



معماری کامپیوتر

دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه صنعتی شریف

زمستان ۱۴۰۲



معین آعلی - ۴۰۱۱۰۵۵۶۱

فهرست عناوین

۱. سوال شماره ۱: ۲
۲. سوال شماره ۲: ۳
۳. سوال شماره ۳: ۴
۴. سوال شماره ۴: ۵
۵. سوال شماره ۵: ۶

۱. سوال شماره ۱:

۱- (۱۰ نمره) یک پردازنده قدیمی مداری برای انجام عملیات ضرب ندارد! دو گروه از دانشجویان برای اجرای برنامه‌ای که ۲۰٪ دستورات آن ضرب است، دو نوع مدار ضرب‌کننده می‌سازند و به آن اضافه می‌کنند. گروه اول یک مدار ضرب‌کننده ترتیبی می‌سازد که عملیات ضرب را در ۸ چرخه انجام می‌دهد. گروه دوم یک مدار ضرب‌کننده ترکیبی می‌سازد که ضرب را در یک چرخه انجام می‌دهد اما به ناچار نرخ ساعت (clock rate) را از ۵۰۰ کیلوهرتز به ۴۰۰ کیلوهرتز کاهش می‌دهند. اگر زمان اجرای برنامه به ازای N دستور برای گروه اول $N \times 10^{-5}$ باشد، زمان اجرا برای گروه دوم را محاسبه کنید.

$$time1 = T_{1\%} + 0.2 \times N \times 8 \times \frac{1}{500 \times 10^3} = N \times 10^{-4} \rightarrow T_{1\%} = \frac{17}{25} \times 10^{-4} N$$

$$time2 = T_{1\%} + 0.2 \times N \times 1 \times \frac{1}{400 \times 10^3} = \left(\frac{17}{25} + \frac{1}{20} \right) \times 10^{-4} \times N$$

$$= \frac{38+5}{100} \times 10^{-4} \times N = \underline{\underline{0.43 N \times 10^{-4}}}$$

۲. سوال شماره ۲:

۲- (۱۰ نمره) دو پیاده‌سازی متفاوت از یک ISA را در نظر بگیرید. چهار دسته از دستورات با نام‌های A و B و C و D وجود دارد. مقدار CPI و نرخ ساعت هر کدام از این دو پیاده‌سازی در جدول زیر داده شده است.

الف- اگر در یک برنامه به ترتیب ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۲۰ درصد دستور از نوع A و B و C و D داشته باشد، متوسط CPI را در هر پیاده‌سازی محاسبه کنید.

ب- اگر این برنامه 10^6 دستور داشته باشد، کدام پیاده‌سازی سریع‌تر است؟

	clock rate	CPI A	CPI B	CPI C	CPI D
Imp1	3 GHz	2	4	5	8
Imp2	2 GHz	2	2	3	3

الف)

$$\left\{ \begin{array}{l} \overline{CPI}_1 = (2 \times 0.1) + (4 \times 0.2) + (5 \times 0.5) + (8 \times 0.2) = 5.1 \\ \overline{CPI}_2 = (2 \times 0.1) + (2 \times 0.2) + (3 \times 0.5) + (3 \times 0.2) = 2.7 \end{array} \right.$$

ب-)

$$\left\{ \begin{array}{l} Time_1 = \overline{CPI}_1 \times \frac{1}{clockRate} \times I.C = 5.1 \times \frac{1}{3 \times 10^9} \times 10^6 = 1.7 \times 10^{-3} \text{ s} \\ Time_2 = \overline{CPI}_2 \times \frac{1}{clockRate} \times I.C = 2.7 \times \frac{1}{2 \times 10^9} \times 10^6 = 1.35 \times 10^{-3} \text{ s} \end{array} \right.$$

$$Time_2 < Time_1 \rightarrow Imp2 \text{ ✓}$$

۳. سوال شماره ۳:

۳- (۱۰ نمره) دو پردازنده C1 و C2 را به ترتیب با نرخ ساعت ۲٫۵ و ۳٫۵ گیگاهرتز را در نظر بگیرید. CPI متوسط یک برنامه محک (benchmark) روی این پردازنده ها به ترتیب ۳ و ۳٫۵ است.

الف- زمان اجرای N دستور روی هر یک از دو پردازنده و نسبت کارایی C2 به C1 را به دست آورید.

ب- می خواهیم با کم کردن CPI متوسط، زمان اجرا را به ۰٫۷۵ مقدار بند الف برسانیم، اما این کار باعث ۱٫۲ برابر شدن چرخه ساعت می شود. حساب کنید CPI متوسط هر پردازنده چقدر باید باشد؟

ج- به ازای افزایش مقداری یکسان در CPI (برای مثال افزوده شده یک واحد به هر کدام) و با فرض ثابت بودن چرخه ساعت، کدام پردازنده کاهش کارایی بیشتری را تجربه خواهد کرد؟ چرا؟

د- به ازای افزایش مقداری یکسان به نرخ ساعت (برای مثال افزوده شدن یک گیگاهرتز به هر کدام) و با فرض ثابت بودن CPI متوسط، کدام پردازنده افزایش کارایی بیشتری را تجربه خواهد کرد؟ چرا؟

الف) $CR1 = 2.5 \text{ GHz}, CPI1 = 3$
 $CR2 = 3.5 \text{ GHz}, CPI2 = 3.5$

$$Time1 = \frac{N}{CR1} \times 10^{-9} \text{ s}$$

$$Time2 = \frac{N}{CR2} \times 10^{-9} \text{ s}$$

$$\frac{Time1}{Time2} = \frac{CR2}{CR1} = \frac{3.5}{2.5} = 1.4$$

ب) $Time1' = \frac{N}{CR1} \times 10^{-9} \times 1.2 = \frac{1.2}{2.5} \times 10^{-9} \times CPI1' \rightarrow CPI1' = 1.875$
 $Time2' = \frac{N}{CR2} \times 10^{-9} \times 1.2 = \frac{1.2}{3.5} \times 10^{-9} \times CPI2' \rightarrow CPI2' = 2.1875$

۲) $زمان = \frac{I.C. \times CPI}{\text{clock rate}}$

$$\left. \begin{array}{l} \text{I) } \frac{n \times (3 + x)}{2.5} \\ \text{II) } \frac{n \times (3.5 + x)}{3.5} \end{array} \right\} \xrightarrow{\text{مقدار اولیه}} \left. \begin{array}{l} \text{I) } \frac{3 + x}{3} = 1 + \frac{x}{3} \\ \text{II) } \frac{3.5 + x}{3.5} = 1 + \frac{x}{3.5} \end{array} \right\}$$

$$\frac{Time1'}{Time1} > \frac{Time2'}{Time2}$$

زمان ماشین شماره ۱ بیشتر افزایش یافته، پس کارایی آن بیشتر افت کرده.

۳) $\text{کلاک} = \frac{\text{clock rate}}{I.C. \times CPI}$

$$\left. \begin{array}{l} \text{I) } \frac{2.5 + \epsilon}{n \times 3} \\ \text{II) } \frac{3.5 + \epsilon}{n \times 3.5} \end{array} \right\} \xrightarrow{\text{مقدار اولیه}} \left. \begin{array}{l} \text{I) } \frac{2.5 + \epsilon}{2.5} = 1 + \frac{\epsilon}{2.5} \\ \text{II) } \frac{3.5 + \epsilon}{3.5} = 1 + \frac{\epsilon}{3.5} \end{array} \right\}$$

$$\frac{\text{کلاک ۱ نانویه}}{\text{کلاک ۲ نانویه}} < \frac{\text{کلاک ۱ اولیه}}{\text{کلاک ۲ اولیه}}$$

کلاک ماشین شماره ۱ نسبت به ماشین شماره ۲ بیشتر افزایش یافته است.

۴. سوال شماره ۴:

۴- (۱۰ نمره) در یک پردازنده ۵۴٪ چرخه‌های ساعت صرف اجرای دستورات محاسباتی و باقی صرف معطلی برای عملیات I/O می‌شود.

۴۰٪ دستورات محاسباتی مربوط به محاسبات اعداد صحیح با $CPI=5$ و ۱۵٪ مربوط به دستورات ممیز شناور با $CPI=6$ و باقی مربوط

به سایر دستورات با $CPI=4$ هستند.

الف- CPI میانگین را محاسبه کنید.

ب- اگر در اثر بهبود سخت‌افزار، CPI دستورات به ترتیب ذکر شده در صورت سوال ۳، ۲ و ۱ واحد کاهش یابد CPI جدید را محاسبه کنید.

ج- اگر در اثر بهبود حاصل‌شده در قسمت ب، نرخ ساعت به اندازه ۳۰٪ کاهش یابد، تسریع را محاسبه کنید و بگویید که آیا این عملیات باعث بهبود کلی سیستم شده است یا خیر.

$$\text{الف) } CPI = 0.40 \times 5 + 0.15 \times 6 + 0.45 \times 4 = 4.7$$

$$\text{ب) } CPI = 0.4 \times 2 + 0.15 \times 4 + 0.45 \times 3 = 2.75$$

$$\text{ج) } Time = \frac{I.C \times CPI}{C.R.} \rightarrow speed\ up = \frac{Time_1}{Time_2} = \frac{CPI_1}{CPI_2} \times \frac{C.R.2}{C.R.1} = \frac{4.7}{2.75} \times \frac{1.7}{1} = 1.194$$

مقدار speed up از ۱ بزرگتر است، در نتیجه سیستم بهبود یافته.

۵. سوال شماره ۵:

۵- (۲۰ نمره) پردازنده X با مساحت A را در نظر بگیرید. شما باید کارایی پردازنده‌های دیگر را با توجه به کارایی X بررسی کنید. فرض کنید که کارایی یک هسته از پردازنده با جذر مساحت آن متناسب است. پردازنده‌ها قرار است برنامه‌ای اجرا کنند که S جز از آن به صورت سری و $1 - S$ جز از آن کاملاً به صورت موازی قابل اجرا است. ($S \leq 1$)

الف- یک پردازنده Z با یک هسته و مساحت 16A داریم. اگر یک برنامه با $S = 1$ را روی آن اجرا کنیم، تسريع (speed-up) چقدر خواهد بود؟

$$(16 - N)A \leftarrow$$

ب- یک پردازنده Y با یک هسته بزرگ با مساحت NA و تعداد دیگری هسته هر کدام با مساحت A داریم. مساحت کل تراشه 16A است. با کمک قانون آمدا، تسريع این پردازنده را نسبت به پردازنده X بر حسب S و N به دست آورید.

فرض کنید که بخش سریال برنامه روی هسته بزرگ اجرا می‌شود و بخش موازی روی همه هسته‌ها (از جمله هسته بزرگ) اجرا می‌شود.

ج- پاسخ بند ب را به ازای $N=9$ به دست آورید و سپس بیشینه و کمینه تسريع را بر حسب S محاسبه و توجیه کنید. (راهنمایی: اگر $S = 0$ یعنی همه برنامه را می‌توان کاملاً موازی اجرا کرد و اگر $S = 1$ یعنی همه برنامه باید به صورت سری اجرا شود.)

$$\text{speed-up} = \frac{\text{Time 1}}{\text{Time 2}} = \frac{2 \text{ کلاپی}}{1 \text{ کلاپی}} \propto \sqrt{A} = \sqrt{16} = 4$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Serial Time}_x = \frac{S}{\sqrt{A}} \\ \text{parallel Time}_x = \frac{1-S}{\sqrt{A}} \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} \text{Serial Time}_y = \frac{S}{\sqrt{NA}} \\ \text{parallel Time}_y = \frac{1-S}{\sqrt{NA} + (16-N)\sqrt{A}} \end{array} \right\}$$

$$\text{speed-up} = \frac{\text{Time 1}}{\text{Time 2}} = \frac{\frac{S}{\sqrt{A}} + \frac{1-S}{\sqrt{A}}}{\frac{S}{\sqrt{NA}} + \frac{1-S}{\sqrt{NA} + (16-N)\sqrt{A}}} = \frac{1}{\frac{S}{\sqrt{N}} + \frac{1-S}{\sqrt{N} + 16-N}}$$

$$2) \quad N=9 \leadsto \text{speed-up} = \frac{1}{\frac{S}{\sqrt{9}} + \frac{1-S}{\sqrt{9} + 16-9}} = \frac{1}{\frac{S}{3} + \frac{1-S}{3+7}} = \frac{4}{\sqrt{S}+3}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} S=1 \leadsto \text{همگی سری ۳} \\ S=0 \leadsto \text{همگی موازی ۱۰} \end{array} \right. \checkmark$$

$$\text{speed-up} = \frac{1}{\frac{S}{\sqrt{N}} + \frac{1-S}{\sqrt{N} + 16-N}}$$

$S=0 \rightarrow \sqrt{N} + 16 - N$ Max \checkmark
 موازی
 $S=1 \rightarrow \sqrt{N}$ Min \checkmark
 سری