

I 120名の学生がある科目を受講している。この科目は15回の授業からなっており、毎回の授業で出欠のチェックを行う。

(1) 1回の授業の120名の出欠の状況をデジタル情報として記録すると、その大きさは何bitとなるか？

1名の学生の出欠は1bitとなるから、120名では120bit …… (答)

(2) 毎回の授業で(1)のように120名の出欠の情報を記録すると、15回全体ではデジタル情報の大きさは何byteとなるか。

(1)より、15回では $120 \times 15 = 1800$ b

1B = 8bであるから、 $1800 \div 8 = 225$ B …… (答)

(3) 15回の授業終了後、欠席の回数を学生ごとに集計した。この集計結果のデジタル情報の大きさは(120名全体で)何byteとなるか。

1名の欠席回数は0以上15以下の整数であるから16通りある

$16 = 2^4$ であるから1名あたり4bとなり、120名では $4 \times 120 = 480$ b

1B = 8bであるから、 $480 \div 8 = 60$ B …… (答)

II ある店舗の防犯カメラは、店内の様子を一定時間ごとに静止画像として撮影し、得られたデータをそのまま(データ圧縮などはせずに)ハードディスク装置を使って記録する。このカメラで撮影された静止画像は 4000×2000 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256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。

$256 = 2^8$ であるから、光の3原色の各成分ごとに8b

3原色では $3 \times 8 = 24$ b …… (答)

(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。

4000×2000 個の画素があるので、(1)より、 $4000 \times 2000 \times 24 = 192 \times 10^6$ b

1B = 8bであるから、 $192 \times 10^6 \div 8 = 24 \times 10^6$ B、つまり24MB …… (答)

(3) ハードディスク装置の記憶容量が480GBであるとき、このハードディスクには何枚の静止画像を保存することができるか。

ハードディスク装置の記憶容量が480GBであるから、(2)より、

$480 \times 10^9 \div (24 \times 10^6) = 20 \times 10^3$ 枚、つまり20000枚 …… (答)

(4) 0.2秒ごとに静止画像を撮影して、ハードディスク装置に記録するとすると、ハードディスクのスループットは最低でもどの程度が必要となるか？

(2)より、 $24 \times 10^6 \div 0.2 = 120 \times 10^6$ B/s

つまり、最低でも120MB/sのスループットが必要 …… (答)

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、次の問いに答えなさい。

(1) 13 bit の符号なし整数表現で表すことのできる最大の整数を十進数で書きなさい。

$$2^{13} - 1 = 8192 - 1 = 8191 \quad \dots\dots \text{(答)}$$

(2) 13 bit の符号付き整数表現で表すことのできる最大の整数を十進数を書きなさい。

$$2^{13-1} - 1 = 4096 - 1 = 4095 \quad \dots\dots \text{(答)}$$

(3) 13 bit の符号付き整数表現で表すことのできる最小の整数のビットパターンを書きなさい。

$$1\ 0000\ 0000\ 0000 \quad \dots\dots \text{(答)}$$

(4) 次の13 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) 0 0000 0000 1101

$$2^3 + 2^2 + 2^0 = 8 + 4 + 1 = 13 \quad \dots\dots \text{(答)}$$

(b) 0 1001 1001 1001

$$2^{11} + 2^8 + 2^7 + 2^4 + 2^3 + 2^0 = 2048 + 256 + 128 + 16 + 8 + 1 = 2457 \quad \dots\dots \text{(答)}$$

(c) 1 1111 1110 1110

$$\text{符号ビットが1であるので、} -(2^4 + 2^0 + 1) = -(16 + 1 + 1) = -18 \quad \dots\dots \text{(答)}$$

(d) 1 0110 0110 0111

$$\text{符号ビットが1であり、ビット毎に反転して1を加えると(b)のビットパターンとなることから、} -2457 \quad \dots\dots \text{(答)}$$

(5) 次の十進数を、それぞれ13 bit の符号付き整数表現のビットパターンに直しなさい。

(a) 53

$$53 = 32 + 16 + 4 + 1 = 2^5 + 2^4 + 2^2 + 2^0 \text{ であるから、} 0\ 0000\ 0011\ 0101 \quad \dots\dots \text{(答)}$$

(b) 119

$$119 = 64 + 32 + 16 + 4 + 2 + 1 = 2^6 + 2^5 + 2^4 + 2^2 + 2^1 + 2^0 \text{ であるから、} \\ 0\ 0000\ 0111\ 0111 \quad \dots\dots \text{(答)}$$

(c) -30

$$30 = 16 + 8 + 4 + 2 = 2^4 + 2^3 + 2^2 + 2^1 \text{ であるから、} 0\ 0000\ 0001\ 1110 \text{ をビット毎に反} \\ \text{転し、1を加えて、} 1\ 1111\ 1110\ 0010 \quad \dots\dots \text{(答)}$$

(d) -119

$$\text{(b)のビットパターンをビット毎に反転し、1を加えて、} 1\ 1111\ 1000\ 1001 \quad \dots\dots \text{(答)}$$

- (6) ある整数 x を 20 bit の符号付き整数表現で表すと、0101 0101 0101 0101 0101 となった。 $2x + 3$ を 28 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。

28 bit に符号拡張して、0000 0000 0101 0101 0101 0101

これを左に 1 bit シフトして、3 を加えればよいから、

0000 0000 1010 1010 1010 1010 1101 …… (答)

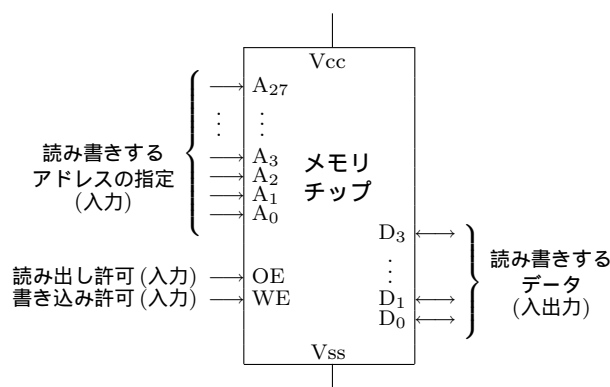
- (7) ある整数 x を 20 bit の符号付き整数表現で表すと、1111 1111 1100 1100 1100 となった。 $x \div 4$ を 28 bit の符号付き整数表現で表したときのビットパターンを求めなさい。

28 bit に符号拡張して、1111 1111 1111 1111 1100 1100 1100

これを、符号ビットを維持しながら右に 2 bit シフトすればよいから、

1111 1111 1111 1111 1111 0011 0011 …… (答)

IV 右の図は、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。このチップでは、 A_0 から A_{27} までの 28 個の入力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 4bit の情報が D_0 から D_3 までの 4 個の端子に出力される。また、同様にアドレスを指定して、WE を 1 にすると、 D_0 から D_3 に入力した 4bit のデータが、そのアドレスに書き込まれる。1 MiB は 2^{20} B を表すものとして次の問いに答えなさい。



- (1) このメモリチップの記憶容量は何 MiB か。

4 bit のデータを 2^{28} 個記録できるので

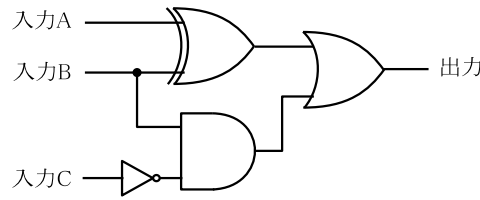
$$4 \times 2^{28} \div 8 = 2^{2+28-3} = 2^{27} = 2^7 \times 2^{20} = 128 \times 2^{20} \text{ B}$$

つまり、128 MiB …… (答)

- (2) このメモリチップのデータ読み出し時のアクセスタイムが 20 ns、スループットは 5×10^3 MiB/s であるとす。このメモリチップに記憶されたデータをでたらめな順番で、4 bit ずつすべて読み出すのに必要な時間は、おおよそどの程度と考えられるか。 $2^{30} \approx 10^9$ とみなしてよい。

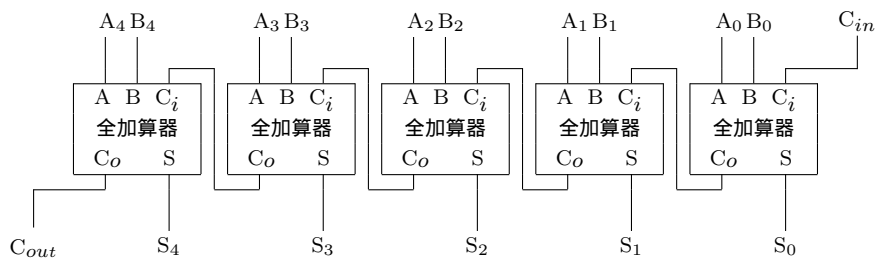
2^{28} 回のアクセス毎に 20 ns の遅れが生じるので、 $20 \times 10^{-9} \times 2^{28} = 5 \times 10^{-9} \times 2^{30} \approx 5 \text{ s}$ 必要となる。一方、スループットによる制限では $128 \times 2^{20} \div (5 \times 10^3 \times 2^{20}) = 25.6 \times 10^{-3} \text{ s}$ 必要となるが、これはレイテンシーによる時間 5 s に比べると無視できる程度に小さい。よって、必要な時間は約 5 s と考えられる。 …… (答)

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。



入力			出力
A	B	C	
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

VI 次の図のような 5 bit の加算器による整数の加算を考える。



- (1) 2つの整数 26 と 9 の 5 bit の符号なし整数表現を、それぞれ $A_4A_3A_2A_1A_0$ と $B_4B_3B_2B_1B_0$ に入力したときの、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。

26 と 9 を 5 bit の符号なし整数表現で表すと、それぞれ 11010 と 01001 となるから

$$\begin{array}{r}
 11010 \\
 + 01001 \\
 \hline
 1 \\
 \hline
 100100 \text{ より } 100100 \dots\dots \text{ (答)}
 \end{array}$$

- (2) 2つの整数 -12 と -9 の 5 bit の符号付き整数表現を、それぞれ $A_4A_3A_2A_1A_0$ 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 $C_{in} = 0$ とする。

-12 と -9 を 5 bit の符号付き整数表現で表すと、それぞれ 10100 と 10111 となるから

$$\begin{array}{r}
 10100 \\
 + 10111 \\
 \hline
 0 \\
 \hline
 101011 \text{ より } 101011 \dots\dots \text{ (答)}
 \end{array}$$

- (3) 整数 -12 の 5bit の符号付き整数表現を $A_4A_3A_2A_1A_0$ に、0 を C_{in} に入力したとき、5 bit の符号付き整数表現で $B_4B_3B_2B_1B_0$ に入力すると、出力 $S_4S_3S_2S_1S_0$ でオーバーフローが起ってしまうような最大の整数のビットパターンを求めなさい。

求める整数を x とすると、 $-12 + x = -17$ が成り立つので、これを解いて $x = -5$ よって、求めるビットパターンは 11011 $\dots\dots$ (答)

VII 最近 A さんは 8 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 × 印を記しなさい。

- このパソコンに搭載されている CPU は 1000 個以上の端子でマザーボードと接続されている。
- このパソコンに搭載されている CPU は 10 億個以上のトランジスタで構成されている。
- 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。
- このパソコンのマザーボードには記憶容量が約 4 GB のメモリモジュールが 2 枚挿してある。
- このパソコンの主記憶装置は 1 bit のデータを記憶するためにトランジスタを 32 個使用している。
- 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。
- このパソコンのハードディスクのスループットは約 100MB/s である。
- このパソコンのハードディスクの重量は約 15g である。
- このパソコンのハードディスクの記憶容量は約 500 GB である。
- このパソコンの液晶ディスプレイの画面は約 1000 個の画素で構成されている。
- このパソコンのキーボードにはキーが 100 個以上ある。
- このパソコンには電源ユニットが搭載されている。

VIII 128 MiB 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 4 KiB 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、あるプロセスが実行されていて、このプロセスは 128 MiB の物理メモリの内、100 MiB を占有できている。ただし、 $1 \text{ KiB} = 2^{10} \text{ B}$ 、 $1 \text{ MiB} = 2^{20} \text{ B}$ である。

このプロセスは、仮想アドレス空間内の 300 MB の (連続した) メモリ領域の先頭アドレスから始めて、8 byte のデータを読み取っては、アクセスするアドレスを 32 番地だけ増やす (24 byte 分のデータをスキップする) ということを繰り返し続けている。ただし、アクセスするアドレスが、この 300 MB の領域の終り達した場合は、また領域の先頭に戻って同じことを繰り返す。

主記憶装置 (物理メモリ) の平均アクセスタイムは 20 ns、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 15 ms 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、その影響は無視できるものとして、次の問いに答えなさい。

- (1) このプロセスが行う 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。

アクセスするアドレスは 32 B 分ずつ増加するため、 $4096 \div 32 = 128$ 回のアクセスごとに次のページへ移行することになる。ページフォルトはページの先頭へのアクセス 1 回で発生し、同じページへの残りのアクセス 127 回では発生しないから、求める確率は

$$\frac{1}{128} \dots\dots (\text{答})$$

- (2) このプロセスが 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。

(1) より

$$20 \times 10^{-9} + \frac{1}{128} \times 2 \times 15 \times 10^{-3} = 20 \times 10^{-9} + \frac{30}{128} \times 10^{-3} \doteq 0.23 \times 10^{-3} \text{ s}$$

つまり、約 0.23 ms $\dots\dots$ (答)

IX ある 32 bit 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に分岐を行う命令 (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 32 bit 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 1200 番地と 1204 番地に、32 bit 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, 1204	レジスタ A の内容をメモリの 1204 番地 (変数 <i>sum</i>) 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, 1200	レジスタ B の内容をメモリの 1200 番地 (変数 <i>i</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, 1204	メモリの 1204 番地の内容 (変数 <i>sum</i>) 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, 1204	レジスタ A の内容をメモリの 1204 番地 (変数 <i>sum</i>) 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 200 番地から並べること。また、変数 *k*, *n* は *int* 型で宣言されており、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。

```

n = n + 1;
if (n <= k)
    n = 3;
else
    n = n + k;
k = 100 - n;

```

200	LD A, 800	240	JAL 260
204	LDI B, 1	244	LD A, 800
208	ADD A, B	248	LD B, 700
212	ST A, 800	252	ADD A, B
216	LD A, 700	256	ST A, 800
220	LD B, 800	260	LDI A, 100
224	SUB A, B	264	LD B, 800
228	JLT 244	268	SUB A, B
232	LDI A, 3	272	ST A, 700
236	ST A, 800		