

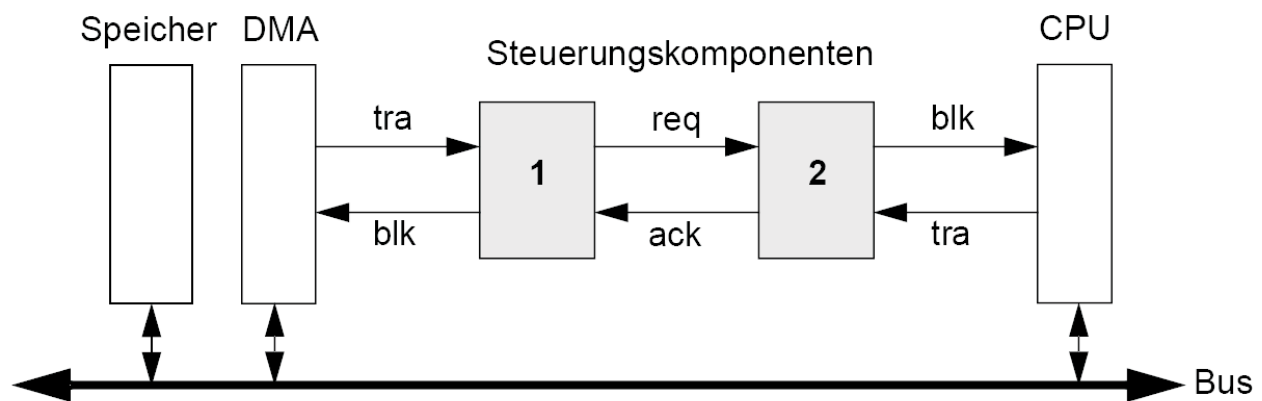
Prof. L. Thiele

Technische Informatik 1 - HS 2010

Lösungsvorschläge für Übung 4

Datum: 03.11.2011

1 I/O-System, Bus-Arbitrierung



Ein Speicher, ein DMA Modul und ein Prozessor (CPU) kommunizieren über einen gemeinsamen Bus. Die Arbitrierung zwischen DMA und CPU erfolgt über die Steuerungskomponenten 1 und 2.

Kommunikation zwischen CPU/DMA und den Steuerungskomponenten:

Falls $blk=0$ gilt, teilen DMA und CPU der jeweiligen Steuerungskomponente 1 bzw. 2 durch $tra=1$ mit, wenn sie einen Block Daten übertragen wollen. Die jeweilige Steuerungskomponente antwortet mit $blk=1$, falls eine Übertragung möglich ist. Nach der Übertragung setzen die DMA bzw. CPU das Signal $tra=0$ und die Steuerungskomponente antwortet mit $blk=0$.

Kommunikation zwischen den Steuerungskomponenten:

Falls das DMA Modul einen Block übertragen will und $ack=0$ gilt, setzt die Steuerungskomponente 1 das Signal $req=1$. Falls die CPU derzeit keine Übertragung durchführt und auch keine Übertragung anfordert, antwortet die Steuerungskomponente 2 mit $ack=1$ und das DMA Modul kann seinen Block übertragen. Ansonsten überträgt die CPU zunächst ihren Block. Nachdem das DMA Modul seinen Block übertragen hat, antwortet die Steuerungskomponente 1 mit $req=0$ und die Steuerungskomponente 2 setzt daraufhin $ack=0$.

Spezifizieren Sie die Funktionen der Steuerungskomponenten 1 und 2 durch jeweils einen endlichen Moore-Automaten. Zur Vereinfachung der Notation können Sie davon ausgehen, dass alle Signale implizit den Wert 0 besitzen, falls sie nicht durch einen Automaten den Wert 1 erhalten.

Lösung:

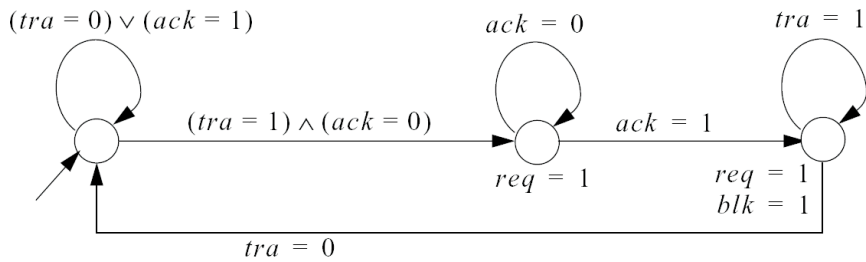


Abbildung 1: Steuerungskomponente 1

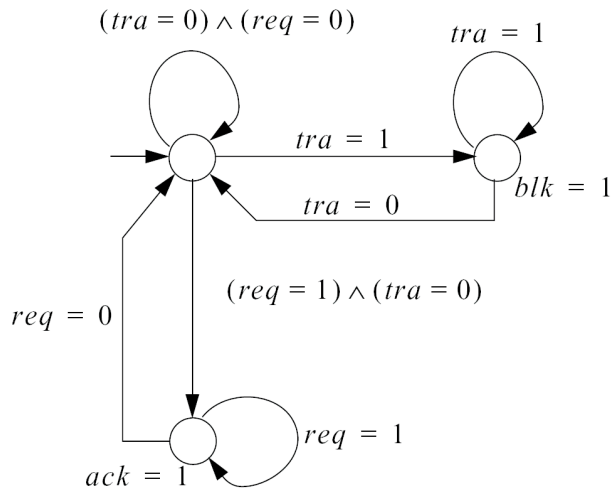
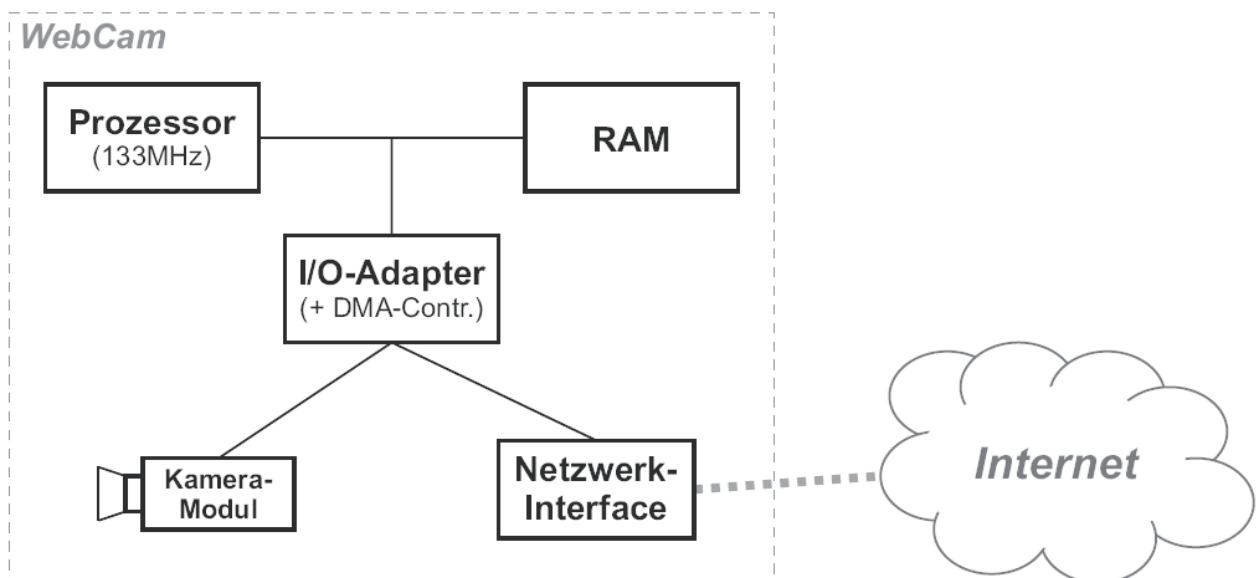


Abbildung 2: Steuerungskomponente 2

2 I/O-System "WebCam"

Gegeben sei eine "WebCam", bestehend aus den Systemkomponenten: Prozessor (CPU), Arbeitsspeicher (RAM), I/O-Adapter (mit integriertem DMA-Controller), Digitalkamera-Modul und Netzwerk-Interface (NI).



Spezifikation der System-Komponenten

- Prozessor (CPU):
 - Taktfrequenz: 133 MHz;
 - Wortbreite (Daten): 16 bit.
- Arbeitsspeicher (RAM):
 - Benötigte CPU-Taktzyklen für einen RAM-Lesezugriff (CPU/Speicher-Bus): 4
 - Benötigte CPU-Taktzyklen für einen RAM-Schreibzugriff (CPU/Speicher-Bus): 6
 - Wortbreite (Daten): 16 bit
- I/O-Adapter (Übergang vom CPU/Speicher-Bus zum I/O-Bus):
 - Benötigte CPU-Taktzyklen für einen Lesezugriff (auf Kamera oder Netzwerkinterface): 6
 - Benötigte CPU-Taktzyklen für einen Schreibzugriff (auf Netzwerkinterface): 10
 - Wortbreite (Daten): 16 bit
- DMA-Controller (integriert in I/O-Adapter):
 - Aufsetzen eines kompletten DMA-Transfers benötigt 1150 CPU-Taktzyklen.
- Digitalkamera-Modul (am I/O-Bus):
 - Auflösung des Bildsensors: 640 × 480 Pixel; 24 bit pro Pixel
 - Belichtungsdauer des Bildsensors (CCD): 15 ms
 - Integrierter Bildspeicher für 1 Bild
- Netzwerk-Interface (am I/O-Bus)
 - Verbindet die "WebCam" mit dem Internet
- JPEG-Bildkompressions-Algorithmus (Software):
 - Benötigt insgesamt 2 Mio. CPU-Taktzyklen, um ein Bild (640 × 480 Pixel, 24 bit pro Pixel) aus dem Arbeitsspeicher zu lesen, zu komprimieren und wieder im Speicher abzulegen.
 - Reduziert den Speicherplatzbedarf eines Bildes um 85% (konstant)

Funktionsspezifikation des Gesamtsystems

Belichtung des Bildsensors → Datentransfer (Roh-Bilddaten) vom Kamera-Modul in den Arbeitsspeicher (RAM) → JPEG-Kompression → Datentransfer (der komprimierten Bilddaten) ins Netzwerk-Interface → Übertragung der Bilddaten ins Internet.

Hinweis: der ganze Ablauf erfolgt sequenziell. Schreib- und Lesezugriffe können also nicht gleichzeitig erfolgen.

- (a) Wieviele kBytes RAM muss für die Speicherung von einem Bild (unkomprimiert) mindestens vorgesehen werden?

Lösung:

- Bildgröße in Pixel = $640 * 480 = 307200$ Pixel
- Bytes pro Pixel = 3 → Speicherplatzbedarf = $3 * 307200 = 921600$ Bytes
- Speicherplatzbedarf = $921600 / 1024$ (1kByte) = 900kByte

- (b) Wieviele CPU-Taktzyklen benötigt die Übertragung eines unkomprimierten Bildes vom Kamera-Modul in den Arbeitsspeicher (RAM), wenn der Datentransfer vollständig vom DMA-Controller ausgeführt wird?

Lösung:

Berechnung der Anzahl benötigter Lese-/Schreibzugriffe: $921600/2 = 460800$

Operation	Taktzyklen
DMA-Setup	1150
Read-Op. (I/O-Bus, 6TZ)	2764800
Write-Op (CPU-Bus, 6TZ)	2764800
Total	5530750

- (c) Wie lange (in ms) dauert die Übertragung eines komprimierten Bildes vom RAM ins Netzwerk-Interface mittels DMA?

Lösung:

Berechnung der benötigten Zeit:

Grösse des komprimierten Bildes = $0.15 * 921600 = 138240$ Bytes \rightarrow Anzahl Zyklen = $138240 / 2 = 69120$

$$t_{cyc} = 1/133MHz = 7.519ns$$

Operation	Taktzyklen	Zeit
DMA-Setup	1150	
Read-Op. (CPU-Bus, 4TZ)	276480	
Write-Op. (I/O-Bus, 10TZ)	691200	
Total	968830	7.28ms

- (d) Wie gross muss die Bandbreite der Internet-Verbindung mindestens sein, damit die vorliegende "WebCam" genau 3 (jeweils aktualisierte) JPEG-Bilder pro Sekunde ins Internet einspeisen kann?

Lösung:

Anforderung: 3 Bilder/s \rightarrow 1 Bild 333ms - Total Zeit (ohne Transfer ins Internet) 78.91ms = 254.42ms \rightarrow 138240Bytes in 254.42ms \rightarrow 4.35Mbit/s

Operation	Zeit
Belichtung des CCD-Sensors	15ms
Transfer Kamera \rightarrow RAM	41.59ms
JPEG Kompression (2Mio. TZ)	15.04ms
Transfer RAM \rightarrow Network-Interface	7.28ms
Transfer ins Internet	???
Total (ohne Transfer ins Internet)	78.91ms

- (e) Wieviele aktualisierte JPEG-Bilder pro Sekunde kann die vorliegende "WebCam" maximal ins Internet einspeisen, wenn die Bandbreite zwischen Netzwerk-Interface und Internet als "sehr gross" (z.B. basierend auf Glasfaser-Technologie, >10 Gbit/s) angenommen wird?

Lösung:

Annahme: Transfer ins Internet \rightarrow 0s, d.h. Anzahl Bilder = $1 / \text{Total (ohne Transfer ins Internet)}$
 $\rightarrow 1 / 78.91ms = 12.67$ Bilder/s.

3 Input / Output (Eingabegeräte)

Bei einem Computer werden Ereignisse der beiden Eingabegeräte Tastatur und Maus behandelt. Bei der Tastatur ist ein Ereignis das Drücken oder Loslassen einer Taste, bei der Maus führt jede Bewegung

um einen Pixel zu einem Ereignis. Im Folgenden wollen wir für diese zwei Anwendungen bestimmen, ob eine Behandlung mittels Polling oder mittels Interrupt mehr Vorteile bietet. Gehen Sie von den Angaben in der Tabelle aus. Als "maximale Verzögerung" wird die maximal tolerierbare Zeit vom Auslösen des Ereignisses bis zum Abschluss der Behandlung bezeichnet. Der Overhead beim Polling beträgt $5\mu\text{s}$ pro Vorgang, der Interrupt-Overhead beträgt $50\mu\text{s}$.

	Ereignisrate	Behandlungszeit	maximale Verzögerung
Tastatur	6/s	$500\mu\text{s}$	$600\mu\text{s}$
Maus	5000/s	$15\mu\text{s}$	$150\mu\text{s}$

- (a) Berechnen Sie die Polling-Raten, welche für die Tastatur und für die Maus erforderlich sind, damit die maximalen Verzögerungszeiten nicht überschritten werden.

Lösung:

Die maximale Verzögerungszeit ergibt sich aus der Summe des Abstands zweier Pollings, des Polling-Overheads und der Ereignisbehandlungszeit. Die Pollingrate für die Tastatur beträgt $r_K = \frac{1}{600\mu\text{s} - (500\mu\text{s} + 5\mu\text{s})} = 10526/\text{s}$, diejenige für die Maus ist $r_M = \frac{1}{150\mu\text{s} - (15\mu\text{s} + 5\mu\text{s})} = 7692/\text{s}$.

- (b) Berechnen Sie für beide Ereignistypen den Zeitanteil, welchen der Computer mit der Behandlung der Ereignisse (inkl. Overhead) verbringt, je einmal mit Polling und einmal mit Interruptsteuerung. Wie (Polling oder Interrupt) würden Sie die Ereignisse behandeln?

Lösung:

Die CPU-Belastung beim Polling ist die Summe des Overheads und der tatsächlichen Zeiten für die Ereignisbehandlungen. Bei der Tastatur beträgt sie $10526 \cdot 5\mu\text{s} + 6 \cdot 500\mu\text{s} = 5.6\%$, bei der Maus $7692 \cdot 5\mu\text{s} + 5000 \cdot 15\mu\text{s} = 11.3\%$. Bei Interruptbehandlung fällt der Overhead nur bei tatsächlichen Aufrufen an. Dies ergibt für die Tastaturabfrage eine CPU-Belastung von $6 \cdot (50\mu\text{s} + 500\mu\text{s}) = 0.33\%$ und für die Mausabfrage $5000 \cdot (50\mu\text{s} + 15\mu\text{s}) = 32.5\%$. Folglich sollten die Tastaturereignisse interruptgesteuert behandelt werden, während die Mausereignisse bevorzugt mit Polling zu behandeln sind.

4 Input / Output (Plattenspeicher) (Zusatzaufgabe)

Gegeben sei eine Festplatte mit 4 Schreib-/Leseköpfen. Die Magnetoberflächen sind so beschaffen, dass sich höchstens 400 Spuren pro Zentimeter schreiben lassen, und auf jeder Spur können maximal 40'000 Bits pro Zentimeter gespeichert werden. Der Aussenradius r_{max} der beschreibbaren Fläche der Platten ist 4.1cm.

- (a) Wie gross sollte der Innenradius r_{min} der beschreibbaren Fläche gewählt werden, damit die Festplatte möglichst viele Daten fassen kann? Gehen Sie davon aus, dass auf allen Spuren die gleiche Menge Daten gespeichert wird (und die Aufzeichnungsdichte auf keiner Spur die angegebenen 40'000 Bits pro Zentimeter überschreiten darf). Tipp: Finden Sie zuerst eine Formel für die Festplattenkapazität in Abhängigkeit von r_{min} und suchen Sie dann das Maximum.

Lösung:

Da auf jeder Spur die gleiche Datenmenge gespeichert wird, ist die Aufzeichnungsdichte auf der innersten Spur am grössten. Die Länge der innersten Spur beträgt $2\pi r_{\text{min}}$, und es passen $2\pi r_{\text{min}} \cdot 40000$ Bits in diese Spur. Es gibt $400 \cdot (r_{\text{max}} - r_{\text{min}})$ Spuren pro Schreib-/Lesekopf. Daraus ergibt sich eine Gesamtbruttokapazität von

$$K(r_{\text{min}}) = 4 \cdot 400 \cdot (r_{\text{max}} - r_{\text{min}}) \cdot 2\pi r_{\text{min}} \cdot 40000 \text{ Bits} = 15625\pi \cdot (r_{\text{max}} \cdot r_{\text{min}} - r_{\text{min}}^2) \text{ KB} .$$

$$\frac{\delta K(r_{\min})}{\delta r_{\min}} \stackrel{!}{=} 0 \rightarrow r_{\min} = r_{\max}/2$$

Es ergibt sich $r_{\min} = 2.05\text{cm}$ sowie $K(2.05\text{cm}) = 201.45 \text{ MB}$.

- (b) Mit wievielen Umdrehungen pro Minute kann die Platte aus Teilaufgabe (a) betrieben werden, wenn die Laufwerkselektronik höchstens 50 MBit pro Sekunde lesen kann?

Lösung:

Die Anzahl Bits pro Track ist $2\pi r_{\min} \cdot 40000$, und pro Sekunde können 50 000 000 Bit gelesen werden. Daraus ergibt sich, dass maximal 97.05 Tracks pro Sekunde gelesen werden können, was 5823 Umdrehungen pro Minute entspricht.

- (c) Welchen Aussenradius r_{\max} muss die Festplatte mindestens haben, so dass 100 MB Bruttodaten gespeichert werden können?

Lösung:

Wie schon in Teilaufgabe (a) gesehen, wird die Kapazität für ein gegebenes r_{\max} dann am grössten, wenn $r_{\min} = r_{\max}/2$ gewählt wird, und zwar

$$K = 15625\pi \cdot \left(r_{\max} \cdot \frac{r_{\max}}{2} - \left(\frac{r_{\max}}{2} \right)^2 \right) \text{ KB} = r_{\max}^2 \cdot 11.98 \text{ MB} .$$

Die angegebene Bruttokapazität wird also erreicht, indem der Aussenradius $r_{\max} = 2.89\text{cm}$ gesetzt wird.