

Separação de Aeronaves por Esferas Virtuais

Hudson Peçanha Murad.

Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Divisão de Engenharia da Computação. Praça Mal. Eduardo Gomes 50 – São José dos Campos - SP

Resumo — As taxas de crescimento do tráfego aéreo mundial, aliadas à implantação do novo sistema de gerência e controle do espaço aéreo nos países signatários da ICAO (CNS/ATM) permitem concluir que aeronaves em número crescente voarão cada vez mais próximas umas das outras. Soluções que utilizem sistemas de software/hardware/comunicação para transmissão de dados de posição no tempo entre aeronave/aeronave e aeronave/estações de terra podem contribuir para o aumento da segurança das operações.

Este artigo apresenta uma proposta para separação de aeronaves através de esferas virtuais, centradas em cada aeronave, cuja dinâmica sugere o rolamento de umas sobre as outras para propiciar cruzamento seguro no caso de rotas de colisão.

Palavras-chaves — Tráfego Aéreo, Comando e Controle, CNS/ATM.

I. INTRODUÇÃO

Segundo o que fora publicado em artigo na Folha de São Paulo de outubro de 2007, o crescimento esperado para o tráfego aéreo mundial no período compreendido entre 2007 e 2011 será de 5% em média [1].

Uma “fotografia” sobre a segurança do controle do espaço aéreo brasileiro foi fornecida à imprensa, pelo Comando da Aeronáutica, contendo informações contextualizadas e indicadores nacionais e internacionais que, entre outros, apontavam os índices de incidentes relatados por pilotos, controladores ou ambos. [2]

Atualmente, as aeronaves no espaço aéreo brasileiro controlado têm a separação vertical e horizontal definidas segundo normas do DECEA – Departamento de Controle do Espaço Aéreo – de acordo com a categoria (classe) do espaço, a posição relativa aos auxílios à navegação (VOR, NDB) e regras de voo (visual ou instrumento) às quais estejam submetidas. [5]

O Brasil, como signatário da ICAO – Organização de Aviação Civil Internacional – está comprometido com a instalação de um novo sistema de controle e gerenciamento de fluxo e de tráfego aéreo, CNS/ATM – sigla em inglês para Comunicação, Navegação e Vigilância / Gerência de Tráfego Aéreo – cujos objetivos são norteados pelo aumento da capacidade de controle frente à crescente demanda por serviços aeronáuticos, tendo como premissa a segurança das operações, servindo-se de novas tecnologias, tais como o GPS (*Global Positioning System*) e o ADS (*Automatic Dependent Surveillance*).

Este novo sistema, previsto para ser implantado em fases, requer diminuição nos mínimos de separação entre as aeronaves, o que pode ser obtido em virtude da maior precisão das informações relativas à posição das aeronaves no tempo e no espaço. [3]

Considerando-se o aumento do volume de tráfego aéreo e as demandas por diminuição da separação entre as aeronaves, o que de fato já está sendo praticado em condições especiais por alguns aviões (num modo de operação conhecido como RVSM – Reduced Vertical Separation Minimum) [4], apesar dos atuais índices de incidentes aeronáuticos, questionamentos surgem naturalmente no sentido de contribuir para o aumento da segurança relativa à operação de um número crescente de aeronaves voando cada vez mais próximas, suportadas por sistemas de navegação de acurada precisão.

O presente artigo sugere primeiramente que esferas virtuais, centradas em cada aeronave, e cujo raio seja variável em função da velocidade, sejam modeladas por software para auxiliar o processo de separação (através de avisos sonoros e visuais) em momentos nos quais as rotas de voo possam se interceptar, ou seja, constituam risco de conflito de tráfego (rotas de colisão).

Preende-se desenvolver um algoritmo que, utilizando-se das esferas virtuais, sugira manobras de cruzamento para resolução dos conflitos.

Inicialmente vislumbra-se a possibilidade de emprego em sistemas de software embarcados nas aeronaves e/ou nos sistemas de controle de tráfego aéreo localizados em terra.

Os constantes das aeronaves teriam o propósito de auxiliar o processo de tomada de decisão pelos pilotos voando em espaço aéreo não controlado. Aqueles implantados em terra serviriam para auxiliar a tarefa dos controladores de voo nas diretivas empregadas em espaços aéreos controlados.

O artigo foi dividido em quatro seções. A primeira, **Introdução**, procura identificar razões para a proposta baseando-se em fatos e estimativas veiculadas na mídia e nas informações existentes em publicações oficiais. A segunda, **O Cenário**, descreve de modo sucinto considerações sobre o ambiente de tráfego aéreo, especificamente espaço aéreo atual e futuro do Brasil, levando-se em conta a implantação do sistema CNS/ATM no país suportado por tecnologias existentes e em desenvolvimento. A terceira, **O Modelo Inicial**, aborda a concepção das esferas virtuais e a proposta da dinâmica de separação a qual norteará o desenvolvimento do algoritmo de sugestão de resolução de conflitos de tráfego, ainda sem o rigor matemático em virtude do estágio inicial deste trabalho. A última, **Conclusão**, oferece uma síntese das considerações apresentadas neste artigo.

Murad, Hudson Peçanha, murad@gmail.com, Tel +55-12-3947 3591, Major Aviador, Engenheiro de Computação – ITA 2001, Mestrando pelo Programa de Pós Graduação em Aplicações Operacionais – ITA.

II. O CENÁRIO

Atualmente, no Brasil, a separação das aeronaves, quer voando sob as regras de voo visual (VFR- *Visual Flight Rules*), quer por instrumentos (IFR - *Instrument Flight Rules*), são definidas pelo Comando da Aeronáutica em consonância com as orientações da OACI.

Os limites de separação horizontal e vertical das aeronaves entre si e destas em relação a obstáculos, a serem observados pelos pilotos e controladores, são definidos de acordo com as classes do espaço aéreo, posição relativa aos auxílios rádio à navegação aérea e regras de voo. [5]

De maneira bastante sucinta, pode-se dividir o processo de separação de aeronaves de duas formas distintas:

a) aeronaves voando em espaços aéreos controlados são separadas por profissionais de controle do espaço aéreo que estabelecem comunicação bilateral com os pilotos e os orientam sobre manobras a serem executadas tomando por base as informações disponibilizadas em sistemas de controle (radares e sistemas de tratamento e visualização de dados) e normas em vigor.

b) aeronaves voando em espaços aéreos não controlados são separadas pelos próprios pilotos baseando-se nas normas em vigor e nas observações contínuas do campo visual exterior à cabine e/ou através de comunicação bilateral oral entre aeronaves no mesmo setor.

Para propiciar maior segurança nas operações, além dos sistemas de controle baseados em terra (radares, auxílios rádio à navegação e estações de controle), existem atualmente sistemas embarcados em aeronaves, independentes de meios terrestres e conhecidos como ACAS - *Airborne Collision Avoidance Systems* - que fornecem alarmes sonoros e visuais ao piloto nas situações que apresentem potencial de risco de colisão aeronave/aeronave e aeronave/solo. [6]

Além da segurança, crescem as necessidades de movimentos de aeronaves nos aeroportos (pousos e decolagens) e de otimização do uso espaço aéreo (aumento da capacidade) para atender à demanda imposta pelo transporte aéreo mundial, da ordem de 5% ao ano.

Para enfrentar esses desafios, a ICAO e alguns países membros realizaram acordos visando o desenvolvimento e implantação do CNS/ATM. No Brasil, ações estão sendo desenvolvidas de acordo com um programa de transição, desde 2005, com prazo estimado de conclusão para 2020. [3] e [7]

O sistema supracitado envolve o emprego integrado de várias tecnologias tais como a de posicionamento global por satélite (GPS), a de vigilância dependente automática (ADS) e a de comunicações via enlace de dados (CPDLC - *Controller Pilot Data Link Communications*). As últimas se utilizam dos meios existentes de comunicação por alta frequência baseado ondas de rádio (VHF, por exemplo) e por meio de satélites, para substituir/complementar o contato bilateral oral entre controlador e piloto. [8]

Uma das vantagens pretendidas pelo novo sistema é o aumento da cobertura dos espaços aéreos não controlados, visto que em função dos altos custos e das características intrínsecas dos radares de rota, não são controlados atualmente.

As tecnologias citadas anteriormente (GPS e CPDLC) propiciarão, no futuro, o desenvolvimento de soluções automatizadas para “a melhor utilização do espaço aéreo” que, “por sua vez, tem como um de seus princípios a

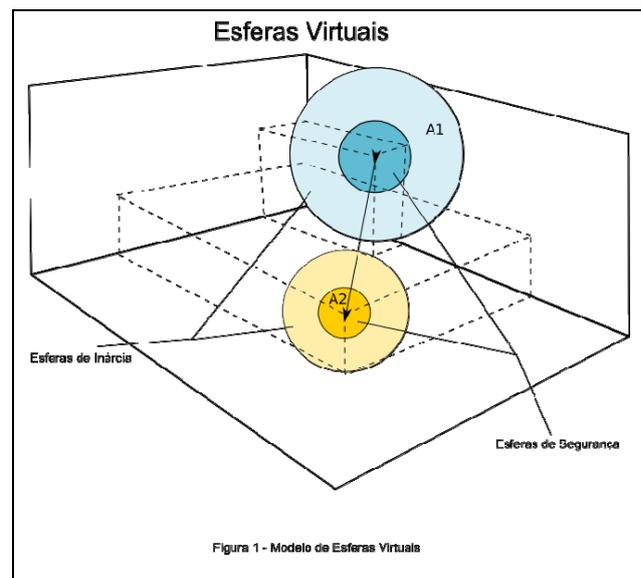
flexibilização do uso do espaço aéreo, onde uma estrutura de rotas fixas seria exceção, em vez de regra. A intervenção tática do controlador de tráfego aéreo para fins de manter a separação entre aeronaves deveria ser desnecessária, pois qualquer intervenção dessa natureza implica em alterar o perfil ótimo de voo, com seus custos correspondentes.” (PCA 351-3, 2006, p.33).

III. O MODELO INICIAL

O modelo de esferas virtuais consiste em se criar por software volumes esféricos em espaços R^4 (x, y, z e t) tendo as coordenadas (latitude, longitude) e altitude das aeronaves como centro destes volumes.

O comprimento dos raios das esferas, alocados dinamicamente em função da velocidade das aeronaves, determinam duas esferas para cada aeronave.

A **primeira esfera** concêntrica representa o **volume de segurança** definido de acordo com padrões internacionais e que não deve ser ultrapassado pelo volume de segurança de outra aeronave, pois significa colisão iminente. A **segunda esfera**, excêntrica à primeira, representa, a partir do limite da esfera de segurança, o **volume de inércia** que será utilizado para alarmar os sistemas de aviso quando as projeções futuras das rotas (prolongamento do eixo longitudinal da aeronave no sentido do deslocamento) se cruzarem e as esferas se “tocarem”, Fig. 1.



A origem dos dados das aeronaves não faz parte do escopo deste trabalho.

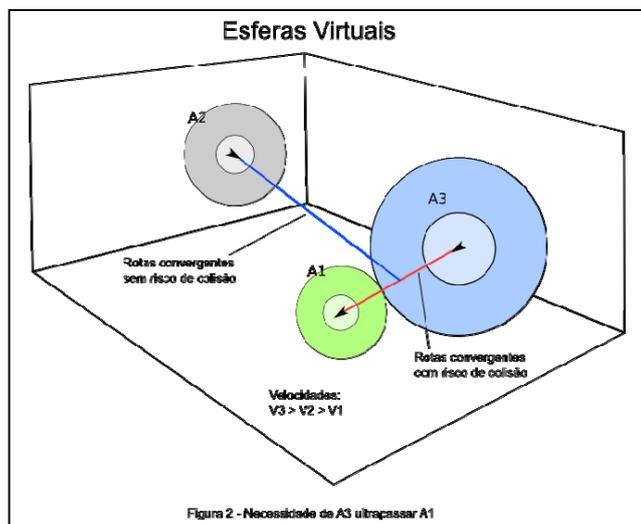
O algoritmo de resolução de conflitos partirá de uma consciência situacional obtida pela composição de todas as aeronaves e suas esferas virtuais dentro de um determinado volume de espaço aéreo no tempo.

Pretende-se numa implementação gradual, partir-se de situações mais simples, por exemplo, duas aeronaves niveladas em rotas de mesma direção e sentido com velocidades distintas para provocar ultrapassagem; para arranjos mais complexos, três aeronaves, duas na situação descrita anteriormente e a terceira em rota de colisão com a aeronave que ultrapassa, durante a ultrapassagem (Fig. 2).

Objetiva-se dividir a modelagem em duas etapas:

a) Modelagem para conflitos que possam ser solucionados no plano e no tempo.

b) Modelagem para conflitos que necessitam de solução no espaço tridimensional e no tempo.

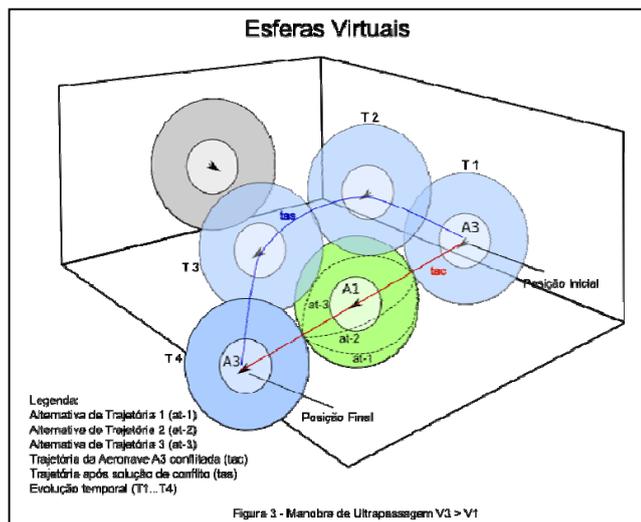


Tanto na primeira quanto na segunda modelagem serão estabelecidos critérios para a sugestão da mudança de trajetória mais apropriada.

Idealiza-se que alguns desses sejam: a preservação de velocidades, a manutenção dos níveis de voo, a definição e escolha do “mestre de espaço” (aquele cujos parâmetros de voo serão preservados o máximo possível dentro daquele volume de espaço aéreo no tempo).

O princípio básico para a definição das trajetórias de resolução de conflito constitui-se, de modo bastante simplificado, de um rolamento de uma esfera sobre a outra onde se definem arcos cuja origem se dê no ponto de toque das duas esferas e termine em algum ponto do espaço compreendido entre os limites exteriores das esferas de segurança e os limites interiores das esferas de inércia das aeronaves em conflito.

Tal argumento se baseia no fato de que as mudanças de trajetória ocorrem de maneira contínua e a inércia dos movimentos das aeronaves reais provocará a fusão parcial dos espaços compreendidos entre os limites, exterior e interior, das esferas de segurança e de inércia das aeronaves.



IV . CONCLUSÃO

Neste artigo abordou-se a temática do controle de tráfego aéreo sob a ótica das taxas mundiais de crescimento, os índices de incidentes e a implantação de novos sistemas que irão compor o sistema CNS/ATM.

Tecnologias existentes e futuras permitirão que aeronaves voem cada vez mais próximas no espaço e no tempo, procurando atender às questões de ampliação, otimização e uso seguro do espaço aéreo controlado.

Procurou-se mostrar uma “imagem” presente e futura do cenário de tráfego no Brasil, fundamentada em diretrizes e orientações disponibilizadas pelo órgão internacional, a OACI, e pelo órgão governamental brasileiro, o DECEA, responsável pela normatização e gestão do sistema CNS/ATM.

Em função das considerações sobre o cenário, vislumbrou-se uma justificativa para a proposta de um modelo que oferecesse sugestões para soluções de conflito entre aeronaves que fossem acessíveis tanto a pilotos quanto a controladores.

O modelo proposto, em sua fase “embrionária”, procuraria criar e empregar o conceito de esferas virtuais para o desenvolvimento de sistemas de alarme antecipado nas situações em que houvesse risco potencial de colisão.

Para sugestão de manobras que visassem à solução de conflitos de tráfego entre aeronaves, seria criado um algoritmo que utilizaria a idéia de rolamento de uma esfera virtual sobre outra a fim de preservar ao máximo os parâmetros de regime de voo escolhido por cada aeronave.

REFERÊNCIAS

- [1] <http://www1.folha.uol.com.br/folha/dinheiro/ult91u339410.shtml>. Acessado em 22 de agosto de 2008.
- [2] http://www.defesanet.com.br/zz/br_aereo_20.htm Acessado em 22 de agosto de 2008.
- [3] http://inovacao.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1808-23942007000500008&lng=es&nrm=iso Acessado em 22 de agosto de 2008.
- [4] http://www.aisweb.aer.mil.br/aisweb_files/indices/AIP-BRASIL/enr2_eng.pdf Acessado em 22 de agosto de 2008.
- [5] BRASIL. Comando da Aeronáutica. ICA 100-12 - **Regras do Ar e Serviços de Tráfego Aéreo**. Rio de Janeiro, 2006.
- [6] ICAO. *International Civil Aviation Organization*. Doc 9863 AN/461 – *Airborn Collision Avoidance System (ACAS) Manual*. 2006.
- [7] BRASIL. Comando da Aeronáutica. PCA 351-3 - **Programa de Transição do SISCEAB utilizando o conceito de Sistema CNS/ATM**. Rio de Janeiro, 2006.
- [8] ICAO. *International Civil Aviation Organization*. Doc 9694-AN/955– *Manual of Air Traffic Services Data Link Applications*. 1999.