

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10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てかばんの中に入ること。電卓、電子辞書等の使用を禁ずる。

このページは白紙です。

問 1. アルゴリズムとデータ構造

[1] 次の言明 (1)–(5) は、それぞれ正しいか (○) 正しくないか (×) を、理由を添えて答えよ。ただし、 n は任意の非負整数を表す。

- (1) $12n^2 + 10n + 127 = O(n^2)$ (2) $(n+1)(2\log n + 10n + 100) = O(n)$
 (3) $\sin^2 n + \cos^2 n + \frac{48}{n+1} = O(1)$ (4) $100\sqrt{n} + 139 = O(\log n)$
 (5) $4^n + n^3 = O(2^n)$

[2] 二分木に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 図 1 に示した二分木を、根から出発して深さ優先探索したときに、前順 (行きがけ順, pre-order), 中順 (通りがけ順, in-order), 後順 (帰りがけ順, post-order), それぞれの巡回 (traversal) を用いたときに、出力される要素の列を書け。

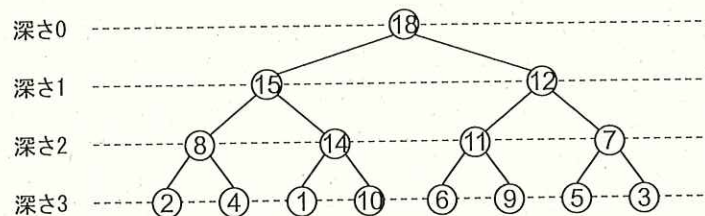


図 1: 二分木

- (2) 図 1 に示したような頂点数 n の二分木の配列への格納を考える。このとき、格納しようとする二分木は、次の条件 (i)–(iii) を満たすと仮定する：(i) 木の各頂点が整数値である要素をもつ。(ii) すべての葉が同じ深さ (depth) をもつ。(iii) 葉でないすべての頂点の子の数は 2 である。この二分木の頂点がもつ要素を、次のように長さ n の整数配列 $A = A[1] \cdots A[n]$ に格納するものとする：

- 木の根は $A[1]$ に対応する。
- ある頂点が配列の要素 $A[i]$ に対応するとき、その左の子は $A[2i]$ に対応し、その右の子は $A[2i+1]$ に対応する。ただし、 i は $1 \leq i \leq (n-1)/2$ を満たす整数である。

このとき、図 1 に示した二分木を上記の方法で格納して得られる配列を図示せよ。

- (3) 上の (2) で得られた配列 A において、ある頂点が要素 $A[i]$ に対応するとき、その親に対応する配列の要素を、 A と i を用いて表せ。ただし、 i は $2 \leq i \leq n$ を満たす整数である。
- (4) データ構造の一つであるヒープ (heap) について、120 文字程度で簡潔に説明せよ。

(次ページに続く)

[3] 図2に示したネットワーク（辺に非負実数重みをもつ無向グラフ）について、以下の問いに答えよ。

- (1) 図2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) を与えよ。
- (2) 頂点 a から頂点 a, b, c, d, e, f のそれぞれへの最短路長 (shortest-path length) を与えよ。また、頂点 a からの最短路木 (shortest-path tree) を図示せよ。ただし、路の長さは、それが含むすべての辺の重みの総和とする。
- (3) ダイクストラ法は、ネットワークにおいて、すべての頂点 v に対して、指定された頂点 s から頂点 v への最短路長 $D(v)$ を求めるアルゴリズムである。ダイクストラ法を、200文字程度で簡潔に説明せよ。

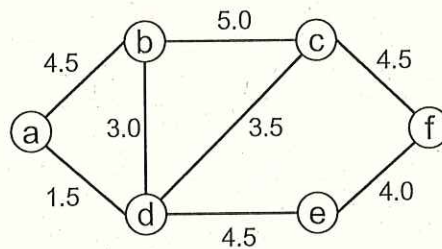


図2: ネットワーク

問 2. 人工知能

[1] 次の文章の空欄に当てはまる語句を下の選択肢群より選んで記号で答えよ。

近年, OpenAI が開発した ChatGPT をはじめとする大規模言語モデル(LLM)の進歩が著しい。この進歩の背景には, パラメータ数や構成に多少の違いがあるものの, 共通して LLM が [①] の技術をベースとしていることが挙げられる。[①] は 2017 年に Vaswani 等によって発表された画期的な論文「[②] is all you need」で提案されたものであり, 基本的には従来の [③] や [④] を排除し, [②] メカニズムのみで構築されている。

オリジナルの [①] は [⑤] と [⑥] の 2 つの主要部分から構成されており, 特に「どこに注目するか」を重視する [②] 機構を中心に据えている。[⑤] は, 入力テキストを処理するうえで重要な構成要素であり, 入力テキストを単語や文字などの [⑦] に分割し, さらに各 [⑦] を [⑧] に変換する。この過程で [⑨] と [⑩] を活用する。[⑥] は [⑤] が生成した [⑧] をもとに目的のテキストを生成する役割を担っており, [⑨], [⑩], [⑪] から構成されている。このような構造により, [①] は大規模なデータセットに対しても効率的に学習を行うことが可能である。また, 大規模な [⑫] 処理に向けたモデルであるため, [⑬] を用いた高速処理が可能となり, 従来のモデルに比べて学習時間を大幅に短縮できる点も特徴である。

このような技術的進歩により, LLM は自然言語処理 (NLP) のさまざまな分野で革命をもたらしている。例えば, 文章生成, 翻訳, 要約, 質問応答などの多岐にわたるタスクで高い性能を発揮している。今後もこの分野の研究は進み, より高度な応用が期待されている。

一方で, LLM など大規模に学習させる際に必要とされる [⑭] が問題になりつつある。IEA (国際エネルギー機関) が発表したレポートによると, 世界の多くのデータセンターでは, 生成 AI などの影響で [⑭] 需要が急速に伸びている。さらに, 環境への影響も深刻な懸念事項である。例えば, データセンターの冷却には大量の [⑮] が使用されることが多く, [⑮] 資源の枯渇問題が顕在化しつつある。

このような状況に対処するため, 環境負荷を軽減する持続可能なエネルギー源の導入や, 省エネ技術の開発が急務となっている。持続可能な未来を実現するためには, 技術の発展と環境保護の両立が不可欠である。このバランスを取ることで, 私たちは先進的な技術の恩恵を享受しつつ, 地球環境を守ることができるだろう。

選択肢群

- (a) 水, (b) トークン, (c) Encoder, (d) 畳み込み, (e) Decoder, (f) 並列, (g) Transformer, (h) 再帰, (i) 電力, (j) 全結合フィードフォワードネットワーク, (k) Attention, (l) Encoder-Decoder-Attention 層, (m) Self-Attention 層, (n) Graphics Processing Unit (GPU), (o) 高次元ベクトル表現

(次のページへ続く)

[2] 強化学習における Q 学習 (Q-Learning) と TD 学習 (Temporal Difference Learning) について、以下の問いに答えよ。

- (1) Q 学習と TD 学習にはいくつかの違いがある。以下の文が Q 学習と TD 学習のどちらの説明であるかを答えよ。
- ① オンポリシーの学習アルゴリズムであり、現在の方策に従って生成された履歴からのみ学習する。
 - ② オフポリシーの学習アルゴリズムであり、現在の方策とは異なる最適な方策を学習することができる。
 - ③ モデルフリーで、環境の遷移確率や報酬関数を利用しない。
 - ④ モデルベースで、環境の遷移確率や報酬関数が必要である。
- (2) エージェントが状態 S_t において行動 A_t を選択し、報酬 R_{t+1} を得て、状態 S_{t+1} に遷移したとする。このときの TD 学習における状態価値関数 $V(S_t)$ の更新式を示せ。ここで学習率を $\alpha (0 < \alpha < 1)$, 割引率を $\gamma (0 < \gamma < 1)$ とする。

なお、同様の条件で、Q 学習における行動価値関数 $Q(S_t, A_t)$ の更新式は以下のとおりとなる。

$$Q(S_t, A_t) \leftarrow (1 - \alpha)Q(S_t, A_t) + \alpha[R_{t+1} + \gamma \max_a Q(S_{t+1}, a)]$$

- (3) Q 学習と TD 学習の違いを、更新の対象、将来の報酬の評価、収束性の観点から、150 字程度で述べよ。

(次のページへ続く)

[3] ニューラルネットワークに関する以下の問いについて、正しい答えを選択肢群より 1 つ選び記号で答えよ。

(1) 次の活性化関数の名前を答えよ。

① $f(x) = \max(0, x)$

② $f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$

③ $f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$

(2) 次の評価指標の名前を答えよ。ただし、 TP , FP , FN , TN は以下の表 1 に従う。

表 1

① $\frac{TP}{TP+FN}$

② $\frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN}$

③ $\frac{TP}{TP+FP}$

		モデルの推定結果	
		陽性	陰性
真値	陽性	True Positive (TP)	False Negative (FN)
	陰性	False Positive (FP)	True Negative (TN)

(3) 次の誤差関数の名前を答えよ。

① $E = -\sum_x p(x) \log q(x)$

ここで、 p は真の確率、 q は推定した確率、 x はカテゴリーを意味する。

② $E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2$

ここで、 \hat{y}_i は予測値、 y_i は正解値、 n はサンプル数を意味する。

選択肢群

- (a) recall, (b) hinge loss, (c) cross entropy loss, (d) rectified linear function,
 (e) softmax, (f) standard logistic function, (g) accuracy, (h) f-measure,
 (i) mean squared error (MSE), (j) hyperbolic tangent (tanh),
 (k) stochastic gradient descent (SGD), (l) precision, (m) mean absolute error (MAE)

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.

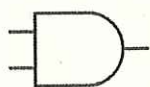
1 桁の10進数整数 A を4ビットの符号無し2進数整数で表し, そのビット表現を $A_3A_2A_1A_0$ とする. ただし, 最下位ビットは A_0 である. A が素数であるときに $X=1$, 素数でないときに $X=0$ を出力する回路を作成したい. 以下の問いに答えよ.

(1) 以下の真理値表を完成させ, 解答用紙に転記せよ. ただし, don't care を利用する場合は「*」または「-」を記すこと.

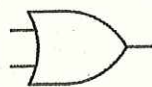
入力				出力
A_3	A_2	A_1	A_0	X
0	0	0	0	
0	0	0	1	
0	0	1	0	
0	0	1	1	
0	1	0	0	
0	1	0	1	
0	1	1	0	
0	1	1	1	
1	0	0	0	
1	0	0	1	
1	0	1	0	
1	0	1	1	
1	1	0	0	
1	1	0	1	
1	1	1	0	
1	1	1	1	

(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.

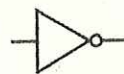
(3) 簡略化した論理式に対応する論理回路を, 以下の論理ゲートを用いて作成し, 解答用紙に図示せよ. 各ゲートは複数回用いてもよい.



ANDゲート



ORゲート



NOTゲート

(次のページに続く)

[2] コンピュータの数の表現に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 10 進数の 237 を 7 進数で表せ。
- (2) 10 進数の 0.3125 を 2 進数に変換せよ。なお、無限小数（循環小数を含む）となる場合には、小数点以下 6 桁までで計算を打ち切ること。
- (3) 浮動小数点方式における正規化とは何か説明せよ。

[3] オペレーティングシステムに関する以下の記述について、記述の誤りの有無を指摘し、誤りである場合はその理由を説明せよ。なお、Linux または Windows の汎用オペレーティングシステムを想定し、解答すること。

- (1) 入出力装置からプロセッサへの割り込みが発生した時点では、どの種類の割り込みか分からないので、唯一の割り込みハンドラが受け付けを行い、処理を振り分ける。
- (2) プロセスごとに仮想アドレス空間が用意されている。
- (3) ロックやセマフォなどの相互排除の仕組みはソフトウェアのみで実現されている。

[4] 複数の IP ネットワークに接続された 1 台のルータ R を考える。ルータ R のルーティングテーブルは以下に示す通りである。

ネットワークアドレス	ゲートウェイ
0.0.0.0 /0	A
172.18.0.0 /16	B
172.18.10.0 /24	C
172.18.10.16 /28	D

このとき以下の問いに答えよ。

- (1) ルータ R に目的地 172.16.2.1 の IP パケットが到着した。この IP パケットのゲートウェイとして最適なものを A~D から 1 つ選び、記号で示せ。またその理由を簡潔に説明せよ。
- (2) ルータ R に目的地 172.18.10.5 の IP パケットが到着した。この IP パケットのゲートウェイとして最適なものを A~D から 1 つ選び、記号で示せ。またその理由を簡潔に説明せよ。
- (3) IP パケットがルーティングされるたびに、その IP パケットのヘッダに記載される TTL はルータによってデクリメントされる。その理由を簡潔に説明せよ。

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] \mathbb{R} から \mathbb{R}^3 への写像 \mathbf{r} を, $t \in \mathbb{R}$ に対し $\mathbf{r}(t) = (\cos(t), \sin(t), t)$ で定義する. 以下の問いに答えよ:

- (1) $s > 0$ とする. \mathbb{R}^3 内の曲線 $\mathbf{r}(t)$ ($0 \leq t \leq s$) の長さを求めよ.
- (2) \mathbb{R}^3 内の曲線 $\mathbf{r}(t)$ ($0 \leq t \leq 2\pi$) について, 点 $\mathbf{r}(t)$ における曲率を求めよ.

- [2] u を $u(x, t) = \sin(2\pi x)e^{-t}$ で定義される \mathbb{R}^2 上の関数とする. このとき, $u(x, t)$ は熱方程式

$$\frac{\partial}{\partial t} u = \frac{1}{4\pi^2} \frac{\partial^2}{\partial x^2} u$$

の解であることを示せ.

- [3] 関数 $f(t) = \sinh(t)$ ($t \geq 0$) 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 は自然対数の底を表すとし, $\sinh(t) = \frac{e^t - e^{-t}}{2}$ 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:

$$\sum_{n=1}^{\infty} n z^n.$$