

平成 19 年度

東京大学情報理工学系研究科創造情報学専攻

筆記試験

注意事項

1. 試験の合図まで、この問題冊子を開かないこと。
2. この表紙の下にある受験番号欄に受験番号を記入しなさい。
3. 4問中3問を選択して解答せよ。
4. 解答用紙は3枚配られる。1問ごとに必ず別の解答用紙を使用すること。解答用紙に書ききれないときには、裏面にわたってもよい。
5. 解答用紙の指定された箇所に、受験番号およびその用紙で解答する問題番号を忘れずに記入すること。
6. 解答用紙および問題冊子は持ち帰らないこと。

受験番号_____

第1問

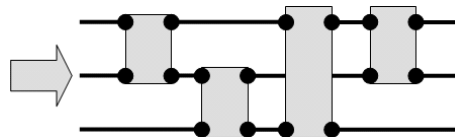
下左図は、2入力2出力の比較器であり、大きさ2のソーティングネットワークでもある。入出力の接続部は黒丸●で表現されている。比較器に左から数を2つ入力すると、小さい数を上から、大きい数を下から右方向へそれぞれ出力する。2数が等しい場合には、同じ数を上下から出力する。



以下ではこの比較器を組み合わせることで、大きさ n のソーティングネットワークを構成することを考える。大きさ n のソーティングネットワークには、入力線が n 本あり、左端から n 個の整数を入力すると、上から下に昇順に整列して右端から出力する。

ある比較器の出力が別の比較器の入力となっている場合は、その二つの比較は1ステップでの同時実行はできない。たとえば、上右図においては、比較器1と2は同時に1ステップで実行することができるが、比較器3は比較器1と2の出力を入力とするため、別に1ステップ必要であり、全体で2ステップかかる。

- (1) 下記のように配線すると、3つの入力は4ステップの実行の後、右端で必ず昇順に出力されることを示しなさい。



- (2) 比較器の個数が $O(n^2)$ となる大きさ n のソーティングネットワークを大きさ $n-1$ のソーティングネットワークから帰納的に構成する方法を一つ示し、正しさを説明した上で、必要な比較器の個数を n の式で表しなさい。
- (3) (2) で構成した大きさ n のソーティングネットワークにおいて、同時に実行できる比較を1ステップで実行する場合、全体でかかるステップ数を n で表しなさい。
- (4) 同時に実行できる比較を1ステップで実行する場合を考える。大きさ4のソーティングネットワークのステップ数の最小数は3であることが知られている。そのような大きさ4のソーティングネットワークを1つ構成し、ステップ数が3であること、また、正しくソーティングできることを説明しなさい。

第2問

センサからデータを入力し、演算を行うコンピュータシステムについて、以下の問いに答えよ。

- (1) このようなコンピュータシステムの例を図1に示す。このコンピュータシステムを用いて、16個のセンサからのデータ x_i ($i=1, 2, \dots, 16$) を入力し、演算 $y_i = f(x_i)$ ($i=1, 2, \dots, 16$) を一度だけ行う場合、この処理を最小時間で実行するプログラムの時間ダイアグラムを示し、その動作の概略を説明せよ。また、この処理に必要な時間 t_a を求めよ。ただし、ここで用いられている回路ブロックの遅延特性 t_{MUX} , t_{SH} , t_{AD} , t_{COMP} は、それぞれ、

t_{MUX} : アナログマルチプレクサにおける入力選択信号 s_{MUX} の確定からアナログ出力 v_{MUX} の確定までの遅延時間

t_{SH} : サンプルホールドにおけるホールド信号 s_{SH} の確定からアナログ出力 v_{SH} の確定までの遅延時間

t_{AD} : ADコンバータにおける変換開始信号 s_{AD} の確定からデジタルパラレル出力 x_i の確定までの遅延時間

t_{COMP} : コンピュータ上で、デジタルパラレル入力 x_i の確定から演算 $y_i = f(x_i)$ の終了までの演算時間

を表し、これら以外の遅延はすべて無視できるものとする。また、便宜上、これらの遅延は一定で、 $t_{MUX} < t_{SH} < t_{AD} < t_{COMP}$ であると仮定する。なお、図に示されている回路以外の回路は適切に処理されているものとして解答では考慮しなくてよい。

- (2) 16個のセンサからのデータを入力し、得られたデータ x_i に対して所定の演算 $y_i = f(x_i)$ ($i=1, 2, \dots, 16$) を行う処理を繰り返し実行することを考える。ただし、図1で回路ブロックとして用いられているアナログマルチプレクサ、サンプルホールド、ADコンバータ、コンピュータはいくつでも使えるものとし、コンピュータのデジタルパラレル入力並びにデジタルパラレル出力は必要なビット数を使えるものとして、以下の問いに答えよ。なお、コンピュータシステムの概略を示す際には、これらの回路ブロックのみを用いて解答するものとし、簡単のため、 $t_{MUX}=t_{SH}=0$ 、コンピュータ間の通信にかかる時間は無視できるものとする。

- (2-1) $t_{AD} < t_{COMP}$ の場合、この繰り返しのサイクルタイムを最小とする回路のなかで、用いるADコンバータの数が最小となるコンピュータシステムの概略を示し、実行するプログラムの時間ダイアグラムを示せ。また、必要となるADコンバータの数を t_{AD} と t_{COMP} の関係から導け。ただし、コンピュータは処理内容にかかわらず、任意の時刻で入出力命令の実行が可能であると仮定してよい。

- (2-2) $t_{AD} > t_{COMP}$ の場合、この繰り返しのサイクルタイムを最小とする回路のなかで、用いるコンピュータの数が最小となるコンピュータシステムの概略を示し、実行するプログラムの時間ダイアグラムを示せ。また、必要となるコンピュータの数を t_{AD} と t_{COMP} の関係から導け。

(3) センサからのデータの入力を伴う並列処理システムを実際に設計する際、一般的に留意すべき事項を 300 字以内で述べよ。

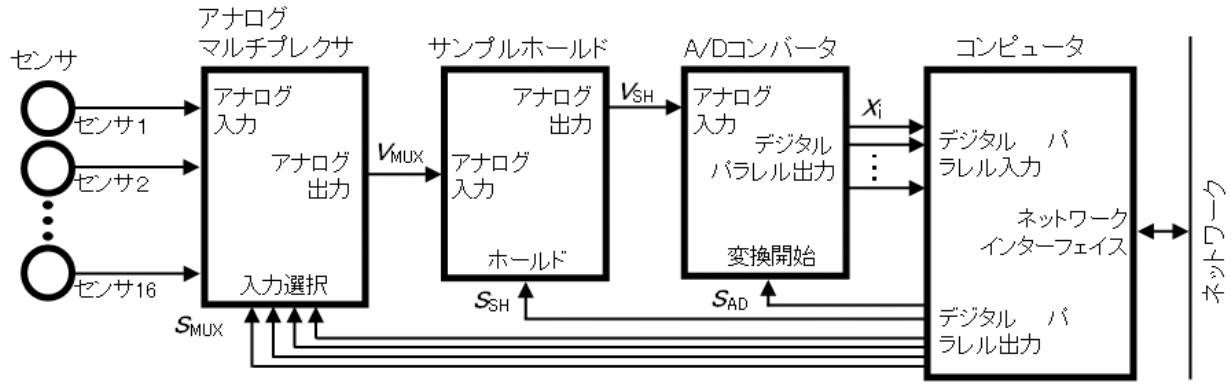


図 1

第3問

図1に示すように、3点O, S, Eのそれぞれに回転軸をもつ3関節アームがある。点Oの関節は図のXYZ座標軸のZ軸回りに回転する。点S, Eのそれぞれの関節は、面OSEWに垂直な軸方向に回転する。 $\overline{OS} = l_0$, $\overline{SE} = l_1$, $\overline{EW} = l_2$ として、以下の問いに答えよ。

- (1) 点Wの座標を $\vec{W}(w_x, w_y, w_z)$ とし、3つの関節O, S, Eの軸回りの回転角ベクトルを $\vec{\theta}(\theta_0, \theta_1, \theta_2)$ として順運動学計算式 $\vec{W} = f(\vec{\theta})$ を求めよ。
- (2) 点Wの速度 $\vec{V}(\dot{w}_x, \dot{w}_y, \dot{w}_z)$ を3つの関節O, S, Eの軸回りの角速度ベクトル $\vec{\Omega}(\dot{\theta}_0, \dot{\theta}_1, \dot{\theta}_2)$ で表せ。
- (3) 逆運動学計算式 $\vec{\theta} = f^{-1}(\vec{W})$ を求めよ。
- (4) アームの先端Wに、力 $\vec{F}(F_x, F_y, F_z)$ が加わる場合に、アームの姿勢を保持するために、3つの関節O, S, Eの各軸回りに必要な関節トルク $\vec{\tau}(\tau_0, \tau_1, \tau_2)$ を求めよ。

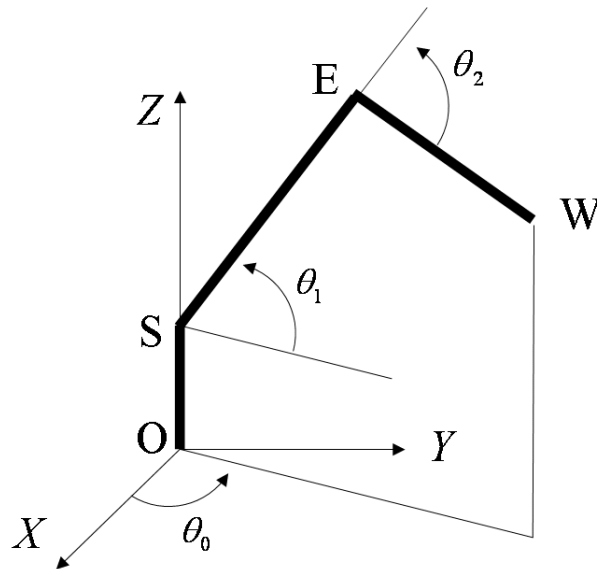


図1

第4問

情報システムに関する以下の項目から 4項目 を選択し，5～10行程度で説明せよ．(指示がある場合は図や例を挙げて説明すること．)

- (1) 標本化定理(サンプリング定理)
- (2) RISC型とCISC型プロセッサ
- (3) インターネット・トランスポート層プロトコルのTCPとUDP
- (4) ヒープソートのデータ構造(図で例を挙げて説明のこと)
- (5) 関数型プログラミング言語の特徴
- (6) 分枝限定法(例を用いて説明のこと)
- (7) 自然言語の形態素(具体例を挙げて説明のこと)
- (8) 同次座標系

2007

Department of Creative Informatics
Graduate School of Information Science and Technology
The University of Tokyo

Information Science and Technology

Instructions

1. Do not open this brochure until the signal to begin is given.
2. Write your examinee ID below on this cover.
3. Answer three out of the four problems.
4. Three answer sheets are given. Use a separate sheet for each problem. You may use the backside of the sheet.
5. Write down the examinee ID and the problem ID inside the top blanks of each sheet.
6. Do not take out the sheets and this brochure from this room.

Examinee ID _____

Problem 1

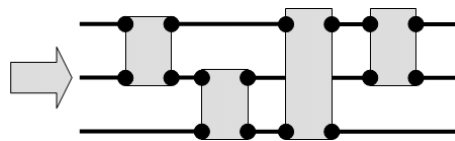
The left figure below shows a sorting network of size 2. The network has a “comparator module” that has two inputs, represented as lines coming into the module from left, and two outputs, represented as lines going out to right. Note that the connecting points of input/output are indicated by the black dots •. The upper output is the smaller of the two inputs and the lower output is the larger. When the 2 values are the same, the value is output from both lines.



We consider a problem of constructing a sorting network of size n . A sorting network of size n has n lines and multiple comparator modules. The n numbers are given at the left end and the network sorts them in the increasing order from top to bottom and outputs them from the right end.

Comparisons of two modules of which one's output is another's input cannot be executed simultaneously in an execution step. For example, in the right figure above, the comparisons of modules 1 and 2 can be executed simultaneously in a step, but another step is required for the comparison by module 3, because the outputs of modules 1 and 2 are the inputs of module 3.

- (1) Explain that the sorting network of size 3 as in the following figure outputs any 3 numbers in the increasing order.



- (2) Show how to construct a sorting network of size n inductively from a sorting network of size $n - 1$, using in total $O(n^2)$ comparator modules. Describe the exact number of comparator modules as a function of n .
- (3) As regards your answer of (2), if we allow simultaneous operations of comparator modules in a step, how many steps are required to sort n inputs?
- (4) Consider the case of executing multiple comparisons simultaneously. It is known that the sorting network of size 4 can be executed in 3 steps. Construct such a sorting network of size 4 and explain the correctness of your answer.

Problem 2

Answer the following questions about computer systems which carry out some operations on sensor data.

- (1) Figure 1 shows a sample configuration of such a computer system. In the case that the system inputs sensor data x_i ($i = 1, 2, \dots, 16$) and computes $y_i = f(x_i)$ ($i = 1, 2, \dots, 16$) for each sensor data x_i only once, show the time diagram for the program which minimizes the time for the whole operation, and describe the outline of the program. In addition, calculate the time t_a needed for the whole operation. Delay times of the circuit blocks used in Figure 1 are defined as:

t_{MUX} : Delay time of the analog multiplexer from the settled time of the input select signal s_{MUX} to the settled time of analog output v_{MUX} ,

t_{SH} : Delay time of the sample-and-hold from the settled time of hold signal s_{SH} to the settled time of analog output v_{SH} ,

t_{AD} : Delay time of the A/D converter from the settled time of conversion start signal s_{AD} to the settled time of signal parallel output x_i ,

t_{COMP} : Computation time for $y_i = f(x_i)$ after the digital parallel input x_i is settled.

Ignore other delays except the above defined delay times. Suppose that these delay times are constant and $t_{\text{MUX}} < t_{\text{SH}} < t_{\text{AD}} < t_{\text{COMP}}$. Since you may suppose that the circuits other than those shown in Figure 1 are designed appropriately, you may not consider those in your answer.

- (2) Consider iterative operations in which sensor data x_i ($i = 1, 2, \dots, 16$) are input and $y_i = f(x_i)$ ($i = 1, 2, \dots, 16$) for each sensor data x_i are computed periodically. Suppose that you can use any number of analog multiplexers, sample-and-holds, A/D converters, and computers used in Figure 1, but no other circuits. Also, suppose that you can use any number of bits of the digital parallel input and the digital parallel output. Answer the following questions. To simplify the condition, suppose $t_{\text{MUX}} = t_{\text{SH}} = 0$, and assume that the time for communication between computers is zero.

- (2-1) In case of $t_{AD} < t_{COMP}$, show the configuration of a computer system which minimizes the cycle time of the iterative operations with the minimum number of A/D converters. In addition, show the time diagram of the program for the computer system and describe the number of necessary A/D converters as a function of t_{AD} and t_{COMP} . In your answer, you may suppose that a computer can carry out input/output operation at any time even if the computer runs any other programs.
- (2-2) In case of $t_{AD} > t_{COMP}$, show the configuration of a computer system which minimizes the cycle time of the iterative operations with the minimum number of computers. In addition, show the time diagram of the program for the computer system and describe the number of necessary computers as a function of t_{AD} and t_{COMP} .
- (3) Describe general important points, within about 100 words, for the design of actual parallel processing systems which manipulate sensor data inputs.

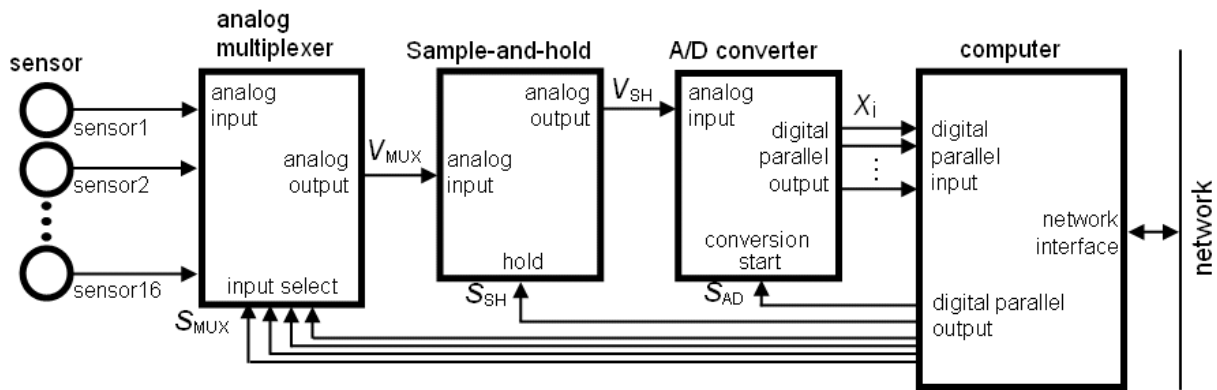


Figure 1

Problem 3

Figure 1 shows an arm which has three joints at O, S and E. The axis of the joint O rotates around Z axis of XYZ coordinates. The axes of joints S and E are vertical to the plane OSEW. Let $\overline{OS} = l_0$, $\overline{SE} = l_1$, $\overline{EW} = l_2$. Answer the following questions.

- (1) Show the equation of the forward kinematics of the arm $\vec{W} = f(\vec{\theta})$, where $\vec{W}(w_x, w_y, w_z)$ is the position vector of W and $\vec{\theta}(\theta_0, \theta_1, \theta_2)$ is the vector of the rotation angles around the joints O, S and E.
- (2) Describe the velocity $\vec{V}(\dot{w}_x, \dot{w}_y, \dot{w}_z)$ of the point W by the angular velocity $\vec{\Omega}(\dot{\theta}_0, \dot{\theta}_1, \dot{\theta}_2)$ of the three joints O, S and E.
- (3) Show the equation of the inverse kinematics of the arm $\vec{\theta} = f^{-1}(\vec{W})$.
- (4) Assume a force $\vec{F}(F_x, F_y, F_z)$ is applied to the point W. Show the joint torque $\vec{\tau}(\tau_0, \tau_1, \tau_2)$ around the three joints O, S and E in order to keep the posture of the arm.

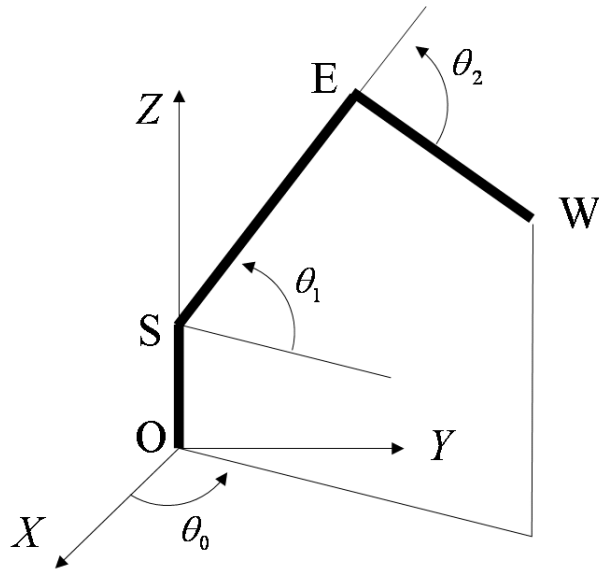


Fig.1

Problem 4

Select four items out of the following eight items regarding information systems, and explain each item in approximately 5 ~ 10 lines. (When indicated, explain with an example.)

- (1) The sampling theorem
- (2) RISC and CISC processors
- (3) TCP and UDP as transport-layer protocols in the Internet
- (4) The data structure used for heap sort (Explain with an illustrative example.)
- (5) Features of functional programming languages
- (6) Branch-and-bound algorithm (Explain with an example.)
- (7) Morpheme in natural languages (Explain with examples.)
- (8) Homogeneous coordinate system

