

受験番号		氏名	
------	--	----	--

2020年度大学院自然科学研究科博士前期課程
電子情報システム工学専攻（情報系）学力検査筆記試験問題

選択科目

科目名	応用数学	コンピュータ アーキテクチャ	データ構造と アルゴリズム	オペレーティング システム	人工知能	オートマトン と言語理論
選択する科目に○印 選択しない科目に×印						

注意

1. 試験時間：8月22日（木）13：00～15：30
2. 試験終了まで退室を認めない。
3. 6科目のうちから4科目を選択して解答すること。試験終了までに、上記の選択科目欄において、選択する科目に○印、選択しない科目に×印を記入すること。選択しない科目の解答用紙については、解答欄に大きく×印を記入すること。
4. 問題用紙，解答用紙，下書用紙が配布されている。
5. 問題用紙はこの表紙を含めて7枚である。
問題用紙の余白は計算用紙，下書用紙として使用してもよいが，この余白に記入された内容は採点対象としない。問題用紙は試験終了後，回収する。表紙上部の受験番号欄と氏名欄に受験番号と氏名を記入すること。
6. 解答用紙は6枚ある。選択しない科目の解答用紙も含めて，6枚すべての受験番号欄と氏名欄に受験番号と氏名を記入すること。（受験番号欄と氏名欄以外には受験番号や氏名を記入してはいけない。）解答欄が足りなければ，解答用紙の裏面に記入してもよいが，整理票の部分は切り離すので，整理票の裏面には記入しないこと。解答はすべて，対応する科目の解答用紙に記入し，他の科目の解答用紙には書かないこと。解答用紙は科目ごとにすべて回収する。
7. 下書用紙に記入された内容は採点対象としない。下書用紙は試験終了後，回収する。下書用紙上部の受験番号欄と氏名欄に受験番号と氏名を記入すること。

以上

問題用紙

試験
科目

応用数学

問1 ベクトル $a = (2, 1, 0)^T$, $b = (3, 2, 1)^T$, $c = (3, 1, -1)^T$ によって張られるベクトル空間を V とする。以下の問に答えよ。

- (1) 三つのベクトルの組 $\{a, b, c\}$ が線形独立か否かを理由とともに述べよ。
- (2) V の直交基底を一つ求めよ。
- (3) ベクトル $d = (1, 1, -1)^T$ の V の上への射影を求めよ (すなわち, $\|d - x\|^2$ を最小にする $x \in V$ を求めよ)。ただし $\|\cdot\|$ はユークリッドノルムを表す。

問2 区間 $[-\pi, \pi]$ 上の関数 $f(x) = -x^2 + \pi^2$ および $g_n(x) = \cos nx$ ($n = 0, 1, 2, \dots$) について, 以下の問に答えよ。

- (1) 異なる非負整数 i, j に対して $\int_{-\pi}^{\pi} g_i(x)g_j(x) dx = 0$ が成り立つことを示せ。
- (2) $f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos nx$ を満たす定数 a_n ($n = 0, 1, 2, \dots$) を求めよ。
- (3) 前問(2)の結果を利用して $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2}$ の値を求めよ。

問題用紙

試験
科目

コンピュータアーキテクチャ

問1 コンピュータアーキテクチャとは何か。本来の定義について、マイクロアーキテクチャという用語と対比させて説明せよ。

問2 あるコンピュータの命令セットは、A、B、Cの3クラスに分類され、それぞれのクラスのCPI (clock cycles per instruction) は1.0、2.0、3.0となっている。このコンピュータには、2種のコンパイラ (コンパイラ1とコンパイラ2) が存在し、あるプログラムをコンパイルしてコード系列を生成すると、A、B、Cの各命令クラス別の実行命令数は、コンパイラ1ではそれぞれ 6.0×10^9 、 3.0×10^9 、 1.0×10^9 となり、コンパイラ2ではそれぞれ 8.0×10^9 、 2.5×10^9 、 1.0×10^9 となる。このコンピュータにおいて、下記の(1)、(2)の設問に答えよ。

- (1) コンピュータのクロック周波数は3.0GHzである。このプログラムの実行全体における、実行命令数、CPUクロックサイクル数、実行時間、CPI、MIPS (million instructions per second) 値を、それぞれのコード系列に対応して求め、解答用紙の表内の空欄に記入せよ。
- (2) このプログラムに関して、コンパイラ1とコンパイラ2のどちらが生成したコードが性能で優れているか。解答用紙の該当欄に、その理由とともに記入せよ。

問3 CPUと主記憶の間にキャッシュが存在し、クロック周波数が2.0GHzのコンピュータがある。このコンピュータについて、下記の(1)~(4)の設問に答えよ。各解答には、所定の欄に結果を記入するだけでなく計算過程も記述すること。

- (1) あるプログラムを実行する場合、もし、1次キャッシュが常にヒットすると仮定すればCPIは2.0になる。この場合の1命令当りの平均命令実行時間を求めよ (単位はns)。また、この場合のコンピュータの性能をMIPS値で表す場合、その値を求めよ。
- (2) キャッシュは1レベル構成であるとする。この場合、すべてのメモリ・アクセスはまず1次キャッシュに対して行われ、1次キャッシュでミスが発生した場合には主記憶がアクセスされる。主記憶へのアクセス時間は、ミスに関するすべての処理を含めて100nsである。(1)のプログラムの実行における1次キャッシュのミス率 β_1 は、その容量に応じて図1のようになる。1次キャッシュの容量が16Kバイトの場合、このコンピュータのCPIを求めよ。また、この場合のMIPS値を求めよ。
- (3) 上記の(2)の構成において、MIPS値を400にするために1次キャッシュの容量のみを変更するとすれば、どれだけの容量にすればよいか (単位はKバイト)。
- (4) 上記の(2)の構成に対して、1次キャッシュと主記憶との間に2次キャッシュを追加する。この2次キャッシュのアクセス時間はヒットの場合もミスの場合も10.0nsである。1次キャッシュでミスが発生した場合に2次キャッシュがアクセスされ、2次キャッシュでもミスが発生した場合には主記憶がアクセスされる。また、(1)のプログラムを実行した場合、2次キャッシュでもミスが発生して主記憶へのアクセスが必要となる割合 (つまり2次キャッシュの大域的ミス率 β_2) は、その容量に応じて図2で示される。1次キャッシュの容量が16KバイトのままMIPS値を400にするためには、2次キャッシュの容量をどれだけにすればよいか (単位はKバイト)。

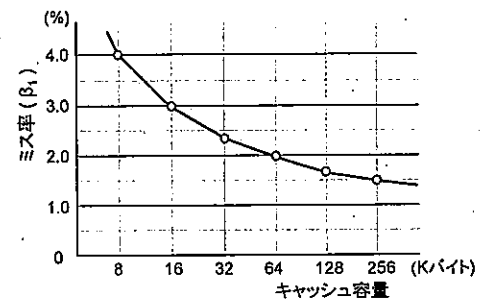


図1 1次キャッシュのミス率

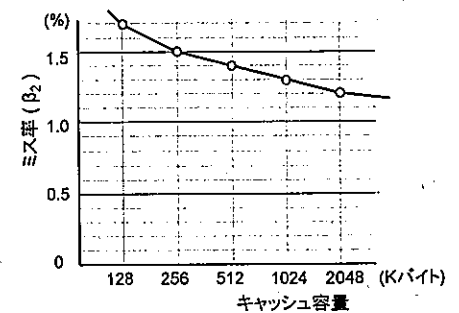


図2 2次キャッシュの大域的ミス率

問4 キャッシュのような記憶階層でミスが発生する原因は、3Cモデルと呼ばれる3種 (cold start miss, capacity miss, conflict miss) に分類できる。これらのうち、下記以外の2種について、それぞれ下記と同様の形式で説明せよ。

- ・ capacity miss (容量性ミス) …… 必要となるすべてのブロックをキャッシュに収容できないことに起因するミス

問5 行列間の積を求めるプログラムとして、C言語で記述され逐次実行されるものがある。これをマルチコアのマイクロプロセッサを搭載するコンピュータ上で高速に実行されるものへと書き換えたい。そのための手法を3種挙げよ。

なお、このマイクロプロセッサの各コアではアウトオブオーダーのスーパースカラ方式で命令が実行される。各コアはキャッシュを有するほか、複数データの並列演算が可能な SIMD (single instruction stream, multiple data stream) 拡張命令が用意されている。プログラミング環境としては OpenMP (open multi-processing) が使用できる。

問題用紙

試験
科目

データ構造とアルゴリズム

問1. 下記のプログラムは2分探索木に対する操作のC言語による記述である。各問に答えよ。

- (1) 空の2分探索木にinsertにより8, 1, 9, 5, 3, 11, 2, 12, 4, 6, 10, 7をこの順に挿入する。全て挿入後の2分探索木を図のような木で示せ。
- (2) delete_maxは、与えられた2分探索木から最大のkeyをもつ節点を一つ削除する。プログラムが完成するように空欄アとイを埋めよ。
- (3) (1)で得られる2分探索木の根をrtとしてdelete_V(5, rt), delete_V(8, rt)をこの順に続けて実行した。その結果得られる2分探索木を図で示せ。
- (4) search_maxは2分探索木の中の最大のkeyの値を返す。n個の節点を含む2分探索木が平衡な場合、search_maxにかかる最悪時間計算量を以下から選び記号で答えよ。
(a) $O(1)$ (b) $O(\log n)$ (c) $O(n)$ (d) $O(n \log n)$ (e) $O(n^2)$ (f) $O(n^3)$

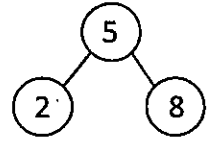


図: 2分探索木の例

<pre> struct node{ int key; struct node *left, *right; }; struct node *insert(int x, struct node *v){ if(v == NULL){ v = malloc(sizeof(struct node)); if(v == NULL) exit(1); v->key = x; v->left = NULL; v->right = NULL; } else if(x < v->key) v->left = insert(x, v->left); else v->right = insert(x, v->right); return v; } struct node *delete_max(struct node *v){ struct node *c; if(v == NULL) return NULL; if(v->right == NULL){ ア; free(v); return c; } v->right = delete_max(イ); return v; } </pre>	<pre> struct node *delete_V(int x, struct node *v){ struct node *c; if(v == NULL) return NULL; if(x == v->key){ if(v->left == NULL){ c = v->right; free(v); return c; } if(v->right == NULL){ c = v->left; free(v); return c; } v->key = search_max(v->left); v->left = delete_max(v->left); } else if(x < v->key) v->left = delete_V(x, v->left); else v->right = delete_V(x, v->right); return v; } int search_max(struct node *v){ if(v == NULL) exit(1); while(v->right != NULL) v = v->right; return v->key; } </pre>
--	--

問2. 下記のプログラムは、挿入ソート（インサージョンソート）とクイックソートのC言語による記述で、data[0]～data[n-1]に格納された整数値を降順に整列する。各問に答えよ。

- (1) プログラムが完成するように空欄ア～ウを埋めよ。
- (2) 以下のように宣言された配列dataに対して関数insertion_sort(data, 6)を呼び出した。for文のiの各値に対する反復において、プログラム中の/*p1*/における配列dataの値を解答欄の表に記入せよ。なお解答欄の表の上の[数字]が配列の添え字を表す。

```
int data[]={2, 8, 1, 5, 3, 5};
```

- (3) (2)と同じ配列dataに対して関数quick_sort(data, 0, 5)を呼び出した。プログラム中の/*p2*/において配列dataの値を出力する場合、出力される値を出力順に解答欄の表に上から記入せよ。
- (4) ここに示した挿入ソートとクイックソートの最良時間計算量と最悪時間計算量をそれぞれ以下から選び記号で答えよ。ただし整列する整数値の個数をnとする。
(a) $O(1)$ (b) $O(\log n)$ (c) $O(n)$ (d) $O(n \log n)$ (e) $O(n^2)$ (f) $O(n^3)$

<pre> void insertion_sort(int data[], int n){ int i, j, x; for(i = 1; i <= n-1; i++){ ア; j = i; while((j-1) >= 0 && data[j-1] < x){ data[j] = data[j-1]; イ; } data[j] = x; /*p1*/ } } void swap(int *a, int *b){ int x; x = *a; *a = *b; *b = x; } </pre>	<pre> void quick_sort(int data[], int left, int right){ int i, j, v, idx; if(left < right){ idx = right; v = data[idx]; i = left; j = right; while(i <= j){ while(data[i] > v) i = i+1; while(data[j] < v) j = j-1; if(ウ) swap(&data[i++], &data[j--]); } /*p2*/ quick_sort(data, left, j); quick_sort(data, i, right); } } </pre>
--	--

問題用紙

試験
科目

オペレーティングシステム

問1 オペレーティングシステムの開始処理が複数の処理主体に分割されて行われる理由を示せ。

問2 各プロセスの処理状況が以下の場合について、下記の設問に答えよ。

<プロセスの処理状況>

下記の4つのプロセスが同時に READY 状態から始まる。ただし、プロセスの優先度は、値が大きいほど高いとする。初期状態において、優先度2の READY 状態キューはプロセスB、プロセスCの順序でつながれているとする。また、READY 状態キューは、FIFO によるキュー操作を仮定する。さらに、プロセッサ処理のいかなる時点においてもプリエンプションは不可能で、かつタイムスライス間隔が0.25秒の場合を考える。

- ・プロセスA（優先度3）は、プロセッサ処理0.3秒と入出力待ち0.9秒を繰り返す。
- ・プロセスB（優先度2）は、プロセッサ処理0.2秒と入出力待ち0.5秒を繰り返す。
- ・プロセスC（優先度2）は、プロセッサ処理0.4秒と入出力待ち0.4秒を繰り返す。
- ・プロセスD（優先度1）は、プロセッサ処理0.8秒と入出力待ち0.2秒を繰り返す。

<設問>

（設問2-1）最初の2秒間にタイムスライスは何回発生するか。

（設問2-2）タイムスライス機能により、初めて、走行するプロセスが変化する（つまり、別プロセスへのプロセス切り替えが発生する）のは、何秒後で、どのプロセスからどのプロセスへの切り替えが行われるか。もし、このような場合がまったく発生しない場合は、「なし」とし、その理由を記せ。

（設問2-3）プロセスCの最初のプロセッサ処理（0.4秒）が終了するのは、何秒後か。

（設問2-4）2秒後に RUN 状態にあるプロセスはどれか。全てのプロセスが WAIT 状態の場合は、「なし」と記せ。

問3 ファイル実体の管理において、等分割された領域の大きさが16KBで、「ファイル実体の格納位置に関する情報」の大きさが8エントリの場合、以下の設問に答えよ。

（設問3-1）全エントリで直接管理を行う場合、管理できるファイル実体の最大の大きさを示せ。

（設問3-2）最初の6エントリで直接管理、次の1エントリで1次の間接管理、次の1エントリで2次の間接管理を行う場合、管理できるファイル実体の最大の大きさを示せ。ただし、間接管理において、間接表の1エントリは4バイトとする。

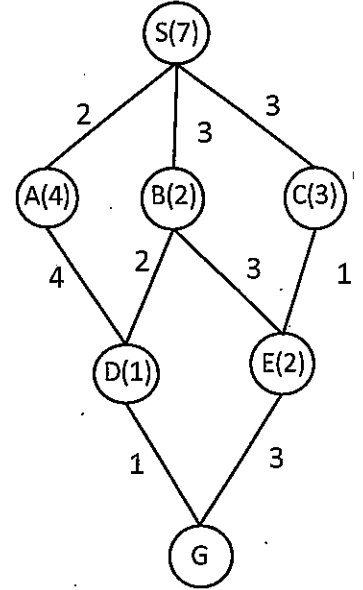
（設問3-3）直接管理と間接管理を組み合わせる場合、後半のエントリを間接管理とする理由を示せ。

問題用紙

試験科目 人工知能

問 1. 右図において初期ノード S から出発して目標ノード G に至る最小コスト経路(最短経路)の探索について考える。グラフ中の各枝に対応するコストを枝の付近に数字で示す。また、ノードの記号を N とした場合、ノード N から目標ノード G までのコストの推定値 $\hat{h}(N)$ を N の後に括弧を付けて示す。このとき、下記の間題に答えよ。

(1) A*アルゴリズムによって探索する場合の探索過程を open リストと closed リストの表に記述しなさい。ここで open リストは、展開前のノードの記号 N とノード N を通る最適な経路のコストの推定値 $f(N)$ で表現されるペア $(N, f(N))$ を要素とするリストである。open リスト内のペアは推定コストの昇順に(推定コストが同じ場合にはノードの記号のアルファベット順に)並べるものとする。closed リストとは展開を終えたノードを順に格納したリストである。探索過程は open リストのノードを展開する毎に、closed リストとともに記述する。なお open リストの初期値は $((S, 7))$ であり、次はノード S を展開した子ノードの記号 N と推定値 $f(N)$ のペアのリストとなる。また、closed リストは例えば X, Y, Z の順であれば $(X Y Z)$ と記述する。解答用紙の表は必要な行だけ利用し、不足する場合は追加すること。

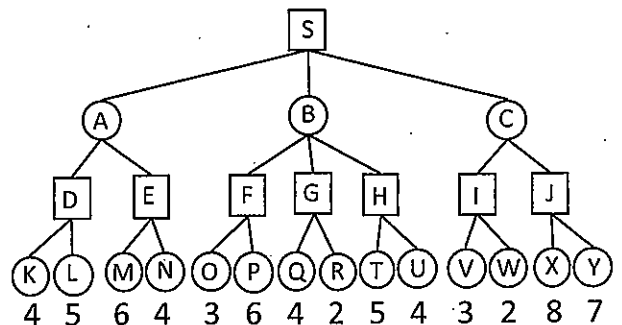


(2) ノード G までのコストの推定値を使わず、ノード S からのコストが最小のノードを最初に調べることで最小コスト経路を探索する場合の探索過程を open リストと closed リストの表に記述しなさい。ここで open リストは展開前のノードの記号 N とノード N までの最適な経路のコストの推定値 $g(N)$ で表現されるペア $(N, g(N))$ を要素とするリストである。open リスト内のペアは推定コストの昇順に(推定コストが同じ場合にはノードの記号のアルファベット順に)並べるものとする。closed リストは(1)と同様である。下表はノード S を展開したところまで記述している。続きを解答用紙に記述しなさい。解答用紙の表は必要な行だけ利用し、不足する場合は追加すること。

open リスト	closed リスト
$((S, 0))$	$()$
$((A, 2)(B, 3)(C, 3))$	(S)

(3) 上記(1)および(2)で得られた最小コスト経路をノードの記号の列でそれぞれ記述しなさい。

問 2. 2 人のプレイヤーが交替で手を指すゲーム(例えば将棋など)の遷移状態を木構造で表したゲームの木の探索について考える。右図は、先手番である現在の局面 S から 3 手先までの可能な局面を示している。また、葉ノードの下の数字は 3 手先の局面の評価値である。評価値は大きい方が先手にとって良いことを表している。



□は先手番の局面、○は後手番の局面を表す。この時、下記の間題に答えよ。

- ミニマックス法を適用した場合、ノード A の評価値を求めよ。
- ミニマックス法を適用した場合、ノード A, B, C のうち先手が最も有利な局面を記号で答えよ。
- アルファ・ベータ法を適用することで、ゲームの木の探索空間を制限することを考える。左側から縦型探索をする際、アルファ・カットおよびベータ・カットにより探索されないノードをそれぞれ全て答えよ。

問題用紙

試験科目 **オートマトンと言語理論**

問1 ϵ 遷移を含む非決定性有限状態オートマトン $M = (\{q_0, q_1, q_2\}, \{a, b\}, \delta, q_0, \{q_2\})$ の状態遷移関数 δ を次の表のとおり与える。表中、 \emptyset は遷移先がないことを表す。下記の(1)(2)(3)(4)に答えよ。

		入力		
		a	b	ϵ
状態	q_0	$\{q_0, q_1\}$	\emptyset	\emptyset
	q_1	$\{q_2\}$	$\{q_1\}$	\emptyset
	q_2	\emptyset	$\{q_2\}$	$\{q_1\}$

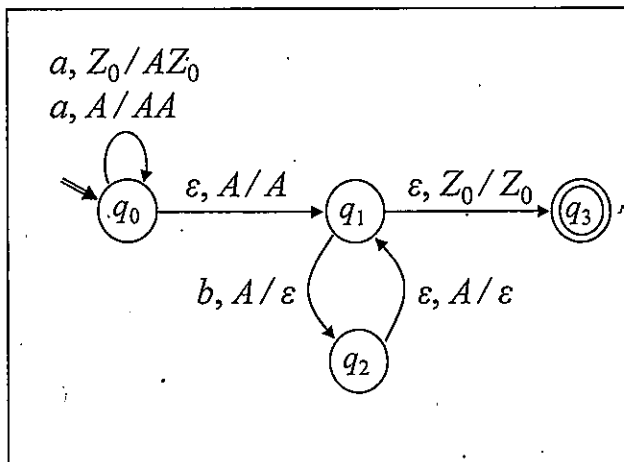
- (1) M の状態遷移図を書け。
- (2) M に入力 aba を与えた後の状態集合を書き、入力が受理されるか否かを答えよ。
- (3) M と等価な決定性有限オートマトンのうち、状態数が最小となるような(最簡形の)オートマトンの状態遷移図を書け。
- (4) M が受理する言語を正規表現で書け。

問2 下記の(1)(2)(3)に答えよ。

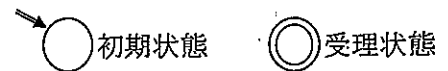
- (1) 正規表現 $(a + b)a^*$ で表される $\{a, b\}$ 上の言語 L を受理する決定性有限オートマトンの状態遷移図を書け。
- (2) (1) の言語 L を生成する正規文法を示せ(生成規則のみを示せばよい)。
- (3) 言語 $L = \{a^n b^m | n \geq 0, m \geq 0\}$ を生成する文脈自由文法を示せ(生成規則のみを示せばよい)。

問3 下記の(1)(2)に答えよ。

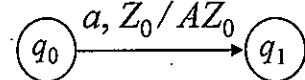
(1) 下図の状態遷移図で示されるプッシュダウンオートマトン M によって受理される言語 $L(M)$ を示せ。



ただし、図中の記号の意味は次とする。



また、動作関数 $\delta(q_0, a, Z_0) = (q_1, AZ_0)$ は、下記のように図示するものとする。



スタックアルファベットは $\Gamma = \{A, Z_0\}$ であり、 Z_0 はボトムマーカである。

(2) 言語 $L = \{a^n b^m | n \geq m \geq 1\}$ を受理するプッシュダウンオートマトンの状態遷移図を書け。