# 電子情報学専攻 専門

2025 年 8 月 20 日(水) 10 時 00 分～12 時 30 分実施

問題数 5 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，この問題を開いてはならない。

2. この問題冊子の本文は表紙・空白ページを除き全部で 5 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。5 題中どの 3 題を選択してもよい。1 枚の解答用紙に 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よい。

4. 解答用紙上部左側に解答した問題の番号を書くこと。また解答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解答用紙を提出のこと。

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

図 1 のように，演算増幅器，抵抗 (抵抗値 $R_1$)，コンデンサ (キャパシタンス $C$) からなる回路を考える．

(1) 時刻 $t$ における入力電圧を $v_1(t)$，出力電圧を $v_2(t)$ とする．$v_2(t)$ を $v_1(t)$ で表せ．ただし，$t = 0$ のとき，コンデンサは放電しているものとせよ．

(2) この回路の一般的な名称を答えよ．

図 2 のように，演算増幅器と 2 つの抵抗 (抵抗値 $R_2$ と $R_3$) からなる回路を考える．この演算増幅器の出力電圧は $-E$ から $E$ の間 ($E > 0$) に限られるものとせよ．図 2 に示す電圧 $v_3, v_4, v_5$ について考える．

(3) $v_3$ が十分低い電圧 ($v_3 \ll 0$) から十分高い電圧 ($v_3 \gg 0$) へと変化するとする．$v_3$ と $v_5$ の関係を，$v_3$ を横軸，$v_5$ を縦軸として図示せよ．同様に $v_3$ と $v_4$ の関係を図示せよ．

(4) $v_3$ が十分高い電圧 ($v_3 \gg 0$) から十分低い電圧 ($v_3 \ll 0$) へと変化するとする．(3) と同様に，$v_3$ と $v_5$ の関係と，$v_3$ と $v_4$ の関係を図示せよ．

図 3 のように，図 1 と図 2 の回路を組み合わせた回路を考える．出力電圧 $v_8$ は周期的に変化した．

(5) 電圧 $v_6$, $v_7$, $v_8$ の時間変化を図示せよ．ただし，$t = 0$ のとき，コンデンサは放電しており，$t = 0$ のときの電圧 $v_7$ は $E$ とせよ．

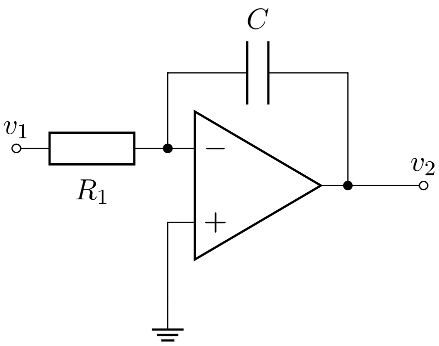


図 1

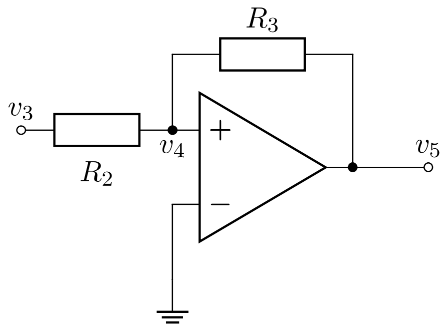


図 2

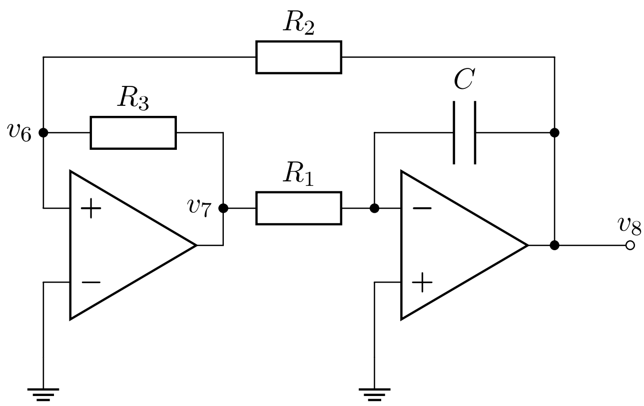


図 3

## 第２問

下図に示すような 6 段のパイプラインステージ構成を持つイン・オーダー実行のプロセッサを考える．命令セットアーキテクチャとして単純な RISC 型のアーキテクチャを仮定する．以下の問いに答えよ．

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| フェッチステージ | デコードステージ | レジスタリードステージ | 実行ステージ | メモリステージ | レジスタライトステージ |

(1) フェッチからレジスタライトまでの各ステージについて順番に，行われる動作と利用されるハードウェアについて記述せよ．以下の全ての用語を適切に用い，その使用箇所には下線を引くこと．
**レジスタファイル，メインメモリ，命令キャッシュ，データキャッシュ，**
**ALU，オペランド，オペコード**

(2) 各ステージの処理にかかる遅延を以下の表のように仮定する．また，パイプラインレジスタに起因するオーバーヘッドを各ステージ 200 ps と仮定する．このとき，このプロセッサの最大動作周波数を示せ．

| | |
|---|---|
| フェッチ | 400 ps |
| デコード | 100 ps |
| レジスタリード | 200 ps |
| 実行 | 300 ps |
| メモリ | 600 ps |
| レジスタライト | 200 ps |

(3) (2) の条件と動作周波数のとき，このプロセッサにおいて，一つの命令の処理の開始から完了までに要する時間を示せ．また，このプロセッサがパイプライン化されていなかった場合に予期される一命令あたりの処理時間を示し，なぜパイプライン化によって性能向上が期待できるのか示せ．

(4) このプロセッサにおいて，レジスタ依存に関するデータハザードはどのようなときに発生するか記述せよ．また，適切な対策技術を一つ挙げ説明せよ．

(5) このプロセッサで，もし分岐予測が常に正確であれば CPI (Cycles Per Instruction) が 1 となるようなプログラムを実行することを考える．分岐命令の割合が 10%，分岐予測精度が 95%，分岐予測ミスペナルティが 3 サイクルのとき，CPI を答えよ．プログラムの命令数は十分大きいとしてよい．

## 第３問

整数配列の集合 $\mathcal{V}$ と，長さ $n(\geq 2)$ の整数配列 $S(\notin \mathcal{V})$ が与えられたとき，$S$ をそれぞれが $\mathcal{V}$ に含まれるような複数の部分配列に分割できるか考える．例えば，$\mathcal{V} = \{[1], [0,0], [0,1]\}$ のとき，$S = [0,1,0,0]$ は，$[0,1]$ と $[0,0]$ に分割できる．以下の問いに答えよ．

(1) $S$ を複数の部分配列に分割する組合せの数を，$n$ を用いて示せ．

(2) $S$ の各部分配列が $\mathcal{V}$ の要素であるかを，$\mathcal{V}$ の要素数に依存しない時間で検証するためには，$\mathcal{V}$ をどのようなデータ構造に保存すれば良いか，その具体的な実装方法と共に説明せよ．

(3) 以下は，$S$ を各部分配列が $\mathcal{V}$ に含まれるように分割できるか検証する擬似コードである．

```
find_segmentation(V, S, n):
  is_split_before[0] ← True
  for i ← 1 to n do
    is_split_before[i] ← False
  for i ← 0 to n − 1 do
    ┌──────────────┐
    │      (P)     │
    └──────────────┘
  return is_split_before[n]
```

(P) を埋めて，この疑似コードを完成せよ．なお，$\mathcal{V}$ が部分配列 $[S[i], S[i+1], \ldots, S[j]]$ を含むかを最悪時間計算量 $\mathcal{O}(1)$ で検証する関数 contain$(\mathcal{V}, S, i, j)$ を用いて良い．

(4) (3) の疑似コードの最悪時間計算量を示せ．

(5) (3) の疑似コードを，各部分配列が $\mathcal{V}$ に含まれ，部分配列数が最小となる $S$ の分割を求めるように修正せよ．条件を満たす全ての分割を復元可能なデータ構造を返せば良い．

## 第４問

損失関数は，機械学習モデルが予測した値と正解値の差異を定量的に評価するときに使われる．多くの種類の損失関数が提案されているので，それぞれの損失関数がどのような種類のデータからの学習に有効なのかを考える．以下，学習データとして $n$ 個の 2 次元データ $\{(x_1, y_1), \cdots, (x_n, y_n)\}$ が与えられ，$y_i$ を $f(x_i)+\epsilon_i$ としてモデル化する場合を想定する．関数 $f$ は多項式関数 ($f: \mathbb{R} \to \mathbb{R}$)，$\epsilon_i$ は誤差を表す．以下の問いに答えよ．

(1) 確率変数 $z$ が平均 $\mu$，分散 $\sigma^2$ の正規分布に従うとき，確率密度関数 $p(z)$ は下記のように表せる．ここで，誤差が平均 0，分散 $\sigma^2$ の正規分布に従うとき，$y$，$f(x)$，$\sigma$ を用いて条件付き確率密度関数 $p(y|x)$ を記述せよ．

$$p(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}}\exp\Big(-\frac{(z-\mu)^2}{2\sigma^2}\Big)$$

(2) 最尤推定を用いて，下記の尤度関数を最大化する $f(x)$ のパラメータ (例えば，一次関数 $f(x) = ax + b$ のパラメータは $a$ と $b$ となる) を見出すことを考える．この計算を通して，平均二乗誤差 (MSE: Mean Squared Error) で表される損失関数が，誤差が平均 0 の正規分布に従うデータからの学習に有効となる理由を説明せよ．

$$\prod_{i=1}^{n} p(y_i|x_i)$$

(3) 確率変数 $z$ が平均 $\mu$，分散 $2b^2$ のラプラス分布に従うとき，確率密度関数 $p(z)$ は下記のように表せる．ここで，平均絶対誤差 (MAE: Mean Absolute Error) で表される損失関数が，誤差が平均 0 のラプラス分布に従うデータからの学習に有効となる理由を説明せよ．

$$p(z) = \frac{1}{2b}\exp\Big(-\frac{|z-\mu|}{b}\Big)$$

(4) MSE は外れ値に影響を受けやすいの対して，MAE はそれにロバストである．その理由を MSE と MAE の式の違いから述べよ．

(5) MAE は (4) であげた利点があるが，$\mathcal{L}_1(y, f(x)) = |y - f(x)|$ と記述される MAE における $\mathcal{L}_1$ 損失関数は，$\mathcal{L}_1(y, f(x)) = 0$ のときに微分不可能であり，$\mathcal{L}_1(y, f(x))$ が 0 に近づいても勾配は一定であるため，細かな最適化が困難である．そこで，MSE と MAE の両方の問題を緩和した下記の Huber 損失関数が提案されている．なお，$\delta$ は定数である．下記の式から，Huber 損失関数は MSE と MAE の両方の問題をどのように緩和しているのかを説明せよ．

$$\mathcal{L}_{Huber}(y, f(x)) = \begin{cases} \frac{1}{2}(y - f(x))^2 & (|y - f(x)| \leq \delta) \\ \delta(|y - f(x)| - \frac{1}{2}\delta) & (\text{otherwise}) \end{cases}$$

## 第５問

以下の問いに答えよ．ただし，$\log_2 3 = 1.6$, $\log_2 5 = 2.3$ として計算せよ．

情報源記号 $A$, $B$, $C$, $D$ をそれぞれ，$\frac{1}{4}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{3}{8}$ の確率で発生させる無記憶定常 4 元情報源 $S$ を考える．

(1) $S$ のエントロピー $H(S)$ を求めよ．

(2) $S$ を 2 元ハフマン符号化する過程を示せ．また，1 情報源記号当たりの平均符号長 $L$ を求めよ．

(3) $S$ の各情報源記号を一意復号可能な 2 元符号に符号化したとき，$H(S)$ と $L$ の間に成り立つ関係について簡潔に説明せよ．

ビット誤り率が $p$ の無記憶定常 2 元対称通信路 (binary symmetric channel, BSC) $W$ を考える．

(4) $p$ を用いて $W$ の通信路容量を表せ．

(5) $W$ において $p = 0.2$ とし，各記号を 3 回繰り返して送信（記号 0 は 000，記号 1 は 111 としてそれぞれ送信）し，多数決によって復号する単純な繰り返し符号による通信路符号化を考える．このとき，(a) 通信路容量，(b) 情報伝送速度，(c) 1 符号語当たりの復号誤り率，を求めよ．

(6) 情報伝送速度 $R$ が，BSC の通信路容量 $C$ 未満である場合，どのような符号が理論的には実現可能か，通信路符号化定理に基づいて簡潔に説明せよ．

(7) 以下を導出せよ．ただし，接続された BSC 間において符号化・復号化は行われないものとする．

 (a) $W$ を 2 個縦続に接続して得られる通信路のビット誤り率は $2p - 2p^2$ となる．

 (b) $W$ を $n$ 個縦続に接続して得られる通信路のビット誤り率は $\frac{1}{2}\left(1 - (1 - 2p)^n\right)$ となる．