

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP
Ciência da Computação



ARQUITETURA DE COMPUTADORES

LISTA DE EXERCÍCIOS I

Aluno: Marcus Vinícius Souza Fernandes

19.1.4046

Professor: Ricardo Rabelo

Ouro Preto

2020

QUESTÃO 1.

1.3 [2] <§1.3> Descreva as etapas que transformam um programa escrito em uma linguagem de alto nível, como C, em uma representação que é executada diretamente por um processador de computador.

Primeira etapa - Um tipo especial de programa chamado compilador lê o código fonte de alto nível e traduz em um programa de linguagem assembly.

Segunda etapa - Outro programa chamado assembler transforma o programa de linguagem assembly para um programa com linguagem de máquina, que é o que um computador entende e pode executar diretamente.

Alguns compiladores cortam o processo intermediário e produzem o código de máquina de forma direta.

QUESTÃO 2.

1.5 [4] <§1.6> Considere três processadores diferentes P1, P2 e P3 executando o mesmo conjunto de instruções. P1 tem uma taxa de clock de 3 GHz e um CPI de 1,5. O P2 tem uma taxa de clock de 2,5 GHz e um CPI de 1,0. O P3 possui uma taxa de clock de 4,0 GHz e um CPI de 2,2. Qual processador tem o maior desempenho expresso em instruções por segundo? b. Se cada um dos processadores executar um programa em 10 segundos, encontre o número de ciclos e o número de instruções. c. Estamos tentando reduzir o tempo de execução em 30%, mas isso leva a um aumento de 20% no IPC. Que taxa de relógio devemos ter para obter essa redução de tempo?

a) Utilizando as formulas disponíveis no livro disponibilizado temos:

$$\text{Tempo de CPU} = \frac{\text{Instruções} \times \text{CPI}}{\text{Taxa de clock}} \text{ e } \text{IPS} = \frac{\text{Instruções}}{\text{Tempo de CPU}}, \text{ dessa forma, obtemos a}$$
$$\text{formula que precisamos, sendo ela } \text{IPS} = \frac{\text{Taxa de clock}}{\text{CPI}}$$

$$\text{IPS}_1 = \frac{3 \text{ GHz}}{1.5} = 2 \times 10^9$$

$$\text{IPS}_2 = \frac{2.5 \text{ GHz}}{1} = 2.5 \times 10^9$$

$$\text{IPS}_3 = \frac{4 \text{ GHz}}{2.2} = 1.82 \times 10^9$$

Concluimos que o processador 2 teve uma performance melhor de IPS.

b) Utilizando da formula encontrada anteriormente obtemos *Instruções* = *IPS* × *Tempo de CPU* para encontrar o numero de instruções, e a formula *Ciclos do clock* = *Tempo de CPU* × *Taxa de clock* para encontrar o número de ciclos.

$$\text{Instruções}_1 = 2 \times 10^9 \times 10 = 2 \times 10^{10}$$

$$\text{Ciclos do Clock}_1 = 10 \times 3 \times 10^9 = 3 \times 10^{10}$$

$$\text{Instruções}_2 = 2.5 \times 10^9 \times 10 = 2.5 \times 10^{10}$$

$$\text{Ciclos do Clock}_2 = 10 \times 2.5 \times 10^9 = 2.5 \times 10^{10}$$

$$\text{Instruções}_3 = 1.82 \times 10^9 \times 10 = 1.82 \times 10^{10}$$

$$\text{Ciclos do Clock}_3 = 10 \times 4 \times 10^9 = 4 \times 10^{10}$$

- c) Precisamos da formula Tempo de execução = $\frac{\text{Instruções} \times \text{CPI}}{\text{Taxa de clock}}$, mas podemos excluir o numero de instruções, pois será o mesmo, ficando apenas $\frac{\text{CPI}_{\text{new}}}{\text{Taxa de clock}_{\text{new}}} = 0.7 \times \frac{\text{CPI}_{\text{old}}}{\text{Taxa de clock}_{\text{old}}}$
- Atendendo as exigências do enunciado teremos $\frac{1.2}{\text{Taxa de clock}_{\text{new}}} = \frac{0.7}{\text{Taxa de clock}_{\text{old}}}$, que por fim $\text{Taxa de clock}_{\text{new}} = \frac{1.2}{0.7} \times \text{Taxa de clock}_{\text{old}} = 1.71 \times \text{Taxa de clock}_{\text{old}}$.

Portanto, devemos ter uma taxa de clock aproximadamente 71% maior.

QUESTÃO 3.

1.6 [20] <§1.6> Considere duas implementações diferentes da mesma arquitetura de conjunto de instruções. As instruções podem ser divididas em quatro classes, de acordo com o IPC (classes A, B, C e D). P1 com uma frequência de 2,5 GHz e CPIs de 1, 2, 3 e 3 e P2 com uma frequência de 3 GHz e CPIs de 2, 2, 2 e 2. 156 Dado um programa com uma contagem dinâmica de instruções das instruções 1.0E6 divididas em classes da seguinte forma: 10% classe A, 20% classe B, 50% classe C e 20% classe D, o que é mais rápido: P1 ou P2? uma. Qual é o CPI global para cada implementação? b. Encontre os ciclos de relógio necessários nos dois casos.

- a) O tempo de execução de um programa pode ser calculado por $\text{Tempo de CPU} = \frac{\text{Ciclos do clock}}{\text{Taxa do clock}}$, como já possuímos a frequência de clock devemos encontrar o ciclo do clock com as informações que possuímos.

$$\begin{aligned} \text{Ciclos do clock}_{p1} &= (1 \times 10^5) + (2 \times 2 \times 10^5) + (3 \times 5 \times 10^5) + (3 \times 2 \times 10^5) \\ &= 2.6 \times 10^6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ciclos do clock}_{p2} &= (2 \times 10^5) + (2 \times 2 \times 10^5) + (3 \times 5 \times 10^5) + (2 \times 2 \times 10^5) \\ &= 2 \times 10^6 \end{aligned}$$

$$\text{Tempo de CPU}_{p1} = \frac{2.6 \times 10^6}{2.5 \times \text{GHz}} = 1.04 \text{ ms}$$

$$\text{Tempo de CPU}_{p2} = \frac{2 \times 10^6}{3 \times \text{GHz}} = 666.67 \text{ ms}$$

Desta forma, o processador p2 é mais rápido.

b) Como sabemos $CPI = \frac{\text{Ciclos do clock}}{\text{Numero de instruções}}$, basta apenas calcular:

$$CPI_{p1} = \frac{2.6 \times 10^6}{10^6} = 2.6$$

$$CPI_{p2} = \frac{2 \times 10^6}{10^6} = 2$$

c) Ciclo do clock já calculado anteriormente, sendo eles $Ciclos\ do\ clock_{p1} = 2.6 \times 10^6$ e $Ciclos\ do\ clock_{p2} = 2 \times 10^6$.

QUESTÃO 4.

1.7 [15] <§1.6> Os compiladores podem ter um impacto profundo no desempenho de um aplicativo. Suponha que, para um programa, o compilador A resulte em uma contagem dinâmica de instruções de 1.0E9 e tenha um tempo de execução de 1,1 s, enquanto o compilador B resulte em uma contagem dinâmica de instruções de 1.2E9 e um tempo de execução de 1,5 s. uma. Encontre a CPI média de cada programa, considerando que o processador possui um tempo de ciclo de clock de 1 ns. b. Suponha que os programas compilados sejam executados em dois processadores diferentes. Se os tempos de execução nos dois processadores são os mesmos, quanto mais rápido é o relógio do processador executando o código do compilador A versus o relógio do processador executando o código do compilador B? c. Um novo compilador é desenvolvido que usa apenas instruções 6.0E8 e tem um CPI médio de 1.1. Qual é a velocidade de uso deste novo compilador versus o uso do compilador A ou B no processador original?

a) Relembrando a formula $Tempo\ de\ CPU = Instruções \times CPI \times Tempo\ de\ ciclo$, obtemos $CPI = \frac{Tempo\ de\ CPU}{Instruções \times Tempo\ de\ ciclo}$, desta forma:

$$CPI_A = \frac{1.1\ s}{10^9 \times 10^{-9}s} = 1.1$$

$$CPI_B = \frac{1.5\ s}{1.2 \times 10^9 \times 10^{-9}s} = 1.25$$

b) Sabendo que $Tempo\ de\ execução = Tempo\ de\ CPU = \frac{Instruções \times CPI}{Taxa\ de\ Clock}$, basta igualar os dois tempos de execução para sabermos a diferenças:

$$\begin{aligned} Taxa\ de\ clock_1 &= \frac{10^9 \times 1.1}{1.2 \times 10^9 \times 1.25} \times Taxa\ de\ clock_2 \\ &= 0.73 \times Taxa\ de\ clock_2 \end{aligned}$$

A taxa de clock do processador A é aproximadamente 27% mais lento que a taxa de clock do processador B.

c) O tempo de execução do processador C é $Tempo\ de\ CPU = 6 \times 10^8 \times 1.1 \times 10^{-9}s = 0.66\ s$, então:

$$\frac{Tempo\ de\ CPU_A}{Tempo\ de\ CPU_C} = \frac{1.1\ s}{0.66\ s} = 1.67$$

$$\frac{\text{Tempo de CPU}_B}{\text{Tempo de CPU}_C} = \frac{1.5 \text{ s}}{0.66 \text{ s}} = 2.27$$

Desta forma, o processador C é mais rápido que o processador A aproximadamente 1.67 vezes, e mais rápido que o processador B aproximadamente 2.27 vezes.

QUESTÃO 5.

1.9 Suponha que, para instruções aritméticas, de carregamento / armazenamento e ramificação, um processador tenha CPIs de 1, 12 e 5, respectivamente. Suponha também que, em um único processador, um programa exija a execução de instruções aritméticas 2.56×10^9 , instruções de carregamento / armazenamento de 1.28×10^9 e 256 milhões de instruções de ramificação. Suponha que cada processador tenha uma frequência de clock de 2 GHz. Suponha que, como o programa é paralelo para executar múltiplos núcleos, o número de instruções aritméticas e de carga / armazenamento por processador seja dividido por $0,7 \times p$ (onde p é o número de processadores), mas o número de instruções de ramificação por processador permanece o mesmo. 1.9.1 [5] <§1.7> Encontre o tempo total de execução deste programa em 1, 2, 4 e 8 processadores e mostre a aceleração relativa do resultado de 2, 4 e 8 processadores em relação ao resultado do processador único. 1.9.2 [10] <§§1.6, 1.8> Se o CPI das instruções aritméticas fosse dobrado, qual seria o impacto no tempo de execução do programa em 1, 2, 4 ou 8 processadores? 1.9.3 [10] <§§1.6, 1.8> Para que o CPI de instruções de carga / armazenamento deve ser reduzido para que um único processador corresponda ao desempenho de quatro processadores usando os valores originais de CPI?

- a) Primeiro relembramos que Ciclos do clock = Numero de instruções \times CPI, desta forma temos que Ciclos do clock = $(2.56 \times 10^9) \times 1 + (1.28 \times 10^9) \times 12 + (256 \times 10^6) \times 5 = 1.92 \times 10^{10}$, e finalmente conseguimos obter o
- $$\text{Tempo de execução} = \frac{\text{Ciclos do clock}}{\text{Taxa de clock}} = \frac{1.92 \times 10^{10}}{2 \times 10^{10}} = 9.6 \text{ s.}$$

Para valer com o $p > 1$ devemos refazer o processo com a primeira formula e fazer o mesmo processo com o valor obtido:

$$\begin{aligned} \text{Ciclos do clock}_p &= \left(\frac{2.56 \times 10^9}{0.7 \times p} \right) \times 1 + \left(\frac{1.28 \times 10^9}{0.7 \times p} \right) \times 12 + (256 \times 10^6) \times 5 \\ &= \frac{2.56 \times 10^{10}}{p} + 1.28 \times 10^9 \\ \text{Tempo de execução}_p &= \frac{\frac{2.56 \times 10^{10}}{p} + 1.28 \times 10^9}{2 \times 10^9} \\ &= \frac{12.8}{p} + 0.64 \end{aligned}$$

Agora testamos para p valendo 2, 4 e 8, respectivamente:

$$\text{Tempo de execução}_2 = \frac{12.8}{2} + 0.64 = 7.04, 1.36 \text{ vezes mais rápido que com 1 processador.}$$

$$\text{Tempo de execução}_4 = \frac{12.8}{4} + 0.64 = 3.84, 2.5 \text{ vezes mais rápido que com 1 processador.}$$

$$\text{Tempo de execução}_8 = \frac{12.8}{8} + 0.64 = 2.24, 4.29 \text{ vezes mais rápido que com 1 processador.}$$

- b) Como só o CPI das instruções aritméticas foi alterado, devemos apenas seguir os mesmos passos realizados anteriormente:

$$\text{Ciclos do clock} = (2.56 \times 10^9) \times 2 + (1,28 \times 10^9) \times 12 + (256 \times 10^6) \times 5 = 2.176 \times 10^{10}$$

$$\text{Tempo de execução} = \frac{2.176 \times 10^{10}}{2 \times 10^9} = 10.88 \text{ s}$$

$$\begin{aligned} \text{Ciclos do clock}_p &= \left(\frac{2.56 \times 10^9}{0.7 \times p} \right) \times 2 + \left(\frac{1,28 \times 10^9}{0.7 \times p} \right) \times 12 + (256 \times 10^6) \times 5 \\ &= \frac{2.93 \times 10^{10}}{p} + 1.28 \times 10^9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tempo de execução}_p &= \frac{\frac{2.93 \times 10^{10}}{p} + 1.28 \times 10^9}{2 \times 10^9} \\ &= \frac{14.65}{p} + 0.64 \end{aligned}$$

Tempo de execução₂ = $\frac{14.65}{2} + 0.64 = 7.965$, 1.13 vezes mais lento que com 2 processadores anteriormente.

Tempo de execução₄ = $\frac{14.65}{4} + 0.64 = 4.3025$, 1.12 vezes mais lento que com 4 processadores anteriormente.

Tempo de execução₈ = $\frac{14.65}{8} + 0.64 = 2.47$, 1.1 vezes mais lento que com 8 processadores anteriormente.

- c) Levando em consideração que o novo tempo de execução deve ser igual a 3.84 s, devemos refazer as contas de forma invertida para obter os resultados:

$$\frac{\text{Ciclos do clock}_{\text{new}}}{2 \text{ GHz}} = 3.84 \text{ s} \Rightarrow \text{Ciclos do clock}_{\text{new}} = 7.68 \times 10^9$$

$$7.68 \times 10^9 = (2.56 \times 10^9) \times 1 + (1,28 \times 10^9) \times CPI_{2,\text{new}} + (256 \times 10^6) \times 5$$

$$CPI_{2,\text{new}} = \frac{7.68 \times 10^9 - 3.84 \times 10^9}{1.28 \times 10^9} = 3$$

QUESTÃO 6.

1.12 A Seção 1.10 cita como armadilha a utilização de um subconjunto da equação de desempenho como uma métrica de desempenho. Para ilustrar isso, considere os dois processadores a seguir. P1 possui uma taxa de clock de 4 GHz, CPI médio de 0,9 e requer a execução de instruções 5.0E9. O P2 tem uma taxa de clock de 3 GHz, um CPI médio de 0,75 e requer a execução de instruções 1.0E9. 1.12.1 [5] <§§1.6, 1.10> Uma falácia comum é considerar o computador com a maior taxa de clock como tendo o desempenho mais alto. Verifique se isso é verdade para P1 e P2. 1.12.2 [10] <§§1.6, 1.10> Outra falácia é considerar que o processador que executa o maior número de instruções precisará de um tempo de CPU maior. Considerando que o processador P1 está executando uma sequência de instruções 1.0E9 e que o CPI dos processadores P1 e P2 não são alterados, determine o número de instruções que P2 pode executar ao mesmo tempo em que P1 precisa executar as instruções 1.0E9. 1.12.3 [10] <§§1.6, 1.10> Uma falácia comum é usar o MIPS (milhões de instruções por segundo) para comparar o desempenho de dois processadores diferentes e considerar que o processador com o

maior MIPS tem o maior desempenho. Verifique se isso é verdade para P1 e P2. 1.12.4 [10]
 <§1.10> Outro valor de desempenho comum é o MFLOPS (milhões de operações de ponto flutuante por segundo), definido como, mas esse valor tem os mesmos problemas que o MIPS. Suponha que 40% das instruções executadas em P1 e P2 são instruções de ponto flutuante. Encontre as figuras MFLOPS para os processadores.

a) Tempo de execução = Numero de Instruções \times CPI \times Tempo de clock

$$\text{Tempo de execução}_{P1} = 5 \times 10^9 \times 0.9 \times \frac{1}{4 \times 10^9} = 1.125$$

$$\text{Tempo de execução}_{P2} = 1 \times 10^9 \times 0.75 \times \frac{1}{3 \times 10^9} = 0.25$$

$$\text{Desempenho} = \frac{1}{\text{Tempo de execução}}$$

$$\text{Desempenho}_{P1} = \frac{1}{1.125} = 0.88$$

$$\text{Desempenho}_{P2} = \frac{1}{0.25} = 4$$

A afirmação é falsa, visto que P2 tem um desempenho melhor que P1.

b) Tempo de execução = $\frac{\text{CPI} \times \text{Numero de Instruções}}{\text{Taxa de clock}}$

$$\text{Tempo de execução}_{P1} = \frac{0.9 \times 10^9}{4 \times 10^9} = 0.225 \text{ s}$$

Em relação a P2:

$$\frac{0.75 \times X}{3 \times 10^9} = 0.225 \Rightarrow X = \frac{0.225 \times 3 \times 10^9}{0.75}$$

$$X = 9 \times 10^8 \text{ de Instruções.}$$

Novamente o P2 é melhor que P1, levando em consideração a comparação com o número de instruções processados.

c) $MIPS = \frac{\text{Taxa de clock}}{\text{CPI} \times 10^6}$

$$MIPS_{P1} = \frac{4 \times 10^9}{0.9 \times 10^6} = 4.44 \times 10^3$$

$$MIPS_{P2} = \frac{3 \times 10^9}{0.75 \times 10^6} = 4 \times 10^3$$

Consequentemente isso não é verdade, pois o desempenho depende do CPI ao invés do MIPS.

$$d) \text{ Instruções de ponto flutuante} = \text{Instruções executadas} \times \text{Taxa de clock} \times \text{CPI}$$

$$\text{Instruções de ponto flutuante}_{P1} = 5 \times 10^9 \times 0.4 \times 0.9 = 1.8 \times 10^9$$

$$\text{Instruções de ponto flutuante}_{P2} = 1 \times 10^9 \times 0.4 \times 0.75 = 0.3 \times 10^9$$

$$\text{Tempo de execução} = \frac{\text{Instruções de ponto flutuante}}{\text{Taxa de clock}}$$

$$\text{Tempo de execução}_{P1} = \frac{1.8 \times 10^9}{4 \times 10^9} = 0.45$$

$$\text{Tempo de execução}_{P2} = \frac{0.3 \times 10^9}{3 \times 10^9} = 0.1$$

$$\text{MFLOPS} = \frac{\text{Instruções de ponto flutuante}}{\text{Tempo de execução} \times 10^6}$$

$$\text{MFLOPS}_{P1} = \frac{1.8 \times 10^9}{0.45 \times 10^6} = 4 \times 10^3$$

$$\text{MFLOPS}_{P2} = \frac{0.3 \times 10^9}{0.1 \times 10^6} = 3 \times 10^3$$

QUESTÃO 7.

1.14 Suponha que um programa exija a execução de instruções 50×10^6 FP, instruções 110×10^6 INT, instruções 80×10^6 L / S e instruções de ramificação 16×10^6 . A CPI para cada tipo de instrução é 1, 1, 4 e 2, respectivamente. Suponha que o processador tenha uma taxa de clock de 2 GHz. 1.14.1 [10] <§1.10> Em quanto devemos melhorar o CPI das instruções de FP se queremos que o programa seja executado duas vezes mais rápido? 1.14.2 [10] <§1.10> Em quanto devemos melhorar as instruções de CPI de L / S se queremos que o programa seja executado duas vezes mais rápido? 1.14.3 [5] <§1.10> Em quanto tempo o programa é executado se o CPI das instruções INT e FP for reduzido em 40% e o CPI de L / S e filial for reduzido em 30%?

a) Primeiro devemos encontrar o tempo de execução normal do programa

$$\text{Tempo de execução} = \frac{5300 \times 1 + 11600 \times 1 + 8480 \times 3 + 1696 \times 2}{2 \text{ GHz}} = 27 \mu\text{s}$$

Desta forma, devemos encontrar a nova CPI com o tempo de execução valendo $13.5 \mu\text{s}$:

$$13.5 \times 10^{-6} = \frac{5300 \times \text{CPI}_{\text{new}} + 11600 \times 1 + 8480 \times 3 + 1696 \times 2}{2 \text{ GHz}}$$

$$\text{CPI}_{\text{new}} = \frac{27000 - 48912}{5300} = -4.13$$

Podemos concluir que é impossível, visto que a nova CPI não pode ser negativa.

b) Utilizando o resultado do tempo de execução obtido anteriormente, basta seguir os mesmos passos:

$$13.5 \times 10^{-6} = \frac{5300 \times 1 + 11600 \times 1 + 8480 \times \text{CPI}_{\text{new}} + 1696 \times 2}{2 \text{ GHz}}$$

$$\text{CPI}_{\text{new}} = \frac{27000 - 20292}{8480} = 0.79$$

$$\frac{0.79}{4} = 0.1975$$

Esta redução é de 80.25%

c) Todas as CPIs serão substituídas por novas:

$$CPI_1 = 0.6 \times 1 = 0.6$$

$$CPI_2 = 0.6 \times 1 = 0.6$$

$$CPI_3 = 0.7 \times 4 = 2.8$$

$$CPI_4 = 0.7 \times 2 = 1.4$$

$$\text{Tempo de execução} = \frac{5300 \times 0.6 + 11600 \times 0.6 + 8480 \times 2.8 + 1696 \times 1.4}{2 \text{ GHz}}$$

$$\text{Tempo de execução} = \frac{36258.4}{2 \times 10^9} = 18 \mu\text{s}$$

$$\frac{18}{27} = 0.6667$$

Há um aumento na velocidade de 33.33%