

I ある惑星探査機にはデジタルカメラが装備されており、惑星の地表の様子を一定時間ごとに撮影して、得られた静止画像のデータをそのまま (データ圧縮などはせずに) 地球へ送信する。このデジタルカメラで撮影された静止画像は 1600×1000 個の画素で構成されており、各画素のデータは、光の 3 原色の強度をそれぞれ 1024 段階で表したものとなっている。

- (1) 1 つの画素のデジタル情報の大きさは何 bit となるか。(4 点)

$$1024 = 2^{10} \text{ であるから、1 つの色成分当り } 10 \text{ bit}$$

$$3 \text{ つの色成分があるので } 3 \times 10 = 30 \text{ bit}$$

- (2) 1 枚の静止画像のデジタル情報の大きさは何 byte となるか。(4 点)

画素の数は 1600×1000 個あり、1 画素当たり 30 bit の情報があるから

$$30 \times 1600 \times 1000 \times \frac{1}{8} = 6 \times 10^6 \text{ B (= 6 MB)}$$

- (3) この惑星探査機から地球へデータを送る際のスループットは 120 kB/s である。1 枚の静止画像を送るのに必要な時間はどのくらいかかるか。(4 点)

$$\frac{6 \times 10^6}{120 \times 10^3} = 50 \text{ s}$$

- (4) 10 秒ごとに静止画像を撮影して地球に送るとしたら、どのくらいの大きさのスループットが必要か。(4 点)

$$\frac{6 \times 10^6}{10} = 6 \times 10^5 \text{ B/s (= 600 kB/s)}$$

II 5 分間の音声の波形 (1 チャンネル) を 8000 分の 1 秒ごとに標本化して得られた値を 16384 段階に量子化して、デジタル情報として記録した。 $16384 = 2^{14}$ であることに注意して以下の問に答えなさい。

- (1) 1 秒当りのデジタル情報の大きさは何 byte となるか。(4 点)

$$14 \times 8000 \times \frac{1}{8} = 14 \times 10^3 \text{ B (= 14 kB)}$$

- (2) この 5 分間の音声のデジタル情報の大きさは何 byte となるか。(4 点)

(1) より、 $14 \times 10^3 \times 60 \times 5 = 4.2 \times 10^6 \text{ B (= 4.2 MB)}$

Ⅲ 符号付き整数表現では、負の数を 2 の補数で表現するものとして、以下の問に答えなさい。

- (1) 10bit の符号なし整数表現で表すことのできる最大の整数のビットパターンを求めなさい。(2 点)

1111111111

- (2) 10bit の符号付き整数表現で表すことのできる最大の整数のビットパターンを求めなさい。(2 点)

0111111111

- (3) 10bit の符号付き整数表現で表すことのできる最小の整数を十進数で表しなさい。(2 点)

$$-2^{10-1} = -512$$

- (4) 次の 10 bit の符号付き整数表現を、それぞれ十進数に直しなさい。

- (a) 0000001011 (2 点)

$$2^3 + 2^1 + 2^0 = 11$$

- (b) 0100001011 (2 点)

$$2^8 + 2^3 + 2^1 + 2^0 = 267$$

- (c) 111111010 (2 点)

最上位 bit が 1(負の数)であるから、bit ごとに反転して 0000000101

これに 1 を加えて、0000000110

これを十進数に直すと $2^2 + 2^1 = 6$ なので、与えられたビットパターンが表す整数は -6

- (d) 1000000000 (2 点)

同様に、bit ごとに反転して 0111111111、これに 1 を加えて、1000000000

これを十進数に直すと $2^9 = 512$ なので、与えられたビットパターンが表す整数は -512

- (5) ある整数 x を 20 bit の符号付き整数表現で表すと、00000101010101010101 となった。 $4x - 1$ を 20 bit の符号付き整数表現で表したときのビットパターンを求めなさい。(3 点)

$4x$ のビットパターンは(左に 2bit シフトして) 000101010101010100

よって、 $4x - 1$ は、00010101010101010011

- (6) ある整数 x を 20 bit の符号付き整数表現で表すと、11101110111011101110 となった。 $(x+2) \div 8$ を 20 bit の符号付き整数表現で表したときのビットパターンを求めなさい。(3 点)

$x+2$ のビットパターンは 1110111011101110000

よって、 $(x+2) \div 8$ は (符号拡張とともに) 右に 3 bit シフトして、11111101110111011110

- (7) 次の十進数を、それぞれ 10bit の符号付き整数表現に直しなさい。

- (a) 21 (2 点)

$$21 = 2^4 + 2^2 + 2^0 \text{ なので、} 0000010101$$

- (b) 130 (2 点)

$$130 = 2^7 + 2^1 \text{ なので、} 0010000010$$

- (c) -3 (2 点)

3 のビットパターンは 0000000011、これを bit ごとに反転して 1111111100
1 を加えて 1111111101

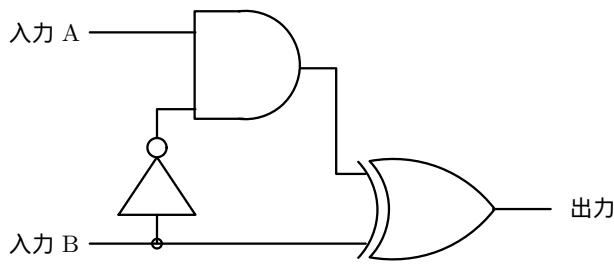
- (d) -130 (2 点)

(b) のビットパターンを bit ごとに反転して 1101111101
1 を加えて 1101111110

- IV 最近 A さんは 10 万円程度のデスクトップ型のパソコン一式 (本体、キーボード、マウス、液晶ディスプレイ) を購入しました。次の内、最もありそうでないものを 3 つ選び、 内に \times 印を記しなさい。(9 点)

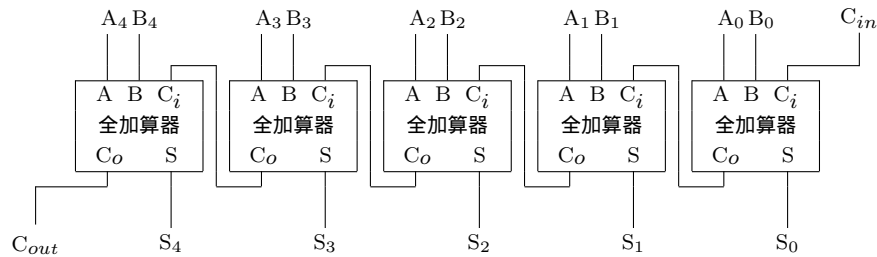
- このパソコンのマザーボードの面積は約 600 cm^2 である。
- このパソコンの CPU はファンで冷却されるようになっている。
- このパソコンの主記憶装置は電源を切ると記憶していたデータを忘れてしまう。
- このパソコンの主記憶装置のスループットは約 80 MB/s である。
- このパソコンのハードディスクには磁気ヘッドが 2 つある。
- このパソコンのハードディスクの重量は約 15 g である。
- このパソコンの CPU のクロック周波数は 3.2 GHz である。
- このパソコンの CPU のダイの面積は約 80 mm^2 である。
- このパソコンの液晶ディスプレイの画面は約 200 万個の画素で構成されている。
- このパソコンの液晶ディスプレイの各画素は 256 通りの色を表現できる。

V 下の論理回路の入力と出力の関係を表すように表の空欄を埋めなさい。(6点)



入力		出力
A	B	
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

VI 次の図のような加算器による整数の加算を考える。ただし、整数は符号付き整数表現で扱うものとする。



- (1) 2つの整数5と7をそれぞれ5bitの符号付き整数表現を用いて表し、 $A_4A_3A_2A_1A_0$ と $B_4B_3B_2B_1B_0$ として入力したときの出力 $C_{out}S_4S_3S_2S_1S_0$ のビットパターンを求めなさい。ただし $C_{in} = 1$ とする。(4点)

$$\begin{array}{r}
 00101 \\
 + 00111 \\
 + \quad 1 \\
 \hline
 001101 \quad \text{となるので} \quad 001101
 \end{array}$$

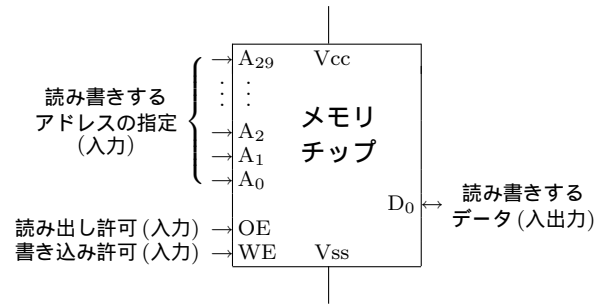
- (2) 整数13を5bitの符号付き整数表現を用いて表し、 $A_4A_3A_2A_1A_0$ として入力すると、出力 $S_4S_3S_2S_1S_0$ のビットパターンが10000となった。このとき $B_4B_3B_2B_1B_0$ として入力した整数のビットパターンを求めなさい。ただし $C_{in} = 0$ とする。(4点)

$$\begin{array}{r}
 10000 \\
 - 01101 \\
 \hline
 00011 \quad \text{だから} \quad 00011
 \end{array}$$

- (3) $A_4A_3A_2A_1A_0$ に01001を、 C_{in} に1をそれぞれ入力したとき、5bitの符号付き整数表現で、 $B_4B_3B_2B_1B_0$ に入力してもオーバーフローが起らないような最大の整数のビットパターンを求めなさい。(4点)

$$\begin{array}{r}
 01111 \\
 - 01001 \\
 - \quad 1 \\
 \hline
 00101 \quad \text{だから} \quad 00101
 \end{array}$$

VII 右図は、あるメモリチップの端子を模式的に表わしたものである。このチップは、 A_0 から A_{29} までの 30 個の端子にアドレスを入力して、OE を 1 にすると、そのアドレスに記憶された 1 bit の情報が D_0 に出力される。また、同様にアドレスを指定して、WE を 1 にすると D_0 に入力した 1 bit のデータが、そのアドレスに書き込まれる。このメモリチップの記憶容量は何 MB か、1 MB は 2^{20} B を表すものとして答えなさい。(5 点)



$$2^{30} \times 1 \times \frac{1}{8} = 2^{27} = 2^7 \times 2^{20} = 128 \text{ MB}$$

VIII 512MB の主記憶装置 (物理メモリ) を持つ計算機で、ページの大きさが 8KB であるようなページング方式の仮想記憶システムが稼働しており、1 つのプロセスが実行されており、このプロセスは 512MB の物理メモリの内、400MB を占有できている。ただし、1KB = 2^{10} B、1MB = 2^{20} B とする。主記憶装置 (物理メモリ) の平均アクセスタイムは 20ns、ページアウトやページインのための補助記憶装置として使っているハードディスクの平均アクセスタイムは 10ms であり、これらの記憶装置のスループットは十分大きくて無視できるものとして、以下の問に答えなさい。

- (1) このプロセスが、仮想アドレス空間内の 1000MB の (連続した) メモリ領域内に、全くでたらめな順序 (アドレス) で 4 byte ずつ何度も繰り返しアクセスする場合、1 回のメモリアクセスでページフォルトが起こる確率はどの程度と考えられるか。また、この状況で、CPU が (仮想アドレス空間での) 1 回のメモリアクセスを行うのに必要な時間は平均してどの程度と考えることができるか。(4 点)

$$\text{ページフォルトの起こる確率は } \frac{1000 - 400}{1000} = \frac{3}{5}$$

$$\text{アクセス時間の平均は } \frac{2}{5} \times 20 \times 10^{-9} + \frac{3}{5} \times 2 \times 10 \times 10^{-3} = 1.2 \times 10^{-4} \text{ s } (= 12 \text{ ms})$$

- (2) このプロセスが、仮想アドレス空間内の 300MB の (連続した) メモリ領域の先頭から、アドレスの小さい順に 4 byte ずつ、300MB すべてのデータにアクセスすることを何度も繰り返す場合、1 回のメモリアクセスでページフォルトが起こる確率はどの程度と考えられるか。また、この状況で、CPU が (仮想アドレス空間での) 1 回のメモリアクセスを行うのに必要な時間は平均してどの程度と考えることができるか。(4 点)

300 MB \leq 400 MB なので、ページフォルトの起こる確率は 0
 よって、アクセス時間の平均は 20 ns

IX ある 32bit CPU は、A と B という 2 つの 32 bit の汎用レジスタを持っており、メモリのアドレスや定数、レジスタを指定しての定数ロード命令 (LDI)、ロード命令 (LD)、ストア命令 (ST)、ALU によるレジスタ間の加減算命令 (ADD や SUB) を備えている。また、その他に、分岐先番地を指定して無条件の分岐を行う命令 (JAL) や、先に実行した引き算の結果が負のときだけ分岐を行う命令 (JLT)、0 以下のときだけ分岐を行う命令 (JLE)、0 以上のときだけ分岐を行う命令 (JGE)、正のときだけ分岐を行う命令 (JGT) などの分岐命令がある。

下の機械語プログラムは、この 32bit CPU に、右の C プログラムに対応する仕事をさせるものである。ただし、この機械語プログラムでは、C プログラムの変数 i と sum の値を、それぞれ、メモリの 3210 番地と 1234 番地に、32bit の符号付き整数表現を用いて記憶している。

```

:
int i, sum;

sum = 0;
for (i = 1; i <= 10; i++)
    sum = sum + i;
:

```

機械語命令のアドレス	機械語命令	機械語命令の意味
⋮	⋮	⋮
100	LDI A, 0	レジスタ A に定数 0 を格納 (定数ロード命令)
104	ST A, 1234	レジスタ A の内容をメモリの 1234 番地 (変数 sum) にコピー (ストア命令)
108	LDI B, 1	レジスタ B に定数 1 を格納 (定数ロード命令)
112	ST B, 3210	レジスタ B の内容をメモリの 3210 番地 (変数 i) にコピー (ストア命令)
116	LDI A, 10	レジスタ A に定数 10 を格納 (定数ロード命令)
120	SUB A, B	レジスタ A からレジスタ B の値を引き去る (演算命令)
124	JLT 152	引いた結果が負ならば、152 番地にジャンプ (分岐命令)
128	LD A, 1234	メモリの 1234 番地の内容 (変数 sum) をレジスタ A にコピー (ロード命令)
132	ADD A, B	レジスタ A にレジスタ B の値を足し込む (演算命令)
136	ST A, 1234	レジスタ A の内容をメモリの 1234 番地 (変数 sum) にコピー (ストア命令)
140	LDI A, 1	レジスタ A に定数 1 を格納 (定数ロード命令)
144	ADD B, A	レジスタ B にレジスタ A の値を足し込む (演算命令)
148	JAL 112	常に 112 番地にジャンプ (分岐命令)
152		
⋮	⋮	⋮

これらのプログラムを参考にして、右の C プログラム (の断片) に対応する (同じ CPU の) 機械語プログラムを書きなさい。ただし、機械語命令は 400 番地から並べること。また、変数 p 、 q の値は、それぞれ 700 番地と 800 番地に、32 bit の符号付き整数表現で記憶するものとする。

```

while (p + q <= 100) {
    p = q - p;
    q = q + 1;
}

```

(8 点)

400	LD A, 700	440	LD A, 800
404	LD B, 800	444	LDI B, 1
408	ADD A, B	448	ADD A, B
412	LDI B, 100	452	ST A, 800
416	SUB A, B	456	JAL 400
420	JGT 460	460	
424	LD A, 800		
428	LD B, 700		
432	SUB A, B		
436	ST A, 700		