

平成16年度 知能機械情報学専攻

大学院博士課程入学試験問題

「知能機械情報学(科目)」

試験日時：平成15年8月26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3題解答すること。
3. 問題の落丁、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3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。
1問ごとに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かまわない。その際は裏面にも解答したむね表面に記入すること。
5. 答案用紙の指定された箇所に、受験番号、科目名の「知能機械情報学（科目）」、その答案用紙で解答する問題番号を記入すること。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ことがある。
7. 答案用紙は、解答ができなかった問題についても、受験番号、科目名、問題番号を記入し、3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。

問題 1

水平な面の上に台車が置かれている。この台車はアクチュエータで駆動され、水平面内の一方向（これを x 方向とする）に移動させることができる。また、台車の位置、速度は計測できるものとし、時刻 0 での速度を 0 とする。

問 1. 台車を目標位置に移動させるために、アクチュエータで台車に x 方向に加速度を与えて駆動する。加速度の与え方として、図 1 に示す 3 つのパターンを考えた。なお、目標位置までの移動量、移動時間は規格化してあり、いずれのパターンも、移動量は 1、時刻は 1 で目標位置に到達したものとする。またパターン 3 では、 $\gamma < 0.5$ とする。

- (1) α_1 、 α_2 および α_3 は、それぞれいくらか。また、3 つのパターンについて、図 1 の表記に従い、速度 (dx/dt) のグラフを示し、必要と思われる数値あるいは式を記入せよ。
- (2) アクチュエータの単位時間あたりの発熱量はアクチュエータに流す電流の 2 乗に比例し、加速度は電流に比例するものとする。パターン 3 で総発熱量が最小となる γ の値 γ_{min} はいくらか。また、 $\gamma = \gamma_{min}$ のとき、3 つのパターンでのアクチュエータの総発熱量の比を示せ。
- (3) 移動時間と総発熱量の観点から、加速度のパターンの選択に関してどういうことが言えるか。このような移動機構をもつ製品を設計するとして、考えを述べよ。

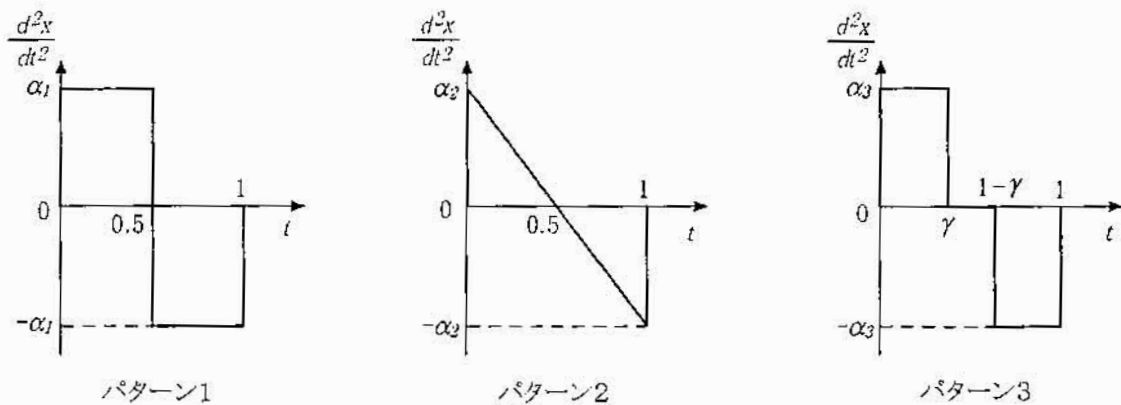


図 1

問 2. 台車を目標位置に移動させるために、図 2 に示す速度フィードバックを用いることにする。図 1 のパターン 1 で加速度を与えるとして、それに対応する速度の電圧を目標値 u として与える。アクチュエータは、流す電流に比例した推力を発生する。またアクチュエータは、インダクタンスと逆起電圧のため、入力電圧に比例した電流が流れない。そこで電流ドライバを用いて、ドライバへの入力電圧に比例した電流をアクチュエータに流すことにする。アクチュエータの推

力定数 k_u を $2[\text{N/A}]$ 、台車の質量を $0.2[\text{kg}]$ 、速度検出器の感度 K_v を $2[\text{Vs/m}]$ とする。また、電流ドライバの感度 K_i は $0.5[\text{A/V}]$ 、速度フィードバックループのカットオフ周波数は $2000[\text{rad/s}]$ となるようにしたい。

- (1) 図3は、オペアンプを用いた非反転増幅器である。増幅率を R_1 、 R_2 を使って示せ。また図3を参考にして、オペアンプを用いた電流ドライバ回路を設計せよ。ただし、アクチュエータはインダクタンス L_u と抵抗 R_u と逆起電圧 E_u の直列で表すこととし、使用するオペアンプは大電力を供給できるものとする。
- (2) 台車の伝達関数 $G_c(s)$ を求め、また比例ゲイン K_p を求めよ。
- (3) 加速度の絶対値が $50[\text{m/s}^2]$ であるとする、目標値 u が $0[\text{V}]$ になった時刻での台車の速度はおおよそいくらか。ただし外乱はなく、台車の移動量は十分大きいものとする。

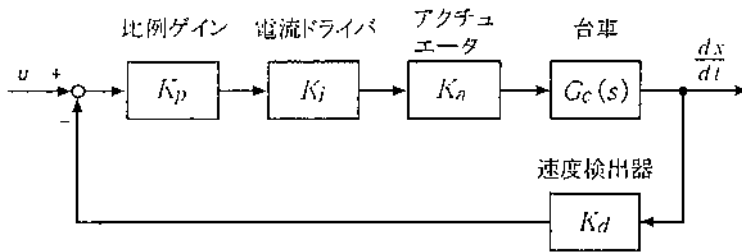


図2

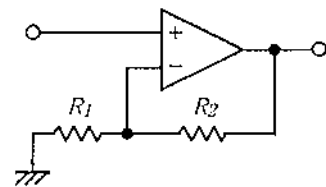


図3

問題 2

図 1 に示される機構を考える。この機構は、リンク L_1 の鉛直軸まわりの回転を、図のように $\pi/4[\text{rad}]$ だけ傾いたリンク L_2 を通して、リンク L_3 の水平軸まわりの回転へ伝える機構である。 $x_0y_0z_0$ 座標系は、原点が図の機構 A の中心にある絶対座標系である。 L_2 は y_0z_0 平面上に拘束さ

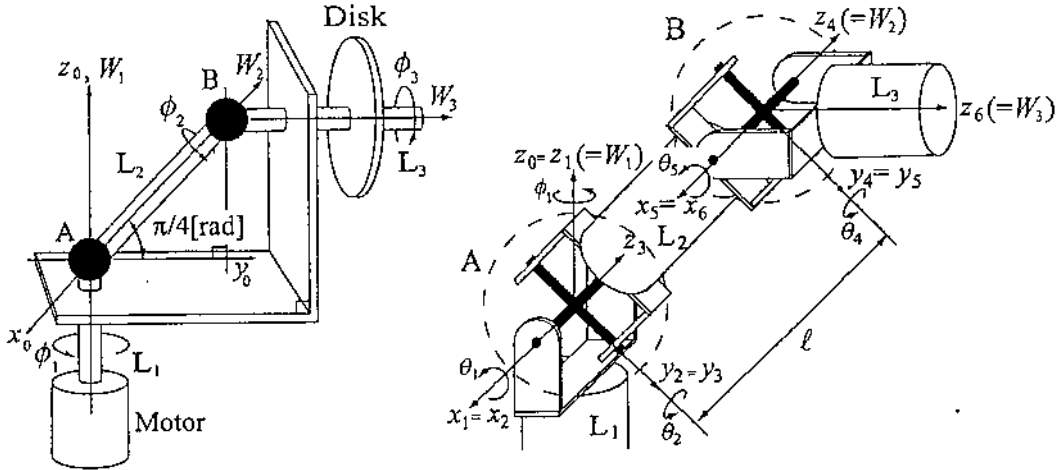


図 1: 回転伝達機構

れており、A、B は右図に示されるようなユニバーサルジョイント機構である。 $x_0y_0z_0$ 座標系における L_1 の W_1 軸 (z_0 軸) まわりの回転を $\phi_1[\text{rad}]$ 、 L_2 の W_2 軸まわりの回転を $\phi_2[\text{rad}]$ 、 L_3 の W_3 軸まわりの回転を $\phi_3[\text{rad}]$ とする。図 1 右図のように、回転 ϕ_1 によって $x_1y_1z_1$ 座標系、 x_1 軸まわりの回転 $\theta_1[\text{rad}]$ によって $x_2y_2z_2$ 座標系、 y_2 軸まわりの回転 $\theta_2[\text{rad}]$ によって $x_3y_3z_3$ 座標系、 z_3 軸方向の平行移動 $l[\text{m}]$ によって $x_4y_4z_4$ 座標系、 y_4 軸まわりの回転 $\theta_4[\text{rad}]$ によって $x_5y_5z_5$ 座標系、 x_5 軸まわりの回転 $\theta_5[\text{rad}]$ によって $x_6y_6z_6$ 座標系を定義する。 x_2 軸と x_5 軸、 y_3 軸と y_4 軸は常に平行である。図 1 は x_0 軸と x_1 軸が平行になるときで、 $\phi_1 = 0$ 、 $\theta_1 = -\pi/4$ 、 $\theta_2 = 0$ 、 $\theta_4 = 0$ 、 $\theta_5 = -\pi/4$ である。このときを初期状態として以下の間に答えよ。

問 1. この機構では、 ϕ_1 を一定角速度で回転した場合、 ϕ_2 の角速度は一定とはならない。 $x_0y_0z_0$ 座標系を z_0 、 x_1 、 y_2 軸まわりに ϕ_1 、 θ_1 、 θ_2 回転した座標系と、 x_0 、 z_2 軸まわりに $-\pi/4[\text{rad}]$ 、 ϕ_2 回転した座標系が一致することを利用して、 ϕ_1 と ϕ_2 の関係

$$\tan \phi_1 = \sqrt{2} \tan \phi_2$$

を導け。

問 2. 上の結果から、 $\dot{\phi}_1$ と $\dot{\phi}_2$ の関係が

$$\dot{\phi}_2 = \frac{2\sqrt{2}}{3 + \cos 2\phi_1} \dot{\phi}_1$$

になることを導け。

問3. モータと L_1 を合わせた z_0 軸まわりの慣性モーメントを $J_1[\text{kgm}^2]$ 、 L_2 の z_3 軸まわりの慣性モーメントを $J_2[\text{kgm}^2]$ 、円盤と L_3 を合わせた z_6 軸まわりの慣性モーメントを $J_3[\text{kgm}^2]$ とし、ユニバーサルジョイント機構 A、B の質量は無視できるものとする。また、モータの出力トルクを $\tau[\text{Nm}]$ とする。このとき、システム全体の運動方程式は

$$\tau = \left(J_1 + \frac{2\sqrt{2}J_2}{3 + \cos 2\phi_1} + J_3 \right) \ddot{\phi}_1 + \frac{4\sqrt{2} \sin 2\phi_1 J_2}{(3 + \cos 2\phi_1)^2} \dot{\phi}_1^2$$

と表されることを導け。ただし、摩擦項は全て無視するものとする。

問4. いま、 J_2 が十分小さく無視できるものとする。このとき、問3.の結果は

$$\tau = (J_1 + J_3) \ddot{\phi}_1$$

と線形近似される。このシステムに対してコントローラ K を

$$\tau = K_p(\phi_r - \phi_1) + K_d \frac{d}{dt}(\phi_r - \phi_1)$$

とし、図2の閉ループ系を構成した。 ϕ_r は ϕ_1 の目標角度であり、 K_p 、 K_d は定数である。このとき、閉ループ系の極が図3で表される複素平面上の斜線の領域に存在するための、 K_p 、 K_d の条件を示せ。ただし、境界は含まないものとする。

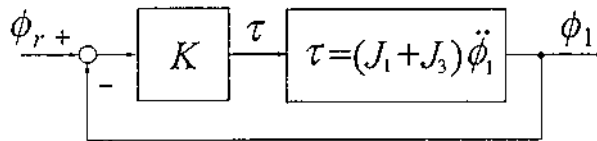


図2: フィードバック系

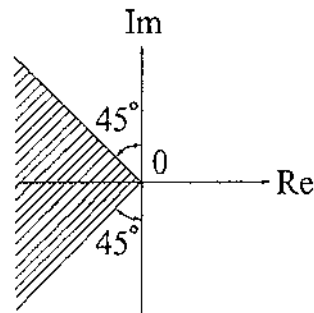


図3: 閉ループ系の極配置

問題3 次の問いに答えよ。ただし、 A, B, C などの変数は0,1の値をとる2進変数とする。

問1. 下記の回路I, II, IIIを2入力NANDゲートだけで構成せよ。なお、 \bar{A} は A の否定、 $A+B$ は A, B の論理和、 AB は A, B の論理積である。導出の過程も順を追って記すこと。

(I) $F = \bar{A}$ (インバータ)

(II) $F = A\bar{B} + \bar{C}$

(III) $F = A\bar{B} + \bar{A}B$ (排他的論理和 (XOR))

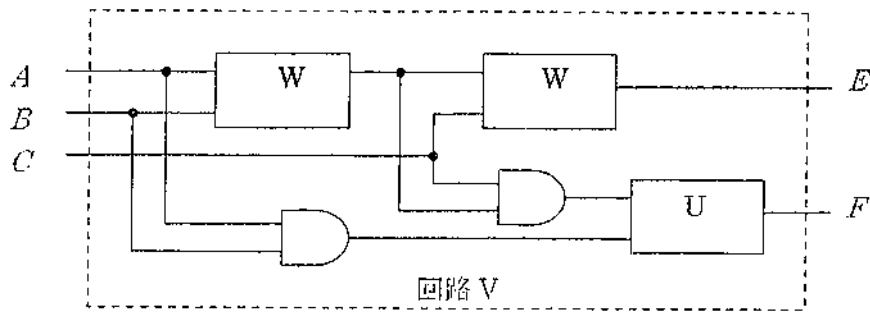
問2. 下記の真理値表を持つ回路IVを2入力ORゲート、2入力ANDゲートを1つずつ用いて構成せよ。導出の過程も順を追って記すこと。

A	B	C	F
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

問3. 下記の真理値表を持つ回路Vを設計したい。このとき、以下の問いに答えよ。

A	B	C	E	F
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

- (1) 回路Vを A と B の加算器と考えたとき、 C, E, F の役割は何か。
- (2) 次に示す回路Vの回路図を完成するにはUとWにそれぞれどのような論理回路を入れればよいか。

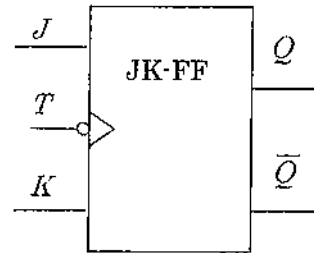


- (3) 回路 V を用いて、4 ビットの 2 進数 $X = (X_3, X_2, X_1, X_0)$ と $Y = (Y_3, Y_2, Y_1, Y_0)$ の加算を行い、結果 $Z = (Z_3, Z_2, Z_1, Z_0)$ を得る回路 VI を構成せよ。

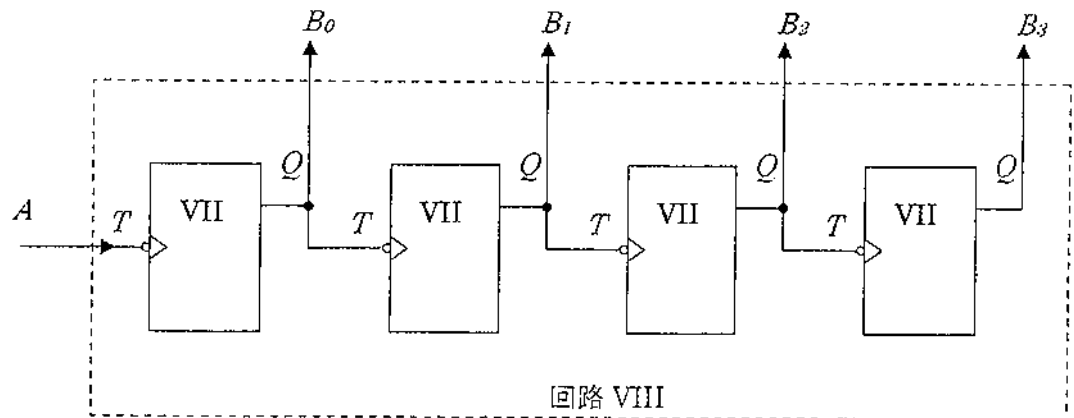
問 4. JK フリップフロップは、下図のような真理値を持つ回路である。(状態の遷移はクロック T の $1 \rightarrow 0$ の変化 (立ち下がり) のみでおこるとせよ。)

$J(t)$ $K(t)$ $Q(t+1)$ $\bar{Q}(t+1)$

$J(t)$	$K(t)$	$Q(t+1)$	$\bar{Q}(t+1)$
0	0	$Q(t)$	$\bar{Q}(t)$
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	$\bar{Q}(t)$	$Q(t)$



- (1) JK フリップフロップを用いてトグル回路 VII (クロック T の立ち下がりごとに出力が反転する回路) を構成する方法を 2 つ述べよ。
 (2) トグル回路 VII を下図のように接続し、回路 VIII を構成した。入力 A に周期的なパルス列を与えたときの出力 B_0, B_1, B_2, B_3 の概略の挙動を図示せよ。



- (3) 回路 VIII をカウンタとして使用する場合、問題が発生する可能性がある。それはどのような問題かを説明せよ。

問題 4

以下のルールのようなパズルがある。

ルール 縦 9 マスの列、横 9 マスの行、太線で囲まれた 3×3 のブロック、のいずれにも 1 から 9 までの数字が重複することが無いように 1 つずつ書き込む。

例えば、左図を初期条件としてこのパズルを解くと右図のようになる。

		3	9			7	6	
	4				6			9
6				1				4
2			6	7				9
		4	3		5	6		
	1			4	9			7
7				9		2		1
3			2				4	
	2	9			8	5		

➔

1	5	3	9	8	4	7	6	2
8	4	2	7	3	6	1	5	9
6	9	7	5	1	2	8	3	4
2	3	8	6	7	1	4	9	5
9	7	4	3	2	5	6	1	8
5	1	6	8	4	9	3	2	7
7	6	5	4	9	3	2	8	1
3	8	1	2	5	7	9	4	6
4	2	9	1	6	8	5	7	3

(初期条件例)
(解答例)

このパズルを解くために次のような操作から成る戦略を考えた。以下の各問に答えよ。

- (操作 1) すでに数字が書き込まれている全てのマス一つずつに注目し、そのマスが存在する列、行、ブロックの中で数字が書き込まれていない空のマスに対して「その数字は書き込まれることは無い」という印を付ける。
- (操作 2) 数字が書き込まれていない全ての空のマス一つずつに注目し、書き込まれる候補となる数字が一つだけになっていた場合、その数字をマスに書き入れる。
- (操作 3) 全ての行、列、ブロックの一つずつ注目し、1 から 9 の数字のうち、まだその行、列、ブロックに書き込まれていない数字に対して「その数字が書き込まれる可能性があるマス」の個数をカウントする。その個数が 1 であれば、その数字を対象となるマスに書き入れる。
- (戦略 1) (操作 1) を行った後、(操作 2) を行い、さらに (操作 3) と順に実行する。(操作 3) を実行し終わった段階でマスに書き込まれた数字が増えなくなるまで (操作 1) から (操作 3) までを繰り返し実行する。

- 問 1. (操作 1) (操作 2) を実現するためのプログラムの一部をプログラムリスト 1、2 に示す。[a] から [g] までにあてはまる適切な変数や条件式を書け。ただし、定義されていない変数は全て大域変数とし、list_append(a, b) は構造体 b をリスト a に追加する関数、list_nth(a, b) はリスト a の b 番目の要素を取り出す関数、evidence は書き込む数字が確定したマスの状態を記述する構造体、evidence_create はその構造体をヒープ領域に作成する関数、空いているマスに対する candidate、value の初期値はそれぞれ 1、-1 であり、パズルの 1 から 9 の数字を value では 0 から 8 の値で表現するものとする。
- 問 2. 提示してあるプログラムリストは、メモリ効率の側面から見ると無駄のあるプログラムになっている。効率の良いものにする場合どのような変更をすれば良いか、プログラムリストに登場する変数・関数・構造体を用いて説明せよ。
- 問 3. (操作 3) に対応するプログラムリストを C 言語を用いて記述せよ。ただし「全ての行」に注目する部分のみを対象とし、列、ブロックに注目する部分は省略して良い。なお、問 1 で定義せず用いた大域変数については定義することなく用いて良い。

問4. 初期条件によっては、(戦略1)ではパズルが解けない場合も存在する。そのため(戦略2)を考案した。(戦略2)を実行するためにはどのようなデータ構造とアルゴリズムが必要となるか。また複数の解が存在する場合、それらの解を全て求めるにはどのような工夫が必要か。プログラムリストに登場している変数や関数を用いて説明せよ。

- (戦略2) ①. マスに書き込まれる数字が増えなくなるまで(操作1)から(操作3)を順に繰り返し行う。増えなくなった場合には②へ。
- ②. 現在の内部状態をメモリに保存し、ある空のマスに対して候補となる数字のうちどれか一つを仮に書き込み、書き込まれる数字が増えなくなるまで(操作1)から(操作3)を順に繰り返し実行する。
- ③. ②の最中に矛盾が生じた場合には「仮に書き込んだ数字」が間違いであったと判断し、その数字を候補から外し、保存した内部状態に戻した上で②へ戻る。矛盾が生じず、(操作1)から(操作3)を順に繰り返しても書き込まれる数字が増えない場合には、引き続き②以降の処理を継続する。

(操作1)に対応するプログラムリスト1

```
int operation_1 (void)
{
    int i, j, k;
    evidence *evi;

    for (i=0; i<list_length (fixed); i++) {
        evi = list_nth (fixed, i);
        for (j=0; j<9; j++) {
            if (j!=evi->line)
                candidate [a][b][evi->value] = 0;
            if (j!=evi->column)
                candidate [c][d][evi->value] = 0;
        }
        for (j=(evi->line/3)*3; j<(evi->line/3)*3+3; j++)
            for (k=(evi->column/3)*3; k<(evi->column/3)*3+3; k++)
                if (e)
                    candidate [j][k][evi->value] = 0;
    }
}
```

(操作2)に対応するプログラムリスト2

```
int operation_2 (void)
{
    int i, j, k;
    int count, bingo;
    evidence *evi;

    for (i=0; i<9; i++)
        for (j=0; j<9; j++) {
            count = 0;
            for (k=0; k<9; k++)
                if (candidate[i][j][k]==i) {
                    bingo = f;
                    count++;
                }
            if (count==g) {
                evi = evidence_create (i, j, bingo);
                list_append (fixed, evi);
                value[i][j] = bingo;
            }
        }
}
```

Instruction: Specialty Subject

Answers should be written in **Japanese** or **English**.

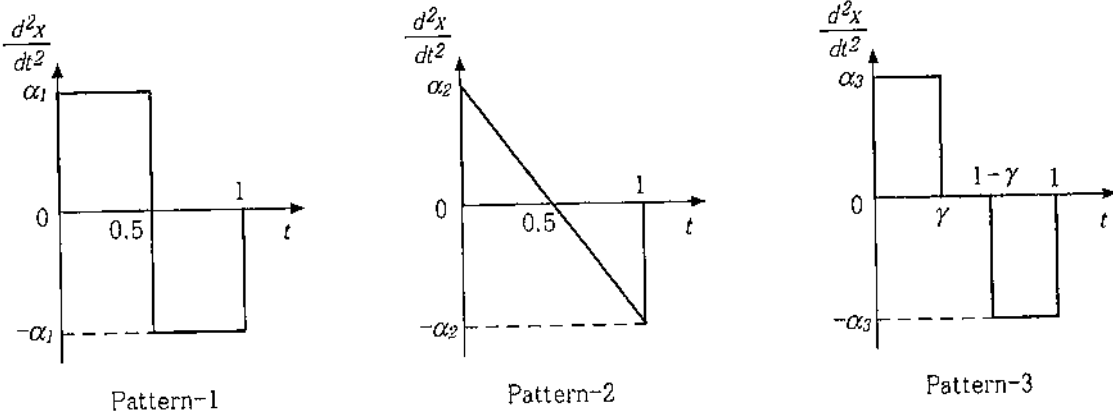
- 1) Do not open this problem booklet until the start of the examination is announced.
- 2) You will be given **Question 1** to **Question 4**. Choose **three** and answer them.
- 3) If you find missing, misplaced, and/or unclearly printed pages in the problem booklet, notify the examiner.
- 4) You are given three answer sheets. You must use a separate sheet for each question. You may use the back side of the answer sheets, only by clearly stating so in the front side.
- 5) In the designated blank at the top of each answer sheet write your applicant number, examination name "**Specialty Subject**", and the question number you are answering. Failure to fill in the blanks may void your test score.
- 6) An answer sheet is regarded as invalid if you write marks and/or symbols unrelated to the answer on it.
- 7) Submit all three answer sheets even if they are blank.
- 8) Fill in your applicant number on the designated blank on the front page of this booklet.

Question 1

A carriage is placed on a horizontal surface. The carriage is driven by an actuator, and is movable in one direction (defined as x-direction). Position and velocity of the carriage are measurable. Initial velocity is set to 0.

Q1. To move the carriage to a destination, the actuator accelerates the carriage in x-direction. We have three acceleration patterns shown in Figure 1. Distance to the destination and access time are normalized ; the carriage reaches the destination when "position x is 1" and "access time t is 1" in each acceleration pattern. γ is below 0.5 in the pattern-3.

- (1) What are the accelerations α_1 , α_2 and α_3 ? Draw graphs of the velocity (dx/dt) patterns for each acceleration pattern, following the format of Figure 1. Include values or expressions, if needed.
- (2) Heat rate of the actuator is proportional to square of the actuator current, whereas the acceleration is proportional to the current. With the pattern-3, what is the value γ_{min} which minimizes total heat generation? Given $\gamma = \gamma_{min}$, what is the ratio of total heat generations among the three acceleration patterns?
- (3) What can you suggest on selection criteria of the acceleration patterns, considering access time and total heat generation? Describe your product design with this kind of mechanism.



Q2. To move the carriage to a destination, a velocity feedback system shown in Figure 2 is used. The acceleration pattern-1 in Figure 1 is employed, and a voltage of velocity u from the pattern-1 is supplied as a reference of the system. The actuator generates driving force proportional to the current. But the current

is not always proportional to the applied voltage due to inductance and counter electromotive force of the actuator. Therefore a current driver circuit is introduced, which makes the current proportional to the input voltage of the driver. Assume the following conditions ; force constant of the actuator K_a is 2[N/A], mass of the carriage is 0.2[kg], sensitivity of the velocity detector K_d is 2[V/s/m]. Set the gain of the current driver K_i at 0.5[A/V], and the cut-off frequency of the velocity feedback system at 2000[rad/s].

- (1) Figure 3 shows a non-inverting amplification circuit with an operational amplifier. Express the gain with R_1 and R_2 . Design the current driver circuit with operational amplifier(s), by modifying the circuit in Figure 3. Note that the actuator should be represented by a series of inductance L_a , resistance R_a and counter electromotive force E_a , and the operational amplifier affords large electric power.
- (2) Compute the transfer function $G_c(s)$ and the proportional gain K_p .
- (3) If the absolute value of the acceleration is 50[m/s²], what is approximate velocity of the carriage when voltage u becomes 0[V]. Suppose the feedback system is affected by no disturbances, and the distance to the destination is long enough.

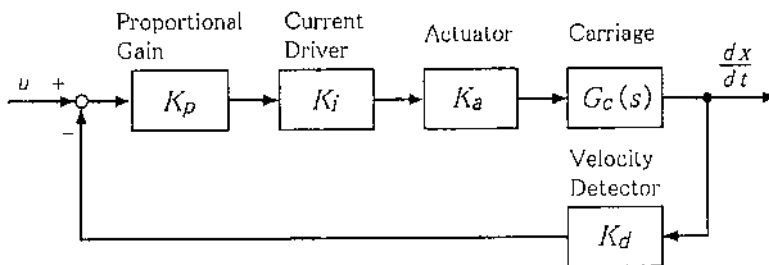


Figure 2

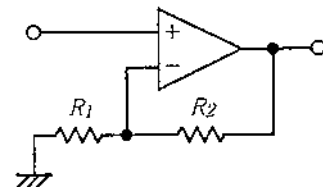


Figure 3

Question 2

Consider the mechanism shown in Fig.1. This mechanism transmits the rotation of Link L_1 about the vertical axis to the rotation of Link L_3 about the horizontal axis through Link L_2 that leans $\pi/4$ [rad] as shown in Fig.1. The coordinates $x_0y_0z_0$ is the absolute coordinate system with

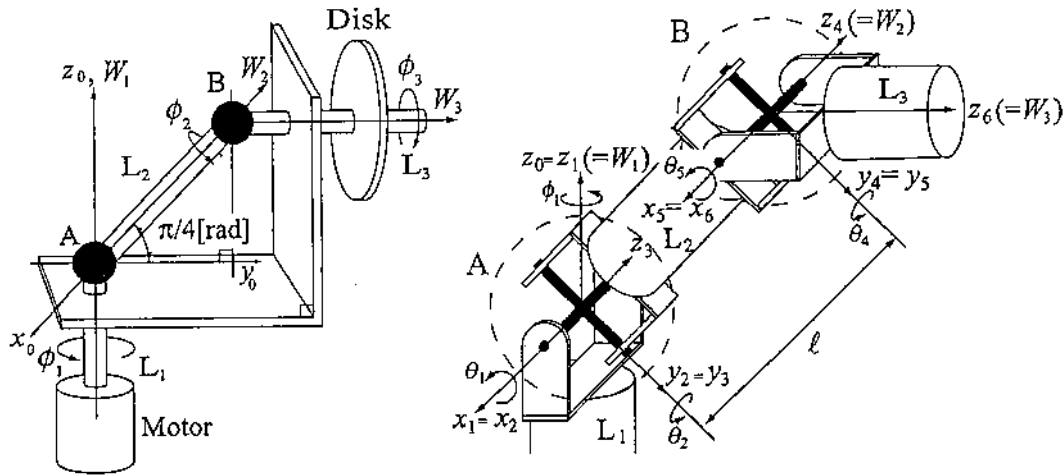


Fig. 1: Mechanism for transmission of rotation.

the origin at the center of Mechanism A. The Link L_2 is kept in y_0z_0 plane. The Mechanism A and Mechanism B have the universal joint mechanisms shown in the right hand side of Fig.1. Rotation angles of L_1 about the vertical axis W_1 (z_0 axis), L_2 about W_2 axis and L_3 about the horizontal axis W_3 are ϕ_1 [rad], ϕ_2 [rad] and ϕ_3 [rad] respectively. As shown in the right hand side of Fig.1, the rotation by ϕ_1 defines $x_1y_1z_1$ coordinate system, the rotation about x_1 axis by θ_1 [rad] defines $x_2y_2z_2$ coordinate system, the rotation about y_2 axis by θ_2 [rad] defines $x_3y_3z_3$ coordinate system, the prismatic translation along with z_3 axis by ℓ [m] defines $x_4y_4z_4$ coordinate system, the rotation about y_4 axis by θ_4 [rad] defines $x_5y_5z_5$ coordinate system and the rotation about x_5 axis by θ_5 [rad] defines $x_6y_6z_6$ coordinate system. The axes x_2 and y_3 are always parallel to x_5 and y_4 axes respectively. In Fig.1, x_0 is parallel to x_1 and the values of rotation angles are $\phi_1 = 0$, $\theta_1 = -\pi/4$, $\theta_2 = 0$, $\theta_4 = 0$ and $\theta_5 = -\pi/4$, which is initial condition. Answer the following questions.

Q.1 In this mechanism, the angular velocity $\dot{\phi}_1$ does not always coincide with the angular velocity $\dot{\phi}_2$. Show the following relationship between ϕ_1 and ϕ_2 using that the coordinate system given by the rotation of $x_0y_0z_0$ coordinates about z_0 , x_1 , y_2 axes by ϕ_1 , θ_1 , θ_2 respectively is equivalent to the coordinate system given by the rotation of $x_0y_0z_0$ coordinates about x_0 , z_2 axes by $-\pi/4$ [rad], ϕ_2 , respectively.

$$\tan \phi_1 = \sqrt{2} \tan \phi_2$$

Q.2 Based on the result of Q.1, show the following relationship between $\dot{\phi}_1$ and $\dot{\phi}_2$.

$$\dot{\phi}_2 = \frac{2\sqrt{2}}{3 + \cos 2\phi_1} \dot{\phi}_1$$

Q.3 Given the total moment of inertia of the motor and L_1 is J_1 [kgm²] about z_0 axis, the moment of inertia of L_2 is J_2 [kgm²] about z_3 axis, the total moment of inertia of the disk and L_3 is J_3 [kgm²] about z_6 axis, and the motor torque is τ [Nm]. The mass of Mechanism A and Mechanism B is small enough. Show that the motion of equation of this mechanism is given by

$$\tau = \left(J_1 + \frac{2\sqrt{2}J_2}{3 + \cos 2\phi_1} + J_3 \right) \ddot{\phi}_1 + \frac{4\sqrt{2} \sin 2\phi_1 J_2}{(3 + \cos 2\phi_1)^2} \dot{\phi}_1^2.$$

Neglect all the friction terms.

Q.4 Suppose that J_2 is small enough to be neglected. The result of Q.3 is linearized as follows.

$$\tau = (J_1 + J_3) \ddot{\phi}_1$$

The closed loop system is designed as shown in Fig.2 using the controller K as follows,

$$\tau = K_p(\phi_r - \phi_1) + K_d \frac{d}{dt}(\phi_r - \phi_1),$$

where ϕ_r means the reference of ϕ_1 , and K_p , K_d are constants. Obtain the condition of K_p and K_d to place the poles of the closed loop system in the hatched area in Fig.3. The boundary lines are not included.

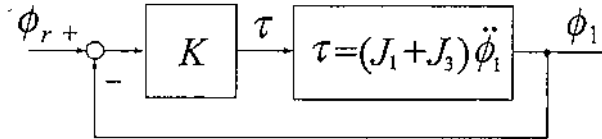


Fig. 2: Closed loop system.

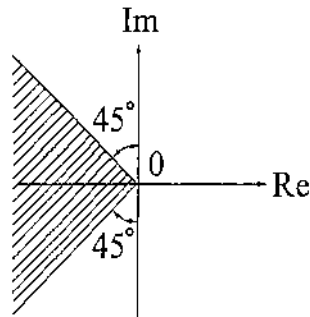


Fig. 3: Pole placement of the closed loop system.

Question 3.

Answer the following questions. Variables A, B, C , etc. are booleans.

Q1. Draw each logical circuit defined by the following logical formula. \bar{A} means negation A , $A + B$ means logical sum of A, B and AB means logical product of A, B . You are allowed to use only 2-input NAND gates. You need to write the design process step by step.

(I) $F = \bar{A}$ (inverter)

(II) $F = A\bar{B} + \bar{C}$

(III) $F = A\bar{B} + \bar{A}B$ (exclusive OR (XOR))

Q2. Design the circuit IV whose truth table is given as follows. You are allowed to use only one 2-input OR gate and one 2-input AND gate.

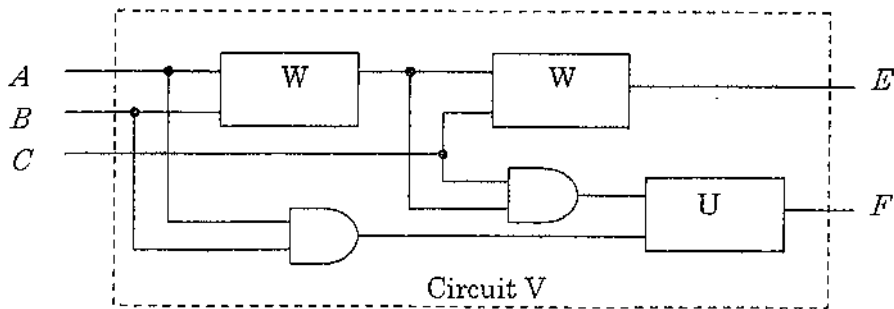
A	B	C	F
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

Q3. Answer the question about the circuit V whose truth table is given as follows.

A	B	C	E	F
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

(1) The circuit V can be considered as an adder of A to B . Answer the role of signals C, E , and F .

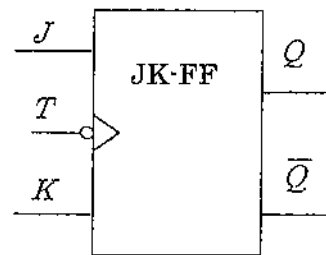
(2) Following is the incomplete circuit drawing of circuit V. To complete the drawing, determine the logic circuit of U and W.



(3) Design the 4bit adder circuit VI which adds X and Y and outputs Z , where $X = (X_3, X_2, X_1, X_0)$, $Y = (Y_3, Y_2, Y_1, Y_0)$, $Z = (Z_3, Z_2, Z_1, Z_0)$ are 4bit booleans.

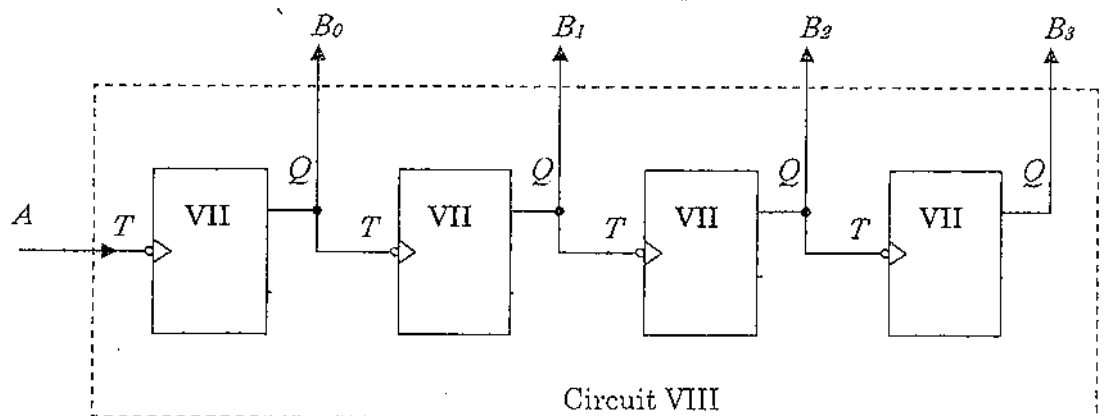
Q4. JK-FlipFlop has the following truth table. (State transition occurs only when clock T changes from 1 to 0)

$J(t)$	$K(t)$	$Q(t+1)$	$\bar{Q}(t+1)$
0	0	$Q(t)$	$\bar{Q}(t)$
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	$\bar{Q}(t)$	$Q(t)$



(1) Obtain two designs to compose the toggle circuit (circuit VII) (Output is toggled by negative edge of the trigger pulse T) by using JK-FlipFlop.

(2) Circuit VIII is composed of the toggle circuits VII. Draw the output signal wave forms for B_0, B_1, B_2, B_3 when periodic pulses are applied to input A



(3) The circuit VIII may cause a problem when it is used as a pulse counter. Describe the problem.

Question 4

Consider a puzzle with the following rule.

Rule Fill out blank cells with single-digit numbers from 1 to 9, without any duplication on every line (9 cells), on every column (9 cells), and in every block. (3 times 3 cells surrounded by bold lines.)

For instance, an initial condition on the left figure will find the solution on the right figure.

		3	9			7	6	
	4				6			9
6				1				4
2			6	7				9
		4	3		5	6		
	1			4	9			7
7				9		2		1
3			2				4	
	2	9			8	5		

→

1	5	3	9	8	4	7	6	2
8	4	2	7	3	6	1	5	9
6	9	7	5	1	2	8	3	4
2	3	8	6	7	1	4	9	5
9	7	4	3	2	5	6	1	8
5	1	6	8	4	9	3	2	7
7	6	5	4	9	3	2	8	1
3	8	1	2	5	7	9	4	6
4	2	9	1	6	8	5	7	3

(An initial condition) (The solution)

The following operations and strategy are considered. Answer the following questions.

- (Operation 1) Focus on every cell one-by-one, which has a determinate number. Mark "This cell never fill out with the number" for every blank cell on the same line, on the same column or in the same block.
- (Operation 2) Focus on every cell one-by-one, which has no determinate number. When a candidate for the cell becomes unique, write the number in the cell.
- (Operation 3) Focus on every line, column and block one-by-one, and enumerate "the number of cells which has the target number as candidate", for each target number from 1 to 9. If the number of cells equals to 1, the target number is written in the cell.
- (Strategy 1) Execute Operation 1 to Operation 3 in this order repeatedly till the number of determinate numbers doesn't increase.

- Q1. Program parts for Operation 1 and Operation 2 are shown in the program list 1 and 2. Fill in the blanks `[a]` to `[g]` with adequate variables and expressions. Note that every undefined variables are global, function `'list_append(a, b)'` adds the structure `'b'` to the list `'a'`, function `'list_nth(a, b)'` returns the pointer to the `'b'`-th element of the list `'a'`, `'evidence'` is a structure to hold determinate numbers, function `'evidence_create'` allocates the structure on a heap area, initial value of `'candidate'` and `'value'` for all blank cells is 1 and -1 respectively, single-digit number from 1 to 9 are mapped to value from 0 to 8 in the variable `'value'`.
- Q2. The following program list 1 and 2 need improvement for memory efficiency. What is an adequate modification? Explain using variables, functions and structures used in the program list 1 and 2.
- Q3. Write a program for Operation 3 in C language, focusing on "every line" only, excluding the part focusing on "column and block". You can use global variables and functions used in the program list 1 and 2 without any definitions.

Q4. The strategy 1 may not be able to find the results depending on some initial conditions. Following strategy 2 is considered for such a case. What data structures and algorithms are needed? What contrivance is needed for finding all possible solutions when an initial condition has plural solutions? You can use the global variables and functions used in the program list 1 and 2 without any definitions.

(Strategy 2) Step I. Execute from Operation 1 to Operation 3 in this order repeatedly till the number of determinate numbers doesn't increase. When the number doesn't increase, go to Step II.

Step II. Backup the current status, and tentatively allocate a candidate number in a certain blank cell. Execute the three operations in the order repeatedly till the number of determinate numbers doesn't increase.

Step III. When contradictions occur during Step II, take out the number from candidate, and go back to Step II with restoring the status. When no contradictions occur and the number of the determinate numbers doesn't increase during the repetition of three operations, continue to Step II.

Program list 1 for Operation 1.

```
int operation_1 (void)
{
    int      i, j, k;
    evidence *evi;

    for (i=0; i<list_length (fixed); i++) {
        evi = list_nth (fixed, i);
        for (j=0; j<9; j++) {
            if (j!=evi->line)
                candidate [ [a] ] [ [b] ] [evi->value] = 0;
            if (j!=evi->column)
                candidate [ [c] ] [ [d] ] [evi->value] = 0;
        }
        for (j=(evi->line/3)*3; j<(evi->line/3)*3+3; j++)
            for (k=(evi->column/3)*3; k<(evi->column/3)*3+3; k++)
                if ( [e] )
                    candidate [j][k][evi->value] = 0;
    }
}
```

Program list 2 for Operation 2.

```
int operation_2 (void)
{
    int      i, j, k;
    int      count, bingo;
    evidence *evi;

    for (i=0; i<9; i++)
        for (j=0; j<9; j++) {
            count = 0;
            for (k=0; k<9; k++)
                if (candidate[i][j][k]==1) {
                    bingo = [f];
                    count++;
                }
            if (count== [g] ) {
                evi = evidence_create (i, j, bingo);
                list_append (fixed, evi);
                value[i][j] = bingo;
            }
        }
}
```