Fonte Multiespectral Ajustável baseada em LEDs para Geração de Espectros Sintéticos necessários na Calibração de Sensor Estelar

M. E. G. Borges[1*]; L. N. F. Guimarães [2]
[1] *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada, São José dos Campos – SP*
[2] *Instituto de Estudos Avançados – Divisão de Energia Nuclear, São José dos Campos – SP*
**marcoseborges@gmail.com*

Palavras-chave: Sensor de Estrelas; Fonte de luz; Controlador Fuzzy; Algoritmos Genéticos.

Introdução

O INPE está desenvolvendo um Sensor de Estrelas Autônomo (SEA), que é um equipamento eletro-óptico utilizado para determinar a atitude de veículos espaciais ou suborbitais utilizando como fonte de referência as estrelas. A determinação de atitude corresponde a identificar a região do espaço para a qual o sensor está apontando. O sensor é basicamente semelhante a uma câmera de vídeo digital, com objetiva óptica, matriz de detectores e eletrônica de processamento. As imagens adquiridas pelo sensor são processadas com o intuito de determinar as estrelas presentes no campo de visada [1-4].

Para calibrar, testar e caracterizar o SEA, é necessário uma infraestrutura sofisticada de testes chamada GSE (*Ground Support Equipment*) composta por diversos equipamentos eletrônicos, ópticos, eletro-ópticos, mecânicos e eletromecânicos, que inclui dentre outros itens, um Simulador de Estrelas (SE). O simulador em questão é formado por uma fonte de luz, alvo (*pinhole*) e colimador. A fonte de luz é responsável em gerar espectros semelhantes aos emitidos por estrelas. O *pinhole* é o orifício por onde os feixes de luz gerados incidirão, e através dele projetados no colimador. O colimador tem a função de tornar paralelo o feixe luminoso divergente recebido através do *pinhole* simulando uma fonte de luz no infinito.

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia utilizando paradigmas de inteligência artificial no projeto e construção de uma fonte de luz multiespectral baseada em LEDs (*Light Emitting Diode*). Serão utilizados algoritmos genéticos para a resolução do problema de otimização multiobjetiva que é a definição da quantidade e tipos de LEDs que serão necessários para que a fonte de luz simule estrelas corretamente, bem como o desenvolvimento de um sistema de controle em malha fechada para que a fonte de luz gere espectros sintéticos de maneira estável.

Metodologia

A característica espectral da fonte de luz é muito importante para simular estrelas de maneira adequada. Estudos a cerca das características espectrais das estrelas no intervalo de magnitude que o sensor operará foram conduzidos por Albuquerque, que apresenta um histograma de temperaturas que pode ser visto na Figura 1. Mediante aos resultados obtidos, concluiu-se que a emitância espectral de uma estrela pode ser modelada por um corpo negro [2].

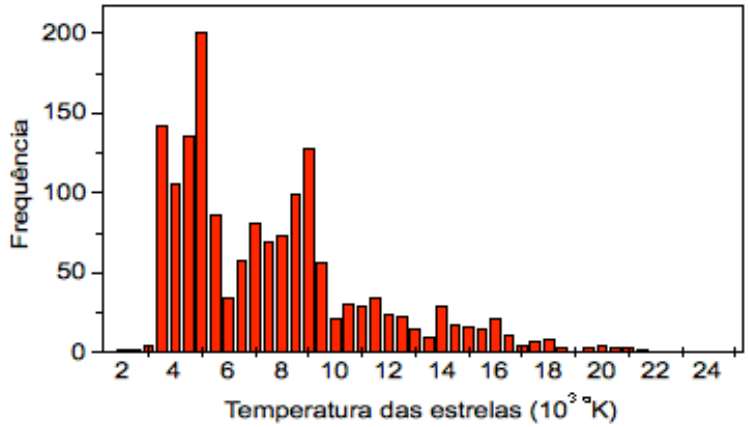


Figura 1. Histograma de temperatura de estrelas na faixa de magnitude visual de zero a cinco.

Diante dos resultados obtidos, percebeu-se que a temperatura média das estrelas que serão simuladas está próxima a 7500K e a maioria das estrelas estão na faixa de temperatura entre 3000K e 20000K. A fonte de luz poderia ser desenvolvida utilizando lâmpadas de filamento, todavia estas não conseguiriam simular temperaturas acima de 3500K. Para simular temperaturas mais altas, uma das alternativas seria utilizar filtros espectrais projetados especificamente para esta tarefa. O problema com esta solução está na baixa eficiência luminosa e na dissipação de calor da lâmpada de filamento que pode deformar o colimador modificando assim a posição relativa da estrela durante os testes. Devido a esses fatores, foi decidido desenvolver uma fonte de luz baseada em LEDs.

A Figura 2 apresenta a arquitetura da fonte de luz que está sendo desenvolvida. A fonte em questão é formada por uma esfera integradora, um gama de LEDs com diferentes comprimentos de onda central (ou cores), uma fonte elétrica de alimentação multicanal para os LEDs, um sensor espectrorradiômetro e um computador. A arquitetura é baseada em trabalhos apresentados por [5-7].

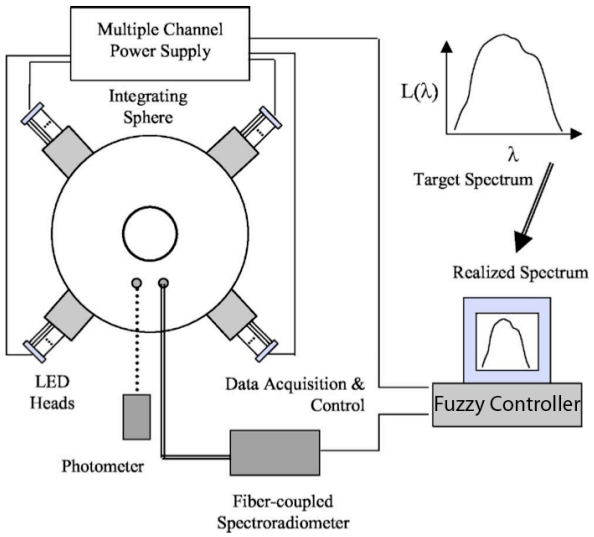


Figura 2. Arquitetura da fonte de luz usada no simulador de estrelas.

A esfera integradora trata-se de uma esfera de metal oca com pintura interna branca altamente reflexiva e lambertiana, possuindo portas de entrada e saída de luz. Os diferentes LEDs são

acoplados nas portas de entrada da esfera, a qual é capaz de misturar os espectros (ou cores) de todos os LEDs produzindo na sua porta de saída uma luz com espectro sintético resultante dessa mistura. O espectrorradiômetro tem a capacidade de realizar a medida do espectro de saída da esfera integradora. A fonte elétrica multicanal tem o objetivo de controlar de forma independente a potência emitida de cada grupo de LEDs do mesmo tipo através do controle da tensão elétrica aplicada sobre o grupo.

A fonte de luz deverá ter a capacidade de produzir espectros de estrelas na região espectral visível e infravermelho próximo. O projeto da fonte de luz encontra-se na fase de definição da quantidade e tipo de LEDs que serão necessários para a irradiância espectral desejada na saída do colimador. Para a realização dessa tarefa, além da temperatura de uma estrela, utilizar-se-á o conceito de magnitude. A magnitude de uma estrela é uma quantidade comparativa, representada por uma escala logarítmica. Allen apresenta as equações necessárias para o cálculo da magnitude visual de uma estrela [8], e por analogia Matos define as equações para calcular a magnitude instrumental [3]. Com isso, se soubermos o fluxo espectral de cada LED acoplado à esfera, será possível calcular a potência espectral na saída do colimador.

Para a tarefa de otimização multiobjetiva, que é a definição dos tipos e quantidades mínimas de LEDs necessárias na fonte de luz, será utilizado um Algoritmo Genético (AG), que constitui uma das mais conhecidas classes de algoritmos da Computação Evolutiva (CE). Os AGs são baseados em uma população de cromossomos, desenvolvendo sua fonte de diversificação através de operadores de cruzamento e mutações aleatórias. No contexto computacional, a evolução pode ser entendida como um método de busca dentro de um espaço de soluções possíveis. Os operadores de cruzamento são uma forma de recombinar informações contidas nos cromossomos dos pais, produzindo filhos que representam novos pontos no espaço de busca.

A CE é uma abordagem inspirada nos mecanismos de evolução de populações de seres vivos. Os algoritmos desenvolvidos segundo essa abordagem utilizam-se de um reservatório de informações codificadas em um formato que imita as informações genéticas (cromossomos) e opera segundo uma lógica que permite que tais unidades troquem informações entre si [9,10].

Cada solução candidata (indivíduo) será codificada representando 100 tipos de LEDs e a quantidade de cada tipo utilizado conforme exemplifica a Figura 3.

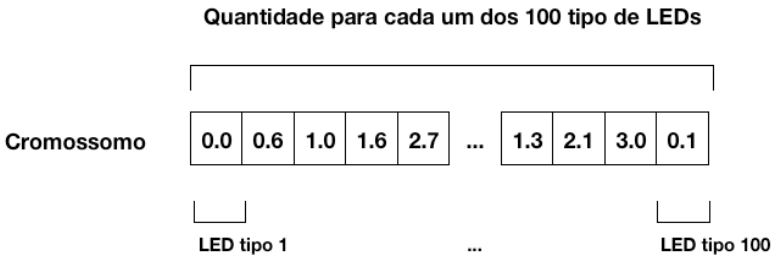


Figura 3. Método de codificação para cada cromossomo.

Há várias restrições que o algoritmo genético deverá considerar na definição da população inicial, na aplicação dos operadores de cruzamento e de mutação. As restrições são impostas devido as limitações de hardware da fonte de alimentação. O algoritmo também será implementado de forma a dar preferências para as melhores soluções ao mesmo tempo que considera a menor quantidade de LEDs na solução.

Para o cálculo da função objetivo (fitness), será necessário o desenvolvimento de um software que simule em computador os espectros gerados pelos LEDs passando pela esfera integradora, *pinhole* e projetado após o colimador. Esse simulador receberá as configurações

codificadas em um indivíduo do AG como uma possível solução para o problema, e por meio dessa configuração simulará a fonte de luz, gerando ao final do processo valores correspondentes ao quão distante a configuração apresentada está da curva espectral desejada. O resultado da simulação definirá a aptidão do indivíduo apresentado ao simulador, e dessa forma o AG conseguirá avaliar as melhores soluções.

Baseados nos resultados apresentados pelo AG serão escolhidos os LEDs para compor a fonte de luz. Uma vez com o sistema montado, medidas da potência espectral de cada um dos LEDs serão realizadas utilizando a esfera integradora e um espectroradiômetro de CCD calibrado. Com a potência espectral real para cada um dos LEDs, será utilizado novamente o AG para estimar o funcionamento da fonte de luz simulada com as novas potências espectrais medidas.

Ao final desses dois processos de simulações utilizando AG, será possível estimar a potência espectral da fonte de luz projetada. Por fim será desenvolvido um sistema de controle para sintonização da fonte e geração de espectros sintéticos e simulação de estrelas. Inicialmente será desenvolvido o sistema de controle para atuar na fonte de luz simulada em computador, e posteriormente o controlador será implementado em um software específico para controlar o equipamento real.

Sistemas de controle automático necessitam ser robustos e precisos. Esse tipo de sistemas são encontrados em diversas aplicações, e neste trabalho será implementado um simulador com controle *fuzzy* para a fonte de luz. Sistemas de controle baseados na lógica *fuzzy* apresentam a supervisão inteligente baseada apenas em informações qualitativas [10-12]. Nesse tipo de sistema de controle, informações sobre como a saída do processo está evoluindo são utilizadas para determinar o sinal de controle que deve ser aplicado ao processo em um instante específico. Isso é realizado através da realimentação da saída para a entrada [12].

Um controlador *fuzzy* é basicamente construído utilizando uma base de regras de produção do tipo **Se-Então**, que definem ações de controle em função das diversas faixas de valores que são calculados e assumidos pelas variáveis de estado do problema [10,12]. As faixas de valores, ou seja, os termos linguísticos serão definidos, e através desses termos serão criadas as regras de produção do tipo **Se-Então**. A Figura 2 apresenta como será a arquitetura de controle da fonte de luz utilizando um controlador nebuloso.

Resultados e Discussão

O projeto da fonte de luz encontra-se na fase de definição da quantidade e tipo de LEDs, sendo que a dificuldade neste processo está em obter o fluxo espectral de cada LED. Os *datasheets* dos LEDs geralmente não trazem esta informação diretamente. A informação de potência é fornecida em diferentes unidades, tais como: candela, watts/esferorradiano, lumen, watts, mas nunca a curva de potência espectral. Usando todas as informações disponíveis nos *datasheets*, como curva espectral normalizada, diagrama de radiação entre outros, será estimado a potência espectral de cada um dos LEDs candidatos a serem usados no sistema.

Um exemplo da distribuição de potência espectral, SPD de *spectral power distribution*, de vários tipos de LEDs pode ser vista através da Figura 3 apresentada em [6], e representa a SPD de 35 LEDs que foram utilizados na primeira versão da fonte de luz desenvolvida no National Institute of Standards and Technology (NIST).

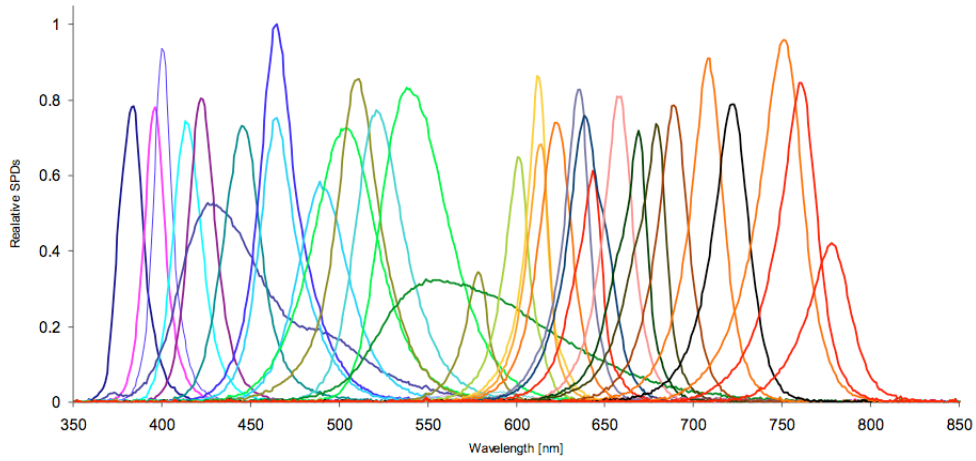


Figura 3. Distribuição de potência espectral de 35 LEDs.

Por meio das SPDs apresentadas na Figura 3 é possível perceber a possibilidade de combinar diferentes contribuições de potência espectral dos LEDs para gerar espectros sintéticos. Uma vez com os dados de potência espectral estimada de cada LED, será implementado um algoritmo evolutivo para calcular o número de cada LED necessário para sintetizar curvas espectrais nas diferentes temperaturas (3000, 7500 e 20000K) fornecendo irradiância equivalente a de estrelas de magnitude um na saída do colimador.

Conclusões

Há inúmeras atividades que requerem a correspondência espectral entre fontes de luz. Exemplo disso são as simulações da iluminação diurna para calibração de instrumentos ou inspeção visual. Utilizando LEDs com diferentes distribuições de potência espectral, e controlando a potência de saída de cada tipo de LED é possível ter uma fonte de luz multiespectral ajustável capaz de fornecer correspondência entre um espectro sintético e outro de referência com alta fidelidade [14].

Espera-se com a realização deste trabalho, expandir o domínio sobre a questão de otimização em projetos ópticos utilizando LEDs, desenvolvendo métodos para simulações em computador, tornando possível prever comportamentos do equipamento e antecipar possíveis problemas de engenharia utilizando paradigmas de IA.

Através das técnicas de computação evolutiva aplicadas ao problema e da construção do sistema de controle nebuloso, deseja-se também construir um instrumento capaz de simular estrelas em diferentes temperaturas para auxiliar na calibração do Sensor de Estrelas Autônomo em desenvolvimento no INPE. Espera-se também que a fonte de luz possa ser utilizada em diversos outros estudos e simulações ópticas, não sendo limitada apenas a simulação de estrelas.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao CNPq pelo auxílio financeiro e ao INPE por tornar este trabalho possível, ao IEAv e a toda equipe do SCTI pela oportunidade e apoio. Aos colegas da Divisão de Eletrônica Aeroespacial Braulio F. C. de Albuquerque e Márcio A. A. Fialho pelo conhecimento, auxílio e incentivos recebidos.

Referências

[1] BERTOLINO, M. A. **Proposta de desenvolvimento de um sensor de estrelas autônomo**. São José dos Campos: INPE, Relatório Técnico, 2004, (DEA-EO- 005/2003).

[2] ALBUQUERQUE, B. F. C. de. **Estudo dos erros sistemáticos inerentes a um sensor de estrelas de cabeça fixa, quando à localização relativa de**

estrelas. São José dos Campos, 2005. Dissertação (Mestrado), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
[3] MATOS, J. D. **Dimensionamento radiométrico preliminar do sensor de estrelas**. São José dos Campos: INPE, Relatório Técnico, 1997.
[4] FIALHO, M. A. A. **Estudo comparativo entre dois algoritmos de identificação de estrelas para um sensor de estrelas autônomo de campo largo**. São José dos Campos, 2007. Dissertação (Mestrado), Instituto Tecnológico de Aeronáutica.
[5] Fryc, I. et al. **A spectrally tunable solid-state source for radiometric, photometric and colorimetric applications**. Optical Engineering, vol. 44, no. 11, 2005.
[6] Fryc, I. et al. **Spectral matching with an led-based spectrally tunable light source**. Fifth International Conference on Solid State Lighting, vol. 5941, pp. 59 411I–1 – 59 411I–9, 2005, proceedings of the SPIE.
[7] Ohno, Y. **Spectral design considerations for white led color rendering**. Optical Engineering, vol. 44, no. 11, 2005.
[8] Allen, C. W. **Astrophysical quantities**. Great Britain: Willian Clowes, vol. 5941, p. 310, 1973.
[9] Lacerda, E. G. M., Carvalho, A. C. P. L. **Introdução aos algoritmos genéticos**. In: Galvão,C.O., Valença, M.J.S. (orgs.) Sistemas inteligentes: aplicações a recursos hídricos e ciências ambientais. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS : Associação Brasileira de Recursos Hídricos. p. 99-150. 1999. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; 7.).
[10] BITTENCOURT, G. **Inteligência Artificial**, 3rd ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 1998.
[11] ZADEH, L. A. **Fuzzy sets**. Information and Control, vol. 8, pp. 338–353, 1965.
[12] TSOUKALAS, L. H.; UHRIG, R. E. **Fuzzy and neural approaches in engineering**. New York: John Wiley & Sons, 1997.