Insper

Sistemas Hardware Software

Mutirão C

Igor Montagner

2020/1

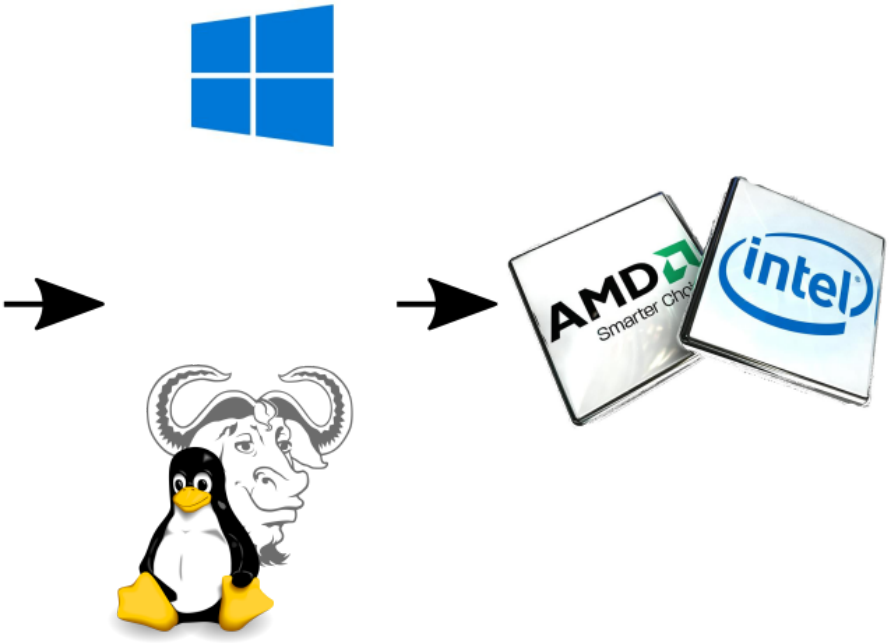
Apresentação

Sistemas Hardware-Software

```c
/* This line basically imports the "stdio" header file, part of
 * the standard library. It provides input and output functionality
 * to the program.
 */
#include <stdio.h>

/*
 * Function (method) declaration. This outputs "Hello, world" to
 * standard output when invoked.
 */
void sayHello() {
    // printf() in C outputs the specified text (with optional
    // formatting options) when invoked.
    printf("Hello, world!");
}

/*
 * This is a "main function". The compiled program will run the code
 * defined here.
 */
void main() {
    // Invoke the sayHello() function.
    sayHello();
}
```



Objetivos de Aprendizagem

Objetivos de hoje:

1. entender como as capacidades do hardware alteram o desempenho de um programa;
2. entender como modificar um programa para aproveitar melhor o hardware.

Sistemas Hardware-Software

Vamos continuar com o embarcado:

1. Abram o projeto HW-SW na solução da aula
2. Rodem o projeto. O quê o botão faz?
3. Localizem a função `processImage(..)` no arquivo `main.c`.

Sistemas Hardware-Software

```
for (j=1;j<imgW-1;j++){
  for (i=1;i<imgH-1;i++){
    val = (int) 4 * imgIn[i][j]
          - imgIn[i-1][j]
          - imgIn[i+1][j]
          - imgIn[i][j-1]
          - imgIn[i][j+1];

          imgOut[i][j] = abs(val);
  }
}
```

Sistemas Hardware-Software

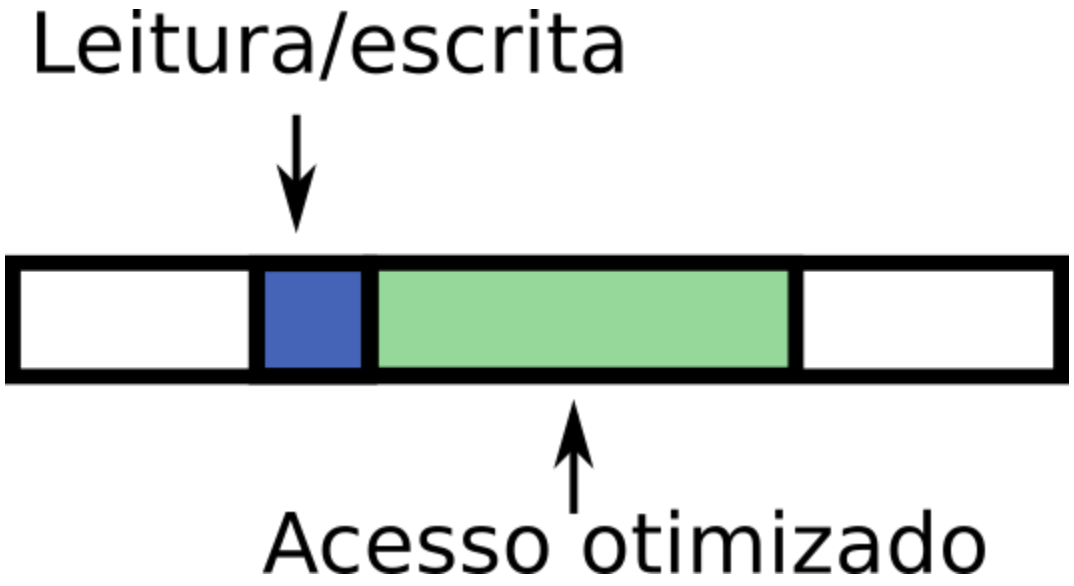
Vamos rodar o programa agora com duas configurações diferentes:

1. loop `ji` :
2. loop `ij` :

No segundo vamos só inverter a ordem dos loops e rodar de novo.

O quê está acontecendo?

As CPUS presentes em PCs (e muitos sistemas embarcados) são otimizadas para acesso **sequencial** ou **frequente** usando a memória *cache*.

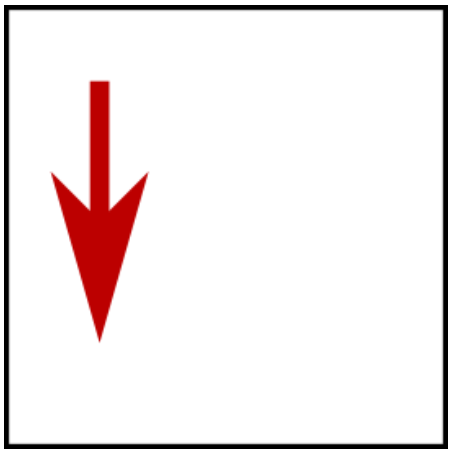


O quê está acontecendo?

loop `ji`

```
for (j=1;j<imgW-1;j++){
  for (i=1;i<imgH-1;i++){
    val = (int) 4 * imgIn[i][j]
          - imgIn[i-1][j]
          - imgIn[i+1][j]
          - imgIn[i][j-1]
          - imgIn[i][j+1];

          imgOut[i][j] = abs(val);
  }
}
```

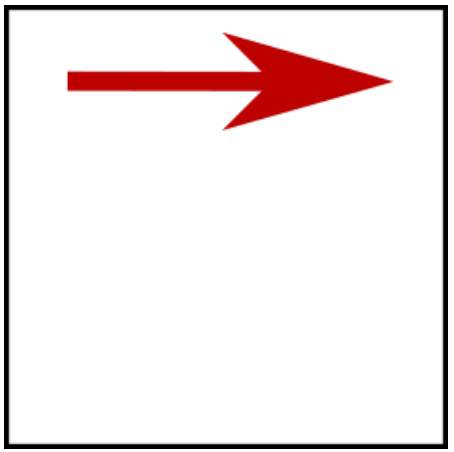


O quê está acontecendo?

loop `ij`

```
for (i=1;i<imgH-1;i++){
  for (j=1;j<imgW-1;j++){
    val = (int) 4 * imgIn[i][j]
          - imgIn[i-1][j]
          - imgIn[i+1][j]
          - imgIn[i][j-1]
          - imgIn[i][j+1];

          imgOut[i][j] = abs(val);
  }
}
```



O quê está acontecendo - O cache

A ordem dos loops que privilegia o acesso sequencial (por linha) tem desempenho superior!

> O cache é uma memória pequena mas muito rápida usada para acelerar o desempenho de acesso à memória RAM

Cache	
Cache size	16 KB for instruction cache, 16 KB for data cache
Number of sets	256 for instruction cache, 128 for data cache
Number of ways	2 for instruction cache, 4 for data cache
Number of words per cache line	8 words (32 bytes)
ECC on Cache	Embedded

O cache

O cache de dados possui `16kb`. Cada ponto ocupa *1 byte*.

Pergunta: Quantos bytes cabem no cache?

O cache

O cache de dados possui `16kb`. Cada ponto ocupa *1 byte*.

Pergunta: Quantos bytes cabem no cache? `16384`

O cache

O cache de dados possui `16kb`. Cada ponto ocupa *1 byte*.

Pergunta: Quantas linhas da nossa imagem (320×320) cabem no cache?

O cache

O cache de dados possui `16kb`. Cada ponto ocupa *1 byte*.

Pergunta: Quantas linhas da nossa imagem (320×320) cabem no cache? `51`

O cache

O cache de dados possui `16kb`. Cada ponto ocupa *1 byte*.

Pergunta: Qual é o tamanho da maior imagem quadrada que cabe inteira no cache?

O cache

O cache de dados possui `16kb`. Cada ponto ocupa *1 byte*.

Pergunta: Qual é o tamanho da maior imagem quadrada que cabe inteira no cache? 128×128

Resumo - cache

1. Quantos bytes cabem no cache? `16384`
2. Quantas linhas da nossa imagem (320×320) cabem no cache? `51`
3. Qual é o tamanho da maior imagem quadrada que cabe inteira no cache? 128×128.

Nossa imagem possui $320 \times 320 \approx 100kb$. Ela é *pequena* perto do cache do μC (`16kb`)

O cache

Vamos agora testar nossa hipótese: podemos desligar o cache do μC.

> Abra o arquivo *conf_board.h* e comente a linha abaixo:

```
#define CONF_BOARD_ENABLE_DCACHE
```

Rode de novo os experimentos:

1. loop `ji` :
2. loop `ij` :

O Cache - instruções

Vamos mais longe: existe também o *cache de instruções*. Ao invés de buscar cada instrução na memória uma a uma podemos buscar um conjunto grande delas de uma vez só.

> Descomente a linha abaixo no arquivo *conf_board.h*:

```
//#define CONF_BOARD_ENABLE_ICACHE
```

1. loop `ji` :
2. loop `ij` :

Sistemas Hardware-Software

Por que há diferença entre os loops `ji` e `ij`?

- Processo de compilação: **Otimizações**
  - Não é linha a linha
  - Extremamente sensível ao código e à sequência de comandos
  - Instruções são escolhidas conforme seu desempenho
  - Pequenas mudanças podem gerar grandes diferenças

Sistemas de Hardware e Software

```
val = (int) 4 * imgIn[i][j]
          - imgIn[i-1][j]
          - imgIn[i+1][j]
          - imgIn[i][j-1]
          - imgIn[i][j+1];
```

loop `ji`

```
ldrb.w  r8, [r2, #320]
ldrb    r3, [r2]
rsb     r3, r3, r8, lsl #2
ldrb.w  r8, [r2, #640]
sub.w   r3, r3, r8
ldrb.w  r8, [r2, #319]
sub.w   r3, r3, r8
ldrb.w  r8, [r2, #321]
sub.w   r3, r3, r8
```

Sistemas de Hardware e Software

```
val = (int) 4 * imgIn[i][j]
          - imgIn[i-1][j]
          - imgIn[i+1][j]
          - imgIn[i][j-1]
          - imgIn[i][j+1];
```

loop `ij`

```
ldrb    r7, [r2, #1]
ldrb    r3, [r5, #1]!
rsb     r3, r3, r7, lsl #2
ldrb    r7, [r4, #1]!
subs    r3, r3, r7
ldrb    r2, [r2]
subs    r3, r3, r2
ldrb    r2, [r1, #1]
subs    r3, r3, r2
```

Sistemas de Hardware e Software

- Representação de dados na CPU
- Representação de programas na CPU
  - Assembly Intel x64
- Conceitos de Sistemas Operacionais
  - Processos e Sinais
  - Hierarquia de memória
  - Entrada e saída
  - Programação concorrente