

平成17年度 知能機械情報学専攻

大学院修士課程入学試験問題

「専門科目」

試験日時：平成16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1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「専門科目」、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。
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

図1は、AFM (Atomic Force Microscope, 原子間力顕微鏡) を模式的に示したものである。圧電素子は x 方向の微小変位を発生し、薄板状のカンチレバーの根元を x 方向に加振する。これによりカンチレバー先端の探針では、 x 方向の微小振動が発生する。サンプルを移動ステージにより $y-z$ 面内で移動させると、探針とサンプル表面の相互作用により微小振動の様子が変化するため、原子レベルでサンプル表面の観察を行うことができる。以下の各問に答えよ。

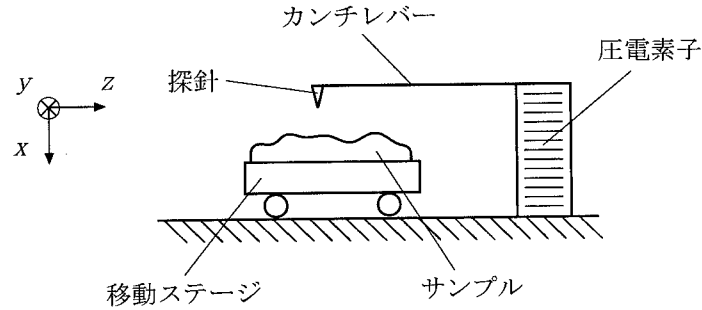


図 1

問 1. カンチレバー先端の探針の微小振動の変位を計測したい。微小振動の変位を非接触で計測できる手法を 3 つ挙げ、図を用いてそれらの計測手法の原理を説明せよ。

問 2. カンチレバーのバネ剛性を k 、粘性係数を c とする。また、探針を含めたカンチレバーの質量は、カンチレバーの先端の等価質量 m で代表する。探針とサンプルの距離は、十分離れているものとする。

- (1) 圧電素子の発生変位に対する探針の振動変位の伝達関数 $G(s)$ を求めよ。また、このときの共振周波数 ω_0 および減衰比 ζ を、等価質量 m 、バネ剛性 k 、粘性係数 c を用いて表せ。
- (2) 減衰比 ζ が変化したときの、圧電素子の発生変位と探針の振動変位の振幅比の変化を、横軸に周波数 ω 、縦軸に振幅比 $|G(j\omega)|$ をとった図を用いて説明せよ。

問 3. 探針の先端とサンプル表面の間のポテンシャル $U(\gamma)$ が、以下の式で与えられるとする。

$$U(\gamma) = \varepsilon \left[\left(\frac{\sigma}{\gamma} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma}{\gamma} \right)^6 \right]$$

ただし、 γ は探針の先端とサンプル表面の距離、 ε および σ は探針の先端とサンプル表面の原子の状態により決まる正の定数である。ポテンシャル $U(\gamma)$ の概略を、図 2 に示す。

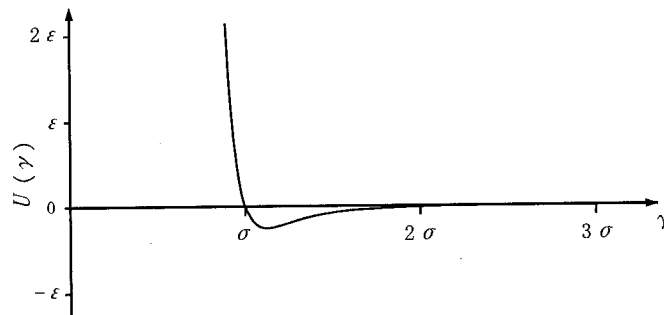
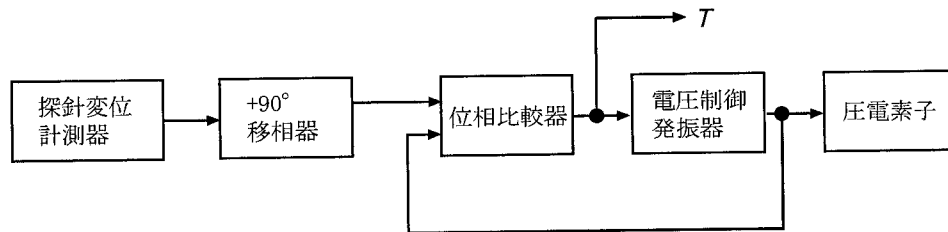


図 2

- (1) 探針の先端とサンプル表面の間にかかる力 $f_U(\gamma)$ を求めよ。また、力 $f_U(\gamma)$ の方向が変わる距離 γ_0 はいくらか。
- (2) 力 $f_U(\gamma)$ は、ポテンシャル $U(\gamma)$ に起因するバネによる力と見なすことができる。このバネの剛性 $k_U(\gamma)$ を求めよ。また、バネの剛性 $k_U(\gamma)$ の符号が変わる距離 γ_1 はいくらか。
- (3) 離れたところから探針をサンプルに近づけていったとき、カンチレバーの共振周波数 ω_n は、問 2.(1) で求めた ω_0 から変化する。距離 γ に対する共振周波数 ω_n の変化の概略を図示せよ。

問 4. 共振周波数 ω_n の変化を信号 T として取り出す回路の構成を、図 3 のように考えた。ただし、カンチレバーの粘性係数 c は十分小さく、カンチレバーが共振している状態においては、圧電素子の発生変位に対する探針の振動変位の位相差は -90° になるとする。



- 探針変位計測器：カンチレバー先端の探針の微小変位を計測し、出力する
- +90°移相器：入力の位相を+90°進める
- 位相比較器：2つの入力の位相差を出力する
- 電圧制御発振器：入力に比例して発振周波数が ω_0 を中心に変化する
- 圧電素子：入力に比例した変位を発生する

図 3

- (1) オペアンプを用いて、+90°移相器を設計せよ。ただし、 $\omega_0=10^5$ [rad/s] とし、共振周波数 ω_n は ω_0 からあまり変化しないものとする。また移相器のゲインは、およそ 1 倍となるように設計せよ。抵抗、コンデンサ、コイル等を使った場合は、具体的な数値も示せ。
- (2) 図 3 の構成の回路で、信号 T により共振周波数 ω_n の変化を検出できる理由を説明せよ。

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)

問題 2

図 1 のように凸凹のない水平面上を移動するロボットを作る。はじめに図 1(a) のような半径 R 、質量 M 、慣性モーメント I の車輪を用意する。図 1(b) のようにその車輪を 2 個並べ質量の無視できる車体を取り付ける。車軸間距離を W とする。2 個の車輪は車体に対して摩擦なしで自由に回転することができる。これに図 1(c) のように 2 個のアクチュエータを取り付ける。アクチュエータ 1 はステータが車体に固定され、ロータからベルトを介して減速比 1:1 で車輪 1 にトルクを伝える。アクチュエータ 2 のステータは車輪 2 に固定され車輪とともに回転する。アクチュエータ 2 のロータの回転軸は車輪 2 の回転軸と同心になるように取り付けられている。ロータには質量と慣性モーメントの無視できる長さ L のロッドの一端が固定されており、他端には質量 m のエンドエフェクタが、その重心の位置で取り付けられている。エンドエフェクタの重心回りの慣性モーメントは無視できる。また、アクチュエータの質量、ステータおよびロータの慣性モーメント、さらにベルト及びその伝達系の質量、慣性モーメントも無視できるとする。

図 1(d), (e) のように 3 つの角度 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ を定義する。 θ_1 と θ_2 はそれぞれアクチュエータ 1, 2 の回転角に相当している。 θ_3 は車輪 2 の車体に対する回転角を表している。アクチュエータのトルク τ_1, τ_2 は θ_1, θ_2 の正の方向を正とするように定める。以下では車輪が滑らない状態での運動を考えるため、 $\theta_3 = \theta_1$ として移動ロボットの一般化座標を $\theta = (\theta_1 \ \theta_2)^T$ のようにおく。

ある車体の位置でロッドが鉛直に立っている状態 (図 1(d)) を一般化座標の原点 $\theta = (0 \ 0)^T$ とする。このとき地面に固定された世界座標 α - xy を、車輪 2 の回転軸の位置を原点とし、水平方向を x 軸、鉛直上方向を y 軸とするように設定する。エンドエフェクタの重心位置を世界座標によって $r = (x \ y)^T$ と表す。

以下の各問に答えよ。

- 問 1. r を θ の関数として表し、ヤコビ行列 $J(\theta) = \partial r / \partial \theta$ を計算せよ。
- 問 2. エンドエフェクタの可操作度を計算せよ。運動の特異点を θ_1, θ_2 で表せ。また、可操作度を最大にする θ_1, θ_2 の条件を与えよ。ただし、 $0 \leq \theta_1 + \theta_2 \leq \pi/2$ として答えよ。
- 問 3. 運動エネルギーと位置エネルギーを $\theta, \dot{\theta}$ を用いて表し、ラグランジアンを与えよ。次にラグランジュ方程式を計算し、運動方程式を誘導せよ。
- 問 4. 移動ロボットが θ の位置で静止している。このとき各車輪が地面から受ける力を求め、その水平方向成分の向きを図示せよ。また移動ロボットが静的平衡を保つことができる θ の条件を求めよ。ただし、車輪と地面の間の最大静止摩擦係数を $\mu = 1$ とし、物理パラメータは $m = M, W = L = 4R$ の関係を満たすとする。 $0 \leq \theta_1 + \theta_2 \leq \pi/2$ として答えよ。
- 問 5. 移動ロボットのパラメータがある値をとるとき、運動方程式は以下ようになった。

$$\{5 + 2 \cos(\theta_1 + \theta_2)\} \ddot{\theta}_1 + \{4 + \cos(\theta_1 + \theta_2)\} \ddot{\theta}_2 - (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)^2 \sin(\theta_1 + \theta_2) - 20 \sin(\theta_1 + \theta_2) = \tau_1 \quad (1)$$

$$\{4 + \cos(\theta_1 + \theta_2)\} \ddot{\theta}_1 + 4 \ddot{\theta}_2 - 20 \sin(\theta_1 + \theta_2) = \tau_2 \quad (2)$$

この移動ロボットが一般化座標の原点付近で静止状態にあるとき、突然、アクチュエータ1のベルトが切断した。これによって $r_1 = 0$ となり、 θ_1 は直接計測できなくなった。 $X = (\theta_1 \ \theta_2 \ \dot{\theta}_1 \ \dot{\theta}_2)^T$ を状態、 $U = r_2$ を入力、 $Y = \theta_2$ を出力として、(1)、(2)式の運動方程式を $X = (0 \ 0 \ 0 \ 0)^T$ の近傍で線形化することによって、状態方程式 $\dot{X} = AX + BU$ と観測方程式 $Y = CX$ を作れ。その上で、このシステムの可制御性、可観測性を判定せよ。

以上

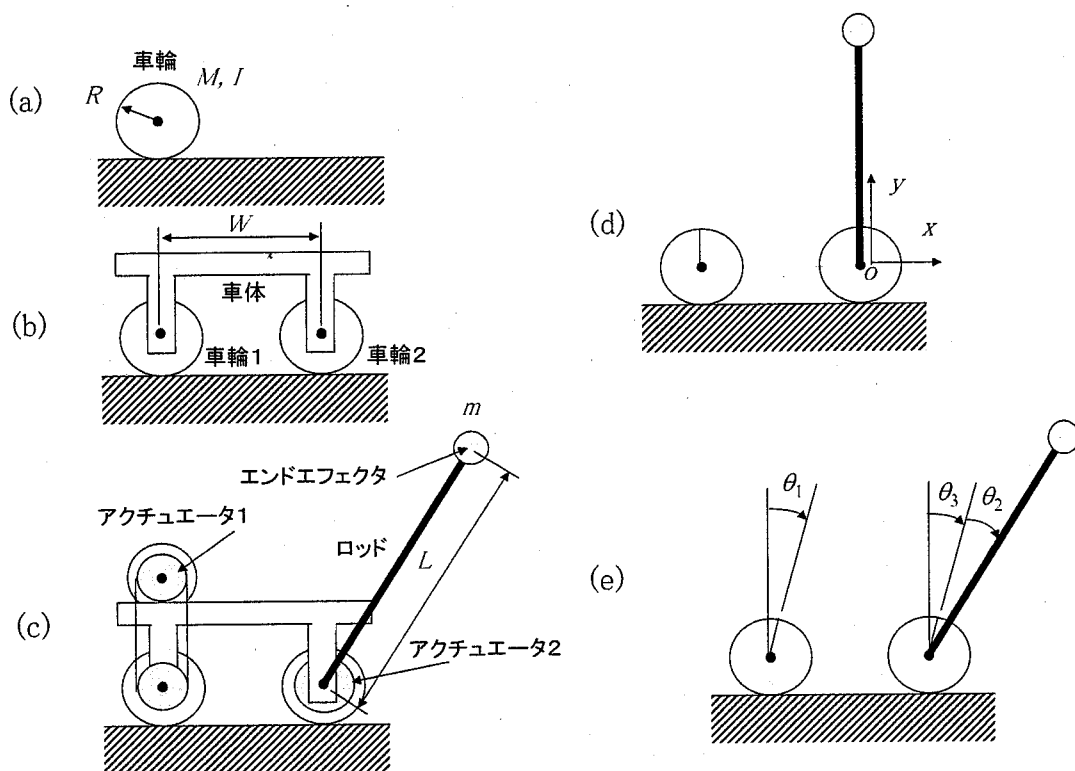


図 1

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 3

問 1. 次の語句を 100 字程度で説明せよ。必要に応じて図を利用してもよい。

- (1) ハフマン符号
- (2) キャッシュ・メモリ
- (3) RFID タグ
- (4) パイプライン処理
- (5) マルコフ過程

問 2. 次の真理値表について、以下の各問に答えよ。

入力				出力
<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>E</i>	<i>D</i>
0	0	0	0	1
0	0	1	1	0
0	1	0	1	1
0	1	1	0	0
1	0	0	1	1
1	0	1	0	1
1	1	0	0	0
1	1	1	1	1

- (1) 出力 D を入力 A, B, C から作る回路 I を 2 入力 NAND 素子のみを用いて、できるだけ簡単に構成せよ。導出過程を要領よく示すこと。
- (2) 入力 A, B, C に誤りが混入する可能性があるとき、入力 E を加えることによって、信号の誤りを検出することができる。このような E を通常何と呼ぶか。また、 E を使うだけでは誤りの回復が原理的に不可能である。その理由を説明せよ。
- (3) 入力 A, B, C, E に対して単一の誤りが混入したことを検出する回路を構成するにはどうすればよいか。方針を簡単に示せ。
- (4) 情報源のエントロピーとは何か。定義の数式を示し、その意味を説明せよ。
- (5) 回路 I において、入力 A, B, C が 1 となる確率がそれぞれ $P_A=0.5, P_B=0.6, P_C=0.5$ であるとき、出力 D のエントロピーを計算せよ。なお、入力

A, B, C はそれぞれ独立である.

必要があれば, $\log_{10}2=0.301, \log_{10}3=0.477$ を使ってよい.

- (6) 回路 I において出力 D のエントロピーが最大となるとき, P_A, P_B, P_C はどう
いう条件を満足すればよいか. 入力 A, B, C はそれぞれ独立である.
- (7) 熱力学におけるエントロピーの定義を述べよ. これと情報源のエントロピー
とはどういう関係があるか.

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)

問題 4

図 1 で示された画像は濃淡値256階調，画像サイズ256×256の画像 $f(x,y)$ である．画像内の一つの領域内の画素は同じ濃淡値をもっている．いま，この画像から領域を抽出して，画像サイズ256×256の領域マップ画像 $g(x,y)$ を作成する．画像 $g(x,y)$ では，各領域は異なる領域番号（0以上の整数値）で区別され，また各領域内の画素は領域番号を濃淡値として持つものとする．

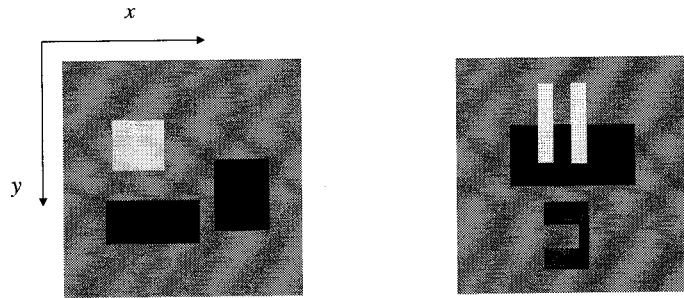


図 1

図 2

問 1. 変数 m の値を 0 で初期化した後，下記の手続きを繰り返したラスタ走査を行うと，領域マップ画像 $g(x,y)$ を作成できる．ラスタ走査とは，画像の左から右へ，上から下へ注目画素 (i,j) を移動しながら行う画像処理操作である．

```

if       $f(i,j)=f(i-1,j-1)$    then  $g(i,j)=g(i-1,j-1)$ ;
else if  $f(i,j)=f(i-1,j)$      then  $g(i,j)=g(i-1,j)$ ;
else if  $f(i,j)=f(i,j-1)$     then  $g(i,j)=g(i,j-1)$ ;
else    begin  $m=m+1$ ;  $g(i,j)=m$ ; end

```

(1) 上記の手続きを用いれば，図 1 より得られる画像 $g(x,y)$ はどのような整数値の分布を持った画像となるか，図示せよ．

(2) 上記の手続きを行う C 言語の関数

```

void operation_proc(unsigned char *f, unsigned char *g)

```

を記述しなさい．ただし `operation_proc()` への引数 f および g は，画像 $f(x,y)$ および画像 $g(x,y)$ に対応する画像データへのポインタであり，すでにメモリ領域については確保されているものとする．なお，いずれの画像データも，上で定義したラスタ走査の順序で一次元の配列となっている．

問 2. 図 2 に示した画像を問 1 で作成したプログラムに適用すると，正確に 5 つの領域（背景領域を含む）を認識できない．画像 $g(x,y)$ はどのような整数値の分布となるか，図示して説明せよ．

問 3. 次に，画像 $f(x,y)$ に表れた一つの領域から，任意の一画素をユーザが選択して，その領域を抽出するプログラム `program` を開発する．プログラムのソースコード `program.c` はプログラムリスト 1 のとおりであり，コンパイルと実行例は下記の通りである．

```

prompt% gcc program.c -o program
prompt% program inputimage.pgm outputimage.pgm 123 45

```

上記の実行例では，ファイル `inputimage.pgm` から読み込んだ画像の $(123, 45)$ の位置にある画素の 8 近傍の各画素が， $(123, 45)$ と同じ領域に含まれるかどうか認定した後，さらにその近傍画素の近傍についても同じ領域に属するかどうかを逐次調べている．最終的には `outputimage.pgm` を領域マップ画像として出力する．次の間に答えよ．

- (1) プログラムリスト 1 内の空欄 (ア) ~ (コ) をすべて埋めよ．
- (2) プログラムリスト 1 において変数 `map1` と `map2` が果たす役割を述べよ．
- (3) プログラムリスト 1 内の逐次処理で用いているプログラミング方法は，一般に何と呼ばれるか．またその方法は，プログラム記述を簡略化する上で有効な手段であるが，同時に過度の活用は計算資源の消費増大につながるということが知られている．その理由を 100 字程度で説明せよ．

問4. プログラムリスト1内のmainルーチンにある部分リスト1を変更して, neighbor_search()を呼び出す方法を改良すれば, 任意の一画素をユーザが選択せずに, 全ての領域を抽出できるようになる. すなわち, 図2に示された5つの領域(含む背景)を個別に正しく抽出した画像 $g(x,y)$ を求めることができる. 部分リスト1の変更後のプログラムを記述せよ. 変更後のプログラム行数は増減してもよい.

プログラムリスト1 program.c

```

#define IMAGE_WIDTH 256
#define IMAGE_HEIGHT 256
/* load_pgm(): image loader*/
extern unsigned char* load_pgm( char *filename );
/* write_pgm(): image writer*/
extern void write_pgm( char *filename, unsigned char* imagebuf);

unsigned char *original,*map1, *map2;

int compare(unsigned char sample, unsigned char reference)
{
    int value;
    if(sample==reference) value= (ア) ;
    else value= (イ) ;
    return(value);
}

void neighbor_search(int i,int j, int value){
    int delta_i,delta_j;
    for(delta_j=-1 ;delta_j<= 1 ;delta_j++)
        for(delta_i=-1;delta_i<= 1 ;delta_i++){
            if(((i+delta_i)>=0)&&((i+delta_i)<IMAGE_WIDTH)
                &&((j+delta_j)>=0)&&((j+delta_j)<IMAGE_HEIGHT)){
                int a = i+delta_i+(j+delta_j)*IMAGE_WIDTH;
                int b = i+j*IMAGE_WIDTH;

                if(compare(*(original+ (ウ) ),*(original+ (エ) ))
                    &&(*(map2+ (オ) )!=255))
                {
                    *(map1+ (カ) )=value;
                    *(map2+ (キ) )=255;
                    (ク) ;
                }
                else *( (ケ) )=255;
            }
        }
}

int main( int argc,char *argv[] )
{
    int value = 1;
    int i,j,k;

    original = load_pgm(argv[1]);

    map1 = (unsigned char*)
        malloc(sizeof(unsigned char)*IMAGE_WIDTH*IMAGE_HEIGHT);
    for(k=0;k<IMAGE_WIDTH*IMAGE_HEIGHT;k++)map1[k]=0;

    map2 = (unsigned char*)
        malloc(sizeof(unsigned char)*IMAGE_WIDTH*IMAGE_HEIGHT);
    for(k=0;k<IMAGE_WIDTH*IMAGE_HEIGHT;k++)map2[k]=0;

    i=atoi(argv[3]);j=atoi(argv[4]);
    neighbor_search(i,j, value); } 部分リスト1

    write_pgm(argv[2], (コ) );
    return(0);
}

```

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)