平成23年度
東京大学大学院情報理工学系研究科
コンピュータ科学専攻
入学試験問題

専門科目 I

平成22年8月24日
10:00 – 12:30

注意事項

(1) 試験開始の合図があるまで, この問題冊子を開けないこと.
Do not open this problem booklet until the start of the examination is announced.

(2) 4 題すべてに答えよ. 問題ごとに指定された解答用紙を使用すること.
Answer the following 4 problems. Use the designated answer sheet for each problem.

(3) 解答用紙および問題冊子は持ち帰らないこと.
Do not take this problem booklet or any answer sheet out of the examination room.

下欄に受験番号を記入すること.
Write your examinee's number in the box below.

受験番号	No.

問題 1

3 次元物体のリアルな画像を生成する一つの方法としてレイトレーシングがある．この方法は，視点を基点とした視線と物体との交点を算出し，その点からの反射，屈折の方向を算出し，さらなる探索を行う方法である．以下の問いに答えよ．

(1) 図 1 のように，面の法線ベクトルを N, 視線ベクトルを V（物体から視線の方向とする），反射ベクトルを R とするとき，R を N および V を用いて表せ．なお，N および V は単位ベクトルとする．

(2) 半透明物質の場合には，反射に加えて屈折も考慮する．図 1 のように法線ベクトルを N，視線ベクトルを V とする．屈折ベクトル T を求めよ．なお，屈折は次のスネルの法則に従うものとする．

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

ここで θ_1 と θ_2 は入射角と屈折角で，n_1 と n_2 は入射前および屈折後の媒質の屈折率である．

(3) 図 2 のように視線を遮るように厚み H の平行透明板が視線上にある場合，見える点は透明板がない場合に比べ移動する（図中点 A から点 B）．この移動距離 D を計算せよ．なお，透明板の法線ベクトルを N，視線ベクトルを V，両者のなす角を θ_1 とする．また，屈折率 1 の空気中に屈折率 n の透明板があるものとする．

(4) 物体が

$$ax^2 + by^2 + cz^2 + dxy + eyz + fzx + gx + hy + iz + 1 = 0$$

で表現される 2 次曲面の場合，面上の点 $P(x_p, y_p, z_p)$ での法線ベクトルを求めよ．ただし，a, b, c, d, e, f, g, h, i は定数である．

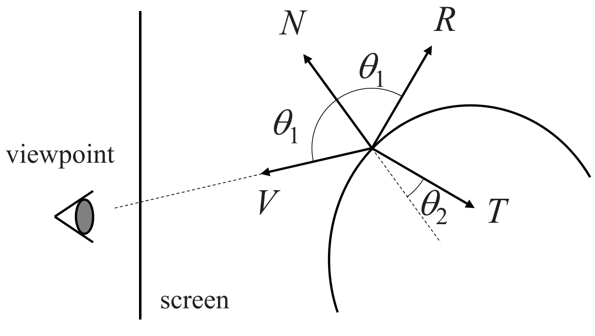


図 1

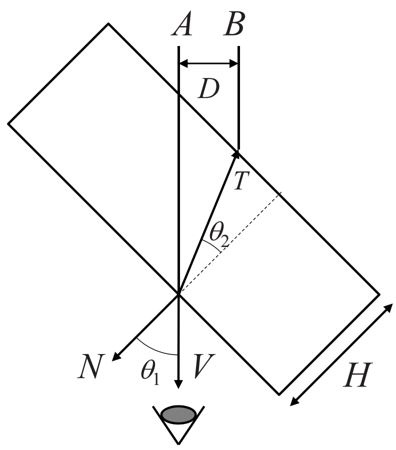


図 2

Problem 1

Ray tracing is one of the realistic rendering methods of 3D objects. In this method, after finding the intersection point of an object and the ray from the viewpoint, we calculate the reflected and refracted directions of rays from the intersection point, from which we further continue the same tracing process. Answer the following questions.

(1) Let N be the normal vector of the surface, let V be the view vector (directed from the object to the viewpoint), and let R be the reflection vector, as shown in Figure 1. Let both N and V be unit vectors. Derive R in terms of N and V.

(2) In the case of transparent objects, both refraction and reflection need to be taken into account. Obtain the refracted vector T by using the normal vector N and the view vector V, as shown in Figure 1. The relationship between the angle of incidence θ_1 and the angle of refraction θ_2 is given by the Snell's law, as follows:

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2,$$

where n_1 and n_2 are the indices of refraction of materials through which the ray passes before and after the refraction, respectively.

(3) Consider a parallel transparent plate with thickness H as shown in Figure 2. The ray passing through the transparent plate is shifted (point A to point B). Let θ_1 denote the angle between the normal vector of the plate N and the view vector V. Suppose that the plate, whose index of refraction is n, is located in the air, whose index of refraction is 1. Compute the shift length D.

(4) Consider a quadric surface represented by the following equation:

$$ax^2 + by^2 + cz^2 + dxy + eyz + fzx + gx + hy + iz + 1 = 0,$$

where a, b, c, d, e, f, g, h and i are constants. Obtain the normal vector at point $P(x_p, y_p, z_p)$ on the surface.

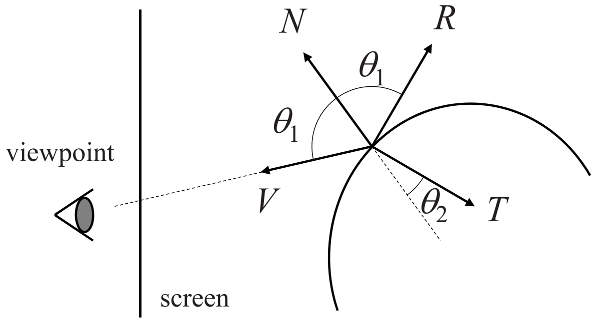


Figure 1

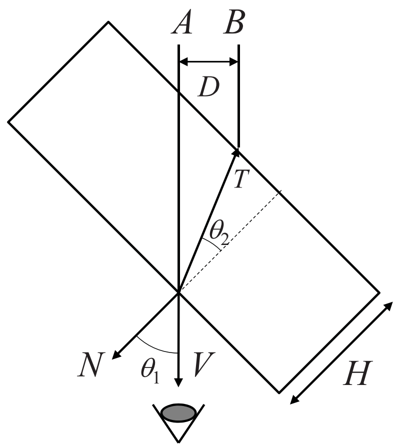


Figure 2

問題 2

X 先生のクラスには $2n$ 人の生徒 $Y_1, Y_2, \ldots, Y_{2n}$ がいる ($n \geq 1$)．これらの生徒を赤組と白組の 2 つのグループにわけたい．しかしながら同じグループに入れないようにしたい生徒の組み合わせが m 組あり，グループ分けが難航している．このとき，生徒たち $Y_1, Y_2, \ldots, Y_{2n}$ を頂点として，同じグループに入れないようにしたい生徒の組み合わせ間に枝を張った総枝数 m のグラフ G を考える．以下では，同じグループに入れないようにしたい生徒たちが異なるグループになるように生徒を赤組と白組にわけることができたとき,「うまく」わけられたと言う．

(1) X 先生のクラスを「うまく」赤組と白組にわけることができるならば，グラフ G は奇数長の閉路を持たないことを示せ．

(2) グラフ G が奇数長の閉路を持たないならば，X 先生のクラスを「うまく」赤組と白組にわけることができることを示せ．

(3) X 先生のクラスを「うまく」赤組と白組にわけることができるかどうかを判定するアルゴリズムを示し，その計算量を示せ．

(4) X 先生のクラスを「うまく」，ただし赤組と白組のいずれもが等しく n 人からなるようにわけることができるかどうかを判定するアルゴリズムを示し，その計算量を示せ．

Problem 2

Mr. X, a school teacher, has $2n$ students $Y_1, Y_2, \ldots, Y_{2n}$ ($n \geq 1$) in his class. He wants to divide his class into two groups named Team Red and Team White. There are m pairs of students such that two students in each pair should not be assigned to the same group. Consider a graph G with m edges, in which the students $Y_1, Y_2, \ldots, Y_{2n}$ are modeled by the nodes and an edge connects two nodes if and only if the two corresponding students should not be assigned to the same group. In the following questions, Mr. X's class is said to be divided "without conflict" if the students who should not be assigned to the same group are assigned to different groups.

(1) Prove the following claim: if Mr. X's class can be divided into Team Red and Team White "without conflict," then the graph G does not have any cycles of odd length.

(2) Prove the following claim: if the graph G does not have any cycles of odd length, then Mr. X's class can be divided into Team Red and Team White "without conflict."

(3) Describe an algorithm that determines whether or not Mr. X's class can be divided into Team Red and Team White "without conflict." What is the computational complexity of the algorithm?

(4) Describe an algorithm that determines whether or not Mr. X's class can be divided into Team Red and Team White "without conflict" and such that each team contains exactly n students. What is the computational complexity of the algorithm?

問題 3

Σ を有限アルファベット，$X = \{x_1, x_2, \ldots\}$ を変数記号の集合とする．ただし $\Sigma \neq \emptyset$ かつ $\Sigma \cap X = \emptyset$ とする．Σ^+ を Σ 上の空でない記号列全体からなる集合とする．$\Sigma \cup X$ 上の空でない記号列 $p \in (\Sigma \cup X)^+$ をパターンという．また，$i = 1, 2, \ldots$ に対して u_i を $\Sigma \cup X$ 上の空でない記号列，すなわち $u_i \in (\Sigma \cup X)^+$，とするとき，$\theta = \{x_i \leftarrow u_i \mid i = 1, 2, \ldots\}$ を代入という．パターン p における変数記号 x_i の出現をそれぞれ u_i に置き換えて得られる記号列を $p\theta$ で表す．パターン p と q に対して，ある代入 θ が存在して $p = q\theta$ となるとき，$p \preceq q$ と記述する．パターン p に対して，$L(p) = \{w \in \Sigma^+ \mid w \preceq p\}$ と定義する．

このとき次の命題を証明せよ．

(1) パターン p と q に対して，$p \preceq q$ ならば $L(p) \subseteq L(q)$ である．

(2) パターン p と q に対して，$L(p) \subseteq L(q)$ ならば $|q| \leq |p|$ である．ここで $|v|$ は記号列 v の長さを表すものとする．

(3) $\Sigma = \{0, 1\}$ とする．このとき，パターン $p = 00x_1 11$ と $q = x_2 01 x_3$ に対して $L(p) \subseteq L(q)$ である．

Problem 3

Let Σ be a finite alphabet and let $X = \{x_1, x_2, \ldots\}$ be a set of variable symbols, where $\Sigma \neq \emptyset$ and $\Sigma \cap X = \emptyset$. The set of non-empty strings over Σ is denoted by Σ^+. A non-empty string $p \in (\Sigma \cup X)^+$ over $\Sigma \cup X$ is called a pattern. For $i = 1, 2, \ldots$, let u_i be a non-empty string over $\Sigma \cup X$, that is, $u_i \in (\Sigma \cup X)^+$. The set $\theta = \{x_i \leftarrow u_i \mid i = 1, 2, \ldots\}$ is called a substitution. Then $p\theta$ denotes the string obtained by replacing every variable occurrence x_i in p with u_i. For patterns p and q, we denote $p \preceq q$ if there is a substitution θ such that $p = q\theta$. For a pattern p, we define $L(p) = \{w \in \Sigma^+ \mid w \preceq p\}$.

Prove the following propositions:

(1) For patterns p and q, if $p \preceq q$, then $L(p) \subseteq L(q)$.

(2) For patterns p and q, if $L(p) \subseteq L(q)$, then $|q| \leq |p|$, where $|v|$ denotes the length of string v.

(3) Let $p = 00x_111$ and $q = x_201x_3$ and let $\Sigma = \{0, 1\}$. Then $L(p) \subseteq L(q)$ holds.

問題 4

キャッシュメモリに関する以下の問いに答えよ．

以下の問いでは，固定ブロックサイズを持ち，N ウェイセットアソシアティブ方式のキャッシュメモリを扱う．キャッシュヒット時のアクセス時間を T_{hit}，キャッシュミス時のアクセス時間を T_{mis} とする．ここでアクセス時間とは CPU がロードまたはストアの要求を出してからそれが完了するまでの時間であり，$T_{hit} \ll T_{mis}$ とする．キャッシュメモリは命令キャッシュメモリとデータキャッシュメモリに分かれていることを仮定する．以下の問いでは命令キャッシュメモリが性能に与える影響は考慮しないこと．コンパイラは配列要素以外の変数をレジスタに割り当て，ループ構造を変更する最適化はしないものとする．

(1) 以下のプログラムは，C 言語で記述された配列を扱うプログラムの一部分である．なお `float` は 4 バイトとする．

```
float A[1048576], B[1048576], C[1048576];
float d = 0.0f;
 /*  ここで，A, B, C に値を入れる  */
for (i=0; i< 1048576; i++)   /* 区間 S1 */
  C[i] = A[i] - C[i];
for (i=0; i< 1048576; i++)   /* 区間 S2 */
  d += B[i] * C[i];
/* プログラムの残りの部分  */
```

なお，配列のサイズである 1048576 は 2^{20} である．また，`A` の先頭アドレスはブロックサイズにアラインされており，`A`, `B`, `C` は連続してメモリ上に配置されるものとする．さらに，区間 `S1` の直前では，配列 `A`, `B`, `C` の前半部分はキャッシュメモリに載っていないものとする．

データキャッシュメモリのサイズが 4096 バイト (2^{12} バイト)，キャッシュメモリのウェイ数が 2, ブロックサイズが 8 語（32 バイト）の場合のキャッシュミス率と実効的な平均アクセス時間を区間 `S1`, 区間 `S2` について求めよ．

(2) 問い (1) におけるプログラムにおいて，下記のように区間 `S1` と `S2` を合わせて一つの `for` ループとするプログラムに変更すると，高速化するか，または低速化するかを論述せよ．

```
for (i=0; i< 1048576; i++)
  { C[i] = A[i] - C[i];
    d += B[i] * C[i];  }
```

(3) 上記高速キャッシュメモリ（1 次キャッシュメモリ）と低速メインメモリの間に，中速メモリを用いた 2 次キャッシュメモリを入れる．2 次キャッシュメモリのサイズを 65536 バイト (2^{16} バイト)，ウェイ数を 4，ブロックサイズを 8 語（32 バイト），1 次キャッシュミス 2 次キャッシュヒット時のアクセス時間を T_{sec} とし，$T_{hit} < T_{sec} < T_{mis}$ とする．このとき，問い (1) の区間 `S2` の処理が高速化されない理由を説明せよ．

(4) 問い (3) における平均アクセス時間を短縮するアーキテクチャ上の工夫を 3 つ述べよ．

Problem 4

Answer the following questions on cache memory systems.

The cache memory in the following questions has fixed-size cache blocks and N-way set associative structure. Let T_{hit} be the access time at cache hit, and let T_{mis} be the access time at cache miss, where the access time is the elapsed time from a CPU's request of load or store to its completion. Assume $T_{hit} \ll T_{mis}$. Assume that instruction cache memory and data cache memory are separate. In the following questions, influence of the instruction cache memory on the performance should not be taken into account. Compiler assigns all the variables except the array elements to registers, and does not apply optimizations that change loop structures.

(1) The following program is a part of a program that handles arrays, written in the C language. Let the size of `float` be 4 bytes.

```
float A[1048576], B[1048576], C[1048576];
float d = 0.0f;
 /*  Here, values on A, B and C are generated  */
for (i=0; i< 1048576; i++)   /* Section S1 */
  C[i] = A[i] - C[i];
for (i=0; i< 1048576; i++)   /* Section S2 */
  d += B[i] * C[i];
/* Rest part of the program  */
```

Note that the size of the arrays, 1048576, is 2^{20}. Assume that the base address of `A` is aligned to the block size, and `A`, `B`, and `C` are located contiguously in the memory address space. Assume that the first parts of `A`, `B`, and `C` are not on the cache memory just before Section `S1`.

Assume that the size of the data cache memory is 4096 bytes (2^{12} bytes), the structure is 2-way set associative, and the size of each cache block is 8 words (32 bytes). Calculate the cache miss rates and the effective average access times in each of Sections `S1` and `S2`.

(2) Next assume that Section `S1` and Section `S2` are fused into a single `for`-loop as shown below. Describe whether this program is faster or slower than the program in question (1).

```
for (i=0; i< 1048576; i++)
  { C[i] = A[i] - C[i];
    d += B[i] * C[i];   }
```

(3) Assume that secondary cache memory that consists of moderate speed memory is placed between the fast cache memory (primary cache memory) and the slow main memory. The size of the secondary cache memory is 65536 bytes (2^{16} bytes), the structure is 4-way set associative, and the size of each cache block is 8 words (32 bytes). Let T_{sec} be the access time at primary cache miss and secondary cache hit, and assume $T_{hit} < T_{sec} < T_{mis}$. Explain why the performance of Section `S2` of question (1) is not improved.

(4) Describe three methods of architectural improvements to reduce the average access time in question (3).

平成23年度
東京大学大学院情報理工学系研究科
コンピュータ科学専攻
入学試験問題

専門科目 II

平成22年8月24日
13:30 – 16:00

注意事項

(1) 試験開始の合図があるまで, この問題冊子を開けないこと.
Do not open this problem booklet until the start of the examination is announced.

(2) 4 題すべてに答えよ. 問題ごとに指定された解答用紙を使用すること.
Answer the following 4 problems. Use the designated answer sheet for each problem.

(3) 解答用紙および問題冊子は持ち帰らないこと.
Do not take the problem booklet or any answer sheet out of the examination room.

下欄に受験番号を記入すること.
Write your examinee's number in the box below.

受験番号	No.

問題 1

確率変数 X_k $(k = 1, 2, \ldots)$ は互いに独立に区間 $[0,1]$ 上の一様分布 $U[0,1]$ に従うとする．このとき，次の問いに答えよ．

(1) X_k の期待値と分散を求めよ．

(2) 連続型確率変数 X が確率密度関数 $f(x)$ を持つとき

$$M_X(t) = E[e^{tX}] = \int_{R_X} e^{tx} f(x) dx$$

で定義される関数を積率母関数と呼ぶ．ただし，R_X は X の定義域を表す．X_k の積率母関数 $M_{X_k}(t)$ を求めよ．

(3) 正の整数 n, 実数 $a_1, a_2, \ldots, a_n$ に対し $W = \sum_{k=1}^{n} a_k X_k$ で定義される確率変数 W の積率母関数は

$$M_W(t) = M_{X_1}(a_1 t) \times \cdots \times M_{X_n}(a_n t)$$

と表されることを示せ．

(4) X_k を期待値 0, 分散 1 に規格化した確率変数を Y_k とする．Y_k の積率母関数 $M_{Y_k}(t)$ を求めよ．

(5) 問い (4) の Y_k に対し，$S_n = Y_1 + Y_2 + \cdots + Y_n$ とする．このとき，S_n を期待値 0，分散 1 に規格化した確率変数を Z_n とおき，その積率母関数 $M_{Z_n}(t)$ に対して

$$\lim_{n \to \infty} M_{Z_n}(t) = e^{\frac{t^2}{2}}$$

を示せ．ただし，必要ならば $e^x \approx 1 + x + \frac{1}{2!}x^2 + \frac{1}{3!}x^3 + \frac{1}{4!}x^4$ の近似を用いても構わない．

Problem 1

Suppose that random variables X_k $(k = 1, 2, \dots)$ independently follow $U[0, 1]$, a uniform distribution on $[0, 1]$. Answer the following questions.

(1) Calculate the mean and the variance of X_k.

(2) Let continuous-type random variable X have a probability density function $f(x)$, and let the function $M_X(t)$ be the moment generating function defined as

$$M_X(t) = E[e^{tX}] = \int_{R_X} e^{tx} f(x) dx,$$

where R_X is the domain of X. Derive $M_{X_k}(t)$, which is the moment generating function of X_k.

(3) Let n be a positive integer and let $a_1, a_2, \dots, a_n$ be real numbers. Prove that the moment generating function of $W = \sum_{k=1}^{n} a_k X_k$ is

$$M_W(t) = M_{X_1}(a_1 t) \times \cdots \times M_{X_n}(a_n t).$$

(4) Let Y_k be the random variable obtained by normalizing X_k so that it has zero mean and unit variance. Find the moment generating function of Y_k.

(5) Let $S_n = Y_1 + \cdots + Y_n$. Let Z_n denote a random variable obtained by normalizing S_n so that it has zero mean and unit variance. Prove

$$\lim_{n \to \infty} M_{Z_n}(t) = e^{\frac{t^2}{2}}.$$

Use the following approximation if necessary:

$$e^x \approx 1 + x + \frac{1}{2!}x^2 + \frac{1}{3!}x^3 + \frac{1}{4!}x^4.$$

問題 2

整列アルゴリズムについて，以下の問いに答えよ．ただし，列の要素はすべて互いに異なるものとする．

(1) n 個の要素が任意の順番で並んでいる列を考える．並び順として何通りが考えられるか．

(2) 1 回の要素の比較によって，最大で 2 つの並び順を区別することができる．k 回の要素の比較によって，区別することのできる最大の並び順の数はいくつか．

(3) 入力要素の比較のみに基づく整列アルゴリズムでは，n 個の要素を整列するのに最悪 $\Omega(n \log n)$ の比較を行わなければいけないことを示せ．ただし公式

$$n! \geq \sqrt{2\pi}\, n^{n+\frac{1}{2}} e^{-n} \qquad (n \geq 1)$$

を利用してよい．

(4) 要素間の比較以外の処理を利用できる場合には，$O(n \log n)$ よりも少ない計算時間で整列を実行できる場合がある．このようなアルゴリズムの例をひとつ挙げて説明し，その計算時間を示せ．

Problem 2

Answer the following questions on sorting algorithms. Assume that the elements are pairwise distinct.

(1) What is the number of permutations of n distinct elements?

(2) A single comparison between two elements can distinguish up to 2 permutations. How many permutations can be distinguished using k comparisons?

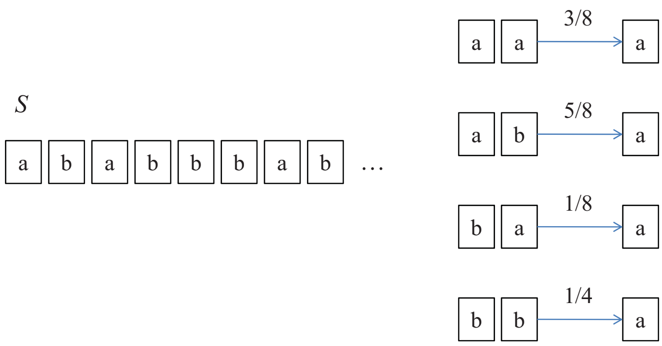
(3) Prove that a sorting algorithm using only pairwise comparisons requires $\Omega(n \log n)$ comparisons to sort n elements in the worst case. You may use the following formula

$$n! \geq \sqrt{2\pi}\, n^{n+\frac{1}{2}} e^{-n} \qquad (n \geq 1).$$

(4) Sorting algorithms using operations other than pairwise comparisons can sort n elements in time faster than $O(n \log n)$ under certain assumption(s). Give an example of such an algorithm and analyze its computational complexity.

問題 3

(1) 2 種類の記号 ‘a’ と ‘b’ から成る文字列 S がある．S 中での ‘a’ および ‘b’ の生起が，直前の 2 つの文字によって確率的に決まるものとする．すなわち，‘aa’ が観察されたという条件のもとで，その後に ‘a’ が生じる確率は 3/8 であり，同様に，‘ab’ の後に ‘a’ が生じる確率は 5/8，‘ba’ の後に ‘a’ が生じる確率は 1/8，‘bb’ の後に ‘a’ が生じる確率は 1/4 である．このとき，十分に長い S について，S の最後の記号が ‘a’, ‘b’ である確率 $P(\mathrm{a})$，$P(\mathrm{b})$ を求めよ．



(2) 「1」,「× 3」,「÷ 3」と書かれた 3 種類のカードから作られる数式 T を考える．まず,「1」と書かれたカードが先頭に来たあと，以下のようにして「× 3」,「÷ 3」のいずれかのカードが選ばれる．

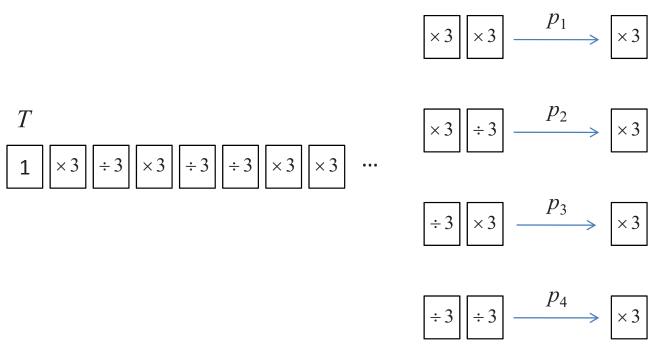
(i) 「× 3」,「÷ 3」のいずれかがランダムに選ばれて,「1」の後に置かれる．

(ii) 「× 3」,「÷ 3」のいずれかが，もう一度ランダムに選ばれて，(i) の後に置かれる．

(iii) それ以降は,「× 3」,「÷ 3」のいずれかが，直前の 2 枚のカードによって決まる確率にしたがって選ばれ，T に追加される．

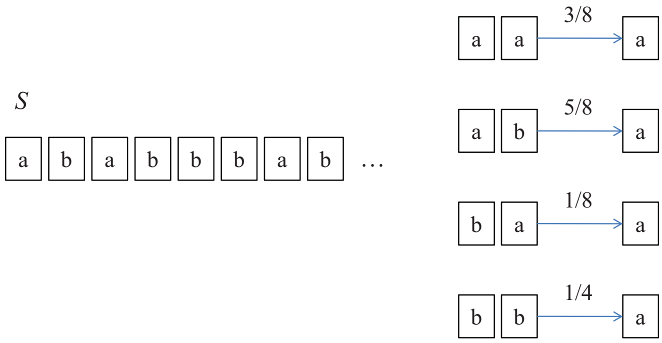
ここで,「× 3 × 3」が観察されたという条件のもとで，その後に「× 3」が選ばれる確率を p_1 で表す．同様に,「× 3 ÷ 3」の後に「× 3」が選ばれる確率を p_2,「÷ 3 × 3」の後に「× 3」が選ばれる確率を p_3,「÷ 3 ÷ 3」の後に「× 3」が選ばれる確率を p_4 で表す．

T が十分に長くなるとき，(i)(ii) でのカードの選び方によらず，T で表わされる数式の計算値が 0 に近づくのは，確率 p_1, p_2, p_3, p_4 についてどのような条件が成り立つ場合か．



Problem 3

(1) Let S be a sequence composed of two symbols 'a' and 'b', generated as follows: An occurrence of a symbol in S depends on the two previous symbols with the following probabilities. Given that 'aa' has been observed, the probability that 'a' occurs after that 'aa' equals $3/8$ ($= 0.375$). Likewise, the probability that 'a' occurs after 'ab' is $5/8$ ($= 0.625$), the probability that 'a' occurs after 'ba' is $1/8$ ($= 0.125$), and the probability that 'a' occurs after 'bb' is $1/4$ ($= 0.25$). Assume that S is sufficiently long. Compute the probabilities $P(\text{a})$ and $P(\text{b})$ that 'a' and 'b' are observed as the last symbol of S, respectively.



(2) Consider a mathematical formula T generated by three different types of cards with either "1", "$\times$ 3", or "$\div$ 3" written on them (Note that in Japanese arithmetic notation, "$\times$ 3" stands for "multiplied by three" and "$\div$ 3" for "divided by three"). First, "1" is put at the beginning of T, and next, either "$\times$ 3" or "$\div$ 3" is appended as follows.

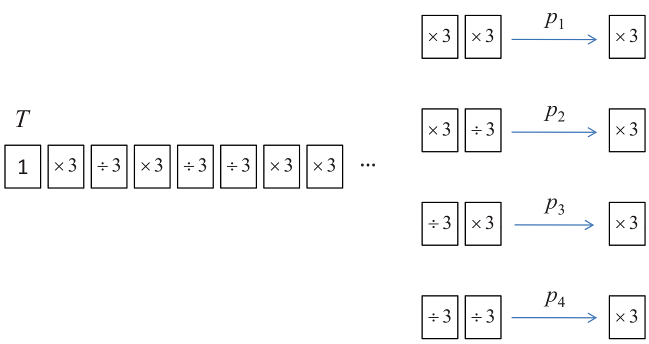
(i) "$\times$ 3" or "$\div$ 3" is selected randomly and put after the "1".

(ii) Then, "$\times$ 3" or "$\div$ 3" is selected randomly again and put after the card chosen in (i).

(iii) Afterwards, new cards are added, one at a time, by selecting either of "$\times$ 3" or "$\div$ 3" with probabilities that depend on the two previous cards.

Let p_1 be the probability that "$\times$ 3" occurs after "$\times$ 3 $\times$ 3". Likewise, let p_2 be the probability of "$\times$ 3" occurring after "$\times$ 3 $\div$ 3", let p_3 be the probability of "$\times$ 3" occurring after "$\div$ 3 $\times$ 3", and let p_4 be the probability of "$\times$ 3" occurring after "$\div$ 3 $\div$ 3".

Assume that T is sufficiently long. What is the condition on the probabilities p_1, p_2, p_3, and p_4 for ensuring that the value of T converges to 0, regardless of the initial choice of cards in (i) and (ii)?



問題 4

オペレーティングシステムのファイル操作に関して，以下の問いに答えよ．

(1) ファイルの生成・削除操作，ファイルのオープン・クローズ操作，およびファイルの読み書き操作のシステムコールを提供するオペレーティングシステムを考える．これらのシステムコールの C 言語インタフェースを設計し，各システムコールの正常時の意味を記述せよ．

(2) 問い (1) で定義した各システムコールにおいて，どのようなエラーが生じる可能性があるか．各システムコールに対し，エラーの種類と意味を説明せよ．

(3) 問い (1) で定義したシステムコールを使って，ファイルをコピーする関数 `copy` を C 言語で記述せよ．なお，関数 `copy` は以下の仕様を満たすこと．

```
int copy(char *src, char *dst);
```

- `src` で示されるファイルを `dst` で示されるファイルにコピーする．コピーが成功したら，返り値はコピーしたバイト数，コピーに失敗したら，返り値は -1 とする．
- コピー先のファイルが存在しない場合は，ファイルを生成してコピーする．ただし，ディレクトリは存在するものと仮定せよ．
- ファイルの大きさは，`int` 型で表現できると仮定せよ．

Problem 4

Answer the following questions about file operations in an operating system.

(1) Consider an operating system that provides system calls for creation and deletion of a file, opening and closing of a file, and reading from and writing to a file. Design an interface of these system calls in the C language and describe their semantics in the case that no error occurs.

(2) What kind of errors can occur in the system calls designed in question (1)? Enumerate errors in each system call and describe their meaning.

(3) Write a function `copy` in the C language that copies a file using the system calls defined in question (1). The function `copy` should satisfy the following specifications.

```
int copy(char *src, char *dst);
```

- It copies the file identified by `src` to the file identified by `dst`. Return the number of copied bytes when the copy succeeded, and return -1 when the copy failed.
- If the destination file does not exist, create it before copying. Assume that the directory exists.
- Assume that the file size can be represented by the `int` type.