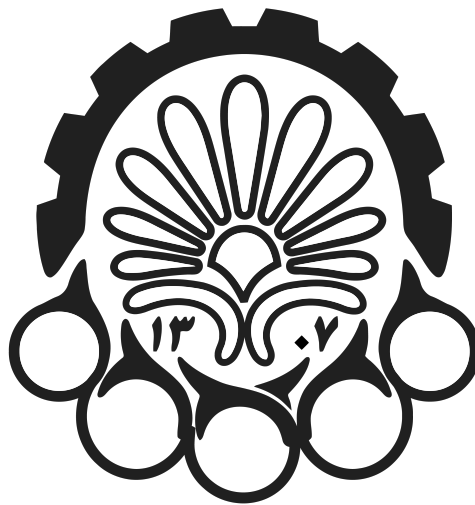


معماری کامپیوتر پیشرفته
دکتر فربه



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
دانشکده مهندسی کامپیوتر

رضا آدینه پور ۴۰۲۱۳۱۰۵۵

تمرین تئوری سری اول

۱۴۰۲ آبان ۱۴

سوال اول

عوامل زیادی در قیمت تراشه کامپیوتر دخیل هستند. اینتل ۷ میلیون دلار برای تکمیل تاسیسات ساخت ۴۲ Fab خود برای فناوری ۷ نانومتری هزینه می‌کند. در اینجا 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 تاثیر می‌گذارد.

۱. Yield تراشه Phonix چقدر است؟

پاسخ

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

۲. چرا Phonix، Defect Rate بالاتری نسبت به BlueDragon دارد؟

پاسخ

چون پردازنده Phonix جدیدتر و با تکنولوژی ساخت کوچکتری نسبت به BlueDragon ساخته می‌شود. طبیعتاً پردازنده‌ای که عمر ساخت کوتاه‌تری دارد دچار مشکلات و نقص‌های جزئی‌تری باشد. پردازنده BlueDragon از این جهت تمامی تست‌های 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 تراشه‌های آن کارخانه را می‌فروشند و باید تصمیم بگیرند که چه مقدار ظرفیت را به هر تراشه اختصاص دهند. تصور کنید که آن‌ها دو تراشه می‌فروشند. Phonix یک معماری کاملاً جدید است که با فناوری ۷ نانومتری طراحی شده است. در حالی که ReadDragon همان معماری ۱۰ نانومتری BlueDragon است. تصور کنید که ReadDragon به ازای هر تراشه بدون نقص ۱۵ دلار سود خالص داشت. Phonix به ازای هر تراشه بدون نقص ۳۰ دلار سود خواهد داشت. قطر هر ویفر ۴۵۰ میلی‌متر است.

۱. از هر ویفر از تراشه‌های Phonix چقدر سود می‌کنید؟

پاسخ

مقدار سود برحسب هر ویفر به صورت زیر محاسبه می‌شود:

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

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

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

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

۲. از هر ویفر از تراشه‌های RedDragon چقدر سود می‌کنید؟

پاسخ

مشابه با قبل داریم:

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

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

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

۳. اگر تقاضای شما ۵۰۰۰۰ تراشه RedDragon در ماه و ۲۵۰۰۰ تراشه Phonix در ماه باشد و مرکز شما بتواند ۷۰ ویفر در ماه بسازد، از هر تراشه چند ویفر باید بسازید؟

پاسخ

تعداد ویفرهای مورد نیاز برای Phonix:

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

تعداد ویفرهای مورد نیاز برای RedDragon:

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

Chip	Die Size (mm^2)	Estimated defect rate (per cm^2)	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
Phonix	200	0.04	14	7	12	8

سوال دوم

فرض کنید شما یکی از کارمندان AMD می‌باشید، از آنجایی که Yeild 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 ارزان تری را بتوان تولید کرد. به عنوان مثال می‌توان Phonix۱، Phonix۲، Phonix۴، Phonix۸ که به ترتیب دارای ۸، ۴، ۲ و ۱ هسته هستند را به فروش برسانید. اگر هر ۸ هسته سالم باشند، به عنوان Phonix۸ به فروش می‌رسد. تراشه‌های با ۴ تا ۷ هسته سالم به عنوان Phonix۴ و تراشه‌های با ۲ یا ۳ هسته سالم به عنوان Phonix۲ به فروش می‌رسند. برای ساده‌تر شدن Yield یک هسته را معادل Yeild تراشه ای که ۱/۸ مساحت تراشه اصلی Phonix است در نظر بگیرید. سپس آن را به عنوان یک احتمال مستقل از یک هسته سالم در نظر بگیرید. Yield را به ازای هر پیکره‌بندی بدون در نظر گرفتن تعداد هسته‌ها محاسبه کنید.

پاسخ

فرمول احتمال بی نقص 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

۱. Yield برای یک هسته سالم برای Phonix۴، Phonix۲، Phonix۱ چقدر است؟

پاسخ

فرمول برای پردازنده تک هسته ای به صورت زیر است:

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

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

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

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

۲. با توجه به قسمت قبل، کدام تراشه ها ارزش بسته‌بندی و فروش دارند؟ چرا؟

پاسخ

با توجه به قسمت قبل، بسته‌بندی و فروش Phonix۴ ارزشمند است. Phonix۲ و Phonix۱ به قدری احتمال وقوع کمی دارند که اصلاً ارزش اقتصادی برای فروش آنها نیست.

۳. اگر قبلاً در تولید Phonix۸ به ازای هر تراشه ۲۰ دلار هزینه داشتیم، با فرض اینکه هزینه اضافی ای برای از رده خارج شدن نداشته باشیم، هزینه تراشه‌های جدید Phonix چقدر خواهد بود؟

پاسخ

دیتا مسئله برای محاسبه قیمت پردازنده‌های جدید کم است. فقط می‌توان گفت که هزینه ۲۰ دلار به صورت زیر محاسبه شده است:

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

۴. شما در حال حاضر برای هر Phonix۸ سالم، به ازای هر تراشه، ۳۰ دلار سود می‌کنید و هر تراشه Phonix۴ را به قیمت ۲۵ دلار می‌فروشید. اگر قیمت خرید تراشه‌های Phonix۴ را کاملاً سود در نظر بگیرید، و سود تراشه Phonix۴ را به نسبت تعداد تولید شده در هر تراشه Phonix۸ اعمال کنید، چقدر سود شما در تراشه Phonix۸ است؟ از Yield محاسبه شده در قسمت اول استفاده کنید.

پاسخ

ابتدا محاسبه می‌کنیم به ازای هر تراشه Phonix۸ چند تراشه Phonix۴ تولید می‌شود: به ازای هر تراشه Phonix۸، ۱/۷۲ تراشه Phonix۴ تولید می‌شود. بنابراین هزینه تولید تراشه‌های جدید به صورت زیر محاسبه می‌شود:

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

سوال سوم

تلفن همراه وظایف متفاوتی از جمله پخش موسیقی، پخش ویدئو و خواندن ایمیل را انجام می‌دهد. این وظایف، محاسبات زیادی نیاز دارد. عمر باتری و گرمای بیش از حد دو مشکل رایج برای تلفن همراه است. بنابر این 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 بررسی خواهیم کرد که تلفن همراه واحد پردازش تخصصی ندارد در عوض، دارای یک واحد پردازش چهار هسته ای خاص منظوره است. هر هسته در استفاده کامل ۰/۵ وات استفاده می‌کند. برای کارهای مربوط به ایمیل، پردازنده Quad Core، ۸ برابر سریع‌تر است.

۱. چه مقدار انرژی و توان دینامیکی در مقایسه با کار با تمام توان نیاز است؟ ابتدا فرض کنید که Quad Core، ۱/۸ زمان کار می‌کند و در زمان‌های دیگر بیکار است. یعنی زمان در ۷/۸ مواقع غیرفعال است و در آن زمان هیچ نشتی ای رخ نمی‌دهد. انرژی دینامیکی کل و همچنین توان دینامیکی را حین کار کردن هسته مقایسه کنید.

پاسخ

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

۲. با استفاده از مقیاس فرکانس و ولتاژ چه انرژی و توان دینامیکی مورد نیاز است؟ فرض کنید فرکانس و ولتاژ هردو در کل زمان به ۱/۸ کاهش می‌یابند.

پاسخ

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

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

۳. حال فرض کنید ولتاژ ممکن است کمتر از ۵۰ درصد ولتاژ اولیه کاهش نیابد. این ولتاژ به عنوان کف ولتاژ نامیده می‌شود و هر ولتاژ کمتر از آن را از دست می‌دهد. بنابراین، درحالی که فرکانس می‌تواند مدام کاهش یابد، ولتاژ نمی‌تواند. Saving Power و انرژی دینامیکی را محاسبه کنید؟

پاسخ

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

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

۴. چه مقدار انرژی با رویکرد Dark Silicon مصرف می‌شود؟ این شامل ایجاد سخت افزار تخصصی ASIC برای هر کار و راه‌اندازی توان آن عناصر در زمانی است که استفاده نمی‌شوند. فقط یک هسته خاص منظوره ارائه می‌شود و بقیه تراشه با واحدهای تخصصی پر می‌شود. برای ایمیل، یک هسته برای ۲۵٪ زمان کار می‌کند و برای ۷۵٪ دیگر به‌طور کامل با Power Gating خاموش می‌شود. در ۷۵٪ دیگر مواقع، یک واحد تخصصی ASIC که به ۲۰ درصد انرژی یک هسته نیاز دارد، کار می‌کند.

پاسخ

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

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

سوال چهارم

همانطور که در تمرین قبل بیان شد، تلفن‌های همراه برنامه‌های متفاوتی را اجرا می‌کنند. برای این تمرین همان مفروضات برقرار است. که ۰/۵ وات در هر هسته و Quad Core ایمیل ۳ برابر سریع‌تر است.

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:

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

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

۳. 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. 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 تغذیه است. همچنین یک بازی ویدئویی 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؟

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.

پاسخ

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

$$\frac{2 + (0.2 \times 2)}{4} = \frac{2.4}{4} = 0.6 \quad (۲۶)$$