

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MICROELETRÔNICA

THIAGO RIDER AUGUSTO

**Hardware dinâmico para tolerância a
falhas em microprocessadores**

Dissertação apresentada como requisito parcial para
a obtenção do grau de Mestre em Microeletrônica

Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos Schneider Beck
Filho

Porto Alegre
2015

CIP — CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

Augusto, Thiago Rider

Hardware dinâmico para tolerância a falhas em microprocessadores / Thiago Rider Augusto. – Porto Alegre: PGMI-CRO da UFRGS, 2015.

19 f.: il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Microeletrônica, Porto Alegre, BR-RS, 2015. Orientador: Antônio Carlos Schneider Beck Filho.

1. Tolerância à Falhas. 2. Detecção de Erros. 3. Hardware Adaptativo. 4. Microprocessadores. I. Beck Filho, Antônio Carlos Schneider. II. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Prof. Rui Vicente Oppermann

Pró-Reitor de Pós-Graduação: Prof. Vladimir Pinheiro do Nascimento

Diretor do Instituto de Informática: Prof. Luis da Cunha Lamb

Coordenador do PGMICRO: Prof. Gilson Inácio Wirth

Bibliotecária-chefe do Instituto de Informática: Beatriz Regina Bastos Haro

*“Logic will get you from A to B.
Imagination will take you everywhere.”*

— ALBERT EINSTEIN

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao \LaTeX por não ter vírus de macro...

RESUMO

Com a evolução dos processos de fabricação de dispositivos eletrônicos, um fenômeno já conhecido passa a afetar ainda mais os circuitos: trata-se do fenômeno da radiação cósmica. Logo, ao tentar se utilizar circuitos no meio espacial, é necessária a devida adaptação com técnicas especializadas para mitigar falhas que podem levar a efeitos catastróficos e arruinar missões espaciais. Ao passar dos anos, muitas técnicas foram desenvolvidas em diferentes níveis: hardware, software ou híbridas.

A suscetibilidade dos circuitos a radiação está ligada a maior integração, que faz com que os transistores sejam cada vez mais diminutos. Com as chaves menores, a chance de uma partícula afetar um ou mais dispositivos é muito maior. O aumento da frequência de operação também ocupa lugar nessa problemática, haja visto que com um intervalo mais curto entre as bordas de relógio, aumenta-se a probabilidade de um pulso espúrio ser capturado pela lógica. A complexidade e tamanho dos circuitos também ficaram maiores e grande parte dos sistemas é microprocessado, levando a um interesse ainda maior de proteger essa classe de sistemas.

Este trabalho visa implementar em hardware diversas técnicas de detecção de erros, com o objetivo de proteger processadores contra falhas transientes, propondo um módulo especializado, capaz de atuar dinamicamente selecionando uma técnica, levando em consideração a melhor relação entre o custo do tempo de execução e a taxa de detecção de erros. Tem relevância no contexto de uso de sistemas micro processados em ambientes hostis cuja exposição à radiação ou ainda, influência eletromagnética podem causar efeitos inesperados no comportamento do circuito.

Palavras-chave: Tolerância à Falhas. Detecção de Erros. Hardware Adaptativo. Microprocessadores.

Dynamic hardware for fault tolerance in microprocessors

ABSTRACT

With the development of electronic devices manufacturing processes, an already known phenomenon becomes even more affect the circuits: it is the phenomenon of cosmic radiation. Then when you try to use circuits in the space environment, appropriate adjustment is required with specialized techniques to mitigate failures that can lead to catastrophic effects and ruin space missions. Over the years, many techniques have been developed at different levels: hardware, software or hybrid.

The susceptibility of circuits radiation is linked to greater integration, which makes the transistors are increasingly tiny. With the minor keys, the chance of a particle affect one or more devices is much higher. Increasing the frequency of operation also takes place on these problems, there is seen that with a shorter interval between the clock edges, increases the likelihood of a spurious pulse is captured by logic. The complexity and size of the circuits were also larger and much of the microprocessor systems is leading to an even greater interest in protecting this class of systems.

This work aims to implement in hardware several error detection techniques, in order to protect against transient faults processors, offering a specialized module, able to act dynamically selecting a technique, taking into account the best ratio between the cost of run time and error detection rate. Has relevance in micro systems use context processed in hostile environments where exposure to radiation or, electromagnetic influence can cause unexpected effects on circuit behavior.

Keywords: Fault Tolerance,Error Detection,Adaptative Hardware,Microprocessors.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SMP	Symmetric Multi-Processor
NUMA	Non-Uniform Memory Access
SIMD	Single Instruction Multiple Data
SPMD	Single Program Multiple Data
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Descrição da Figura deve ir no topo	11
Figura 1.2	Exemplo de figura importada de um arquivo e também exemplo de caption muito grande que ocupa mais de uma linha na Lista de Figuras	11
Figura 1.3	Exemplo de figura desenhada com o environment <code>picture</code>	12

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 Uma tabela de Exemplo.....	12
---------------------------------------	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Figuras e tabelas.....	11
1.1.1 Formato de Figuras	12
1.1.2 Classificação dos etc.	12
1.2 Sobre as referências bibliográficas	13
2 CONTEXTO DA PESQUISA	14
2.1 O processador miniMIPS	14
2.2 A Origem de tudo: Os 3 tipos de raios(???)	14
2.3 Background de tolerância a falhas	14
3 ROBUSTECIMENTO DE PROCESSADORES CONTRA EFEITOS DA RADIAÇÃO CÓSMICA.....	15
3.1 Proteções em hardware	15
3.2 Proteções em software	15
3.3 Fragilidades das proteções em hardware e software	15
4 HARDWARE ADAPTATIVO PARA TOLERÂNCIA A FALHAS	16
4.1 Porque adaptativo?	16
4.2 Arquitetura proposta.....	16
4.2.1 Máquina de estados para a técnica EDDI	16
4.2.2 Máquina de estados para a técnica 2.....	16
4.2.3 Máquina de estados para a técnica 3.....	16
4.3 Metodologia de verificação adaptada a uma campanha de injeção de falhas	16
4.3.1 Metodologia de Verificação Universal	16
4.3.2 Experimentos de injeção de falhas em simulação.....	16
4.3.2.1 Biblioteca de injeção de falhas usando VPI.....	16
4.3.2.2 Premissas ao se injetar falhas.....	16
4.4 Integrando as máquinas de estados propostas	16
5 ANÁLISE E RESULTADOS DA PESQUISA	17
5.1 Casos de teste usando o módulo RFTAH	17
6 CONCLUSÃO	18
REFERÊNCIAS.....	19

1 INTRODUÇÃO

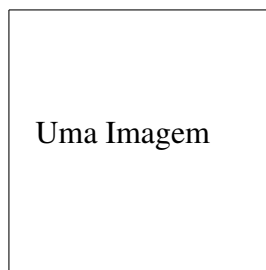
No início dos tempos, Donald E. Knuth criou o \TeX . Algum tempo depois, Leslie Lamport criou o \LaTeX . Graças a eles, não somos obrigados a usar o Word nem o LibreOffice.

1.1 Figuras e tabelas

Esta seção faz referência às Figuras 1.1, 1.2 e 1.3, a título de exemplo. A primeira figura apresenta a estrutura de uma figura. A *descrição* deve aparecer **acima** da figura. Abaixo da figura, deve ser indicado a origem da imagem, mesmo se essa for apenas os autores do texto.

A Figura 1.2 representa o caso mais comum, onde a figura propriamente dita é importada de um arquivo (neste exemplo em formato `eps` ou `pdf`. Veja a seção 1.1.1). A Figura 1.3 exemplifica o uso do environment `picture`, para desenhar usando o próprio \LaTeX .

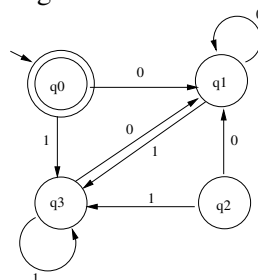
Figura 1.1 – Descrição da Figura deve ir no topo



Fonte: Os Autores

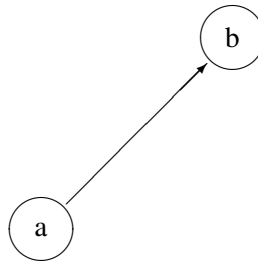
Tabelas são construídas com praticamente os mesmos comandos. Ver a tabela 1.1.

Figura 1.2 – Exemplo de figura importada de um arquivo e também exemplo de caption muito grande que ocupa mais de uma linha na Lista de Figuras



Fonte: Os Autores

Figura 1.3 – Exemplo de figura desenhada com o environment `picture`.



Fonte: Os Autores

Tabela 1.1 – Uma tabela de Exemplo

<i>Col 1</i>	<i>Col 2</i>	<i>Col 3</i>
Val 1	Val 2	Esta coluna funciona como um parágrafo, tendo uma margem definida em 5cm. Quebras de linha funcionam como em qualquer parágrafo do tex.
Valor Longo	Val 2	Val 3

Fonte: Os Autores

1.1.1 Formato de Figuras

O LaTeX permite utilizar vários formatos de figuras, entre eles *eps*, *pdf*, *jpeg* e *png*. Programas de diagramação como Inkscape (e mesmo LibreOffice) permitem gerar arquivos de imagens vetoriais que podem ser utilizados pelo LaTeX sem dificuldade. Pacotes externos permitem utilizar SVG e outros formatos.

Dia e xfig são programas utilizados por dinossauros para gerar figuras vetoriais. Se possível, evite-os.

1.1.2 Classificação dos etc.

O formato adotado pela ABNT prevê apenas três níveis (capítulo, seção e subseção). Assim, `\subsubsection` não é aconselhado.

1.2 Sobre as referências bibliográficas

A classe *iiufrgs* faz uso do pacote *abnTeX2* com algumas alterações feitas por Sandro Rama Fiorini. Culpe ele se algo der errado. Agradeça a ele pelo que der certo. As modificações dão uma camada de tinta NATBIB-style, já que o *abntex2* usa uns comandos de citação feitos para alienígenas de 5 braços wtf. Exemplos de citação:

- *cite*: Unicórnios são verdes (ADAMS; RAUBAL, 2009);
- *citep*:Unicórnios são verdes Adams2009Conceptual;
- *citet*: Segundo Adams2009Conceptual, unicórnios são verdes.
- *citen or citenum*: Segundo Adams e Raubal (2009), unicórnios são verdes.
- *citeauthor e citeyearpar*: Segundo artigos de ADAMS; RAUBAL, unicórnios são verdes Adams2009Conceptual.

O estilo *abnt* fornecido antigamente pelo UTUG não é mais recomendado, pois não produz saída de acordo com as exigências da biblioteca.

Recomenda-se o uso de *bibtex* para gerenciar as referências (veja o arquivo *biblio.bib*).

2 CONTEXTO DA PESQUISA

2.1 O processador miniMIPS

2.2 A Origem de tudo: Os 3 tipos de raios(???)

2.3 Background de tolerância a falhas

3 ROBUSTECIMENTO DE PROCESSADORES CONTRA EFEITOS DA RADIAÇÃO CÓSMICA

3.1 Proteções em hardware

3.2 Proteções em software

3.3 Fragilidades das proteções em hardware e software

4 HARDWARE ADAPTATIVO PARA TOLERÂNCIA A FALHAS

4.1 Porque adaptativo?

4.2 Arquitetura proposta

4.2.1 Máquina de estados para a técnica EDDI

4.2.2 Máquina de estados para a técnica 2

4.2.3 Máquina de estados para a técnica 3

4.3 Metodologia de verificação adaptada a uma campanha de injeção de falhas

4.3.1 Metodologia de Verificação Universal

4.3.2 Experimentos de injeção de falhas em simulação

4.3.2.1 Biblioteca de injeção de falhas usando VPI

4.3.2.2 Premissas ao se injetar falhas

4.4 Integrando as máquinas de estados propostas

5 ANÁLISE E RESULTADOS DA PESQUISA

5.1 Casos de teste usando o módulo RFTAH

6 CONCLUSÃO

Concluindo...

REFERÊNCIAS

ADAMS, B.; RAUBAL, M. Conceptual space markup language (csml): Towards the cognitive semantic web. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SEMANTIC COMPUTING, 2009, Berkeley, USA. **Proceedings...** Washington, USA: IEEE, 2009. p. 253–260.