

# 北海道大学 大学院情報科学院

## 情報科学専攻 修士課程

### 情報理工学コース

#### 専門科目 2

13 : 00 ~ 15 : 00

#### 受験上の注意

- 本冊子内の4問，問1（アルゴリズムとデータ構造），問2（人工知能），問3（コンピュータシステム），問4（応用数学）のうち，2問を選択し解答すること。
- すべての解答用紙に，受験番号，選択した問題番号（例えば，問3など）を記入すること。
- 選択問題チェック票に受験番号および，選択した科目に印を記入すること。
- 問題冊子はこのページを含めて12枚である。
- 解答用紙は2枚である。この他に下書き用の草案紙2枚を配付する。
- 解答は，問題ごとに別々の解答用紙に記入すること（裏面を使用してもよい。解答用紙を破損したりした場合には試験監督員に申し出ること）。
- 問題冊子，草案紙は持ち帰り，選択問題チェック票とすべての解答用紙を提出すること。
- 机の上に置いてよいものは，筆記用具（鉛筆（黒），消しゴム，鉛筆削り，シャープペンシル（黒）），時計，および特に指示があったもののみである。時計は計時機能のみを使用し，アラームの使用を禁ずる。携帯電話，スマートフォン，タブレット，コンピュータ等は電源を切っただけの中に入れておくこと。電卓，電子辞書等の使用を禁ずる。



問 1. アルゴリズムとデータ構造

[1] 漸近的計算量に関する以下の問いに答えよ. 次の命題 (1)–(5) は, それぞれ正しいか (○) 正しくないか (×) を, 根拠を添えて答えよ. ただし,  $n$  は任意の正整数を表し,  $O$  は漸近的上界 (ビッグオー記法) を表す. また, 対数の底を 2 とする.

- (1)  $4n + 128n^3 + 36 = O(n^2)$
- (2)  $n \cos^2 n - 2n \sin^2 n + \frac{1}{2n+1} = O(n)$
- (3)  $\log(3^n) = O(n)$
- (4)  $2(\log n)^4 + 100\sqrt{n} + 0.5n + 10 = O(n)$
- (5)  $f(n) = O(n^2)$ . ただし,  $f(n)$  は次の漸化式で定義される関数である.

$$f(n) = \begin{cases} 1 & (n = 0 \text{ のとき}), \\ 2f(n-1) & (n \geq 1 \text{ のとき}) \end{cases}$$

[2] 図 1 に示したネットワーク (network) について, 以下の問いに答えよ. ここで, ネットワークは, 辺に非負実数 (nonnegative real) の重み (weight) をもつ無向グラフ (undirected graph) のことをいう.

- (1) 図 1 のネットワークで重みを無視した無向グラフにおいて, その隣接リスト (adjacency list) と隣接行列 (adjacency matrix) を答えよ.
- (2) 図 1 のネットワークにおいて, 最小全域木 (minimum spanning tree) を図示し, その木の辺の重みの総和を答えよ.
- (3) 与えられたネットワークに対して最小全域木を求めるアルゴリズムを 1 つ取り上げ, そのアルゴリズムを 200 文字程度で簡潔に説明せよ. ただし, 説明はアルゴリズムの基本的なアイデアが明確に分かるようにすること (複数のアルゴリズムが考えられるが, 1 つについて説明するだけでよい).

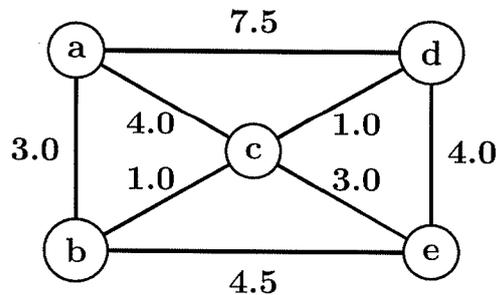


図 1: ネットワーク

(次のページへ続く)

[3] 再帰に関する以下の問いに答えよ。

長さ  $m$  の文字列  $A$  と長さ  $n$  の文字列  $B$  の編集距離 (edit distance, Levenshtein distance) は,  $A$  から  $B$  に変換するのに必要な, 1文字単位の編集操作の回数の最小値である. ここで, 1文字単位の編集操作として, 挿入 (任意の場所に1文字を挿入する), 削除 (任意の場所の1文字を削除する), 置換 (任意の場所の1文字を別の文字に置換する) が許されている.

たとえば, 文字列  $xabc$  と  $abxyz$  の編集距離は 4 であり, 以下の編集操作の系列で  $xabc$  から  $abxyz$  に変換できる.

$$\begin{aligned} xabc &\xrightarrow{1 \text{ 文字目を削除}} abc \xrightarrow{3 \text{ 文字目を } x \text{ に置換}} abx \\ &\xrightarrow{4 \text{ 文字目に } y \text{ を挿入}} abxy \xrightarrow{5 \text{ 文字目に } z \text{ を挿入}} abxyz \end{aligned}$$

文字列  $S$  とその長さ  $|S|$ , 整数  $i, j$  ( $1 \leq i \leq j \leq |S|$ ) に対し,  $S[i:j]$  は,  $S$  の  $i$  文字目から  $j$  文字目までを取り出した部分文字列を表す. たとえば, 文字列  $S = abcde$  に対し,  $|S| = 5$  であり,  $S[2:4]$  は  $bcd$  を表す. また, 例外として,  $S[1:0]$  は, 長さ 0 の空文字列  $\lambda$  を表すとする. 空文字列  $\lambda$  も文字列であり, 以下のように挿入や削除が行える.

$$\begin{aligned} \lambda &\xrightarrow{1 \text{ 文字目に } x \text{ を挿入}} x \\ x &\xrightarrow{1 \text{ 文字目を削除}} \lambda \end{aligned}$$

- (1) 文字列  $hokudai$  を  $hokkaido$  に変換する編集操作の系列を 1 つ示せ.
- (2) 文字列  $A$  を空文字列  $\lambda$  に変換する編集操作の系列を 1 つ示せ.
- (3)  $A$  と  $B$  の編集距離は  $m+n$  以下であることを示せ.
- (4) 整数  $i, j$  ( $0 \leq i \leq m, 0 \leq j \leq n$ ) と文字列  $A, B$  に対し,  $A[1:i]$  と  $B[1:j]$  の編集距離を  $d[i, j]$  と表す. ここで,  $d[i:0]$  および  $d[0:j]$  を求めよ.
- (5) 問 (4) の  $d[i, j]$  について, 整数  $i, j$  ( $1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n$ ) と文字列  $A, B$  に対し,

$$d[i, j] = \begin{cases} 1 + \min\{d[i-1, j-1], d[i-1, j], d[i, j-1]\} & (A[i:i] \neq B[j:j] \text{ の場合}) \\ d[i-1, j-1] & (A[i:i] = B[j:j] \text{ の場合}) \end{cases}$$

が成立する. この式が何を意味するかを説明せよ.

- (6)  $A = udai, B = kaido$  に対し, 問 (4) の  $d[i, j]$  ( $0 \leq i \leq 4, 0 \leq j \leq 5$ ) を求めよ. なお, 解答用紙には, 以下の表を書き, 空欄に各  $d[i, j]$  の値を記入すること. また,  $A$  と  $B$  の編集距離を求めよ.

表

$d[i, j]$	$j = 0$	$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	$j = 4$	$j = 5$
$i = 0$						
$i = 1$						
$i = 2$						
$i = 3$						
$i = 4$						

## 問 2. 人工知能

[1] 次の文章の各空欄に当てはまる語句を下の選択肢群よりそれぞれ一度だけ選んで記号で答えよ。

人工知能 (Artificial Intelligence, AI) 関連技術の急速な発展に伴い、高度な AI が社会において幅広く用いられるようになってきている。特に近年急速に発展している大規模言語モデル (Large Language Model, LLM) は、ベンチマーク問題においては高い精度で回答を出力できるようになってきている。ただし、利用時において事実とは異なる情報や存在しない情報を生成してしまう [①] と呼ばれる現象が起こるため、他の情報とも比較するなど注意をもって利用する必要がある。また、悪意を持った利用者によって現実には存在しない情報をあたかも存在するように生成する [②] にその技術が利用される場合もある。

総務省・経済産業省が取りまとめた「AI 事業者ガイドライン (第 1.1 版)」では、人間中心の原則のもとで、AI システム・サービスの開発・提供・利用を通じ、ステークホルダーの生命・身体・財産に危害を及ぼさないようにすべきであるという [③] 性、特定の個人ないし集団への人種、性別、国籍、年齢、政治的信念、宗教等の多様な背景を理由とした不当で有害な偏見及び差別をなくすよう努めることが重要であるという [④] 性、AI システム・サービスの検証可能性を確保しながら、必要かつ技術的に可能な範囲で、ステークホルダーに対し合理的な範囲で情報を提供することが重要であるという [⑤] 性などを、AI 事業者が確保すべき指針として示している。

[③] 性を確保するための AI システム自体のセキュリティについて、ソフトウェアの [⑥] 性を考慮する必要があるなど従来の情報システムと共通する課題だけでなく、AI 固有のセキュリティ上の課題についても対処する必要がある。例えば、[⑦] と呼ばれる LLM への入力について、攻撃者が直接的もしくは間接的に悪意ある指示を埋め込む [⑦] インジェクションと呼ばれる攻撃手法が存在する。また、LLM の学習モデルを構築するために必要となるデータに悪意のあるものを潜り込ませるデータポイズニング (Data Poisoning) のリスクも考えられ、追加の学習によりモデルを微調整する [⑧] の過程や、回答文を生成する際に外部のデータベースや文書から情報を取得する [⑨] を併用する場合においても、そのような攻撃の可能性が考えられる。さらに、モデルのパラメータを直接操作するモデルポイズニング (Model Poisoning) のリスクもあり、ニューラルネットワークの [⑩] などのパラメータを操作する攻撃手法や、アルゴリズムやプログラムの [⑥] 性を利用する攻撃手法なども想定される。

[④] 性を確保するためには、学習データに含まれる [⑪] への配慮が求められるだけでなく、AI のアルゴリズムそのものが持っている [⑪] も考慮する必要がある。

[⑤] 性の確保のためには、検証可能性を確保するため、AI の学習プロセス、推論過程、判断根拠等の [⑫] を記録・保存すること加えて、関連するステークホルダーへの情報提供や、システムアーキテクチャの文書化などの取り組みが開発者・提供者に求められる。

### 選択肢群

(a) 検索拡張生成 (Retrieval Augmented Generation, RAG), (b) 脆弱, (c) 安全, (d) 公平, (e) ファインチューニング, (f) ハルシネーション, (g) ログ, (h) 透明, (i) バイアス, (j) デイープフェイク, (k) プロンプト, (l) 重み

(次のページへ続く)

[2] ニューラルネットワーク (Neural Network, NN) に関する以下の問いに答えよ.

(1)  $x$  を入力値とする標準シグモイド関数 (標準ロジスティック関数) を記述せよ.

(2)  $x_i (i = 1, 2, \dots, N)$  を入力値とするとき, 次式で表される出力値  $y_i (i = 1, 2, \dots, N)$  について考える.  $e$  は自然対数の底である.

$$y_i = \frac{e^{x_i}}{\sum_{k=1}^N e^{x_k}}$$

この時, 以下の式が成り立つことを示せ.

$$\frac{\partial y_i}{\partial x_j} = \begin{cases} y_i(1 - y_i) & i = j \\ -y_i y_j & i \neq j \end{cases}$$

(3) ある値を予測する NN を考える. Table 1 で示された NN によって得られた予測値とその実測値から Mean Absolute Error (MAE) を算出せよ.

Table1: 予測値と実測値

予測値	実測値
4	3
2	4
3	3
5	6
1	2

(次のページへ続く)

[3] 強化学習に関する以下の問いに答えよ。

(1) 以下の記号を使用して、深層 Q ネットワーク (Deep Q-Network, DQN) における損失関数  $L(\theta)$  の式を記述せよ。ここで、リプレイバッファとは、複数のエピソードから得られる経験を保存したものである。

$L(\theta)$  : Q 関数のパラメータ  $\theta$  に対する損失関数

$r_{t+1}$  : 時刻  $t+1$  における報酬

$\gamma$  : 割引率

$s_t$  : 時刻  $t$  における状態

$a_t$  : 時刻  $t$  における行動

$\theta$  : Q ネットワークのパラメータ

$\theta^-$  : ターゲットネットワークのパラメータ

$E_{s_t, a_t, r_{t+1}, s_{t+1}}[*]$  : リプレイバッファからサンプリングした経験  $(s_t, a_t, r_{t+1}, s_{t+1})$  に関する期待値 (平均) を意味する。

(2) 次の擬似コードは、DQN アルゴリズムにおける Q 関数の学習手順の一部である。空白部分を埋めて完成させよ。

入力: リプレイバッファ  $D = \{(s_t, a_t, r_{t+1}, s_{t+1})\}$ , Q ネットワークのパラメータ  $\theta$ , ターゲットネットワークのパラメータ  $\theta^-$ , 学習率  $\alpha$ , 割引率  $\gamma$ , エポック数  $N$

```

1: for  $i = 1$  to  $N$  do
2:    $B \leftarrow D$  からランダムにミニバッチをサンプリング
3:   for each  $(s_t, a_t, r_{t+1}, s_{t+1}) \in B$  do
4:      $y \leftarrow r_{t+1} + \gamma \times \max_a Q(s_{t+1}, a; \text{①})$ 
5:      $L \leftarrow (y - Q(s_t, a_t; \theta))^2$ 
6:      $\theta \leftarrow \theta - \alpha \times \nabla \theta_L$ 
7:   end for
8:   一定ステップごとに  $\theta^- \leftarrow \text{②}$ 
9: end for
    
```

問 3. コンピュータシステム

[1] 論理回路に関する以下の問いに答えよ.

論理変数  $A$  を 3 ビットの符号無し 2 進数整数,  $S$  を 4 ビットの符号無し 2 進数整数とし, それぞれのビット表現を  $A_2A_1A_0$  および  $S_3S_2S_1S_0$  で表す. ただし, 最下位ビットはそれぞれ,  $A_0$  および  $S_0$  である. 1 ビット 2 進数の制御信号を  $X$  とするとき,  $X=1$  のときに入力  $A$  に対して 1 を加えた結果を  $S$  に出力し,  $X=0$  のときに  $A$  をそのまま  $S$  に出力するインクリメント器を作成したい. 以下の問いに答えよ.

(1) 以下の真理値表を完成させ, 解答用紙に転記せよ.

信号 X	入力			出力			
	$A_2$	$A_1$	$A_0$	$S_3$	$S_2$	$S_1$	$S_0$
0	0	0	0				
0	0	0	1				
0	0	1	0				
0	0	1	1				
0	1	0	0				
0	1	0	1				
0	1	1	0				
0	1	1	1				
1	0	0	0				
1	0	0	1				
1	0	1	0				
1	0	1	1				
1	1	0	0				
1	1	0	1				
1	1	1	0				
1	1	1	1				

(2) 上記の真理値表をカルノー図で簡略化した論理式を,  $S_0, S_1, S_2$  および  $S_3$  についてそれぞれ標準積和形で示せ. 簡略化に用いたカルノー図も解答用紙に図示せよ.

(次のページへ続く)

[2] コンピュータにおける数の表現に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 2 の補数表現を用いて、10 進数の -12 (マイナス 12) を 6 ビットの 2 進数で表せ。
- (2) 10 進数の 0.2 を 6 ビットの符号なし固定小数点形式による 2 進数で表せ。  
 なお、小数点位置は 1 ビット目と 2 ビット目の間とし、誤差が生じる場合にはその値も記すこと。

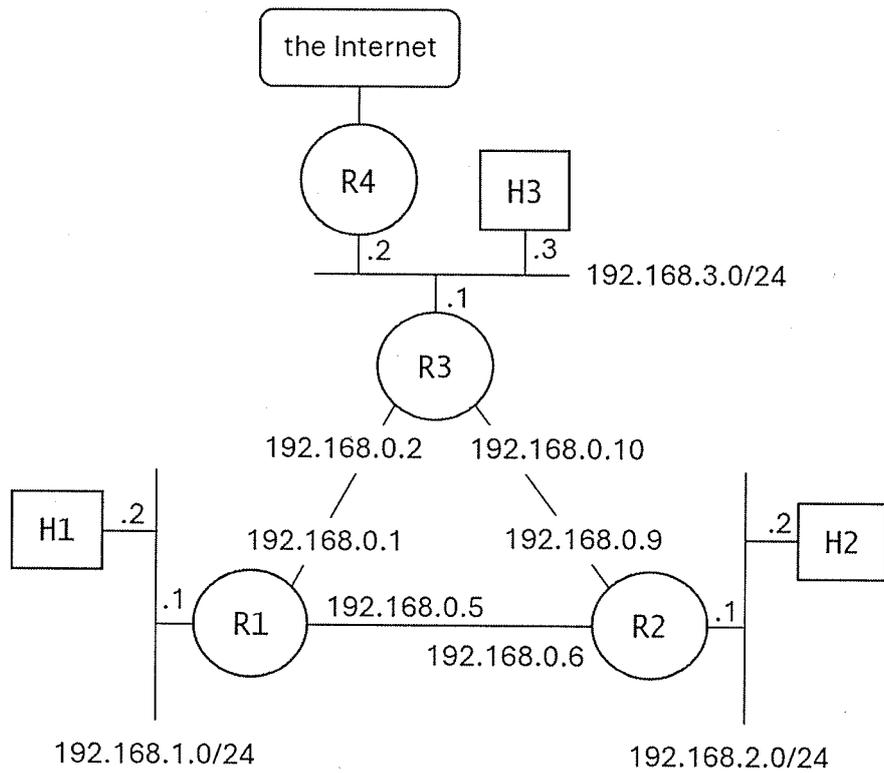
[3] オペレーティングシステムに関する以下の問いに答えよ。

- (1) プロセスとスレッドの違いについて説明せよ。
- (2) プロセスの CPU スケジューリングにおける実行 (running) 状態、実行可能 (runnable) 状態、およびブロック (blocked) 状態についてそれぞれ説明せよ。また、各状態間の遷移関係についても説明せよ。図を用いて説明してもよい。
- (3) プロセス内の仮想メモリにおけるコード (code) 領域、データ (data) 領域 (初期化済み・未初期化を含む)、ヒープ (heap) 領域、およびスタック (stack) 領域についてそれぞれ説明せよ。
- (4) 上記のそれぞれの仮想メモリ領域について、典型的にどのようなアクセス権が設定されるか、読み込み (read) 可能、書き込み (write) 可能、および実行 (execute) 可能の用語を使用して説明し、理由についても述べよ。

[4] コンピュータネットワークに関する以下の問いに答えよ。

- (1) 次のページに示すネットワーク構成図と経路表をもつ IPv4 ネットワークを考える。なお、ネットワーク構成図において H1~H3 はホストを示し、R1~R4 はルータを示す。また、図中の「.1」等は IP アドレスのホストアドレス部を示す。例えば、H1 の IP アドレスは 192.168.1.2 となる。経路表中の「ゲートウェイ」に「-」と書かれている行は、当該ルータもしくはホストが「目的地のネットワークアドレス」で示すネットワークと直結しており、いずれかのルータによる中継が不要であることを示す。
  - (i) H1 から H2 に IP データグラムを送信する際の経路を答え、経路が決定される過程を説明せよ。解答様式は、「H1→\_\_\_\_\_→H2」の空欄を埋めた経路を記載した後に、経路が決定される過程を数行の文章で説明すること。

(次のページへ続く)



ネットワーク構成図

R1 の経路表

行数	目的地のネットワークアドレス	ゲートウェイ
1	0.0.0.0/0	192.168.0.2
2	192.168.1.0/24	—
3	192.168.2.0/24	192.168.0.6
4	192.168.3.0/24	192.168.0.2

R2 の経路表

行数	目的地のネットワークアドレス	ゲートウェイ
1	0.0.0.0/0	192.168.0.10
2	192.168.1.0/24	192.168.0.5
3	192.168.2.0/24	—
4	192.168.3.0/24	192.168.0.10

R3 の経路表

行数	目的地のネットワークアドレス	ゲートウェイ
1	0.0.0.0/0	192.168.3.2
2	192.168.1.0/24	192.168.0.1
3	192.168.2.0/24	192.168.0.9
4	192.168.3.0/24	—

H1 の経路表

行数	目的地のネットワークアドレス	ゲートウェイ
1	0.0.0.0/0	192.168.1.1
2	192.168.1.0/24	—

(次のページへ続く)

- (ii) R1 と R2 を接続する通信リンクに障害が生じた結果、R1 の経路表の 3 行目と、R2 の経路表の 2 行目のエントリーが共に削除された状況を考える。このとき、H1 から H2 に IP データグラムを送信する際の経路を答え、経路が決定される過程を説明せよ ((i)と同様の解答様式で解答すること)。
  - (iii) R1 と R3 を接続する通信リンクに障害が生じた場合、迂回経路が利用できず、H1 と H3 間を含めた多数のホスト間の通信ができなくなる。障害発生時に通信を継続するためには動的経路制御技術を導入する必要がある。そのような動的経路制御の概要を説明せよ。
- (2) トランスポート層プロトコル TCP の正式名称を英語で示し、その機能を簡潔に説明せよ。

### 問 4. 応用数学

以下の問いに答えよ。ただし、答えだけでなく導出の過程も分かるように解答すること。

[1]  $e$  を自然対数の底とする。微分形式

$$2xye^y dx + x^2(1+y)e^y dy$$

が  $\mathbb{R}^2$  上で完全であることを示せ。すなわち、 $\frac{\partial F}{\partial x} = 2xye^y$ ,  $\frac{\partial F}{\partial y} = x^2(1+y)e^y$  となる  $\mathbb{R}^2$  上で定義された 2 変数関数  $F(x, y)$  が存在することを示せ。

[2] 未知関数  $f(x, y)$  に対する次の方程式をラプラス方程式と呼ぶ:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} f + \frac{\partial^2}{\partial y^2} f = 0.$$

(1) 次を満たす  $\mathbb{R}^2$  から  $\mathbb{R}$  への  $C^\infty$  級関数  $u(x, y)$ ,  $v(x, y)$  を考える:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} u &= \frac{\partial}{\partial y} v. \\ \frac{\partial}{\partial y} u &= -\frac{\partial}{\partial x} v. \end{aligned}$$

このとき、 $u(x, y)$  と  $v(x, y)$  は、ラプラス方程式の解であることを示せ。

(2)  $\mathbb{R}^2$  から  $\mathbb{R}$  への関数  $u(x, y)$ ,  $v(x, y)$  を次で定義する:

$$u(x, y) + iv(x, y) = e^x(\cos(y) + i \sin(y)).$$

ただし、 $i$  は虚数単位を、 $e$  は自然対数の底をそれぞれ表す。このとき、 $u(x, y)$  と  $v(x, y)$  は、ラプラス方程式の解であることを示せ。

[3]  $p(t)$  を次で定義する:

$$p(t) = \begin{cases} 1 & (t \geq 1) \\ 0 & (t < 1). \end{cases}$$

このとき

$$f(t) = p(t)t \quad (t \geq 0)$$

のラプラス変換を求めよ。すなわち、 $\int_0^\infty e^{-st} f(t) dt$ , および、これが収束するための複素数  $s$  に対する条件を求めよ。ただし、 $e$  は自然対数の底とする。

[4] 次の複素ベキ級数の収束円について、その中心と収束半径を求めよ:

$$\sum_{n=0}^{\infty} (n+1)(z+1)^n.$$