

平成31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30年8月20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（1, 2A, 2B）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 に示す回路について、以下の問に答えよ。

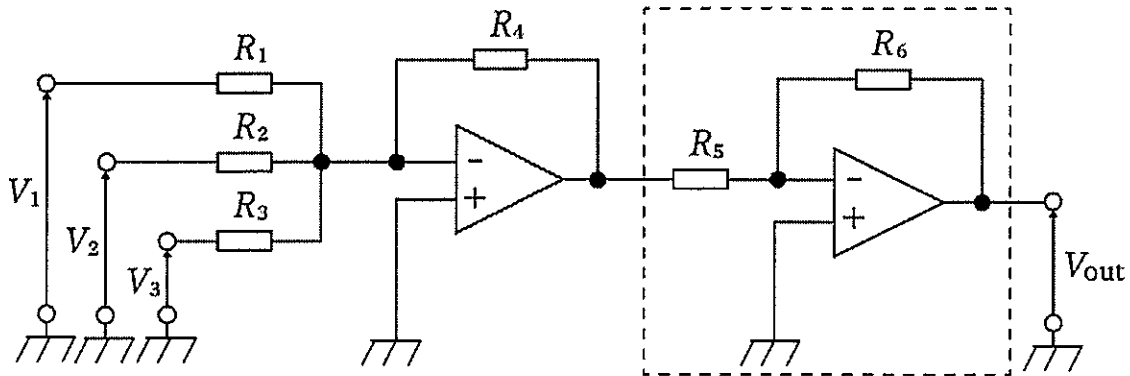


図 1

- (1) $R_1 = 20 \text{ [k}\Omega\text{]}$, $R_2 = 50 \text{ [k}\Omega\text{]}$, $R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = 100 \text{ [k}\Omega\text{]}$ とする。理想的なオペアンプを使用するとき、入力電圧 V_1, V_2, V_3 を用いて出力電圧 V_{out} を表せ。
- (2) この回路全体における、破線で囲まれた部分の役割を簡潔に説明せよ。
- (3) (1) において現実のオペアンプを使用する場合、 V_1, V_2, V_3 の値によっては、 V_{out} が (1) で求めた結果と異なる可能性がある。考えられる理由を一つ簡潔に説明せよ。

問 2. リスト 1 はデータを昇順に並べ替えるクイックソートの C 言語による実装例である。ただし、`void swap(int a[], int i, int j)` は配列 `a` において `a[i]` と `a[j]` の値を入れ替える関数である。以下の問に答えよ。

- (1) リスト 1 の `quicksort` 関数のように、自分自身を呼び出す関数を何というか答えよ。
- (2) リスト 1 中の (A), (B) を埋めよ。
- (3) リスト 1 のアルゴリズムでは計算時間が著しく長くなる可能性がある。この問題に対する改良法を、それが有効な理由とともに一つ説明せよ。

```
void quicksort (int a[], int left, int right) {
    int i, j, pivot;
    if (left < right) {
        i = left, j = right;
        pivot = a[(left + right) / 2];
        while (1) {
            while (a[i] < pivot) i++;
            while (pivot < a[j]) j--;
            if (i >= j) break;
            swap (a, i, j);
            i++; j--;
        }
        quicksort ( (A) );
        quicksort ( (B) );
    }
}
```

リスト 1

問 3. 以下の語句について簡潔に説明せよ。

- (1) 制御理論における「可観測性」
- (2) 「強い AI」と「弱い AI」
- (3) 機構学における「バックラッシュ」

草稿用紙
(切り取らないこと)

問題 2 A (選択問題)

図 1 に示すように、質量 m のおもりが、ばね定数 k のばねと粘性係数 c のダンパを介してフレームに接続されている系を考える。フレームとおもりは図の上下方向のみに運動することができる。慣性系におけるフレームとおもりの変位をそれぞれ u, x とし、ともに静止したときの位置をそれぞれの原点とする。また、相対変位を $y = u - x$ とする。

問 1. おもりの運動に関する以下の間に答えよ。

- (1) おもりの運動方程式を x を用いずに表せ。
- (2) フレームを角周波数 ω で単振動させて、おもりが定常状態であるとき、フレームの変位 u に対する相対変位 y の振幅比と位相差をそれぞれ $r(\omega)$, $\theta(\omega)$ とする。 $r(\omega)$ と $\tan \theta(\omega)$ を求めよ。

問 2. この系を利用した加速度センサに関する以下の間に答えよ。フレームの加速度 a を入力とし、電流 $i = K_1 y$ ($K_1 > 0$) を出力とする加速度センサを考える。このセンサはおもりに力 $f = K_2 i$ ($K_2 \geq 0$) を加えて相対変位 y を抑える機構をもつ。

- (1) センサの伝達関数 $G(s)$ を求めよ。
- (2) $m = 0.01$, $k = 1$, $c = 0.02$, $K_1 = 1$, $K_2 = 0$ として、伝達関数 $G(s)$ のボード線図 (ゲイン線図および位相線図) を描け。
- (3) (2) で、 m, k, c を変えるとセンサの周波数応答はどのように変化するか述べよ。
- (4) (2) で、 K_2 を大きくするとセンサの周波数応答はどのように変化するか述べよ。

問 3. この系を利用した加速度センサを実装する方法について以下の間に答えよ。フレームは 1 辺 50 mm の立方体とする。構成要素はすべてフレーム内に内蔵されるものとする。

- (1) 相対変位 y を計測するセンサを 3 つ挙げ、それぞれのセンサの動作原理、長所、短所を述べよ。
- (2) 相対変位 y を抑えるためにおもりに力を加えるアクチュエータを 1 つ挙げ、動作原理を述べよ。

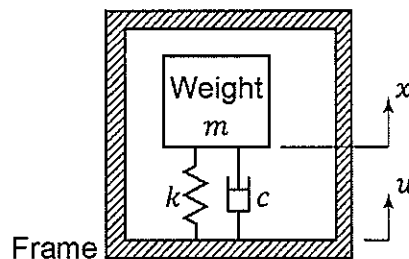


図 1

草稿用紙
(切り取らないこと)

問題 2 B (選択問題)

地図情報のためのデータ構造とアルゴリズムに関する以下の問に答えよ。

問 1. 以下の O 記法で表現された時間計算量を, 小さいものから順に並べよ. 変数 n は正の整数とする.
 $O(n), O(n^2), O(n \log n), O(\log n)$

問 2. リスト 1 は C 言語で書かれたプログラムからひとつの関数を抜き出したものである.

- (1) この関数の戻り値と引数 `num` の関係を方程式で表せ. 引数 `num` は正の整数とする. 実数 x について $x - 1 < m \leq x$ を満たす整数 m を $\text{floor}(x)$ と書いてもよい.
- (2) この関数の時間計算量を O 記法で表せ.

問 3. 2次元平面上の点の配置は, 四分木を用いて表すことができる. 四分木は root ノードから始まる. ここでは, root ノードが表す領域は正方形とする. 子ノードは, 親ノードが表す領域を 4 つの正方形に等分割した各象限を表す. 各ノードは 4 つの子ノードを持つが, 子ノードをまったく持たないかのどちらかである. 複数の点を含むノードは, 子ノードが 1 個以下の点を含むまで繰り返し分岐する. 深さ d のノードが表す領域の辺の長さを L_d とする. root ノードの深さは $d = 0$ で, root ノードが表す領域の辺の長さを L_0 とする. 点は領域の境界には存在しない.

- (1) 図 1(a) と 1(b) は, それぞれ点群 $\{P_0, P_1\}$ と $\{P_2, P_3, P_4\}$ を表す四分木と分割された領域の例を示している. 子ノードの並びは Z 字順序 (NW, NE, SW, SE) に従う. 図 1 にならって, 図 2 の地図上の点群 $\{A, H, K, O, S\}$ を表す四分木と, その木に対応する領域を描け.
- (2) L_d と L_0 の関係を方程式で表せ.
- (3) 四分木の最大深さが D のとき, その四分木が持つノードの最大個数を求めよ. ただし root ノードも個数に含める.
- (4) 深さ d のノードが表す領域に 2 つの点が存在するとき, 2 点間のユークリッド距離 b と L_d の関係を不等式で表せ.
- (5) 最も近い 2 点間のユークリッド距離を s とする. このとき, 四分木の最大深さの上限を求めよ.

問 4. 地図上の都市が点として登録された四分木があるとする. この四分木を用いて, ある都市の最近傍の都市を探索する効率的なアルゴリズムを考え, その概要を述べよ.

```
int divide(int num) {
    int count = 0;
    int i = num;
    while (i > 0) {
        i /= 4;
        count++;
    }
    return count;
}
```

リスト 1

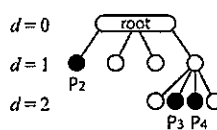
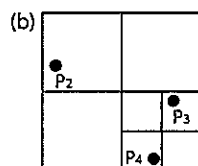
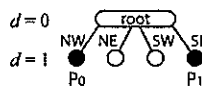
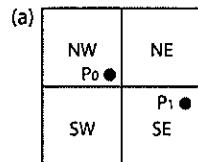


図 1

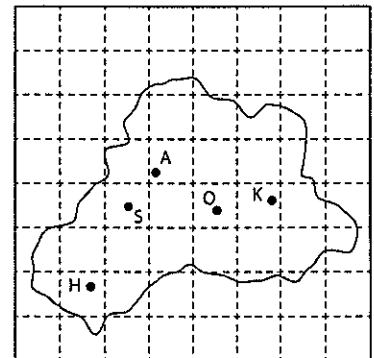


図 2

草稿用紙
(切り取らないこと)

Mechano-Informatics (Subject)

Date : 2018, August 20 (Mon), 14:00 – 16:00

Instructions:

- 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 (1, 2A, 2B). 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. Answer the following questions about a circuit shown in Fig. 1.

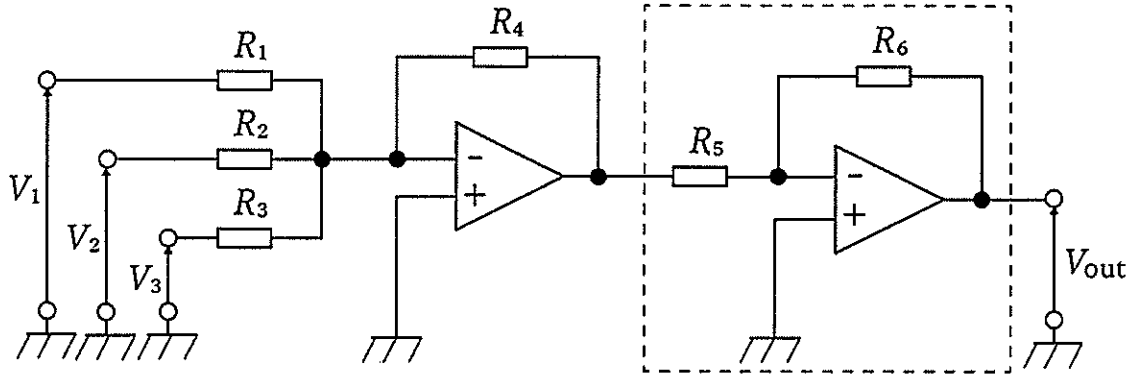


Fig.1

- (1) Let $R_1 = 20 \text{ [k}\Omega\text{]}$, $R_2 = 50 \text{ [k}\Omega\text{]}$, and $R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = 100 \text{ [k}\Omega\text{]}$. Assuming that ideal operational amplifiers are used in the circuit, represent the output voltage V_{out} using input voltages V_1 , V_2 , and V_3 .
- (2) Briefly explain the role, in the entire circuit, of the section surrounded by the broken line.
- (3) When using actual operational amplifiers in (1), there is a possibility that V_{out} deviates from the result derived in (1), depending on the values of V_1 , V_2 , and V_3 . Explain a possible reason briefly.

P. 2. List 1 is an implementation in C language of quick sort that rearranges data in ascending order, where `void swap(int a[], int i, int j)` is a function that swaps the values of `a[i]` and `a[j]` in array `a`. Answer the following questions.

- (1) What do we call a function that refers to itself like the quicksort function in List 1?
- (2) Fill in (A) and (B) in List 1.
- (3) In the algorithm of List 1, there is a possibility that the calculation time significantly increases. Explain a remedy for this problem, together with the reason why it works.

```

void quicksort (int a[], int left, int right) {
    int i, j, pivot;
    if (left < right) {
        i = left, j = right;
        pivot = a[(left + right) / 2];
        while (1) {
            while (a[j] < pivot) j++;
            while (pivot < a[i]) i--;
            if (i >= j) break;
            swap (a, i, j);
            i++; j--;
        }
        quicksort ((A));
        quicksort ((B));
    }
}
    
```

List 1

P. 3. Explain the following terms briefly.

- (1) "Observability" in control theory
- (2) "Strong AI" and "Weak AI"
- (3) "Backlash" in mechanisms

MEMO
(Do not detach this page)

Problem 2A (Required Elective)

Consider a system in which a weight with mass m is connected to a frame by a spring with spring constant k and a damper with damping coefficient c as shown in Fig. 1. The frame and the weight can move only in the vertical direction in the figure. The displacements of the frame and the weight in the inertial system are u and x , whose origins are their positions when both are stationary. Let the relative displacement be $y = u - x$.

P.1. Answer the following questions on the motion of the weight.

- (1) Express the motion equation of the weight without using x .
- (2) When the frame is vibrated with a simple harmonic motion at the angular frequency ω and the weight is in a steady state, let the amplitude ratio and the phase difference of the relative displacement y with respect to the frame displacement u be $r(\omega)$ and $\theta(\omega)$, respectively. Derive $r(\omega)$ and $\tan \theta(\omega)$.

P.2. Answer the following questions on an acceleration sensor using this system. Consider an acceleration sensor whose input is the frame acceleration a and output is the current $i = K_1 y$ ($K_1 > 0$). This sensor has a mechanism to reduce the relative displacement y by applying force $f = K_2 i$ ($K_2 \geq 0$) to the weight.

- (1) Derive the transfer function $G(s)$ of the sensor.
- (2) Draw the Bode diagram (gain diagram and phase diagram) of the transfer function $G(s)$, when $m = 0.01$, $k = 1$, $c = 0.02$, $K_1 = 1$, and $K_2 = 0$.
- (3) In (2), describe how the frequency response of the sensor changes when m , k , and c are modified.
- (4) In (2), describe how the frequency response of the sensor changes when K_2 is increased.

P.3. Answer the following questions on how to implement an acceleration sensor using this system. Let the frame be a cube with a side of 50 mm. All the components must be built in the frame.

- (1) List three sensors that measure the relative displacement y and describe the operation principle, advantage(s) and disadvantage(s) of each sensor.
- (2) List one actuator that applies force to the weight to reduce the relative displacement y and describe the operation principle.

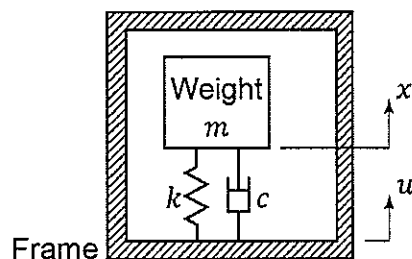


Fig. 1

MEMO
(Do not detach this page)

Problem 2B (Required Elective)

Answer the following questions regarding the data structures and algorithms for map information.

P. 1. Arrange the following time complexities expressed in big- O notation in ascending order. The variable n is a positive integer.

$O(n), O(n^2), O(n \log n), O(\log n)$

P. 2. List 1 shows a function extracted from a program written in C language.

(1) Express the relationship between the return value of this function and the argument num with an equation. The argument num is a positive integer. For a real number x , the integer m that satisfies $x - 1 < m \leq x$ may be written as $\text{floor}(x)$.

(2) Represent the time complexity of this function in big- O notation.

P. 3. The placement of points on a two-dimensional plane can be expressed using a quadtree. A quadtree starts from a root node. Here, the region represented by the root node is a square. A child node represents each quadrant obtained by equally subdividing the region of the parent node into four squares. Each node either has four child nodes or does not have any child nodes at all. A node including multiple points branches repeatedly until the child node contains one or less point. The length of the side of the region represented by the node of depth d is L_d . The depth of the root node is $d = 0$, and the length of the side of the region represented by the root node is L_0 . Points do not exist on the boundaries of the regions.

(1) Figures 1(a) and 1(b) show examples of quadtrees and subdivided regions of points $\{P_0, P_1\}$ and $\{P_2, P_3, P_4\}$, respectively. The child nodes follow the Z-order: NW, NE, SW, SE. Following Fig. 1, draw the quadtree representing the points $\{A, H, K, O, S\}$ on the map of Fig. 2 and the corresponding regions.

(2) Represent the relationship between L_d and L_0 with an equation.

(3) When the maximum depth of a quadtree is D , find the maximum number of nodes of the quadtree. Note that the number includes the root node.

(4) When there are two points in the region represented by a node of depth d , represent the relationship between Euclidean distance of the two points b and L_d with an inequality expression.

(5) Let s be the distance between the closest pair of points. Find the upper bound of the maximum depth of the quadtree.

P. 4. Suppose there is a quadtree with cities on a map registered as points. Using this quadtree, consider an efficient algorithm to search the nearest city of a certain city on the map and describe its outline.

```

int divide(int num) {
    int count = 0;
    int i = num;
    while (i > 0) {
        i /= 4;
        count++;
    }
    return count;
}
    
```

List 1

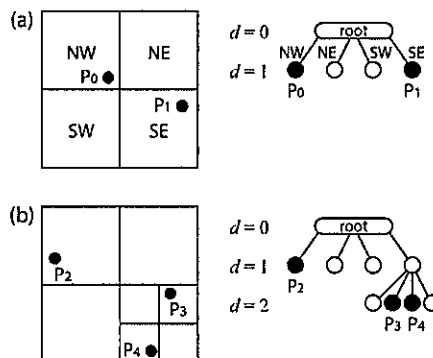


Fig. 1

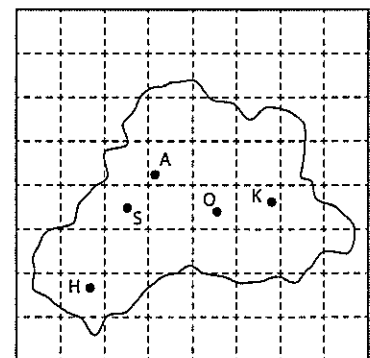


Fig. 2

MEMO
(Do not detach this page)