data processing methodologies. First is described a time-frequency tracking procedure used to estimate the micro-Doppler signal of vibrating targets in high-resolution TerraSAR-X images. The method is based on azimuth defocusing a target's constant range line and employing high-order ambiguity functions to estimate the instantaneous frequency law. Secondly, the change detection (CD) problem in SAR images is addressed by introducing an unbiased seamless CD technique, which relies on the concept of normalized compression distance. The last part of the chapter presents a time domain SAR focusing algorithm for Terrain Observation by Progressive Scan (TOPS) data as a first step towards a future mission/geometry-agnostic SAR processor.

The goal of Chapter 4 is to emphasize the author's contribution to bistatic SAR systems with a stationary receiver and ground-based/spaceborne transmitter, which essentially consists in the development of a complete signal processing chain spanning from transmitter-receiver synchronization to bistatic focusing and interferometric processing. The chapter is centered around the bistatic system developed in the ESA-funded COBIS ("Opportunistic C-band Bistatic SAR differential Interferometry") project, and highlights the following main aspects: the system architecture, the synchronization procedure, the repeat-pass and single-pass interferometric

processing chains, and the experimental validation campaign that relied on natural scatterers and an electronic target. Additionally, the chapter introduces the main developments towards an architecture for single-pass bistatic SAR tomography performed within the ESA-funded TomoSAR-1B project (the follow-up of the COBIS activity). Throughout the chapter is emphasized that in such a bistatic configuration, the same area on the ground is illuminated from more orbits compared to the monostatic case, and if the satellite operates in a multi-swath mode, for each orbit from several sub-swaths. The available multi-angle/multi-orbit data can be used in various ways to identify, characterize, classify and track targets by exploiting the enhanced observation diversity in comparison to solely using spaceborne monostatic data.

In Chapter 5 the presentation is focused on the author's work on radio frequency interference (RFI) mitigation in automotive radars within an ECSEL JU project (PRYSTINE - "Programmable Systems for Intelligence in Automobiles"). The chapter introduces two RFI mitigation methods designed for FMCW radars affected by interference signals that are not correlated with the transmitted chirp. Both methods rely on the short time Fourier transform of the beat signal. The first method exploits the non-stationary behavior of un-correlated interferences and performs a linear combination of order statistics on the beat signal spectrogram to retain only the stationary signals that correspond to real targets. In the second method, a deep learning approach is used, which involves a fully convolutional neural network that has as input the beat signal spectrogram and outputs the interference-free range profile.

Finally, Chapter 6 concludes the work and outlines a couple of general aspects related to future developments of the author's academic career, followed by a detailed description of the main research directions envisaged in the near future (i.e., bistatic SAR polarimetry, InSAR-based 3D deformation estimation, change detection in spaceborne SAR images and automotive radar).