

SELEÇÃO OTIMIZADA DE ENLACES NO CONTEXTO DAS REDES ATN/IPS

OPTIMIZED LINK SELECTION IN THE ATN/IPS NETWORK CONTEXT

O Cap Esp Com Marco Aurélio Sernagiotto conduziu o CFOE em 2010 e possui graduação em Ciências da Computação pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) (2005) e é Tecnólogo em Comunicações Aeronáuticas pelo Centro de Instrução e Adaptação da Aeronáutica (CIAAR) (2010) e mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Aplicações Operacionais (PPGAO) na área de Comando e Controle. Atualmente é do efetivo do Serviço Regional de Proteção ao Vôo – SP (SRPV-SP)

Contato: sernagiotomas@fab.mil.br



O Prof. Dr. Valério Rosset possui doutorado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores pela Universidade do Porto, Portugal (2009). Atualmente é professor associado na Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP). Tem experiência na área de Ciência da Computação, tendo interesse de pesquisa principalmente nos seguintes temas: segurança computacional, redes de computadores, redes de sensores sem fio, redes de sensores e atuadores sem fio, SDNs e redes veiculares.

Contato: vrosset@unifesp.br



A profa. Dra. Mariá Cristina Vasconcelos Nascimento possui doutorado em Ciências da Computação pela Universidade de São Paulo (2010). Atualmente é professora associada da Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP). Tem artigos publicados em periódicos internacionais de alto impacto como Computers & Industrial Engineering, European Journal of Operational Research, Computers & Operations Research, Expert Systems with Applications, dentre outros. Trabalha com métodos heurísticos para a resolução de problemas de otimização combinatoria e inteira mista. Atualmente é bolsista produtividade em pesquisa do CNPq no comitê de Engenharias III.

Contato: e-mail mcv.nascimento@unifesp.br



RESUMO

As mudanças na rede de telecomunicações aeronáuticas para o uso do protocolo de internet – ATN/IPS (*Aeronautical Telecommunication Network/ Internet Protocol Stack*) – trouxeram o desafio de gerenciar o tráfego na rede, a fim de manter disponíveis as comunicações dos serviços essenciais ao controle de tráfego e defesa aérea, mesmo em cenários com a degradação momentânea dos enlaces. Devido à heterogeneidade das capacidades de transmissões dos diferentes enlaces presentes nessa infraestrutura, o sistema tende a sofrer com gargalos em períodos de maior utilização. Ao otimizar a alocação dos pacotes e distribuir a carga entre os enlaces, há um aproveitamento melhor de toda a infraestrutura, que pode ser dimensionada

com vistas a atender às demandas dos serviços com eficiência. O objetivo deste artigo é apresentar um modelo de decisão baseada em multiatributo e otimização combinatoria, que permita aprimorar a seleção de enlaces para transmissões de dados na ATN/IPS. O modelo apresentado permite o balanceamento de carga e, do ponto de vista de gestão de rede, um melhor dimensionamento da capacidade de transmissão dos enlaces. Além do modelo combinado para a otimização na alocação dos pacotes da rede aeronáutica ATN/IPS, o artigo traz uma revisão dos métodos utilizados associados ao problema de seleção em redes heterogêneas.

Palavras-Chave: Rede de Telecomunicações Aeronáuticas, ATN/IPS, Decisão Baseada em Multiatributo (MADM), Otimização Combinatória.

ABSTRACT

The changes in the aeronautical telecommunication network for the use of the Internet Protocol - ATN/IPS (Aeronautical Telecommunication Network/ Internet Protocol Stack) - arise the challenge of managing the network traffic in order to keep available the essential services communications to air traffic control and air defense, even in the momentary links degradation scenarios. Due to the heterogeneity of different links transmission capacities in this infrastructure, the system tends to suffer with bottlenecks in periods of greater usage. By optimizing the packets allocation and the load distribution, there is a better use of the entire infrastructure, which can be sized to meet the demands of services efficiently. This paper aims to present a multiple attribute decision making (MADM) and a combinatorial optimization model that leads to an optimized link selection for ATN/IPS data transmissions. The model allows load balancing and, from the network management point of view, a better link transmission capacity sizing. In addition to the combined model for the ATN/IPS network allocation optimization, this paper presents a review of applied methods associated to the heterogeneous network selection problem.

Keywords: Aeronautical Telecommunications Network, ATN/IPS, Multiple Attribute Decision Making (MADM), Combinatorial Optimization.

I – INTRODUÇÃO

A rede de telecomunicações aeronáuticas tem recebido a cada dia uma demanda maior pelo tráfego de dados: sejam de controle de tráfego e defesa aérea ou até mesmo dados das aeronaves para uso das empresas aéreas [1]. Uma das modificações padronizadas para permitir um aumento da capacidade de comunicação na rede foi feita pela ICAO (*International Civil Aviation Organization*) a partir de 2010 [2]. Nesse documento, a ICAO promoveu uma mudança no paradigma das comunicações aeronáuticas [3], pois, até aquele momento, as comunicações eram baseadas em vários enlaces independentes, e cada um atendia a um único serviço (por exemplo: o enlace 1 era destinado a comunicação telefônica e o enlace 2 era destinado a mensagens de plano de voo). Seguindo a padronização da nova rede ATN com protocolo IP (ATN/IPS) [2], vários serviços de comunicação aeronáutica passam a compartilhar o mesmo enlace. Assim, surgiu a necessidade de gerenciar o tráfego dos pacotes e selecionar o melhor enlace disponível, a fim de garantir o funcionamento ininterrupto dos serviços prioritários da rede aeronáutica.

Em geral, a literatura relacionada ao problema

de seleção de enlaces com capacidades distintas (heterogêneos) tem como foco principal de aplicação as redes sem fio [4][5][6][7]. Nesse contexto, o objetivo comum é a seleção do melhor enlace (com maior qualidade de serviço – QoS) com menor custo para o usuário do dispositivo móvel. Entretanto, algumas aplicações que fazem uso de redes ATN/IPS caracterizam-se como serviços de segurança crítica em que há a necessidade de priorização de tráfego de dados. Nessa linha, apenas [1] aborda a seleção de redes no ambiente aeronáutico: em um nó da rede ATN/IPS dentro de uma aeronave. E, apesar do enfoque em seleção de redes, nenhum dos artigos pesquisados apresenta uma abordagem com foco na gestão da rede.

O objetivo do presente trabalho é apresentar um modelo de otimização para a seleção de enlaces em uma rede ATN/IPS que atribua os pacotes dos serviços aeronáuticos nos enlaces da rede de forma otimizada. Com isso, os administradores da rede podem verificar a utilização de cada enlace e avaliar a necessidade de alteração da capacidade desses enlaces para atender às demandas das comunicações aeronáuticas, melhorando o dimensionamento do sistema.

O restante deste documento está estruturado da seguinte maneira: na Seção II é apresentada uma revisão da literatura de seleção de redes; na Seção III, o modelo construído para a otimização na ATN/IPS e na Seção IV, apresentam-se as conclusões, sugestões de aplicação do modelo e pesquisas futuras.

II – SELEÇÃO DE REDES

A literatura relacionada ao tema de seleção em redes tem priorizado o contexto do ambiente de redes sem fio heterogêneas, em que os dispositivos usuários são associados aos enlaces considerando a capacidade de transmissão e disponibilidade individual de cada enlace [8]. Dentre os principais métodos utilizados para resolução do problema de seleção de enlaces destacam-se: Lógica Fuzzy, Teoria dos Jogos, Otimização Combinatória, Cadeia de Markov e Decisão Baseada em Multiatributo (*Multiple Attribute Decision Making* - MADM).

Existe uma diversidade de aplicação desses métodos em cenários específicos, considerando parâmetros realísticos de rede, de modo que os mesmos podem ser aplicados em sua forma original [9], combinados a outros métodos [10] ou com modificações [11].

Entretanto, a utilização dos métodos MADM é mais recorrente entre os diversos métodos, conforme os estudos realizados em [8] e [12]. A otimização combinatória também se mostra adequada nos casos em que há necessidade de se obter uma seleção ótima (por meio da avaliação nos critérios

considerados em uma seleção dos enlaces) ao custo de um maior tempo para a tomada de decisão [12].

A. Multiple Attribute Decision Making

Os métodos de decisão MADM são uma das abordagens dos métodos multicritério e atendem a uma sequência de premissas [7]: necessidade de análise de diversos parâmetros, a normalização desses parâmetros, opções definidas (limitadas), matrizes com os dados das redes e ponderações entre parâmetros das redes (“pesos” relativos).

A etapa inicial de normalização dos parâmetros oferece técnicas diferentes, adequadas ao tipo de dado (objetivo ou subjetivo): os dados objetivos são bem definidos pela medida de grandezas físicas; os subjetivos, porém, refletem uma necessidade ou escolha dos interessados (*stakeholders*). Alguns exemplos de métodos para normalizar os dados objetivos: Max-Min (máximos e mínimos), *Square-root* (raiz) e as Funções de Utilidade (monotônicas e não-monotônicas). Essas últimas transformam dados característicos expressos em grandezas físicas distintas em valores normalizados (entre 0 e 1) que indicam o quanto os parâmetros atendem a determinado requisito (monotônicas) ou o quanto esses parâmetros aproximam-se de um valor desejado (não-monotônicas) - as não-monotônicas são mais apropriadas quando há uma intenção de balanceamento de carga entre as redes [13].

Os critérios subjetivos podem ser tratados por técnicas como a da Entropia, da Variância, TRUST (*TRigger-based aUtomatic Subjective weighTing*) [14] e o AHP (*Analytical Hierarchy Process*) [15]. Nesse último, há uma escala apropriada para a comparação par a par entre os critérios a fim de se definir uma matriz de comparação que permita julgar o quanto um parâmetro pode ser melhor que outro parâmetro, e o quanto o parâmetro inicial é quantificado em relação a todos os outros [7].

A etapa de decisão ocorre com a aplicação de métodos que utilizam os dados normalizados dos parâmetros (objetivos e subjetivos) em uma determinada relação que crie uma classificação entre as opções de redes para que um decisor possa escolher a melhor entre as opções disponíveis [1]. Na literatura, métodos como TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*), GRA (*Grey Relational Analysis*), MEW (*Multiplicative Exponential Weighting*) e SAW (*Simple Additive Weighting*) estão entre os mais recorrentes, sendo esse último o mais simples entre eles, por realizar uma soma ponderada dos critérios [1]. Porém, o SAW não identifica se um critério representa um “custo” ou um “lucro” para a rede e, apesar da simplicidade, necessita receber os parâmetros normalizados e já transformados numa escala adequada e padronizada: em “custos” ou “lucros” [12].

B. Otimização Combinatória

Além dos métodos multiatributo, há outras formas de se avaliar um sistema com várias redes diferentes (heterogêneas) para a seleção da melhor ou mais adequada. Ao se abstrair os conceitos envolvidos na problemática da seleção de redes, pode-se aplicar a ideia do problema da mochila (em que as redes representam mochilas com capacidades definidas) e os itens a serem colocados nas mochilas são os pacotes dos serviços da rede. Nessa analogia, o método do problema da mochila multidimensional (MMKP - *multiple choice multiple dimension knapsack*) é mais adequado pois permite a atribuição dos pacotes às redes de forma ótima [16]. As restrições do modelo MMKP são definidas conforme os limites dos recursos das redes e os valores de utilidade são representados como “lucros” na otimização [10]. Portanto, à semelhança do método da mochila, a rede será avaliada por suas características e a mais adequada será escolhida para a atribuição do pacote.

A modelagem pelo método do empacotamento (bin packing) é uma outra opção, que abstrai o conceito das redes como “caixas” que acomodam os itens (pacotes dos serviços). Assumindo que as caixas (redes) têm tamanhos diferentes (diferentes capacidades), a otimização visa a alocar o maior número de itens no menor número de caixas (alocar todos os pacotes no menor número de redes) [8]. Porém, no contexto da ATN, apesar de teoricamente diminuir custos de contratação, não faz sentido deixar de utilizar uma ou mais redes, tendo em vista que há necessidade de contratar um número pré-definido delas como estratégia de redundância. Assim, essa modelagem não é adequada ao contexto em estudo.

III – MODELO DE OTIMIZAÇÃO PARA A ATN/IPS

O contexto da rede aeronáutica de comunicações (ATN/IPS) apresenta um ambiente heterogêneo, em que os enlaces podem utilizar diversas tecnologias. No Brasil, o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) emitiu um documento com os requisitos básicos das redes de comunicações do Comando da Aeronáutica (COMAER) em que há a definição de topologia (Fig. 1), prevendo a diversidade de tecnologias como forma de redundância para garantia da continuidade dos serviços na rede aeronáutica no Brasil (ATN-Br) [17].



Figura 1 – Topologia da rede de controle de tráfego aéreo e da sub-rede de operações militares [17].

Em [12] os autores apresentam um tutorial no tema de seleção de redes e relacionam as teorias matemáticas utilizadas no processo de seleção, considerando essa diversidade de tecnologias (Fig. 2). O processo é iniciado com a coleta das características dos dados nas redes e de informações dos usuários e das redes. A primeira etapa faz o ajuste desses dados coletados com uso de funções de utilidade, lógica Fuzzy ou atribuição de pesos aos critérios das redes e usuários. Numa segunda etapa, os dados são processados em métodos MADM, otimização combinatória ou cadeia de Markov, com a finalidade de classificar as redes e alocar o usuário a determinada rede. Nessa etapa o processo pode retornar ao ajuste de parâmetros, de forma recursiva, para uma nova atribuição de pesos aos critérios e uma reclassificação (caso necessário).

Em uma terceira etapa é realizado o cálculo do custo para a comutação entre as tecnologias, caso haja decisão pela alteração entre os enlaces utilizados – técnica conhecida como VHO (*Vertical HandOff*) [18]. Por fim, a quarta etapa faz uma avaliação baseada na teoria de jogos com o objetivo de equilibrar o tráfego (evitar congestionamentos) quando há mais de um terminal pronto para enviar dados pelo mesmo enlace, avaliado por ambos como o melhor.

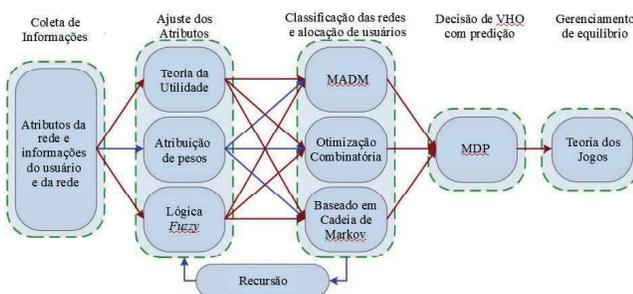


Figura 2 – Relacionamento das teorias matemáticas na seleção de redes [12].

O modelo construído para a ATN/IPS (Fig. 3) tem como referência o relacionamento das teorias, proposto em [12], e também faz uma avaliação de todos os parâmetros (subjetivos e objetivos) para sintetizar todas as variáveis envolvidas no processo de seleção.

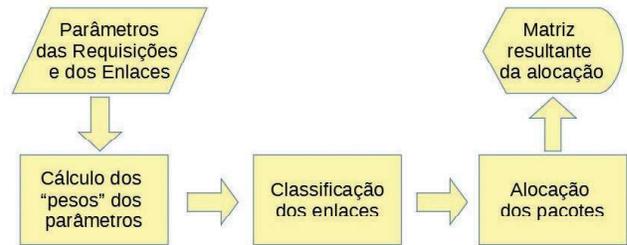


Figura 3 – Modelo para seleção otimizada de enlaces na ATN/IPS.

O modelo consiste em 3 etapas: a primeira etapa tem o objetivo de avaliar todos os parâmetros do problema e normalizá-los de forma linear ordenada no intervalo (0,1), em que 1 implica no maior “lucro” para o sistema. Os critérios objetivos são transformados por meio de funções de utilidade não-monotônicas, semelhantes às propostas em [18], definidas de forma independente para critérios de “lucro” (aumentam a utilidade com aumento no valor) (Fig. 4a) e de “custo” (diminuem a utilidade com o aumento no valor do critério) (Fig. 4b). As constantes L_B, L_D e U_B, U_D representam respectivamente os valores mínimos e máximos de largura de banda e atraso exigidos por um serviço.

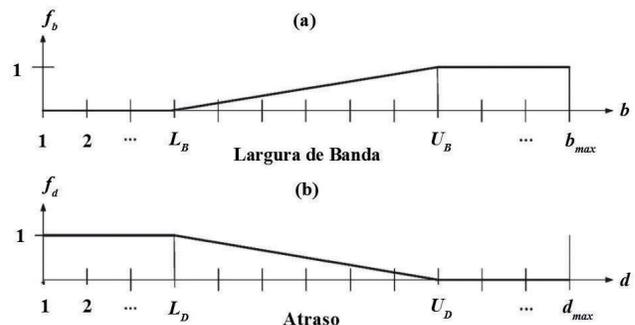


Figura 4 – Funções de Utilidade utilizadas na avaliação de critérios objetivos [18].

A matriz resultante dessa etapa, que relaciona cada critério dos serviços às redes disponíveis tem os valores normalizados transformados em “lucro”, ou seja, os maiores valores representam as melhores combinações entre os critérios das redes e as requisições dos serviços.

Os critérios subjetivos são avaliados na escala Saaty do método AHP [15]. As políticas de contingência dos serviços aeronáuticos (de controle e defesa aérea), estabelecidas nos modelos operacionais de cada localidade (nó) da rede, são transformadas em critérios, com os maiores “pesos” atribuídos aos serviços em ordem de prioridade operacional. O vetor resultante indicará a ordem de prioridade entre os diversos serviços disponíveis na rede a fim de definir quais deles permanecerão ativos numa eventual degradação dos enlaces (definição de prioridades para a alocação).

A segunda etapa consiste na utilização de um método de decisão multiatributo (SAW) para a classificação dos enlaces combinando todos os critérios estabelecidos na entrada de parâmetros do modelo. O método SAW atribui um coeficiente (pontuação) a cada combinação de solicitação de serviço com um enlace (cada alocação) e é definido em um somatório (1) em que os critérios são somados conforme os “pesos” pré-definidos nas funções de utilidade e pelo método AHP.

$$p_{i,k} = \sum_{j=i}^I w_k * u_{i,j,k}, \forall i \forall k \quad (1)$$

Na equação (1), i representa os enlaces, j representa os critérios, e k representa as solicitações dos serviços (pacotes). O vetor w representa as prioridades definidas com o método AHP (avaliação dos critérios subjetivos) e a matriz u representa as relações (“pesos”) dos critérios objetivos de cada enlace para cada solicitação.

A terceira etapa do modelo consiste na aplicação de uma otimização aos dados obtidos nas etapas anteriores. O método da mochila multidimensional (MMKP) em que itens são colocados em mochilas pode ser abstraído para o problema da seleção de redes, em que os itens (pacotes de dados) precisam ser colocados (alocados) em mochilas (redes). A função objetivo do MMKP com os parâmetros do modelo de seleção de enlaces (2) e a restrição em (3) definem o problema de otimização inicial.

$$\max \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K x_{i,k} * p_{i,k} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^I dr_{i,k} * x_{i,k} \leq BW_i, \forall k \quad (3)$$

Nas equações (2) e (3), a matriz x representa a alocação dos pacotes nos enlaces; a matriz p representa o valor do “lucro” pela alocação de cada pacote em cada enlace, a matriz dr representa a quantidade de banda ocupada por um determinado serviço e o vetor BW representa o limite de banda em cada enlace i.

Um segundo objetivo (4) é inserido na otimização a fim de se alcançar o balanceamento da rede. O problema de otimização torna-se multiobjetivo pelo conflito que existe quando são atribuídos os pacotes aos enlaces nas situações de melhor “lucro”, porém de maneira desproporcional (entre os enlaces). Ao minimizar as diferenças entre as taxas de ocupação, a distribuição de carga tende a ficar igual em todos os enlaces.

$$\min \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^{I-1} \sum_{j=i}^I \left| \frac{x_{i,k}}{BW_i} - \frac{x_{j,k}}{BW_j} \right| * dr_k \quad (4)$$

O resultado da otimização será uma matriz binária (X) de atribuição dos pacotes nos enlaces do sistema (xi,k). Essa matriz permite calcular a perda de pacotes na alocação e a ocupação de cada enlace na situação otimizada da rede ATN/IPS.

IV – CONCLUSÕES

O uso combinado de métodos de tomada de decisão multiatributo e otimização combinatória oferecem a possibilidade de uma decisão ampla e otimizada na alocação de enlaces para transmissão de pacotes de dados de serviços aeronáuticos, considerando muitos critérios (objetivos e subjetivos), de modo a priorizar os serviços críticos.

O uso da otimização multiobjetivo permite manter um nível próximo ou igual ao ótimo na alocação e distribuir a carga de dados em cada enlace proporcionalmente à capacidade contratada. Com a informação obtida no modelo, os gestores (administradores) da rede podem fazer uma análise da ocupação dos enlaces e planejar um redimensionamento desses enlaces conforme os recursos disponíveis para contratação, tendo em vista que cada tecnologia tem seu custo associado.

Outra aplicação para o modelo seria a correção ou a coordenação da seleção de enlaces (alocações) realizadas em cada nó da rede de forma centralizada, a depender do tempo de resposta do modelo ser viável para essa aplicação, o que vai depender da implementação e do tamanho da rede.

Por fim, como trabalho futuro nesse tema considerando o modelo apresentado, pretende-se estudar métodos para previsão de demandas de modo a antecipar as correções de alocações dos pacotes nos nós da rede, a fim de atingir uma condição ótima utilização dos recursos disponíveis, atendendo aos serviços aeronáuticos dentro dos limites pré-estabelecidos e com as prioridades preservadas.

REFERÊNCIAS

- [1] ALAM, A. S.; HU, Y. F.; PILLAI, P.; XU, K.; BADDOO, J. **Optimal Datalink Selection for Future Aeronautical Telecommunication Networks**. IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., vol. 53, no. 5, pp. 2502–2515, 2017.
- [2] CANADÁ. International Civil Aviation Organization (ICAO). **Manual on the Aeronautical Telecommunication Network (ATN) using Internet Protocol Suite (IPS) Standards and Protocols**. Doc 9896. 2010.

- [3] MAHMOUD, M. S. B.; PIROVANO, A.; LARRIEU, N. **Aeronautical communication transition from analog to digital data: a network security survey.** *Comput. Sci. Rev.*, vol. 11–12, pp. 1–29, 2014.
- [4] CHAN, P. M. L.; HU, Y. F.; SHERIFF, R. E. **Implementation of Fuzzy Multiple Objective Decision Making Algorithm in a Heterogeneous Mobile Environment.** *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2002)* vol. 00, pp. 332–336, 2002.
- [5] SALIH, Y. K.; SEE, O. H.; IBRAHIM, R. W.; YOUSSEF, S.; IQBAL, A. **A user-centric game selection model based on user preferences for the selection of the best heterogeneous wireless network.** *Annals of Telecommunications*, vol. 70, no. 5–6, pp. 239–248. Paris, 2015.
- [6] BARI, F.; LEUNG, V. **Automated network selection in a heterogeneous wireless network environment.** *IEEE Netw.*, vol. 21, no. 1, pp. 34–40, 2007.
- [7] SONG, Q.; JAMALIPOUR, A. **Network selection in an integrated wireless LAN and UMTS environment using mathematical modeling and computing techniques.** *IEEE Wireless Communications*, vol. 12, no. 3, pp. 42–48, 2005.
- [8] OBAYIUWANA, E.; FALOWO, O. E. **Network selection in heterogeneous wireless networks using multi-criteria decision-making algorithms: a review.** *Wireless Networks*, 23(8), 2617–2649. 2017.
- [9] BARI, F.; LEUNG, V. **Application of electre to network selection in a heterogeneous wireless network environment.** In *Wireless communications and networking conference WCNC, 2007.* IEEE, pp. 3810–3815. 2007.
- [10] ANUPAMA, K. S. S.; GOWRI, S. S.; RAO, B. P.; MURALI, T. S. **A promethee approach for network selection in heterogeneous wireless environment.** In *Advances in computing, communications and informatics (ICACCI, International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics)* pp. 2560–2564. 2014.
- [11] BARI, F.; LEUNG, V. **Multi-attribute network selection by iterative topsis for heterogeneous wireless access.** In *4th IEEE consumer communications and networking conference (CCNC 2007).* pp. 808–812, 2007.
- [12] WANG, L.; KUO, G.-S. G. S. **Mathematical Modeling for Network Selection in Heterogeneous Wireless Networks — A Tutorial** *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 15, no. 1, pp. 271–292, 2013.
- [13] BARI, F.; LEUNG, V. C. M. **Use of Non-monotonic Utility in Multi-Attribute Network Selection.** In *Wireless Technology: Applications, Management, and Security*, S. Powell and J. P. Shim, Eds. pp. 21–39. Boston, MA: Springer US, 2009.
- [14] WANG, L.; BINET, D. **TRUST: a trigger-based automatic subjective weighting method for network selection.** In *2009 IEEE Fifth Advanced International Conference on Telecommunications* pp. 362–368. 2009.
- [15] SAATY, T. L. **Decision making with the analytic hierarchy process.** *International journal of services sciences*, 1(1), 83–98. 2008.
- [16] GAZIS, V.; ALONISTIOTI, N.; MERAKOS, L. **Toward a generic “always best connected” capability in integrated WLAN/UMTS cellular mobile networks (and beyond).** *IEEE Wireless Communications*, 12(3), 20–29. 2005.
- [17] BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **DCA 102-1.** Requisitos Básicos das Redes de Comunicações do COMAER. Rio de Janeiro: DECEA, 2011.
- [18] STEVENS-NAVARRO, E.; LIN, Y.; WONG, V. W. **An MDP-based vertical handoff decision algorithm for heterogeneous wireless networks.** *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 57(2), 1243–1254. 2008.