

知能システム学II

次の7問から3問を選択して解答せよ。4問以上解答した場合、すべての解答を無効とする。問題毎に別の答案用紙を用いること。1問につき1枚の答案用紙を用いること。

1

可制御・可観測な同一の状態方程式表現をもつ2つの1入力1出力システム

$$\Sigma_i : \begin{cases} \dot{x}_i(t) = Ax_i(t) + Bu_i(t) \\ y_i(t) = Cx_i(t), \end{cases} \quad (i = 1, 2)$$

を考える。この両システムの入出力特性を保存しつつ、状態変数を一致させるために、

$$u_1(t) = \gamma(y_2(t) - y_1(t)) + v(t), \quad u_2(t) = \gamma(y_1(t) - y_2(t)) + v(t)$$

という制御入力を加えるとき、以下の問い1)～3)に答えよ。ただし、導出過程も示すこと。

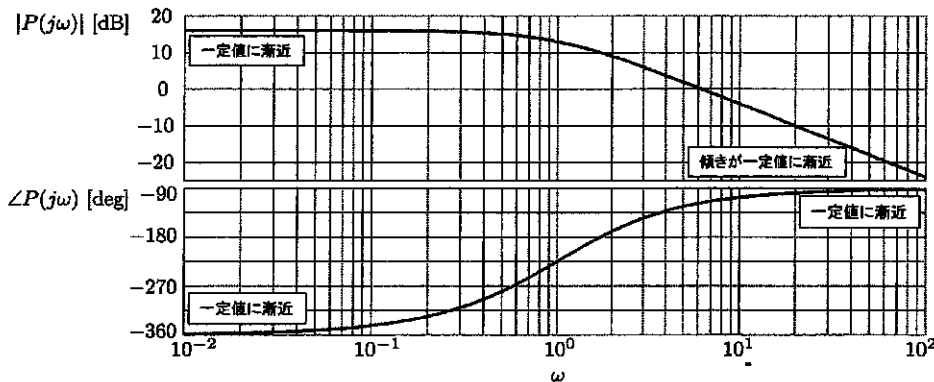
- 1) 入力を $v(t)$ 、出力を $z(t) := [y_1(t), y_1(t) - y_2(t)]^T$ とする1入力2出力システムに対して、 $w(t) := [x_1(t), x_1(t) - x_2(t)]^T$ を状態変数とする状態方程式を求めよ。ここで、上付きの T は転置を表す。また、初期状態 $x_1(0), x_2(0)$ および入力信号 $v(t)$ に依存せず $\lim_{t \rightarrow \infty} (x_1(t) - x_2(t)) = 0$ が成り立つための必要十分条件を A, B, C, γ を用いて表せ。

- 2) $A = \begin{bmatrix} 2 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$ のとき、加重平均状態変数のフィードバック制御則

$$v(t) = K((1 - \alpha)x_1(t) + \alpha x_2(t)) + d(t) \quad (0 \leq \alpha \leq 1)$$

を考える。このとき、入力を $d(t)$ 、出力を $y_i(t) (= Cx_i(t))$ とする1入力1出力システムの既約な伝達関数の極が、 $i (= 1, 2), \gamma, \alpha, C$ によらず $s = -2$ のみとなる K が存在するか判別し、存在するならばその値を求めよ。

- 3) 伝達関数 $P(s) := C(sI - A)^{-1}B$ のボード線図が下図で与えられ、 $P(s) + 1 = 0$ を満たすすべての複素数 s の実部は負であるとする。このとき、伝達関数 $P(s)$ のナイキスト軌跡が $(-1, 0)$ を囲む方向（時計回りまたは反時計回り）と回数を求め、その不安定極の個数を求めよ。また、問い1)で求めた必要十分条件を満たす γ が存在するか判別し、存在するならばその範囲を求めよ。なお、必要な数値は図から概算値を読み取って用いよ。



2

以下の問い 1), 2) に答えよ。ただし、離散時間信号 s_n の離散時間フーリエ変換を

$$S(\Omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} s_n e^{-jn\Omega}$$

z 変換を

$$S(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} s_n z^{-n}$$

とする。また、 $j = \sqrt{-1}$ とする。

1) 次の離散時間信号について考える。

$$x_n = \begin{cases} 1 & (|n| \leq N) \\ 0 & (\text{その他}) \end{cases}$$

このとき、次の小問 a) ~ c) に答えよ。

a) x_n の離散時間フーリエ変換は、

$$X(\Omega) = \frac{\sin \frac{(2N+1)\Omega}{2}}{\sin \frac{\Omega}{2}}$$

となることを示せ。

b) N は十分大きいとして、 $X(\Omega)$ の概略図を描け。

c) 次の関係式が成り立つことを示せ。

$$X(\Omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{-jn\Omega} = 2\pi \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\Omega - 2\pi n)$$

ただし、 $\delta(\cdot)$ はデルタ関数である。

2) 離散時間信号 x_n を入力、離散時間信号 y_n を出力とする、次の因果的な離散時間システムについて考える。

$$y_n = \frac{5}{6} y_{n-1} - \frac{1}{6} y_{n-2} + x_n$$

このとき、次の小問 a) ~ d) に答えよ。

a) この離散時間システムの伝達関数 $H(z)$ を求めよ。

b) 入力が $x_n = \sin\left(\frac{\pi}{2}n - \frac{\pi}{8}\right)$ であるとき、定常状態での出力 y_n を求めよ。

c) $s_n^{(1)} = a^n u_n$ の z 変換 $S^{(1)}(z)$ と、 $s_n^{(2)} = -a^n u_{-n-1}$ の z 変換 $S^{(2)}(z)$ を求めよ。ただし、 a は複素定数、 u_n は次の単位ステップ信号とする。

$$u_n = \begin{cases} 1 & (n \geq 0) \\ 0 & (n < 0) \end{cases}$$

d) この離散時間システムのインパルス応答 h_n を求めよ。

3 以下の問い1), 2)に答えよ.

1) 次の生産計画問題に関する小問 a)~g) に答えよ.

[生産計画問題] ある工場では、三つの異なる工程 P_1, P_2, P_3 で同じ製品を生産している。この工場で月単位に使用できる燃料と電力は契約により定められ、燃料は48単位を越えることができず、電力は72単位を越えることができない。この製品の1月当たりの需要量は12単位であり、需要は満たしたい。一方、各工程で製品1単位を生産するには、 P_1 では燃料4単位と電力5単位、 P_2 では燃料6単位と電力3単位、 P_3 では燃料3単位と電力7単位が必要となる。また、各工程で製品1単位生産するのに要する変動コストは、 P_1 が15千円、 P_2 が9千円、 P_3 が12千円である。燃料と電力の制限および需要を満たしつつ、総変動コストを最小化するには、各工程で1月当たり何単位ずつ、生産すればよいかを考える。

- P_1, P_2, P_3 での生産量をそれぞれ、 x_1, x_2, x_3 として、この生産計画問題を線形計画問題として定式化せよ。
- a) の問題を標準形(等式標準形)の線形計画問題に変形せよ。
- 2段階法を用いて最適な P_1, P_2, P_3 での生産量と総変動コストを求めよ(計算過程も示すこと)。
- a) で定式化した問題の双対問題を示せ。
- d) で示した双対問題の最適解と最適値を答えよ。
- 工程 P_1 に新しい機械を導入することにより、製品1単位生産するのに要する変動コストが11千円に削減された。この場合の生産計画問題の最適解の一つと最適値を求めよ。
- f) で求めた最適解が唯一であるかどうか吟味し、唯一でない場合は、 x_1, x_2, x_3 を用いて、すべての最適解の集合を示せ。

2) 次の非線形計画問題(2次計画問題)に関する小問 a)~d) に答えよ(Tは転置を表す)。

$$\begin{aligned} & \text{minimize} && f(x_1, x_2) = 3x_1^2 + 5x_2^2 - 6x_1x_2 - 56x_2 \\ & \text{subject to} && g_1(x_1, x_2) = 3x_1 - x_2 - 12 \leq 0 \\ & && g_2(x_1, x_2) = -x_1 + 3x_2 - 12 \leq 0 \\ & && g_3(x_1, x_2) = -x_1 \leq 0 \\ & && g_4(x_1, x_2) = -x_2 \leq 0 \\ & && (x_1, x_2)^T \in \mathbf{R}^2 \end{aligned}$$

- 勾配 $\nabla f(x_1, x_2)$ およびヘッセ行列 $\nabla^2 f(x_1, x_2)$ を求めよ。
- 目的関数 f が凸関数であることを示せ。
- 実行可能解 $(x_1, x_2)^T = (6, 6)^T$ におけるKKT条件(Karush-Kuhn-Tucker条件)を示し、これが成立するか否か判定せよ。
- 実行可能解 $(x_1, x_2)^T = (6, 6)^T$ が大域的最適解となることを説明せよ。

4

以下の問い 1), 2) に答えよ.

1) 次の文章は交流回路の電力に関する記述である. (1) ~ (5) に当てはまる式を求めよ.

図1の回路において, 負荷 R_L に供給される電力を最大にするように静電容量 C とインダクタンス L を定めることを考える. 負荷の端子対 a-b から左側を見た時の等価電源のアドミッタンス Y は (1) となる. そのコンダクタンス分とサセプタンス分を考えて, 電力が最大になる条件式は (2) および (3) となる. これらにより, L, C は, (4), (5) となる. ただし, $R_L > R_0$ である. また, ω は電源 E の角周波数である.

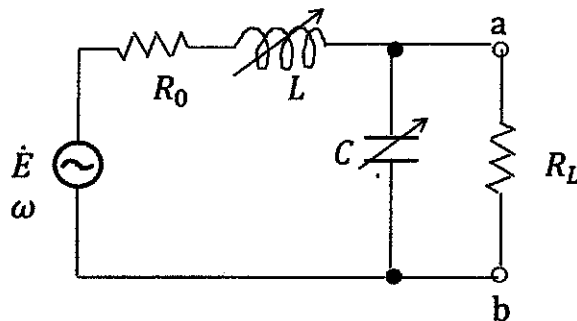


図1

2) 以下の小問 a), b) に答えよ.

- a) 図2の回路において, 入力電圧を V_1, V_2 とした時の出力電圧 V_0 を求めよ. ただし各オペアンプの入インピーダンスは ∞ , 出インピーダンスは 0, 電圧増幅率は ∞ , 出力電流は飽和しないと仮定する.
- b) この回路の果たす機能および特長について説明せよ.

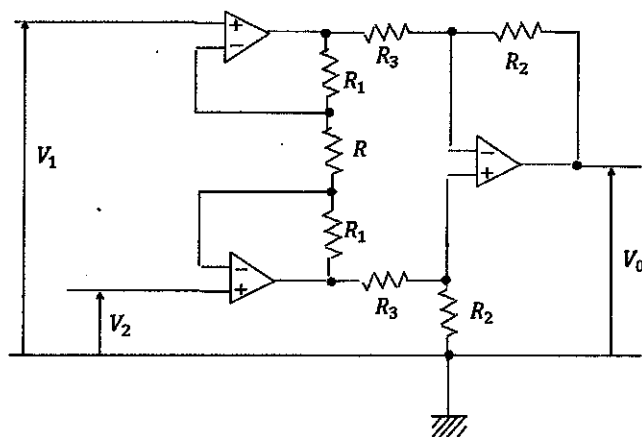


図2

5

以下の問い1)~3)に答えよ。

- 1) JKフリップフロップとゲートを用いて、クロックを6回数えるごとに、次のクロックが来るまで1を出力する順序回路Sを設計することを考える。これに関して、以下の小問a)~d)に答えよ。
 - a) n 個のJKフリップフロップによって最大いくつの状態が表現できるか答えよ。また、順序回路Sを構成するために必要最小限のJKフリップフロップの個数を答えよ。
 - b) JKフリップフロップの特性方程式を示せ。
 - c) Sの出力、および使用するJKフリップフロップへの入力を表す論理式を示せ。
 - d) 論理回路記号を用いて、Sの回路図を示せ。

2) 磁気ディスクに関する以下の小問a)~d)に答えよ。

- a) 計算機における記憶階層とよばれる概念について説明せよ。ただし「上位」あるいは「下位」という語句を用いよ。また磁気ディスクがそのどこに位置づけられるかを説明せよ。
- b) 磁気ディスクにおける磁気ヘッドの働きについて説明せよ。ただし「コイル」および「磁性媒体」という語句を用いよ。
- c) 総シリンダ数1,000、有効ディスク面数20、回転速度3,000rpm、1トラックの記憶容量10,000byte、平均シーク時間15ms、ディスク転送レート4,000,000bpsの磁気ディスクがあるとす。この磁気ディスクのディスク容量を計算せよ。
- d) c)の磁気ディスクに500byteのデータを転送するのに要する時間は平均何msであるか計算せよ。ただしホストと磁気ディスク間の通信及びディスクキャッシュは考えなくてよい。

3) 記憶方式に関する以下の文に関して、小問a)~c)に答えよ。

計算機において、命令が生成するアドレスと実際に情報が存在する物理的位置のアドレスを分離独立させる記憶方式を(i)記憶という。(i)記憶の導入により、プログラムに対する主記憶の物理的制約が緩和され、(ii)アドレス空間を考えずにプログラムが可能になるなどのメリットがある。(i)記憶の代表的な実現方法として、固定長のブロックに分割された(i)アドレス空間と(ii)アドレス空間の対応を示す(iii)を用いるものがあり、参照された(i)アドレス空間のブロックが(iv)装置になればブロックの置き換えが実行される。そのアルゴリズムの例として、LRUアルゴリズムなどがある。

- a) 文章中の(i)~(iv)の空欄にあてはまる適切な語句を示せ。
- b) 下線部の物理的制約に当てはまるものを2つ答えよ。
- c) 二重下線部のアルゴリズムにおいて、どのように置き換えが実行されるかについて説明し、このアルゴリズムによって効率の良い置き換えが実現されるために、プログラムがどのような性質を満たしている必要があるか説明せよ。

6

関節が全て回転型の 3 自由度アームが基準座標系 $x_0 y_0 z_0$ 内に図のように設置されている。アーム各部の長さを $l_i (i=1,2,3,4)$ 、各関節変位を $\theta_i (i=1,2,3)$ とし、ハンドには座標系 $x_H y_H z_H$ が図のように固定されている。図の状態をアームの初期姿勢 $\theta_i = 0 (i=1,2,3)$ とすると、ハンド座標系の原点位置は $(l_1, 0, -l_2 - l_3 - l_4)^T$ (T は転置を表す) となり、 x_H は x_0 の向きと一致している。座標系は全て右手系で記述されており、ベクトルは特に断らない限り基準座標系で記述されるものとする。アームの質量は無視し、重力加速度は $(0, 0, -g)^T$ とする。以下の問い 1)~4) に答えよ。

- 1) アームが任意の姿勢 $\theta_i (i=1,2,3)$ の時、基準座標系におけるハンドの位置（ハンド座標系原点）と方向（ハンド座標系の各軸方向を表す直交行列）を $\theta_i (i=1,2,3)$ を用いて表せ。
- 2) 関節角速度 $\dot{\theta} = (\dot{\theta}_1, \dot{\theta}_2, \dot{\theta}_3)^T$ と基準座標系におけるハンドの速度 $v = (v_x, v_y, v_z)^T$ との関係は $v = J\dot{\theta}$ と表される。 3×3 行列 J を求めよ。
- 3) アームが $\theta_1 = 0, \theta_2 = \pi/4, \theta_3 = -\pi/2$ の姿勢で、ハンドが質量 m の大きさが無視できる物体を把持している。各関節の発生トルク $\tau_i (i=1,2,3)$ を求めよ。 $l_i = l (i=1,2,3,4)$ とする。
- 4) アームが質量 m の物体を把持した状態で $\theta_1 = 0, \theta_2 = \pi/2, \theta_3 = -\pi/2$ の姿勢から、 θ_2 と θ_3 は固定して関節 1 が $\dot{\theta}_1 = \omega$ の角速度で回転する時、各関節の発生トルクを求めよ。 $l_i = l (i=1,2,3,4)$ とする。

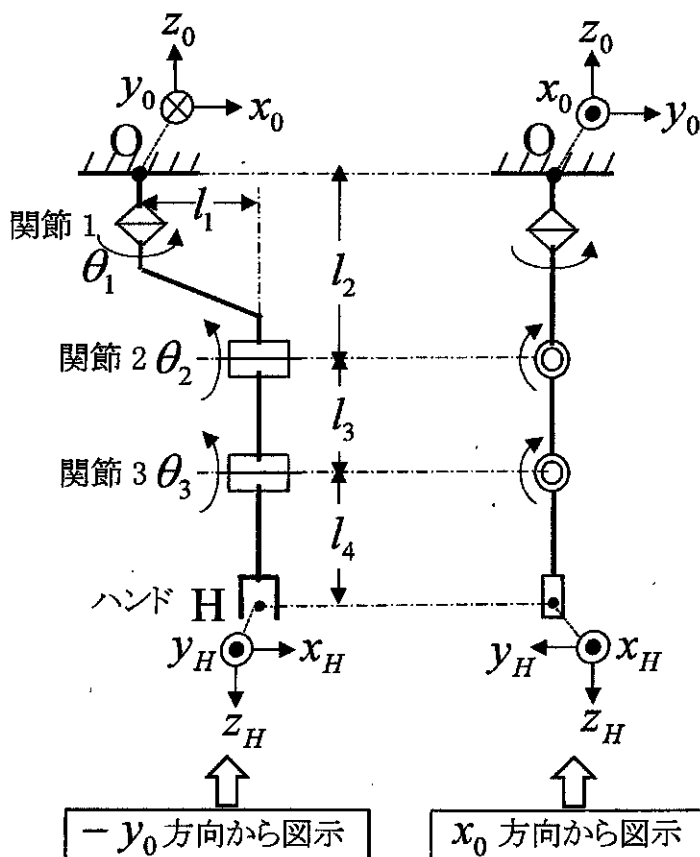


図 3 自由度アームの構成と初期姿勢

7

次の問い1)～3)に答えよ。

- 1) 下記は人工知能辞典(人工知能学会編, 共立出版, 2005年)に記載されている人工知能の歴史上の重要な事柄である。空欄[1]～[19]に当てはまる語句を答えよ。

1944年 J. von Neumann は著書 Theory of Games and Economic Behaviors で, 2人によるゲーム探索における基本である[1]法を示した。

1950年 A. Turing は Computer Machinery and Intelligence と題する論文で, 機械が知能を持つと考えられるか否かを判定する方法として, [2]を提唱した。

1956年 J. McCarthy の立案により開かれた研究集会, いわゆる[3]会議において, 人工知能という名称が生まれた。

1957年 N. Chomsky により提案された[4]理論は, 自然言語解析の基礎を与えた。

1960年頃 J. McCarthy の創案により [5]言語が作成され, 記号操作を主体とする人工知能研究用の主要プログラミング言語となった。

1960年代 人工知能研究は, 主としてゲームなどのいわゆる閉じた世界の問題における[6]の効率化を中心課題としていた。そして, 組合せ的爆発を防ぐための[7]を導入した, A*アルゴリズム等が考案された。

1962年 F. Rosenblatt がある種のニューラルネットを[8]と呼び, その学習の収束性を示した。

1965年 L. Zadeh によって, 言語的曖昧さを扱うことができる [9]表現が創案された。

1966年 J. Weizenbaum により, 人間とテキスト文で会話を行い, 精神科セラピストの役割を演じる [10]と呼ばれるプログラムが作成された。

1968年 連想的記憶構造を基礎にした, 自然言語文の意味表現法である[11]が考案された。

1970年 P. Winston は, 積み木世界の[12]学習の研究を発表した。

1970年 E. Shortliffe が[13]と呼ばれる, 血液中のバクテリアの診断を支援するエキスパートシステムを開発した。

1975年 R. Schank らは, 自然言語文による一連のストーリー理解のための関連知識表現法として [14]を提案した。

1980年代 既存の知識の存在を前提にして, 演繹により得た推論過程(説明構造)を妥当な一般化を施して知識として加えることにより, 以後の推論を効率化する[15]の研究が行われた。

1982年 日本では, 知識処理用の並列コンピュータと論理型言語を核とする基盤的ソフトウェアの開発を目指した, [16]開発の10年プロジェクトが開始された。

1980年代後半 明示的な知識による知性の実現を目指す人工知能とは異なる, 進化, 創発を特徴とする[17]の研究が C. Langton らの提唱等によって一つの研究領域として勃興した。

1986年 M. Minsky が著書「[18]」を発表し, 多数の小エージェント集団の働きにより心は形成されるというモデルを提示した。

1997年 IBM のチェスプログラム[19]が人間のチェス世界チャンピオン G. Kasprov に勝利した。

2) 図1はコスト付きグラフを表しており、図中の数字は節点間のコストを表す。出発地点 A から、目標地点 L に至る経路をコスト均一探索によって求めよ。その際、節点を展開する毎に、OPENリストとCLOSEDリストの中身を明示せよ。ただし、展開して得られた子節点は、図2に示すように、上(U)、右(R)、下(D)、左(L)の順にOPENリストへ挿入するものとする。またOPENリストから次に訪問すべき節点を選択する際、OPENリスト内にコストが等しい節点が存在する場合は、最も早くOPENリストに挿入されたものから選択するものとする。

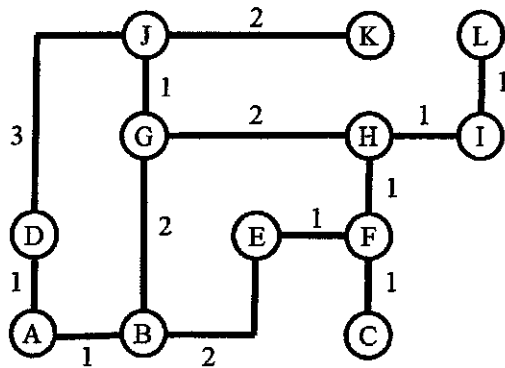


図1

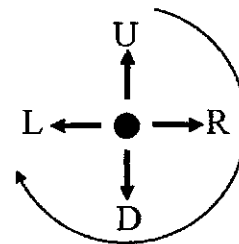


図2

3) 図3のゲーム木を、ミニマックス法を改良した $\alpha\beta$ 法によって探索することを考える。○がMAX節点を表し、□がMIN節点を表す。また、節点の左に添えられている()内の2つの小文字のアルファベットは、それぞれ α 値と β 値を表し、節点HからOの下に記されている整数値は、それぞれの節点の評価値を表す。これに関して以下の小問a)~c)に答えよ。

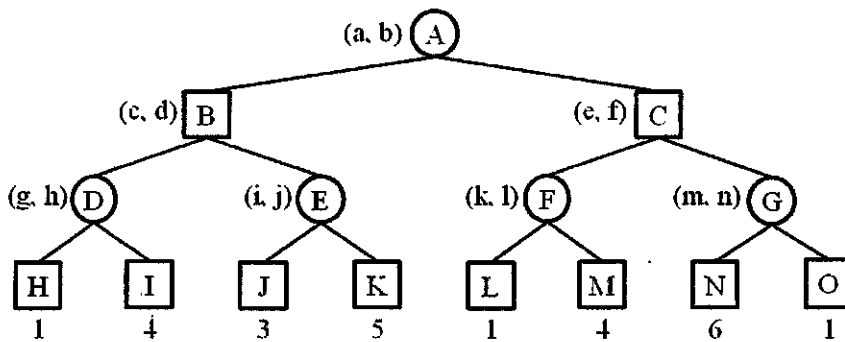


図3

- 図中の a から n に当てはまる α 値または β 値を求めよ。
- α カットは発生しているかどうか答えよ。また発生している場合は、どの節点とどの節点の間で発生しているかを答えよ。
- β カットは発生しているかどうか答えよ。また発生している場合は、どの節点とどの節点の間で発生しているかを答えよ。