平成 28 (2016) 年度 夏入試

東京大学情報理工学系研究科創造情報学専攻

創造情報学

注意事項

1. 試験開始の合図まで, この問題冊子を開かないこと.
2. この表紙の下部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, 日本語ないし英語で解答すること.
4. 解答用紙は3枚配られる. 1問ごとに必ず1枚の解答用紙を使用すること. 解答用紙のおもて面に書ききれないときには, うら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＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

このページは空白.

このページは空白.

第1問

電子部品を使い、k 進1桁のカウンタを作ろう。ここで k は2以上の整数とする。このカウンタはクロック信号 (CLK 信号) とイネーブル信号 (EN 信号) を入力とし、カウンタ値 c を出力する (図1)。CLK 信号および EN 信号は H と L の2値をとる。CLK 信号は図2に示すような周期的信号であり、L から H への変化を CLK 信号の立ち上がりと呼ぶ。カウンタ値は $0 \leq c \leq k-1$ で、起動時に $c=0$ に初期化される。

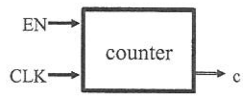

図1

図2

例として2進1桁カウンタを考えよう。このカウンタは CLK 信号の立ち上がりの前のカウンタ値を c、立ち上がり後のカウンタ値を c' とすると、CLK 信号の立ち上がり時に

$$\begin{cases} \text{EN 信号が H なら } c' = (c+1)\ mod\ 2 \\ \text{EN 信号が L なら } c' = c \end{cases}$$

となる。ここで mod 演算子は正の剰余を返す。この2進1桁のカウンタの状態遷移図の例を図3に、状態遷移表の例を表1に示す。ここで S0, S1 はそれぞれカウンタ値を 0,1 とする状態とする。

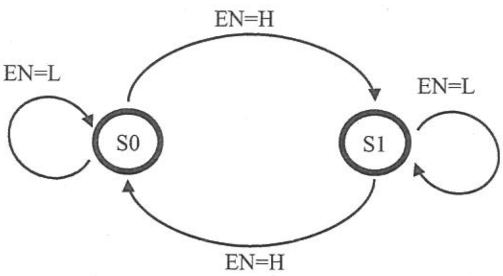

図3

表1

前		入力	後	
状態	c	EN	状態	c'
S0	0	L	S0	0
S0	0	H	S1	1
S1	1	L	S1	1
S1	1	H	S0	0

以下の設問に答えよ。

(1) CLK 信号の立ち上がり時に

$$\begin{cases} \text{EN 信号が H なら } c' = (c+1)\ mod\ 3 \\ \text{EN 信号が L なら } c' = c \end{cases}$$

となるような3進1桁カウンタの状態遷移図および状態遷移表を示せ。状態遷移図と状態遷移表は例と異なるフォーマットを用いてもかまわない。

(2) 設問 (1) のカウンタをアップダウンカウンタに拡張しよう。EN 信号の代わりにアップダウン信号 (UD 信号) を入力とし、CLK 信号の立ち上がり時に

$$\begin{cases} \text{UD 信号が H なら } c' = (c+1)\ mod\ 3 \\ \text{UD 信号が L なら } c' = (c-1)\ mod\ 3 \end{cases}$$

となる3進1桁アップダウンカウンタの状態遷移図および状態遷移表を示せ。状態遷移図と状態遷移表は例と異なるフォーマットを用いてもかまわない。

以下の部品を組み合わせ、設問 (1) と設問 (2) で示したカウンターを実現しよう。部品 A, B, C, D, E の入力、出力を図 4 に示す。入力値と出力値の関係をそれぞれ表 2, 3, 4, 5, 6 に記す。部品 E では、CLK 信号の立ち上がり直前の入力 I の値が、立ち上がり後出力 O に設定される。一般に部品 A, B, C, D, E は、それぞれ NOT, AND, OR, XOR, D-フリップフロップと呼ばれる。

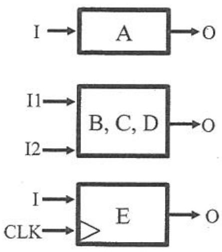

図 4

表 2

A

I	O
L	H
H	L

表 3

B

I1	I2	O
L	L	L
H	L	L
L	H	L
H	H	H

表 4

C

I1	I2	O
L	L	L
H	L	H
L	H	H
H	H	H

表 5

D

I1	I2	O
L	L	L
H	L	H
L	H	H
H	H	L

表 6

E

前	後
I	O
L	L
H	H

EN 信号、カウンタ値 c は CLK 信号の立ち上がりで変化するとする。まず 2 進 1 桁のカウンタの例を示す。2 進カウンタ値 c は 0 か 1 なので、c を 2 値信号である C_0 信号で表現し、C_0 信号は、$c = 0$ なら L、$c = 1$ なら H とする。CLK 信号の立ち上がり前の信号を C_0、立ち上がり後の信号を C_0' とすると、C_0 と C_0' の関係は表 7 となり、この 2 進 1 桁のカウンタは、例えば、図 5 に示す回路図で実現される。

表 7

C_0	EN	C_0'
L	L	L
H	L	H
L	H	H
H	H	L

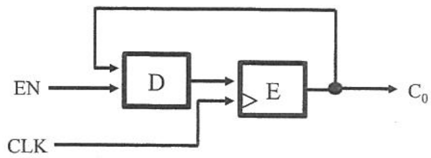

図 5

以下の設問に答えよ。ただし、全ての部品は十分あり、また全種類を使う必要はない。

(3) 設問 (1) で示した 3 進 1 桁カウンタを実現するように部品を組み合わせ、回路図を示せ。ここでカウンタ値 c は 2bit で表現すること。通常の論理回路図を描いても良い。

(4) 設問 (2) で示した 3 進 1 桁アップダウンカウンタを実現するように部品を組み合わせ、回路図を示せ。ここでカウンタ値 c は 2bit で表現すること。通常の論理回路図を描いても良い。

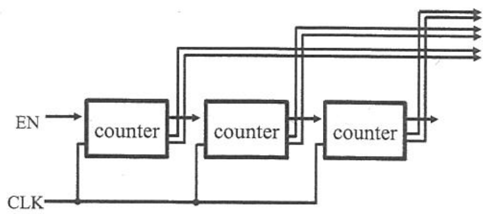

図 6

(5) 図 6 に示すように 3 進 1 桁カウンタを組み合わせ、3 進 3 桁のカウンタを実現したい。設問 (3) で示した 3 進 1 桁のカウンタに新たな出力信号を追加する拡張を行うことで、3 進 3 桁カウンタの部品となるような 3 進 1 桁のカウンタを実現し、この 3 進 1 桁のカウンタを図示せよ。通常の論理回路図を描いても良い。

第２問

点(ノード)と線(エッジ)から構成される小包の配送ネットワークにおける小包の配送経路を、以下のアルゴリズムに従って計算するシステムを考える。

経路計算アルゴリズムＰ：

各ノードは、各ノードがエッジで接続されているすべての隣接ノードに、{宛先ノード，宛先ノードに到達するまでのホップ数、次に転送されるべき隣接ノード}を行ベクトルとする経路表を１分ごとに通知する。 通知されたノードは、隣接ノードから通知された経路表を使って自身の経路表を再計算する。図１に、ある時点でのノード１の経路表の例を示す。なお、ホップ数 h(i,j) は、次の計算式にしたがって計算され、自ノード i から宛先ノード j に到達するために必要な最小ホップ数を示している。

$h(i,j) = \min\{h(i,k) + h(k,j)\}$, $h(i,i)=0$, $h(i,k)=1$, k はノード i のすべての隣接ノード

なお、同じコストの経路が存在する時には、ノードの番号がより大きい値を持つ隣接ノードを経由する経路が選択されるものとする。また、各ノードの経路表の初期状態は、自ノード宛の行だけがある表である。

宛先ノード	宛先ノードに到達するまでのホップ数	次に転送されるべき隣接ノード
1	$h(1,1) = 0$	-
2	$h(1,2) = 3$	3
3	$h(1,3) = 1$	3
¦	¦	¦
9	$h(1,9) = 6$	2

図１

(1) 図 2 の配送ネットワークにおいて、経路表が収束するまでに必要な時間と、収束するまでのノード６の経路表を、１分ごとに示しなさい。なお、図中の○(丸)がノードを表しその中の数字がノード番号を示しているものとする。ノードを接続するエッジは線で示されており、Li (i は整数)でエッジを表現している。

(2) 各ノードの経路表の情報から、ノード６を根とする残りのすべてのノード(1,2,3,4,5)への転送経路を示す木(tree)が作成される。 この木を図示しなさい。

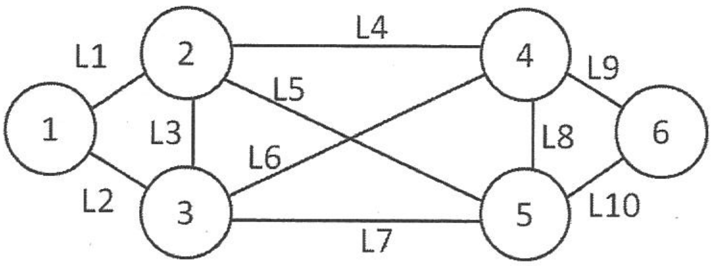

図 2

次に、図 2 の配送ネットワークにおいて、任意の大きさのデジタルビットの小包(以下、パケット)が配送されるデジタル通信ネットワークを考える。 なお、ノード 6 からノード 2 へのパケット配送のみが行われる場合を考える。また、L5 と L6 の 2 つのエッジが衛星回線(遅延 500[ms]、帯域幅 1[Mbps])、L4 と L7 が広域地上線(遅延 50[ms]、帯域幅 100[Mbps])、その他のエッジがローカル網線(遅延 1[ms]、帯域幅 1[Gbps])とする。

(3) 8 メガビットの大きさのファイルを、ノード 6 からノード 2 へ、8 キロビットの同じ大きさのパケット 1,000 個に分割して転送する場合を考える。この際、ノード 6 は、i 番目($1 \leqq i \leqq 1{,}000$)に転送されるべきパケット(S_i)を送出したあと、ノード 2 がパケット(Si)を受信し、その受信を知らせるパケット(R_i)をノード 2 がノード 6 に送信し、そのパケット(R_i)をノード 6 が受け取ったら、次のパケット(S_{i+1})を送信するものとする。ノード 6 がファイルの送信を開始して、ノード 2 が受信を終了するまでのファイルの転送時間 T を示しなさい。なお、各ノードでのパケットの受信終了から送信開始までの遅延時間、および、各パケットに付加される宛先ノードを示すラベルなど送信されるファイル以外に転送されなければならないデータの転送に必要な時間は、無視可能であり、さらに、パケットは、転送中に紛失・廃棄されることはないものとする。

(4) 設問(3)で示したパケットの転送方法を修正することでノード 6 からノード 2 へのファイルの転送時間 T を小さくすることができる。 その具体的な方法を示しなさい。

(5) ノード間で交換される行ベクトルの構成の変更や経路の計算アルゴリズムの変更など、経路計算アルゴリズム P に修正を加えることでノード 6 からノード 2 へのファイルの転送時間 T を小さくすることも可能である。その具体的な方法を、パケットの転送経路がどのように変化するかも示しながら、2 つ提案しなさい。

第3問

写実的な画像をコンピュータグラフィックスで生成する場合、輝度の計算を幾何光学に基づいた積分で行なうことが多い。今、ある平面上の点において角度 (θ,ϕ) から（図1を参照）入射する光の放射輝度を $L(\theta,\phi)$ とするとき、その点における放射照度 I は、

$$I=\int_0^{2\pi}\int_0^{\frac{\pi}{2}}L(\theta,\phi)\cos\theta\sin\theta\,d\theta d\phi$$

と定義されることが知られている。以下の設問に答えよ。

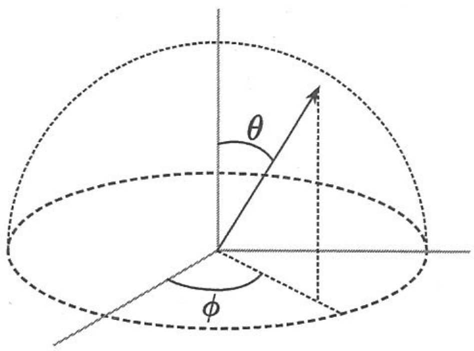

図1

(1) 放射輝度 L の分布が θ に依存しない状況を考える。この場合、放射照度 I が

$$I=\frac{1}{2}\int_0^{2\pi}L(\phi)d\phi$$

という一次元の定積分で表せることを示せ。なお、以下のすべての設問でこの状況を考える。

(2) $\phi_i=2\pi(i/N)$ $(i=0,\ldots,N)$ と定義される $N+1$ 個の値を考える。図2は $[\phi_i,\phi_{i+1}]$ 間に定義される長方形の面積が $L(\phi_i)(\phi_{i+1}-\phi_i)$ で与えられることを示している。この事を利用し放射照度 I の近似値の式を総和記号 Σ を用いて書け。この手法は一般に長方形近似と呼ばれる。

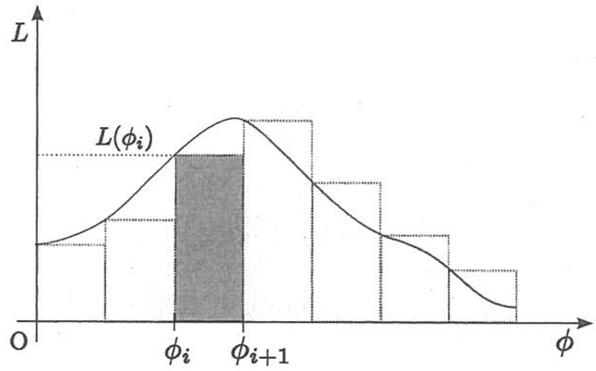

図2

(3) 一般に、$[0, 2\pi]$で定義される確率密度関数 $p(\phi)$（ただし$p(\phi) > 0$とする）に従って分布する確率変数 ϕ が与えられたとき、あるスカラー関数 $f(\phi)$ の期待値 $\mathrm{E}[f(\phi)]$ は

$$\mathrm{E}[f(\phi)] = \int_0^{2\pi} f(\phi)\, p(\phi) d\phi$$

と定義される。今 ϕ_i を $p(\phi)$ に従って生成した N 個の乱数の値であるとする（$\phi_i \sim p(\phi), i = 1, \ldots, N$)。このとき、上記の期待値 $\mathrm{E}[f(\phi)]$ の近似が

$$\mathrm{E}[f(\phi)] \cong \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} f(\phi_i)$$

と与えられることを利用して、放射照度 I の近似値を総和記号 Σ を用いて書け。この手法は一般にモンテカルロ積分と呼ばれる。

(4) 長方形近似の誤差と、モンテカルロ積分の誤差の期待値を考える。被積分関数 $L(\phi)$（ただし$L(\phi) > 0$とする）がどのような場合に、それぞれの手法の誤差がゼロとなるか答えよ。設問(2)および設問(3)の解を踏まえて説明すること。なお、長方形近似については$L(\phi)$が図２のような階段状の関数となる自明な場合は除く。

(5) 長方形近似もしくはモンテカルロ積分を 32 ビットの浮動小数点数を用いて実装したところ、N がある大きな数を超えた時点で、結果がゼロに向かって下がり始めた。この現象について考えられる原因を一つ説明せよ。N は常に正確にカウントされていると仮定すること。

第４問

以下に示す情報システムに関する８項目から<u>４項目</u>を選択し、各項目を４～８行程度で説明せよ。必要に応じて例や図を用いてよい。

(1) 運動学と逆運動学

(2) 力制御の具体的な実現方法（ブロック図を用いて説明せよ）

(3) 不変特徴量

(4) バックプロパゲーション（誤差逆伝播法）

(5) 自己相関関数とパワースペクトル

(6) 同期回路と非同期回路

(7) ネットワークセキュリティープロトコルの例（１つ）

(8) リアルタイム性

このページは空白.

このページは空白.

このページは空白.