

Instrumentação Configurável e Incremental de Programas

Andreia Carniello¹ Mario Jino² Marcos Lordello Chaim³

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Programa em Computação Aplicada,
São José dos Campos-SP, Brasil, ancarnie@lac.inpe.br

² Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e
Computação, Campinas-SP, Brasil, jino@dca.fee.unicamp.br

³ Embrapa Informática Agropecuária, Campinas-SP, Brasil,
chaim@cnpia.embrapa.br

Resumo A instrumentação de programas consiste em inserir código adicional para coletar informações sobre a execução de um dado programa. A informação coletada pode ser útil para outras atividades de engenharia de software como teste e depuração. Um problema importante em instrumentação de programas é o monitoramento de variáveis. Ele consiste na obtenção dos valores das variáveis quando determinados eventos ocorrem. Uma variável pode ser acessada explicitamente, utilizando o seu nome, ou implicitamente, utilizando sinônimos (e.g, por meio de operações de derreferenciação de ponteiros). A instrumentação de todas as ocorrências de variáveis provoca um aumento do tamanho e do tempo de execução do programa de tal forma que o monitoramento de variáveis em geral se torna inviável. Para tratar este problema é proposta a instrumentação *configurável* e *incremental* de programas. A *configuração de eventos* a serem monitorados é utilizada para reduzir o custo da instrumentação e consiste em permitir que sejam selecionados os eventos e as variáveis de interesse para o monitoramento. A *instrumentação incremental* visa monitorar mais precisamente as variáveis do programa e consiste em instrumentar o programa em níveis que retratam os acessos diretos às variáveis de interesse e os acessos por meio de ponteiros. Para tanto, são propostos três níveis incrementais de monitoramento – *estático*, *dinâmico parcial* e *dinâmico total*. Uma ferramenta de Instrumentação Configurável e Incremental (ICI) para programas escritos em linguagem C foi desenvolvida; exemplos de utilização são apresentados.

1 Introdução

O objetivo da instrumentação de programas é coletar informações sobre o estado do programa diante da ocorrência de eventos. O estado do programa é definido pelos valores das variáveis em um dado ponto de execução e os eventos são ações que ocorrem no programa. Dois eventos são de particular interesse: evento de definição, no qual o valor da variável é alterado, e.g., quando a variável recebe um novo valor; evento de uso de variável, no qual o valor da variável é referenciado.

Normalmente, as informações coletadas na instrumentação de programas são utilizadas em testes estruturais. Ferramentas de teste [1] utilizam a instrumen-

tação para coletar informações que retratam os trechos do programa percorridos durante a execução. A instrumentação também é muito utilizada na depuração e na compreensão de programas [2] visto que estas atividades requerem a determinação do valor de certas variáveis em determinados pontos do programa.

Para realizar o monitoramento de variáveis deve-se instrumentar as ocorrências explícitas e implícitas das variáveis. As ocorrências explícitas são aquelas em que a variável é acessada utilizando o seu nome, i.e., o nome dado à variável na sua declaração. As implícitas são aquelas em que a variável é acessada por meio de um sinônimo, e.g., o resultado da operação de derreferenciação de um ponteiro.

As ferramentas de instrumentação atuais não instrumentam todas as ocorrências explícitas e implícitas das variáveis. Isto ocorre porque a instrumentação de todas as ocorrências causa um aumento do tamanho do código e do tempo de execução do programa que torna inviável o monitoramento das variáveis. Uma maneira de tratar este problema é permitir o controle do nível de intrusão no código por parte do usuário.

Este trabalho introduz a instrumentação configurável e incremental de programas com este objetivo. A idéia é permitir tanto a seleção das variáveis de interesse e dos eventos a serem monitorados como a seleção de diferentes níveis de monitoramento. Para isso, três níveis incrementais de monitoramento - estático, dinâmico parcial e dinâmico total - foram definidos. Para validar a idéia proposta foi desenvolvida a ferramenta ICI - Instrumentação Configurável e Incremental de programas escritos em linguagem C.

2 Níveis de Monitoramento de Variáveis

Três níveis de monitoramento de variáveis são introduzidos a fim de possibilitar o monitoramento controlado não apenas das ocorrências explícitas de variáveis (monitoramento estático), mas também das ocorrências implícitas (acessos a variáveis por meio de ponteiros).

Estático

Este nível monitora as ocorrências explícitas das variáveis no programa. Para definições de variáveis, este nível implica monitorar somente as alterações explícitas dos valores das variáveis. Para os usos de variáveis, implica monitorar somente as referências explícitas às variáveis.

Dinâmico Parcial

Este nível monitora as ocorrências explícitas das variáveis de interesse no programa e as ocorrências de algumas posições de memória referenciadas por meio de ponteiros. Para o evento definição (ev-def), o nível dinâmico parcial monitora as alterações explícitas das variáveis e também as alterações via ponteiros. Porém, somente são monitorados os ponteiros que são do mesmo tipo das variáveis de interesse.

Para o evento uso (ev-ref), o nível dinâmico parcial monitora as referências explícitas às variáveis de interesse e também algumas referências a posições de

memória via ponteiros. Porém, somente referências via ponteiros nas quais o ponteiro possui o mesmo tipo da variável de interesse.

Dinâmico Total

No nível dinâmico total são monitoradas as ocorrências explícitas das variáveis de interesse no programa, os acessos a posições de memória via derreferenciação de ponteiros e os acessos a posições de memória utilizando os vetores do programa.

Esse nível de monitoramento está disponível para eventos definição e uso de variáveis. Diferentemente do nível dinâmico parcial, nesse nível são monitoradas todas as operações de derreferenciação independentemente do tipo do ponteiro, não sendo necessário que o ponteiro seja do mesmo tipo da variável de interesse.

3 Ferramenta ICI

A ferramenta de Instrumentação Configurável e Incremental (ICI) para programas escritos em linguagem C monitora dois tipos de eventos: definição e uso de variáveis. Porém o que distingue ICI é que esse monitoramento é feito em três níveis incrementais — estático, dinâmico parcial e dinâmico total, permitindo rastrear acessos a variáveis por meio de ponteiros. Além disso, ICI é uma ferramenta configurável, permitindo que sejam escolhidos: os eventos a serem monitorados (evento de definição ou de uso de uma variável); as variáveis a serem monitoradas; o nível de monitoramento das variáveis (estático, dinâmico parcial, dinâmico total); e a função na qual o monitoramento será realizado.

4 Exemplos de Utilização da Ferramenta ICI

Exemplos de utilização da ferramenta ICI foram realizados, nos quais um programa é instrumentado nos diferentes níveis de monitoramento: estático, dinâmico parcial e dinâmico total. Para tanto, utilizou-se o programa `sort` do ambiente UNIX. Foram medidos o tamanho do código executável e o tempo de execução desse programa tanto para o código original quanto para o código instrumentado. Para o primeiro exemplo foram geradas versões instrumentadas do programa `sort` nos três níveis propostos enquanto que para o segundo exemplo foram geradas versões apenas para os níveis estático e dinâmico total.

4.1 Resultados

A Figura 1 mostra o tempo de execução do programa `sort.exe` e dos programas instrumentados nos diferentes níveis de monitoramento.

Nos exemplos executados, o custo de execução do nível estático foi alto devido às escritas em arquivo e o custo dos níveis mais precisos (dinâmico parcial e total) foi razoável, pois não sofreu grandes acréscimos com relação ao nível estático visto que não é comum ocorrerem operações de escrita nestes níveis.

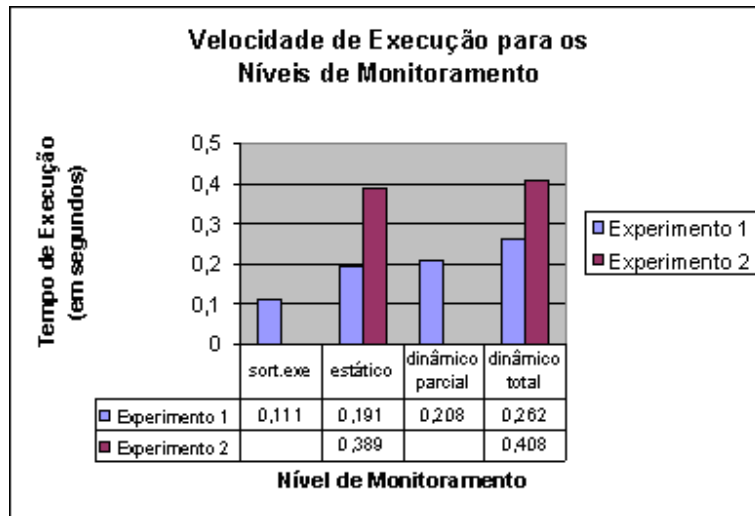


Figura 1. Tempo de Execução do arquivo instrumentado para diferentes níveis de monitoramento e quantidade diferentes de variáveis monitoradas.

5 Conclusões

A instrumentação configurável e incremental de programas foi introduzida com o objetivo de permitir o controle do nível de intrusão do código no monitoramento de variáveis. A principal contribuição do trabalho é a introdução de níveis incrementais de monitoramento de variáveis. Quando se monitora uma variável em um programa, é interessante monitorar não somente as ocorrências explícitas das variáveis, mas também aquelas ocorrências por meio de operações de dereferenciação, seja de ponteiros, seja de vetores.

A instrumentação configurável e incremental foi implementada em uma ferramenta de instrumentação — a ferramenta ICI. Exemplos de utilização da ferramenta ICI foram realizados e há uma indicação de que a utilização dos níveis de monitoramento propostos pode ser viável em termos de custo de instrumentação. No entanto, trabalhos futuros adicionais deverão ser realizados para validar o conceito de instrumentação configurável e incremental de programas.

Referências

1. Chaim, M. L., Maldonado, J. C., Jino, M., Nakagawa, E. Y., *POKE-TOOL - Estado Atual de uma Ferramenta para Teste Estrutural de Software Baseado em Análise de Fluxo de Dados*, In: XII Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software, Caderno de Ferramentas, 1998.
2. Ernst, M. D., Cockrell, J., Griswold, W.G., Notkin, D., *Dynamically Discovering Likely Program Invariants to Support Program Evolution*, IEEE Transactions in Software Engineering, v. 27, n. 2, p. 1-25, February 2001.