平成２８年度 知能機械情報学専攻

大学院入学試験問題

「知能機械情報学（科目）」

試験日時：平成２７年８月２４日（月）１４：００～１６：００

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３題出題されている．問題１（必答問題）は必ず解答し，問題２Ａおよび問題２Ｂ（選択問題）から１題を選択して解答すること．
３．問題の解釈に複数の可能性が考えられる場合は，適宜言葉の定義や条件などを付加して解答してよい．
４．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．
５．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．
６．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．
７．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．
８．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．
９．下書きは問題冊子の草稿用のページを用いること．
１０．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（必答問題）

問１．図１のように，質量 m，長さ l の一様な細い棒が落下し，水平な床となす角度 $\pi/3$ で衝突する．衝突直前，鉛直下向きの棒の速度は v_0，回転成分は持たないものとする．棒の下端が床に衝突した直後，棒の下端は跳ね返ることなく，床面に沿って滑った．床面と棒の間に摩擦はないとき，衝突直後の棒の角速度を求めよ．

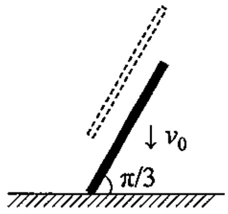

図１

問２．情報源Ａと情報源Ｂを同時に観測したところ，下記のような出力列を得た．各情報源のエントロピーと両情報源間の相互情報量を推定せよ．答えは小数点以下第２位まで求めよ．ただし，$\log_2 3 = 1.58$, $\log_2 5 = 2.32$ とせよ．

情報源Ａ　１１００１１０１０１１１１１０１０１１１０１０１
情報源Ｂ　１００１０００１０１１００１０１０１１１０１１０

問３．電動機（モータ）について，以下の問に答えよ．

（１）図２は，直流モータの概念図である．この図を用いて，直流モータの動作原理を 100 字程度で説明せよ．

（２）交流モータには誘導モータと同期モータがある．誘導モータと同期モータの概念図を描き，両者の動作原理の違いを 150 字程度で説明せよ．

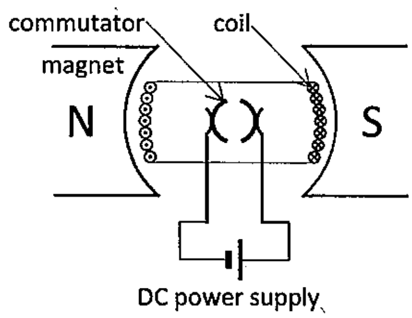

図２

草稿用紙

（切り取らないこと）

問題２Ａ（選択問題）

問１． 電磁石と鉄球から構成される磁気浮上系を図１に示す．鉄球に働く鉛直上向きの磁力 f_m と重力は，位置 x_0，電流 i_0 で釣り合う．この釣り合い状態からの位置および電流の変化量をそれぞれ x, i とする．鉄球の質量を M，重力加速度を g とする．

（１） x, i が十分微小なとき，鉄球に働く磁力は $f_m = Mg - K_x x + K_i i$ と表せる．ここで K_x, K_i は正の定数である．鉄球の運動方程式を求めよ．

（２） 入力を i，出力を x としたときの伝達関数 $G(s)$ を求めよ．

（３） 伝達関数 $G(s)$ について，ボード線図（ゲイン特性・位相特性）の概略を描け．

問２． 水平面内で回転するロボットハンドの指の機構を考える．図２は２つのプーリと伸びのないワイヤを用いて，回転モータで指を駆動する機構である．図３は，図２の機構のワイヤ部分に線形ばねを直列に挿入した機構である．プーリとワイヤの間にすべりはなく，指以外の部分の質量は無視する．ばねはワイヤがゆるまないようにあらかじめ引き延ばされている．両機構において，指の関節軸まわりの慣性モーメントを I，初期位置からの指の角度を θ_1，モータの回転角度を θ_2，モータのトルクを τ，全てのプーリの半径を R，直列ばねのばね定数を K とする．

（１） 図２の機構で，指を初期状態 $\theta_1 = 0, \mathrm{d}\theta_1/\mathrm{d}t = 0$ から目標状態 $\theta_1 = \theta_d, \mathrm{d}\theta_1/\mathrm{d}t = 0$ まで最短時間で回転させる制御を考える．このような最短時間制御は，モータの出力トルク τ の上限値 τ_{max} と下限値 $-\tau_{max}$ が存在するとき，その切り替えだけで実現できる．このときのトルク τ，角速度 $\mathrm{d}\theta_1/\mathrm{d}t$，角度 θ_1 の時間変化の概略を図示せよ．

（２） 図３の機構は，状態方程式 $\mathrm{d}\boldsymbol{x}/\mathrm{d}t = \boldsymbol{A}\boldsymbol{x}+\boldsymbol{b}u$ で表せる．ただし，状態ベクトルを $\boldsymbol{x} = [\theta_1\ \mathrm{d}\theta_1/\mathrm{d}t]^{\mathrm{T}}$，入力を $u = \theta_2$ とする．このとき $\boldsymbol{A}$ および $\boldsymbol{b}$ を求めよ．また，可制御性を調べよ．なお，$\boldsymbol{x}^{\mathrm{T}}$ は $\boldsymbol{x}$ の転置を表す．

（３） 図３の機構では，モータ側プーリにブレーキをかけた状態でも，平衡状態からの指の変位 θ_1 に比例した，ばねによる受動トルクを発生することができる．図３の機構と同等の振る舞いを，図２の機構で模擬するためのフィードバック制御器 $\tau = f(\theta_1)$ を定式化せよ．

（４） 前問（３）で実現した制御器が有効な作業を３つ挙げよ．

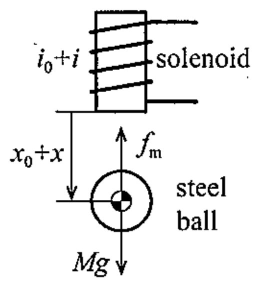

図1

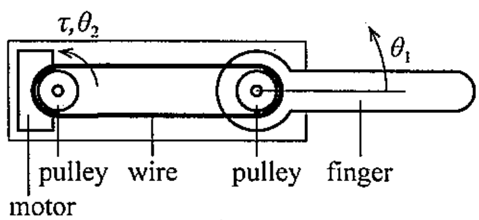

図2

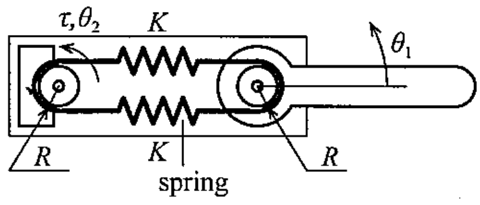

図3

草稿用紙

（切り取らないこと）

問題２Ｂ（選択問題）

$\boldsymbol{x}_i$, $i=1,2,\cdots,k$, をn次元空間の点とし，各$\boldsymbol{x}_i$にはラベル$y_i \in \{-1,1\}$が対応付けられている．$\boldsymbol{x}_i$のラベルがy_i=−1ならば$f(\boldsymbol{x}_i) \leq 0$，$\boldsymbol{x}_i$のラベルが$y_i$=1ならば$f(\boldsymbol{x}_i) > 0$を満たす関数$f(\boldsymbol{x}) = \boldsymbol{w}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{x} - b$が存在する場合を考える．ただし，$\boldsymbol{w}$は$n$次元ベクトル，$b$はスカラー，$\boldsymbol{w}^{\mathrm{T}}$は$\boldsymbol{w}$の転置を表す．$f(\boldsymbol{x}) = \boldsymbol{w}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{x} - b = 0$で表される超平面は識別面と呼ばれる．以下の問に答えよ．

問１．超平面の法線ベクトルは，その超平面上の任意の２点を結ぶベクトルと直交する．識別面$f(\boldsymbol{x}) = 0$の単位法線ベクトルを求めよ．

$\boldsymbol{x}_i$に最も近い識別面上の点を$\hat{\boldsymbol{x}}_i$，$\boldsymbol{x}_i$と$\hat{\boldsymbol{x}}_i$の距離をr_iとする．また，k個のr_i, $i=1,2,\cdots,k$, の最小値をマージンδと呼ぶ．

問２．$\boldsymbol{x}_i - \hat{\boldsymbol{x}}_i = t\boldsymbol{w}$となるスカラー$t$を$y_i, r_i, \boldsymbol{w}$を用いて表せ．

問３．$r_i = \dfrac{y_i(\boldsymbol{w}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{x}_i - b)}{|\boldsymbol{w}|}$　となることを示せ．

問４．表１に示すデータセットが与えられている．２つの識別面が$\boldsymbol{w} = (4\ 3)^{\mathrm{T}}$, $b = 12$および$\boldsymbol{w} = (1\ 1)^{\mathrm{T}}$, $b = 3$で与えられているときのマージンδをそれぞれ求めよ．

問５．表１のデータセットおよび$b = 1$が与えられたとき，マージンδを最大化する$\boldsymbol{w}$を求めよ．そのとき，各$(\boldsymbol{x}_i, y_i)$における$y_i(\boldsymbol{w}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{x}_i - b)$, $i = 1,2,3$, の値を求めよ．

$y_i(\boldsymbol{w}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{x}_i - b)$, $i=1,2,\cdots,k$, の最小値を 1 とする$\boldsymbol{w}, b$の組を考える．この条件のもとでも$\boldsymbol{w}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{x} - b = 0$は全ての識別面を表すことができる．

問６．$\boldsymbol{w}$を用いてマージンδを表せ．

問７．表２のデータセットが与えられたとき，マージンδを最大化する$\boldsymbol{w}, b$を求めよ．

表１

i	$\boldsymbol{x}_i$	y_i
1	$(0\ 0)^{\mathrm{T}}$	−1
2	$(5\ 0)^{\mathrm{T}}$	1
3	$(0\ 5)^{\mathrm{T}}$	1

表２

i	$\boldsymbol{x}_i$	y_i
1	$(0\ 0)^{\mathrm{T}}$	−1
2	$(0.5\ \ -0.5)^{\mathrm{T}}$	−1
3	$(2\ 0)^{\mathrm{T}}$	1
4	$(0\ 1)^{\mathrm{T}}$	1

草稿用紙

(切り取らないこと)

Mechano-Informatics (Subject)

Date : H27(2015), August 24th, 14:00 – 16:00

Instruction:

0) Answers should be written either in Japanese or English.
1) Do not open this problem booklet until the start of the examination is announced.
2) Three problems are provided. Solve Problem 1 (Compulsory), and solve either Problem 2A or Problem 2B (Required Elective).
3) When you have multiple interpretations of a problem statement, you may clarify your interpretation by introducing adequate definitions and/or conditions in your answer.
4) If you find missing, misplaced, and/or unclearly printed pages in the problem booklet, notify the examiner.
5) Two answer sheets are provided. Check the number of them, and if you find excess or deficiency, notify the examiner. You must use a separate sheet for each problem. When you run short of space for your answer on the front side of the answer sheet, you may use the back side by clearly stating so in the front side.
6) In the designated blanks at the top of each answer sheet, write examination name "Mechano-Informatics (Subject)", "Master" or "Doctor", your applicant number, and the problem number. Failure to fill up these blanks may void your test score.
7) An answer sheet is regarded as invalid if you write marks and/or symbols unrelated to the answer.
8) Even if the answer sheet(s) is blank, submit all answer sheets with examination name, "Master" or "Doctor", your applicant number, and the problem number.
9) Use the blank pages in the problem booklet for your draft.
10) Fill in the blank below with your applicant number, and submit this booklet.

Applicant number:

MEMO

(Do not detach this page)

MEMO

(Do not detach this page)

Problem 1 (Compulsory)

P. 1. As shown in Fig. 1, a uniform thin beam with mass m and length l falls and makes collision against a horizontal floor at an angle of $\pi/3$. Immediately before the collision, the beam has the velocity v_0 in the vertical direction and has no rotation component. Immediately after the collision, the bottom end of beam slides on the floor without bouncing back. Assuming no friction between the floor and beam, obtain the angular velocity of the beam just after the collision.

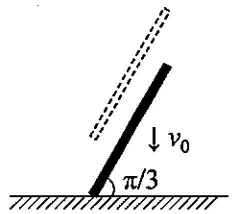

Fig. 1

P. 2. When simultaneously observing information sources A and B, we obtained output sequences below. Estimate the entropy of each information source and the mutual information between the information sources. Calculate them to two places of decimals. Let $\log_2 3 = 1.58$, and $\log_2 5 = 2.32$.

Information source A	1 1 0 0 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 0 1 0 1 1 1 0 1 0 1
Information source B	1 0 0 1 0 0 0 1 0 1 1 0 0 1 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0

P. 3. Answer the following questions about electric motors.

(1) Figure 2 is a schema of a direct-current (DC) motor. Using this schema, describe the principle of operation of DC motors with about 40 words.

(2) Alternating-current (AC) motors can be classified as induction motors and synchronous motors. Draw schemas of induction motors and synchronous motors, and describe the difference between them in terms of the principles of operation with about 60 words.

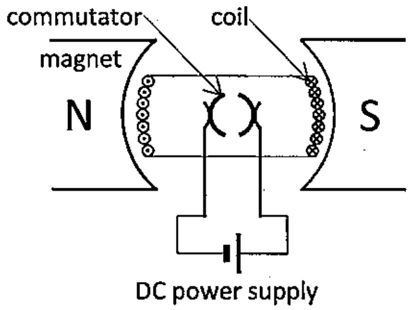

Fig. 2

MEMO

(Do not detach this page)

Problem 2A (Required Elective)

P. 1. Figure 1 shows a magnetic levitation system consists of a steel ball and a solenoid. The magnetic force f_m acting on the ball in the vertical direction is in balance with the gravity at the position x_0 and the current i_0. Let x and i be the variations of the position and the current in reference to the equilibrium state, respectively. The mass of the ball is M, and the gravitational acceleration is g.

(1) The levitation force takes the form $f_m = Mg - K_x x + K_i i$ when x and i are sufficiently small, where K_x and K_i are positive constants. Obtain the equation of motion of the steel ball.

(2) Find the transfer function $G(s)$ between the input i and the output x.

(3) Sketch the Bode plot (gain and phase) of $G(s)$.

P. 2. Consider mechanisms for a finger of a robot hand that rotates in the horizontal plane. A motor drives the finger through two pulleys and a non-extensible wire, as shown in Fig. 2. The mechanism shown in Fig. 3 has additional linear springs in series with the wires between pulleys. The slip between the pulleys and the wires, and the masses of the parts except for the finger can be ignored. In both mechanisms, the moment of inertia about the joint axis of the finger is I, the angle from the initial position is θ_1, the rotational angle of the motor is θ_2, the output torque of the motor is τ, the radius of the pulleys is R, and the spring constant of the linear springs is K.

(1) Consider controlling the mechanism in Fig. 2 to rotate the finger from the initial state $\theta_1 = 0$, $d\theta_1/dt = 0$ to the target state $\theta_1 = \theta_d$, $d\theta_1/dt = 0$ in the shortest time. This time optimal control is achieved by only switching the output torque of the motor between the upper limit τ_{max} and the lower limit $-\tau_{max}$. Sketch time profiles of the torque τ, the angular velocity $d\theta_1/dt$, and the angle θ_1.

(2) The mechanism in Fig. 3 is described with an equation of state $d\boldsymbol{x}/dt = \boldsymbol{A}\boldsymbol{x}+\boldsymbol{b}u$, where the vector of the states is $\boldsymbol{x} = [\theta_1 \ d\theta_1/dt]^T$, and the input is $u = \theta_2$. Find $\boldsymbol{A}$ and $\boldsymbol{b}$. Examine the controllability of the system. $\boldsymbol{x}^T$ means the transpose of $\boldsymbol{x}$.

(3) The mechanism in Fig. 3 can generate passive torque proportional to the angle displacement θ_1 when the motor side pulley is locked. Find the formula for a feedback controller $\tau = f(\theta_1)$ for the mechanism in Fig. 2 to behave equivalently to the mechanism in Fig. 3.

(4) Provide three examples of tasks, in which the controller obtained in (3) is effective.

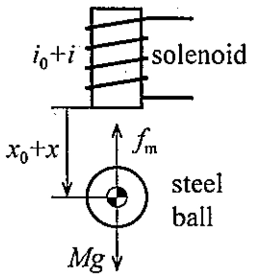

Fig.1

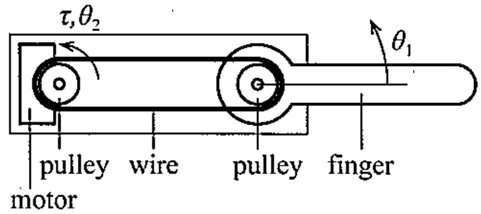

Fig.2

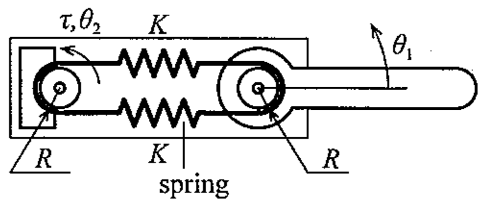

Fig.3

MEMO

(Do not detach this page)

Problem 2B (Required Elective)

Let $\boldsymbol{x}_i, i = 1,2,\cdots,k,$ be a point in the n-dimensional space, and $y_i \in \{-1,1\}$ be a label assigned to $\boldsymbol{x}_i$. Consider a case that there is a function $f(\boldsymbol{x}) = \boldsymbol{w}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{x} - b$ that satisfies $f(\boldsymbol{x}_i) \leq 0$ if $\boldsymbol{x}_i$ is labeled with $y_i = -1$, and $f(\boldsymbol{x}_i) > 0$ if $\boldsymbol{x}_i$ is labeled with $y_i = 1$. $\boldsymbol{w}, b$ and $\boldsymbol{w}^{\mathrm{T}}$ are an n-dimensional vector, a scalar and the transpose of $\boldsymbol{w}$, respectively. A hyperplane expressed by $f(\boldsymbol{x}) = \boldsymbol{w}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{x} - b = 0$ is the discriminant plane. Answer the following questions.

P. 1. The normal vector of a hyperplane is defined as a vector orthogonal to the vector connecting any two points on the hyperplane. Derive the unit normal vector of discriminant plane $f(\boldsymbol{x}) = 0$.

Let $\hat{\boldsymbol{x}}_i$ be a point on the discriminant plane closest to $\boldsymbol{x}_i$, and r_i be the distance between $\hat{\boldsymbol{x}}_i$ and $\boldsymbol{x}_i$. The margin δ is defined as the smallest of r_i, $i = 1,2,\cdots,k$.

P. 2. Express scalar t that satisfies $\boldsymbol{x}_i - \hat{\boldsymbol{x}}_i = t\boldsymbol{w}$ by using $y_i, r_i,$ and $\boldsymbol{w}$.

P. 3. Prove $r_i = \dfrac{y_i(\boldsymbol{w}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{x}_i - b)}{|\boldsymbol{w}|}$.

P. 4. The dataset shown in Table 1 is given. Given $\boldsymbol{w} = (4\ 3)^{\mathrm{T}}$, $b = 12$ and $\boldsymbol{w} = (1\ 1)^{\mathrm{T}}$, $b = 3$ as two discriminant planes, calculate the margins δ, respectively.

P. 5. Given the dataset shown in Table 1 and $b = 1$, find $\boldsymbol{w}$ maximizing the margin δ, and calculate the value of $y_i(\boldsymbol{w}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{x}_i - b), i = 1,2,3,$ for each $(\boldsymbol{x}_i, y_i)$.

Consider $\boldsymbol{w}$ and b for which the minimum value of $y_i(\boldsymbol{w}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{x}_i - b)$, $i = 1,2,\cdots,k$, becomes 1. Under this condition, $\boldsymbol{w}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{x} - b = 0$ still expresses all the discriminant planes.

P. 6. Derive the margin δ using $\boldsymbol{w}$.

P. 7. Given the dataset shown in Table 2, find $\boldsymbol{w}$ and b maximizing the margin δ.

Table1

i	$\boldsymbol{x}_i$	y_i
1	$(0\ 0)^{\mathrm{T}}$	-1
2	$(5\ 0)^{\mathrm{T}}$	1
3	$(0\ 5)^{\mathrm{T}}$	1

Table 2

i	$\boldsymbol{x}_i$	y_i
1	$(0\ 0)^{\mathrm{T}}$	-1
2	$(0.5\ \ -0.5)^{\mathrm{T}}$	-1
3	$(2\ 0)^{\mathrm{T}}$	1
4	$(0\ 1)^{\mathrm{T}}$	1

MEMO

(Do not detach this page)