

Designação do projeto | Project name

RADAVANT RADar para Detection and Avoidance em Veículos Aéreos Não Tripulados | Radar for Detection and Avoidance in Unmanned Aerial Vehicles

PI n.º 033907

Objetivo principal | Main objective

(PT) Investigar e desenvolver um sistema combinado de comunicações com radar, para melhorar a segurança e controlo em Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) dedicados à inspeção de equipamentos e infraestruturas. O sistema será desenhado para operar principalmente em cenários além da linha de vista visual (BVLOS) ou de forte interferência, onde a *detection and avoidance* é mais crítica. A conceção, construção e implementação deste sistema resultará na redução de custos nos serviços de inspeção e no acrescento de valor a outros serviços com VANTs.

(EN) The RADAVANT project aims to research and develop a joint communication with radar-type sensing system to improve flight safety and control of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) dedicated to utilities and infrastructure inspection. The system will be designed to operate particularly in Beyond Visual Line of Sight (BVLOS) and high interference scenarios, where detection and avoidance is most critical. The conception, construction and deployment of such a system will result in more cost-efficient inspection services and add more value to other services delivered by UAVs.

Região de intervenção | Region of intervention

(PT) PO Regional do Centro

(EN) Central Portugal

Entidade beneficiária | Beneficiaries

TWEVO Lda & Instituto de Telecomunicações

Data de aprovação | Date of approval | 18-07-2018

Data de início | Start date | 01-09-2018

Data de conclusão | End date | 31-12-2020

Custo total elegível | Total eligible cost | 500.607,08 EUR

Apoio financeiro da União Europeia | EU financial support | FEDER 383.341,57 EUR

Objetivos, atividades e resultados esperados/atingidos | Objectives, activities and expected/reached results

(PT) O resultado do projeto RADAVANT, num todo inovador constituído por um radar complementado por um *data link* para a transmissão fiável dos dados de radar, é uma solução de I&D e de Engenharia, na composição de 2 dispositivos fundamentais inovadores *per se* e na

sua combinação, montados no conjunto VANT+Estação de Controlo: o sub-sistema radar, para complementar os processos de DAA, com andares principais montados no VANT, e o bloco de processamento e visualização montado no lado da Estação de Controlo; o sub-sistema modem de comunicações rádio (o *data link*), baseado em *Software-defined radio* (SDR), com a função de garantir a transmissão fiável dos dados de radar para a Estação de Controlo, para além de sinais de controlo e outros dados (carga de *payload* de dados, incluindo vídeo), montado em ambos os lados, VANT e Estação de Controlo. O conceito de base é esta combinação, para garantir melhores processos de DAA, e por último, melhores operações com o VANT.

(EN) The result of RADAVANT project is an innovative combination of a radar with a data link for the reliable transmission of radar data. It is an R&D and Engineering solution, being composed of two fundamental systems, innovative both individually and in combination. They will be mounted on a UAV+Control Station: the radar sub-system, to complement Detect-And-Avoid (DAA) processes, with blocks mounted on the UAV, and the processing and visualisation blocks at the Control Station; the radio modem (the data link), based on Software-defined radio (SDR), with the function of guaranteeing the reliable transmission of radar data to the Control Station (besides other data payload, including video), on both the UAV and the Control Station sides. The base concept is this combination, leading to better DAA processes, and safer and more efficient UVA inspection and surveying missions.

Entregáveis públicos do projeto (PT) | Project public deliverables (EN)

E6.1

[Estado atual de standardização e evoluções I \(PT\) | Present Regulation Situation and Evolution I \(EN\)](#)

(em Inglês | in English)

E6.2

[Estado atual de standardização e evoluções II \(PT\) | Present Regulation Situation and Evolution II \(EN\)](#)

(em Inglês | in English)

E6.3

[Sítio web do projeto RADAVANT \(PT\) | RADAVANT PROJECT Website \(EN\)](#)

(em Inglês | in English)

E6.4

[O projeto RADAVANT em Eventos Científicos e Técnicos \(PT\) | RADAVANT Project in Scientific and Technical Events \(EN\)](#)

(em Inglês | in English)

E6.5

[Contributos do projeto RADAVENT para estandardização \(PT\) | RADAVENT project contributions for standardisation \(EN\)](#)

(em Inglês | in English)

E6.6

[Contributos para IP e Patentes do projeto RADAVENT \(PT\) | IP and Patent Contributions from the RADAVENT project \(EN\)](#)

(em Inglês | in English)

E6.7

[Contributos científicos do projeto RADAVENT \(PT\) | Scientific Contributions of the RADAVENT project \(EN\)](#)

(em Inglês | in English)

E1.1

[Relatório de Progresso – Primeiro Período \(PT\) | Progress Report - First Period \(EN\)](#)

(em Inglês | in English)

Publicações científicas (PT) | Scientific publications (EN)

(em ordem temporal de publicação | in time order of publication)

“Artigo de Revisão sobre Antenas *Transmitarray*” (PT, tradução) | “Review paper on Transmitarray Antennas” (EN, original)

João R. Reis^{1,2}, Mário Vala^{1,2}, Rafael F.S. Caldeirinha^{1,2} (Senior Member, IEEE).

¹Instituto de Telecomunicações, Leiria, Portugal

²Polytechnic Institute of Leiria, Leiria, Portugal

[Disponível online | Available online](#)

IEEE Access Julho | July, 2019

DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2924293

Resumo (PT, tradução)

Este artigo apresenta uma revisão detalhada sobre dispositivos *transmitarrays*, focando em particular as antenas de *beamsteering*, juntando algumas das soluções mais relevantes publicadas pela comunidade científica na área. Em primeiro lugar, apresentam-se os fundamentos para construir uma antena de *beamsteering* com um *transmitarray*, de uma e duas dimensões. Em consequência, apontam-se vários exemplos de células unitárias para a implementação e desenho completo de *transmitarrays*. Cada solução é analisada em detalhe, identificando a natureza do seu *layout*, e.g. baseados em antenas de fita *microstrip*, superfícies seletivas na frequência (do inglês, FSS) ou metamateriais (MM), e o método usado para possibilitar a reconfiguração eletrónica, e.g. díodos p-i-n, díodos varactor ou sistemas Microeletromecânicos (do inglês, MEMS). Ainda se incluem alguns modelos com a capacidade

de controlo dos modos de polarização de frente-de-onda já que são a base dos *transmitarrays* híbridos, i.e. *transmitarrays* com *beamsteering* eletrónico e com controlo de polarização. Finalmente, comparam-se todos os modelos para realçar os seus benefícios e limitações, sumariando as suas características principais, como a frequência de operação e largura de banda, perdas de inserção, dimensões físicas e limite máximo de direcionamento de feixe, quando disponíveis.

Abstract (EN, original)

This article presents a thorough review on transmitarray devices particularly aiming antenna beamsteering, gathering some of the most relevant solutions published by the scientific community in the field. Firstly, the background for realising one- and two-dimensional antenna beamsteering with a transmitarray is introduced. Subsequently, several examples of unit-cells for transmitarray implementation and complete transmitarray designs presented in the literature are outlined. Each solution is analyzed in detail, identifying the nature of its layout, e.g. based on microstrip patches, frequency selective surfaces (FSS) or metamaterials (MM), and the method employed to enable electronic reconfigurability, e.g. p-i-n diodes, varactor diodes or Microelectromechanical systems (MEMS). In addition, some models with the capability of controlling the wavefront polarization modes are also included herein since these are the base of hybrid transmitarrays, i.e. transmitarray with both electronic beamsteering and polarization control. Finally, all the models are compared against each other in order to highlight their benefits and limitations, summarizing their main characteristics such as frequency of operation and bandwidth, insertion loss, physical dimensions and maximum beamsteering range, when available.

“Futuro Radar Disruptivo Baseado em Processamento Digital PN *All-Digital*” (PT, tradução) | “Disruptive Future of Radar Based on All-Digital PN Signal Processing” (EN, original)

Rafael F. S. Caldeirinha^{1,2}, João R. Reis^{1,2}, André Sardo^{1,2}, Luís Duarte^{1,2}, Nuno Leonor^{1,2}, João Gil³ and Carlos Ribeiro^{1,3}

¹Polytechnic Institute of Leiria, Leiria, Portugal

²Instituto de Telecomunicações - Leiria, Portugal

³TWEVO Lda., Coimbra, Portugal

[Disponível online | Available online](#)

International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA 2019), Granada, Espanha | Spain, Setembro | September 2019

Resumo (PT, tradução)

Este artigo apresenta os primeiros resultados do desenho e implementação de um radar monoestático de alta resolução, em tempo-real, a 24 GHz, baseado na correlação deslizante de sequências pseudo-aleatórias (do inglês, PN). O radar em tempo-real, com uma elevada resolução temporal mínima de 4ns, é usado para a identificação de alvos móveis (do inglês, MTI), na presença de *clutter* muito denso, em ambientes difíceis e condições meteorológicas

adversas (nevoeiro, neve, fumo ou gases). Propõe-se uma solução de processamento de sinal, *all-digital*, o que representa um salto quântico no futuro da arquitetura dos andares frontais de radar. Apresentam-se os resultados obtidos num ambiente controlado, no interior da câmara anecóica, assim como uma referência relativa a uma solução comercialmente disponível.

Abstract (EN, original)

This paper presents the first results on the design and implementation of a real-time and high resolution monostatic radar at 24 GHz, based on the sliding correlation of pseudonoise (PN) sequences. The real-time radar, with a high time resolution better than 4ns, is used for moving target identification (MTI) in the presence of highly dense clutter, under harsh environments and severe weather conditions (fog, snow and fire smoke or plume). A radar signal processing based on all-digital PN sequences is proposed, which represents a quantum leap in radar future front-end architecture. Results obtained in a controlled environment, inside an anechoic chamber, are presented and a benchmark with a commercially-of-the-shelf solution is presented.

“Nova antena de refletor parabólico para aplicações de RADAR” (PT, tradução) | “Novel parabolic dish antenna for RADAR applications” (EN, original)

João R. Reis^{1,2}, Carlos Ribeiro^{2,3} and Rafael F. S. Caldeirinha^{1,2}

¹Instituto de Telecomunicações, Leiria, Portugal

²Polytechnic of Leiria, Leiria, Portugal

³Twevo, Lda., Coimbra, Portugal

[Disponível online](#) | [Available online](#)

The IET's Antennas and Propagation Conference APC 2019, Birmingham, UK, Novembro | November 2019

Resumo (PT, tradução)

Apresenta-se, neste artigo, um novo desenho de uma antena de refletor parabólico, destinada a aplicações de radar a 24 GHz. Em primeiro lugar, é feita uma análise direcionada à formulação teórica por detrás das antenas de refletor parabólico, para avaliar os principais parâmetros de desenho em relação ao desempenho. Este estudo é usado como linha guia para o desenho da antena proposta no artigo. Em consequência, o desenho da nova antena é descrito e validado, através de simulações eletromagnéticas feitas com o *CST Microwave Studio* (CST MWS). A antena proposta é composta por 4 partes: uma forma paraboloide impressa em PETG, uma camada metálica de revestimento para atribuir características eletromagnéticas ao paraboloide, um espaçador em PTFE para garantir a distância focal e, finalmente, um elemento ativo em *microstrip* desenhado num substrato de duas faces. O desenho final da antena tem uma largura de banda de 500 MHz, centrada em 24.125 GHz, e um ganho de 21.1 dBi, cumprindo as especificações iniciais de projeto. A largura de feixe a meia-potência (do inglês, HPBW) é 13° and 14° nos planos respetivos de azimute e elevação, enquanto os níveis de lóbulos secundários são -16 dB e -18 dB nesses planos.

Abstract (EN, original)

In this paper, a novel parabolic dish antenna design, aiming radar applications at 24 GHz, is presented. Firstly, a dedicated analysis on the theoretical formulation of reflector dish antennae is conducted, in order to evaluate the main design parameters against antenna performance. This study is used as design guideline for the antenna being proposed in this paper. Subsequently, the design of the novel parabolic dish antenna is described and validated by the means of electromagnetic simulations performed in CST Microwave Studio (CST MWS). The proposed antenna is composed of 4 parts: a paraboloid shape imprinted in a PETG material, a metallic coating layer to enable the shaped paraboloid with EM reflecting properties, a PTFE spacer layer to ensure the focal distance and, finally, a microstrip feeding source designed on a double side substrate. The final antenna design has a bandwidth of 500 MHz centred at 24.125 GHz and 21.1 dBi of gain, meeting with initial project specifications. The half power beamwidth (HPBW) is of 13° and 14°, in the azimuth and elevation planes, respectively, while the side-lobe levels are of -16 dB and -18 dB, for the same antenna planes.

“STDCC radar at 24 GHz: first measurement trials”

André Sardo^{1,2}, João Reis^{1,2}, Luis Duarte^{1,2}, Nuno Leonor^{1,2}, Carlos Ribeiro^{2,3} and Rafael Caldeirinha^{1,2}

¹Polytechnic Institute of Leiria, Leiria, Portugal

²Instituto de Telecomunicações - Leiria, Portugal

³TWEVO Lda., Coimbra, Portugal

[Disponível online | Available online](#)

XXXIII General Assembly and Scientific Symposium (GASS) of the International Union of Radio Science (Union Radio Scientifique Internationale-URSI), Rome, Italy, August 2020

Resumo (PT, tradução)

Este documento apresenta os primeiros ensaios de medição para avaliação do desempenho de um radar monostático em tempo real e de alta resolução operando a 24 GHz. O radar em tempo real proposto, que funciona com base na correlação deslizante de sequências de pseudo-ruído (PN), proporciona uma resolução temporal elevada melhor do que 4 ns, útil para a identificação de alvos móveis (MTI) em ambientes altamente complexos, densos e agressivos e condições climáticas severas (nevoeiro, neve e fumo). A capacidade de deteção de alvos de radar STDCC é demonstrada neste documento, medindo e identificando os dados de radar para 4 cenários distintos, compostos de alvos múltiplos (até 8), dentro de uma câmara anecóica, demonstrando o potencial da arquitetura de radar proposta.

Abstract (EN, original)

This paper presents the first measurement trials for performance assessment of a real-time and high resolution monostatic radar operating at 24 GHz. The proposed real-time radar, which

operates based on the sliding correlation of pseudo-noise (PN) sequences, provides a high time resolution better than 4 ns, useful for moving target identification (MTI) in the presence of highly dense clutter, under harsh environments and severe weather conditions (fog, snow and fire smoke or plume). The STDCC radar target detection capability is demonstrated in this paper, by measuring and identifying the radar data for 4 distinct scenarios, composed of multiple targets (up to 8), inside an anechoic chamber, demonstrating the potential of the proposed radar architecture.

“All-digital reconfigurable STDCC radar baseband implementation in FPGA”

Luís Duarte^{1,2}, Carlos Ribeiro^{2,3} and Rafael F. S. Caldeirinha^{1,2}

¹Polytechnic Institute of Leiria, Leiria, Portugal

²Instituto de Telecomunicações - Leiria, Portugal

³TWEVO Lda., Coimbra, Portugal

[Disponível online | Available online](#)

12th IEEE/IET International Symposium on Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing - CSNDSP, Porto, Portugal, July 2020

Resumo (PT, tradução)

Este documento relata a arquitetura de banda-base totalmente digital do *Swept Time-Delay Cross-Correlator* (STDCC). Até há pouco tempo, a técnica do correlacionador deslizante tem sido empregada principalmente para sondar o canal de propagação rádio. No entanto, os padrões de referência recentes têm mostrado resultados promissores no contexto de detecção de alvos, quando comparados com as soluções comercialmente disponíveis. O STDCC tira partido das propriedades de correlação deslizante das sequências de Pseudo-Noise (PN). Este artigo apresenta a geração de banda-base para esta nova técnica de radar, com sintonização de sequências em tempo real usando uma Field-Programmable Gate Array (FPGA). A banda-base reconfigurável STDCC do radar gera ambas as sequências PN digitalmente e requer um ADC de baixo custo para adquirir o resultado dilatado no tempo. No final, a arquitetura proposta é avaliada relativamente à eficiência da utilização dos recursos e, em seguida, o desempenho do radar será discutido em termos do espectro de sequências PN totalmente digital e da correlação deslizante em tempo real. A nossa análise confirmou uma forte correlação entre o comprimento da sequência e a frequência de amostragem com a distância detetável do radar.

Abstract (EN, original)

This paper reports the architecture of an all-digital Swept Time-Delay Cross-Correlator (STDCC) baseband. Until recently, the sliding correlator technique has been mainly employed for sounding the radio propagation channel. However, recent benchmarks have shown promising results in target detection context when compared to commercially available solutions. STDCC takes advantage of the sliding correlation properties of Pseudo-Noise (PN) sequences. Therefore, this paper presents the baseband generation for this new radar technique with

on-the-fly sequence tuning using a Field-Programmable Gate Array (FPGA). The reconfigurable STDCC radar baseband generates both PN sequences digitally and requires a low-cost ADC to acquire the time dilated result. At the end, the proposed architecture is evaluated regarding resource usage efficiency and then the radar performance will be discussed in terms of the all-digital PN sequence spectrum and the real-time slide correlation. Our analysis confirmed a strong correlation between both sequence length and sampling frequency with radar detectable distance.

“Reconfigurable millimetre-wave RF front-end for radar and 5G applications” (accepted)
Luís Duarte^{1,2}, João R. Reis^{1,2}, Nuno Leonor^{1,2}, Carlos Ribeiro^{2,3}, Luís N. Alves² and Rafael F. S. Caldeirinha^{1,2}

¹Polytechnic Institute of Leiria, Leiria, Portugal

²Instituto de Telecomunicações - Leiria, Portugal

³TWEVO Lda., Coimbra, Portugal

12th Conference on Telecommunications (ConfTELE), Leiria, Portugal, Fevereiro | February 2021

“A Compact 3D-printed Reflector Antenna for Radar Applications at K-band”

João Reis^{1,2}, Carlos Ribeiro^{2,3} and Rafael Caldeirinha^{1,2}

¹Polytechnic Institute of Leiria, Leiria, Portugal

²Instituto de Telecomunicações - Leiria, Portugal

³TWEVO Lda., Coimbra, Portugal

in international journal *IET Microwave, Antennas and Propagation*, accepted June 2020 (in press)