

Uma Meta-Heurística Bio-Inspirada para um Agente de Busca

Murilo O. Machado¹, Cabral Lima², José L. B. Gutierrez, Luiz F. S. Jimenez¹

¹CPAN - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS)
Corumbá – MS – Brasil

²UFRJ Universidade do Rio de Janeiro - Rio de Janeiro - RJ - Brasil

{murilo.machado, luiz.jimenez}@ufms.br

cabrallimabrazil@gmail.com, luis_bg154@hotmail.com

Abstract. *This paper presents a mathematical model that reproduces the compensation drift from the cross wind for a bird migration, and evaluates the relevance of using this model as a meta-heuristic goal for stochastic nature of problems. The research discusses the analogy between important mathematical models and suggests that the merger of some of these models can contribute to the areas covered by the artificial intelligence and optimization control for UAV's. The Puzzle (Puzzle Pieces of Eight) served as an example to test the model investigated, and the number of nodes expanded by the algorithm General Search in Tree with informed search strategy A* was the benchmark.*

Resumo. *Apresenta-se um modelo matemático que reproduz a compensação da deriva do vento lateral para uma ave em migração, e avalia a relevância em utilizar este modelo como uma meta heurística para problemas de natureza estocástica. A pesquisa discute a analogia entre os modelos matemáticos, e sugere que fusão destes modelos podem contribuir com as áreas compreendidas pela inteligência artificial e Otimização de Controle para VANT's. O Puzzle (Quebra Cabeça de Oito Peças) serviu com exemplo para testar o modelo investigado, e a Quantidade de nós expandidos pelo algoritmo Busca Geral em Árvore com estratégia de busca informada A* foi o parâmetro de comparação.*

1. Introdução

Modelos matemáticos são ferramentas poderosas para compreender e descrever os fenômenos físicos reais. A fim de validar os modelos matemáticos, os modelos computacionais são amplamente utilizados para simular estes fenômenos. Um modelo computacional robusto, geralmente lida com um problema não-linear, com soluções que não possuem resultados analíticos triviais.

Heurísticas adequadas oferecem ótimos resultados para estes problemas, principalmente nas áreas de Inteligência Artificial (IA) e Otimização de Algoritmos [Michalewicz and Fogel 2004]. Inteligência Computacional (IC) tem algumas abordagens interessantes para desenvolver modelos computacionais, tais como Redes Neurais, Lógica Fuzzy e Algoritmos Genéticos. Com efeito, IC tem sido amplamente utilizado em simulações de computador e mostrou ser bem sucedido em muitos modelos de problemas reais [Engelbrecht 2002].

Uma melhoria importante neste contexto foi a integração de IC com a Computação Bio-Inspirada. Em Swarm Intelligence (SI), o principal objetivo é entender como as interações entre agentes ocorrem, e como esses agentes se comportam diante de mudanças no seu ambiente [Beni and Wang 1998][Bonabeau et al. 1999]. A hipótese central é que há inteligência no comportamento global de um grupo de agentes, embora cada membro deste grupo segue regras naturais sem saber quem controla ou orienta o grupo [Beekman et al. 2008][Nicoud et al. 2009]. Modelos de colônia de formigas [Pat and Hota 2011] e cardume de peixes [Kobilarov et al. 2009] obterão importantes soluções para problemas que exigem um poder computacional elevado.

Alguns matemáticos forneceram grandes contribuições para a modelagem de fenômenos reais. Por exemplo, Euler, Lagrange, Fermat, Maupertuis e Hamilton, descrevem um formalismo que modela os problemas utilizando os conceitos de energiatotal do sistema, e descrevem em um espaço de configurações, o movimento de uma partícula iniciando em um ponto P1 e finalizando em um ponto P2 [Dower and McEneaney 2013, Tong 2006].

Este artigo tem como objetivo geral apresentar a meta heurística, Lagrangeana (L) obtida para reproduzir a compensação da deriva do vento lateral para aves em migração, que pode ser promissora, principalmente em corrigir a deriva provocada por ventos coplanares em veículos aéreos não tripulados (VANTs) de asas fixas e com giro limitado. O foco deste trabalho é testar e avaliar as soluções desta Meta Heurística, considerando L como uma função de avaliação de um agente de busca na resolução do problema, Quebra Cabeça de Oito Peças. Para validar a Meta Heurística foi implementado o algoritmo Busca Geral em Árvore, e realizado a comparação entre as Médias dos Nós Expandidos na resolução do problema para cada estratégia utilizada, ver [Russell and Norvig 2004, cap. 3]. As principais variáveis investigadas neste trabalho, foram a função de avaliação do agente de busca $f(n)$ referente a Estratégia A^* e o domínio da Lagrangeana L.

A primeira seção realiza uma breve introdução do estado da arte para área e tema em estudo, e em seguida define os principais objetivos desta pesquisa. A segunda seção apresenta uma revisão bibliográfica de modelos matemáticos para corrigir a deriva lateral do vento em VANT's e para Aves em Migração. A terceira seção descreve algumas propriedades e características do suporte teórico utilizado na construção do modelo matemático apresentado neste artigo. A quarta seção descreve a sequência de passos seguidas em cada estratégia investigada, e por fim discute-se os principais resultados obtidos.

2. Revisão da literatura

2.1. Planejamento de trajetórias para VANT's

Os autores [McGee et al. 2005], [Craig and Morgansen 2010] e [Seleck et al. 2013] abordam a geração de trajetórias ótimas para aeromodelos não tripulados VANT's com asas fixas, giro e aceleração limitada, e sob a influência do efeito do vento coplanar com intensidade constante. Como veículo dessa natureza não pode mudar de trajetória instantaneamente, as equações ótimas não podem contar com as propriedades de linearidades das funções envolvidas. [McGee et al. 2005] e [Craig and Morgansen 2010] utilizam como principal parâmetro de comparação os recursos oferecidos pela integração numérica.

Para [Seleck et al. 2013] o problema é analisado com uma função heurística, onde é incorporado a influência do vento ao algoritmo AA^* . [Craig and Morgansen 2010] re-

aliza a simulação de um modelo cinemático, simplificando as dimensões reais da aeronave por um modelo puntiforme, que se desloca a uma velocidade constante em relação ao ambiente, contribuindo com um modelo simples que encontra o caminho de tempo mínimo para trajetória percorrida entre dois pontos por um aeromodelo virtual. Já [McGee et al. 2005] recorre a dinâmica hamiltoniana em um modelo cinemático para um aeromodelo real, explorando as condições de descontinuidades com os recursos oferecidos pela notação de Bryson e Ho, e prova analiticamente a configuração geométrica do caminho mínimo, sendo esse formado por três arcos de diferentes tamanhos. Foi demonstrado por [McGee et al. 2005] que na presença de ventos constantes, os arcos que compõem a trajetória ideal devem ser reduzidos de uma quantidade π -radianos. [McGee et al. 2005] utiliza os recursos introduzidos pela mecânica Lagrangeana, que fornecem um conjunto de propriedades significantes no tratamento de problemas que necessitam de soluções analíticas.

2.2. Modelo matemático de correção da deriva do vento para aves em migração

As correntes de ventos existentes durante o vôo da ave e a variação da velocidade desses ventos são fatores decisivos para a estratégia dessa ave para obter uma trajetória otimizada, pois requerem uma “análise” das vantagens e desvantagens em adotar um determinado procedimento de compensação à deriva do vento quando esta for requerida.

A compensação completa da deriva do vento (quando o ângulo entre o rastreamento da ave e o vetor distância inicial é zero) é ideal quando a variação na velocidade do vento é insignificante, caso contrário o ideal é uma compensação parcial e flexível [Alerstam 1979]. Uma equação de ajuste ótimo na velocidade e direção no vôo durante a migração, em relação às despesas de energia e influência do vento, foi proposta e demonstrada por [Liechti 1995]

2.3. Mecânica de Lagrange

A Mecânica Lagrangeana é fundamentada no princípio de d'ALAMBERT e está enraizada no conceito de coordenadas generalizadas introduzidas por LAGRANGE, e tem a vantagem adicional de não envolver as forças de vínculo. O trabalho realizado pela força de vínculo por ocasião de um deslocamento virtual da partícula é considerado nulo, mesmo que a superfície esteja em movimento. Isso difere do trabalho realizado durante um deslocamento real, que não é necessariamente nulo [Lemos 2007]. Neste formalismo recorre-se ao espaço de configuração, que constitui-se de um conjunto de valores atribuídos às coordenadas generalizadas com eixos coordenados, onde sua estrutura matemática sugere o termo de variedades de configuração (cada conjunto de valores atribuídos às coordenadas generalizadas) defini a configuração do sistema para cada instante. Os deslocamentos virtuais (r) são transições infinitesimais de cada partícula que levam de uma configuração possível a uma outra infinitesimalmente próxima.

3. Metodologia

Na implementação do modelo proposto, utilizou-se um computador com cpu de 800 MHz, cache 512 KB, memória total de 1.656 GB, e o software MATLAB versão 2012. A Lagrangeana L foi construída a partir de um modelo geométrico para uma ave em migração sob o efeito de ventos laterais e com um objetivo fixo, apresentado na Figura 1, para

mais detalhes ver [Machado 2012]. A distância restante de um objetivo fixo, X, foi expressa como um Vínculo Holônomo, e representado geometricamente como o lado de um triângulo, semelhante ao esquema de velocidades vetoriais proposto por Thomas Alertam e utilizado por Felix Liechti em suas investigações. O modelo apresentado neste trabalho, expressa a força dissipativa do vento pelo Potencial Generalizado Dissipativo de Rayleig.

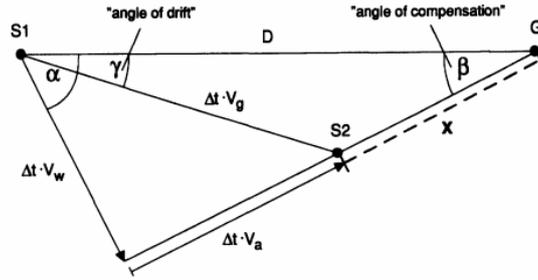


Figura 1. Modelo geométrico representando a influência do vento de uma etapa no voo de uma ave em migração com objetivo fixo. [Liechti 1995]

$$L(V_a, \alpha) = m * (V_a)^2 + m * V_a * \cos(\beta + \alpha) + \frac{k}{2} * (V_a)^2 \quad (1)$$

As estratégias investigadas na resolução do problema do Quebra Cabeça de Oito Peças, incluem a Lagrangeana na implementação do algoritmo Busca Geral em Arvore, contido em [Russel 2009, cap. 3]. No modelo aqui apresentado, realizam-se ajustes no valor da função de avaliação do agente de busca $f(n)$ referente a Estratégia A*. Os valores das variáveis (f , g e h) são inseridos em L como sendo os valores de suas respectivas variáveis, velocidade da ave V_a , e o ângulo α entre o vento lateral e o corpo da ave. O domínio de cada variável de L foi parametrizado de acordo com os valores presentes na função $f(n) = g(n) + h(n)$. Por fim, os resultados obtidos com L e suas derivadas são utilizados para realizar ajustes na função de avaliação $f(n)$ do agente de busca.

A primeira estratégia separa linearmente os domínios V_a e α de L entre 300 números, e insere o valor de f em L obtendo a meta heurística:

$$L1 = f - L(f + 1, f + 1) \quad (2)$$

A segunda estratégia separa linearmente os domínios de V_a e α de L entre 20 números, e insere o valor de f em L' obtendo a meta heurística:

$$L2 = f - \partial L(f + 1, f + 1) / \partial V_a \quad (3)$$

A terceira estratégia separa linearmente o domínio de V_a de L entre 300 números e o domínio de α entre 11 número, em seguida insere os respectivos valores de g e h em L , obtendo a meta heurística:

$$L3 = f - L(g + 1, h + 1) \quad (4)$$

A quarta estratégia separa linearmente os domínios de V_a e α da lagrangeana L entre 30 números, e insere o valor de g e h em L'/L'' , obtendo:

$$L4 = f - \partial L (g + 1, h + 1) / \partial V_a / \partial^2 L (g + 1, h + 1) / \partial V_a^2 \quad (5)$$

A quinta estratégia separa linearmente os domínios de V_a e α de L entre 30 números, e insere o valor de h e g em L'/L'' , obtendo:

$$L5 = f - \partial L (h + 1, g + 1) / \partial V_a / \partial^2 L (h + 1, g + 1) / \partial V_a^2 \quad (6)$$

A sexta estratégia separa linearmente o domínio de V_a e L entre 400 números e o domínio de e e o domínio de α entre 10 números, em seguida insere os respectivos valores de g e h em L , obtendo a meta heurística:

$$L6 = f - L (g + 1, h + 1) \quad (7)$$

A sétima estratégia separa linearmente o domínio de V_a da lagrangeana L entre 30 números e o domínio de α entre 11 números, em seguida insere os respectivos valores de g e h em L , obtendo a meta-heurística:

$$L7 = f - \partial L (g + 1, h + 1) / \partial V_a / \partial^2 L (g + 1, h + 1) / \partial V^2 \quad (8)$$

As amostras foram obtidas com a função SUCCESSOR contida no algoritmo Busca Geral em Árvore. Utilizando um numero aleatório n , entre 0 e 10, realizou-se a partir da solução do problema (estado objetivo) n ações seguidas com a função SUCCESSOR. Foram gerados *1000 Problemas Aleatórios* (Estados Iniciais) como exemplos, sem estados repetidos (tabela 1) e com estados repetidos (tabela 2). Desta forma, garantiu-se a existência de soluções entre os *10 Primeiros Níveis da Árvore de Busca*.

4. Resultados

As árvores apresentadas nas Figuras 2 e 3, demonstram os resultados obtidos com a simulação do algoritmo Busca Geral em Árvore com duas funções de avaliação diferentes, sendo que a Figura 2, mostra os resultados obtidos com a função de avaliação $f(n)$ e a Figura 3 mostra os resultados obtidos com a função de avaliação $L(n)$. As figuras também representam os estados armazenados em cada nó da árvore de busca com as funções de avaliação $f(n)$ (Figura 2) e $L7$ (Figura 3).

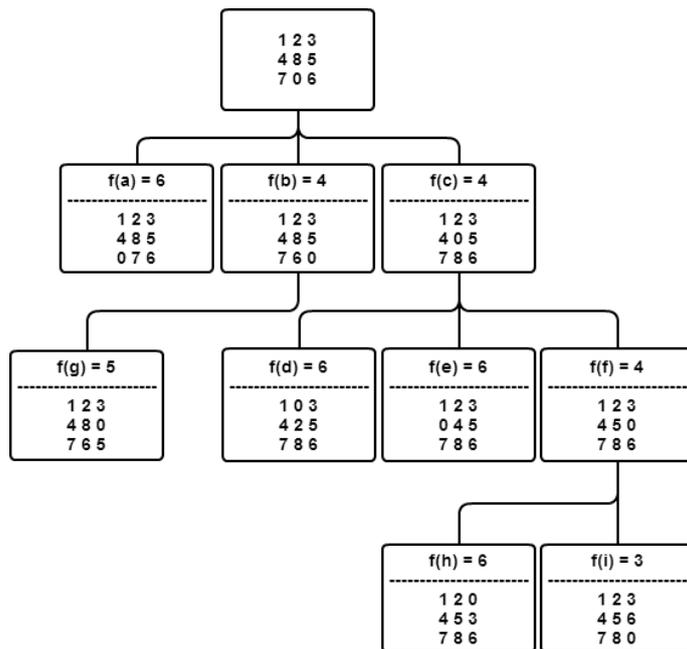


Figura 2. Resultados obtidos com a função de avaliação $f(n)$

As figuras 2 e 3 mostram que a meta heurística L7 expande um nó a menos que a função $f(n)$.

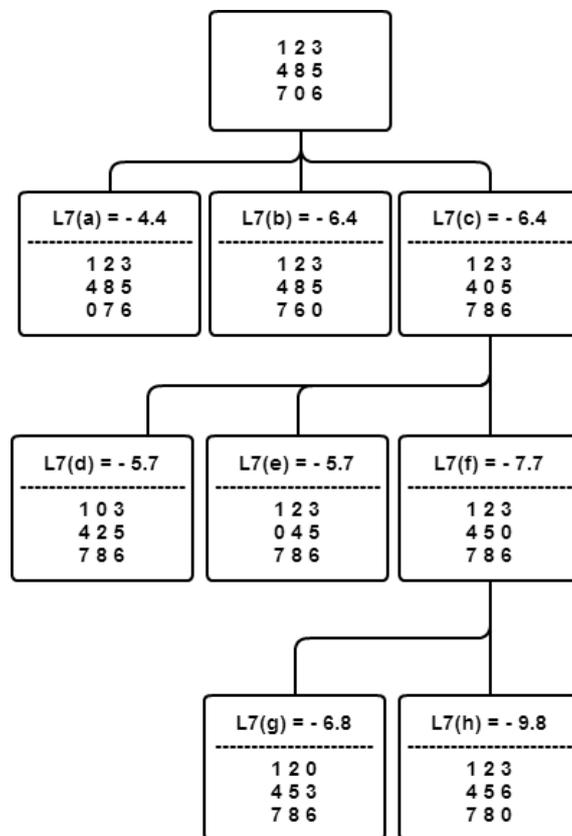


Figura 3. Resultados obtidos com a função de avaliação $L(n)$

Tabela 1. Médias dos nós gerados para resolução do problema Quebra Cabeça de Oito Peças com o algoritmo Busca Geral em Árvore, sem estados repetidos.

f(n)	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
3.0000	3.0000	3.0000	3.3086	3.0000	3.0000	4.2344	3.0000
5.3220	5.3220	5.0550	19.2251	5.1021	5.3743	9.7173	5.1021
10.4194	10.4194	9.2129	69.9032	9.3677	11.9226	15.5874	9.1742
21.2414	21.2414	18.0000	220.655	17.7931	27.3448	36.6053	17.2069
-	-	-	-	-	35.3333	-	-

Tabela 2. Médias dos nós gerados para resolução do problema Quebra Cabeça de Oito Peças com o algoritmo Busca Geral em Árvore, com estados repetidos.

f(n)	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
2.4693	2.4693	2.4693	2.6152	2.4693	2.4693	3.4630	2.4693
4.6734	4.6734	4.4747	14.7778	4.5724	4.7407	20.1481	4.5724
8.0960	8.0960	7.5840	52.0800	7.6080	9.2160	76.3600	7.6320
15.6786	15.6786	14.0714	179.321	13.6667	21.6786	224.928	13.2593
27.6667	27.6667	28.3333	472.000	29.6667	45.0000	538.333	29.0000

5. Discussão dos Resultados

A analogia explícita entre as variáveis contidas no modelo matemático de Felix e as presentes na Estratégia de Busca A*, sugeriram investigar a fusão destes dois modelos. Ambas variáveis, X e h, representam a distância restante de um objetivo fixo, e as outras variáveis do Modelo de Felix estão relacionadas diretamente com a otimização custo do voo da ave sujeita a influência de ventos laterais (potências dissipativas de energia), análogo a variável g que representa o custo parcial na árvore de busca.

A Lagrangeana L apresentada como a meta heurística Li, representa seu domínio em um espaço discreto e contido no Universo dos Números Inteiros, que foi linearmente espaçados e parametrizado como descritos na seção da metodologia, contudo a imagem de L continua no universo dos números reais.

A implementação do problema Quebra Cabeça de Oito Peças, com a Estratégia de Busca A* e com a meta heurística não apresentou grandes dificuldades, principalmente pelo fato de [Russell and Norvig 2004] possuir ótimas descrições das funções contidas no algoritmo Busca Geral em Árvore, junto ao potencial do software MATLAB em representar estruturas de dados como matrizes e equações diferenciais. Na construção da Lagrangeana L o ambiente real da ave foi simplificado, e representado em um espaço bidimensional, sem considerar outras variáveis como altitude, temperatura ou condições fisiológicas da ave.

Podem ser encontradas as representações dos estados armazenados em cada nó da árvore de busca com as funções de avaliação f(n) na Figura 1, e L7 na Figura 2, que demonstram que a meta heurística L7 expande um nó a menos que a função f(n). Isso ocorre pela característica do algoritmo Busca Geral em Árvore organizar os nós da variável BORDA em uma fila de prioridade ocasionando a expansão do nó f primeiro que

o nó b. A função de avaliação L7 atribui ao nó f um valor menor que o nó b, não necessitando expandir o nó b. Esse resultado sugere que a meta heurística L otimiza custo de memória utilizado pela variável BORDA do algoritmo Busca Geral em Árvore.

A meta heurística L6 encontrada na Tabela 1 e os demais resultados encontrados na Tabela 2, possuem quantidades de soluções diferentes em cada nível da Árvore de Busca. O resultado da meta heurística L7 (Tabela 2), possui entre os Níveis 9 e 10 uma amostra a menos que as obtidas pela função de comparação $f(n)$, pois esse exemplo foi solucionado no 11º Nível da Árvore de Busca.

A função de avaliação $f(n)$ realiza todas buscas em um tempo próximo a 211 s, significativamente menor que o tempo de 921 s utilizado pela meta-heurística L7. Esse resultado foi atribuído ao maior custo computacional exigido pelas equações diferenciais presentes na Meta Heurística, lembrando que a função $f(n)$ utiliza somente uma operação aritmética (soma) na Estratégia A*.

6. Conclusões

O modelo matemático demonstra-se promissor em contribuir com o planejamento de voos para VANT's, e obteve resultados significantes em relação a quantidade de nós expandidos comparado a estratégia A*. A eficiência de uma ave em compensar a deriva do vento lateral, e as abordagens estudadas para obter a trajetória ótima de um VANT's sob influência do vento lateral, justificam utilizar o formalismo da Mecânica Lagrangeana para construir este modelo matemático bio inspirado. O resultado investigado para média dos nós expandidos na resolução do problema Quebra Cabeça de Oito Peças, mostram a importância em continuar explorando essa Lagrangeana como uma meta heurística em avaliar agentes de busca. A próxima pesquisa pretende implementar o Algoritmo AA* e realizar simulações para voos de VANT's sob a influência do vento, e realizar testes comparativos com a Meta Heurística apresentada neste artigo.

Referências

- Alerstam, T. (1979). Wind as selective agent in bird migration.
- Beekman, M., Sword, G. A., and Simpson, S. J. (2008). Biological foundations of swarm intelligence.
- Beni, G. and Wang, J. (1998). Swarm intelligence in cellular robotic systems, proceedings of the nato advanced workshop on robots and biological systems.
- Bonabeau, E., Dorigo, M., and Theraulaz, G. (1999). Swarm intelligence, from natural to artificial systems.
- Craig, W. and Morgansen, K. A. (2010). Planar path planning for flight vehicles in wind with turn rate and acceleration bounds laszlo techy.
- Dower, P. M. and McEneaney, W. M. (2013). A fundamental solution for an infinite dimensional two-point boundary value problem via the principle of stationary action.
- Engelbrecht, A. P. (2002). Computational intelligence an introduction.
- Kobilarov, M., Crane, K., and Desbrun, M. (2009). Lie group integrators for animation and control of vehicles.

- Lemos, N. (2007). *Mecanica analitica*.
- Liechti, F. (1995). Modelling optimal heading and airspeed of migrating birds in relation to energy expenditure and wind influence.
- Machado, M. O. (2012). Predição de ajustes em vôos de aves migratórias sazonais noturnas: um simulador com adequação nebulosa.
- McGee, T. G., y, S. S., and Hedrickz, J. K. (2005). Optimal path planning in a constant wind with a bounded turning rate.
- Michalewicz, Z. and Fogel, D. B. (2004). *How to solve it: Modern heuristics*.
- Nicoud, J. D., Deneubourg, J., and Floreano, D. (2009). Swarm intelligence in autonomous collective robotics : From tool to the analysis synthesis of distributed control strategies.
- Pat, A. and Hota, A. R. (2011). Ant colony optimization and hypergraph covering problems.
- Russell, S. and Norvig, P. (2004). *Inteligência Artificial*. Editora Campus.
- Seleck, M., Vaña, P., Rollo, M., and Meiser, T. (2013). Wind corrections in flight path planning.
- Tong, D. (2006). *Classical dynamics university of cambridge part ii mathematical tripos*.