



بسمه تعالی  
معماری کامپیوتر پیشرفته  
نیمسال اول ۱۴۰۲-۱۴۰۳  
تمرین (۱)

دانشکده مهندسی کامپیوتر

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

مهلت تحویل: ۱۳/۰۸/۱۴۰۲

شماره دانشجویی: ۴۰۲۱۳۱۰۵۵

نام و نام خانوادگی: رضا آدینه پور

دستور کار:

- ❖ پس از ۱۰ روز تاخیر مجاز در مجموع کل تمرینات (کامپیوتری + دستی)، تحویل تمرین با تاخیر شامل جریمه می‌باشد (هر روز ۲۵ درصد).
- ❖ نام فایل ارسالی را در قالب `ACA_HW(number)_studentID` بارگذاری شود.
- ❖ تمامی پروژه‌ها از لحاظ شباهت، کنترل و بررسی می‌شوند بنابراین از کپی کردن خودداری فرمایید چنانچه در صورت مشاهده صفر لحاظ خواهد شد و نیز در مجموع نمرات جریمه خواهید شد.
- ❖ پاسخ خود را در ادامه سوال و داخل فایل `word` قرار گرفته در سامانه قرار دهید و برای اسکن کردن پاسخ‌های خود از `CamScanner` استفاده کنید و طبق فرمت خواسته شده فایل را `pdf` شده اپلود کنید.
- ❖ راه ارتباطی با حل تمرین  
`sara.zamaniv3@aut.ac.ir`

۱- عوامل زیادی در قیمت تراشه کامپیوتر دخیل هستند. اینتل ۷ میلیون دلار برای تکمیل تأسیسات ساخت ۴۲ Fab خود برای فناوری ۷ نانومتری هزینه می‌کند. در این جا، ما یک شرکت فرضی را در شرایط مشابه بررسی می‌کنیم و اینکه چگونه تصمیم‌های طراحی متفاوت شامل فناوری ساخت، منطقه و افزونگی بر هزینه تراشه‌ها تأثیر می‌گذارد.



(a) yield تراشه Phoenix چقدر است؟

پاسخ

$$Yield_{Phoenix} = \frac{1}{(1 + (0.04 \times 2))^{14}} = 0.34 \quad (۱)$$

(b) چرا Phoenix defect rate بالاتری نسبت به BlueDragon دارد؟

پاسخ

چون پردازنده Phonix جدیدتر و با تکنولوژی ساخت کوچکتری نسبت به BlueDragon ساخته می‌شود. طبیعیست پردازنده ای که عمر ساخت کوتاه تری داد دچار مشکلات و نقص های جزئی باشد. پردازنده Blue-Dragon از این جهت تمامی تست های خودش را انجام داده و در گذر زمان به مرور مشکلاتی آن رفع شده است پس Defect Rate بالاتری دارد نسبت به Phonix.

آنها طیف وسیعی از تراشه های آن کارخانه را می فروشند و باید تصمیم بگیرند که چه مقدار ظرفیت را به هر تراشه اختصاص دهند. تصور کنید که آنها دو تراشه می فروشند. Phoenix یک معماری کاملاً جدید است که با فناوری ۷ نانومتری طراحی شده است، در حالی که RedDragon همان معماری ۱۰ نانومتری Blue-Dragon است. تصور کنید که RedDragon به ازای هر تراشه بدون نقص ۱۵ دلار سود خواهد داشت. Phoenix به ازای هر تراشه بدون نقص ۳۰ دلار سود خواهد داشت. قطر هر ویفر ۴۵۰ میلی متر است.

(c) از هر ویفر از تراشه های Phoenix چقدر سود می کنید؟

پاسخ

مقدار سود برحسب هر ویفر به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Profit_X = Yield_X \times Dies_X (per wafer) \times N \quad (۲)$$

$$Dies_{per wafer} = \frac{\pi \times (\frac{45}{2})^2}{2} - \frac{45\pi}{\sqrt{4}} = 795 - 70.7 = 724.3 \approx 724 \quad (۳)$$

$$Yield_{Phoenix} = \frac{1}{(1 + (0.04 \times 2))^{14}} = 0.34 \quad (۴)$$

$$Profit_{Phoenix} = 724 \times 0.34 \times 30 = 7384.80\$ \quad (۵)$$



d) از هر ویفراز تراشه های RedDragon چقدر سود می کنید؟

پاسخ

مشابه با قبل داریم:

$$Dies_{per\ wafer} = \frac{\pi \times (\frac{45}{2})^2}{2} - \frac{45\pi}{\sqrt{2} \times 1.2} = 1325 - 91.25 = 1233.75 \approx 1234 \quad (۶)$$

$$Yield_{RedDragon} = \frac{1}{(1 + (0.04 \times 1.2))^{14}} = 0.519 \quad (۷)$$

$$Profit_{RedDragon} = 1234 \times 0.519 \times 15 = 9601.70\$ \quad (۸)$$

e) اگر تقاضای شما ۵۰۰۰۰ تراشه RedDragon در ماه و ۲۵۰۰۰ تراشه Phoenix در ماه باشد و مرکز شما بتواند ۷۰ ویفر در ماه بسازد، از هر تراشه چند ویفر باید بسازید؟

Chip	Die Size (mm <sup>2</sup> )	Estimated defect rate (per cm <sup>2</sup> )	N	Manufacturing size (nm)	Transistors (billion)	Cores
BlueDragon	180	0.03	12	10	7.5	4
RedDragon	120	0.04	14	7	7.5	4
Phoenix <sup>8</sup>	200	0.04	14	7	12	8

پاسخ

تعداد ویفرهای مورد نیاز برای Phonix:

$$n - Phonix = 25000 \div 724 = 34.5 \quad (۹)$$

تعداد ویفرهای مورد نیاز برای RedDragon:

$$n - RedDragon = 50000 \div 1234 = 45.5 \quad (۱۰)$$



۲- فرض کنید شما یکی از کارمندان AMD می‌باشید، از آنجایی که yield پردازنده‌های تولید شده بسیار پایین است، همکار شما پیشنهاد می‌کند، که با تولید نسخه‌های متعدد از یک تراشه با تعداد هسته‌های متفاوت ممکن است تراشه‌های ارزان‌تری را بتوان تولید کرد. به عنوان مثال، Phoenix<sub>۲</sub>، Phoenix<sub>۴</sub>، Phoenix<sub>۸</sub> و Phoenix<sub>۱</sub> که به ترتیب دارای ۸، ۴، ۲ و ۱ هسته هستند، را به فروش برسانید. اگر هر ۸ هسته سالم باشند، به عنوان Phoenix<sub>۸</sub> به فروش میرسد. تراشه‌های با ۴ تا ۷ هسته سالم به عنوان Phoenix<sub>۴</sub> و تراشه‌های با ۲ یا ۳ هسته سالم به عنوان Phoenix<sub>۲</sub> به فروش میرسند. برای ساده‌تر شدن yield یک هسته را معادل yield تراشه‌ای که ۸/۱ مساحت تراشه اصلی Phoenix است در نظر بگیرید. سپس آن را به عنوان یک احتمال مستقل از یک هسته سالم در نظر بگیرید. Yield را به ازای هر پیکربندی بدون در نظر گرفتن تعداد هسته‌ها محاسبه کنید.

(a) Yield برای یک هسته سالم و yield برای Phoenix<sub>۲</sub>، Phoenix<sub>۴</sub> و Phoenix<sub>۱</sub> چقدر است؟

پاسخ

فرمول احتمال بی‌نقص بودن تراشه به صورت زیر است:

$$\#combinations = (0.87)^N \times (1 - 0.87)^{8-N} \quad (11)$$

مقایسه بدست آمده به صورت زیر است: (مقادیر توسط اسکریپت پایتون نوشته شده محاسبه شده است که می‌توانید آن را از اینجا دریافت کنید)

#defect-free	#combinations	#Probability
0	1	3.28211672e-01
1	8	4.90431233e-02
2	28	7.32828280e-03
3	56	1.09503076e-03
4	70	1.63625286e-04
5	56	2.44497554e-05
6	28	3.65341173e-06
7	8	5.45912098e-07
8	1	8.15730721e-08

- (b) با توجه به قسمت a، کدام تراشه‌ها ارزش بسته بندی و فروش دارند؟ چرا؟
- (c) اگر قبلاً در تولید Phoenix<sub>۸</sub>، به ازای هر تراشه ۲۰ دلار هزینه داشتیم، با فرض اینکه هزینه اضافی برای از رده خارج شدن نداشته باشیم، هزینه تراشه‌های جدید Phoenix چقدر خواهد بود؟
- (d) شما در حال حاضر برای هر Phoenix<sub>۸</sub> سالم ۳۰ دلار سود می‌کنید و هر تراشه Phoenix<sub>۴</sub> را به قیمت ۲۵ دلار می‌فروشید. اگر (۱) قیمت خرید تراشه‌های Phoenix<sub>۴</sub> را کاملاً سود در نظر بگیرید و (۲) سود تراشه‌های Phoenix<sub>۴</sub> را به نسبت تعداد تولید شده در هر تراشه Phoenix<sub>۸</sub> اعمال کنید، چقدر سود شما در هر تراشه Phoenix<sub>۸</sub> است؟ از yield محاسبه شده از قسمت مسئله a استفاده کنید.



پاسخ

فرمول برای پردازنده تک هسته ای به صورت زیر است:

$$Yield = \frac{1}{(1 + (0.04 \times 0.25))^{14}} = 0.87 \quad (12)$$

$$Yield_{Phonix^4} = (0.39 + 0.21 + 0.06 + 0.01) = 0.57 \quad (13)$$

$$Yield_{Phonix^2} = (0.001 + 0.0001) = 0.0011 \quad (14)$$

$$Yield_{Phonix^1} = 0.000004 \quad (15)$$

پاسخ

با توجه به قسمت قبل، بسته بندی و فروش Phonix<sup>4</sup> ارزشمند است. Phonix<sup>۱</sup> و Phonix<sup>۲</sup> به قدری احتمال وقوع کمی دارند که اصلاً ارزش اقتصادی برای فروش آنها نیست.

۳. اگر قبلاً در تولید Phonix<sup>۸</sup> به ازای هر تراشه ۲۰ دلار هزینه داشتیم، با فرض اینکه هزینه اضافی ای برای از رده خارج شدن نداشته باشیم، هزینه تراشه های جدید Phonix چقدر خواهد بود؟

پاسخ

دیتا مسئله برای محاسبه قیمت پردازنده های جدید کم است. فقط می توان گفت که هزینه ۲۰ دلار به صورت زیر محاسبه شده است:

$$\$20 = \frac{wafer\ size}{odd\ dpw \times 0.28} \quad (16)$$

۴. شما در حال حاضر برای هر Phonix<sup>۸</sup> سالم، به ازای هر تراشه، ۳۰ دلار سود می کنید و هر تراشه Phonix<sup>۴</sup> را به قیمت ۲۵ دلار می فروشید. اگر قیمت خرید تراشه های Phonix<sup>۴</sup> را کاملاً سود در نظر بگیرید، و سود تراشه Phonix<sup>۴</sup> را به نسبت تعداد تولید شده در هر تراشه Phonix<sup>۸</sup> اعمال کنید، چقدر سود شما در تراشه Phonix<sup>۸</sup> است؟ از Yield محاسبه شده در قسمت اول استفاده کنید.

پاسخ

ابتدا محاسبه می کنیم به ازای هر تراشه Phonix<sup>۸</sup> چند تراشه Phonix<sup>۴</sup> تولید می شود:  
به ازای هر تراشه Phonix<sup>۸</sup>، ۱/۷۲ تراشه Phonix<sup>۴</sup> تولید می شود. بنابراین هزینه تولید تراشه های جدید به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\$30 + 1.73 \times \$25 = \$73.25 \quad (17)$$



۳- تلفن همراه وظایف متفاوتی از جمله پخش موسیقی، پخش ویدئو و خواندن ایمیل را انجام می‌دهد. این وظایف، محاسبات زیادی را نیاز دارند. عمر باتری و گرمای بیش از حد دو مشکل رایج برای تلفن‌های همراه است، بنابراین کاهش مصرف برق و انرژی برای تلفن‌های همراه بسیار مهم است. در این مسئله، ما در نظر می‌گیریم که وقتی کاربر از تلفن با ظرفیت کامل محاسباتی خود استفاده نمی‌کند چه کاری انجام دهیم. برای این مشکلات، سناریوی غیر واقعی را ارزیابی خواهیم کرد که در آن تلفن همراه واحد پردازش تخصصی ندارد. در عوض، دارای یک واحد پردازش چهار هسته‌ای و خاص منظوره ۱ است. هر هسته در استفاده کامل از ۰.۵ وات استفاده می‌کند. برای کارهای مربوط به ایمیل، پردازنده ۸، quad-core برابر سریع تر است.

(a) چه مقدار انرژی و توان دینامیکی در مقایسه با کار با تمام توان مورد نیاز است؟ ابتدا فرض کنید که quad-core، ۸/۱ زمان کار می‌کند و در زمان‌های دیگر بی‌کار است. یعنی زمان در ۸/۷ مواقع غیرفعال است و در آن زمان هیچ نشستی رخ نمی‌دهد. انرژی دینامیکی کل و همچنین توان دینامیکی را در حین کار کردن هسته مقایسه کنید.

پاسخ

انرژی برابر است با  $\frac{1}{8}$  توان که در این مثال بدون تغییر باقی می‌ماند

(b) با استفاده از مقیاس فرکانس و ولتاژ چقدر انرژی و توان دینامیکی مورد نیاز است؟ فرض کنید فرکانس و ولتاژ هر دو در کل زمان به ۸/۱ کاهش می‌یابند.

پاسخ

$$\text{Energy: } \frac{\text{Energy}_{\text{new}}}{\text{Energy}_{\text{old}}} = \frac{(\frac{1}{8} \times V)^2}{V^2} = \frac{1}{64} = 0.015625 \quad (18)$$

$$\text{Power: } \frac{\text{Power}_{\text{new}}}{\text{Power}_{\text{old}}} = 0.156 \times \frac{(\frac{1}{8} \times f)}{f} = \frac{0.015625}{8} = 0.0195 \quad (19)$$

(c) حال فرض کنید ولتاژ ممکن است کمتر از ۵۰ درصد ولتاژ اولیه کاهش نیابد. این ولتاژ به عنوان کف ولتاژ<sup>۲</sup> نامیده می‌شود و هر ولتاژ کمتر از آن حالت را از دست می‌دهد. بنابراین، در حالی که فرکانس می‌تواند مدام کاهش یابد، ولتاژ نمی‌تواند. power saving و انرژی دینامیکی را محاسبه کنید؟

<sup>۱</sup> general-purpose

<sup>۲</sup> voltage floor



پاسخ

$$\text{Energy: } \frac{Energy_{new}}{Energy_{old}} = \frac{(\frac{1}{2} \times V)^2}{V^2} = \frac{1}{4} = 0.25 \quad (20)$$

$$\text{Power: } \frac{Power_{new}}{Power_{old}} = 0.25 \times \frac{(\frac{1}{8} \times f)}{f} = \frac{0.25}{8} = 0.03125 \quad (21)$$

d) چه مقدار انرژی با رویکرد dark silicon مصرف می شود؟ این شامل ایجاد سخت افزار تخصصی ASIC برای هر کار اصلی و راه اندازی توان آن عناصر در زمانی است که استفاده نمی شوند. فقط یک هسته خاص منظوره ارائه می شود و بقیه تراشه با واحدهای تخصصی پر می شود. برای ایمیل، یک هسته برای ۲۵٪ زمان کار می کند و برای ۷۵٪ دیگر به طور کامل با power gating خاموش می شود. در ۷۵ درصد دیگر مواقع، یک واحد تخصصی ASIC که به ۲۰ درصد انرژی یک هسته نیاز دارد، کار می کند.

پاسخ

برای تک هسته ۰/۲۵ توان اصلی مصرف که در ۰/۲۵ زمان اجرا می شود. بنابر این داریم:

$$0.25 \times 0.25 + (0.25 \times 0.2) \times 0.75 = 0.0625 + 0.0375 = 0.1 \quad (22)$$

۴- همانطور که در تمرین قبل بیان شده، تلفن های همراه برنامه های متفاوتی را اجرا می کنند. برای این تمرین همان مفروضات برقرار است، که ۰.۵ وات در هر هسته است و quad-core ایمیل ۳ برابر سریع تر است.

a) تصور کنید که ۸۰ درصد کد قابل موازی سازی است. فرکانس و ولتاژ روی یک هسته چقدر باید افزایش یابد تا با همان سرعت کد به صورت four-way parallelized اجرا شود؟

b) کاهش انرژی دینامیکی ناشی از استفاده از مقیاس فرکانس و ولتاژ در قسمت a چقدر است؟



بسمه تعالی  
معماری کامپیوتر پیشرفته  
نیمسال اول ۱۴۰۲-۱۴۰۳  
تمرین (۱)

دانشکده مهندسی کامپیوتر

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

مهلت تحویل: ۱۳/۰۸/۱۴۰۲

شماره دانشجویی: ۴۰۲۱۳۱۰۵۵

نام و نام خانوادگی: رضا آدینه پور

(C) چه مقدار انرژی با رویکرد سیلیکون تاریک مصرف می شود؟ در این رویکرد، تمام واحدهای سخت افزاری دارای قابلیت قطع کردن منبع تغذیه هستند و به آنها اجازه می دهد تا به طور کامل خاموش شوند (بدون نشتی). ASIC ها خاص منظوره به این دلیل ارائه شده اند که محاسبات مشابهی را تنها با ۲۰ درصد توان پردازشگر خاص منظوره انجام دهند. تصور کنید که هر هسته دارای قابلیت قطع منبع می تواند است. همچنین یک بازی ویدیویی به دو ASIC و دو هسته نیاز دارد. با این مفروضات، چه مقدار انرژی دینامیکی در مقایسه با حالت موازی شده پایه ای روی چهار هسته نیاز است؟

موفق باشید.

System	Chip	TDP	Idle power	Busy power
General-purpose	Haswell E5-2699 v3	504 W	159 W	455 W
Graphics processor	NVIDIA K80	1838 W	357 W	991 W
Custom ASIC	TPU	861 W	290 W	384 W

**Figure 1.27** Hardware characteristics for general-purpose processor, graphical processing unit-based or custom ASIC-based system, including measured power (cite ISCA paper).

System	Chip	Throughput			% Max IPS		
		A	B	C	A	B	C
General-purpose	Haswell E5-2699 v3	5482	13,194	12,000	42%	100%	90%
Graphics processor	NVIDIA K80	13,461	36,465	15,000	37%	100%	40%
Custom ASIC	TPU	225,000	280,000	2000	80%	100%	1%

**Figure 1.28** Performance characteristics for general-purpose processor, graphical processing unit-based or custom ASIC-based system on two neural-net workloads (cite ISCA paper). Workloads A and B are from published results. Workload C is a fictional, more general-purpose application.





۱. تصور کنید که ۸۰ درصد کد قابل موازی سازی است. فرکانس و ولتاژ روی یک هسته چقدر باید افزایش یابد تا با همان سرعت کد به صورت Four Way Parallelized اجرا شود؟

پاسخ

طبق قانون Amdahl داریم:

$$\frac{1}{\frac{0.5}{4+0.2}} = \frac{1}{0.2+0.2} = \frac{1}{0.4} = 2.5 \quad (23)$$

۲. کاهش انرژی دینامیکی ناشی از استفاده از مقیاس فرکانس و ولتاژ در قسمت قبل چقدر است؟

پاسخ

برای ۴ هسته که هر کدام با نسبت  $\frac{1}{2.5}$  فرکانس و ولتاژ هستند داریم:

$$Energy: \frac{Energy_{quad}}{Energy_{single}} = 4 \times \frac{(V \times \frac{1}{2.5})^2}{V^2} = 0.64 \quad (24)$$

$$Power: \frac{Power_{new}}{Power_{old}} = 0.64 \times \frac{f \times \frac{1}{2.5}}{f} = 0.256 \quad (25)$$

پاسخ

برای ۲ هسته + ۲ ASIC در برابر ۴ هسته داریم:

$$\frac{2 + (0.2 \times 2)}{4} = \frac{2.4}{4} = 0.6 \quad (26)$$