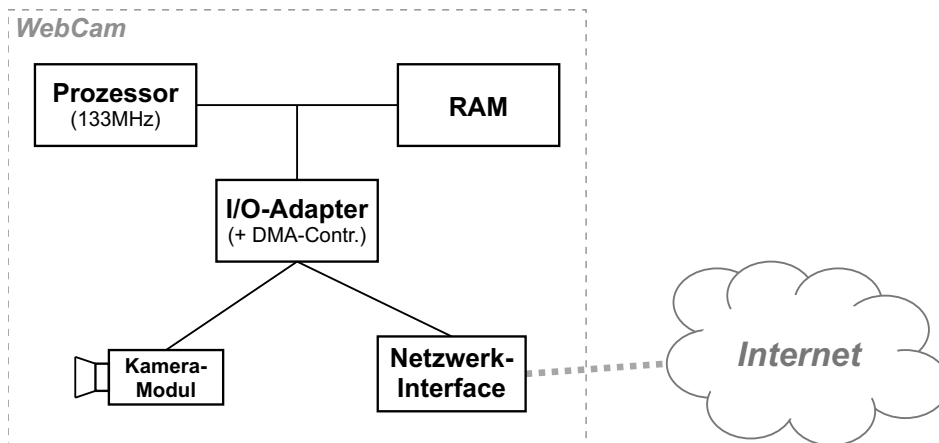


Aufgabe 4: I/O-System (“WebCam”)*(Total 25 Punkte)*

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: 133MHz; Wortbreite (Daten): 16bit.
- Arbeitsspeicher (RAM):
 - Benötigte CPU-Taktzyklen für einen Lesezugriff (CPU/Speicher-Bus): 4
 - Benötigte CPU-Taktzyklen für einen Schreibzugriff (CPU/Speicher-Bus): 6
 - Wortbreite (Daten): 16bit
- I/O-Adapter (Übergang vom CPU/Speicher-Bus zum I/O-Bus):
 - Benötigte CPU-Taktzyklen für einen Lesezugriff (I/O-Bus): 6
 - Benötigte CPU-Taktzyklen für einen Schreibzugriff (I/O-Bus): 10
 - Wortbreite (Daten): 16bit
- 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 x 480 Pixel; 24bit pro Pixel
 - Belichtungsdauer des Bildsensors (CCD): 15ms
 - Integrierter Bildspeicher für 1 Bild
- Netzwerk-Interface (am I/O-Bus)
 - Verbindet die “WebCam” mit dem Internet
- JPEG-Bildkompressions-Algorithmus (Software)
 - Benötigt insgesamt 2Mio. CPU-Taktzyklen, um ein Bild (640 x 480 Pixel, 24bit 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.

Aufgaben:

a) (5 Punkte)

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) (5 Punkte)

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 Taktzyklen

$(921600 / 2 = 460800 ; t_{cyc} = 1/133MHz = 7.519 ns)$

Operation	# Taktzyklen	Zeit
DMA-Setup	1150	
Read-Op. (I-O-Bus, 6TZ)	2764800	
Write-Op (CPU-Bus, 6TZ)	2764800	
Total	5530750	41.59ms

c) (5 Punkte)

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 => 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) (5 Punkte)

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:
Gesamtablauf

<i>Operation</i>	<i>Zeit</i>
<i>Belichtung des CCD-Sensors</i>	<i>15ms</i>
<i>X-fer Kamera -> RAM</i>	<i>41.59ms</i>
<i>JPEG Kompression (2Mio. TZ)</i>	<i>15.04ms</i>
<i>X-fer RAM -> Network-Interface</i>	<i>7.28ms</i>
<i>X-fer ins Internet</i>	<i>???</i>
<i>Total (ohne X-fer ins Internet)</i>	<i>78.91ms</i>

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

e) (5 Punkte)

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, >10Gbit/s) angenommen wird?

Lösung:

Annahme: X-fer ins Internet -> 0s, d.h. Anzahl Bilder = 1 / Total (ohne X-fer ins Internet) => 1 / 78.91ms = 12.67 Bilder/s.