

AE Prestazioni e MIPS (Esercitazione)

Tommaso Zoppi
tommaso.zoppi@unifi.it



Prestazioni



Elaboratori e Tempo

- ▶ A lezione è stato spiegato come gran parte delle performance di un elaboratore siano dipendenti dal **tempo**, ad esempio
 - Tempo di esecuzione di un singolo task
 - Quantità di lavori eseguiti in un certo tempo
 - ...
- ▶ Tali elementi possono essere misurati basandosi su alcune quantità fondamentali



Tempo di esecuzione

ARCHITETTURE
DEGLI
ELABORATORI

Performance considering cycles per instruction

➤ Cycles per Instruction = CPI

$$\frac{\text{seconds}}{\text{program}} = \frac{\text{instructions}}{\text{program}} \times \frac{\text{cycles}}{\text{instructions}} \times \frac{\text{seconds}}{\text{cycles}}$$

T_{EXE}



Numero di Istruzioni

ARCHITETTURE
DEGLI
ELABORATORI

Performance considering cycles per instruction

➤ Cycles per Instruction = CPI

$$\frac{\text{seconds}}{\text{program}} = \frac{\text{instructions}}{\text{program}} \times \frac{\text{cycles}}{\text{instructions}} \times \frac{\text{seconds}}{\text{cycles}}$$

NI



CPI

ARCHITETTURE
DEGLI
ELABORATORI

Performance considering cycles per instruction

➤ Cycles per Instruction = CPI

$$\frac{\text{seconds}}{\text{program}} = \frac{\text{instructions}}{\text{program}} \times \left(\frac{\text{cycles}}{\text{instructions}} \right) \times \frac{\text{seconds}}{\text{cycles}}$$

CPI



Frequenza e Periodo

ARCHITETTURE
DEGLI
ELABORATORI

Performance considering cycles per instruction

➤ Cycles per Instruction = CPI

$$\frac{\text{seconds}}{\text{program}} = \frac{\text{instructions}}{\text{program}} \times \frac{\text{cycles}}{\text{instructions}} \times \frac{\text{seconds}}{\text{cycles}}$$

Periodo



In Sintesi...

$$\overline{CPI} = \frac{\sum_{i=0}^n CPI_i \cdot freq_i}{n}$$

$$MIPS = \frac{f}{\overline{CPI}}$$

$$T_{EXE} = NI \cdot \frac{\overline{CPI}}{f} = \frac{NI}{MIPS}$$



Esercizio 1

- ▶ Una data applicazione viene eseguita in 15 secondi su un certo processore. Una ricompilazione del codice ne riduce la dimensione a 0.6 volte il codice originale, ma incrementa il CPI di 1.1 volte.
- ▶ Quanti secondi impiega il nuovo codice ad essere eseguito sulla stessa macchina?



Esercizio 1

In generale vale la formula:

$$T_{exec} = \frac{CPI \cdot \#Instr.}{f}$$

Per il codice ricompilato possiamo quindi scrivere:

$$T'_{exec} = \frac{CPI' \cdot \#Instr.'}{f'} = \frac{1.1 \cdot CPI \cdot 0.6 \cdot \#Instr}{f} = 1.1 \cdot 0.6 \cdot T_{exec} = 1.1 \cdot 0.6 \cdot 15 = 9.9 \text{ secondi}$$



Esercizio 1

- ▶ Si considerino due diverse implementazioni, M_1 e M_2 , dello stesso set di istruzioni, suddiviso in quattro classi (A, B, C, D).
 - La macchina M_1 opera alla frequenza di 500 Mhz,
 - mentre la macchina M_2 opera alla frequenza di 750 Mhz.
- ▶ I valori di CPI per le due macchine sono i seguenti:

Tipo op	CPI M1	CPI M2
A	1	2
B	2	2
C	3	4
D	4	4



Esercizio 2

- ▶ Si supponga una equa suddivisione tra le differenti classi di istruzioni. Qual è la macchina più veloce? Calcolare lo speedup.
- ▶ Si determinino le prestazioni massime (velocità di picco) delle due macchine, in numero di istruzioni al secondo (MIPS)



Esercizio 2

Calcoliamo i CPI medi delle due macchine.

$$\widehat{CPI}_{M_1} = \frac{1 + 2 + 3 + 4}{4} = \frac{10}{4} = 2.5$$

$$\widehat{CPI}_{M_2} = \frac{2 + 2 + 4 + 4}{4} = \frac{12}{4} = 3$$

$$MIPS_{M_1} = \frac{f^{M_1}}{\widehat{CPI}_{M_1}} = \frac{500 \cdot 10^6}{2.5} = 200 \cdot 10^6 \text{ istruzioni/sec} = 200 \text{ MIPS}$$

$$MIPS_{M_2} = \frac{f^{M_2}}{\widehat{CPI}_{M_2}} = \frac{750 \cdot 10^6}{3} = 250 \cdot 10^6 \text{ istruzioni/sec} = 250 \text{ MIPS}$$

$$Speedup = \frac{MIPS_{M_2}}{MIPS_{M_1}} = \frac{250}{200} = \frac{5}{4} = 1.25$$

La macchina M_2 è 1.25 volte più veloce



Esercizio 2

La velocità di picco è data da una sequenza di operazioni aventi il CPI minimo.

$$MIPS_{peak}^{M_1} = \frac{f^{M_1}}{\min(CPI_i^{M_1})} = \frac{f^{M_1}}{CPI_A^{M_1}} = \frac{500 \cdot 10^6}{1} = 500 \text{ MIPS}$$

$$MIPS_{peak}^{M_2} = \frac{f^{M_2}}{\min(CPI_i^{M_2})} = \frac{f^{M_2}}{CPI_{A,B}^{M_2}} = \frac{750 \cdot 10^6}{2} = 375 \text{ MIPS}$$



Esercizio 3

- ▶ Siano M1 e M2 macchine che operano sullo stesso set di istruzioni con frequenza di clock
 - $f_1 = 2100 \text{ MHz}$ e $f_2 = 1500 \text{ MHz}$
- ▶ Date le informazioni in tabella, si chiede:
 - Quali sono i CPI medi per le macchine M1 e M2?
 - Quanti MIPS hanno le due macchine?
 - Quale delle due macchine è più veloce e di quanto?

Tipo op	Frequenza media	CPI M1	CPI M2
LW	0.2	4	3
SW	0.1	4	6
R-Type	0.5	1	2
Branch	0.1	2	2
Jump	0.1	2	1



Esercizio 3

a) Calcoliamo i CPI medi delle due macchine.

$$\widehat{CPI}_{M_1} = 4 \cdot 0.2 + 4 \cdot 0.1 + 1 \cdot 0.5 + 2 \cdot 0.1 + 2 \cdot 0.1 = 2.1$$

$$\widehat{CPI}_{M_2} = 3 \cdot 0.2 + 6 \cdot 0.1 + 2 \cdot 0.5 + 2 \cdot 0.1 + 1 \cdot 0.1 = 2.5$$

b)

$$MIPS_{M_1} = \frac{f^{M_1}}{\widehat{CPI}_{M_1}} = \frac{2100 \cdot 10^6}{2.1} = 1000 \cdot 10^6 \text{ istruzioni/sec} = 1000 \text{ MIPS}$$

$$MIPS_{M_2} = \frac{f^{M_2}}{\widehat{CPI}_{M_2}} = \frac{1500 \cdot 10^6}{2.5} = 600 \cdot 10^6 \text{ istruzioni/sec} = 600 \text{ MIPS}$$

c)

$$Speedup = \frac{MIPS_{M_1}}{MIPS_{M_2}} = \frac{1000}{600} = \frac{5}{3} = 1,67$$

La macchina M1 è 1.67 volte più veloce di M2



Esercizio 4

- ▶ Si supponga di aver migliorato una macchina M in modo da ottenere la macchina M' , che esegue le operazioni di tipo "A" 5 volte più veloci.
 - Assumiamo che prima del miglioramento il tempo di esecuzione di un dato benchmark sia di 10 secondi. Quale sarà lo speedup nel caso in cui il 50% dei 10 secondi siano impiegati per l'esecuzione delle operazioni di tipo "A"?
 - Uno dei benchmark viene eseguito in 100 secondi dal vecchio hardware. Quanto è il tempo speso per operazioni di tipo "A", sapendo che si ottiene uno speedup pari a 3 sul nuovo hardware?



Esercizio 4

$$T_{exec}^M = T_A^M + T_{other}^M = 10 \text{ s}$$

$$T_A^M = 0.5 \cdot T_{exec}^M = 0.5 \cdot 10 \text{ s} = 5 \text{ s}$$

$$T_{other}^M = 5 \text{ s}$$

$$T_{exec}^{M'} = T_A^{M'} + T_{other}^{M'} = \frac{1}{5} \cdot T_A^M + T_{other}^M = \frac{1}{5} \cdot 5 \text{ s} + 5 \text{ s} = 1 + 5 = 6 \text{ s}$$

$$Speedup = \frac{T_{exec}^M}{T_{exec}^{M'}} = \frac{10}{6} \approx 1.67$$

La macchina M' è circa 1.67 volte più veloce



Esercizio 4

$$T_{exec} = 100 \text{ s}, \quad Speedup = 3$$

$$\begin{cases} T_A + T_{other} = 100 \\ \frac{T_A}{5} + T_{other} = \frac{100}{3} \end{cases}$$

$$\begin{cases} T_A = 100 - T_{other} \\ \frac{100 - T_{other}}{5} + T_{other} = \frac{100}{3} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} T_A = 100 - T_{other} \\ \frac{300 - 3T_{other}}{15} + \frac{15T_{other}}{15} = \frac{500}{15} \end{cases}$$

$$\begin{cases} T_A = 100 - T_{other} \\ 300 - 3T_{other} + 15T_{other} = 500 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} T_A = 100 - T_{other} \\ 12T_{other} = 200 \end{cases}$$

$$\begin{cases} T_A = 100 - T_{other} \\ T_{other} = \frac{100}{6} \approx 16.7 \text{ s} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} T_A = 100 - 16.7 = \approx 83.3 \text{ s} \\ T_{other} = \frac{100}{6} \approx 16.7 \text{ s} \end{cases}$$



Esercizio 5

- ▶ Si supponga di avere un programma che viene eseguito in 100 secondi, di cui 80 secondi sono tempo di CPU e il resto è I/O.
 - Se il tempo di CPU viene dimezzato ogni anno per i prossimi 4 anni, ma il tempo di I/O non migliora, quanto più velocemente sarà eseguito il nostro programma dopo 4 anni?
- ▶ (Anche a pp. 480-481 del Patterson)



Esercizio 5

$$T(0) = 100 \text{ sec}, \quad T_{CPU}(0) = 80 \text{ sec}, \quad T_{I/O}(0) = 20 \text{ sec}.$$

$$T_{CPU}(1) = \frac{T_{CPU}(0)}{2} = 40 \text{ sec}, \quad T_{I/O}(1) = 20 \text{ sec}.$$

$$T_{CPU}(2) = \frac{T_{CPU}(1)}{2} = 20 \text{ sec}, \quad T_{I/O}(2) = 20 \text{ sec}.$$

$$T_{CPU}(3) = \frac{T_{CPU}(2)}{2} = 10 \text{ sec}, \quad T_{I/O}(3) = 20 \text{ sec}.$$

$$T_{CPU}(4) = \frac{T_{CPU}(3)}{2} = 5 \text{ sec}, \quad T_{I/O}(4) = 20 \text{ sec}.$$

O, più semplicemente:

$$T_{CPU}(n) = \frac{T_{CPU}(0)}{2^n}$$
$$T_{CPU}(4) = \frac{T_{CPU}(0)}{2^4} = \frac{80}{16} = 5 \text{ sec}$$



Esercizio 5

Dato che il tempo di I/O non migliora, il tempo di esecuzione totale è:

$$T(4) = T_{CPU}(4) + T_{I/O}(4) = 5 + 20 = 25 \text{ sec.}$$

E quindi:

$$Speedup = \frac{T(0)}{T(4)} = \frac{100}{25} = 4$$

Dopo 4 anni il programma sarà eseguito 4 volte più velocemente.



Esercizio 6-a

- ▶ Si supponga di aver apportato delle migliorie ad una macchina M , in modo da ottenere una macchina M' capace di eseguire tutte le operazioni in virgola mobile 3 volte più velocemente.
- Se l'esecuzione di un programma p sulla macchina M richiede 60 secondi, di cui metà sono spesi per l'esecuzione di operazioni in virgola mobile, quale sarà lo speedup se p viene eseguito su M' ?



Esercizio 6-a

Tempo virgola mobile su M

$$T_{float}^M = \frac{T_{exec}^M}{2} = \frac{60}{2} = 30 \text{ sec.}$$

Tempo altre operazioni non influenzate dalla migioria su M

$$T_{other}^M = \frac{T_{exec}^M}{2} = \frac{60}{2} = 30 \text{ sec.}$$

Tempo virgola mobile su M'

$$T_{float}^{M'} = \frac{T_{float}^M}{3} = \frac{30}{3} = 10 \text{ sec.}$$

Tempo totale M'

$$T_{exec}^{M'} = T_{float}^{M'} + T_{other}^M = 10 + 30 = 40 \text{ sec.}$$

$$Speedup = \frac{T_{exec}^M}{T_{exec}^{M'}} = \frac{60}{40} = 1.5$$



Esercizio 6-b

- ▶ Si supponga di aver apportato delle migliorie ad una macchina M , in modo da ottenere una macchina M' capace di eseguire tutte le operazioni in virgola mobile 3 volte più velocemente.
- Sia q un benchmark che viene eseguito in 180 secondi dalla macchina M . Determinare il tempo impiegato per le operazioni in virgola mobile, sapendo che si ottiene uno speedup complessivo pari a 2 eseguendo lo stesso benchmark su M' .



Esercizio 6-b

$$\text{Speedup} = \frac{T_{exec}^M}{T_{exec}^{M'}} = \frac{180 \text{ sec.}}{T_{exec}^{M'}} = 2 \rightarrow T_{exec}^{M'} = 90 \text{ sec.}$$

Siano x e y le porzioni di tempo spese per eseguire le operazioni in virgola mobile e le altre operazioni, rispettivamente, si ha:

$$\begin{cases} x + y = 180 \\ \frac{x}{3} + y = 90 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} x = 180 - y \\ x + 3y = 270 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} x = 180 - y \\ 180 - y + 3y = 270 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} x = 180 - y \\ 2y = 90 \end{cases} \rightarrow$$

$$\begin{cases} y = 45 \\ x = 135 \end{cases}$$



Esercizio 7

- ▶ Si apportano delle migliorie ad una macchina M , in ottenendo una macchina M' capace di eseguire le operazioni in virgola mobile 4 volte più rapide.
 - Se l'esecuzione di un programma p sulla macchina M richiede 60 secondi, di cui $2/3$ sono spesi per l'esecuzione di operazioni in virgola mobile, quale sarà lo speedup se p viene eseguito su M' ?
 - Sia q un secondo programma che viene eseguito in 250 secondi dalla macchina M . Determinare la percentuale di operazioni in virgola mobile di q , sapendo che si ottiene uno speedup di 2,5 eseguendo lo stesso programma su M' .



Esercizio 7

Tempo virgola mobile su M:

$$T_M^{float} = 60 \cdot \frac{2}{3} = \frac{120}{3} = 40s$$

Tempo altre operazioni non influenzate dalla miglora su M:

$$T_M^{other} = 60 - 40 = 20s$$

Tempo virgola mobile su M':

$$T_{M'}^{float} = \frac{T_M^{float}}{4} = \frac{40}{4} = 10s$$

Tempo totale M':

$$T_{M'} = T_{M'}^{float} + T_M^{other} = 10 + 20 = 30s$$

Speedup:

$$\frac{T_M}{T_{M'}} = \frac{60}{30} = 2$$



Esercizio 7

Siano x e y le porzioni di tempo spese per eseguire le operazioni in virgola mobile e le altre operazioni, rispettivamente, si ha:

$$\begin{cases} x + y = 250 \\ \frac{x}{4} + y = 100 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} x + y = 250 \\ x + 4y = 400 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} x = 250 - y \\ 250 - y + 4y = 400 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} x = 200 \\ y = 50 \end{cases}$$

$$\begin{cases} x = 200 \\ y = 50 \end{cases}$$

In percentuale:

$$x = \frac{200}{250} = 0,8 = 80\%$$