



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS QUIXADÁ
BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

SIDARTHA AZEVEDO LOBO DE CARVALHO

**TECNOLOGIA ADS-B NO LINUX, UMA IMPLEMENTAÇÃO DE
DECODIFICAÇÃO E PERSISTÊNCIA DE MENSAGENS**

**QUIXADÁ
2012**

SIDARTHA AZEVEDO LOBO DE CARVALHO

**TECNOLOGIA ADS-B NO LINUX, UMA IMPLEMENTAÇÃO DE
DECODIFICAÇÃO E PERSISTÊNCIA DE MENSAGENS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Graduação em Sistemas de Informação da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel.

Área de concentração: computação

Orientador Prof. Arthur de Castro Callado

**QUIXADÁ
2012**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca do Campus de Quixadá

C328t Carvalho, Sidartha Azevedo Lobo de
Tecnologia ADS-B no Linux, uma implementação de
decodificação e persistência de mensagens /Sidartha Azevedo Lobo de
Carvalho. – 2012.
25 f. : il. color., enc. ; 30 cm

Monografia (graduação) – Universidade Federal do Ceará,
Campus de Quixadá, Curso de Sistemas de Informação, Quixadá,
2012.

Orientação: Prof. Dr. Arthur de Castro Callado.
1.Regulamento de tráfego aéreo. 2. Sistemas de controle de tráfego
aéreo. 3. Tráfego aéreo
I. Título.

CDD 004.6

SIDARTHA AZEVEDO LOBO DE CARVALHO

**TECNOLOGIA ADS-B NO LINUX, UMA IMPLEMENTAÇÃO DE
DECODIFICAÇÃO E PERSISTÊNCIA DE MENSAGENS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Graduação em Sistemas de Informação da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel.

Área de concentração: computação

Aprovado em: _____ / Junho / 2012.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Arthur de Castro Callado (Orientador)
Universidade Federal do Ceará-UFC

Prof. Me. Camilo Camilo Almendra
Universidade Federal do Ceará-UFC

Profa. Dra. Paulyne Matthews Jucá
Universidade Federal do Ceará-UFC

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a toda a minha família por sempre me apoiar a continuar os estudos e a todos que se empenharam para tornar este trabalho possível, dentre todos, podemos citar o professor Arthur de Castro Callado por todo o esforço e dedicação em me ajudar a construir o trabalho e me indicar locais de estudo. À professora Paulyne e ao professor Camilo pelas sugestões de melhoria dadas na apresentação do projeto.

"A vida é uma aprendizagem diária. Afasto-me do caos e sigo um simples pensamento:
quanto mais simples, melhor!"
(José Saramago)

RESUMO

O trabalho faz um levantamento bibliográfico sobre as tecnologias de monitoramento aéreo, com foco na tecnologia *Automatic Dependent Surveillance – Broadcast* (ADS-B) e mostra projetos de implantação da tecnologia ADS-B em diversos países. Explica um macro projeto de decodificação das mensagens ADS-B, criação da infraestrutura necessária para a interligação de diversos pontos de acesso com receptores ADS-B e a comunicação com uma base central de compartilhamento das informações dos receptores. Demonstra como deve ser feita a interpretação das mensagens codificadas pelo Modo-S e implementa um aplicativo que realiza o processo de detecção dos tipos das mensagens ADS-B e como extrair as informações importantes da mensagem.

Palavras chave: Regulamento de tráfego aéreo, Sistemas de controle de tráfego aéreo, Tráfego aéreo.

ABSTRACT

This work is a literature mapping on air monitoring technologies, with focus on the Automatic Dependent Surveillance - Broadcast (ADS-B) technology and shows projects of ADS-B technology deployment in several countries. It explains a macro project of decoding ADS-B messages, creating the infrastructure necessary to interconnect various access points with ADS-B receivers and communication with a central database for sharing information of nodes. It also demonstrates how it should be made to interpret the messages encoded by the Mode-S and implements an application that performs the detection process of the types of ADS-B messages and how to extract the important information of the messages.

Keywords: Regulation of air traffic, Systems control for air traffic, Air traffic.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Base Station	11
Figura 2 - Plane Potter	12
Figura 3 - Funcionamento Radares. Fonte: ADS-B Technologies, 2012.....	17
Figura 4 - Funcionamento ADS-B. Fonte: ADS-B Technologies, 2012.....	18
Figura 5 - Cobertura ADS-B Hudson Bay. Fonte: BARSHESHAT, 2011	21
Figura 6 - Mensagem DF 17. Fonte: (HICOK et al, 1998)	23
Figura 7 - Organização dos nós	25
Figura 8 – Exemplo de PlugComputer. Fonte: (GURUPLUG, 2012)	26
Figura 10 - Organização do nó	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 ORGANIZAÇÃO AÉREA NO BRASIL.....	13
2.2 PADRÕES DE MONITORAMENTO	15
2.2.1 RADARES CONVENCIONAIS	16
2.2.2 ADS-B.....	17
3 NOSSO PROJETO.....	21
3.1 PROJETO MAIOR	25
4 METODOLOGIA.....	27
5 CENÁRIOS (EXPERIMENTOS)	27
6 DESAFIOS	30
7 APLICATIVO	30
7.1 Banco de Dados	31
7.2 Estrutura do Programa	32
8 RESULTADOS	34
REFERÊNCIAS	35

I - LISTA DE SIGLAS

ADS-B - Automatic Dependent Surveillance – Broadcast

ANSP - Air Navigation Service Providers

CINDACTA - Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo

COMDABRA - Comando de Defesa Aeroespacial Brasileiro

DTCEA - Destacamentos de Controle do Espaço Aéreo

CPR - Compact Position Reporting

GNSS - Global Navigation Satellite System

IDC - International Data Corporation

FAA - Federal Aviation Administration

NASA - National Aeronautics and Space Administration (EUA)

RPM – Rotações por minuto

SSR - Secondary Surveillance Radar

SMR - Surface Movement Radar

1 INTRODUÇÃO

O tráfego aéreo mundial está em forte ascensão em todo o mundo. Na América Latina, a previsão de crescimento de 2007 até 2025 é de 239% (STANISCIA, 2007). Assim, o uso de uma tecnologia que permita monitoramento hábil e a baixo custo é uma das principais necessidades das grandes empresas aeronáuticas. Nesse contexto, a tecnologia ADS-B (*Automatic Dependent Surveillance – Broadcast*, ou Vigilância Automática Dependente-Difusão) se destaca por contar com esses benefícios. O ADS-B permite o monitoramento da aeronave que o utiliza em vários aspectos, como ser visto por estações de base e por outras aeronaves, melhorando significativamente a previsão de desastres. A tecnologia ADS-B, por utilizar uma tecnologia bastante difundida atualmente e com uma abrangência bem maior que os radares terrestres de rastreamento das aeronaves, permite que aviões informem sua rota, velocidade e atual posição utilizando o GPS (*Global Positioning System*, ou Sistema de Posicionamento Global).

Há uma incompletude da cobertura da tecnologia ADS-B no Brasil. O software disponibilizado pelo fabricante do receptor que é utilizado para o reconhecimento das informações, somente está disponível na plataforma Windows e não possui suporte a plataformas livres, como o Linux. Os usuários que tentaram achar algum software para utilizar a tecnologia ADS-B no Linux acabaram tendo que utilizar virtualização para executar o software desenvolvido para um único sistema operacional, o que acarreta dependência de sistema operacional e conseqüentemente compatibilidade e desempenho são afetados negativamente (KINETIC, 2011).

O software desenvolvido pela Kinetic Avionic é o BaseStation. Temos também o Plane Potter. Ambos são privados e só operam em plataformas Windows.

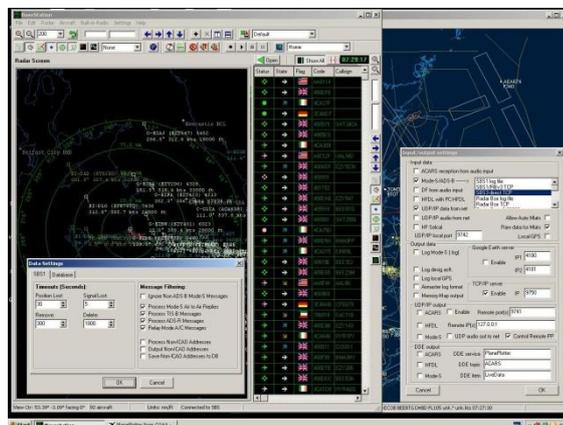


Figura 1 - Base Station

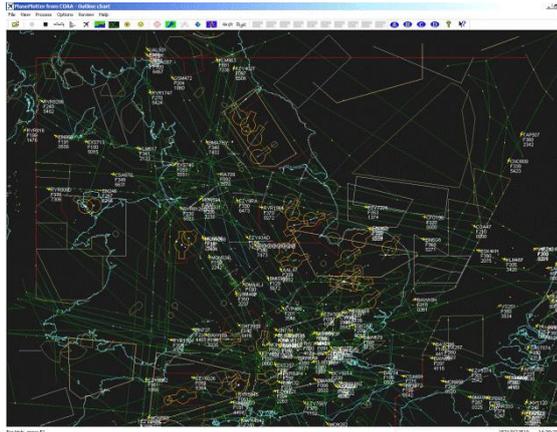


Figura 2 - Plane Potter

O sistema desenvolvido por este trabalho pode ser usado por um usuário mais específico que conhece a tecnologia ADS-B e pode utilizar o aplicativo gerado para decodificar as mensagens recebidas do receptor ADS-B.

De acordo com nosso levantamento bibliográfico não há projetos semelhantes e funcionais ao proposto por este trabalho. Dessa forma, esse trabalho traz uma contribuição para a tecnologia: os artefatos produzidos por este projeto são de acesso livre e estão disponíveis a quem interessar.

Dentre os projetos encontrados, podemos citar o ADSB-PGR, 2012 onde não há um tratamento para identificar o tipo da mensagem ADS-B recebida e nem a persistência no banco de dados local. Isso difere do nosso trabalho, pois o nosso identifica a mensagem e persiste no banco de dados às informações extraídas da mensagem. Também encontramos o SBSTOOLS, 2012 que se propõe a realizar um filtro nas informações dos voos em um banco MySQL pela localização geográfica do voo. E por fim, encontramos o Adsb-viewer que não está mais disponível por questões pessoais do autor, mas se propunha a realizar a interpretação das informações dos receptores ADS-B.

Esperamos que esse projeto seja o fomentador de vários outros projetos voltados para a disseminação e uso da tecnologia ADS-B, proporcionando que outros usuários possam desfrutar dos benefícios da tecnologia.

Os resultados esperados para este projeto são que os artefatos gerados sejam utilizados em outros projetos para auxiliar os usuários na decodificação das mensagens ADS-B. Sabendo que o tráfego aéreo mundial está em crescimento (STANISCIA, 2007), possuir uma tecnologia que permita o monitoramento das aeronaves em tempo real é um ponto positivo para a população, mas não é correto possuir a dependência de plataforma como a que

há atualmente, onde os receptores ADS-B só funcionam na plataforma Windows e com um software privado.

Este trabalho tem por objetivo desenvolver um aplicativo que identifique as mensagens ADS-B pelo seu tipo, extraia informações da mensagem e as armazene em um banco de dados local. O trabalho maior ao qual este faz parte tem por objetivos permitir que vários *PlugComputers* em locais distintos possam coletar informações de seus respectivos receptores ADS-B (usando este trabalho) e enviar essas informações para um servidor centralizado, construir um software que proporcione a comunicação dos diversos pontos da rede com o servidor central e um software no servidor que irá manipular as informações recebidas pelos nós da rede, tratar e armazenar em um banco de dados público.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O *transponder* ADS-B emite os sinais de rádio em forma de *broadcast*, e por isso, qualquer entidade pode ter acesso a essas informações desde que possua um receptor ADS-B. Este é um item obrigatório para as aeronaves de uso comercial, sendo que algumas de uso militar não possuem o *transponder*, pois utilizam outra tecnologia para comunicação, um protocolo privado do seu governo.

SBS-1er (AVIONICS, 2012) é um equipamento que, combinando hardware e software, permite visualizar aeronaves que utilizam a tecnologia ADS-B e também as que estão em modo-S, (JAVIATION, 2011) que é o *Secondary Surveillance Radar* (SSR). Os dois modos de operação proveem várias informações da aeronave como altitude, longitude, velocidade, identificador único e linha aérea (companhia e número do voo).

2.1 ORGANIZAÇÃO DO CONTROLE AÉREO NO BRASIL

No Brasil, o controle de tráfego aéreo é implementado pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), vinculado ao Ministério da Defesa. Tal controle é feito em três níveis (e suas abreviações): Torre de Controle (também chamado TWR), Controle de Aproximação (APP) e Controle de Área (ACC). Os níveis são detalhados a seguir.

A Torre de Controle é responsável pelos controles iniciais e finais de um voo, participando da avaliação/autorização do plano de voo (criado pelo piloto antes da

decolagem) e também da autorização e controle da decolagem e do pouso de aeronaves. Uma torre de controle tem o escopo de um aeroporto (uma ou mais pistas).

O Controle de Aproximação tem como objetivo controlar o tráfego aéreo em uma região de concentração de aeroportos. Seu objetivo é ordenar os vôos que chegam e saem para evitar colisões de aeronaves próximas aos aeroportos. Tipicamente, um ACC tem o escopo de uma região metropolitana, com um ou mais aeroportos.

O Controle de Área faz o acompanhamento das aeronaves no país que estão fora do alcance de TWRs e de ACCs. Tal sistema é implementado através dos CINDACTAs citados anteriormente.

Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (CINDACTA) é a entidade que exerce as atividades de controle do tráfego aéreo comercial e militar, vigilância do espaço aéreo e comando das ações de defesa aérea no Brasil. É dividido em quatro unidades que são:

O CINDACTA I dispõe de 18 Destacamentos de Controle do Espaço Aéreo (DTCEA) onde estão localizados os meios, sistemas e equipamentos que dão suporte às suas operações. Eles estão instalados em áreas estratégicas, nos estados do Mato Grosso, Goiás, Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo, além do Distrito Federal (DTCEA, 2011a).

O CINDACTA II, sediado na cidade de Curitiba, Paraná, é um elo permanente do Sistema de Controle do Espaço Aéreo (SISCEAB) e do Comando de Defesa Aeroespacial Brasileiro (COMDABRA). Atualmente é responsável pela Região de Informação de Voo (FIR) sobrejacente aos estados do Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro e parte de São Paulo, Mato Grosso, Goiás e Espírito Santo (DTCEA, 2011b).

O CINDACTA III, com sede na cidade de Recife, Pernambuco, atua no espaço aéreo nordestino e numa vasta área sobre o Oceano Atlântico - das proximidades da costa brasileira ao meridiano 10 w. Tem como uma de suas peculiaridades a operação ininterrupta no importante corredor de rotas entre os continentes sul-americano e europeu. Praticamente todos os voos vindos da América do Sul, com esse destino, cruzam o espaço aéreo sob a tutela do órgão (DTCEA, 2011c).

O CINDACTA IV é responsável pela cobertura de cerca de 60% do território nacional, o CINDACTA IV atua em uma área de 5,2 milhões de quilômetros quadrados,

abrangendo os estados do Amazonas, Pará, Roraima, Rondônia, Amapá, Acre, Mato Grosso, Tocantins e parte do Maranhão (DTCEA, 2011d).

Há projetos no Brasil que utilizam a tecnologia ADS-B e dividem as informações de seus receptores privados de forma pública, podemos citar o TelaRadar (TELARADAR, 2011) com instalações que cobrem o aeroporto de Amparo em São Paulo, o AeroVix (AEROVIX, 2011) com instalações que cobrem a cidade de Vitória no estado do Espírito Santo, os dois com transmissão ao vivo pela internet das informações coletadas pelos seus receptores ADS-B. Esses projetos contam com a cobertura somente de seus receptores ADS-B locais, e poderão ser incrementados com o uso do software produzido por este trabalho para que possam aumentar sua abrangência e compartilhar informação de forma mútua.

2.2 PADRÕES DE MONITORAMENTO

Os padrões de monitoramento são as tecnologias utilizadas para o monitoramento e controle das aeronaves, temos os radares convencionais e a tecnologia ADS-B. O Radar, desenvolvido pelos ingleses quase ao término da Segunda Guerra Mundial é baseado no sistema de orientação dos morcegos. Como se sabe os morcegos são quase cegos, mas a natureza os dotou de um sofisticado mecanismo de orientação para que pudessem voar a grandes velocidades sem colidir com obstáculos, a despeito de sua baixa capacidade de visão. Os morcegos emitem uma espécie de ruído (que nada mais é do que uma onda de som) que, ao encontrar um obstáculo, é rebatida de volta em direção a ele. Tão pronto o morcego recebe esta onda de som de volta, ele sabe exatamente do que se trata, por exemplo, se é um objeto grande e sólido, se é um inseto, uma fruta ou um pássaro. Tudo isto ocorre com grande rapidez.

O morcego tem, portanto, em seu corpo, um transmissor e na mesma estrutura, também um receptor. A trajetória de vôo de um morcego é, assim, escolhida através da análise de uma infinidade de gritos e seus retornos. O Radar adotou o mesmo princípio, isto é, imaginou-se transmitir ao espaço (ao invés de um grito) um pulso eletromagnético e, na mesma antena ou sistema irradiante, colocar um receptor para receber de volta o pulso emitido. Se um pulso destes jamais voltasse, significaria que não havia colidido com nada sólido, logo, não havia nada no espaço. Porém, se o pulso voltasse, significaria que havia colidido com algo sólido, e o sinal de retorno, em função do tempo poderia ser mostrado como um ponto luminoso numa tela radar.

Quanto mais rápido aquele pulso retornasse, mais perto estaria o alvo e da mesma forma, quanto mais demorasse a retornar, mais distante estava o objeto. Assim é possível além de identificar a posição do alvo, conhecer-se sua distância da antena emissora. Assim funciona um radar, em tese, um mecanismo de identificação altamente eficaz do movimento de corpos sólidos no espaço. A revolução provocada pelo advento dos radares foi extraordinária e o radar ainda hoje é considerado uma das mais significativas ferramentas com que se pode dispor para o monitoramento, defesa e controle do tráfego aéreo no mundo (PAULLO, 2006).

2.2.1 RADARES CONVENCIONAIS

Como tecnologia de monitoramento mais difundida atualmente, temos os radares terrestres, onde o *Surface Movement Radar* (SMR) é usado desde a década de 60. O SMR é um dos vários mecanismos de monitoramento e é usado, dentre várias coisas, para evitar colisões, usa-se também o *Global Positioning System* (GPS) e mais recentemente a tecnologia ADS-B. Os radares terrestres ainda são um ponto chave para o monitoramento das aeronaves (PERL, 2006). Há características que os radares devem possuir, que são:

1. Ter no mínimo 60 Rotações por minuto - RPM, pois as detecções não podem ser menores que uma por segundo;
2. Ser capazes de detectar mesmo em situações de forte chuva e é nessas situações que o radar é mais necessário;
3. Alta precisão, para que pegue a posição exata do objeto, dentre outros.

Os radares fixos têm algumas limitações. A mais conhecida de todas elas são aquelas relativas à altitude em que se encontram os alvos. Se alguém voa muito próximo ao solo, pode "passar por baixo" dos feixes eletromagnéticos dos radares e não ser detectado. Para contornar essa limitação, já existem radares aeroembarcados (instalados a bordo de aviões) que visualizam o espaço aéreo de cima para baixo e podem detectar qualquer movimento aéreo independentemente da altura em que estejam voando. Juntos, os radares fixos e os aeroembarcados formam uma espécie de teia eletrônica. Para a defesa aérea de um território este conjunto de radares é indispensável (PAULLO, 2006).

2.2.2 ADS-B

Muito diferente dos radares, que trabalham enviando ondas de rádio a partir de antenas terrestres fixas e interpretando esses sinais refletidos, a tecnologia ADS-B utiliza o sistema de posicionamento global e uma tecnologia relativamente simples de transmissão de dados entre seus componentes básicos, além disso, ao contrário do radar a tecnologia ADS-B não sofre tanto com a degradação do sinal por condições atmosféricas e por distância, ou altitude ou tempos de atualização, não depende de uma velocidade rotacional ou antenas mecânicas (ADS-B Technologies, 2012).

Em sua aplicação típica, a aeronave com ADS-B usa um sistema de satélites (GPS, Galileo, etc) para obter a sua posição exata, adiciona esse valor a outras informações da aeronave, como velocidade, altitude, direção e número de voo. Esta informação é transmitida simultaneamente para as aeronaves que possuem um *transponder* ADS-B e também para entidades no solo ou para satélites de comunicação que retransmitem essa informação para a terra (ADS-B Technologies, 2012).

A figura 3 exemplifica o uso dos radares convencionais e como eles podem detectar aeronaves no espaço aéreo. O radar em terra envia um sinal de rádio que ao chegar ao *transponder* da aeronave é respondido e provê a sua localização. O tempo médio de retorno é de 12 segundos, para uma aeronave que voa a aproximadamente 900 km/h ou 0.256388889 km/s, a sua posição pode variar em até 3 quilômetros da posição informada quando a informação chegar ao radar.

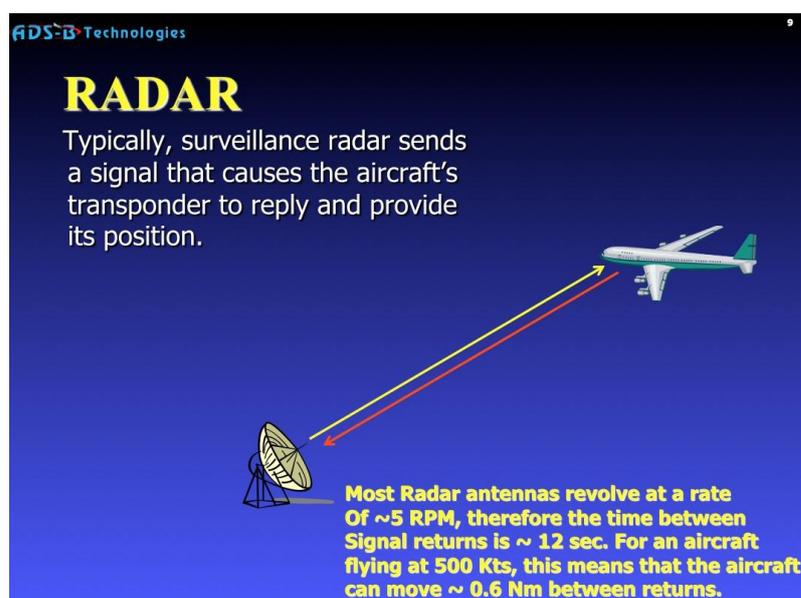


Figura 3 - Funcionamento Radares. Fonte: ADS-B Technologies, 2012

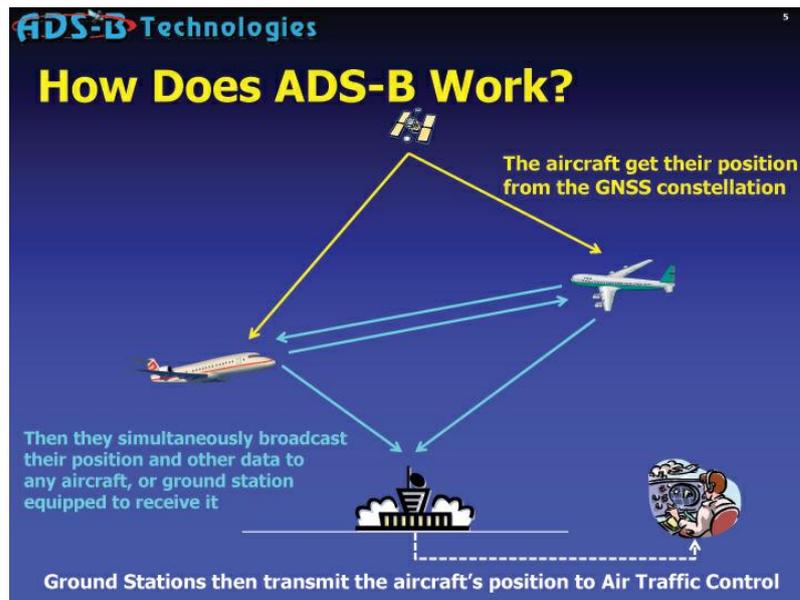


Figura 4 - Funcionamento ADS-B. Fonte: ADS-B Technologies, 2012

A figura 4 exemplifica o uso da tecnologia ADS-B, a aeronave que utiliza a tecnologia pode informar a sua localização e outras informações para outra aeronave em voo, para um satélite que irá replicar essa informação para outras aeronaves e para a base terrestre e para as estações terrestres de monitoramento, só é necessário que todos possuam o suporte a tecnologia ADS-B, esse suporte é caracterizado pela presença do *transponder* nas aeronaves ou dos receptores ADS-B nas bases terrestres.

A tecnologia ADS-B é usada em todo o mundo como uma alternativa para uma Vigilância Secundária por Radar (SSR). Implementar a tecnologia ADS-B provê vários benefícios para os *Air Navigation Service Providers* (ANSPs) e aviação comercial. Seus Custos de aquisição e manutenção são baixíssimos quando comparado aos radares convencionais (BARSHESHAT, 2011). Os ANSPs são as agências reguladoras do espaço aéreo, geralmente cada país possui a sua, mas pode haver casos de um país possuir mais de uma, onde cada conjunto de estados possui a sua agência reguladora. No Brasil a agência reguladora é o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), a *Federal Aviation Administration* (FAA) nos E.U.A., o *National Air Traffic Services* (NATS) no Reino Unido, dentre outros. A agência reguladora que possui maior poder é a *Civil Air Navigation Services Organisation* (CANSO) localizada em Amsterdam, ela é responsável pela criação e manutenção das outras ANSPs.

A tecnologia ADS-B é a base do futuro do monitoramento aéreo em todo o mundo, as aeronaves precisam estar equipadas com os emissores ADS-B para permitir a tecnologia ser implantada (KUNZI, 2011).

A tecnologia ADS-B irá substituir os radares convencionais, a FAA - *Federal Aviation Administration* publicou uma regra que até 2020 todas as aeronaves devem estar equipadas com a tecnologia ADS-B (FAA et al KUNZI, 2011).

O receptor ADS-B é um *hardware* preparado para receber sinais por ondas de rádio emitidas por um *transponder* ADS-B e transformar esses sinais em informação, essa informação contém as características do remetente, tais como: localização, velocidade, voo, altitude e código da aeronave. A partir dessas informações básicas, podemos aplicar heurísticas para inferir outras informações, tal como o local de partida e destino, localização no globo terrestre, tempo aproximado para a chegada, etc. O *transponder* é um item que compõe uma aeronave, é utilizado para a comunicação da aeronave com as bases terrestres.

A FAA define sobre a tecnologia ADS-B: “... is FAA's satellite-based successor to radar. ADS-B makes use of GPS technology to determine and share precise aircraft location information...” (FAA, 2011). Em uma tradução livre para o português temos que ADS-B é um sucessor para os radares da FAA (*Federal Aviation Administration*, a agência que regula a aviação nos Estados Unidos), porque traz informações mais precisas ao fazer uso da tecnologia GPS para determinar e compartilhar a posição precisa da aeronave.

A tecnologia ADS-B permite aos pilotos e aos controladores de tráfego aéreo ver e controlar aeronaves com mais precisão. O nome ADS-B é uma abreviação de *Automatic Dependent Surveillance – Broadcast*. É *Automatic*, pois não necessita de operador, *Dependent*, pois é uma tecnologia confiável e é possível depender dela, ela precisa do sinal de um GNSS (*Global Navigation Satellite System*) para fornecer as coordenadas latitude e longitude, *Surveillance* pois fornece o serviço de monitoramento como um radar e *Broadcast* pois é um sinal emitido repetidamente (sem necessidade de pedido) em todas as direções permitindo a qualquer aeronave ou estação de base que possua um receptor ADS-B realizar a sua recepção e decodificação.

a) **EXEMPLOS DE IMPLANTAÇÃO DA TECNOLOGIA**

Podemos perceber que todos os países possuem no mínimo um aeroporto e, onde há tráfego aéreo, é necessário utilizar radares aéreos para controle do tráfego. Esse é o cenário mundial atual, com radares terrestres distribuídos em pontos estratégicos a fim de cobrir a maior quantidade de área com menor custo, mas a infraestrutura necessária ao funcionamento dos radares terrestres é muito cara, o que inviabiliza manutenções e reparos necessários. Isso causa uma grande quantidade de problemas que resultam em acidentes. Mais informações sobre radares terrestres e os cenários mundial e Brasileiro de uso de radar podem ser encontrados em Gillen (1996).

Em BARSHEMAT, 2011 é feito um levantamento estrutural e financeiro da adoção da tecnologia ADS-B no Canadá, a primeira fase do projeto se propõe a cobrir a área do Hudson Bay, no Canadá, com cerca de 250.000nm² (milhas náuticas quadradas – uma milha náutica mede 1852 metros) e possui pouca ou nenhuma comunicação ou monitoramento. Este local foi escolhido por ter um tráfego de aproximadamente 35 mil voos por ano. Uma estrutura com radares convencionais foi descartada pelo elevado custo de aquisição dos equipamentos, montagem e manutenção do mesmo, sendo avaliado em aproximadamente \$10M (dez mil) a \$18M (dezoito mil) por radar e necessária de 22 (vinte e dois) pontos de monitoramento para cobrir a área. Já utilizando a tecnologia ADS-B, os custos caem e a área de cobertura aumenta, sendo necessárias apenas cinco estações de monitoramento.

Outra análise da implantação da tecnologia ADS-B pode ser encontrada em HARMAN, 2002, uma análise sobre Frankfurt. Os testes foram realizados sobre a cidade de Frankfurt e cobriram uma área de 200 milhas náuticas para o norte e 200 milhas náuticas para o sul, perfazendo um total de 5 (cinco) dias de testes. Os testes foram para avaliar a quantidade de interferência na banda de 1090 Mhz, onde foi confirmado haver muitas interferências nessa banda por conta de uso civil e militar.



Figura 5 - Cobertura ADS-B Hudson Bay. Fonte: BARSHESHAT, 2011

Há vários projetos de implantação da tecnologia ADS-B espalhados pelo mundo, um dos exemplos é o projeto de implantação da tecnologia em toda a Europa até 2015, em primeiro momento serão inseridas torres de monitoramento ADS-B de forma ordenada, mas sem quaisquer medidas de padronização e regras, e em segundo momento será feita a padronização e certificação dos aparelhos para o pleno funcionamento (REKKAS, 2008).

Outro projeto, mais específico, o Cristal-MED se propõe a fazer uma análise da implantação da tecnologia ADS-B na Itália, é coordenado pelo ENAV CNS/ATM *Experimental Centre* (CEDRINI, 2008).

3 NOSSO PROJETO

O projeto desenvolvido por este trabalho tem por objetivos fazer um decodificar de mensagens ADS-B, onde este aplicativo será capaz de identificar, a partir de uma string padrão de mensagens ADS-B qual o formato da mensagem. Identificado o tamanho da mensagem, se DF11 (56 bits) ou DF17 (112 bits), podemos inferir a partir de outros dados o

tipo da mensagem (posição, velocidade ou identificação) e extrair os dados de cada mensagem. Cada tipo de mensagem possui uma organização de bits diferente e por isso a necessidade de identificar qual o tipo da mensagem antes de extrair as informações.

As mensagens ADS-B enviadas por *broadcast* pelo *transponder* da aeronave, são classificadas em 5 (cinco) tipos e utilizam uma técnica para formar o conjunto de mensagens chamado de *Mode-S* [SPALDING, 2002]. Os tipos de mensagens segundo [AUTOMATIC, 2006] são:

1. Posição aeronave (No chão e em voo);
2. Velocidade;
3. Identidade;
4. Trajetória;
5. *Status*.

Para o presente trabalho, só serão utilizadas as 3 (três) primeiras mensagens. O tempo de reenvio das mensagens é de 1 segundo para cada mensagem de posição e velocidade e 0.2 segundos para identidade. O sistema maior ao qual este faz parte é um sistema de monitoramento de aeronaves baseado localização, só precisaremos a principio da mensagem de posição, velocidade e identidade, isso serve para justificar o porque de somente as 3 mensagens.

Quanto ao tamanho das mensagens, temos 2 (dois) tamanhos que iremos utilizar, as mensagens curtas, chamadas de DF 11 com 56 bits de comprimento e as mensagens longas (com um conjunto de campos extra, chamado *extended squitter*), chamadas de DF 17 com 112 bits. [EOSAN, 2012]

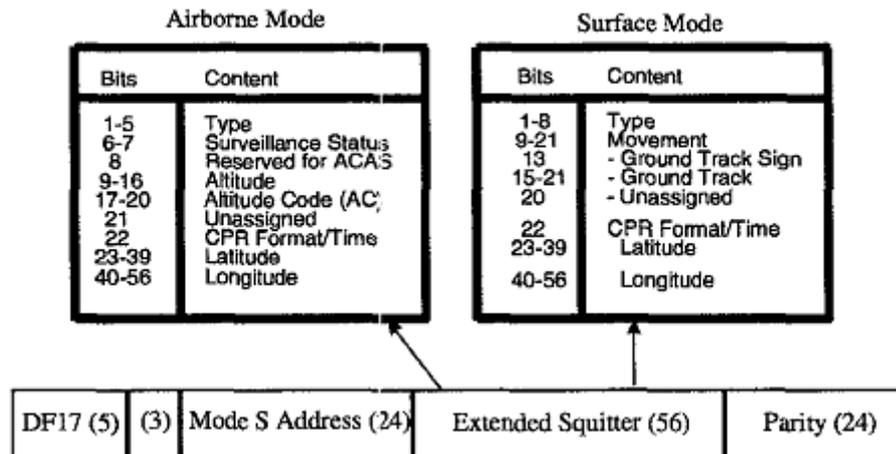


Figura 6 - Mensagem DF 17. Fonte: (HICOK et al, 1998)

A mensagem de posição é recebida em uma mensagem do tipo DF17 com 112 bits. As outras duas mensagens estão em processo de pesquisa. Cada mensagem enviada pelo receptor possui 56 bits de cabeçalho e paridade e 56 bits para informações da mensagem. A tabela abaixo sintetiza a divisão em bits da mensagem DF 17.

A *International Civil Aviation Organization* (ICAO) é a entidade responsável por manter a ordem do espaço aéreo, regulariza padrões e emite regulamentações para a aviação. O ICAO *Address* é um identificador atribuído a toda aeronave que opere no Modo-S, esse identificador é único em todo o globo terrestre e serve para identificar a aeronave. Também é usado no sistema de detecção de colisão e por isso não pode haver duplicações dos endereços.

Tabela 1 - Mensagem ADS-B geral.

Bits	1 - 5	6 - 8	9 - 32	33 - 88	89 - 112
Descrição	Tipo da Mensagem (DF 11 ou DF 17)	Código do tipo	ICAO <i>Address</i> ou Mode-S <i>Address</i>	Mensagem	Paridade

Nos 56 bits de dados da mensagem, temos a seguinte divisão para mensagens emitidas em voo:

Tabela 2 - Mensagem ADS-B em voo, 56 bits de dados.

Bits	1 - 5	6 - 7	8	9 - 16	17 - 20	21	22	23 - 39	40 - 56
Descrição	Tipo	Status	Reservado	Altitude	Código altitude	Reservado	Formato CPR	Latitude	Longitude

O tipo refere-se ao tipo da mensagem recebida, se ela é uma mensagem de posição, velocidade, identificação, trajetória ou *status*. É importante lembrar que a latitude e longitude são dadas na codificação CPR e é necessária uma conversão para o formato de latitude e longitude global. O item da tabela chamado de formato CPR refere-se à codificação usada, se é par ou ímpar (*EVEN/ODD*).

Nos mesmos 56 bits da mensagem citados acima, temos outra divisão para mensagens emitidas em terra.

Tabela 3 - Mensagem ADS-B em ar, 56 bits de dados.

Bits	1 - 8	9 - 21	13	14	15 - 21	20	22	23 - 39	40 - 56
Descrição	Tipo	Movimento	<i>Ground Track Sign</i>	<i>Ground Track</i>	Reservado	Reservado	Formato CPR	Latitude	Longitude

Um dos pontos mais trabalhosos foi a decodificação da mensagem de posição, visto que a latitude e longitude são dadas no formato CPR (*Compact Position Reporting*) (ROCKWELL, 2006). Para realizar a decodificação de uma mensagem no formato CPR é preciso possuir pelo menos duas mensagens ADS-B de posições consecutivas da mesma aeronave (uma no modo EVEN e outra no modo ODD, identificados pelo bit 22 ou formato CPR), com a primeira calculamos o piso mínimo e com a segunda o piso máximo e é feito uma espécie de média levando em consideração o espaço do globo onde a mensagem foi captura.

3.1 PROJETO MAIOR

O modelo Cliente-Servidor (MENDES, 2002) é um padrão arquitetural para a construção de aplicações de software que necessitam de comunicação entre os nós da rede, utilizando uma abordagem onde temos as máquinas Cliente ou nós nas extremidades da rede, no centro da rede temos um nó Servidor. Partindo desses conceitos, iremos utilizar esse padrão para a construção da nossa infraestrutura. Onde definimos os nós da rede como sendo compostos por um *PlugComputer* ligado diretamente a um receptor ADS-B, chamaremos essa dupla de dispositivos somente de Nó na nossa rede, o computador central responsável pelo gerenciamento da rede, chamaremos somente de Servidor. A figura 7 pode exemplificar melhor o funcionamento do projeto maior, onde cada nó estará ligado a um receptor ADS-B, este nó enviará as informações coletadas do receptor e persistirá no seu banco de dados local, a partir da disponibilidade da internet no nó, essas informações são enviadas para o servidor central que será responsável por analisar, tratar e persistir essas mensagens tratadas em um banco de dados públicos e a partir daí, gerar informações sobre as aeronaves em uma interface WEB.

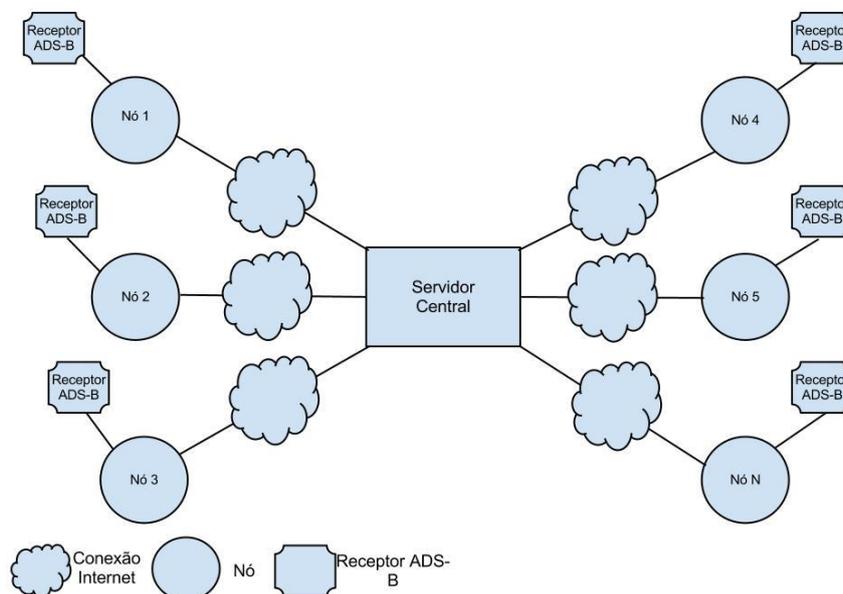


Figura 7 - Organização dos nós

Pretendemos utilizar como nós, os computadores *PlugComputer* (PLUGCOMPUTER, 2011), que são menores que os computadores pessoais e mais baratos,

evitando gastos financeiros excessivos e maior possibilidade de instalação de pontos receptores em locais de difícil acesso e pouca infraestrutura tecnológica.



Figura 8 – Exemplo de PlugComputer. Fonte: (GURUPLUG, 2012)

O *PlugComputer* da Figura 8 possui uma interface de comunicação RJ45 e várias USBs, poderíamos utilizar a RJ45 para a comunicação com a Internet e a USB para a comunicação com o receptor ADS-B. Os PlugComputers possuem aproximadamente 8cm de comprimento e 5 cm de largura e 3 cm de altura podendo variar de acordo com cada modelo.

No projeto de distribuição das informações dos voos de forma livre, que é um projeto maior, temos três sistemas bem definidos, que são:

- Aplicativo decodificador
 - Responsável por extrair informações das mensagens ADS-B e persistir essas informações no banco de dados local
- Aplicativo dos nós
 - Enviar as informações coletadas para um servidor central periodicamente
- Aplicativo servidor central
 - Recebe as mensagens de vários nós e armazena essas informações no banco de dados público
 - Produzir informações públicas a partir dessas capturas, por informações podemos entender como o identificador da aeronave, sua posição no

sistema de localização global (latitude e longitude), altitude, plano de voo (local de partida e chegada), dentre outras.

O primeiro sistema, o Aplicativo decodificador é o software proposto neste trabalho, ele será responsável por identificar qual o tipo da mensagem recebida e a partir dessa decisão extrair as informações pertinentes aquele tipo de mensagem e persistir em um banco de dados local esses dados tratados para uso pelo outro sistema.

4 METODOLOGIA

Devido à tecnologia ADS-B ainda não ser muito difundida no meio acadêmico brasileiro, tivemos que fazer várias pesquisas para entender o funcionamento da mesma. Em primeira ação, montamos uma infraestrutura básica para funcionamento do receptor ADS-B, utilizamos um receptor ADS-B de modelo SBS-1er, uma antena receptora de aproximadamente 1 metro e um computador ligado ao SBS-1er.

Ainda no âmbito da pesquisa, descobrimos que o SBS-1er utiliza alguma forma de codificação das suas mensagens de forma que é impossível para um não especialista no assunto poder extrair qualquer informação a partir das mensagens recebidas pelo receptor sem aplicar o decodificador apropriado. Por falta de documentação completa e materiais de pesquisa, foi gasto muito tempo tentando entender o funcionamento dessa codificação.

Utilizamos fragmentos de diversos documentos encontrados em diversos sites, tais como: agências de manutenção do espaço aéreo de diversos países, fóruns de entusiastas pela tecnologia ADS-B, *home pages* de pessoas que trabalham com a tecnologia, entre outras.

5 CENÁRIOS (EXPERIMENTOS)

Para validar os dados capturados com nossos estudos, fizemos alguns testes com strings de mensagem ADS-B aleatórias, ficou constatado que as mensagens capturas condizem com a região geográfica onde foram capturadas.

É sabido que para realizar a decodificação da mensagem de posição, é necessário possuir duas mensagens ADS-B de posição, ou seja, com iniciais '8' e 'D', serem consecutivas e possuírem o bit 22 indicando 1 e a outra mensagem indicando 0. Estes bits são necessários por uma restrição do formato CPR.

Um dos exemplos utilizados foi este, para uma mensagem de posição:

String 1: 8D75804B580FF2CF7E9BA6F701D0

String 2: 8D75804B580FF6B283EB7A157117

Primeiro removemos o indicador da mensagem de posição, o '8D', após isso, os outros 6 bytes posteriores são o ICAO *Address* da aeronave e também podem ser excluídos da string para os cálculos da altitude, latitude e longitude.

Agora possuímos essas strings:

String 1: 580FF2CF7E9BA6 ou
01011 000 000011111111 0 0 1011001111011111 01001101110100110

String 2: 580FF6B283EB7A ou
01011 000 000011111111 0 1 10101100101000001 11110101101111010

Do bit 9 ao 20 temos a altitude, o 22 indica o formato CPR, do 23 ao 39 a latitude codificada pelo formato CPR e do 40 ao 56 temos a longitude codificada pelo formato CPR. O CPR utiliza várias funções que devem ser conhecidas antes do início da decodificação, são elas:

1. Função Floor, é a função que retorna um arredondamento de um número.
2. Nb, número de bits para decodificação, podem ser 17 para mensagens emitidas em voo e 19 para mensagens emitidas em solo.
3. Função MOD(x,y), função para retorno do módulo de um número, deve ser sempre positiva.
4. NL(x), função que retorna valores baseado em uma tabela pré-definida de divisões do globo terrestre, deve sempre retornar de 1 a 59. A tabela está disponível em MAYNARD, 2002.

Vamos iniciar a decodificação, extraindo os bits da latitude e longitude da String 1 e String 2:

Latitude-1: 10110011110111111 ou 92095 decimal

Latitude-2: 10101100101000001 ou 88385 decimal

Longitude-1: 01001101110100110 ou 39846 decimal

Longitude-2: 11110101101111010 ou 125818 decimal

Calculamos o índice j:

Função $\text{Floor}(\text{Int}(((59 * \text{Lat}(0) - 60 * \text{Lat}(1)) / 131072) + 0.5))$. Isso nos dá $j = 1$.

Calculamos a latitude e longitude relativa. Rlat-1 e Rlat-2:

$$\text{Rlat-1} = 6 * (\text{MOD}(j, 60) + \text{Lat-1} / 131072)$$

$$\text{Rlat-2} = 360/59 * (\text{MOD}(j, 59) + \text{Lat-2} / 131072)$$

então

$$\text{Rlat-1} = 10.2157745361328$$

$$\text{Rlat-2} = 10.2162144547802$$

Devemos olhar na tabela o NL de Rlat-1 e NL de Rlat-2. Então:

$\text{NL}(\text{Rlat-1}) = 59$ e $\text{NL}(\text{Rlat-2}) = 59$, os dois tem que ser iguais, se em algum momento não forem, é porque os cálculos foram feitos errado ou as mensagens são consecutivas.

Calculamos o n_i , é o maior número entre 1 e $\text{NL}(i) - i$:

$$n_i = 58$$

$$\text{Então } \text{Dlon}(i) = 360/n(i), \text{ logo } \text{Dlon}(1) = 6.20689655172414$$

Precisamos calcular agora o índice de longitude, nesse caso o $T = 1$, pois é uma mensagem ODD.

$$M = \text{Floor}((((\text{Lon}(1) * (\text{nl}(T) - 1)) - (\text{Lon}(2) * \text{nl}(T)))) / 131072) + 0.5)$$

$$M = -39$$

Agora vamos para o passo final, calcular a longitude global:

$$\text{Lng} = \text{Dlon}(T) * (\text{MOD}(M, n_i) + \text{Lng}(T) / 131072)$$

$$\text{Lng} = 123.889128586342$$

Agora temos a latitude e longitude da aeronave:

$$\text{Latitude: } 10.2162144547802 \text{ e Longitude: } 123.889128586342$$

Esse foi um dos exemplos que utilizamos para validar nossos experimentos, o tamanho da complexidade dos cálculos nos restringiu a realizar poucos testes.

6 DESAFIOS

No primeiro desafio tivemos o problema da comunicação com o receptor ADS-B, na construção da infraestrutura para execução dos testes e capturas da tecnologia ADS-B, os receptores ADS-B necessitam de um conjunto de strings de comunicação e acesso ao aparelho, após descoberto isso, fomos atrás de contornar este problema, encontramos um código escrito na linguagem Perl escrito por Mark Street (MARK, 2012) e que realizava essa comunicação e nos devolvia as mensagens ADS-B codificadas, a partir daí tivemos outro empecilho em como decodificar essas mensagens e ter uma string legível para trabalhar.

Outro desafio foi para tentar entender o padrão da string das mensagens ADS-B, a sua organização bit a bit, contornamos este problema realizando experimentos com as mensagens e procurando algum padrão, deste esforço conseguimos entender a mensagem de posição, onde toda mensagem ADS-B de posição é iniciada pelos bytes '8' e 'D'.

Também tentamos identificar as outras mensagens, mas não conseguimos obter êxito no encontro do padrão, o tempo também nos foi uma restrição, realizar pesquisas e testes em uma tecnologia nova consome muito dos pesquisadores.

Quando encontramos como identificar a mensagem de posição e tínhamos a posição dos bits nas mensagens achamos que estava resolvido, mas o formato que a latitude e longitude são armazenadas na mensagem é um formato de compactação, chamado de *Compact Position Reporting* ou CPR, entender e decodificar os dados nesse formato nos gastou algumas semanas, do entendimento do CPR, o porquê de utilizá-lo nas mensagens e como decodificar. O CPR é um algoritmo que envolve muitos cálculos matemáticos complexos e nos levou bastante tempo para entender.

7 APLICATIVO

O aplicativo desenvolvido nesse trabalho foi o que conecta o aparelho receptor ADS-B ou mais especificamente o modelo SBS-1er. No desenvolvimento foi utilizada a linguagem de programação C.

O aplicativo foi desenvolvido para ser de código aberto e está disponível no Google Code no seguinte link: <http://code.google.com/p/adsb-decoder/>.

As mensagens vindas do receptor ADS-B, podem chegar a qualquer momento e o programa deve estar apto a recebê-las, mas antes deve passar por outro aplicativo para fazer a decodificação das mensagens, aplicativo esse que ainda está em fase de desenvolvimento

(somente as mensagens de posição são compreendidas). Para criar uma área de memória compartilhada entre esses dois aplicativos, utilizamos a técnica de leitura em arquivo, o aplicativo decodificador salva as mensagens decodificadas nesse arquivo e o aplicativo responsável pelo gerenciamento e persistência (o nosso trabalho), lê esse arquivo e atualiza o histórico a cada mudança no arquivo.

7.1 Banco de Dados

O banco de dados utilizado foi o PostgreSQL por ser um projeto open-source e se adequar as nossas políticas de compartilhamento de informações, e por ter um bom desempenho com grandes massas de dados. Por utilizarmos os computadores *PlugComputers* na implementação do projeto não sabemos se o mesmo pode hospedar o banco de dados PostgreSQL, mas o utilizamos nos testes.

Utilizamos a ferramenta DBVisualizer para a geração reversa do diagrama pelo banco de dados e o PGAdmin para gerenciamento gráfico do banco de dados. Segue abaixo o diagrama gerado:

current_flights		old_flights	
voo	TEXT	voo	TEXT
velocidadedechao	DOUBLE PRECISION	velocidadedechao	DOUBLE PRECISION
velocidadevertical	DOUBLE PRECISION	velocidadevertical	DOUBLE PRECISION
latitude	BIGINT	latitude	BIGINT
longitude	BIGINT	longitude	BIGINT
altitude	BIGINT	altitude	BIGINT
direcao	BIGINT	direcao	BIGINT
voots	TIMESTAMP WITHOUT TIME ZONE	voots	TIMESTAMP WITHOUT TIME ZONE
velocidadedechaots	TIMESTAMP WITHOUT TIME ZONE	velocidadedechaots	TIMESTAMP WITHOUT TIME ZONE
velocidadeverticalts	TIMESTAMP WITHOUT TIME ZONE	velocidadeverticalts	TIMESTAMP WITHOUT TIME ZONE
posicaots	TIMESTAMP WITHOUT TIME ZONE	posicaots	TIMESTAMP WITHOUT TIME ZONE
direcaots	TIMESTAMP WITHOUT TIME ZONE	direcaots	TIMESTAMP WITHOUT TIME ZONE

Tabela 4 - Tabelas do banco de dados

A tabela `current_flights` é usada para armazenar os voos/mensagens correntes dentro de um determinado intervalo de tempo, é útil para agilizar consultas e não precisar percorrer todo o histórico para gerar informações. A tabela `old_flights` é utilizada para guardar o histórico de todas as mensagens ADS-B recebidas.

O campo voo é utilizado para armazenar o identificador do voo, que será usado para resgatar várias informações, tais como: local de partida da aeronave, local de chegada, hora de saída e previsão de chegada e outras informações pertinentes ao voo.

A mensagem de velocidade é subdivida para a extração da velocidade de chão e velocidade vertical. Já a mensagem de posição é subdivida para a extração da latitude, longitude, altitude e direção.

Cada informação possui um campo (*timestamp*) para armazenar o momento em que foi recebida, como as mensagens podem não trazer todas as informações, cada campo possui um *timestamp*. Por exemplo, a mensagem de posição pode chegar ao receptor somente trazendo a latitude e longitude e não a altitude e direção.

7.2 Estrutura do Programa

O programa foi desenvolvido na linguagem C, possui um método para abrir a conexão com o banco de dados, um método para a execução de uma query passada por parâmetro e o restante da lógica é feita no método *main*, como por exemplo, a identificação da mensagem se é *short* ou *long*, uma mensagem *shot* possui 56 bits e a *long* possui 112 bits.

Depois de a mensagem ser identificada, é feita outra análise para descobrir o tipo da mensagem, se de identificação, velocidade ou posição. Após descoberto o tipo da mensagem, são extraídos os dados da mensagem e armazenados no banco de dados juntamente com a posição no tempo em que foi recebida.

O programa utiliza um comando file para ler as informações recebidas pelo receptor e fica em *loop* infinito verificando se o arquivo foi modificado e captando os novos dados. Ao ser executado pela primeira vez, é varrido todo o arquivo e armazenado no banco de dados os dados encontrados.

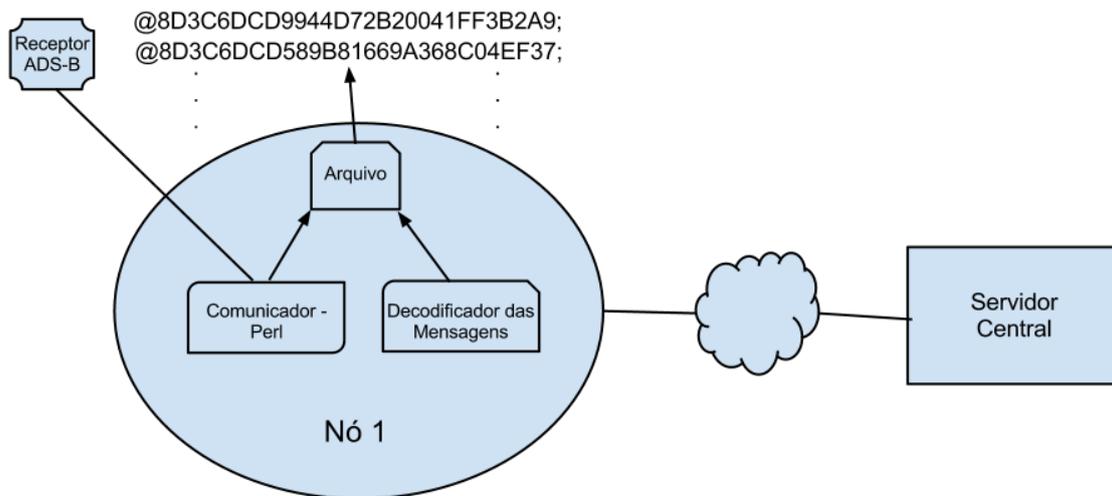


Figura 9 - Organização do nó

O sistema desenvolvido é composto por um receptor ADS-B e necessita de um programa comunicador para fazer o *login* no aparelho e decodificação dos sinais para a string mostrada na figura, esse programa comunicador foi feito na linguagem Perl escrito por Mark Street e nós o adaptamos para salvar os dados em uma string no formato da figura, o formato é definido por uma @ (arroba) para identificar o início de uma mensagem e um ; (ponto e vírgula) para delimitar o fim da string.

Este comunicador salva as mensagens ADS-B em um arquivo no formato da figura e o nosso projeto, o decodificador das mensagens faz a leitura desse arquivo e decodifica as mensagens e persiste no banco de dados local.

O aplicativo decodificador acessa o arquivo com as mensagens ADS-B, identifica, extrai os campos e armazena todas as informações no banco de dados e aguarda qualquer modificação no arquivo, detectada uma modificação, o aplicativo resgata essas informações salvas e repete o procedimento, identifica a mensagem, extrai os campos e armazena no banco de dados.

O aplicativo decodificador pega a string remove os caracteres de controle, a arroba e o ponto e vírgula, remove esse elementos e identifica o ICAO *Address*, salva o restante da string em outra string e chama a função de converter de hexadecimal para binário passando por parâmetro essa nova string, feito isso, é possível trabalhara nível de bits e extrair as informações da mensagem.

8 RESULTADOS

O aplicativo foi testado com uma massa de dados fornecida por um especialista na tecnologia ADS-B, chamado de Guenter Koellner e o arquivo possui aproximadamente 16 mil linhas de capturas, onde cada linha representa uma mensagem ADS-B.

Conseguimos implementar uma parte dos objetivos propostos, visto que é um trabalho muito vasto e que necessita de uma fundamentação teórica muito forte, essa fundamentação não é muito acessível a pessoas que não trabalham diretamente com a tecnologia ADS-B.

Levando o que foi dito acima em consideração, nosso aplicativo está apto para identificar a mensagem ADS-B de posição, extrair os campos da mensagem e persistir em um banco de dados local todas as informações tratadas, dentre as informações temos o ICAO *Address* da aeronave, a altitude, a latitude e longitude da mensagem já no formato global e não mais no CPR como é encontrada na mensagem.

Este trabalho tem uma grande contribuição para o entendimento da tecnologia ADS-B e de suas mensagens, também será utilizado em um projeto maior denominado Atualização da Monitoração Aeronáutica e Auto-Sustentabilidade coordenado pelo professor Arthur de Castro Callado na Universidade Federal do Ceará.

Como pontos positivos, podemos citar a ajuda de alguns entusiastas pela tecnologia que colaboraram com o trabalho, respondendo perguntas e ajudando na coleta das mensagens, como foi o caso do especialista que nos enviou a massa de dados para testes e também a ajuda nos fóruns de discussão da tecnologia.

Como trabalhos futuros, propomos a identificação das outras mensagens ADS-B e a extração de todas as informações das mensagens para formar uma base de dados completa. As mensagens que faltam são as de velocidade, identidade, trajetória e status. Esse projeto futuro continuará a ser desenvolvido pelos integrantes deste trabalho e com a ajuda de outros participantes.

REFERÊNCIAS

- ADSB for dummies. **EOSAN - European Organization for the Safety of Air Navigation**, Turquia, Disponível em: < www.ssd.dhmi.gov.tr>. Acesso em: 9 abr. 2012.
- ADSB-PGR. Código on-line. Disponível em: <<https://code.google.com/p/adsb-pgr/>>. Acesso em 18 jun. 2012.
- ADS-B Technologies. [site corporativo]. Disponível em <<http://www.ADS-B.com>>. Acesso em: 01 fev. 2011.
- AEROVIX. Radar on-line. Disponível em: <<http://www.aerovix.com.br>>. Acesso em 09 mai. 2011.
- AUTOMATIC Dependent Surveillance - Broadcast. Organización de Aviación Civil Internacional, Lima, 26 set 2006. Disponível em: < http://www.lima.icao.int/MeetProg/2006/CNSATMTECHNOIMPLE/Dia3_03_QinetiQ%20-%20ADS-B%20Tutorial.pdf>. Acesso em: 9 abr. 2012.
- AVIONICS, Kinetic. Site corporativo. Disponível em: <<http://www.kinetic-avionics.com/sbs-1.php>> Acesso em: 20 mai. 2012.
- BARSHESHAT, A. A. Implementation of ADS-B Systems - Benefits and Considerations in Proceedings of ESAV, 2011 - September 12 - 14 Capri, Italy.
- CEDRINI, V., Zacchei, M. ADS-B 1090ES Implementation: the CRISTAL-MED Project, in: Proceedings of ESAV, 2008 - September 3 - 5 - Capri, Italy.
- CHUJO, Amália Massumi. Tecnologias de Navegação Aérea por GNSS e DGNSS para Operação CNS/ATM: Aplicações para o Brasil. 2007. 168f. Tese de mestrado – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.
- DTCEA. [site corporativo]. CINDACTA I <<http://www.decea.gov.br/unidades/cindacta-i>>. Acesso em: 24 abr. 2011a.
- DTCEA. [site corporativo]. CINDACTA II <<http://www.decea.gov.br/unidades/cindacta-ii>>. Acesso em: 24 abr. 2011b.
- DTCEA. [site corporativo]. CINDACTA III <<http://www.decea.gov.br/unidades/cindacta-iii>>. Acesso em: 24 abr. 2011c.
- DTCEA. [site corporativo]. CINDACTA IV <<http://www.decea.gov.br/unidades/cindacta-iv>>. Acesso em: 24 abr. 2011d.
- FAA (Federal Aviation Administration). Disponível em <http://www.faa.gov/nextgen/portfolio/trans_support_progs/adsb/>. Acesso em 06 mai. 2011.
- GILLEN, Al; WALDMAN, Brett. Linux Adoption in a Global Recession. IDC-Novell White Paper. Março de 2009. Disponível em: < http://www.novell.com/docrep/2009/03/White%20Paper%20Linux%20Adoption%20in%20a%20Global%20Recession_en.pdf > Acesso em: 28 abr. 2011.

- GURUPLUG. Mini computador. Disponível em: <<http://www.plugcomputer.org/development-kits/guruplug-display/>>. Acesso em 18 jun. 2012.
- HARMAN, W. H. ADS-B Airborne measurements in Frankfurt. MIT Lincoln Laboratory, Lexington, MA. 2002.
- HICOK, D.S., LEE, D. Application of ADS-B for airport surface surveillance, in: The 17th AIAA/IEEE/SAE Digital Avionics Systems Conference, 1998.
- KINETIC. [Fórum sobre "SBS-1 Mode-S / ADSB Virtual Radar", mantido por Kinetic Avionic Products]. Disponível em: <<http://www.kinetic-avionics.com/forums/viewtopic.php?f=1&t=5076&start=0>> Acesso em: 01 fev. 2011.
- KUNZI, F., HANSMAN, J. Survey of Potential ADS-B Benefits for the Soaring Community. 11th AIAA - Aviation Technology, Integration, and Operations (ATIO) Conference, including the AIA 20 - 22 September 2011, Virginia Beach, VA
- MARK. Site pessoal. Disponível em: <<http://marksmanuk.blogspot.com.br>>. Acesso em 18 jun. 2012.
- MAYNARD, J. Transition Table for NL(lat) Function. 2002. Fort Lauderdale, Florida. 09 de jan 2002. Disponível em: <http://adsb.tc.faa.gov/WG3_Meetings/Meeting9/1090-WP-9-14.pdf>
- MENDES, Antônio. Arquitetura de Software: Desenvolvimento orientado para Arquitetura. Rio de Janeiro: Ed. Campus, 2002. p. 200.
- PAULLO, E. SISCEAB - Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro. 2006.
- PERL, E. Review of Airport Surface Movement Radar Technology. IEEE A&E SYSTEMS MAGAZINE, October, 2006.
- PLUGCOMPUTER. Computadores de baixo custo. Disponível em: <<http://www.plugcomputer.org>>. Acesso em 24 set. 2011.
- REKKAS, C., REES, M. Towards. ADS-B implementation in Europe, in: Proceedings of ESAV, 2008 - September 3 - 5 - Capri, Italy.
- ROCKWELL, C. Analysis of Reported Compact Position Reporting (CPR) Anomalies in Operational Airspace. 2006.
- SBSTOOLS, Filtro de informações de voos em banco MySQL. Disponível em: <http://code.google.com/p/sbs_tools>. Acesso em: 11 jun. 2012.
- SPALDING, D. J. Mode S - The Future, 2002. Institute of Electrical Engineers, London, UK.
- STANISCIA, Giacomo Feres. Gerenciamento de Tráfego Aéreo de Nova Geração. ATECH Tecnologias Críticas. LAAD 2007 – Latin America Aero & Defence 07. Disponível em <http://www.aviationlatam.com/files/c8462ad16f5521178a66f706564bc769/c_apresentacao_giacomo_stanniscia.pdf>. Acesso em 15 fev. 2011. Slides.
- TELARADAR. Radar on-line. Disponível em: <www.telaradar.com.br>. Acesso em 09 mai. 2011.