

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8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（黒鉛筆、消しゴム、鉛筆削り）、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しまうこと。電卓、電子辞書などは使用を禁ずる。

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。ここに、 n は任意の正整数を表す。また、対数の底を 2 とする。

(1) $5n^2 + n + 10 = O(n^2)$

(2) $(3n + 2)(n + 2^{10} \log n) = O(n^2)$

(3) $2^{(2^n)} = O(4^n)$

(4) $2^{\log n} = O(n)$

(5) $3 \log n + 10 \log(n^2) = O(\log n)$

[2] 二分木に関する以下の問いに答えよ。なお、二分木にはただ 1 つの根がある。また、根から最も遠い葉に至るまでの経路に含まれる辺の本数を木の高さといい、根のみからなる木の場合には高さは 0 である。

(1) 図1は頂点数 5 の二分木の例である。この木の高さを答えよ。

(2) 頂点数 5 で高さが最大となる二分木を1つ図示し、その木の高さを答えよ。

(3) h を非負整数とする。このとき、高さ h の二分木が取り得る頂点数の最小値と最大値を、それぞれ h の関数として与えよ。理由を添えて答えよ。

(4) n を正整数とする。このとき、頂点数 n の二分木が取り得る高さの最小値と最大値を、それぞれ n の関数として与えよ。理由を添えて答えよ。

[3] ネットワーク（辺に非負実数重みをもつ無向グラフ）に関する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) 図2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。)

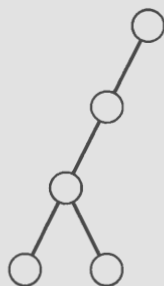


図1: 二分木

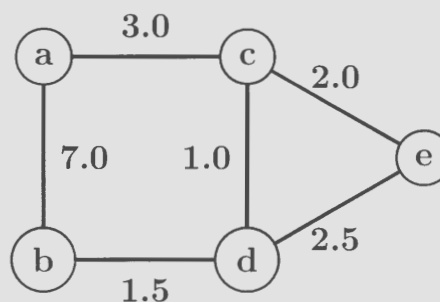


図2: ネットワーク

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。

近年の AI(人工知能) 技術の発展は目を見張るものがある。ここでは、この AI 技術の発展を特に、言語・知識系の研究分野と、その成果を応用した対話システムに注目して概観する。

ニューラルネットワーク中のどの部分（特定の単語など）に注目するかを動的に決定する〔1〕が考案され、言語の出力系列生成の品質向上につながった。この〔1〕を最大限に生かした新しい深層学習モデルとして、2017 年に〔2〕が Google から発表された。〔2〕は、RNN(Recurrent Neural Network)や CNN(Convolutional Neural Network)を使わずに、〔1〕で構成した深層学習モデルである。RNN や CNN より計算量が抑えられ、訓練が容易で、並列処理もしやすく、複数の言語現象を効率良く扱えて、文章中の長距離の〔3〕も考慮しやすいといった特長を持つ。

ニューラルネットワークを用いた自然言語処理で高い精度を達成するには、大量の訓練データが必要だが、さまざまなタスクのおおのについて大量の訓練データを用意することは容易なことではない。そこでまず、さまざまなタスクに共通的な汎用性の高いモデルを大量のラベルなしデータで〔4〕しておき、それをベースに個別のタスクごとに少量のラベル付きデータでの〔5〕を行うというアプローチが取られるようになった。この〔4〕で作られた〔2〕型の深層学習モデルは、2018 年に Google から発表された〔6〕以降、自然言語処理においてスタンダードになった。

言語モデルの規模を表すパラメータ数は、〔6〕の場合、3.4 億個であったが、2020 年に OpenAI から発表された〔7〕では、事前学習に 45TB のデータを用い、モデルのパラメータ数は 1750 億個となった。これらは大規模なパラメータを持つことから〔8〕と呼ばれるが、高い汎用性を示すことから〔9〕とも呼ばれるようになった。また、〔7〕においては、それまでの GPT アーキテクチャと同様に後続の系列を予測する自己回帰型の自己教師あり学習が用いられた。タスクごとの〔5〕をせずとも、最初に入力する系列にタスクの記述や事例を含めることを意味する〔10〕により複数のタスクに対応することを〔11〕学習と呼び、言語モデルの汎用的な活用が開拓された。

さらに、2022 年 11 月末に OpenAI から〔12〕が Web 公開された。OpenAI が 2020 年 6 月に発表した GPT-3.5 に人間のフィードバックを用いた強化学習の一つである〔13〕を加え、対話システムとして〔5〕されたものだということである。入力された質問に対してまるで人間が書いたかのような自然な文章で説明を返し、用途に応じたテキスト（論文・電子メール・〔14〕など）の作成にも活用できる。しかし、その性能に驚く一方、誤った内容をもっともらしく回答するケースも見られ（特に〔15〕で間違えるケースが見られる）、誤って信じてしまうリスクやそれが悪用されるリスクが懸念される。

選択肢群

(a) BERT, (b) 事前学習(Pre-Training), (c) 大規模言語モデル(Large Language Model: LLM), (d) アテンション機構, (e) ChatGPT, (f) 基盤モデル(Foundation Model), (g) 追加学習(Fine Tuning), (h) プロンプト, (i) トランスフォーマー(Transformer), (j) GPT-3(Generative Pretrained Transformer), (k) RLHF(Reinforcement Learning from Human Feedback), (l) ゼロショット, (m) 計算や演繹推論, (n) プログラムコード, (o) 依存関係

(次のページへ続く)

[2] エージェントの Q 学習について考える. ある時刻 t におけるエージェントの状態を $s_t \in S$ とし, その時に取りうる行動を $a \in A$, その行動価値を $Q(s_t, a)$, 方策を $\pi(s_t, a)$ とする. この時, 状態遷移は有限マルコフ決定過程に従うものとする. また, 時刻 t に得られる報酬を $r_t \in \mathbb{R}$, 学習率を $\alpha_t \in \mathbb{R}$, 割引率を $\gamma_t \in \mathbb{R}$ と表すものとする. ただし, $\sum_{t=0}^{\infty} \alpha_t \rightarrow \infty$, $\sum_{t=0}^{\infty} \alpha_t^2 < \infty$, $0 \leq \gamma_t \leq 1$ を満たす. この時, 以下の問いに答えよ.

- (1) 状態遷移が有限マルコフ決定過程であるということはどういうことか簡単に説明せよ.
- (2) 式を用いて方策 $\pi(s_t, a)$ の例を一つ示せ.
- (3) エージェントが状態 s_t において取った行動を a_t とする時, 行動価値 $Q(s_t, a_t)$ の更新を式で示せ.
- (4) すべての状態と行動の組が無限に繰り返されて行動価値が更新される時, 最終的に行動価値はどのような値に収束するか答えよ.

[3] ニューラルネットワークの教師あり学習について, 以下の問いに答えよ.

- (1) 次の学習プロセス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.
 - (i) 入力層に入力信号を与えて順方向に中間層の出力を計算し, 出力層からの出力を計算する.
 - (ii) 出力層からの出力と教師信号との誤差から ① の値を計算する.
 - (iii) ② を用いて出力層から入力層に向かう逆方向に各ユニット間の ③ に対する ④ を計算する.
 - (iv) ① の値を最小化するために, ⑤ を適用して各ユニット間の ③ を更新する.
 - (v) 終了条件を満たすまで(i)-(iv)を繰り返す.

選択肢群

- (a) 誤差逆伝播法 (b) 損失関数 (c) 最急降下法 (d) 勾配 (e) 重み

- (2) 上記の学習プロセスにおいて更新する重みを w_i , 学習率を α , 損失関数を $L(\cdot)$ とする時, 偏微分を用いて最急降下法による重みの更新式を示せ.
- (3) 活性化関数にシグモイド関数がよく使われるのはなぜかを簡単に説明せよ.
- (4) 最急降下法は使用するサンプルの数により, バッチ最急降下法と確率的な最急降下法がある. その違い, およびそれぞれメリットとデメリットを簡単に説明せよ.

問 3. コンピュータシステム

[1] 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 -4 (マイナス 4) を 5 ビットの 2 進数で表せ.
- (2) 固定小数点方式と浮動小数点方式について, それぞれどのような数値表現方式か簡潔に記述せよ.

[2] キャッシュメモリに関する以下の問いに答えよ。

- (1) キャッシュメモリはキャッシュライン (キャッシュブロック) を単位として管理される. キャッシュメモリのデータ格納構造としてよく用いられるセットアソシアティブ方式とはどのような方式か簡潔に記述せよ.
- (2) キャッシュメモリのスラッシングとはどのような現象か, アプリケーションが受ける影響を含めて簡潔に記述せよ.

[3] IP ネットワークのあるサブネットに接続されたホスト A を考える. ホスト A の IP アドレスとサブネットマスクは 10 進ドット記法で以下に示す通りである.

IP アドレス 10.1.4.139 サブネットマスク 255.255.255.192

このとき以下の問いに答えよ。

- (1) このサブネットのブロードキャストアドレスの下位 8 ビットを 16 進数で表せ.
- (2) このサブネットにはホスト A を含めて最大何台のホスト (ルータも含む) が接続できるか求めよ. 計算の過程も示すこと.
- (3) このサブネットを同じ大きさの 4 つのサブネットにさらに分割することを考える. このとき分割で得られる 4 つのサブネットのネットワークアドレスを求め, それぞれ 10 進ドット記法で示せ.

(次ページへ続く)

[4] 下記の3つのOSスケジューラに関する以下の問いに答えよ。

- a) First Come, First Served (FCFS)
- b) Shortest Job First (SJF)
- c) Round-Robin (RR)

- (1) 表1の到着時刻および処理時間のジョブを実行する場合のスケジューリング結果をそれぞれ図示せよ。なお、FCFS及びSJFはノンプリエンプティブ、RRはプリエンプティブなスケジューラとし、ジョブ切り替えに伴うオーバーヘッドは無視できるものとする。また、RRのタイムクォンタムは3とする。

表1. ジョブの到着時刻及び処理に要する時間

ジョブ	到着時刻	処理に要する時間
A	0	12
B	1	6
C	2	3

- (2) それぞれのスケジューラにおける平均ターンアラウンド時間及び平均レスポンス時間を計算して示せ。計算過程についても記述せよ。
- (3) 現実のOSスケジューラでは、優先度付きのスケジューリングが広く用いられる。優先度付きのスケジューリングにおいて、スタベーション（飢餓状態）の問題はどのような場合に発生するか、またその解決案も簡潔に記述せよ。

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] $D = \{ (x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid x^2 + y^2 < 4 \}$ とし, C を $\mathbf{r}(t) = (\sin(t), \cos(t))$ ($0 \leq t \leq \pi$) で定義される D 内の曲線とする. このとき, 以下の問いに答えよ:

(1) 微分形式

$$\cos(x)y^2 dx + 2 \sin(x)y dy$$

が D 上で完全であることを示せ. すなわち, $\frac{\partial F}{\partial x} = \cos(x)y^2$, $\frac{\partial F}{\partial y} = 2 \sin(x)y$ となる D 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) 線積分

$$\int_C \cos(x)y^2 dx + 2 \sin(x)y dy$$

を求めよ.

- [2] u を $u(x, y) = \sin(x)e^y$ で定義される \mathbb{R}^2 上の関数とする. このとき, $u(x, y)$ はラプラス方程式

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

の解であることを示せ.

- [3] e は自然対数の底を表すとする. 関数 $f(t) = te^{-t}$ ($t \geq 0$) 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.

- [4] i は虚数単位を表すとする. $u(x, y)$ と $v(x, y)$ を \mathbb{R}^2 上の実数値関数とし, $z = x + iy$ ($x, y \in \mathbb{R}$) に対して $f(z) = u(x, y) + iv(x, y)$ で定義される複素関数 f を考える. f が領域 D 上で解析的であるならば, D 上の各点において, u と v の 1 階偏導関数が存在し, 次の等式をみたすことを示せ:

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