



ESTABELECIMENTO DE VÍNCULO ENTRE UM SISTEMA ÓPTICO E A
PRESENÇA OU AUSÊNCIA DE DEGRADAÇÃO.

Flávio Muri da Silva

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientadores: José Gabriel Rodriguez Carneiro
Gomes
Fernanda Duarte Vilela Reis de
Oliveira

Rio de Janeiro
Setembro de 2024

ESTABELECIMENTO DE VÍNCULO ENTRE UM SISTEMA ÓPTICO E A
PRESENÇA OU AUSÊNCIA DE DEGRADAÇÃO.

Flávio Muri da Silva

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO
ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE
ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO
PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU
DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

Orientadores: José Gabriel Rodriguez Carneiro Gomes
Fernanda Duarte Vilela Reis de Oliveira

Aprovada por: Prof. José Gabriel Rodriguez Carneiro Gomes, Ph.D.
Prof^a. Mariane Rembold Petraglia, Ph.D.
Eng. Yuri Marchetti Tavares, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
SETEMBRO DE 2024

Muri da Silva, Flávio

Estabelecimento de vínculo entre um Sistema Óptico e a presença ou ausência de degradação./Flávio Muri da Silva.
– Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2024.

XVI, 73 p.: il.; 29, 7cm.

Orientadores: José Gabriel Rodriguez Carneiro Gomes
Fernanda Duarte Vilela Reis de Oliveira

Dissertação (mestrado) – UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia Elétrica, 2024.

Referências Bibliográficas: p. 65 – 67.

1. Sistemas Ópticos. 2. MTF. 3. Classificador.
- I. Rodriguez Carneiro Gomes, José Gabriel *et al.*
- II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Elétrica. III. Título.

*Aos meus pais, meus sogros e
minha companheira Cristiane.
Obrigado pelo apoio e paciência.*

Agradecimentos

Aos meus orientadores, Professor José Gabriel e Professora Fernanda Oliveira, pelo estímulo, paciência, orientação e por compartilhar seus preciosos tempos e conhecimentos ao longo de todo o desenvolvimento desta dissertação.

À minha esposa e família que sempre me apoiaram em tudo que faço e tiveram paciência e compreensão nos meus períodos de dedicação ao estudo e desenvolvimento desse trabalho.

Ao Diretor do Centro de Manutenção de Sistemas Capitão de Mar e Guerra Rafael Barros Dutra e ao Superintendente de Manutenção Capitão de Mar e Guerra Luciano Maia Rodrigues que incentivaram e permitiram a minha participação no curso.

Ao Chefe de Departamento Capitão-Tenente Serra, ao Capitão-Tenente Medeiros e a todos os outros colaboradores e amigos de trabalho que me apoiaram e colaboraram direta e indiretamente com o desenvolvimento das atividades para a elaboração deste trabalho.

A todos os professores do Programa de Engenharia Elétrica do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE / UFRJ) que dedicaram seu tempo e esforço para ensinar e compartilhar seus conhecimentos e colaboraram com a elaboração desse trabalho.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ESTABELECIMENTO DE VÍNCULO ENTRE UM SISTEMA ÓPTICO E A PRESENÇA OU AUSÊNCIA DE DEGRADAÇÃO.

Flávio Muri da Silva

Setembro/2024

Orientadores: José Gabriel Rodriguez Carneiro Gomes

Fernanda Duarte Vilela Reis de Oliveira

Programa: Engenharia Elétrica

Apresenta-se nesta dissertação, um estudo para identificação de degradação em um sistema óptico que esteve exposto a condições ambientais adversas, feito a partir de fotografias tiradas ao ar livre do alvo de barras verticais e horizontais desenvolvido pela Força Aérea Americana em 1951 (USAF-1951). As fotografias foram feitas sem aplicação de interferência e com a aplicação de interferência no alvo USAF-1951, simulando uma degradação. A análise e o processamento das fotografias foram feitos seguindo sugestões adaptadas da norma ISO-12233 e utilizando a técnica de Função de Transferência de Modulação (MTF), que é a medida da capacidade de um sistema óptico de transferir o contraste de um objeto para uma imagem em uma determinada resolução. A partir dos resultados obtidos da análise de MTF das fotografias feitas com e sem aplicação de interferência no alvo, foram gerados os gráficos com as curvas de MTF. Essas curvas de MTF nos permitiram, através de comparação, fazer a classificação das fotografias nas duas classes de interesse, com presença de degradação e com ausência de degradação. No entanto, para melhorar a eficiência da classificação e aumentar sua robustez, os resultados da análise de MTF também foram aplicados aos algoritmos de aprendizado de máquina, baseado na média, *K-nearest neighbors* (KNN), baseado no centróide comum e de redes neurais. Os resultados obtidos a partir da utilização desses algoritmos nos mostraram que com todos os quatro algoritmos foi possível classificar as fotografias em com presença de degradação e com ausência de degradação, sendo importante ressaltar que o algoritmo KNN teve o melhor desempenho, obtendo resultado de acurácia acima de 92%.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

BOND ESTABLISHMENT BETWEEN AN OPTICAL SYSTEM AND THE
PRESENCE OR ABSENCE OF DEGRADATION.

Flávio Muri da Silva

September/2024

Advisors: José Gabriel Rodriguez Carneiro Gomes
Fernanda Duarte Vilela Reis de Oliveira

Department: Electrical Engineering

In this work, we present a study to identify degradation in an optical system that has been exposed to adverse environmental conditions, made from photographs taken outdoors of the vertical and horizontal bar target developed by the American Air Force in 1951 (USAF-1951). The photographs were taken without application of jamming and with the application of jamming to the USAF-1951 target, simulating degradation. The analysis and processing of photographs were made following adapted suggestions from the ISO-12233 standard and using the Modulation Transfer Function (MTF), which is a measure of capacity of an optical system of transferring the contrast of an object to an image in a certain resolution. From the results obtained from the MTF analysis of the photographs taken with and without applying interference in the target, were plotted the graphs with MTF curves. These MTF curves allowed us, through comparison, classify the photographs into the two classes of interest, with presence of degradation and absence of degradation. However, to improve the classification efficiency and increase its robustness, the MTF analysis results were also applied to machine learning algorithms, mean-based, K-nearest neighbors (KNN), centroid-based and neural networks. From the results obtained from all four algorithms was possible to classify the photographs as having presence of degradation and with no degradation, and it is important to highlight that the KNN algorithm had the best performance, obtaining accuracy results above 92%.

Sumário

Lista de Figuras	x
Lista de Tabelas	xiii
Lista de Símbolos	xv
Lista de Abreviaturas	xvi
1 Introdução	1
1.1 Motivação	2
1.2 Objetivos	3
1.3 Organização da Dissertação	3
2 Metodologias	4
2.1 Equipamento Óptico	4
2.2 Resolução e Contraste	6
2.3 ISO-12233 - Fotografia - Imagens Estáticas Eletrônicas - Resolução e Respostas de Frequência Espacial	7
2.4 Frequência Espacial	9
2.5 Gráfico Padrão - USAF-1951	10
2.6 Tomada das Fotografias	13
2.7 Recorte das Fotografias	17
2.7.1 Geração das Img_v e Img_h	18
2.7.2 Validação das Imagens	21
2.8 Função de Transferência de Modulação	24
2.8.1 Análise da MTF	25
3 Classificadores	38
3.1 Criação da Base de Dados	38
3.2 Classificador Baseado na Média	40
3.3 Classificador Usando KNN	43
3.4 Classificador Baseado no Centróide Comum	43

3.5	Classificador Usando Redes Neurais	45
4	Resultados e Discussões	52
4.1	Curvas de MTF	52
4.2	Classificadores	53
4.2.1	Classificador Baseado na Média	58
4.2.2	Classificador Usando KNN	58
4.2.3	Classificador Baseado no Centróide Comum	59
4.2.4	Classificador Usando Redes Neurais	59
4.3	Comparativo dos Resultados	59
4.4	Código Fonte	59
5	Conclusões	63
	Referências Bibliográficas	65
A	Organização das Pastas de Arquivos	68
B	Resultados dos Testes com o Algoritmo de Redes Neurais	71