

Aleksander Medella Campos da Silva

**Uma Biblioteca de Componentes de Software
para Simuladores de Radar**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em
Informática do Departamento de Informática da PUC-Rio como
requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Informática

Orientador : Prof. Renato Fontoura de Gusmão Cerqueira
Co-Orientador: Prof. Edward Hermann Haeusler

Rio de Janeiro
Agosto de 2011

Aleksander Medella Campos da Silva

**Uma Biblioteca de Componentes de Software
para Simuladores de Radar**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Informática do Departamento de Informática do Centro Técnico Científico da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Informática. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Renato Fontoura de Gusmão Cerqueira

Orientador

Departamento de Informática — PUC-Rio

Prof. Edward Hermann Haeusler

Co-Orientador

Departamento de Informática — PUC-Rio

Prof. Noemi Rodriguez

Departamento de Informática — PUC-Rio

Prof. Markus Endler

Departamento de Informática — PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico — PUC-Rio

Rio de Janeiro, 24 de Agosto de 2011

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Aleksander Medella Campos da Silva

Graduou-se em Engenharia de Computação no Instituto Militar de Engenharia - IME. Trabalha no Centro Tecnológico do Exército no desenvolvimento de sistemas radar.

Ficha Catalográfica

Medella, Aleksander

Uma Biblioteca de Componentes de Software para Simuladores de Radar / Aleksander Medella Campos da Silva; orientador: Renato Fontoura de Gusmão Cerqueira; co-orientador: Edward Hermann Haeusler. — Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Informática, 2011.

v., 95 f: il. (color.); 30 cm

1. Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Informática.

Inclui bibliografia.

1. Informática – Teses. 2. Componentes de Software;. 3. Modelagem e Simulação;. 4. Radar.. I. Cerqueira, R.. II. Haeusler, Edward H.. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. IV. Título.

CDD: 004

Agradecimentos

Aos meus orientadores Professores Renato Fontoura de Gusmão Cerqueira e Edward Hermann Haeusler pelo apoio e incentivo para a realização deste trabalho.

Ao Exército Brasileiro e a PUC-Rio pela oportunidade de crescimento pessoal e profissional durante o curso de Mestrado.

Ao CTEEx em especial o Projeto Programa Radar de Defesa pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

À minha namorada Fernanda Figueiredo que esteve ao meu lado em todas as horas.

À minha mãe Celeste Medella que sempre me guiou e me incentivou no crescimento pessoal e profissional.

Ao meu amigo Bruno Silva que compartilhou horas de estudo e trabalho durante o mestrado.

A todos que me apoiaram e ajudaram.

Resumo

Aleksander Medella Campos da Silva; Renato Fontoura de Gusmão Cerqueira; Edward Hermann Haeusler. **Uma Biblioteca de Componentes de Software para Simuladores de Radar**. Rio de Janeiro, 2011. 95p. Dissertação de Mestrado — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Os sistemas radares são amplamente utilizados em aplicações civis e militares, são sistemas complexos que empregam alta tecnologia. Muitos deles são constituídos por um conjunto de elementos que necessitam de um mínimo de coordenação entre as suas funcionalidades. A construção de um protótipo para validar o projeto de um radar demanda recursos financeiros e tempo. Por outro lado, existem muitas características em comum entre os sistemas de diferentes radares. Esta dissertação descreve uma biblioteca de um simulador capaz de representar vários sistemas de radar e que foi projetado de acordo com os princípios básicos sobre radar. O simulador foi desenvolvido baseado em um sistema de componentes flexíveis onde cinco diferentes tipos de radar são descritos e simulados utilizando a biblioteca apresentada. Por fim cenários reais são utilizados para comparar e validar as simulações.

Palavras-chave

Componentes de Software; Modelagem e Simulação; Radar.

Abstract

Aleksander Medella Campos da Silva; Renato Fontoura de Gusmão Cerqueira(Advisor); Edward Hermann Haeusler. **A Software Component Library for Radar Simulators**. Rio de Janeiro, 2011. 95p. MSc Dissertation — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Nowadays Radar systems are becoming complex systems. Many radars are constituted by an array of elements, where a minimum of coordination among the elements functionality is need. The task to build a prototype in order to validate a radar design is an expensive one. On the other hand, there are many common features shared among different radar architectures. This dissertation describes the architecture of a simulator that is able to represent most of the radar systems designed according the basic principles of radars. The simulator is designed following a flexible component based architecture and five quite different kind of radars are described and simulated using the presented architecture. Real scenarios are taken into account in the validation of the simulations.

Keywords

Software Components; Modeling and Simulation; Radar.

Sumário

1	Introdução	12
1.1	Objetivos e Contribuições	14
1.2	Estrutura do Documento	15
2	Conceitos Radar	16
2.1	Medidas Radar	16
2.2	Simulador Radar	17
2.3	Exemplos de radares	27
3	Sistema de Componentes de Software	32
3.1	SCS: Modelo de Componentes	33
4	Biblioteca de Componentes para Simuladores de Radar	35
4.1	Motivação e Requisitos	35
4.2	Histórico de desenvolvimento	36
4.3	Divisão lógica da Biblioteca	41
4.4	Considerações finais	42
5	Exemplos e testes	43
5.1	Exemplos de uso da Biblioteca	43
5.2	Testes	48
6	Conclusão e trabalhos futuros	51
	Referências Bibliográficas	54
A	A Biblioteca	57
A.1	Ambiente	58
A.2	Hardware do Radar	59
A.3	Software do Radar	62
B	Manual do Usuário	70
B.1	A biblioteca de componentes e requisitos	70
B.2	Execução	71
C	Dados da simulação de um radar de busca e vigilância 3D com motor	76
D	Dados da simulação de um radar com matriz de antenas	83
E	Dados reais provenientes do Radar Saber M60	89
F	Diagramas de sequência	93

Lista de figuras

2.1	Coordenadas esféricas	16
2.2	Visão de um sistema radar	18
2.3	Diagrama de irradiação	19
2.4	Sinal recebido X Sinal comprimido	21
2.5	Sinais recebidos acumulados	22
2.6	Amostras de reflexões consecutivas	23
2.7	Amostras de ruído	23
2.8	Detecção de threshold	23
2.9	Tempo de recepção é proporcional a distância do vetor	24
2.10	Influência do diagrama da antena na amplitude de reflexões recebidas	24
2.11	Influência do diagrama da antena na amplitude de reflexões recebidas	24
2.12	Técnica de interferometria para se calcular a direção angular do vetor	25
2.13	Diferença de fase em um matriz de antenas	27
2.14	Diagrama da composição de matriz de antenas	27
2.15	Direção de captura da velocidade	28
2.16	Radar PSTAR	29
2.17	Radares de busca e vigilância 3D	29
2.18	Radares com matriz de antenas	30
2.19	Sistema de Interferometria para orientação de míssil	31
4.1	Visão do primeiro protótipo implementado	36
4.2	Receptáculos para cada faceta dos diferentes componentes	37
4.3	Componentes implementam a mesma interface e possuem facetas compatíveis	38
4.4	Simulação de processamento com digitalização do sinal	38
4.5	Antecipação da etapa de digitalização do sinal	38
4.6	Componente antena como uma composição de terceiros	39
4.7	Componente de controle para sincronizar os componentes	40
4.8	Componente de controle interno no componente de detecção	40
4.9	Diagrama de sequência do controle de componentes	40
4.10	Seleção de cálculo de parametros: configuração X conexão	41
4.11	Divisão lógica dos componentes em camadas	42
5.1	Diagrama de componentes da simulação de um radar de tráfego automotivo	44
5.2	Diagrama de componentes da simulação de um radar 3D	45
5.3	Diagrama de componentes da simulação de um radar acoplado a um míssil	46
5.4	Exemplos de técnicas de varredura do espaço	47
5.5	Diagrama de componentes da simulação de um radar com matriz de antenas	47
5.6	Diagrama de componentes da simulação de um radar com matriz de antenas 2	49
A.1	Divisão lógica dos componentes em camadas	57

A.2	Componentes da camada ambiente	58
A.3	Trecho de código da linguagem de descrição de interfaces	60
A.4	Componentes da camada de <i>hardware</i>	60
A.5	Componente antena como uma composição de terceiros	61
A.6	Trecho de código da linguagem de descrição de interfaces	63
A.7	Camada de <i>software</i> dividida em duas camadas de processamento	64
A.8	Componentes da camada de processamento de sinais	64
A.9	Trecho de código da linguagem de descrição de interfaces	65
A.10	Componentes da camada de processamento de dados	66
A.11	Trecho de código da linguagem de descrição de interfaces	67
A.12	Componentes da camada de suporte	68
A.13	Trecho de código da linguagem de descrição de interfaces	69
B.1	Exemplo simplificado de código de uma simulação	75
B.2	Comandos para a execução de uma simulação	75
F.1	Parte do diagrama de sequência da simulação do radar 3D. Foram omitidos os componentes da camada de suporte para não comprometer o tamanho da figura	94
F.2	Parte do diagrama de sequência da simulação do radar de míssil. Foram omitidos os componentes do processamento de dados e da camada de suporte para não comprometer o tamanho da figura	95

Lista de tabelas

5.1	Comparação de dados simulados com os requisitos dos radares	50
C.1	Trajatória observada do avião 01 da simulação de um radar de busca e vigilância 3D com motor	76
C.2	Trajatória calculada do avião 01 da simulação de um radar de busca e vigilância 3D com motor	77
C.3	Erro entre a trajetória calculada e a observada do avião 01 da simulação de um radar de busca e vigilância 3D com motor	77
C.4	Trajatória observada do avião 02 da simulação de um radar de busca e vigilância 3D com motor	78
C.5	Trajatória calculada do avião 02 da simulação de um radar de busca e vigilância 3D com motor	78
C.6	Erro entre a trajetória calculada e a observada do avião 02 da simulação de um radar de busca e vigilância 3D com motor	79
C.7	Trajatória observada do avião 03 da simulação de um radar de busca e vigilância 3D com motor	79
C.8	Trajatória calculada do avião 03 da simulação de um radar de busca e vigilância 3D com motor	80
C.9	Erro entre a trajetória calculada e a observada do avião 03 da simulação de um radar de busca e vigilância 3D com motor	80
C.10	Trajatória observada do avião 04 da simulação de um radar de busca e vigilância 3D com motor	81
C.11	Trajatória calculada do avião 04 da simulação de um radar de busca e vigilância 3D com motor	81
C.12	Erro entre a trajetória calculada e a observada do avião 04 da simulação de um radar de busca e vigilância 3D com motor	82
D.1	Trajatória calculada do avião 01 da simulação de um radar com matriz de antenas	83
D.2	Trajatória observada do avião 01 da simulação de um radar com matriz de antenas	84
D.3	Erro entre a trajetória calculada e a observada do avião 01 da simulação de um radar com matriz de antenas	85
D.4	Trajatória calculada do avião 02 da simulação de um radar com matriz de antenas	86
D.5	Trajatória observada do avião 02 da simulação de um radar com matriz de antenas	87
D.6	Erro entre a trajetória calculada e a observada do avião 02 da simulação de um radar com matriz de antenas	88
E.1	Dados de distância do Radar Saber M60	90
E.2	Dados de azimuth do Radar Saber M60	91
E.3	Dados de elevação do Radar Saber M60	92

O destino é inexorável.

Uhtred Uhtredson, *Crônicas Saxônicas*, Bernard Cornwell.