

電子情報学専攻 専門

平成21年8月26日(水) 9時00分～11時30分 実施

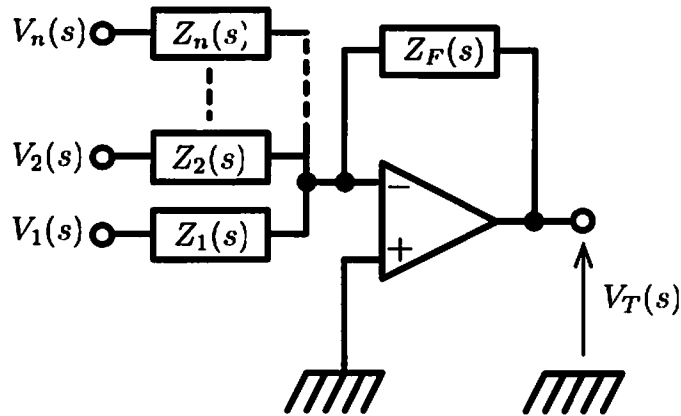
問題数 6題 (このうち3題を選択して解答すること)

注意

1. 指示があるまで、この問題冊子を開いてはならない。
2. この問題冊子の本文は全部で8頁ある。落丁、乱丁、印刷不鮮明なものがあれば申し出ること。
3. 3題を選択して解答せよ。6題中どの3題を選択してもよい。1枚の答案用紙に1つの問題の解答を書くこと。必要があれば裏面を使用してもよい。
4. 答案用紙上部左側に解答した問題の番号を書くこと。また答案用紙上部右側の記入欄に受験番号を必ず記入すること。答案の提出前に、これらを記入したかを必ず確認すること。
5. 答案は必ず3題分を提出すること。解答した問題が3題未満であっても3題のそれぞれについて問題番号と受験番号を記入した答案用紙を提出のこと。
6. 解答は日本語または英語で記述すること。
7. この問題冊子と計算用紙は、試験終了後回収する。持ち帰ってはならない。

第 1 問

理想演算増幅器（入力インピーダンス無限大，出力インピーダンスゼロ，増幅率 ∞ ，遅延ゼロ）及び， $n+1$ 個の素子（ $Z_i(s)$ ($1 \leq i \leq n$) と $Z_F(s)$ ）を接続して構成された下記の回路について設問に答えよ．なお， s は複素数である．



- (1) 出力 $V_T(s)$ を入力 $V_1(s), \dots, V_n(s)$ の関数として求めよ．また， $Z_2(s)$ から $Z_n(s)$ の値が ∞ の時， $V_T(s)$ を $V_1(s)$ の関数として求めよ．

理想演算増幅器を 3 つ，及び，抵抗とキャパシタンスを使って，以下の伝達関数を回路として実現したい．以下の設問に答えよ．

$$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{-5}{s^2 + \sqrt{3}s + 5}$$

- (2) 上式を下記のように展開した．

$$V_o(s) = \left(-\frac{5}{1}\right) \left(-\frac{1}{s}\right) \left\{ \left(-\frac{1}{s + \sqrt{3}}\right) V_i(s) + \left(-\frac{1}{s + \sqrt{3}}\right) V_o(s) \right\}$$

ここで， $V_A(s)$ を下記のように定義する．

$$V_A(s) = \left(-\frac{1}{s + \sqrt{3}}\right) V_i(s) + \left(-\frac{1}{s + \sqrt{3}}\right) V_o(s)$$

この式を満たす回路，即ち， $V_i(s)$ ， $V_o(s)$ を入力， $V_A(s)$ を出力とする回路を，理想演算増幅器を 1 つ，及び，抵抗とキャパシタンスを幾つか使って示せ．

- (3) $V_i(s)$ を入力， $V_o(s)$ を出力とする回路 ($V_o(s) = H(s)V_i(s)$) を，理想演算増幅器を 3 つ，及び，抵抗とキャパシタンスを使って一つ示せ．
- (4) 実際の演算増幅器は，上の図に示したように，出力信号を入力側に戻す帰還回路と共に用いられることが一般的であるが，演算増幅器の特性を利用し，帰還回路無しで用いられることがある．そのような例を一つ挙げて説明せよ．即ち，a) どのような機能を有する回路が構成されるのか，b) それは，どのような演算増幅器の特性を利用しているのか，について説明せよ．

第2問

あるプロセッサは、すべての分岐命令に対して分岐予測を行い、分岐予測ミスペナルティが p サイクルであるとする、すなわち、分岐予測ミスが 1 回発生するとプログラムの実行サイクル数は p サイクルだけ増加するとする。

このプロセッサであるプログラムを実行した。総実行命令数は n 命令で、そのうち分岐命令の割合は b であった、すなわち、実行された分岐命令の数は bn である。また、理想的に分岐予測ミス率 0% が達成できたとき、IPC は i_0 になるとする。なお、IPC (Instructions Per Cycle) とは 1 サイクルあたりに実行される命令数の平均である。以下の設問に答えよ。

- (1) プロセッサの命令パイプラインを乱す要因は、構造ハザード、データハザード、制御ハザードに分類される。それぞれどのようなものであるか説明せよ。また、これらのハザードと分岐予測の関係について説明せよ。
- (2) 分岐予測ミス率 0% が達成できたとき、このプログラムの実行にかかるサイクル数を i_0 と n を用いて表せ。
- (3) 分岐予測ミス率が β である時のこのプログラムの実行にかかるサイクル数を β, i_0, n, b, p を用いて表せ。
- (4) 分岐予測ミス率が β である時の IPC を $i(\beta)$ とする。 $i(\beta)$ を β, i_0, b, p を用いて表せ。
- (5) $i_0 = 2.0, b = 0.2, p = 10$ とするとき、 $i(\beta)$ のグラフの概形を描け。また、分岐予測ミスを減らす技術的努力と結果得られる性能向上に関して、このグラフから何が言えるか論じよ。

第3問

以下のプログラム `repeat_union()` は、次の様に動作する。

1. N 個の整数 $0, 1, \dots, N - 1$ に対して、最初に、それぞれをただ一つの要素とする集合、つまり、 $\{0\}, \{1\}, \dots, \{N - 1\}$, を作り (14-15 行目),
2. 以下の“union”操作を M 回繰り返す (16-20 行目).
“union”操作: 適当な 2 要素 x, y を選び、それぞれの要素が現在所属している集合を合併する (17-19 行目)
3. 結果としてこれらの後、集合がどのような状態になっているかを得る.

ただし 2. において、 x, y が元々所属していた集合は消滅する。したがって各要素が「現在所属している」集合はただ一つである。このプログラムの終了時、以下の性質(*)

(*): x と y が同じ集合に属するときおよびその時に限り、 $\text{find}(x) = \text{find}(y)$

が成り立っている。

```
0: parents[N]; /* 整数の配列 */
1: find(x) {
2:   c := x;
3:   while (parents[c] ≠ c)
4:     c := parents[c];
5:   return c;
6: }
7: union(x, y) {
8:   a := find(x);
9:   b := find(y);
10:  if (a ≠ b)
11:    parents[a] := b;
12: }
13: repeat_union() {
14:  for x := 0...N - 1
15:    parents[x] := x;
16:  for i := 0...M - 1 {
17:    x を 0, ..., N - 1 から選ぶ;
18:    y を 0, ..., N - 1 から選ぶ;
19:    union(x, y);
20:  }
21: }
```

アルゴリズムの原理を理解するため、以下の図表記を用いる。まず、 $\text{parents}[x] = y$ となっていることを、



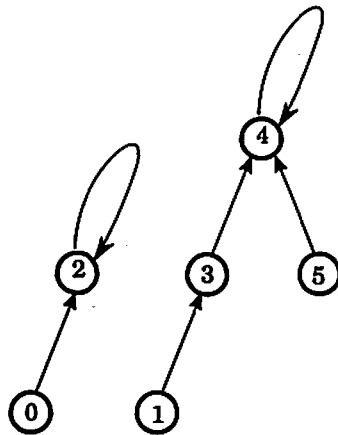
のように図示する。特に $x = y$ のときは



のように表す。例えば、

$\text{parents}[0] = 2, \text{parents}[1] = 3, \text{parents}[2] = 2,$
 $\text{parents}[3] = 4, \text{parents}[4] = 4, \text{parents}[5] = 4$

という状態は、以下のように図示される。



(1) $N = 6, M = 5$ とする。16-20 行目の繰り返しで $i = 0, \dots, 4$ に対して x, y が以下の順に選ばれたとする。repeat_union() 終了後における集合の状態をこの表記にしたがって図示せよ。

i	x	y
0	0	3
1	2	5
2	6	1
3	0	2
4	4	5

(2) repeat_union() の計算時間は 17, 18 行目でどのような x, y が選ばれるかによって変化する。

`repeat_union()` の最悪の時間計算量はいくらか、定数倍の違いを無視して、 M, N の関数として記せ。そして、実際にその最悪計算量を実現する x, y の選ばれ方の例を示せ。

- (3) 手続き `union(x, y)`, `find(x)` を少し修正することで、`repeat_union()` の最悪の時間計算量を改善する方法がある (もちろんここでも定数倍の違いは無視する)。その方法と、その際の改善された計算量を求めよ。もちろん修正後のプログラムは条件 (*) を満たしていなくてはならない。修正は、アイデアの全体像を言葉で説明するとともに、擬似コードで詳細をはっきり示せ。
- (4) 上記の `union`, `find` を部品として用い、無向グラフの最小全域木を求めるアルゴリズムがある。無向グラフの最小全域木の定義を述べるとともに、そのアルゴリズムの概要を記せ。

第4問

デジタル情報伝送方式の動作原理とその特徴に関する以下の設問に答えなさい。

- (1) アナログ電波およびアナログ音波を用いて、デジタル情報を伝送する通信手法をモデムと呼ぶが、モデムの動作原理を簡潔に説明しなさい。なお、モデム伝送が成立するための要件も簡単に述べること。
- (2) モデム通信における、以下の2つの方式の動作原理を計算方法とともに簡潔に説明しなさい。
 - (a) CRC (Cyclic Redundancy Check) を用いた誤り検出方式 (なお、パリティチェック (Parity Check) 方式が CRC の一種であることも言及すること)
 - (b) 前方誤り訂正方式
- (3) 音声 (20Hz から 20kHz の 1 チャンネル) をデジタル転送したい。
 - (a) オリジナルの音声波形を完全に再生するために必要なサンプリング周期を示しなさい
 - (b) 情報圧縮を行わない場合に、音声の転送に必要な伝送帯域幅を、各サンプリング値のビット数とともに示しなさい。なお、サンプリング値のダイナミックレンジとしては、40[dB]以上を確保したい。
- (4) 携帯電話システムにおいて、携帯メール (SMS や電子メール) は安価な定額料金で提供可能であるが、音声通話は同一携帯電話会社間の通話でも従量課金となる場合がほとんどである。この理由を、tokyodai (8 文字) という文字情報を、(a) 音声通話 (8kbps での CBR (Continuous Bit Rate) でのデジタル伝送とする) で伝送する場合 と (b) 携帯メールで伝送する場合 のそれぞれで必要となる 総ビット数を比較することで説明しなさい。なお、伝送に必要なすべてのオーバーヘッド (トレーニング信号やメールのヘッダやトレーラーなど) は、すべて無視し、伝送に必要な総ビット数を求めてよいものとする。
- (5) 「文字」はデジタル情報である。「文字」がデジタル情報であるが故に「文字」の伝達は、高い伝送効率を実現することが可能である。この理由を、以下のキーワードを用いながら説明しなさい。

キーワード： 誤り訂正方式、アナログ情報のデジタル化、符号空間

第5問

- (1) 図1に示すネットワークを考える。ここで、丸はノード、線は通信回線を表わしている。最短経路を、二つのノード間の経路の中で、通信回線の使用回数が最小の経路とする。ノード A から各ノードに向かう最短経路を求めたい。このような最短経路を求めるアルゴリズムを示せ。
- (2) 次に、各々の通信回線にコストが割り当てられている図2に示すネットワークを考える。二つのノード間の経路のコストは、経路内のリンクのコストを加算することで求められる。ノード A から各ノードに向かう最小コストの経路を求めるアルゴリズムを示せ。
- (3) このようなアルゴリズムをインターネットで利用している事例を一つ説明せよ。

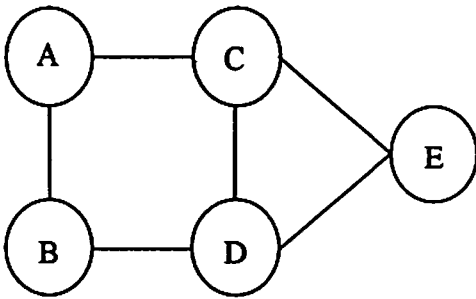


図 1

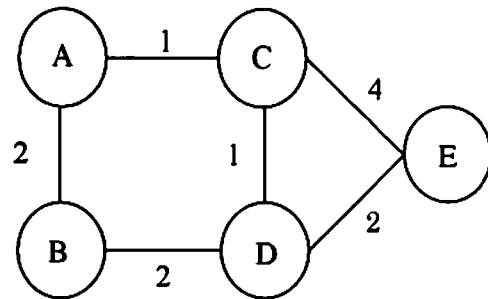


図 2

第6問

次の問いに答えよ。

- (1) 虹という物理現象をフーリエ変換の観点から説明せよ。
- (2) フーリエ級数展開とフーリエ変換は、どのような信号に対して適用されるか、知っていることを述べよ。
- (3) 次の信号 $x(t)$ のフーリエ変換 $X(f)$ を求め、その概形を図示せよ。

$$x(t) = \begin{cases} E & |t| < \tau/2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

- (4) 以下のようなインパルス列 $s(t)$ を考える。

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(t - nT_s)$$

ただし、 $\delta(t)$ はデルタ関数、 T_s はサンプリング周期である。連続信号 $x(t)$ に対して、 $x_s(t) = x(t)s(t)$ とする。このとき、 $x(t)$ と $x_s(t)$ のフーリエ変換をそれぞれ $X(f)$ 、 $X_s(f)$ とおくと、下記が得られる。

$$X_s(f) = \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} X\left(f - n\frac{1}{T_s}\right)$$

以上の議論から何が分かるか説明せよ。

- (5) N 個の実数データ $\{x_n\}(n = 0, \dots, N-1)$ に対して考える。 $n < 0$ や $n > N-1$ に対して、 $\{x_n\}$ を周期的に拡張する方法は何通りか考えられる。拡張したデータ列を周波数領域に変換したとき、余弦成分のみが残るような拡張の仕方の例を挙げよ。これは、DCT (離散コサイン変換) と呼ばれる変換の基礎となるが、DCT が画像圧縮において主に用いられている理由について、知っていることを述べよ。