

Um Estudo para a Determinação de um Conjunto Essencial Preliminar de Operadores de Mutação para a Validação de Máquinas de Estados Finitos

Renata A. de Carvalho^{1*}

*Sandra Camargo P. F. Fabbri*¹

*José Carlos Maldonado*²

¹ Departamento de Computação – DC
Universidade Federal de São Carlos – UFSCar
Caixa Postal 676 CEP 13.565-905
São Carlos – SP – Brasil
{renataap, sandraf}@dc.ufscar.br

² Departamento de Computação e Estatística
Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação – ICMC
Universidade de São Paulo – USP
Caixa Postal 668 CEP 13.560-970
São Carlos – SP – Brasil
jcmaldon@icmc.sc.usp.br

Considerando-se o aspecto crítico do desenvolvimento e aplicação dos Sistemas Reativos, como por exemplo, protocolos de comunicação, controle metroviário, etc., métodos e técnicas formais têm sido estabelecidos para especificação de seu aspecto comportamental. Dentre eles estão as Máquinas de Estados Finitos (MEF) [GIL62] que, para sua validação, vários critérios e métodos de geração de seqüências de teste [CHO78, FUJ91] têm sido propostos e investigados, todos eles objetivando mostrar a ausência de certos tipos de erros categorizados em modelos de erros. Esforços têm sido identificados na definição e caracterização de modelos de erros de especificações baseadas em MEF [PET96, PRO91, CHU91, WAN93]. Mais recentemente, propôs-se o uso do critério Análise de Mutantes [DEM80], tradicionalmente utilizado no teste de programas, nesse contexto [PRO91, FAB93, FAB94].

Na Análise de Mutantes, os erros são modelados através dos operadores de mutação. Fabbri definiu um conjunto de operadores de mutação para Máquinas de Estados Finitos implementados na ferramenta Proteum-RS/FSM [FAB96]. A aplicação dos operadores de mutação na especificação S leva à obtenção de um conjunto de especificações mutantes denotado por $\phi(S)$. Um problema inerente à aplicação da Análise de Mutantes é o seu custo, essencialmente devido ao custo de execução e análise dos mutantes gerados. Por outro lado, o critério Análise de Mutantes, no teste de programas, tem apresentado uma alta eficácia em revelar erros e evidências nessa direção, no contexto de especificações, foram obtidas por Fabbri [FAB96].

Várias alternativas para a aplicação da Análise de Mutantes têm sido investigadas. Dentre elas, a Mutação Restrita (“Constrained Mutation”), que procura caracterizar um subconjunto de operadores de mutação para aplicação na atividade de teste, reduzindo o custo mas procurando manter a eficácia do critério. Nessa perspectiva inserem-se os trabalhos de Offut *et al.* [OFF96] e Barbosa *et al.*, que definiu o Procedimento Essencial [BAR98] os quais procuraram determinar um conjunto essencial de operadores de mutação para as linguagens Fortran e C, respectivamente. Espera-se que ao determinar um conjunto T de seqüências de teste adequado ao conjunto de operadores essenciais, T seja também adequado em relação ao conjunto de operadores definidos para a linguagem alvo.

O objetivo deste trabalho é contribuir para avaliar o custo de aplicação do critério Análise de Mutantes no contexto de Máquinas de Estados Finitos. Nessa perspectiva, foi conduzido um experimento considerando-se duas abordagens: uma estratégia incremental de aplicação dos operadores e a adequação da aplicação do Procedimento Essencial no contexto de MEF. Assim, procura-se contribuir para a definição de uma estratégia de teste que minimize o custo de aplicação desses operadores, visando determinar uma melhor relação custo/benefício de aplicação da Análise de Mutantes no contexto de MEFs.

* Profª da Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT) – Universidade de Marília – UNIMAR

Para a realização desse experimento utilizou-se a ferramenta Proteum-RS/FSM e foram aplicados os operadores de mutação definidos por [FAB96]. Foram selecionadas dez especificações, de diferentes contextos, extraídas da literatura, sendo duas delas, especificações de protocolos de comunicação.

A abordagem incremental de teste poderia ser estabelecida considerando-se o custo (número de mutantes gerados), ou seja, poderia ser estabelecido um conjunto ordenado de operadores de forma a se obter um escore de mutação 1 com um baixo custo. Aplicando-se essa abordagem, de acordo com a análise dos resultados, uma possível ordem de aplicação dos operadores seria: TraArcDel (exclusão de arco), TraEveIns (eventos extras) e TraDesStaAlt (destino trocado). Utilizando-se esses três operadores ter-se-ia uma redução de custo de, aproximadamente, 76% e ainda assim, na maioria dos casos, obter-se-ia um escore de mutação em relação à Análise de Mutantes igual ou muito próximo de 1.

Com base no Procedimento Essencial proposto por Barbosa *et al.* [BAR98], determinou-se o conjunto essencial para Máquinas de Estados Finitos composto pelos seguintes operadores: TraEveIns, TraDesStaAlt. Observou-se que é possível reduzir o número de mutantes gerados, com uma redução de custo em torno de 70%, mantendo-se um escore de mutação muito próximo de 1.

Comparando-se esse resultado com o obtido através da abordagem incremental, nota-se que os dois operadores do conjunto essencial também fazem parte do conjunto determinado por aquela abordagem. Isso indica que dentro do escopo deste experimento os resultados apontam numa mesma direção, evidenciando que com a aplicação de um conjunto restrito de operadores de mutação consegue-se reduzir o custo de aplicação do critério Análise de Mutantes na validação de Máquinas de Estados Finitos sem prejuízo da qualidade dessa atividade. Ainda, a partir do conjunto essencial, poder-se-ia determinar uma seqüência para aplicação incremental de operadores com o objetivo de garantir o escore 1, o que certamente não implicaria um aumento de custo significativo considerando-se o alto escore já obtido pelo conjunto essencial.

Os resultados obtidos motivam a continuidade dessa linha de pesquisa, procurando conduzir outros experimentos que visem à comparação com outros critérios de teste, o aumento do número de máquinas utilizadas e o uso de um amplo conjunto de seqüências de teste, para que os resultados tenham uma maior significância do ponto de vista estatístico.

Bibliografia

- [BAR98] Barbosa, E. F.; Vincenzi, A. M. R.; Maldonado, J. C. "Uma Contribuição para a Determinação de um Conjunto Essencial de Operadores de Mutação no Teste de Programas C", in *Anais 12º Simpósio de Engenharia de Software*, 1998.
- [CHO78] Chow, T.S. "Testing Software Design Modeled by Finite-State Machines", *IEEE Transactions on Software Engineering*, SE(4(3)), pp. 178-187, 1978.
- [CHU91] Chung, A.; Sidhu, D. "Fault Coverage of Probabilistic Test Sequences", in *Proceedings of the IFIP TC6 Third International Workshop on Protocol Test Systems*, North-Holland, pp. 305-316, 1991.
- [DEM80] DeMillo, R.A. "Mutation Analysis as a Tool for Software Quality Assurance", in *Proc. of COMPSAC 80*, Chicago, Outubro, 1980.
- [FAB93] Fabbri, S.C.P.F.; Maldonado, J.C.; Masiero, P.C.; Delamaro, M.E. "Análise de Mutantes Baseada em Máquinas de Estado Finito", in *Anais do 11º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, Campinas, Maio, 1993.
- [FAB94] Fabbri, S.C.P.F.; Maldonado, J.C.; Delamaro, M.E.; Masiero, P.C. "Mutation Analysis Testing for Finite State Machines", in *Proc. ISSRE'94 - Fifth International Symposium on Software Reliability Engineering*, pp.220-229, California, Novembro, 1994b.
- [FAB96] Fabbri, S.C.P.F. "A Análise de Mutantes no Contexto de Sistemas Reativos: Uma Contribuição para o Estabelecimento de Estratégias de Teste e Validação", *Tese de Doutorado*, IFSC-USP, Outubro, 1996.
- [FUJ91] Fujiwara, S.; Bochmann, G.V.; Khendek, F.; Amalou, M.; Ghedamsi, A. "Test Selection Based on Finite State Models", *IEEE Transaction on Software Engineering*, Vol. 17, N. 6, Junho, 1991.
- [GIL62] Gill, A. *Introduction to the Theory of Finite-State Machines*, New York, McGraw-Hill, 1962.
- [OFF96] Offutt, A.J. et al "An Experimental Determination of Sufficient Mutant Operators", *ACM Transactions on Software Engineering Methodology*, v.5, n.2, pp.99-118, Abril, 1996.
- [PET96] Petrenko, A.; Bochmann, G.v. "On Fault Coverage of Tests for Finite State Specifications", <http://www.iro.umontreal.ca/pub/teleinfo/TRs/Petr96b.ps.gz>, 1996.
- [PRO91] Probert, R.L.; Guo, F. "Mutation Testing of Protocols: Principles and Preliminary Experimental Results", in *Proceedings of the IFIP TC6 Third International Workshop on Protocol Test Systems*, North-Holland, pp. 57-76, 1991.
- [WAN93] Wang, C.J.; Liu, M.T. "Generating Test Cases for EFSM with Given Fault Model", *IEEE INFOCOM'93 - 12th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, Vol.2, pp. 774-781, 1993.