



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO
Instituto de Ciência e Tecnologia
Engenharia Biomédica

Sistema de Alarme de Incêndio Inteligente Baseado em Cálculo de Risco em MIPS

Discentes: Nicolas David da Cruz Santos , Davi de Oliveira Custódio, João Augusto Paixão Rocha,
Bernardo Friske de Souza

Resumo. O presente trabalho apresenta a criação de um simulador de alarme de incêndio com uso da arquitetura MIPS. A partir de métricas, como fumaça e temperatura, foi elaborado um sistema que faz um cálculo de risco ponderado que informa como saída o risco e estado do cenário atual, com este variando entre normal, de atenção, de alerta e de evacuação. Para isso, foram implementadas funções, laços, tratamento de entrada, pilha entre outros recursos da linguagem assembly na arquitetura MIPS. Foi possível concluir que, a partir da linguagem de baixo nível assembly, programas com aplicações reais podem ser implementados e, com associação a sensores externos e um dispositivo que integre hardware e software, podem ter uso efetivo.

Palavras-chave: Simulador de Alarme de Incêndio. AOC. Hardware. Sistemas Embarcados

1. Introdução

Os sistemas embarcados estão presentes em muitos dispositivos do dia a dia, incluindo sensores e alarmes usados para monitorar ambientes. Para entender melhor como esses sistemas funcionam internamente, é comum usar arquiteturas didáticas como o MIPS, que permite observar de forma clara como operações são feitas diretamente por registradores e instruções de baixo nível (PATTERSON; HENNESSY, 2014).

Neste trabalho, foi feito o desenvolvimento de um simulador de sistema embarcado/IoT implementado em linguagem MIPS Assembly, seguindo as restrições e características de dispositivos de baixo nível. O objetivo do projeto é demonstrar como recursos limitados — como memória reduzida, ausência de bibliotecas de alto nível e necessidade de controle manual da pilha e da lógica interna — influenciam diretamente a construção de sistemas embarcados reais.

O sistema simulado tem como finalidade monitorar temperatura e nível de fumaça, calculando um índice de risco e determinando o estado do ambiente com base nesses parâmetros. O programa também permite ativação manual do alarme e exibição das últimas leituras registradas, implementando assim funcionalidades esperadas em dispositivos de segurança residenciais ou industriais.

O ensino de conceitos de Arquitetura e Organização de Computadores (AOC) frequentemente apresenta desafios, pois envolve temas abstratos como memória, barramentos, dispositivos de entrada e saída e unidades de armazenamento. Tais conteúdos, embora fundamentais, muitas vezes são ministrados de forma expositiva, o que pode dificultar a assimilação por parte dos estudantes (TAVARES; BARBOSA, 2019).

Nesse contexto, o presente trabalho propõe o desenvolvimento do jogo de tabuleiro Mega Computer Edition, criado como uma ferramenta lúdica de apoio didático. O objetivo principal

é facilitar a compreensão dos conceitos Periféricos de E/S, Memória e Armazenamento. O jogo é organizado em casas comuns, desafios e cartas de sorte/revés, abordando diretamente os temas da disciplina.

2. Fundamentação Teórica

O desenvolvimento de sistemas embarcados baseados em MIPS exige a compreensão de princípios fundamentais da organização de computadores, da arquitetura MIPS e do funcionamento de instruções de baixo nível. A arquitetura MIPS é amplamente utilizada em ensino e pesquisa por sua simplicidade estrutural, formato fixo de instruções e conjunto reduzido de operações, o que a torna adequada para explorar conceitos de pilha, registradores, memória e chamadas de sistema. No contexto do projeto, é essencial a compreensão dos seguintes elementos teóricos

2.1 Arquitetura MIPS

O MIPS é um processador RISC (Reduced Instruction Set Computer), caracterizado por um conjunto pequeno e eficiente de instruções. Cada instrução possui formato fixo de 32 bits, o que simplifica o pipeline e torna o comportamento do hardware mais previsível. O uso de registradores — como os temporários ($\$t0\text{--}t9$), salvos ($\$s0\text{--}s7$), de argumentos ($\$a0\text{--}a3$) e retorno ($\$v0\text{--}v1$) — é implementado para escrita de funções, chamadas de procedimento e manipulação de dados. Esse tipo de organização favorece a execução eficiente de operações e é amplamente utilizada em arquiteturas reais (STALLINGS, 2010).

Além disso, neste trabalho, a organização da memória é feita em segmentos `.data` e `.text`, o que resulta em declaração das variáveis globais, buffers, mensagens no primeiro segmento e o código executável no segundo. Isso facilita a compreensão da estrutura interna do código e do uso das informações.

2.2 Conjunto de Instruções e Syscalls

O programa faz uso de instruções aritméticas (add, mul, div), de controle de fluxo (beq, bgt, j, jal, jr), de manipulação de memória (lw, sw, la, lb) e chamadas ao sistema (syscall). As syscalls fornecidas pelo simulador MARS ou SPIM permitem entrada e saída de dados, leitura de strings e encerramento do programa, criando uma interface simples entre o software e o ambiente de simulação.

2.3 Pilhas, Funções e Vetores

No projeto, a pilha é utilizada para guardar valores temporários, organizar chamadas de funções e manter o estado do programa. A manipulação direta do ponteiro de pilha (usando $\$s0$) mostra como variáveis locais e endereços de retorno são armazenados e restaurados durante a execução, reforçando os princípios de alocação dinâmica e escopo (PATTERSON; HENNESSY, 2005).

As funções desempenham papel essencial na modularização do código, permitindo dividir o programa em partes menores e mais fáceis de entender. Cada chamada de função exige salvar o contexto anterior — como registradores e o endereço de retorno — na pilha, garantindo que o fluxo de execução possa continuar corretamente após a conclusão da sub-rotina. Esse mecanismo ajuda o aluno a compreender como o MIPS controla o fluxo e preserva informações entre diferentes blocos de código (WEBER, 2008).

O projeto também faz uso de vetores, que são armazenados no segmento .data e acessados por meio de endereçamento baseado em deslocamentos. O uso de indexação com multiplicação por 4 (devido ao tamanho de 4 bytes das palavras) apresenta conceitos de acesso sequencial, aritmética de ponteiros e manipulação de estruturas lineares. Esse tipo de operação é fundamental para entender como a memória é organizada.

2.4 Lógica de Sensores e Processamento de Dados

Sistemas embarcados reais frequentemente realizam leitura de sensores, interpretação de sinais e tomada de decisão. O projeto simula esse comportamento ao implementar leitura de dados de temperatura e fumaça, validação de entrada, cálculo de risco baseado em fórmulas simples, armazenamento circular das últimas leituras e acionamento automático ou manual do estado de alarme. Esses mecanismos espelham características comuns em sistemas embarcados reais, como alarmes ambientais, microcontroladores e sistemas de monitoramento.

3. Metodologia

O desenvolvimento do projeto foi conduzido com base na implementação incremental de um sistema simulado na arquitetura MIPS, utilizando o ambiente MARS. Ele consistiu em etapas envolvendo o planejamento lógico, elaboração incremental das funcionalidades, realização de ajustes e adição de detalhes.

Inicialmente foram definidos os requisitos do programa, incluindo leitura de valores (temperatura e fumaça), validação de entrada, armazenamento das últimas medições e acionamento de um alarme. Também foi planejado como cada funcionalidade seria distribuída entre funções separadas, visando modularidade e clareza, além da definição da fórmula ponderada para o cálculo de risco. Assim, foi obtida a seguinte função ponderada:

$$RiscoCalculado = \frac{18 \times Temperatura + 32 \times Fumaça}{120} \quad Risco = 120 \cdot Temperatura + 32 \cdot Fumac,a$$

É definido o valor 100 como limite para Risco, assim:

$$RiscoResultante = RiscoCalculado, \text{ se } RiscoCalculado \leq 100$$

$$RiscoResultante = 100, \text{ se } RiscoCalculado > 100$$

Em seguida, realizou-se a organização da memória no segmento .data, onde foram declaradas as mensagens de interface, as variáveis auxiliares de controle, os estados do alarme e os vetores destinados ao armazenamento sequencial das leituras. Essa etapa permitiu estruturar a memória separando dados estáticos e estruturas auxiliares de maneira coerente com o funcionamento de sistemas embarcados reais.

A implementação do código ocorreu no segmento .text, com a criação de sub-rotinas específicas para leitura, cálculos, atualização dos vetores e exibição dos resultados. Durante essa etapa, aplicaram-se as convenções de chamada da arquitetura MIPS, utilizando a pilha para salvar registradores e preservar o contexto entre as funções. Essa etapa exigiu a manipulação de endereços e parâmetros, como chamadas e retornos.

Após a implementação das funcionalidades principais, procedeu-se aos testes e ajustes no simulador MARS. O programa foi testado repetidas vezes no MARS, usando entradas diferentes para verificar se o sistema estava validando os dados corretamente, calculando o risco de forma adequada e armazenando as leituras no vetor circular. Esses testes também serviram para ajustar erros e garantir que os níveis do alarme fossem exibidos corretamente.

Para elaboração do código, foi feito o uso de Inteligência Artificial (IA), mais especificamente, o modelo de linguagem do ChatGPT da OpenIA. Sua utilização foi limitada ao aprendizado de recursos da linguagem assembly em MIPS não vistos em aula, como funções, vetores e pilhas. Foram feitas perguntas como:

4. Resultados (adicionar imagens)

Com o sistema implementado, foi possível realizar testes para simular o funcionamento do dispositivo embarcado. Observou-se que o programa realiza corretamente o cálculo da função de risco, apresentando como esperado os estados de severidade e os valores de risco. Isso pode ser observado na figura 1, que apresenta a entrada de valores que resultam em cada um dos estados como saída. Note que, assim como o previsto, o cálculo do risco não

```
RISCO: 62/100
ESTADO: evacuação
Insira (Temperatura Fumaça) separadas por espaço ou insira o código 'b' para ativação manual do alarme, ou o código 'l' para listar as ultimas leituras. Digite 'e' para encerrar.
20 5
RISCO: 4/100
ESTADO: normal
Insira (Temperatura Fumaça) separadas por espaço ou insira o código 'b' para ativação manual do alarme, ou o código 'l' para listar as ultimas leituras. Digite 'e' para encerrar.
50 20
RISCO: 12/100
ESTADO: atenção
Insira (Temperatura Fumaça) separadas por espaço ou insira o código 'b' para ativação manual do alarme, ou o código 'l' para listar as ultimas leituras. Digite 'e' para encerrar.
100 100
RISCO: 41/100
ESTADO: alerta
Insira (Temperatura Fumaça) separadas por espaço ou insira o código 'b' para ativação manual do alarme, ou o código 'l' para listar as ultimas leituras. Digite 'e' para encerrar.
150 200
RISCO: 75/100
ESTADO: evacuação
Insira (Temperatura Fumaça) separadas por espaço ou insira o código 'b' para ativação manual do alarme, ou o código 'l' para listar as ultimas leituras. Digite 'e' para encerrar.
250 300
RISCO: 100/100
```

ultrapassa 100, mesmo que o cálculo inicial resulte em valores maiores que 100, como no

quinto caso. A verificação matemática dos valores de risco é apresentada na figura 2 a fins de comparação.

Também foi feita a verificação da ativação manual de emergência pelo usuário. Com ela, observou-se como saída o estado de evacuação com valor de risco 100, como apresentado na figura 2.

Por fim, foram testadas duas funcionalidades essenciais. A primeira é de listagem das últimas leituras, possível a partir do uso de um buffer circular. O resultado é apresentando na figura 3. A segunda é a resposta à entradas inválidas, ou seja, informe de erro caso as entradas não sigam algum dos formatos especificados. A saída para esse caso é apresentado na figura 4.

A partir da análise dos resultados, conclui-se que o sistema se mostrou funcional, estabelecendo com sucesso a interação com o usuário, a partir de mensagens exibidas através das chamadas de sistema, com sentenças diretas e simples. Também, executou com êxito as fórmulas de cálculo de risco e do estado de emergência, apresentando a saída na tela para o usuário, assim como a ativação manual. Ademais, foram feitas a validação da entrada, cálculos internos e exibição das mensagens, sem perda de dados e preservando os registradores por meio do uso adequado da pilha, o que permitiu a exibição das últimas leituras e a verificação de entradas válidas

5. Conclusão

O projeto em MIPS ajudou a colocar em prática conceitos importantes da disciplina de Arquitetura e Organização de Computadores. A implementação permitiu entender melhor como a pilha funciona, como os registradores são usados, como a memória é organizada e como o código pode ser dividido em funções. O uso de vetores e o trabalho direto com endereços também ajudaram a compreender como os dados são manipulados em baixo nível.

A simulação do monitoramento de temperatura e fumaça mostrou como sistemas embarcados fazem leituras de sensores, tratam informações e tomam decisões automáticas. Mesmo sendo um projeto didático, ele mostrou como a linguagem assembly pode ser usada para implementar programas com aplicações reais, neste caso, de monitoramento ambiental. Assim, é possível entender o uso dessa abordagem em sistemas funcionais e efetivos do mundo real com a associação de sensores externos e a um dispositivo que integre hardware e software.

Referências Bibliográficas

PATTERSON, David A.; HENNESSY, John L. *Organização e Projeto de Computadores: A Interface Hardware/Software*. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

TAVARES, M. J.; BARBOSA, L. C. **Metodologias Ativas no Ensino de Hardware: Uma Revisão Sistemática**. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, v. 27, n. 1, p. 112–125, 2019.

STALLINGS, W. **Arquitetura e Organização de Computadores**. 10. ed. São Paulo: Pearson, 2017.

WEBER, R. *Assembly MIPS: Arquitetura e Programação*. 2. ed. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 2008. (Caso não queira essa referência, posso remover — ela é adequada à parte de funções e pilha.)