



به موارد زیر توجه کنید:

- ۱- حتما نام و شماره دانشجویی خود را روی پاسخنامه بنویسید.
- ۲- کل پاسخ تمرینات را در قالب یک فایل pdf با شماره دانشجویی خود نامگذاری کرده در سامانه CW بارگذاری کنید.
- ۳- این تمرین ۶۰ نمره دارد که معادل ۰,۶ نمره از نمره کلی درس است.
- ۴- در صورت مشاهده هر گونه مشابهت نامتعارف هر دو (یا چند) نفر کل نمره این تمرین را از دست خواهند داد.

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.

پاسخ:

زمان اجرای برنامه حاصل جمع زمان اجرای دستورات غیرضربی است با CPI_{avg} و زمان اجرای دستورات ضربی که در دو گروه متفاوت است. ابتدا مقدار CPI_{avg} را به دست می‌آوریم و سپس زمان اجرای برنامه برای گروه دوم را محاسبه می‌کنیم.

$$T_1 = \frac{0.8N \times CPI_{avg} + 0.2N \times 8}{500 \times 10^3} = N \times 10^{-5} \Rightarrow CPI_{avg} = 4.25$$

$$T_2 = \frac{0.8N \times 4.25 + 0.2N \times 1}{400 \times 10^3} = 9N \times 10^{-6}$$

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 ۱۰۶ 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

پاسخ:

$$CPI_{avg1} = 2 \times 0.1 + 4 \times 0.2 + 5 \times 0.5 + 8 \times 0.2 = 0.2 + 0.8 + 2.5 + 1.6 = 5.1$$

$$CPI_{avg2} = 2 \times 0.1 + 2 \times 0.2 + 3 \times 0.5 + 3 \times 0.2 = 0.2 + 0.4 + 1.5 + 0.6 = 2.7$$

$$Exec_1 = \frac{CPI_{avg1}}{CR_1} \times N = \frac{5.1}{3 \times 10^9} \times 10^6 = 1.7 \times 10^{-3} s$$

$$Exec_2 = \frac{CPI_{avg2}}{CR_2} \times N = \frac{2.7}{2 \times 10^9} \times 10^6 = 1.35 \times 10^{-3} s$$

می‌بینیم پیاده‌سازی دوم سریع‌تر است.

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- می‌خواهیم 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 می‌شود. 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؟

پاسخ:

الف-

$$Exec_1 = \frac{CPI_1}{CR_1} \times N = \frac{3}{2.5 \times 10^9} \times N = 1.2 \times 10^{-9} N$$

$$Exec_2 = \frac{CPI_2}{CR_2} \times N = \frac{3.5}{3.5 \times 10^9} \times N = 1.0 \times 10^{-9} N$$

$$\frac{P2}{P1} = \frac{Exec_1}{Exec_2} = 1.2$$

ب-

$$CPI_1 = Exec_1 \times \frac{CR_1}{N} = 0.75 \times 1.2 \times 10^{-9} \times \frac{2.5 \times 10^9}{1.2} = 1.875$$

$$CPI_2 = Exec_2 \times \frac{CR_2}{N} = 0.75 \times 10^{-9} \times \frac{3.5 \times 10^9}{1.2} = 2.1875$$

ج- اگر هر CPI یک مقدار ثابت اضافه شود، برای محاسبه افزایش زمان اجرا روی هر دو پردازنده، باید اختلاف CPI را بر نرخ ساعت تقسیم کنیم. چون نرخ ساعت در پردازنده اول کمتر است، پس افزایش زمان اجرا نیز در این پردازنده بیشتر خواهد بود و در نتیجه کارایی آن کاهش بیشتری خواهد داشت.

د- اگر نرخ ساعت یک مقدار ثابت اضافه شود، برای محاسبه افزایش کارایی (عکس زمان اجرا) روی هر دو پردازنده، باید اختلاف نرخ ساعت را بر CPI تقسیم کنیم. چون CPI در اولی کمتر است، پس افزایش کارایی نیز در این پردازنده بیشتر خواهد بود.

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 حاصل شده 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.

پاسخ:

الف-

$$CPI_{avg1} = 0.4 \times 5 + 0.15 \times 6 + 0.45 \times 4 = 2 + 0.9 + 1.8 = 4.7$$

ب-

$$CPI_{avg2} = 0.4 \times (5 - 3) + 0.15 \times (6 - 2) + 0.45 \times (4 - 1) = 0.8 + 0.6 + 1.35 = 2.75$$

ج-

$$improvement\ factor = \alpha = \frac{CPI_1/CR_1}{CPI_2 \times CR_2} = \frac{4.7/CR_1}{2.75/(0.7CR_1)} = 1.2$$

$$T_{new} = T_{unaffected} + \frac{T_{affected}}{\alpha} = 0.46 \times T + \frac{0.54 \times T}{1.2} = 0.91 \times T$$

$$speedup = \frac{T}{T_{new}} = \frac{1}{0.91} = 1.1$$

بله عملکرد کلی سیستم بهتر شده است.

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، تسریع (speed-up) چقدر خواهد بود؟

پاسخ:

$$speedup = \frac{T_X}{T_Z} = \frac{performance_Z}{performance_X} = \frac{\sqrt{16A}}{\sqrt{A}} = 4$$

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 آمثال، تسریع این پردازنده را نسبت به پردازنده X بر حسب S و N به دست آورید.
فرض کنید که بخش سری برنامه روی هسته بزرگ اجرا می‌شود و بخش موازی روی همه هسته‌ها (از جمله هسته بزرگ) اجرا می‌شود.

پاسخ:

زمان اجرای یک جزء از برنامه را روی پردازنده‌ای با مساحت A، T در نظر می‌گیریم. بخش سری برنامه (S) فقط روی هسته بزرگ اجرا می‌شود، پس زمان اجرای آن ST/\sqrt{N} طول می‌کشد. بخش موازی برنامه $(1-S)$ روی همه هسته‌ها اجرا می‌شود، از جمله هسته بزرگ. تعداد هسته‌ای کوچک $N - 16$ است و چون زمان اجرای اجزای

مساوی روی هسته‌های کوچک \sqrt{N} برابر زمان اجرا روی هسته بزرگ است، پس زمان اجرای بخش موازی به $16 - N + \sqrt{N}$ تقسیم می‌شود. بنابراین:

$$speedup = \frac{T_X}{T_Y} = \frac{T}{\frac{ST}{\sqrt{N}} + \frac{(1-S)T}{(16-N+\sqrt{N})}} = \frac{\sqrt{N}(16-N+\sqrt{N})}{S(16-N+\sqrt{N}) + (1-S)\sqrt{N}} = \frac{\sqrt{N}(16-N+\sqrt{N})}{S(16-N)+\sqrt{N}}$$

ج- پاسخ بند ب را به ازای $N=9$ به دست آورید و سپس بیشینه و کمینه تسریع را برحسب 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).

پاسخ:

$$speedup = \frac{\sqrt{N}(16-N+\sqrt{N})}{S(16-N)+\sqrt{N}} = \frac{3(16-9+3)}{S(16-9)+3} = \frac{30}{7S+3}$$

در حالت کمینه، همه برنامه باید به صورت سری اجرا شود، بنابراین همه برنامه باید روی هسته بزرگ اجرا شود، پس تسریع به اندازه $\sqrt{9} = 3$ خواهد بود. با جاگذاری $S=1$ در رابطه بند ج هم به همین پاسخ می‌رسیم:

$$speedup_{min} = 30/10 = 3$$

در حالت بیشینه، همه برنامه به صورت موازی اجرا می‌شود. بنابراین زمان اجرا بر $16 - N + \sqrt{N} = 10$ تقسیم می‌شود. با جاگذاری $S=0$ در رابطه بند ج هم به همین پاسخ می‌رسیم:

$$speedup_{min} = 30/3 = 10$$