

Lyrene Fernandes da Silva

**Uma Estratégia Orientada a Aspectos
para Modelagem de Requisitos**

Tese de Doutorado

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática do Departamento de Informática da PUC-Rio como parte dos requisitos parciais para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientador: Julio Cesar Sampaio do Prado Leite

Rio de Janeiro,
Março de 2006

Lyrene Fernandes da Silva

**Uma Estratégia Orientada a Aspectos
para Modelagem de Requisitos**

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

Prof. Julio Cesar Sampaio do Prado Leite
Orientador
Departamento de Informática – PUC-Rio

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

Prof. Karin Koogan Breitman
Departamento de Informática – PUC-Rio

Prof. Cláudia Werner
COPPE – UFRJ

Prof. Alessandro Fabrício Garcia
Departamento de Computação - Lancaster University

Prof. José Eugenio Leal
Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico

Rio de Janeiro, 30 de Março de 2006

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

Lyrene Fernandes da Silva

Graduou-se em Ciência da Computação na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) em 1999. Obteve o título de Mestre em Sistemas e Computação na UFRN em 2002. Integrou o quadro de pesquisadores do Laboratório de Engenharia de Software (LES) da PUC-Rio, atuando na área de Engenharia de Software.

Ficha Catalográfica

Silva, Lyrene Fernandes da

Uma estratégia orientada a aspectos para modelagem de requisitos / Lyrene Fernandes da Silva ; orientador: Julio Cesar Sampaio do Prado Leite. Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Informática, 2006.

222 f. ; 30 cm

Tese (Doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Informática.

Inclui referências bibliográficas.

1. Informática – Teses. 2. Modelagem de requisitos. 3. Modelo de metas. 4. Early-aspects. 5. Características transversais. 6. Aspectos. 7. Separação e composição de características transversais. 8. Visões. 9. Integração de visões I. Leite, Julio Cesar Sampaio do Prado. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. III. Título.

CDD: 004

À minha família que, mesmo distante,
sempre esteve presente.

Agradecimentos

A Deus, por todas as oportunidades de aprendizado, nas derrotas e nas vitórias.

Ao meu orientador, Professor Julio Cesar Sampaio do Prado Leite pelo conhecimento ensinado e paciência, estando atento às minhas dificuldades e guiando-me quando necessário. Bem como por ter confiado em meu trabalho e ter me dado muitas oportunidades.

À minha família por ser a minha fortaleza e em especial aos meus sobrinhos Luis Eduardo e Filipe, que nasceram durante esta minha fase e mesmo me conhecendo tão pouco, assim como eu a eles, me fizeram inúmeras vezes respirar fundo e continuar esta jornada.

A Leandro Nantes por sua imensa paciência, carinho e atenção.

Às sinceras amizades que fiz durante estes quatro anos de intensivo trabalho. Em especial, por ordem alfabética, a: Adele Malta, Antônio Pádua, Bruno Silvestre, Carolina Felicíssimo, Cláudio Santana, Karin Breitman, Leonardo Matriciano, Miriam Sayão, Renato Maia, Roberta Coelho, Silvana Rossetto, Vagner Sacramento, Valéria Quadros, dentre outros, que mesmo sem saber me fortaleceram nos momentos de tristeza e saudade, sendo diariamente meus companheiros de trabalho e/ou diversão.

Aos funcionários do DI. Em especial a Débora, Emanuelle e Ruth que sempre se mostraram prestativas em esclarecer informações e ajudar com todos os protocolos burocráticos do doutorado e a Zé Carlos e Anderson pelo apoio técnico.

À CAPES e ao CNPq pelos financiamentos concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Resumo

Silva, Lyrene Fernandes; Leite, Julio Cesar Sampaio do Prado. Uma Estratégia Orientada a Aspectos para Modelagem de Requisitos. Rio de Janeiro, 2006. 222p. Tese de Doutorado - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Devido ao tamanho e complexidade dos sistemas de software, torna-se cada vez mais difícil manipular os modelos que os representam. É difícil identificar o impacto de mudanças, modificar, ou reutilizar partes da modelagem em outros projetos porque as características do sistema são, na maioria das vezes, muito relacionadas umas às outras. Métodos tradicionais de modelagem e programação utilizam métodos de separação para minimizar este acoplamento, porém eles priorizam apenas uma dimensão das características do sistema (classes, funções, eventos, dentre outras). Características em outras dimensões permanecem espalhadas e entrelaçadas, i.e, elas são características transversais. Nesta tese, propomos que a separação considerando diferentes dimensões, abordado pela programação orientada a aspectos, seja realizada durante a definição de requisitos. Definimos um metamodelo para integração de características transversais que provê um conjunto de atividades e mecanismos para facilitar a modularização, rastreabilidade, modificação e reuso de requisitos. Estes mecanismos são centrados em uma linguagem que define um novo construto para ser utilizado em linguagens de requisitos tradicionais, possibilitando a descrição e composição de características transversais. Mostramos como aplicar este metamodelo utilizando o V-graph, um tipo de modelo de metas, e realizando dois estudos de caso.

Palavras-chave

Modelagem de Requisitos, modelo de metas, *early-aspects*, características transversais, aspectos, separação e composição de características transversais, visões, integração de visões.

Abstract

Silva, Lyrene Fernandes; Leite, Julio Cesar Sampaio do Prado. An Aspect-Oriented Requirements Modeling Strategy. Rio de Janeiro, 2006. 222p. Tese de Doutorado - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Due to the increasing software complexity, it has been difficult to manipulate the models that represent them. It is difficult to identify the impact of changes, to modify, or reuse model parts in other projects because the system concerns are, in general, strongly interconnected. Traditional modeling and programming methods use separation method to minimize this coupling, however they consider only one dimension (classes, functions, events). Therefore, the concerns in other dimensions continue scattered and tangled, i.e., they are crosscutting concerns. In this thesis, we applied aspect-oriented concepts in modeling requirements. We define a metamodel to integrate crosscutting concerns that provides a set of activities and mechanisms to facilitate the requirements modularization, traceability, evolution and reuse. These mechanisms are centered in a language that defines new constructs to be used in traditional requirements languages, allowing the separation and composition of crosscutting concerns. We present two detailed case studies to show the proposed metamodel instantiated to a goal oriented requirements model, V-graph.

Keywords

Requirements modeling, goal models, early-aspect, crosscutting concerns, aspects, separation and composition of crosscutting concerns, views, integration of views.

Sumário

1	Introdução	17
1.1.	Problema	20
1.2.	Limitações dos Trabalhos Relacionados	21
1.3.	Solução Proposta	22
1.4.	Contribuições da Tese	24
1.5.	Organização da Tese	24
2	Engenharia de Requisitos	26
2.1.	Processo	27
2.2.	Modelagem	28
2.3.	Visões	37
2.4.	Evolução	40
2.5.	Rastreabilidade	41
2.6.	Reuso	42
2.7.	Resumo	43
3	Desenvolvimento de Software Orientado a Aspectos	44
3.1.	Propriedades da Separação Avançada de Características	45
3.2.	AspectJ	47
3.3.	Hyper/J	48
3.4.	Engenharia de Requisitos Orientada a Aspectos	52
3.4.1.	Rashid, Moreira e Brito	52
3.4.2.	Baniassad	57
3.4.3.	Sousa	58
3.5.	Resumo	61
4	Estratégia Orientada a Aspectos para Modelagem de Requisitos	63
4.1.	Metamodelo para Integração de Características Transversais	64
4.2.	Linguagem de Modelagem de Requisitos Orientada a Aspectos	69
4.2.1.	Modelo de Componentes	70

4.2.2. Modelo de <i>Joinpoints</i>	71
4.2.3. Modelo Núcleo: Relacionamento Transversal	71
4.2.4. Diretrizes para Modelagem de Características Separadamente	75
4.3. Utilização da Estratégia – O V-Graph como Modelo de Componentes	76
4.3.1. Separação de Características Transversais	76
4.3.2. Composição de Características Transversais	83
4.3.3. Visualização de Características Transversais	86
4.3.4. Implementação	97
4.4. Aplicação da Estratégia a outros Modelos de Requisitos	101
4.4.1. Cenários	101
4.4.2. Léxico Ampliado da Linguagem (LAL)	104
4.4.3. Sentenças de Requisitos	106
4.5. Processo de Engenharia de Requisitos Utilizando a Estratégia Orientada a Aspectos	108
4.6. Resumo	110
5 Estudos de Caso	112
5.1. Contextualização	112
5.2. Sistema Colaborativo para Edição de Léxico e Cenários – C&L	115
5.2.1. Modelagem	115
5.2.2. Análise dos Resultados	129
5.3. Sistema para Divulgação de Eventos – Unical	131
5.3.1. Modelagem	131
5.3.2. Análise dos Resultados	146
5.4. Resumo	149
6 Conclusão	151
6.1. Resumo	151
6.2. Contribuições	152
6.3. Comparação com Trabalhos Relacionados	154
6.4. Limitações e Trabalhos Futuros	158
7 Referências Bibliográficas	161

Apêndice A Gramática da Linguagem Orientada a Aspectos para Modelagem de Requisitos	168
Apêndice B Implementação dos Mecanismos de Composição e Visualização	171
Apêndice C Especificação do Estudo de Caso – C&L	191
Apêndice D Especificação do Estudo de Caso – Unical	201
Anexo A Documento de Requisitos do Sistema Unical	216

Lista de Figuras

Figura 1. Problemas de espalhamento e entrelaçamento em abordagens (a) funcionais e (b) orientadas a objetos	18
Figura 2. Metamodelo de integração de características transversais	23
Figura 3. Processo de engenharia de requisitos	27
Figura 4. Relação entre requisitos e características	28
Figura 5. Exemplos de templates para documentos de requisitos	29
Figura 6. Espalhamento e entrelaçamento em listas de requisitos – 1º exemplo	31
Figura 7. Espalhamento e entrelaçamento em listas de requisitos – 2º exemplo	32
Figura 8. O modelo de metas <i>V-graph</i> : (a) representação original definida em (Yu, 2004); (b) nossa representação, explicitando todos os relacionamentos possíveis entre os elementos do <i>V-graph</i> .	35
Figura 9. Exemplos de (a) decomposição, (b) contribuição e (c) correlação.	36
Figura 10. Framework de integração de métodos	38
Figura 11. Exemplo de template utilizado para catalogar RNFs	42
Figura 12. a) BNF da linguagem Q7 b) Exemplo utilizando Q7	42
Figura 13. Relação dos atributos de Q7 e os elementos do <i>V-graph</i>	43
Figura 14. Visão geral dos trabalhos sobre desenvolvimento orientado a aspectos	44
Figura 15. Modelo de aspectos	45
Figura 16. Exemplo de aspecto em AspectJ	48
Figura 17. Exemplo de Hyperslice	49
Figura 18. Exemplo de hiper-módulo em Hyper/J	51
Figura 19. Modelo EROA	53
Figura 20. Exemplo de descrição de requisitos no modelo EROA	54
Figura 21. a) Template para RNFs, b) exemplo utilizando o template	55
Figura 22. Exemplo de descrição de requisitos na abordagem multidimensional	56
Figura 23. Exemplo da visão de ações de Theme/Doc	57
Figura 24. Exemplo da visão de ações agrupadas de Theme/Doc	57
Figura 25. Exemplo da visão de temas de Theme/Doc	58
Figura 26. Adaptação do framework NFR	59
Figura 27. Exemplo da modelagem de candidato a aspectos no grafo de RNFs	59

Figura 28. Adaptação do processo dirigido por caso de uso	60
Figura 29. Exemplo de modelagem de candidato a aspectos em casos de uso	60
Figura 30. Metamodelo para integração de características transversais	64
Figura 31. Componentes utilizados para integração de características transversais	65
Figura 32. Analogia entre a estratégia para integração de características transversais durante a definição de requisitos e algumas práticas utilizadas no nível de implementação	66
Figura 33. Exemplo ilustrativo da abordagem tradicional	67
Figura 34. Exemplo ilustrativo - Separação	68
Figura 35. Exemplo ilustrativo - Visualização	68
Figura 36. Sintaxe de LMROA	69
Figura 37 – Modelo conceitual da linguagem de modelagem de requisitos orientada a aspectos	70
Figura 38. Sintaxe do relacionamento transversal	72
Figura 39. Exemplo de <i>pointcut</i>	73
Figura 40. Exemplo de <i>advice</i>	74
Figura 41. Exemplo de <i>intertype declaration</i>	74
Figura 42. Instanciação de LMROA: AOV-graph	77
Figura 43. Sintaxe do <i>V-graph</i>	77
Figura 44. Exemplo do modelo <i>V-graph</i> a) representação gráfica e b) representação em textual	78
Figura 45. Definição dos <i>joinpoints</i> no caso do <i>V-graph</i> como modelo de componentes	78
Figura 46. Exemplo de <i>pointcuts</i>	79
Figura 47. Semântica dos tipos de <i>advice</i> a) before, b) around e c) after	80
Figura 48. Exemplo de <i>advice</i>	80
Figura 49. Exemplo de <i>intertype declarations</i>	81
Figura 50. Exemplo da separação de modelos	81
Figura 51. Exemplo de composição	85
Figura 52. Exemplo base para extração de visões	86
Figura 53. Mecanismo de visualização	87
Figura 54. Modelo de <i>features</i> para configuração de visões de AOV-graph	87
Figura 55. Exemplo de visão com os relacionamentos transversais resumidos e sem o relacionamento de decomposição	88
Figura 56. Exemplo de visão com o relacionamento transversal expandido	88
Figura 57. Exemplo de visão apenas com os elementos dos tipos meta e tarefa	89

Figura 58. Exemplo de visão de uma instância de <i>softmeta</i> , meta, tarefa, tipo ou tópico	90
Figura 59. Exemplo da visão cenário para os grafos Model [requirements] e Edit [scenario]	93
Figura 60. Exemplo da visão matriz de rastreabilidade	94
Figura 61. Exemplo da visão entidade-relacionamento para o grafo Model [requirements model]	95
Figura 62. Exemplo da visão de objetos	96
Figura 63. Implementação da estratégia para integração de características transversais	97
Figura 64. DTD referente à AOV-graph	99
Figura 65. Componentes do mecanismo de composição	99
Figura 66. Componentes do mecanismo de visualização	100
Figura 67. Exemplo de espalhamento e entrelaçamento no modelo de cenários	102
Figura 68. Sintaxe do modelo de componentes: Cenários	102
Figura 69. Exemplo do uso de nossa abordagem no modelo de cenários	104
Figura 70. Exemplo de espalhamento e entrelaçamento no LAL	105
Figura 71. Sintaxe do modelo de componentes: LAL	105
Figura 72. Exemplo do uso de nossa abordagem no Léxico	106
Figura 73. Sintaxe do modelo de componentes: sentenças de requisitos	107
Figura 74. Exemplo do uso de nossa abordagem em sentenças de requisitos	108
Figura 75. Processo de engenharia de requisitos modificado pela estratégia de integração de características transversais	109
Figura 76. Legenda dos elementos de V-graph e AOV-graph	114
Figura 77. Modelagem de C&L em V-graph	116
Figura 78. Modelagem de C&L em AOV-graph	117
Figura 79. Modelo CEL	119
Figura 80. Relacionamento transversal do modelo CEL	119
Figura 81. Modelo CEL após a composição	120
Figura 82. Modelo de segurança	121
Figura 83. Relacionamentos transversais do modelo de segurança	121
Figura 84. Modelo de segurança após a composição	122
Figura 85. Modelo de persistência	123
Figura 86. Relacionamentos transversais do modelo de persistência	123
Figura 87. Modelo de persistência após a composição	123
Figura 88. Modelo de confiabilidade	124
Figura 89. Relacionamentos transversais do modelo de confiabilidade	124

Figura 90. Modelo de confiabilidade após a composição	125
Figura 91. AOV-graph do sistema C&L com os relacionamentos transversais expandidos	127
Figura 92. Diagrama de classes do modelo CEL	128
Figura 93. Visão geral do Unical e seus RNFs	132
Figura 94. V-graph do sistema Unical	133
Figura 95. AOV-graph do sistema Unical	134
Figura 96. Modelo Unical – divulgação de eventos	136
Figura 97. MER para o modelo Unical	136
Figura 98. a) Modelo de performance e b) relacionamento transversal do modelo de performance	137
Figura 99. Visão de cenários do modelo Unical	138
Figura 100. Modelo de usabilidade	138
Figura 101. Interação do modelo de usabilidade com o modelo Unical	139
Figura 102. Relacionamentos transversais do modelo de Usabilidade	140
Figura 103. Modelo Unical após a composição	141
Figura 104. Modelo de usabilidade após a composição	142
Figura 105. Modelo de segurança	143
Figura 106. Relacionamentos transversais do modelo de segurança para o Unical	143
Figura 107. Relacionamentos transversais do modelo de persistência e confiabilidade	144
Figura 108. Relacionamento transversal do modelo de cenários	145
Figura 109. Visão dos interessados do sistema	145
Figura 110. AOV-graph do sistema Unical com os relacionamentos transversais expandidos	148

Lista de Tabelas

Tabela 1. Avaliação de AspectJ e Hyper/J utilizando o modelo de aspecto	47
Tabela 2. Regras de composição	85
Tabela 3. Regras de transformação entre AOV-graph e Cenários	92
Tabela 4. Regras de transformação entre AOV-graph e uma matriz de rastreabilidade	93
Tabela 5. Regras de transformação entre AOV-graph e o modelo de entidade-relacionamento	95
Tabela 6. Regras de transformação entre AOV-graph e o modelo de objetos	96
Tabela 7. Estatísticas do estudo de caso – C&L	129
Tabela 8. Matriz de rastreabilidade - relacionamento transversal do modelo de confiabilidade	130
Tabela 9. Estatísticas do estudo de caso – Unical	146
Tabela 10. Trabalhos relacionados	154
Tabela 11. Comparação de linguagens para integração de características transversais	156

Lista de Abreviaturas

DSOA – Desenvolvimento de Software Orientado a Aspectos

DTD – Document Type Definition

EROA – Engenharia de Requisitos Orientada a Aspectos

HTML – HyperText Markup Language

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers

LMROA – Linguagem de Modelagem de Requisitos Orientada a Aspectos

POA – Programação Orientada a Aspectos

PUC-RIO – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

RF – Requisito funcional

RNF – Requisito não-funcional

UdI – Universo de Informação

URL – Uniform Resource Locator

Web – World Wide Web

XML – Extensible Markup Language

XSL – Extensible Stylesheet Language

XSLT - Extensible Stylesheet Language Transformation