Einführung in

Computer Microsystems

Sommersemester 2010

Wolfgang Heenes

1. Aufgabenblatt mit Lösungsvorschlag

21.04.2010

Aufgabe 1: Break-Even-Analyse

Eine Firma plant die Herstellung eines neuen IC (Integrated Circuit). Die Fixkosten für Forschung, Entwicklung, Geräte, etc., belaufen sich auf 500 000 €. Die Kosten zur Herstellung eines Wafers betragen 6 000 €. Ein Wafer kann in 1 500 Dies zersägt werden. Die Die-Ausbeute wird mit 50% geschätzt. Die Dies werden in Gehäuse verpackt und nochmals getestet, was pro IC 10 € kostet. Die Test-Ausbeute wird mit 90% geschätzt. Nur die Chips, die den Test bestehen, werden an Kunden ausgeliefert. Wie viele Chips müssen verkauft werden, um kostendeckend zu arbeiten, wenn der Einzelhandelspreis 40% über den variablen Kosten liegt?

Lösungsvorschlag:

Kosten der Dies eines Wafers: $6\,000\,€ + \frac{1\,500}{2} \cdot 10\,€ = 13\,500\,€$

Anzahl der gepackten, funktionierenden Chips: $1\,500 \cdot 0,5 \cdot 0,9 = 675$

Kosten in € pro Die (x = Anzahl der Dies): $500\,000 + \frac{13\,500}{675} x = 500\,000 + 20 \cdot x$

Erlös pro Die in €: $1,4 \cdot \frac{13\,500}{750 \cdot 0,9} x = 28 \cdot x$

Mit dem Gleichsetzungsverfahren der Kostenfunktion mit der Erlösfunktion erhält man:
$500\,000 + 20 \cdot x = 28 \cdot x \Rightarrow x = 62\,500$

Aufgabe 2: Ausführungszeiten und Optimierung

Durch die Optimierung der Software kann die Leistung eines Computersystems erheblich verbessert werden. Nehmen wir an, eine CPU kann eine Multiplikation in 10 ns und eine Subtraktion in 1 ns ausführen. Wie lange benötigt die CPU, um das Ergebnis aus $d = a \cdot b - a \cdot c$ zu berechnen? Kann die Gleichung so optimiert werden, dass weniger Zeit erforderlich ist?

Lösungsvorschlag:

Für die Gleichung $d = a \cdot b - a \cdot c$ werden 2 Multiplikationen und eine Subtraktion benötigt. Dadurch entsteht eine Zeitdauer von $t_d = 2 \cdot 10\,ns + 1\,ns = 21\,ns$.

Die Gleichung kann mit Common Subexpression Elimination wie folgt umgeformt werden:
$d = a \cdot b - a \cdot c$
$d = a \cdot (b - c)$

Nun wird für die Berechnung eine Multiplikation und eine Subtraktion benötigt. Es entsteht eine Zeitdauer von $t_d = 10\,ns + 1\,ns = 11\,ns$

Aufgabe 3: Betriebszeit

Gegeben sei ein ASIC (Application Specific Integrated Circuit), welches eine Leistungsaufnahme von 45 mW bei Betrieb aus einer 3 V Batterie aufweist. Die Kapazität der Batterie beträgt 2 000 mAh. Wie lange können Sie das ASIC an dieser Batterie betreiben?

Lösungsvorschlag:

Die Kapazität der Batterie gibt die entnehmbare Ladungsmenge Q (in Amperestunden) an, hier 2 Ah. Die mittlere Stromaufnahme I des ASICs beträgt 0,015 A und somit ergibt sich eine Betriebsdauer zu $t = \frac{Q}{I} = \frac{2\,Ah}{0{,}015\,A} = 133{,}\overline{3}\,h$

Aufgabe 4: Die-Kosten

Die Kosten für einen IC sind durch folgende Beziehungen gegeben:

$$\begin{aligned} \textit{Kosten-pro-Die} &= \frac{\textit{Kosten-pro-Wafer}}{\textit{Dies-pro-Waver} \times \textit{Ausbeute}} && (4.1)\\ \textit{Dies-pro-Wafer} &\approx \frac{\textit{Wafer-Fläche}}{\textit{Die-Fläche}} && (4.2)\\ \textit{Ausbeute} &= \frac{1}{(1 + (\textit{Defektdichte} \times \textit{Die-Fläche}/\alpha))^{\alpha}} && (4.3) \end{aligned}$$

Von diesen Beziehungen ist nur Gleichung 4.1 exakt. Gleichung 4.2 ist eine Approximation, da unvollständige Dies am Rande des Wafers nicht berücksichtigt werden. Gleichung 4.3 ist eine empirisch festgestellte Beziehung zwischen der Defektdichte (Defekte pro Fläche), Die-Fläche und Ausbeute. Der Wert für α variiert von Technologie zu Technologie. Im Folgenden wird angenommen, dass $\alpha = 2$ ist.

Auf einem 8-inch (20,32 cm) Wafer befinden sich 125 Dies mit einer Größe von $250\,mm^2$. Ein Wafer kostet 1 000 €. Die Defektdichte beträgt $1\,[Defekte/cm^2]$. Wie hoch sind die Kosten für einen Die?

Lösungsvorschlag:

Die Ausbeute ergibt sich nach der empirischen Gleichung 4.3 und $\alpha = 2$ mit:

$$\text{Ausbeute} = \frac{1}{(1 + (\text{Defektdichte} \times \text{Die-Fläche}/\alpha))^{\alpha}} = \frac{1}{(1 + \frac{1}{100\,mm^2} \cdot \frac{250\,mm^2}{2})^2} = 0{,}1975$$

Damit lassen sich die Kosten für einen Die mit Gleichung 4.1 bestimmen:

$$\text{Kosten-pro-Die} = \frac{\text{Kosten-pro-Wafer}}{\text{Dies-pro-Wafer} \times \text{Ausbeute}} = \frac{1\,000€}{125 \cdot 0{,}1975} \approx 40{,}51\,€/\text{Die}$$

Alternative Lösung mit Gleichung 4.2

Die Anzahl der Dies pro Wafer bestimmt sich mit der Gleichung 4.2:

$$\text{Dies-pro-Wafer} \approx \frac{\text{Waferfläche}}{\text{Die-Fläche}} = \frac{\pi \cdot (\frac{203{,}2\,mm}{2})^2}{250\,mm^2} = 129{,}72$$

Damit lassen sich die Kosten für einen Die mit Gleichung 4.1 bestimmen:

$$\text{Kosten-pro-Die} = \frac{\text{Kosten-pro-Wafer}}{\text{Dies-pro-Wafer} \times \text{Ausbeute}} = \frac{1\,000\,€}{129{,}72 \cdot 0{,}1975} \approx 39\,€/\text{Die}$$