平成２３年度 知能機械情報学専攻

大学院修士課程入学試験問題

「知能機械情報学（科目）」

試験日時：平成２２年８月２４日（火）９：００～１１：３０

注意事項

1．試験開始の合図があるまで、この問題冊子を開かないこと。
2．問題は４題出題されており、その中から２題解答すること。
3．問題冊子に落丁、乱丁、あるいは印刷不鮮明な箇所があれば申し出ること。
4．答案用紙は２枚配布される。枚数を確認し、過不足があれば申し出ること。問題ごとに１枚の答案用紙を用いて解答すること。解答を表面で書ききれない場合は裏面を使用しても構わない。その際は裏面にも解答した旨を表面に記入すること。
5．答案用紙の指定された箇所に、科目名の「知能機械情報学（科目）」、修士・博士の別、受験番号、その答案用紙で解答する問題番号を記入すること。これらが記入漏れの場合は採点されないことがある。
6．解答に関係のない記号や符号を記入した答案は無効となる。
7．答案用紙は、解答ができなかった問題についても、科目名、修士・博士の別、受験番号、問題番号を記入し、２枚全部を提出すること。
8．下書きは問題冊子の草稿用のページを用いること。
9．この問題冊子にも受験番号を記入し提出すること。

受験番号	

上欄に受験番号を記入すること。

草稿用紙
(切り取らないこと)

草稿用紙
（切り取らないこと）

問題１

問１．図１に示す２リンクのアームについて，以下の問に答えよ．各関節のトルクを $\boldsymbol{\tau}=[\tau_1\ \ \tau_2]^T$，関節角度を $\boldsymbol{q}=[\theta_1\ \ \theta_2]^T$，リンク長を l_1, l_2 とする．アームの先端Pには質量 m の質点が固定されている．重力加速度を x 軸方向に g とする．リンクおよび関節の質量，関節での摩擦，リンクの変形は考えない．

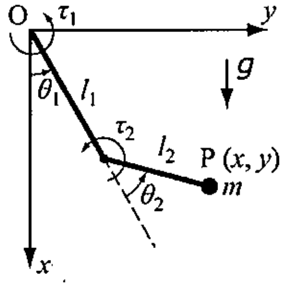

図１

（１） 先端Pの速度 $\boldsymbol{v}=[\dot{x}\ \ \dot{y}]^T$ と関節の角速度 $\dot{\boldsymbol{q}}=[\dot{\theta}_1\ \ \dot{\theta}_2]^T$ を関係付けるヤコビ行列 $\boldsymbol{J}(\boldsymbol{q})$ を求めよ．

（２） 重力に対してトルク $\boldsymbol{\tau}$ で静的平衡を保っている状態を考える．可操作度 $w=|\det \boldsymbol{J}(\boldsymbol{q})|$ が最大になる条件のもとで，トルクの２乗の和 $\tau_1{}^2+\tau_2{}^2$ が最小となる角度 $\boldsymbol{q}$ を求めよ．ただし，リンクの長さは $l_1=1$，$l_2=1/\sqrt{2}$ であり，関節の可動範囲を $-\pi/2\le\theta_1\le\pi/2$，$0\le\theta_2\le\pi$ とする．なお，関節のトルクの２乗は，その関節の角度を一定に維持するための消費エネルギに相当する．

問２．図２に示す梁の先端Pに質点を固定したときのたわみと伸びを計測する．この梁は重力加速度 g に対して平行でも垂直でもない一様な片持ち梁である．梁の断面形状は長方形である．梁の上面と下面に歪みゲージ **a**, **b** がそれぞれ貼られている．歪みゲージ **a**, **b** と固定抵抗２個で構成される図３のホイートストンブリッジを考える．歪みゲージ **a** を r_1 として接続するとき，たわみを計測する場合と伸びを計測する場合に分けて，歪みゲージ **b** は r_2, r_3, r_4 のどの抵抗として接続するかを理由とともに示せ．

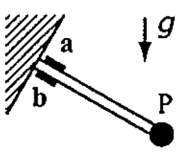

図２

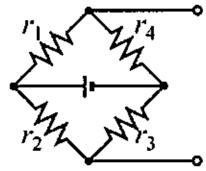

図３

問３．図４はブリッジ回路の出力 V_+ と V_- の差分を増幅して V_{OUT} を出力するインスツルメンテーションアンプの回路図である．以下の問に答えよ．ただし，答えの変数は V_+，V_-，R_0, R_1, R_2, R_3 のみを用いること．図４の記号 op1, op2, op3 はオペアンプを表す．

（１） オペアンプの入力端子間にバーチャルショートが成り立っていることを考慮して，抵抗 R_0 に流れる電流 i を求めよ．

（２） オペアンプの入力端子への電流流入がないとして，点Aの電圧 V_{A} および点Bの電圧 V_{B} を求めよ．

（３） 出力 V_{OUT} を求めよ．

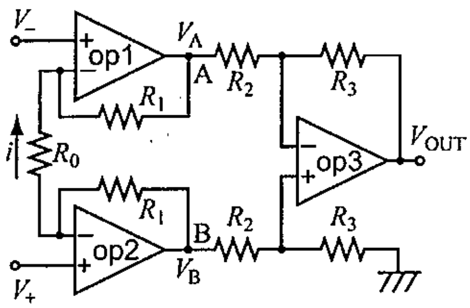

図４

以上

草稿用紙
(切り取らないこと)

問題2

図 1 に示すように，X 軸軌道上に沿って動く質量 M_1 の台車に，質量 M_2 の均一な倒立した棒振り子がついている．台車の車輪につけられたモータにより台車は駆動され，その位置を x とする．ここで，X-Y 平面内の台車の移動および棒振り子の角度 θ を制御する系を設計する．モータに入力電流 u を加えると台車は力 $u\alpha$ で X 軸方向に駆動される．振り子長を $2l$，$-Y$ 軸方向の重力加速度を g とし，棒振り子と台車の摩擦および，台車と軌道との摩擦損失および，台車と棒振り子以外の質量は無視する．また，MKSA 単位系とする．以下の問に答えよ．

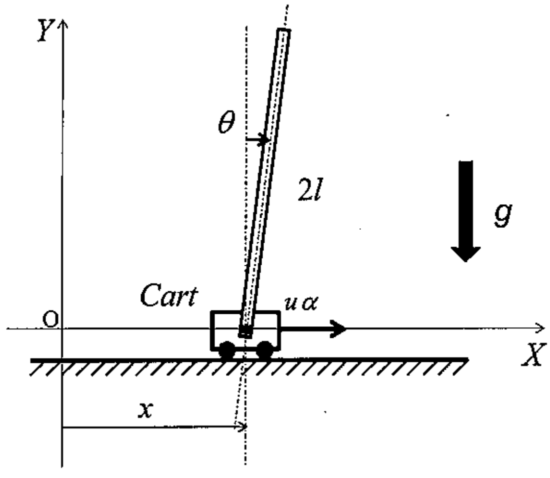

図 1

（1） 台車の位置 x，棒振り子角度 θ を計測するための手法をそれぞれ挙げ，各々の計測原理および特徴を述べよ．

（2） 棒振り子の重心座標 $[x_G \quad y_G]^T$ を求め，台車・棒振り子からなる系の運動エネルギ K およびポテンシャルエネルギ U を示せ．

（3） ラグランジュ関数 L を $L = K - U$ としたとき，x および θ に関するラグランジュ方程式をそれぞれ示し，x および θ に関する運動方程式を求めよ．

（4） θ が微小であり，$\sin\theta \cong \theta, \cos\theta \cong 1$ が成り立つとする．また，$\dot{\theta}, \dot{x}$ が微小であり 2 次以上の微小項を無視するとき，（3）は，$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{b}u$, $\mathbf{y} = \mathbf{C}\mathbf{x}$ の状態方程式で表わされる．

ただし，$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x & \theta & \dot{x} & \dot{\theta} \end{bmatrix}^T, \mathbf{y} = \begin{bmatrix} \theta & \dot{\theta} \end{bmatrix}^T$ とする．ここで $\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & A_{32} & 0 & 0 \\ 0 & A_{42} & 0 & 0 \end{bmatrix}, \mathbf{b} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ b_3 \\ b_4 \end{bmatrix}$ とし，

$M_1 = 2, M_2 = 1, l = 1/\sqrt{3}$ としたとき，A_{32}, A_{42}, b_3, b_4 および $\mathbf{C}$ を求めよ．

（5） 前問のシステムは可制御であり状態フィードバックにより安定化できることがわかっている．ここで，モータへの指令値を $v(t)$ とし，図 2 のような出力フィードバック系を構成する．ゲイン $\mathbf{K} = \begin{bmatrix} k_1 & k_2 \end{bmatrix}$ とするとき，このシステムが安定化できるかを論ぜよ．システムが不安定根を持たない k_1, k_2 の範囲を示せ．

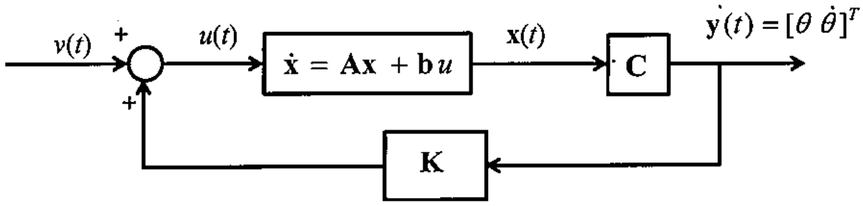

図 2

以上

草稿用紙
（切り取らないこと）

問題 3

問 1．以下の語句をそれぞれ 3 行程度で説明せよ．図，表を用いて良い．

（1） フリップフロップ

（2） パリティ

問 2．入力パターンを望ましい出力に対応づける線形関数 $f(\mathbf{x}) = w_0 + \mathbf{w}^T\mathbf{x}$ を考える．ここで $\mathbf{w} = (w_1, w_2, \cdots, w_m)^T \in \mathrm{R}^m$ は m 次元の重みベクトル，$w_0 \in \mathrm{R}$ はバイアスである．学習データセットとして，N 個の入力パターン $\mathbf{x}_i = (x_{i1}, x_{i2}, \cdots, x_{im})^T \in \mathrm{R}^m$ $(i = 1, 2, \cdots, N)$ と望ましい出力 $t_i \in \mathrm{R}$ $(i = 1, 2, \cdots, N)$ の対が与えられている．学習データセットにおける入出力間の二乗誤差の総和を $E = \sum_{i=1}^{N}(f(\mathbf{x}_i) - t_i)^2$ とする．次の問に答えよ．

（1） $m = 2$ かつ w_0 が定数のとき，E を最小とする重みベクトル $\mathbf{w} = (w_1, w_2)^T$ を求めよ．解が得られる条件があればあわせて記せ．

（2） m が任意の自然数のとき，E を最小とする重みベクトル $\mathbf{w} \in \mathrm{R}^m$ とバイアス $w_0 \in \mathrm{R}$ を求めよ．解が得られる条件があればあわせて記せ．

問 3．各要素が 1 もしくは 0 の値をとる 3 次元のパターン $\mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3)^T$ を入力とし，1 もしくは 0 を出力する関数 $h(\mathbf{x}) = H_c(w_0 + \mathbf{w}^T\mathbf{x})$ をデジタル回路で実現する．ここで，$H_c(z)$ は $z \geq 0$ なら 1，$z < 0$ なら 0 を出力する関数，重みベクトル $\mathbf{w} = (3, 2, 1)^T$，バイアス $w_0 = -4$ とする．例えば，$\mathbf{x} = (1, 1, 1)^T$ が入力されたとき，$z = w_0 + \mathbf{w}^T\mathbf{x} = 2 \geq 0$ となるため $H_c(z)$ の出力は 1 となる．

表 1

x_1	x_2	x_3	$h(\mathbf{x})$
0	0	0	0
0	0	1	
0	1	0	
0	1	1	
1	0	0	
1	0	1	
1	1	0	
1	1	1	1

（1） 入力パターン $\mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3)^T$ と $h(\mathbf{x})$ の出力の関係を示す表 1 を完成させよ．

（2） 表 1 の入出力関係をできるだけ少ない 2 入力の AND ゲートおよび 2 入力の OR ゲートのみで構成し，図示せよ．

（3） 関数 $h(\mathbf{x}) = H_c(w_0 + \mathbf{w}^T\mathbf{x})$ において，各要素が 1 もしくは 0 の値をとる 4 次元のパターン $\mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3, x_4)^T$，重み $\mathbf{w} = (4, 3, 2, 1)^T$，バイアス $w_0 = -5$ と変更したとき，入出力の関係をできるだけ少ない 2 入力の AND ゲートおよび 2 入力の OR ゲートのみで構成し，図示せよ．導出過程も記せ．

以上

草稿用紙
(切り取らないこと)

問題4

問1． 以下の語句をそれぞれ3行程度で説明せよ．図を用いても良い．

（1） スタック

（2） 関数型言語

問2． CPU における2進数の正の数の加算，乗算，除算を考える．
以下の問に答えよ．

```
    1010
 ×  1001
    1010
   0000
  0000
 1010
01011010
```

図 1

（1） 2進数 11111111 と 11111111 の和を2進数で示せ．16進数で表すといくらか．

（2） 4bit の2進数 1010 と 1001 の乗算は図1のようにして，積は 01011010 と得られる．2進数 111111 と 111111 の積を2進数で示せ．16進数で表すといくらか．

（3） 2進数 1111101100000110 を 11111110 で割った商を2進数で示せ．**10進数**でも示せ．途中の過程も示すこと．

（4） 乗数が m ビット，被乗数が n ビットのとき，積を格納するのに必要なのは何ビットか．

（5） 図2に 2p ビット（例えば 16 ビット）同士の2進数の乗算を行うハードウェアの基本的な構成例を示す．乗数は 2p ビットの乗数レジスタ，被乗数は 4p ビット（例えば 32 ビット）の被乗数レジスタの下位 2p ビットに納められ，積を保持する積レジスタは0に初期化された状態で演算が始まる．以降，下記に従い乗算が行われる．下記の5つの$\boxed{}$をそれぞれ埋めよ．

a. 乗数の最下位ビットが0か1か判定する．

b. 1の場合，被乗数を積レジスタに加え結果を積レジスタに納める．

c. 被乗数レジスタを$\boxed{①}$ビット$\boxed{②}$側にシフトする．

d. 乗数レジスタを$\boxed{③}$ビット$\boxed{④}$側にシフトする．

e. ステップ *a*～*d* の繰り返し回数を判定し，$\boxed{⑤}$回未満であればステップ *a* へ．

f. 乗算終了．

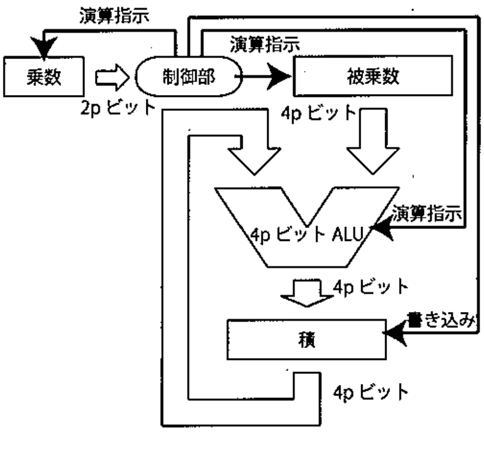

図 2

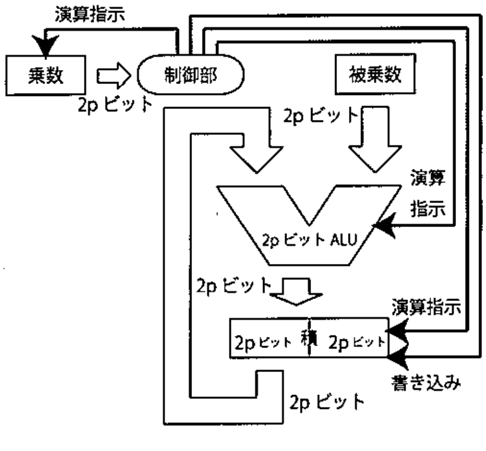

図 3

（6） 2p ビット同士の乗算の（5）の方法では，被乗数レジスタのビットの半分が常に0であり，また中間結果へ加算しているビットの半分は0で効率が悪い．そこで，被乗数レジスタと ALU を 2p ビットにする図3のような方法が考案されている．（5）の方法のステップ *b* とステップ *c* に変更が必要となる．各々の処理内容を記述せよ．

以上

草稿用紙

(切り取らないこと)

草稿用紙

(切り取らないこと)

草稿用紙
(切り取らないこと)