

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

EDERSON RIBAS MACHADO

**Implementação de Sistema de Comunicação
ADS-B por meio de dispositivos de Rádio
Software**

Porto Alegre

2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

EDERSON RIBAS MACHADO

**Implementação de Sistema de Comunicação ADS-B por
meio de dispositivos de Rádio Software**

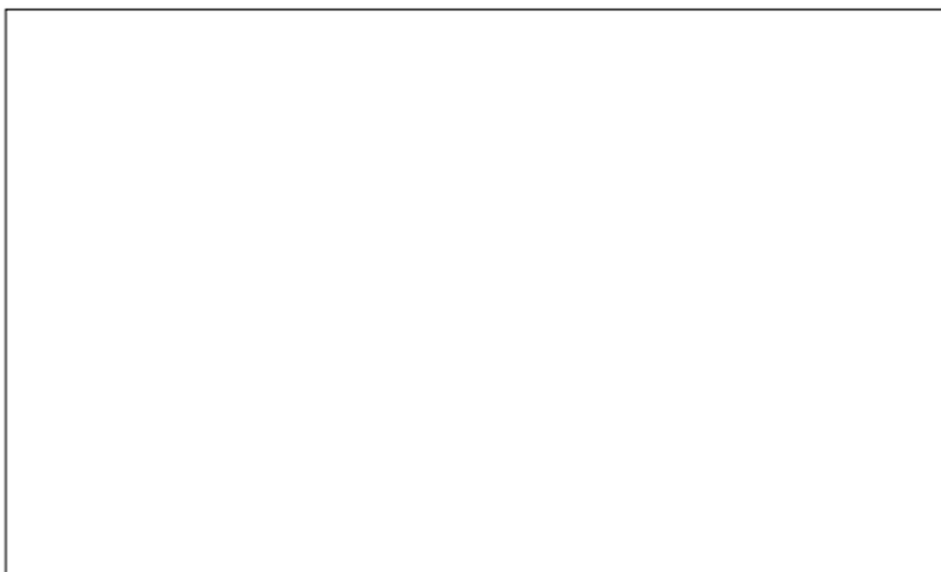
Projeto de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para Graduação em Engenharia Elétrica

Orientador: Prof. Dr. Ivan Müller

Porto Alegre

2018

CIP - Catalogação na Publicação



Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

EDERSON RIBAS MACHADO

Implementação de Sistema de Comunicação ADS-B por meio de dispositivos de Rádio Software

Projeto de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para Graduação em Engenharia Elétrica

Prof. Dr. Ivan Müller
Orientador - UFRGS

Aprovado em 04 de julho de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Giovani Bulla
UFRGS

Prof. Dr. Tiago Roberto Balen
UFRGS

Resumo

Este projeto tem como propósito a implementação de uma plataforma de comunicação, capaz de transmitir e receber dados, utilizando o protocolo ADS-B (*Automatic Dependent Surveillance Broadcast*), utilizado como sistema de vigilância para aeronaves. O *hardware* utilizado baseia-se em dispositivos do tipo SDR (*Software Defined Radio*). Os SDRs substituem a utilização de *hardware* tradicional, implementando, via *software*, os blocos típicos de sistemas de radiocomunicação, como misturadores, moduladores e filtros. Dois SDRs do tipo USRP™, (*Universal Software Radio Peripheral*), foram utilizados, sendo um destinado ao envio e outro à recepção de sinais ADS-B. A transmissão e a recepção dos pacotes ADS-B foram validadas perante execução de diferentes ensaios. Estes ensaios envolveram a criação de bloco de geração de mensagens ADS-B, com o *software GNURadio*, em LINUX DOS. Os pacotes de dados ADS-B contêm informações de vôo de aeronaves, como a velocidade, a altitude e as posições das mesmas em coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator Coordinate System). A recepção destes pacotes teve como resultado gráfico um mapa com o posicionamento de uma aeronave criada. Uma vez validada a comunicação ADS-B na plataforma, verifica-se que esta pode servir como uma ferramenta de base para possíveis estudos que envolvam o sistema de comunicação ADS-B, podendo servir também como um roteiro para uso prático inicial do SDR do tipo USRP (Universal Software Radio Pheripheral), em aplicações de Rádio Frequência (RF).

Palavras-chave: Sistema de Vigilância ADS-B. Software Defined Radio. Navegação Aérea.

Abstract

This project aims to develop a communication platform, which is able to transmit and receive aircraft ADS-B (Automatic Dependent Surveillance Broadcast), data information. The hardware used is classified as SDR (Software Defined Radio). SDRs replace traditional hardware, implementing modules for radiocommunication systems, such as mixers, modulators, and filters, by software. Two SDRs from the USRP family, Universal Software Radio Peripheral, were used. One for transmission and other for receive data. ADS-B packets transmission and reception were validated with different tests. These tests involved creation and transmission of ADS-B data, using the software GNURadio, in LINUX DOS. ADS-B data contain aircraft information, such as the velocity, altitude, and airborne UTM (Universal Transverse Mercator Coordinate System), coordinates position. The ADS-B packet reception has a graphical result, showing the aircraft position in a map. Once the ADS-B communication has been validated by creation of an Italy dummy aircraft, we conclude that the platform could be use as a basic ADS-B communication tool for further research. In addition, the project can also be used as an initial tutorial for the practical use of the USRP SDR in Radio Frequency (RF), applications.

Keywords: ADS-B packet. NAV systems. Aircraft communication.

Lista de Figuras

Figura 1 – Evolução da Navegação Aérea 1920 - 2010	13
Figura 2 – Diagrama de possibilidades funcionais que podem ser alcançadas com o uso do sistema ADS-B	14
Figura 3 – Mapa de posicionamento de aeronaves com o <i>software gr-air-modes</i> . . .	15

Lista de Tabelas

Lista de Abreviaturas e Siglas

AD	Analógico Digital
ADS	<i>Automatic Dependent Surveillance</i>
ADS-B	<i>Automatic Dependent Surveillance Broadcast</i>
ADS-C	Vigilância Automática Dependente por Contrato
AIRSAW	<i>Airborne Situation Awareness</i>
AIS	<i>Automatic Identification System</i>
ATC	<i>Air Traffic Control</i>
ATM	<i>Air Traffic Management</i>
ATS	<i>Air Traffic Services</i>
BASH	<i>Bourne Again Shell</i>
BER	<i>Bit Error Rate</i>
CNS/ATM	Navegação e Vigilância / Gerenciamento de Tráfego Aéreo
CDA	<i>Continuous Descend Approach</i>
CRC	<i>Cyclic Redundancy Check</i>
CRC24	<i>24 bits Cyclic Redundancy Check</i>
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DME	<i>Distance Measuring Equipment</i>
DF	<i>Downlink Format</i>
DOS	<i>Disk Operating System</i>
EUROCAE	<i>European Organization for Civil Aviation Equipment</i>
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
FL	<i>Flight Level</i>
FPGA	<i>Field Programmable Gate Array</i>

GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GPL	<i>General Public License</i>
ICAO	<i>International Civil Aviation Organization</i>
IFR	<i>Instrument Flight Rules</i>
INS	<i>Inertial Navigation System</i>
ITP	<i>In Trail Procedures</i>
LASCAR	Laboratório de Automação e Robótica da UFRGS
MAC	<i>Media Access Control Layer</i>
MLAT	<i>Multilateration</i>
MIMO	<i>Multiple Input Multiple Output</i>
MN	Milhas Náuticas
MSSR	<i>Monopulse Secondary System Radar</i>
NAV	<i>Navigational</i>
NextGen	<i>Next Generation Air Transportation System</i>
NI	<i>National Instruments</i>
OS	<i>Operational System</i>
OOT	<i>Out Of Tree Module</i>
OPD	<i>Optimized Profile Descend</i>
PSR	<i>Primary Surveillance Radar</i>
PPM	<i>Pulse Position Modulation</i>
PHY	<i>Physical</i>
PBN	<i>Performance Based Navigation</i>
PI	<i>Parity Check</i>
RNAV	<i>Area Navigation</i>
RF	<i>Radio Frequency</i>

RNP	<i>Required Navigation Performance</i>
RVSM	<i>Separação Vertical Mínima Reduzida</i>
RX	<i>Receiver</i>
SATCOM	<i>Satelite Communications</i>
SDR	<i>Software Defined Radio</i>
SESAR	<i>Single European Sky ATM Research</i>
SNR	<i>Signal-to-Noise Ratio</i>
SSR	<i>Secondary Surveillance Radar</i>
TCAS	<i>Traffic Alert and Collision Avoidance System</i>
TIS-B	<i>Traffic Information Service – Broadcast</i>
TX	<i>Transmitter</i>
TDOA	<i>Time Difference Of Arrival</i>
TCAS	<i>Traffic Collision Avoidance System</i>
TMA	<i>Terminal Control Area</i>
TOD	<i>Top Of Descend</i>
UAT	<i>Universal Access Transceiver</i>
UHD	<i>USRP Hardware Driver</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
USRP	<i>Universal Software Radio Pheripheral</i>
UTM	<i>Universal Transverse Mercator Coordinate System</i>
VDL	<i>VHF Digital Link</i>
VHF	<i>Very High Frequency</i>
VOR	<i>VHF Omnidirectional Radio Range</i>
WAM	<i>Wide Area Multilateration</i>
XML	<i>Extensible Markup Language</i>

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16

1 Introdução

O transporte aéreo está em constante evolução e trouxe grandes mudanças na sociedade. É destacável sua atuação como instrumento de integração global, com o tráfego de pessoas, bens e serviços, entre regiões. Segundo (MONTEIRO, 2002), uma das principais vantagens de sua utilização é a possibilidade de percorrer grandes distâncias de maneira mais segura e em tempo muito menor que outros meios de transporte. A evolução da aviação acompanhou a evolução dos instrumentos de orientação de vôo em solo. Esta evolução, nos levou ao sistema de vigilância ADS-B, tema deste trabalho. A fim de entender este sistema no contexto da aviação, é importante citar um breve precedente histórico relativo aos processos utilizados na Navegação Aérea¹.

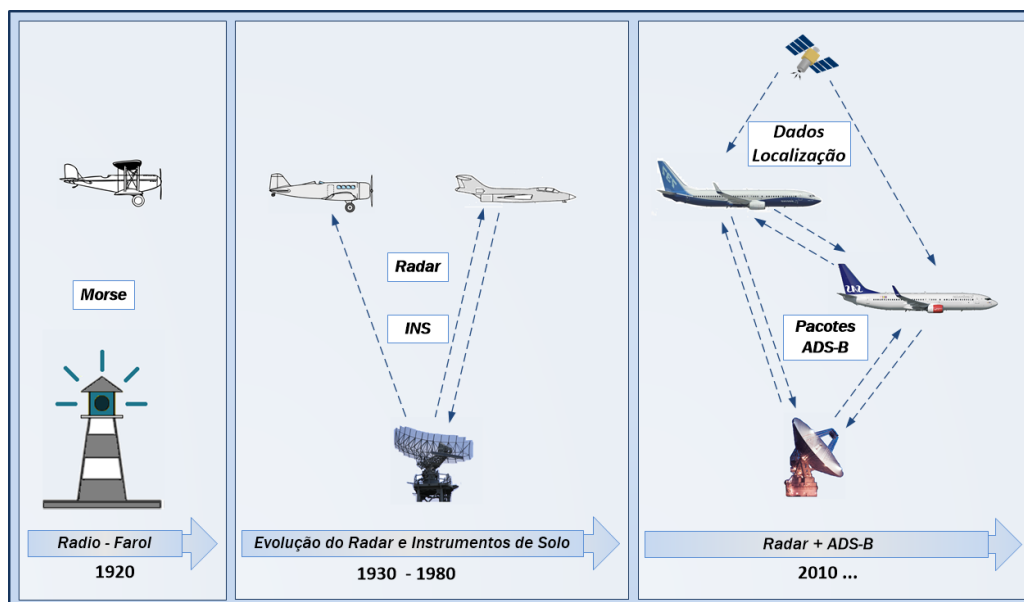
Por volta de 1920 a orientação do vôo era feita através de faróis luminosos, (verdes e vermelhos), chamados de rádio-faróis. Estes equipamentos eram instalados em terra, e separados por distâncias de aproximadamente 15km à 25km. Eles proporcionavam um *flash* luminoso a cada 10s, sendo capazes também de transmitir algumas mensagens em código Morse, (LANKFORD, 1996). Na década de 30 ocorre um passo determinante na evolução da aviação: o desenvolvimento da tecnologia de propagação de ondas de rádio. Esta tecnologia é aplicada nos instrumentos de orientação da Navegação Aérea, como apontado por Portilho F.A. e Bukzem (2015).

Nas décadas seguintes a aviação desenvolveu e aprimorou o sistema de navegação baseado na utilização do radar², e do Sistema de Navegação Inercial³ (INS). Porém, com o rápido crescimento da aviação civil internacional, na década de 80, o conselho da Organização Internacional da Aviação Civil (ICAO), reconheceu que a forma existente de prover Serviços de Tráfego Aéreo (ATS), e a estrutura do sistema de navegação, (baseado ainda na utilização de radares), estava limitada. Essa limitação comprometia o avanço na aviação civil, sendo necessário a busca de novas tecnologias para aplicação de melhorias e adequações. A partir de então na navegação aérea passa a dispor de meios de localização baseados em Sistemas de Satélites de navegação Global ou GNSS, para os procedimentos de vôo em rota, aproximação e saída de terminal, .

A Figura 1 traz um esboço evolutivo da navegação aérea.

-
- ¹ Entende-se por Navegação Aérea o ato de conduzir um veículo aéreo de um local à outro, com orientação constante e segurança
- ² O radar, do inglês *Radio Detection And Ranging*, Detecção e Telemetria por Rádio, é um dispositivo que permite detectar objetos distantes e inferir suas distâncias através do envio de um sinal elétrico,(impulso), e da observação da resposta, (eco), deste sinal, ao colidir com um alvo.
- ³ O INS, do inglês *Inertial Navigation System*, Sistema de Navegação Inercial, possui o mesmo princípio de navegação utilizado nos mísseis balísticos intercontinentais: a orientação é baseada somente em sensores internos, (acelerômetros, magnetoscópios e giroscópios), sem a necessidade de comunicação externa.

Figura 1 – Evolução da Navegação Aérea 1920 - 2010. Década de 1920: aviões guiados pelos rádios-faróis. Décadas de 1930 à 1980: aviões guiados por radar e INS. Século XXI: aviões guiados por satélites GNSS e pelo sistema de Vigilância ADS-B.



Fonte: o autor.

Em 1991 a ICAO propôs um plano de desenvolvimento global, (DOC9750, 1991), baseado na cooperação entre os países, para permitir a implantação e o planejamento de futuros sistemas CNS/ATM⁴. Porém este plano, embora tenha estimulado as regiões a buscarem e testarem soluções, não resultou em uma solução global. Somente em 2003 foi proposto o Conceito Operacional ATM Global (DOC9854-AN/458, 2005), enfatizando a necessidade de uma interoperabilidade global.

Os esforços são então voltados para proporcionar um sistema de gerenciamento de tráfego aéreo interfuncional, que durante todas as fases de vôo, segundo a PORTARIA-630/GC3 (2002), cumpra com os níveis estabelecidos de segurança operacional, sendo sustentável em relação ao meio ambiente e que satisfaça certos requisitos de segurança.

Neste âmbito, surge o conceito de vigilância Automática Dependente por Radiofusão ADS-B, o qual é proposto para ser um sistema de vigilância que visa aumentar a precisão na identificação das aeronaves, permitindo, entre outros ganhos, a flexibilização no uso do espaço aéreo. A Figura 2 resume os campos de atuação do sistema ADS-B, de acordo com as possibilidades e limitações do sistema.

⁴ CNS/ATM, é um conceito de modernização do controle do tráfego aéreo, no qual as tecnologias de comunicação digital, satelital e a gestão estratégica são aplicadas de forma integrada.

Figura 2 – Diagrama de possibilidades funcionais que podem ser alcançadas com o uso do sistema ADS-B.



Fonte: o autor.

Seguindo as diretrizes de desenvolvimento da aviação global, da ICAO (DOC9750, 2016), vários países decidem migrar para o sistema ADS-B, delimitando prazos para sua implementação em seus planos de expansão da aviação. Nos Estados Unidos a FAA, *Federal Aviation Administration*, implementa o programa NextGen, *Next Generation Air Transportation System*, que pretende unificar o sistema de transporte aéreo até 2025. Neste plano, as aeronaves devem, obrigatoriamente, portar equipamento ADS-B a partir de janeiro de 2020. Na Europa o programa apresentado, o SESAR, *Single European Sky ATM Research*, é focado no espaço aéreo integrado, sem fronteiras políticas, prevendo a implementação do sistema ADS-B até 2020; No Brasil o programa Sirius, do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), apresenta o plano de aplicação do sistema ADS-B. Atualmente a infraestrutura para operar este sistema está concluída na Bacia Petrolífera de Campos. Além disso diversas ações relativas a implementação do sistema ADS-B seguem em curso.

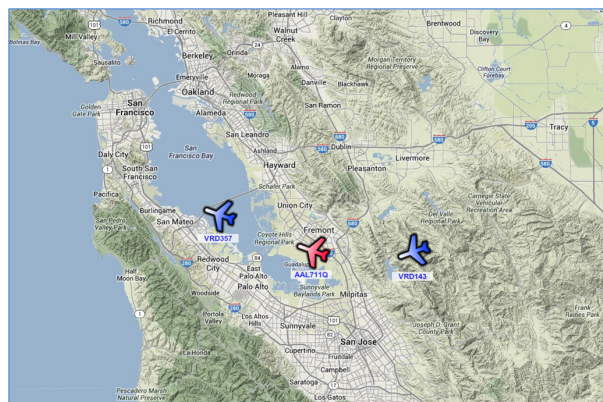
O sistema de comunicação ADS-B compõe um tema bastante atual e que apresenta diferentes caminhos de evolução. O fato desta tecnologia estar em estudo e crescente aplicação no espaço aéreo mundial, traz a perspectiva de este sistema de navegação traga para a aviação elevados níveis de segurança e eficiência. Com a melhoria no gerenciamento

das rotas aéreas e procedimentos, prevê-se também a redução de custos, a diminuição no consumo de combustível, e o alcance da interoperabilidade no espaço aéreo mundial. Este cenário constitui a motivação para realização deste trabalho.

Torna-se interessante o desenvolvimento de um sistema de comunicação que utilize o protocolo ADS-B, e que possa servir de base para estudos posteriores. Neste âmbito, visa-se desenvolver uma plataforma de comunicação ADS-B por meio de dispositivos SDRs. Os SDRs são alternativas para o desenvolvimento de sistemas de comunicação, pois constituem ferramentas de RF versáteis, que podem ser programáveis via *software*, podendo diminuir a complexidade da execução de projetos de RF. Além do menor número de componentes, possui recursos flexíveis, (é possível utilizá-la tanto nos Sistemas Operacionais WINDOWS quanto LINUX), e reprogramáveis, (pode ser projetada para diferentes aplicações). Neste trabalho, deseja-se utilizar duas placas USRPs (ou dois dispositivos USRP), (USRP 2932 ©National Instruments), para implementação do sistema de comunicação ADS-B. As funções das USRPs são programadas por meio de blocos, com o *software* livre *GNURadio*, em LINUX OS.

Uma vez estabelecida a comunicação ADS-B, os dados das aeronaves podem ser utilizados para diferentes aplicações. Entre estas aplicações destaca-se a criação de mapas de monitoramento de posição de aeronaves. Um exemplo é o *software* livre *gr-air-modes*. O *gr-air-modes* é um *software* usado para recepção de sinais ADS-B empregando USRPs. Os pacotes ADS-B, (que contém dados de longitude e latitude das aeronaves), são recebidos e decodificados, resultando em um mapa com a posição e identificação dos aviões, como apresentado na Figura 3. Neste trabalho o *software gr-air-modes* é implementado com o SDR na etapa de recepção de pacotes ADS-B.

Figura 3 – Mapa de posicionamento de aeronaves com o software *gr-air-modes*. Três aeronaves que sobrevoam a região de São Francisco - EUA.



Fonte: Bistromat, 2014.

Disponível em <<http://i.imgur.com/5Zhytm5.jpg>>

Referências Bibliográficas

DOC9750. *ICAO: Global Air Navigation Plan*. Montreal, 1991. Citado na página 13.

DOC9750. *ICAO: Global Air Navigation Plan 2016-2030*. Montreal, 2016. Citado na página 14.

DOC9854-AN/458. *ICAO: Global Air Traffic Management Operational Concept*. Montreal, 2005. Citado na página 13.

LANKFORD, T. *Understanding Aeronautical Charts*. [S.l.]: Ridge Summit, 1996. Citado na página 12.

MONTEIRO, R. F. *Aviação: Construindo a sua História*. [S.l.]: Universidade Católica de Goiás, 2002. Citado na página 12.

PORTARIA-630/GC3. *DECEA: Concepção Operacional ATM Nacional DCA351-2*. Ministerio Da Defesa, 2002. 10 p. Citado na página 13.

PORTILHO F.A. E BUKZEM, S. Os precedentes históricos da navegação aérea baseada em instrumentos: necessidade, surgimento e evolução. *Aeronautical Science*, v. 6, n. 1, p. 17–27, January-June 2015. Citado na página 12.