

I ある地点の気温の変化を次のように記録することにした。

- 気温は、 -100°C から $+100^{\circ}\text{C}$ までを小数点以下 1 桁の精度 (0.1°C 刻み) で記録する。ただし、この範囲を外れた場合には、そのことを、それがどちら側 (低温側か高温側か) に外れたかが分かるように記録する。
- 1 分毎に気温を計測し、これをある決まった長さのビット列として記録する。

(1) 1 回の計測で記録されるビット列の長さは何 bit になるか。

-100°C から $+100^{\circ}\text{C}$ までを小数点以下 1 桁の精度で表現すると 2001 通り。

これに低温側と高温側の例外の 2 通りを加えて 2003 通りとなる。

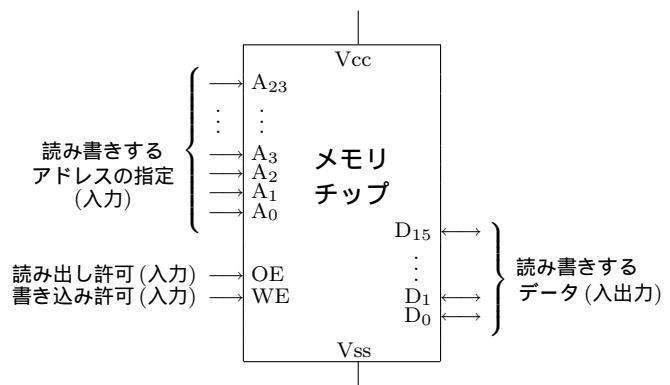
$2^{10} < 2003 \leq 2^{11}$ であるので、求める長さは 11 bit …… (答)

(2) 1 日分の記録は何 byte となるか。

1 日分の測定回数は $60 \times 24 = 1440$ 回となるので、

(1) より、 $11 \times 1440 \div 8 = 1980 \text{ B}$ …… (答)

II 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_{23} までの 24 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 16bit の情報が D_0 から D_{15} までの 16 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_{15} に入力した 16bit のデータが、そのアドレスに書き込まれる。1 MB 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 MB か。

16 bit のデータを 2^{24} 個記録できるので

$$16 \times 2^{24} \div 8 = 2^{4+24-3} = 2^{25} = 2^5 \times 2^{20} \text{ B}$$

つまり、32 MB …… (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 10 ns、スループットは $4 \times 10^3 \text{ MB/s}$ であるとき、このメモリチップに記憶されたデータをすべて読み出すのに必要な時間はどのくらいか。

$$10 \times 10^{-9} + \frac{32 \times 2^{20}}{4 \times 10^3 \times 2^{20}} = 10 \times 10^{-9} + 8 \times 10^{-3} \approx 8 \times 10^{-3}$$

つまり、約 8 ms …… (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) 9 bit 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かきなさい。

111111111 …… (答)

(2) 9 bit 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かきなさい。

011111111 …… (答)

(3) 9 bit 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かきなさい。

$-2^{9-1} = -2^8 = -256$ …… (答)

(4) 次の 9 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 0001 1111

$2^4 + 2^3 + 2^2 + 2^1 + 2^0 = 16 + 8 + 4 + 2 + 1 = 31$ …… (答)

(b) 0 1001 1001

$2^7 + 2^4 + 2^3 + 2^0 = 128 + 16 + 8 + 1 = 153$ …… (答)

(c) 1 1111 0101

ビットごとに反転して 000001010 となり、これに 1 を加えると 000001011 となる。

$2^3 + 2^1 + 2^0 = 8 + 2 + 1 = 11$ であるから、求める十進数は -11 …… (答)

(d) 1 0000 0111

ビットごとに反転して 011111000 となり、これに 1 を加えると 011111001 となる。

$2^7 + 2^6 + 2^5 + 2^4 + 2^2 + 2^1 = 128 + 64 + 32 + 16 + 8 + 1 = 249$ であるから

求める十進数は -249 …… (答)

(5) ある整数 x を 16 bit の符号付き整数表現で表すと、0011 0011 0011 0011 となった。 $2x - 1$ 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。

$2x$ のビットパターンは 0110 0110 0110 0110

これから 1 を引いて 0110 0110 0110 0101

20 bit に符号拡張して 0000 0110 0110 0110 0101 …… (答)

(6) ある整数 x を 16 bit の符号付き整数表現で表すと、1111 0011 0011 0011 となった。 $(x + 1) \div 4$ 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。

$x + 1$ のビットパターンは 1111 0011 0011 0100

$(x + 1) \div 4$ は、これを (符号拡張しながら) 右に 2 bit シフトして 1111 1100 1100 1101
20 bit に符号拡張して 1111 1111 1100 1100 1101 …… (答)

(7) 次の十進数を、それぞれ 9 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) 27

$27 = 16 + 8 + 2 + 1 = 2^4 + 2^3 + 2^1 + 2^0$ であるから
求めるビットパターンは 0 0001 1011 …… (答)

(b) 110

$110 = 64 + 32 + 8 + 4 + 2 = 2^6 + 2^5 + 2^3 + 2^2 + 2^1$ であるから
求めるビットパターンは 0 0110 1110 …… (答)

(c) -11

$11 = 8 + 2 + 1 = 2^3 + 2^1 + 2^0$ であるから、11 のビットパターンは 0 0000 1011
ビット毎に反転して 1 1111 0100 となり、これに 1 を加えて 1 1111 0101 …… (答)

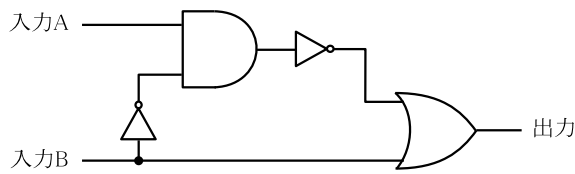
(d) -110

(b) より、110 のビットパターンは 0 0110 1110
ビット毎に反転して 1 1001 0001 となり、これに 1 を加えて 1 1001 0010 …… (答)

IV 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。

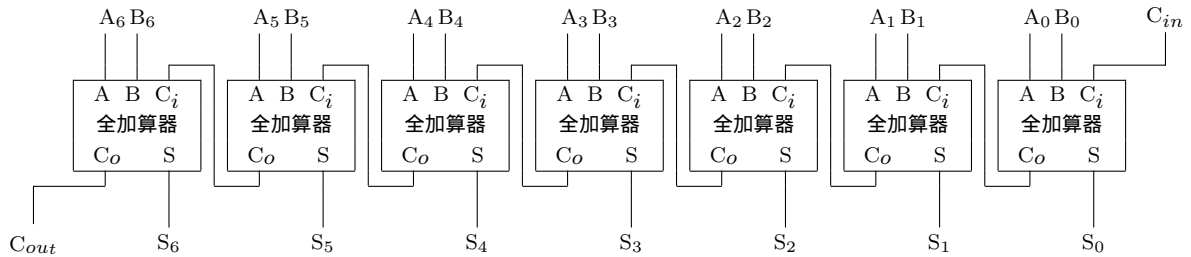
- このパソコンに搭載されている CPU は 32 個の端子でマザーボードと接続されている。
- このパソコンに搭載されている CPU は 1 億個以上のトランジスタで構成されている。
- このパソコンの CPU はマザーボードから取り外し可能になっている。
- このパソコンのメモリモジュールはおおよそ 12 mm 四方の大きさである。
- このパソコンのマザーボードには記憶容量が約 2 GB のメモリモジュールが 2 枚挿してある。
- このパソコンの主記憶装置に使われているメモリチップは、定期的にはリフレッシュ操作をしないと記憶していたデータを忘れてしまう。
- このパソコンの補助記憶装置の記憶容量は、主記憶装置の記憶容量より大きい。
- このパソコンのハードディスクのプラッタは毎秒 7200 回転している。
- このパソコンのハードディスクには磁気ヘッドが 4 個ある。
- このパソコンの液晶ディスプレイの各画素は 1000 万通り以上の色を表現できる。
- このパソコンのマザーボード上にはボタン電池が搭載されている。

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。



| 入力 | | 出力 |
|----|---|----|
| A | B | |
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

VI 次の図のような 7 bit の加算器による整数の加算を考える。



- (1) 整数 93 を 7 bit の符号なし整数表現で表し、 $A_6A_5A_4A_3A_2A_1A_0$ に入力したとき、同じく 7 bit の符号なし整数表現で $B_6B_5B_4B_3B_2B_1B_0$ に入力すると $C_{out} = 0$ となるような最大の整数を十進数で表しなさい。ただし $C_{in} = 0$ とする。

求める整数を x とすると、 $93 + x = 2^7 - 1 = 127$ となればよい。

これを解いて $x = 34$ …… (答)

- (2) 2 つの整数 -20 と 45 の 7 bit の符号付き整数表現を、それぞれ $A_6A_5A_4A_3A_2A_1A_0$ と $B_6B_5B_4B_3B_2B_1B_0$ として入力したときの出力 $C_{out}S_6S_5S_4S_3S_2S_1S_0$ のビットパターンを求めなさい。ただし $C_{in} = 1$ とする。

-20 と 45 を 7 bit の符号付き整数表現で表すと、それぞれ 1101100 と 0101101 となるから

$$\begin{array}{r}
 1101100 \\
 + 0101101 \\
 \hline
 1 \\
 \hline
 10011010 \text{ より } 10011010 \text{ …… (答)}
 \end{array}$$

- (3) $A_6A_5A_4A_3A_2A_1A_0$ に 0110110 を、 C_{in} に 0 を入力したとき、7 bit の符号付き整数表現で $B_6B_5B_4B_3B_2B_1B_0$ に入力するとオーバーフローが起ってしまうような最小の整数のビットパターンを求めなさい。

0110110 に加算して、 1000000 となればよいから

$$\begin{array}{r}
 1000000 \\
 - 0110110 \\
 \hline
 0001010 \text{ より } 0001010 \text{ …… (答)}
 \end{array}$$

VII あるハードディスクは 500 GB の記憶容量を持っており、6000 rpm (毎分 6000 回転) で回転している 2 枚のプラッタの両面 (計 4 面) を使って、この 500 GB の情報を記憶している。また、このハードディスクのスループットは 100MB/s であり、(プラッタの回転待ち時間を含めた) 平均アクセスタイムは 20ms である。

このハードディスクに、1 枚の大きさが 10MB の画像データが、容量の許す限りたくさん記録されている。これらの画像データをでたらめな順序で読み出すとき、1 分間で何枚の画像データを読み出すことができるか？ただし、それぞれの画像のデータ (10MB) は連続したセクタにまとめて記録されているものとする。

1 枚の画像を読み込むのに必要な時間は

$$\left(20 \times 10^{-3} + \frac{10 \times 10^6}{100 \times 10^6} \right) = 20 \times 10^{-3} + 0.1 = 120 \times 10^{-3} \text{s}$$

よって 1 分間では $\frac{60}{120 \times 10^{-3}} = 0.5 \times 10^3 = 500$ 枚 …… (答)

VIII 256 MB 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 2 KB 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 256 MB の物理メモリの内、250 MB 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 10 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 20 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無視できるものとする。

このプロセスが、仮想アドレス空間内の 1000 MB の (連続した) メモリ領域に対し、特定のアドレスの 8 byte へのアクセスと、同じ領域内の毎回でたらめなアドレスの 8 byte へのアクセスを交互に繰り返し続けている。

(1) その特定のアドレスへの 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。

このアドレスのページは、直前か、その 1 つ前にアクセスしているので、ページフォルトは起こらない。つまり、求める確率は 0 …… (答)

(2) 毎回でたらめなアドレスへの 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。

$$\frac{(1000 - 250) \times 2^{20}}{1000 \times 2^{20}} = \frac{750}{1000} = \frac{3}{4} \dots\dots (\text{答})$$

(3) このような状況では、全体として、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。

全体として、ページフォルトが起こる確率は $\frac{1}{2} \times \frac{3}{4} = \frac{3}{8}$ となるので

$$\left(1 - \frac{3}{8} \right) \times 10 \times 10^{-9} + \frac{3}{8} \times 2 \times 20 \times 10^{-3} = 15 \times 10^{-3} \text{ s}$$

つまり、約 15 ms …… (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 500 番地から並べること。また、変数 *p*、*q*、*r* は *int* 型で宣言されており、それぞれ 100 番地、200 番地、300 番地に、32 bit の符号付き整数表現で記憶するものとする。

```

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

```

| | | | |
|-----|-----------|-----|------------|
| 500 | LD A, 100 | 536 | JGT 556 |
| 504 | LD B, 300 | 540 | LDI A, 1 |
| 508 | SUB A, B | 544 | SUB B, A |
| 512 | ST A, 100 | 548 | ST B, 300 |
| 516 | LD A, 200 | 552 | JAL 516 |
| 520 | LD B, 100 | 556 | LDI A, 100 |
| 524 | ADD A, B | 560 | ST A, 200 |
| 528 | LD B, 300 | 564 | |
| 532 | SUB A, B | | |