

Universitatea „POLITEHNICA” din București

Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației

TEZĂ DE ABILITARE

**Domeniul de studii: Inginerie Electronică,
Telecomunicații și Tehnologii Informaționale**

**Cercetări și aplicații privind arhitecturi avansate și tehnici moderne
de poziționare bazate pe sisteme GNSS și tehnologii complementare**

Autor: Conf. Dr. Ing. Alexandru Rusu-Casandra

București, 2026

Contents

Rezumatul tezei de abilitare.....	1
Abstract of the Habilitation Thesis.....	3
Mulțumiri.....	5
1. Introducere.....	7
2. Activitatea de cercetare științifică.....	9
2.1 Dezvoltarea unui receptor Galileo cu arhitectură de procesare vectorială destinată condițiilor dificile de recepție – GaVPro.....	9
2.1.1 Semnale transmise de sateliți GNSS în banda L1/E1	10
2.1.2 Arhitectura receptorului GNSS	15
2.1.3. Procesarea în bandă de bază.....	18
2.1.4 Calculul poziției, vitezei și timpului utilizatorului pe baza datelor Galileo	31
2.1.5. Buclă de urmărire vectoriale.....	34
2.1.6 Arhitectura receptorului GaVPro implementat în Matlab	44
2.1.7 Implementarea în Matlab a algoritmului de urmărire vectorială.....	51
2.1.8 Rezultate ale simulării funcționării blocului de urmărire scalară.....	54
2.1.9 Rezultate ale simulării algoritmilor de procesare vectorială și comparația performanțelor buclilor de urmărire scalare și vectoriale.....	56
2.1.10 Concluzii și direcții viitoare.....	59
Bibliografie pentru subcapitolul 2.1	60
2.2 Model experimental LoRaWAN pentru localizare în diverse medii	63
2.2.1 Analiza caracteristicilor tehnologiei LoRaWAN prin prisma utilizării pentru localizare.....	63
2.2.2 Metodologia executării măsurătorilor în teren.....	66
2.2.3 Campania de măsurători la Universitatea BUT.....	69
2.2.4 Campania de măsurători la Universitatea UNSTPB.....	74
2.2.5 Analiza numărului optim de gateway-uri.....	78
2.2.6 Analiza rezultatelor.....	79
2.2.7 Concluzii.....	81
Bibliografie pentru subcapitolul 2.2	82
2.3 Evaluarea performanțelor primului radar terestru pentru urmărire obiectelor spațiale din România.....	85
2.3.1 Analiza unor date similare disponibile în literatura de specialitate.....	86

2.3.2 Funcționarea Radarului Cheia și prezentarea generală a setului de date	87
2.3.3 Măsurătorile radar experimentale și rezultatul acestora	91
2.3.4 Concluzii	95
Bibliografie pentru subcapitolul 2.3	96
2.4 Cercetări experimentale privind performanța poziționării folosind semnale GNSS autentificate cu serviciul Galileo OSNMA în condiții de interferențe RF	98
2.4.1 Dezvoltarea și evoluția Serviciului Galileo pentru Autentificarea Mesajelor de Navigație (OSNMA)	98
2.4.2 Studiul literaturii științifice relevante	100
2.4.3 Descrierea protocolului OSNMA	101
2.4.4 Campania de colectare a datelor	105
2.4.5 Descrierea echipamentelor utilizate și derularea campaniei de măsurători	108
2.4.6 Descrierea setului de date achiziționat	112
2.4.7 Discuție privind rezultatele testelor	121
2.4.8 Evaluarea indicatorilor cheie de performanță	125
2.4.9 Dezvoltări viitoare în autentificarea semnalelor și creșterea rezistenței GNSS la interferențe	131
2.4.10 Concluzii	131
Bibliografie pentru subcapitolul 2.4	133
3. Activitatea în cadrul departamentului de telecomunicații	137
4. Direcții viitoare în activitatea didactică și de cercetare	142
Anexa 1. Proiecte de disertație coordonate de către autor	146
Anexa 2. Comisii de îndrumare doctorală din care a făcut parte autorul	147

Rezumatul tezei de abilitare

Teza de abilitare *“Cercetări și aplicații privind arhitecturi avansate și tehnici moderne de poziționare robustă bazate pe sisteme GNSS și tehnologii complementare”* realizează o sinteză a activităților științifice, didactice și profesionale ale autorului de la obținerea titlului științific de Doctor în domeniul Inginerie Electronică și Telecomunicații, cu teza *“Procesarea digitală a semnalului în sisteme globale de navigație prin satelit”*, susținută la Universitatea Politehnica din București în anul 2012, până în prezent.

Partea introductivă descrie modul de organizare al tezei de abilitare și prezintă pe scurt conținutul celorlalte trei capitole.

În capitolul doi este prezentată activitatea de cercetare științifică desfășurată de autor după susținerea tezei de doctorat. Sunt detaliate, în ordine cronologică, principalele direcții de cercetare care au fost urmărite de autor după finalizarea studiilor doctorale, fiind subliniate contribuțiile la dezvoltarea domeniului respectiv, publicațiile rezultate și contractele de cercetare care au fost legate de fiecare dintre acestea.

Astfel, în secțiunea 2.1 sunt prezentate activitățile de studiu teoretic, modelare și simulare pentru dezvoltarea unui receptor GNSS Galileo cu arhitectură de procesare vectorială destinat condițiilor dificile de recepție – Gavra, care au făcut obiectul unui contract de cercetare-dezvoltare încheiat cu Agenția Spațială Europeană (ESA) în perioada 2015-2018. Studiul este orientat către analiza efectelor generate de coexistența semnalelor transmise de multiple constelații GNSS în aceleași benzi de frecvență, asupra preciziei și robusteții procesului de poziționare la nivelul receptoarelor terestre utilizând mai multe tipuri de arhitecturi. Concluziile studiului oferă informații asupra performanțelor receptoarelor Galileo în diverse arhitecturi și asupra interoperabilității inter-sistem.

În secțiunea 2.2 sunt prezentate rezultatele unui studiu amplu la care a participat autorul, împreună cu colegi din UNST Politehnica și specialiști din instituții universitare din Finlanda, Cehia, Spania, Portugalia și Italia privind utilizarea dispozitivelor purtabile (*wearable*). Dispozitivele purtabile sunt dispozitive electronice inteligente, cu capabilități de comunicație wireless, disponibile în diverse forme, care sunt utilizate pe sau în proximitatea corpului uman pentru a detecta și analiza diferite tipuri de date prin intermediul unor aplicații instalate fie direct pe dispozitiv, fie pe dispozitive externe, cum ar fi telefoanele inteligente conectate la cloud. Studiul aplicațiilor disponibile a inclus utilizarea acestor tipuri de dispozitive în medii în care funcționarea receptoarelor de poziționare GNSS nu este posibilă.

În secțiunea 2.3 sunt prezentate rezultatele unor analize teoretice și cercetări experimentale derulate pentru a evalua fezabilitatea utilizării tehnologiei LoRaWAN ca soluție de localizare pentru aplicațiile de siguranță la locul de muncă în diferite tipuri de scenarii în mediul industrial. Rezultatele analizate se bazează pe două campanii de măsurători efectuate la Universitatea Tehnică din Brno (BUT), Brno, Cehia, și Universitatea Politehnica din București (UPB), București.

Secțiunea 2.4 prezintă un alt domeniu al activității de cercetare și aplicative a autorului desfășurată împreună cu un colectiv de specialiști în cadrul unui proiect finanțat de Agenția Spațială Europeană pentru dezvoltarea primului radar terestru pentru supraveghere și urmărire spațială din România instalat la Cheia, parte a sistemului SST (Space Surveillance and Tracking) european. Un sistem SST este o rețea de senzori terestri și spațiali capabili să supravegheze și să urmărească obiectelor spațiale, împreună cu capacități de procesare menite să furnizeze date, informații și servicii privind obiectele spațiale care orbitează în jurul Pământului. Activitățile de dezvoltare, instalare și testare a radarului Cheia s-au finalizat cu achiziția unui set de date care conține rezultatul urmăririi a cinci obiecte spațiale diferite timp de câteva minute. Rezultatele testelor au dovedit funcționarea corectă a proiectului chiar și în condiții extrem de defavorabile ale raportului semnal-zgomot.

Următorul domeniu abordat în studiile teoretice și experimentale prezentate în secțiunea 2.5 este deosebit de actual iar derularea acestui studiu în România și publicarea rezultatelor se constituie într-o premieră în literatura de specialitate. Subiectul studiului este susceptibilitatea la interferențe RFI accidentale sau la atacuri de tip bruij (jamming) sau falsificare (spoofing) a poziționării și navigației pe baza semnalelor GNSS și, în acest context, performanța serviciului de Autentificare a Mesajelor de Navigație al Serviciului Deschis (OSNMA) al sistemului GNSS Galileo în medii reale în care se întâlnesc aceste interferențe RFI sau atacuri. Pentru analiza posibilităților de utilizare a semnalelor Galileo autentificate autorul a desfășurat în anul 2024 o campanie de măsurători în zone situate pe granița de est a României care sunt afectate de atacuri tip spoofing și jamming. Rezultatele prezentate indică faptul că sistemul Galileo OSNMA demonstrează o robustețe semnificativă împotriva interferențelor în medii cu perturbații RF întâlnite în practică, gestionând cu succes atât interferențele accidentale, cât și pe cele intenționate. Am propus această temă de cercetare în cadrul competiției pentru granturi de cercetare GNAC ARUT 2023 în cadrul UNSTPB și a fost selectată pentru finanțare, contractul nr. 90/11.10.2023, “IMPLEMENTAREA UNUI RECEPTOR REZISTENT LA ATACURI RF DE TIP SPOOFING BAZAT PE SEMNALUL GALILEO OSNMA” a fost semnat în octombrie 2023, iar proiectul a fost finalizat în decembrie 2025.

Capitolul trei conține o descriere a activității autorului în cadrul Departamentului de Telecomunicații, Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației, UNSTPB. Sunt prezentate aspecte legate de implicarea autorului în diverse activități în cadrul departamentului, coordonarea masteranzilor, doctoranzilor și a echipelor de tineri cercetători, precum și legătura dintre activitățile didactice și de cercetare ale autorului.

Direcțiile viitoare în activitatea didactică și de cercetare a autorului sunt descrise în Capitolul patru, evidențiind perspectivele pentru cercetări ulterioare, noi direcții de cercetare și modul în care studenții masteranzi sau doctoranzi ar putea fi implicați în aceste activități de cercetare.

Teza conține un număr de 157 de referințe bibliografice, care includ 14 de contribuții proprii, în calitate de autor sau coautor.

Abstract of the Habilitation Thesis

The habilitation thesis entitled “**Research and Applications on Advanced Architectures and Modern Techniques for Robust Positioning Based on GNSS Systems and Complementary Technologies**” provides a synthesis of the author’s scientific, teaching, and professional activities since obtaining the PhD degree in Electronic Engineering and Telecommunications with the dissertation “**Digital Signal Processing in Global Navigation Satellite Systems**”, defended at the University Politehnica of Bucharest in 2012, up to the present.

The introductory part describes the structure of the habilitation thesis and briefly presents the content of the following three chapters.

Chapter 2 presents the scientific research activity carried out by the author after the completion of the doctoral studies. The main research directions pursued by the author are detailed in chronological order, highlighting the contributions to the advancement of each field, the resulting publications, and the research contracts associated with each activity.

Thus, Section 2.1 presents theoretical studies, modeling, and simulation activities conducted for the development of a **Galileo GNSS receiver with vector processing architecture designed for difficult signal reception conditions – GaVPro**. These activities were carried out within a research and development contract with the European Space Agency (ESA) during the period 2015–2018. The study focused on analyzing the effects generated by the coexistence of signals transmitted by multiple GNSS constellations in the same frequency bands on the accuracy and robustness of the positioning process at the level of ground receivers using different types of architectures. The study conclusions provide insights into the performance of Galileo receivers under various architectures and into inter-system interoperability.

Section 2.2 presents the results of an extensive study in which the author participated together with colleagues from UNST Politehnica and specialists from academic institutions in Finland, the Czech Republic, Spain, Portugal, and Italy regarding the use of **wearable devices**. Wearable devices are smart electronic devices with wireless communication capabilities, available in various forms, that are used on or near the human body to sense and analyze different types of data via applications installed either on the device itself or on external devices such as smartphones connected to the cloud. The study of available applications included the use of such devices in environments where GNSS positioning receivers cannot operate.

Section 2.3 presents the results of theoretical analyses and experimental research conducted to evaluate the feasibility of using **LoRaWAN technology as a localization solution** for workplace safety applications in various industrial scenarios. The analyzed results are based on two measurement campaigns conducted at the Brno University of Technology (BUT), Brno, Czech Republic, and the University Politehnica of Bucharest (UPB), Bucharest.

Section 2.4 introduces another research and applied activity of the author, carried out together with a team of specialists within a project funded by the European Space Agency for the development of the **first ground-based radar for space surveillance and tracking in Romania**, installed at Cheia and forming part of the European SST (Space Surveillance and Tracking) system. An SST system is a network of ground-based and space-based sensors capable of detecting and tracking space objects, together with processing capabilities designed to provide data, information, and services regarding objects orbiting the Earth. The development, installation, and testing activities of the Cheia radar were completed with the acquisition of a dataset containing tracking results for five different space objects over several minutes. Test results demonstrated the correct operation of the system even under extremely unfavorable signal-to-noise ratio conditions.

The next domain addressed through theoretical and experimental studies, presented in Section 2.5, concerns the performance of the **Galileo Open Service Navigation Message Authentication (OSNMA)** in

real environments prone to radio-frequency interference (RFI), jamming, and spoofing attacks. To analyze the usability of authenticated Galileo signals, the author conducted a testing campaign in areas along Romania's eastern border that are affected by spoofing and jamming incidents. The presented results indicate that the Galileo OSNMA system demonstrates significant robustness against interference in real-world RF disturbance environments, effectively handling both accidental and intentional interference.

Chapter three contains a description of the author's activity within the Department of Telecommunications, Faculty of Electronics, Telecommunications and Information Technology, UNSTPB. Aspects related to the author's involvement in various activities within the department, the coordination of master students, doctoral students and teams of young researchers, as well as the connection between the author's teaching and research activities are presented.

The future directions in the author's teaching and research activity are described in Chapter four, highlighting the perspectives for further research, new research directions, and how master or doctoral students could be engaged in these research activities.

The thesis contains a number of 157 bibliographical references, which include 14 own contributions, as author or co-author.