

リングネットワークにおける パケット伝送特性

*
照屋健**
白鳥則郎**
野口正一*
琉球大学**
東北大学

スロットを用いたリングネットワークについての解析を行い、パケット伝送特性について、2つの場合について結果を得る。前半はステーションのバッファサイズが無限大の場合と、後半はそのサイズが有限の場合とに分けて解析する。バッファサイズが無限大の場合の特性として、フルロードの条件のもとで、5種類の宛先分配率を導入し、宛先分配率が対称形の場合の対称形リングでは過渡情報伝送率、宛先分配率が非対称形のリングでは定常情報伝送率を得る。後半では、有限バッファのもとで、パケット到着をポアソン分布と仮定し、パケット存在の定常確率を得て、平均パケット伝送遅延やパケット棄却率を求める。パケット伝送遅延とパケット棄却率の間のトレードオフについても言及する。

PACKET TRANSMISSION CHARACTERISTICS IN A SLOTTED RING NETWORK

*
Ken Teruya*
Norio Shiratori*
Shoichi Noguchi*
Ryukyu University**
Tohoku University*
1, Senbaru, Nishihara, Nakagami, Okinawa 903-01, Japan

Analysis of a slotted ring network is carried out and packet transmission characteristics of the slotted ring network are derived in two cases: one case when the buffer size of the station is unlimited and the other case when the buffer size is finite. As to the case of infinite buffer, we discuss the information transmission rate in both cases symmetric and asymmetric ring under full load condition. Secondly, analysis of the case of finite buffer size is carried out on the assumption of Poisson arrival of packets. we show the steady state probability distribution of the number of packets which stay in the buffer of a station. We discuss the trade-off between transmission delay and packet rejection probabilities.

1. はじめに

近年、コンピュータネットワークの研究はオフィスオートメーションやファクトリーオートメーション等の導入とも相俟って急速に発展してきている。コンピュータネットワークのトポロジーの中でLAN等にも使用されるリング型のネットワークは希少の伝送チャネルで実現できるという利点のため、よく用いられている。リングネットワークの典型的な形には2通りがある。一つはトークンパッシング方式のリングであり、他方はスロット方式のリングである。スロット方式では、複数のスロットがリング上に周回しており、メッセージ伝送はステーションが空スロットを捕捉したときに可能となる。このシステムはそのプロトコルが比較的単純なために分散処理に適していると言われている。この種のリングネットではスロットの使用権を特定のステーションにのみ与えたり、スロットの使用権を自由にしたり、あるいはこの2つの組み合わせを採用したりするなどの多彩なテクニックが可能である。従って、このシステムはデータ、音声ならびに画像などの多重伝送を必要とする通信にも十分対処できるものである。

ここでは、スロット方式のリングネットを取り上げ、解析する。

前半では、フルロードの条件のもとで解析を行ない対称形の場合の過渡情報伝送率や非対称形の場合の定常情報伝送率などのシステムの特性を導出する。

後半では、有限バッファのもとで、パケット到着をポアソン分布と仮定し、パケット存在の定常確率を得て、平均パケット伝送遅延やパケット棄却率を求める。パケット伝送遅延とパケット棄却率の間のトレードオフについても言及する。

2. モデルの記述

図1にリングネットワークのモデルを示し、図2にステーションのモデルを示す。

リング上にN個のステーションを有するシス

テムについて考える場合、解析は以下の条件のもとに行われる。(a)パケット長は固定とし、スロット長に等しい。(b)リング上におけるパケットの伝送は図1に示すように単一方向で、時計廻りとする。(c)発信ステーションで発生したパケットは目的ステーションで正確に受信される。

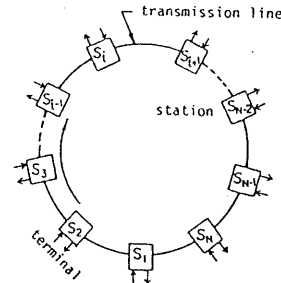


図1. リングネットワークのモデル

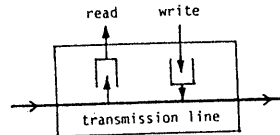


図2. ステーションのモデル

3. フルロードと情報伝送率

ここでは、伝送バッファには無限個のパケットが存在するというフルロード条件のもとでシステムを解析する。フルロードとは伝送バッファのサイズは無限とし、バッファ中には無限個のパケットとが存在するという状態を意味する。従って、そのような場合、伝送路上には空スロットはなく、そのステーションに宛てられたパケットをそのステーションが受信するときのみパケットの伝送は可能となる。実際の問題として、伝送路のトラヒックが過密になったとき瞬時的な現象として、これまで述べたような状態がしばしば起こり得ることである。従って、このような解析は過密トラヒ

ックを有するシステムのパフォーマンスを調べるときに役立つ手法となり得る。

3.1 諸定義

【定義1】（対称形リング）あるステーションから他のN-1個のステーションへバケットを伝送することを考える場合に、すべてのステーションが同一の宛先行列を有するシステムを対称型リングと定義する。

【定義2】（宛先分配率）あるステーションにおいて生じたバケットの宛先がそのステーションから伝送方向へ向かってi番目（ $1 \leq i \leq N-1$ ）のステーションとなる確率を d_i とおく。これを宛先分配率と呼ぶ。

ここで、 $\sum_{j=1}^{N-1} d_j = 1$ 、N はループ上の

ステーション数を示す。

【定義3】（スロットの遷移）ステーション間を通過中のスロットが移動して次のステーションを通過することを1サイクルの遷移という。

3.2 対称形リング

【定義4】（宛先分配率のパターン）宛先分配率の代表的な例として次のパターンを導入する。

(1) べき乗減少形

$$2^{N-i-1} / (2^{N-1} - 1)$$

(2) 反比例形

$$2(N-i) / \{N(N-1)\}$$

(3) 均等分配形

$$1 / (N-1)$$

(4) 正比例形

$$2i / \{N(N-1)\}$$

(5) べき乗増加形

$$2^{i-1} / (2^{N-1} - 1)$$

$$1 \leq i \leq N-1$$

スロット遷移に関する性質については、次に示す正方行列によって表現できることを文献[6]で示した。ここで、 d_i は対称形の場合の宛先分配率を示す。

$$P = \begin{bmatrix} d_1 & d_2 & \cdots & d_{N-1} \\ 1 & 0 & & \\ 0 & 1 & & \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & & & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

3.3 対称形で過渡的遷移

これまでにフルロード状態における定常状態の特性に関する式を文献[6]で導いた。このときは極限状態（定常状態）に到達した際の結果を示すにとどめていた。定常状態に到達するにはどれだけの遷移回数を要するのかは、興味のある問題である。対称形リングにおいて限定されたステーション数についての過渡的解析を行う。

a) ステーション数が $N=3$ の場合、ただしNはステーション数。

式(2)の行列において、 $N=3$ とおけば、次の行列を得る。

$$P = \begin{bmatrix} d_1 & d_2 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

式(3)の行列は次に示す正則行列Tによって対角行列 Λ を得る。

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & d_2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$T = \begin{bmatrix} 1 & -d_2 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$T^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & d_2 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

k回の遷移後のスロットの状態を示す行列
 $P_3(k)$ は次式を解いて得られる。

$$P_3(k) = T \cdot \Lambda^k \cdot T^{-1} \quad (7)$$

式 (7) を解いて次式を得る。

$$P^k = \frac{1}{d_1 + 2d_2} \begin{bmatrix} 1+(-1)^k d_2^{k+1} & d_1 - (-1)^k d_2^{k+1} \\ 1+(-1)^k d_2^{k+1} & d_2 + (-1)^k d_2^{k+1} \end{bmatrix} \quad (8)$$

ベクトルの初期値を $[1, 0]$ とすれば、次式を得る。

$$S_3(k) = \frac{C_p}{d_1 + 2d_2} \left\{ 1 + (-1)^k d_2^{k+1} \right\} \quad (9)$$

ここで、 $S_3(k)$ は $N=3$ の場合の過渡情報伝送率を示す。

b) $N=4$ の場合

遷移行列 (4) において、 $N=4$ とおけば、次のような遷移行列を得る。

$$P = \begin{bmatrix} d_1 & d_2 & d_3 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

行列 (10) の固有値 λ は次の方程式を解くことによって、得られる。

$$(\lambda - 1) (\lambda^2 + (d_2 + d_3) \lambda + d_3) = 0$$

行列 (10) は正則行列 T によって次のような対角行列 Γ に変換される。

$$\Gamma = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & r_1 & 0 \\ 0 & 0 & r_2 \end{bmatrix} \quad (11)$$

ここで、 T および T^{-1} を次式のようにおく。

$$T = \begin{bmatrix} 1 & r_1 & r_2 \\ 1 & r_1 & r_2 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$T^{-1} = \frac{1}{(r_1 - r_2) \sum_{i=1}^2 i \cdot d_i} \begin{bmatrix} r_1 - r_2 & -(r_1 - r_2)^2 & r_1 r_2 - r_1 r_2^2 \\ -(1 - r_2) & 1 - r_2^2 & -(r_2 - r_2^2) \\ 1 - r_1 & -(1 - r_1)^2 & r_1 - r_1^2 \end{bmatrix} \quad (13)$$

k回の遷移後のスロットの状態を示す行列
 $P_4(k)$ は次式を解いて得られる。

$$P_4(k) = T \cdot \Gamma^k \cdot T^{-1} \quad (14)$$

式 (14) を解いて $N=4$ の場合の過渡情報伝送率を次式の形で得る。ただし、ベクトルの初期値は $[1, 0, 0]$ とする。

$$S_4(k) = \frac{C_p}{\sum_{i=1}^2 i d_i} \left\{ 1 - \frac{r_1^{k+2} - r_2^{k+2}}{r_1 - r_2} - \frac{r_1 r_2 (r_1^{k+1} - r_2^{k+1})}{r_1 - r_2} \right\} \quad (15)$$

c) 数値例

式 (9) と式 (15) の計算結果をそれぞれ図3と図4に示す。情報伝送率の値は数回の遷移で定

常状態に達していることが分かる。

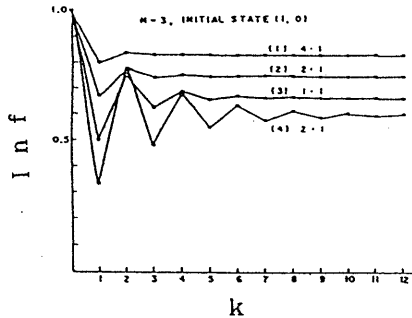


図3. N=3の場合の過渡情報伝送率

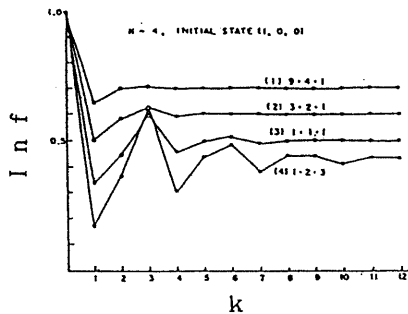


図4. N=4の場合の過渡情報伝送率

3.4 非対称の場合

定義5. (非対称形リング) それぞれのステーションにおいてそれぞれの異なる独自の宛先分配率を有する場合を非対称形リングとする。

定義6. (スロットの確率状態ベクトル) 任意の2つのステーション間を通過中で宛先ステーションへ進行中のスロットを考える。初期状態から出発しnサイクルの遷移の後にとる状態の状態確率を $Y(n)$ とする。i (i=1,2,...,n-1) に関するN-1個の $Y(n)$ を組あわせて、次式となる確率状態ベクトルを定義する。

$$Y(n) = [Y_1(n), Y_2(n), \dots, Y_{N-1}(n)] \quad (16)$$

定義7. (スロットの定常確率状態ベクトル) 式(16)で定義したベクトルの極限值として、次のベクトルを導入する。

$$Y = [Y_1, Y_2, \dots, Y_{N-1}] \quad (17)$$

3.5 非対称形リング

非対称形リングの遷移行列は次の形となる。

$$P_a = \begin{bmatrix} 0 & P_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & P_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & P_{N-1} \\ P_N & 0 & \dots & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (18)$$

行列(18)は周期Nを有するCYCLIC CHAIN となる。

ここで、0は(N-1)行(N-1)列で、かつ個々の要素はすべてゼロであるベクトル行列を示し、

P_i は次のような行列となる。

$$P_i = \begin{bmatrix} d_{i,1} & d_{i,2} & \dots & d_{i,N} & \dots & d_{i,i-1} & d_{i,i} & \dots & d_{i,i+1} & \dots & d_{i,N-1} \\ 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & \dots & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (19)$$

上記の行列(19)を変換して次の行列を得る。

$$P_c = \begin{bmatrix} P_{c1} & & & \\ & P_{c2} & & \\ & & \ddots & \\ & & & 0 \\ & & & & P_{cN} \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$P_{ci} = \begin{pmatrix} m_{1,1}^{(i)} & m_{1,2}^{(i)} & \dots & m_{1,N-1}^{(i)} \\ m_{2,1}^{(i)} & m_{2,2}^{(i)} & \dots & m_{2,N-1}^{(i)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{N-1,1}^{(i)} & m_{N-1,2}^{(i)} & \dots & m_{N-1,N-1}^{(i)} \end{pmatrix} \quad (21)$$

$$Y^{(i)} = Y^{(i)} \cdot P_{ci} \quad (22)$$

$$T^{(i)} = \frac{N_1^{(i)}}{D_1^{(i)}} \quad (i=1,2,\dots,N) \quad (23)$$

$N=3$ の場合について考えると、次式を得る。

$$T_e^{(i)} = \frac{1 - m_{22}^{(i)}}{1 + m_{12}^{(i)} - m_{22}^{(i)}} \quad (i=1,2,3) \quad (24)$$

3.6 数値例

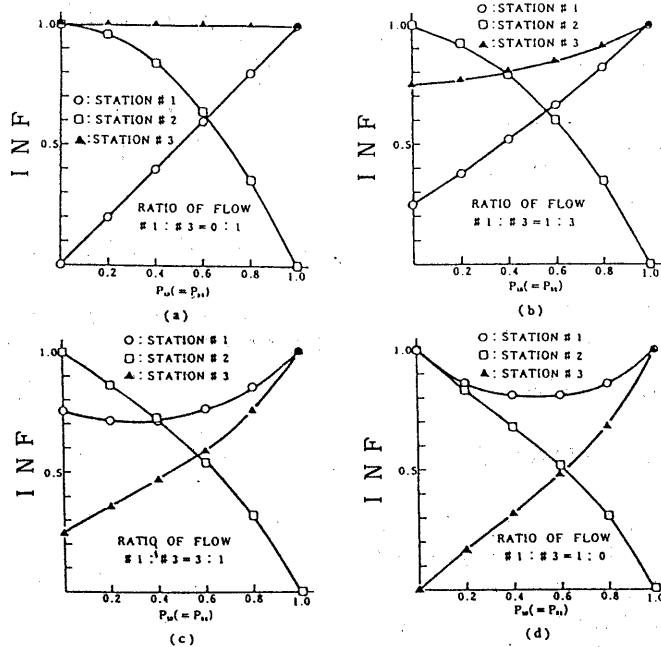


図5. $N=3$ の場合の非対称形リングの定常情報伝送率

図5はステーションが3個の非対称形の場合の各ステーションの情報伝送率の推移を示す。同図は、 $d_{13}=d_{31}$ とし、ステーション2の宛先分配率をパラメータとして、 d_{13} が0.0~1.0の変化をした場合の3個の各ステーションの情報伝

送率の変化を示している。

同図は特定の2個のステーション間の通信が密になってくると、第3番目のステーションの情報伝送率は、そのステーションの通信の比率に関係なく圧迫され、遂には通信不能な状態にまで追い込まれることを示している。

4. 有限バッファ

4.1 パケット存在の定常分布

図6に定常確率 P と入力負荷率 ρ の関係を示す。

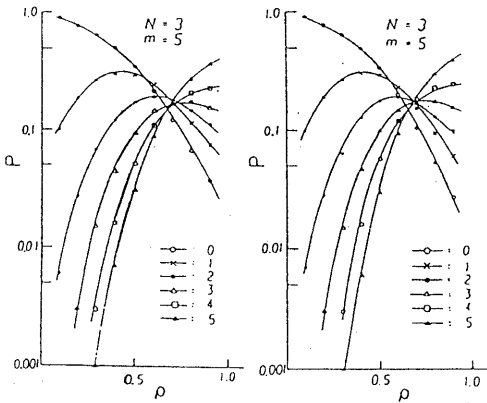


図6. パケット定常分布

4.2 平均パケット伝送遅延

図7に平均パケット伝送遅延を示す。

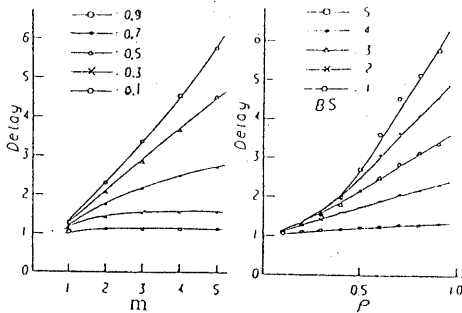


図7. パケット伝送遅延

リング上の平均パケット伝送遅延 T_d は次式で示される。

$$T_d = \sum_{k=1}^m \{k + (1-V)^k V^2\} P_k T_k + \sum_{k=1}^m k d_k T_k \quad (24)$$

$$V = 1 - \rho \sum_{k=1}^{N-2} k d_{k+1} \quad (25)$$

4.3 パケット棄却率

図8は近似解析によって得られたパケット棄却率の上限値とコンピュータシミュレーションによって得られた値との比較を示す。図8はバッファサイズ m とステーション数 N をパラメータとした棄却率 R （縦軸）と入力負荷率 ρ （横軸）の関係を示す。実線、点線および破線はそれぞれパケット棄却率の上限値、シミュレーション値、パケット棄却率の下限値を示す。

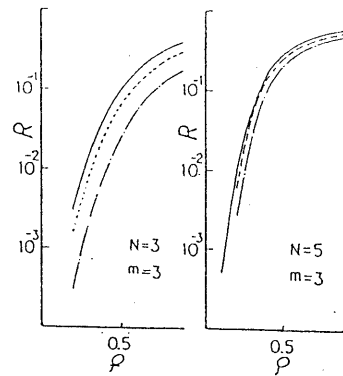


図8. パケット棄却率

4.4 伝送遅延と棄却率のトレードオフ

図9(a)では縦軸は棄却率 R 、横軸はバッファ

バッファサイズ m 、 ρ は入力負荷率を表す。同図は入力負荷率 ρ をパラメータとしたバッファサイズ m に対応する棄却率 R の変化を示しているが、棄却率 R の値はバッファサイズが大きくなるにつれて減少しているのに対して、逆に、図 9 (b) はバケット伝送遅延が増大していることを示す。バッファサイズと伝送遅延は互いに相反する特性を有することから、ステーションにおける最適なバッファサイズを決定する際の判断材料として、バケット伝送遅延と棄却率との間のトレードオフを考慮する必要があると思量される。

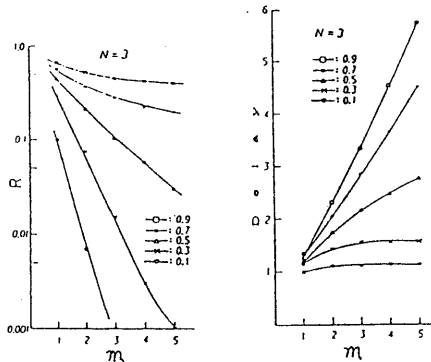


図 9. 両者のトレード・オフ

5. おわりに

スロットを用いたリングネットワークにおいて、前半ではフルロード条件のもとで宛先が対称形と非対称形のリングについてバケット情報伝送率のようなシステム処理能力の特性について述べた。

トラヒックパターンによってはステーション間の相互作用によって、その特性が大きく左右されることを示し、スロットを特定のステーションが著しく独占しない制御手段が必要であることを指摘した。

後半では、有限バッファにバケットの到着をポアソン分布に従うものと仮定し、バケットがバッ

ファ中に存在する定常確率を用いてバケット伝送遅延の式を導いた。

バッファサイズと伝送遅延は互いに相反する特性を有することから、ステーションにおける最適なバッファサイズを決定する際の判断材料として、バケット伝送遅延と棄却率との間のトレードオフを考慮する必要があることも指摘した。

参考文献

1. 白鳥, 野口, 大泉: " ループコンピュータネットワークにおけるバッファリングについて ", 信学論 (D), J 59-D, 6, pp.398-405 (昭和51-06) .
2. W.W.Chu: "Buffer behavior for Poisson arrivals and multiple synchronous constant outputs", IEEE Trans. Commun., COM-19, 6, pp.530-534 (June 1970) .
3. 照屋, 白鳥, 野口: " スロットを用いたループネットにおけるノード相互依存性について ", 情処学分散処理処理システム研資, 19-2, (昭和58-07) .
4. 照屋, 白鳥, 野口: " スロットを用いた有限バッファループネットにおける棄却率の上下限の解析 ", 情処学マルチメディア通信と分散処理処理システム研資, 27-6, (昭和60-06)
5. 照屋, 白鳥, 野口: " スロットを用いたループネットのバケット伝送特性 ", 情処学マルチメディア通信と分散処理処理研資, 37-4, (昭和63-05) .
6. 照屋, 白鳥, 野口: " スロットを用いたループネットワークの一性能評価法 ", 信学論 (A), J 70-A, 2, pp.289-300 (昭和62-02) .
7. W.Bux: " Local-Area Subnetworks: A performance comparison ", IEEE Trans. Commun., 10, pp.1465-1473 (Oct. 1981) .