

ESTUDO DE SISTEMA DE IMAGEM SUBAQUÁTICO BASEADO EM GUIAS PLÁSTICOS DE FIBRA ÓPTICA

Ana Luiza Cantharino Maciel¹; Jéssica Guerreiro Santos Ramalho²; Valéria Loureiro da Silva³

¹Graduanda em Engenharia de Controle e Automação; Iniciação Tecnológica – EMBRAPII; ana.maciel@aln.senaicimatec.edu.br

² Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador - BA; jessica.ramalho@fbter.org.br

³ Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador - BA; valeria.dasilva@fieb.org.br

RESUMO

Sistemas de imageamento para ambientes subaquáticos podem ser formados por uma lente e um guia de imagem de fibras ópticas que sejam complacentes ao corpo de um manipulador robótico contínuo e flexível, por exemplo. O presente trabalho tem por objetivo avaliar a coerência entre a projeção matemática e os dados experimental na mudança do campo de visão e resolução espacial de um sistema de imagem constituído por um guia de fibra óptica plástica coerente e uma lente, quando o sistema é submerso em água. Os testes validaram a projeção matemática esperada e serviram como ensaios para testes com guia de imagem de vidro que serão executados futuramente. O método utilizado pode ser aplicado a sistemas com requisitos diferentes e poderão ser mais bem avaliados com alvos de resolução mais detalhada.

PALAVRAS-CHAVE: sistemas de imagem subaquáticos; resolução espacial; campo de visão; guia de fibra óptica plástica

1. INTRODUÇÃO

Em manipuladores robóticos subaquáticos, longos, contínuos e flexíveis, uma das otimizações estruturais possíveis é a integração de sensores leves, finos e complacentes ao corpo do robô. Pensando nisso, uma estratégia é acoplar aos manipuladores sensores produzidos a partir da interrogação de fibra óptica, como sensores de vibração, temperatura e contato [1,2]. Para inspeção visual, uma das opções é confeccionar um sistema de imagem baseado em um conjunto de fibras ópticas alinhadas capazes de transportar imagens a longa distância: os guias de imagem [3].

Uma preocupação inerente a esta aplicação é a resistência desses materiais a água e a projeção do sistema de imagem com a mudança do meio padrão de aplicação do guia de imagem, originalmente confeccionados para operar em atmosfera seca [4]. A familiarização com essas mudanças e com o comportamento do guia de imagem são importantes para projetar novos sistemas de imagem subaquáticos aplicados a necessidades de aplicações específicas de distância de trabalho e campo de visão diferentes.

Portanto, o objetivo deste trabalho é avaliar a variação da projeção matemática e a experimental na mudança do campo de visão e resolução espacial do sistema definido por guia de fibra óptica plástica coerente e lente resistente a água em uma distância de trabalho fixa de 30 cm. Esse estudo permitirá planejar sistemas de imagem subaquáticos com os componentes ópticos disponíveis de forma mais assertivas, já considerando os erros inerentes as lentes e variações entre a teoria e prática dos sistemas.

2. METODOLOGIA

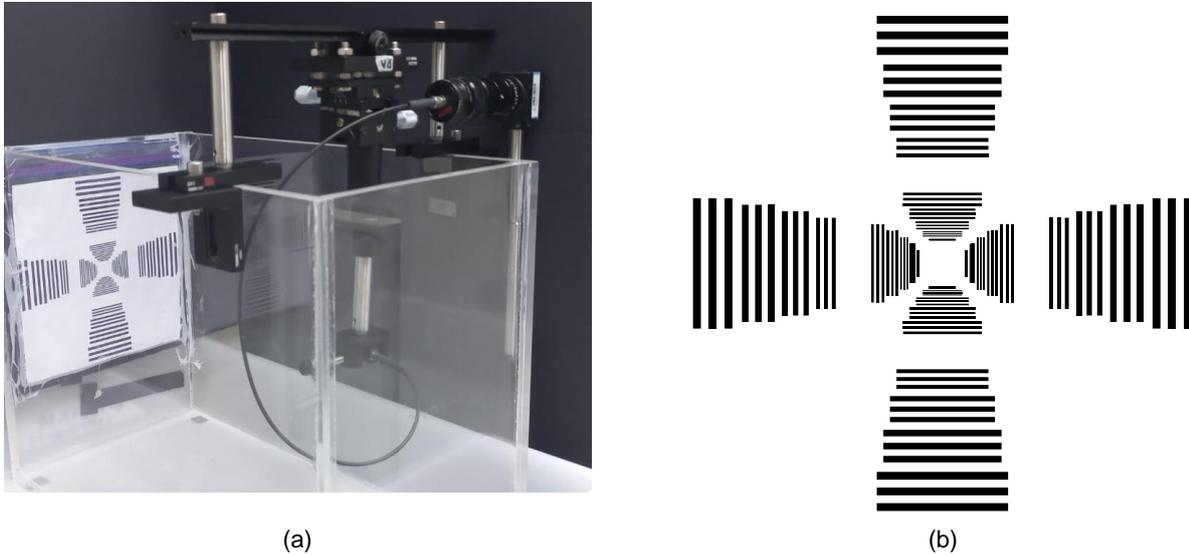
O guia de imagem utilizado nos testes foi o MCL-2000-24 da Asahi Kasei, com 2 mm de diâmetro útil e 13000 fibras, cada uma com um diâmetro de aproximadamente de 15 μm . O sensor aplicado foi o DFK-AFU420-CCS com um tamanho de pixel de 1,12 μm e 42MP da Imaging Source. A lente escolhida foi a 58-841 da Edmund Optics com 3,6 mm de distância focal, com proteção tipo IEC IPX7 e IPX9K que é resistente à exposição à água a até 1 metro de profundidade por 30 minutos e opera em locais próximos a jatos de água de alta pressão e alta temperatura; é à prova d'água, de poeira e de neblina.

O alvo de resolução tem dimensões de 19 mm x 19 mm e tem um padrão com espessuras de linhas progressivas do centro para fora começando de 0,2 mm até 3 mm. De 0,2 mm até 1 mm, o incremento da espessura é de 0,2 mm; e de 1,5 mm até 3 mm, o incremento é de 0,5 mm.

Trabalhos anteriores [5] demonstraram a importância do alinhamento entres o padrão de fibra do guia de imagem e o padrão de linhas do alvo a ser imageado. Para realizar esse alinhamento, foi elaborado um setup dentro de um aquário (Figura 1.a) que utiliza um trilho para deslocamento transversal ao caminho óptico e um goniômetro para fino ajuste de ângulo, um deslocamento ao longo do caminho óptico não seria

necessário, pois o teste utiliza uma distância de trabalho definida de 30 cm entre lente e alvo de resolução (Figura 1.b). Foram submersos apenas o alvo de resolução, a lente IEC IPX7 e IPX9K e uma das extremidades do guia de imagem. Os testes dentro e fora d'água conservaram os mesmos parâmetros iluminação, distância de trabalho e configurações do sensor de imagem.

Figura 1 – Materiais de teste. (a) Setup montado, (b) alvo de resolução espacial utilizado.



Para a realização da parte teórica do estudo, foi usada a Lei de Snell, que define o desvio angular sofrido por um raio de luz ao passar para um meio com índice de refração diferente do qual ele estava percorrendo. A equação da lei de Snell pode ser encontrada na equação em (1) [4], onde n_1 e n_2 se referem aos índices de refração dos meios, e θ_1 e θ_2 aos ângulos de incidência e refratado.

$$n_1 \cdot \sin(\theta_1) = n_2 \cdot \sin(\theta_2) \quad (1)$$

Neste caso de análise, o meio 1 é o vidro da lente e meio 2 pode ser o ar ou a água no experimento. Além disso, a abertura numérica da lente (NA) pode ser descrita como $n_1 \cdot \sin(\theta_1)$. θ_2 se refere a metade do ângulo de visão (AOV) da lente no meio 2. Assim, podemos reescrever a equação 1 em função da abertura numérica da lente, como mostra (2).

$$AOV = 2 \times \arcsin\left(\frac{NA}{n_2}\right) \quad (2)$$

Por conseguinte, para comparar o campo de visão (FOV) gerado pelo sistema real e o teórico, irá ser aplicada a equação 3 que transforma o dado de ângulo de visão e distância de trabalho (WD) em campo de visão.

$$FOV = 2 \times \tan\left(\frac{AOV}{2}\right) \times WD \quad (3)$$

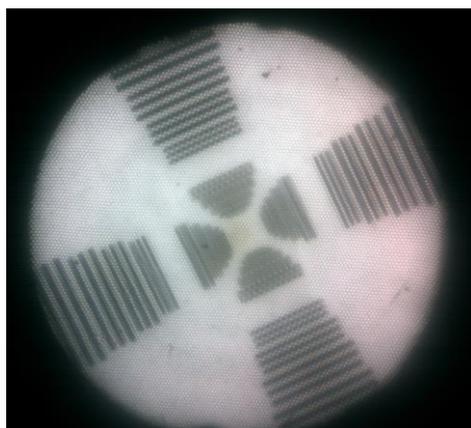
Ademais, para a análise comparativa de resolução, podemos aplicar o limite de Nyquist apresentado em (4) [6].

$$Resolução\ espacial = \frac{(diâmetro\ da\ fibra \times FOV)}{diâmetro\ do\ guia} \quad (4)$$

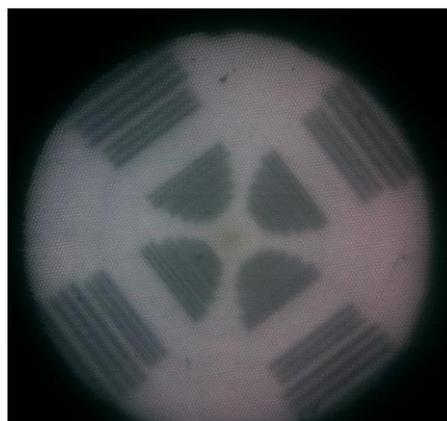
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como descrito na metodologia, os testes foram realizados com o aquário vazio e cheio d'água e as imagens foram capturadas dentro das mesmas condições de iluminação, distância de trabalho e configurações da câmera. As imagens capturadas são apresentadas na figura 2 e os resultados experimentais e teóricos obtidos estão expostos na tabela 1.

Figura 2 - Fotos do alvo de resolução. (a) Fora d'água, (b) Dentro d'água



(a)



(b)

Tabela 1 – Valores de FOV e Resolução espacial obtidos

	Fora d'água			Dentro d'água		
	Teórico	Experimental	Variação	Teórico	Experimental	Variação
Campo de visão (cm)	16,67	17,2	3%	12,29	12,7	3%
Resolução espacial (mm)	1,29	1,5	16%	0,95	1,0	5%

Conforme previsto pela Lei de Snell, já que o índice de refração da água é tipicamente maior do que o do ar (1,33 da água e 1,0 do ar) houve uma diminuição do campo de visão na água e em consequência uma leve melhora na resolução do sistema nesse meio. O target de resolução espacial linhas com espessuras com incrementos de 0,5 mm, a partir de 1,0 mm o que explica a variação de 16% na medida da resolução espacial do sistema fora d'água, já que não seria possível medir valores mais próximos de 1,29 mm. Os dados teóricos calculados e experimentais apresentaram boa aproximação.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As variações nos resultados obtidos experimentalmente foram coerentes com esperado da projeção matemática e podem ser aplicadas para a previsão de novos sistemas para diferentes aplicações. Para sistemas que serão submersos em água salgada, espera-se uma pequena variação no resultado, já que o índice de refração da água salgada é levemente maior do que o da água pura. Uma otimização do teste pode ser realizada com a utilização de alvos de resolução e campo de visão com faixas de operações maiores.

Agradecimentos

Essa pesquisa foi realizada em parceria entre o SENAI CIMATEC e Shell Brasil. Os autores gostariam de agradecer à Shell Brasil Petróleo LTDA, à Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPIL) e à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) pelo apoio e investimentos em P&D&I.

5. REFERÊNCIAS

- ¹ COSTA, Ciro. **Non-electronic vibration sensor for automated inspection of industrial assets**. Salvador: LARS, 2023.
- ² VÁZQUEZ, Carmen et al. **Temperature sensing using optical fibers in harsh environments**. In: 2017 19th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON). IEEE, 2017. p. 1-4.
- ³ MACIEL, Ana Luiza Cantharino et al. **Non-electronic visual system for flexible manipulators**. In: 2023 Latin American Robotics Symposium (LARS), 2023 Brazilian Symposium on Robotics (SBR), and 2023 Workshop on Robotics in Education (WRE). IEEE, 2023. p. 439-444.
- ⁴ FASSARELLA, Lúcio. **Lei de Snell generalizada**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, p. 215-224, 2007.
- ⁵ MACIEL, Ana Luiza Cantharino et al. **Impact of damaged surface on coherent fiber optic Bundle on the resolution of the images**. Salvador: SIINTEC, 2023.
- ⁶ GHOSH, S. **Signals and Systems**. [s.l.] Pearson India, [s.d.].