

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



Thiago Souza Mendes Guimarães

**Apoio à Síntese de Modelos Estruturais de
Software Orientado a Objetos Utilizando
Algoritmos Genéticos Co-Evolucionários**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Engenharia
Elétrica da PUC-Rio como requisito
parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Elétrica

Marco Aurélio C. Pacheco

Orientador

Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

Rio de Janeiro
Abril de 2005



Thiago Souza Mendes Guimarães

**Apoio à Síntese de Modelos Estruturais de
Software Orientado a Objetos Utilizando
Algoritmos Genéticos Co-Evolucionários**

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

Prof. Marco Aurélio Cavalcanti Pacheco
Orientador

Departamento de Engenharia Elétrica - PUC-Rio

Prof. Marley Maria Bernardes Rebuszi Vellasco
Departamento de Engenharia Elétrica - PUC-Rio

Prof. Carlos José Pereira de Lucena
Departamento de Informática – PUC-Rio

Prof. Flávio Joaquim de Souza
UERJ

Profa. Karla Tereza Figueiredo Leite
UERJ

Prof. Carlos Roberto Hall Barbosa
Instituto Tecnológico da PUC-Rio - ITUC

Prof. José Eugenio Leal
Coordenador Setorial do Centro
Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 07 de abril de 2005

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

Thiago Souza Mendes Guimarães

Graduou-se em Bacharelado em Informática pela UFRJ
em 2003

Ficha catalográfica

Guimarães, Thiago Souza Mendes

Apoio à síntese de modelos estruturais de software orientado a objetos utilizando algoritmos genéticos co-evolucionários / Thiago Souza Mendes Guimarães ; orientador: Marco Aurélio C. Pacheco. – Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Engenharia Elétrica, 2005.

127 f. il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica .

Inclui bibliografia

1. Engenharia Elétrica – Teses. 2. Algoritmos genéticos. 3. Engenharia de software. 4. Co-evolução. 5. Qualidade de software. 6. Métricas de qualidade. I. Souza, Reinaldo Castro. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

Para meus pais, Luiz Alberto e Gláucia.

Agradecimentos

À CAPES e à PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marco Aurélio C. Pacheco, pelo estímulo e parceria na realização deste trabalho.

Aos meus pais, pela educação e apoio.

Aos meus colegas da PUC-Rio e do ICA: André Abs da Cruz, Carlos Hall, Juan Lazo, Karla Figueiredo, Luciana Falleti, Yvan Tupac.

Aos meus familiares e amigos que de uma forma ou de outra me estimularam e ajudaram.

Resumo

Guimarães, Thiago Souza Mendes . **Apoio à Síntese de Modelos Estruturais de Software Orientado a Objetos Utilizando Algoritmos Genéticos Co-Evolucionários**. Rio de Janeiro, 2005. 127p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Esta dissertação investiga o uso de Algoritmos Genéticos Co-evolucionários na automatização do processo de desenvolvimento de Sistemas de Software Orientados a Objetos. A qualidade final do software depende principalmente da qualidade da modelagem desenvolvida para o mesmo. Durante a fase de modelagem, diversos modelos são desenvolvidos antecipando diversas visões do produto final, e possibilitando a avaliação do software antes mesmo que ele seja implementado. A síntese de um modelo de software pode, portanto, ser vista como um problema de otimização onde se busca uma melhor configuração entre os elementos contemplados pelo paradigma de orientação a objetos, como classes, métodos e atributos, que atenda a critérios de qualidade de design. O objetivo do trabalho foi estudar uma forma de sintetizar modelagens de maior qualidade através da evolução por Algoritmos Genéticos Co-evolucionários. Para avaliar a modelagem do software, foram investigadas métricas de qualidade de software tais como: Reutilização, Flexibilidade, Inteligibilidade, Funcionalidade, Extensibilidade e Efetividade. Essas métricas foram aplicadas na função de avaliação, que por sua vez, foi definida objetivando a síntese de uma modelagem de software orientado a objetos com uma maior qualidade. Neste problema, deseja-se contemplar mais de um objetivo ao mesmo tempo. Para isso, foi utilizada a técnica de Pareto para problemas multi-objetivos.

Os resultados obtidos foram comparados com modelagens produzidas por especialistas e as suas características analisadas. O desempenho do AG no processo de otimização foi comparado com o da busca aleatória e, em todos os casos, os resultados obtidos pelo modelo foram sempre superiores.

Palavras-chave

Algoritmos Genéticos; Co-evolução; Engenharia de Software; Qualidade de Software; Métricas de Qualidade

Abstract

Guimarães, Thiago Souza Mendes . **Support to the Synthesis of Structural Models of Object-Oriented Software Using Co-Evolutionary Genetic Algorithms**. Rio de Janeiro, 2005. 127p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This work investigates the use of Co-evolutionary Genetic Algorithms in the automation of the development process of object-oriented software systems. The software final quality depends mainly on the design quality developed for the same. During the design phase, different models are developed anticipating various visions of the end product, thus making possible the software evaluation before it is implemented. The synthesis of a software model can, therefore, be seen as an optimization problem where it seeks a better configuration between the contemplated elements for the object-oriented paradigm, as classes, methods and attributes, which follows the quality design criteria. The work goal was to study a way to synthesize designs of better quality through its evolution by Co-evolutionary Genetic Algorithms. In order to assess the software quality, it was also investigated software quality metrics, such as: Reusability, Flexibility, Understandability, Functionality, Extensibility and Effectiveness. These metrics were applied in an evaluation function that, in turn, was defined aiming at the object-oriented design synthesis with a better quality. In this problem, it is desired to contemplate more than one objective at a time. For this, the Pareto technique for multi-objective problems was used.

The results were compared with designs produced by specialists and its characteristics analyzed. The GA performance in the optimization process was compared with the exhaustive search and, in all cases, the model results were superior.

Keywords

Genetic Algorithms; Co-evolution; Software Engineering; Software Quality; Quality Metrics

Sumário

1	Introdução.....	13
1.1	Motivação.....	13
1.2	Objetivos do Trabalho.....	15
1.3	Descrição do Trabalho.....	15
1.4	Trabalhos Relacionados.....	18
1.5	Organização da Dissertação.....	19
2	Engenharia de Software.....	20
2.1	Design de Sistemas Orientados a Objetos.....	20
2.2	Métricas de Qualidade de Software.....	23
2.2.1	Reutilização.....	24
2.2.2	Flexibilidade.....	25
2.2.3	Inteligibilidade.....	25
2.2.4	Funcionalidade.....	25
2.2.5	Extensibilidade.....	26
2.2.5	Efetividade.....	26
3	Algoritmos Evolucionários.....	27
3.1	Algoritmos Genéticos.....	27
3.1.1	Representação.....	29
3.1.2	Codificação e Decodificação.....	29
3.1.3	Avaliação.....	29
3.1.4	Operadores Genéticos.....	30
3.1.5	Parâmetros da Evolução.....	31
3.3	Co-evolução.....	32
3.4	Estratégias de avaliação multi-objetivo.....	37
3.4.1	Formulação.....	37
3.4.2	Soluções Pareto-ótimas.....	38
4	Sistema de Evolução de Designs Baseada em Qualidade de Software Orientado a Objetos.....	42
4.1	Arquitetura do Sistema Proposto.....	42
4.2	Síntese de Design por Algoritmos Genéticos Co-Evolucionários.....	45
4.2.1	Representação das Espécies.....	46
4.2.2	Operadores Genéticos.....	51
4.2.3	Decodificação.....	57
4.2.4	Avaliação Multi-objetivo.....	59
5	Estudo de Casos.....	66
5.1	Estudo de Caso 1: Modelagens simples.....	68
5.1.1	Resultados.....	69
5.2	Estudo de Caso 2: Controle de Elevador.....	76
5.2.1	Design.....	76
5.2.2	Resultados.....	78
5.3	Estudo de Caso 3: GACOM.....	90
5.3.1	Design.....	90
5.2.2	Resultados.....	94
6	Conclusões e Trabalhos Futuros.....	121
7	Referências Bibliográficas.....	124

Lista de Figuras

Figura 1 – Descrição do processo de automatização do desenvolvimento do software	17
Figura 2 – Exemplo da relação de Herança	21
Figura 3 – Exemplo da relação de Dependência	22
Figura 4 – Procedimento básico do algoritmo genético	28
Figura 5 – Cruzamento de um ponto	30
Figura 6 – Mutação	31
Figura 7 – Gráfico da equação	34
Figura 8 – Gráfico para x igual a 40	34
Figura 9 – Gráfico para x igual a -40	35
Figura 10 – Modelo co-evolucionário genérico	36
Figura 11 – Exemplo que ilustra várias opções de compra de carro (1-5), considerando o seu custo e conforto	39
Figura 12 – Distribuição de Soluções na <i>Fronteira de Pareto</i>	41
Figura 13 – Descrição do processo de síntese da modelagem	42
Figura 14 – Visão geral do Modelo Genético com as quatro espécies	47
Figura 15 – Diagrama de classes simplificado	47
Figura 16 – Representação gráfica das dependências do cromossomo da Tabela 11	50
Figura 17 – Exemplo do ONEPOINT crossover em duas dimensões	56
Figura 18 – Modelagem sintetizada	69
Figura 19 – Modelagem sintetizada	70
Figura 20 – Modelagem sintetizada otimizando atributo de <i>Reutilização</i>	71
Figura 21 – Modelagem sintetizada otimizando atributo de <i>Flexibilidade</i>	72
Figura 22 – Modelagem sintetizada otimizando atributo de <i>Inteligibilidade</i>	72
Figura 23 – Modelagem sintetizada otimizando atributo de <i>Funcionalidade</i>	73
Figura 24 – Modelagem sintetizada otimizando atributo de <i>Extensibilidade</i>	73
Figura 25 – Modelagem sintetizada otimizando atributo de <i>Efetividade</i>	74
Figura 26 – Modelagem elaborada por um especialista do problema do elevador	77
Figura 27 – Gráfico de desempenho do AG para o objetivo <i>Reutilização</i>	78
Figura 28 – Gráfico de desempenho do AG para o objetivo <i>Flexibilidade</i>	79
Figura 29 – Gráfico de desempenho do AG para o objetivo <i>Inteligibilidade</i>	79
Figura 30 – Gráfico de desempenho do AG para o objetivo <i>Funcionalidade</i>	79
Figura 31 – Gráfico de desempenho do AG para o objetivo <i>Extensibilidade</i>	80
Figura 32 – Gráfico de desempenho do AG para o objetivo <i>Efetividade</i>	80
Figura 33 – Gráfico de evolução da métrica DSC	81
Figura 34 – Gráfico de evolução da métrica NOH	81
Figura 35 – Gráfico de evolução da métrica ANA	82
Figura 36 – Gráfico de evolução da métrica MOA	82
Figura 37 – Gráfico de evolução da métrica DCC	82
Figura 38 – Gráfico de evolução da métrica CAM	83
Figura 39 – Gráfico de evolução da métrica MFA	83
Figura 40 – Gráfico de evolução da métrica CIS	83
Figura 41 – Gráfico da otimização independente do atributo <i>Reutilização</i>	85
Figura 42 – Gráfico da otimização independente do atributo <i>Flexibilidade</i>	85
Figura 43 – Gráfico da otimização independente do atributo <i>Inteligibilidade</i>	85
Figura 44 – Gráfico da otimização independente do atributo <i>Funcionalidade</i>	86

Figura 45 – Gráfico da otimização independente do atributo <i>Extensibilidade</i>	86
Figura 46 – Gráfico da otimização independente do atributo <i>Efetividade</i>	86
Figura 47 – Modelagem sintetizada na otimização de todos os atributos de qualidade	88
Figura 48 – Modelagem sintetizada na otimização da <i>Inteligibilidade</i>	89
Figura 49 – Otimização da <i>Inteligibilidade</i> e <i>Flexibilidade</i> usando semente inicial	89
Figura 50 – Módulo do processo de evolução do GACOM	91
Figura 51 – Comparativo da evolução do AG X Busca aleatória. AG 42,6% melhor	94
Figura 52 – Comparativo da evolução do AG X Busca aleatória. AG 3,9% melhor	94
Figura 53 – Comparativo da evolução do AG X Busca aleatória. AG 21% pior	95
Figura 54 – Comparativo da evolução do AG X Busca aleatória. AG 19,25% melhor	95
Figura 55 – Comparativo da evolução do AG X Busca aleatória. AG 10,7% melhor	95
Figura 56 – Comparativo da evolução do AG X Busca aleatória. AG 9,9% melhor	95
Figura 57 – Modelagem sintetizada do GACOM, para todos os objetivos	96
Figura 58 – Gráfico de desempenho para o atributo <i>Reutilização</i>	97
Figura 59 – Gráfico de monitoramento da métrica DSC durante a evolução	98
Figura 60 – Gráfico de monitoramento da métrica NOH durante a evolução	98
Figura 61 – Gráfico de monitoramento da métrica ANA durante a evolução	98
Figura 62 – Gráfico de monitoramento da métrica MOA durante a evolução	99
Figura 63 – Gráfico de monitoramento da métrica DCC durante a evolução	99
Figura 64 – Gráfico de monitoramento da métrica CAM durante a evolução	99
Figura 65 – Gráfico de monitoramento da métrica MFA durante a evolução	100
Figura 66 – Gráfico de monitoramento da métrica CIS durante a evolução	100
Figura 67 – Gráfico de desempenho para o atributo <i>Flexibilidade</i>	101
Figura 68 – Gráfico de monitoramento da métrica DSC durante a evolução	101
Figura 69 – Gráfico de monitoramento da métrica NOH durante a evolução	101
Figura 70 – Gráfico de monitoramento da métrica ANA durante a evolução	102
Figura 71 – Gráfico de monitoramento da métrica MOA durante a evolução	102
Figura 72 – Gráfico de monitoramento da métrica DCC durante a evolução	102
Figura 73 – Gráfico de monitoramento da métrica CAM durante a evolução	103
Figura 74 – Gráfico de monitoramento da métrica MFA durante a evolução	103
Figura 75 – Gráfico de monitoramento da métrica CIS durante a evolução	103
Figura 76 – Gráfico de desempenho para o atributo <i>Inteligibilidade</i>	104
Figura 77 – Gráfico de monitoramento da métrica DSC durante a evolução	104
Figura 78 – Gráfico de monitoramento da métrica NOH durante a evolução	105
Figura 79 – Gráfico de monitoramento da métrica ANA durante a evolução	105
Figura 80 – Gráfico de monitoramento da métrica MOA durante a evolução	105
Figura 81 – Gráfico de monitoramento da métrica DCC durante a evolução	106
Figura 82 – Gráfico de monitoramento da métrica CAM durante a evolução	106
Figura 83 – Gráfico de monitoramento da métrica MFA durante a evolução	106
Figura 84 – Gráfico de monitoramento da métrica CIS durante a evolução	107
Figura 85 – Gráfico de desempenho para o atributo <i>Funcionalidade</i>	107
Figura 86 – Gráfico de monitoramento da métrica DSC durante a evolução	108
Figura 87 – Gráfico de monitoramento da métrica NOH durante a evolução	108

Figura 88 – Gráfico de monitoramento da métrica ANA durante a evolução	108
Figura 89 – Gráfico de monitoramento da métrica MOA durante a evolução	109
Figura 90 – Gráfico de monitoramento da métrica DCC durante a evolução	109
Figura 91 – Gráfico de monitoramento da métrica CAM durante a evolução	109
Figura 92 – Gráfico de monitoramento da métrica MFA durante a evolução	110
Figura 93 – Gráfico de monitoramento da métrica CIS durante a evolução	110
Figura 94 – Gráfico de desempenho para o atributo <i>Extensibilidade</i>	111
Figura 95 – Gráfico de monitoramento da métrica DSC durante a evolução	111
Figura 96 – Gráfico de monitoramento da métrica NOH durante a evolução	111
Figura 97 – Gráfico de monitoramento da métrica ANA durante a evolução	112
Figura 98 – Gráfico de monitoramento da métrica MOA durante a evolução	112
Figura 99 – Gráfico de monitoramento da métrica DCC durante a evolução	112
Figura 100 – Gráfico de monitoramento da métrica CAM durante a evolução	113
Figura 101 – Gráfico de monitoramento da métrica MFA durante a evolução	113
Figura 102 – Gráfico de monitoramento da métrica CIS durante a evolução	113
Figura 103 – Gráfico de desempenho para o atributo <i>Efetividade</i>	114
Figura 104 – Gráfico de monitoramento da métrica DSC durante a evolução	114
Figura 105 – Gráfico de monitoramento da métrica NOH durante a evolução	115
Figura 106 – Gráfico de monitoramento da métrica ANA durante a evolução	115
Figura 107 – Gráfico de monitoramento da métrica MOA durante a evolução	115
Figura 108 – Gráfico de monitoramento da métrica DCC durante a evolução	116
Figura 109 – Gráfico de monitoramento da métrica CAM durante a evolução	116
Figura 110 – Gráfico de monitoramento da métrica MFA durante a evolução	116
Figura 111 – Gráfico de monitoramento da métrica CIS durante a evolução	117
Figura 112 – Gráfico de evolução da métrica NOH separadamente. Métrica DSC	117
Figura 113 – Gráfico de evolução da métrica NOH separadamente. Métrica NOH	118
Figura 114 – Gráfico de evolução da métrica NOH separadamente. Métrica ANA	118
Figura 115 – Gráfico de evolução da métrica NOH separadamente. Métrica MOA	118
Figura 116 – Gráfico de evolução da métrica NOH separadamente. Métrica DCC	119
Figura 117 – Gráfico de evolução da métrica NOH separadamente. Métrica CAM	119
Figura 118 – Gráfico de evolução da métrica NOH separadamente. Métrica MFA	119
Figura 119 – Gráfico de evolução da métrica NOH separadamente. Métrica CIS	120

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Definição dos Atributos de Qualidade	24
Tabela 2 – Especificação de Atributos	43
Tabela 3 – Especificação de Métodos	43
Tabela 4 – Especificação de Relações	43
Tabela 5 – Exemplo de Especificação de Atributos	43
Tabela 6 – Exemplo de Especificação de Métodos	44
Tabela 7 – Exemplo de Especificação de Relações	44
Tabela 8 – Exemplo de cromossomo com máximo de 8 classes	48
Tabela 9 – Exemplo de máscara de ativação ativando 4 classes	48
Tabela 10 – Máscara representando uma matriz de incidência correspondente ao diagrama de classes da Figura 15	49
Tabela 11 – Exemplo de cromossomo da espécie Dependências	50
Tabela 12 – Exemplo de cromossomo da espécie Métodos, com MaxClasses = 6	51
Tabela 13 – Exemplo de cromossomo da espécie Atributos, com MaxClasses = 6	51
Tabela 14 – Definição das Propriedades de uma modelagem	60
Tabela 15 – Equações para inferência dos atributos de qualidade	60
Tabela 16 – Descrição das métricas	61
Tabela 17 – Relação das métricas com as propriedades da modelagem	61
Tabela 18 – Relação das métricas com os componentes básicos da modelagem	62
Tabela 19 – Comparação dos atributos de qualidade das modelagens	87
Tabela 20 – Comparação das modelagens	97