

リングネットワークにおける スロット割当方式の比較

*
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おけるバッファサイズ有限の場合のステーション内のバッファ中のパケット数の存在定常確率分布やパケット棄却率について、提案されたスロット割当方式の及ぼす影響を計算機シミュレーションによって求め、システムの諸特性について述べる。スロット割当方式としては、固定スロット方式、半固定スロット方式、予約スロット方式および空スロット方式を提案し、それぞれのシミュレーション結果を通して、特性を明らかにし、各方式間の特徴や長所と短所についても論ずる。

COMPARISON OF SLOT ALLOCATION IN A SLOTTED RING NETWORK

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

In a slotted ring network, we carry out the computer simulation to obtain the steady state probabilities which the number of packets stay in the finite buffer and packet rejection probabilities. We discuss the system characteristics which are influenced by the proposed four types of slot allocation method. These are fixed slot allocation, semi-fixed slot allocation, reservation slot allocation and empty slot allocation. We describe the comparison of these allocation methods and discuss the merit and defect of the methods.

1. はじめに

近年、コンピュータの利用は急速に高度化並びに広域化してきている。それに伴って、TSSやコンピュータネットワークなど、情報処理技術と通信技術が結びついたシステムが次々と出現し、発展している。

本研究ではスロットを用いたリングネットワークにおけるバッファサイズ有限の場合のステーション内のバッファ中のバケット数の分布やバケット棄却率について、提案されたスロット割当方式の及ぼす影響を計算機シミュレーションによって求め、システムの諸特性について述べる。

2. リングネットワークのモデルと諸定義

N個のステーションがリング状に接続されていて、そのリング上をN個のスロットが時計方向に回転している。各ステーションはこのスロットにバケットを載せることによりメッセージの伝送を行う。バケットの伝送方向は単一方向である。諸定義を次のように行う。

(1) 平均到着率 λ ：単位時間にステーションに到着するバケットの平均数を平均到着率 λ (packet/sec) とする。

(2) 入力負荷率 ρ ：伝送路の回線容量を C_p (slots/sec) とすると、これは単位時間にステーションが処理できるバケットの平均数となる。平均到着率 λ と伝送路の回線容量との比を入力負荷率 ρ で表す。 $\rho = \lambda / C_p$

(3) バケット：バケットは固定長でスロット長に等しいものとする。また、各ステーションには平均到着率 λ (packet/sec) のポアソン分布に従って到着し、バケットは時計方向の単一方向に伝送されるものとする。伝送されたバケットは宛先のステーションに誤りなく確実に受信されるものと仮定する。

(4) 宛先分配率 d_i ：各ステーションにおいて到着したバケットの宛先がそのステーションから伝送方向に向かって i 番目 ($1 \leq i \leq N-1$) となる確率 d_i を宛先分配率と定義する。本研究では、宛先分配率がすべて等しい場合を考察した。この場合、あるステーションに到着したバケットの宛先がそのステーションから伝送方向の向きに数えて i 番目となる確率は

$$d_i = 1 / (N-1) \quad N: \text{ステーション数}$$

となる。ここで、 $\sum_{i=1}^{N-1} d_i = 1$

(5) バッファサイズ m と棄却率 R ：各ステーションがバケットを収容できる数をバッファサイズ m とする。すなわち、各ステーションは次々と到着するバケットを m 個まで収容することが出来る。しかし、バッファ内のバケットが m 個のとき、バッファは満杯となり、その時に到着したバケットはバッファ内に収容されずに棄却されるものとする。この棄却されたバケット数とステーションに到着したバケットの総数との比を棄却率 R とする。

(6) バケット数のバッファ内に存在する確率 P_i ：ステーション中のバケットが i 個存在する定常確率を P_i ($i=1, 2, \dots, m$) とする。ここで、定常確率 P_m はバッファが満杯である確率である。なお、考察する際の各ステーションのバケットの平均到着率、宛先分配率等についての諸条件は同一とする。

3. 各方式の導入

(1) 固定スロット方式

この方式は、各ステーションの使用できるスロットをあらかじめ指定する方式である。すなわち、各ステーションは自分で指定されたスロットを終始独占的に使用することができる。たとえ、そのステーションに到着したスロットが空スロットであっても、そのステーション宛のバケットを載せてきたスロットであっても、そのステーションに割り当てられたものでなければスロットを使用することはできない。

固定スロット方式においては、各ステーションには専用のスロットが1ずつ割り当てられている。各スロットがあるステーションからその隣のステーションに移動する動作を1サイクルの動作と考えると、各スロットはNサイクルでリング上を1周するので各ステーションはNサイクルに1回は確実にバケットを1つ処理することができるが、専用スロットがまわってこない間はたとえ空いているスロットがやってきてもバケットを載せることはできない。

(2) 半固定スロット方式

固定スロット方式では、各ステーションに空いているスロットが到着してもそのスロットが自分専用割り宛てられたものでなかったならば無条件にそのスロットをしようすることができないというものであった。スロットはバケットを目的のステーションに降ろして空のスロットになるが、このスロットは持ち主のステーション（着目しているスロットを、専用のスロットとして使用してステーションのことに到着するまでどのステーションからも利用されることがないのでその間の移動は無駄になってしまう。

固定スロット方式の本来の目的は「各ステーションはスロットが一回転（Nサイクル）する間に一回バケットをスロットにロードする機械が保証されている」という点にあるといえる。

この方式は、スロット利用の効率を良くするために割り当てられたステーションのバケット伝送処理を妨害しない範囲でこのスロットを利用する方式である。

(3) 予約スロット方式

この方式では、あるステーションに空いているスロットが到着すると、そのステーションはその空スロットを直ちに使用することが出来る。各スロットには「どのステーションがこのスロットを使用しているか」を示すフラグが設けられており、各ステーションがスロットを使用する際にはバケットを載せると同時にフラグを「使用中」に切り替える。そのスロットが宛先のステーションに到着すると、そのステーションはこのスロットに入っているバケット情報をコピーしてスロットを送り出す。最終的にはこのスロットはもとのステーションに戻り、送信元のステーションによってスロットの内容を空にされると共にフラグも「空（使用可）」に切り替えられる。このときにそのステーションのバッファ中に待ちバケットがなければこのスロットはそのまま「使用可」の状態を送り出される。待ちバケットがあれば引き続きそのステーションがこのスロットを使用出来る。すなわち、あるステーションが一度でも空いているスロットを使用したなら、このステーションのバッファ中に待ちバケットが存在する限り連続してそのスロットを使用することができる。これは、一つのステーションが複数のスロットを独占してしまう危険性も含んでいるといえよう。

(4) 空スロット方式

この方式では、ステーションの使用するスロットを特に指定することではなく、あるステーションに空スロットが到着した場合はそのステーションは直ちにそのスロットを使用することが出来る。また、そのステーション宛にバケットが到着した場合は、そのバケットを受け取った後の空になったスロットを使

用することが出来る。

4. シミュレーションの数値例

スロットがステーションに到着した直後でかつバケットを載せる直前の時点 a_i ($i=1,2,\dots$) に着目してステーションのバッファ中に存在するバケット数について考える。観測時点を前述した a_i にとると任意の時点よりもバッファ中に存在するバケット数は大きくなり、従って、棄却率、待ち行列長や待ち時間が大となる。そのため、時点 a_i ($i=1,2,\dots$) に注目し導出した待ち行列やバケットの棄却率などの諸量は任意の時点の値に対して上限値を与える。また、逆にバケットを載せた直後の時点 b_i ($i=1,2,\dots$) を観測時点にとると棄却率や待ち行列長などは、任意の時点の値に対して下限値を与える。このシミュレーションにおいては主として上限値を与える観測時点を用いてデータを採取した。

4. 1 固定スロット方式

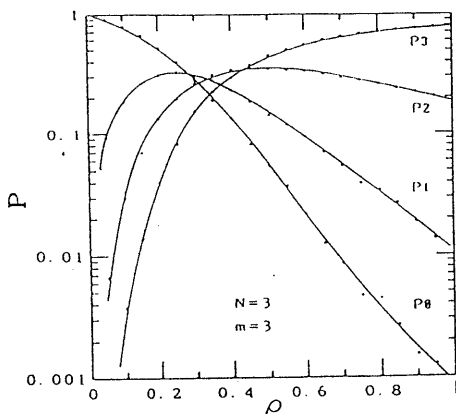


図1 $N=3$, $m=3$ の場合のバケット定常分布

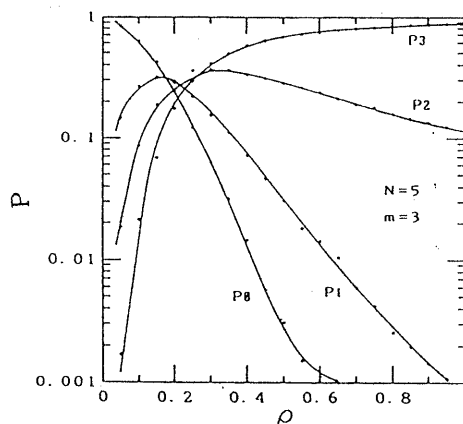


図2 $N=5$, $m=3$ の場合のバケット定常分布

図1にステーション数 $N=3$, バッファサイズ $m=3$, 図2に $N=5$, $m=3$ の場合の固定スロット方式における計算機シミュレーションの結果を示す。

それぞれの図において縦軸はバッファ内のバケット数の定常確率 P_i ($i=0,1,2,\dots,m$) の上限値を表し、横軸は入力負荷率 ρ を表している。ここでステーション数 N とバッファサイズ m はパラメータである。

これらの値はリング上すべてのステーションの平均で、システム全体の状態を表している。

両図ともに共通していえることは、 ρ が増加するに従って P_0 (バッファ中にバケットが存在しない確率) が急激に減少し、 P_m (バッファ中がバケットで満杯になる確率) が急激に増加している。また、ステーション数 N が大きいほど P_m の立ち上がりかたは急激になる。

固定スロット方式においては、各ステーションには専用のスロットが1つずつ、割当てられている。各スロットがあるステーションからそのとなりのステーションに移動する動作を1サイクル

と考えると、各スロットは N サイクルでリング上を1周するので各ステーションは N サイクルに1回は確実にバケットを1個処理することができるが、専用スロットがまわってこない間は他の空スロットが到着してもバケットを処理することができない。ステーション数 N が増えれば専用のスロットが持ち主のステーションに到着するのに要するサイクルも増えてしまうので、そのぶんバケット処理数が減少してしまい棄却率が增大してしまうと考えられる。

4. 2 半固定スロット方式

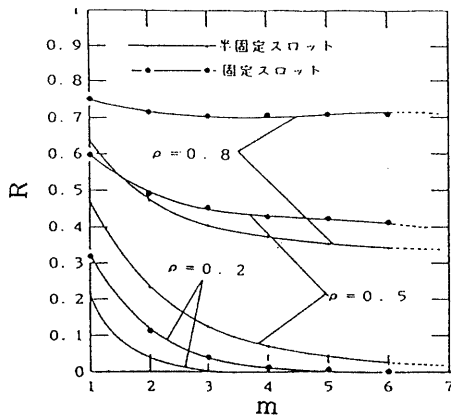


図3 $N=3$ の場合の ρ をパラメータとした棄却率の比較

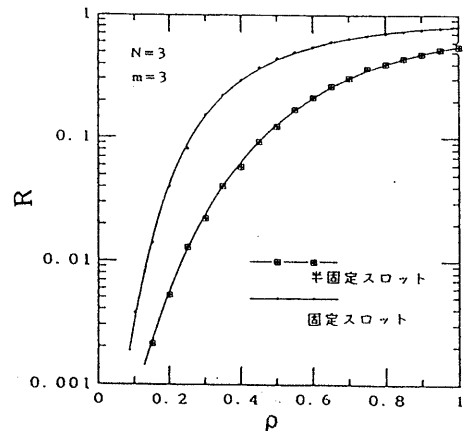


図4 $N=3, m=3$ の場合の固定、半固定スロット方式の棄却率の比較

図3に入力負荷率 ρ をパラメータとした固定スロット方式と半固定スロット方式の場合の棄却率の比較を示す。

この図から、半固定スロット方式の場合は、入力負荷率 ρ が0.2や0.5と比較的に小さい場合にはバッファサイズを大きくすることによって棄却率を低減させる効果はあるが、 ρ が0.8以上の場合にはバッファサイズを大きくしても棄却率にはあまり変化はない。

半固定スロット方式と固定スロット方式を図3から比較してみると、半固定スロット方式が固定スロット方式より棄却率が低いことが確認できる。

図4にステーション数 $N=3$ 、バッファサイズ $m=3$ の場合の半固定スロット方式と固定スロット方式の棄却率の比較を示す。

この図においても半固定スロット方式が固定スロット方式に比べて、入力負荷率の全域で棄却率の値は低い。

4. 3 予約スロット方式

この方式においては、各ステーションはスロットにバケットを載せる際にそのスロットに設けられているフラグを「使用中」に切り替え、そのスロットがリングを1周して、元のステーションに戻ってきたとき、バッファ内にバケット待ち行列があれば再び同じスロットを利用できる。すなわち、各ステーションは一度でも空（使用可能）スロットに出会うことがあれば、そのステーションのバッファ

ァ内にバケット待ち行列がある限りそのスロットを終始独占できる。この場合、バケット存在確率の定常分布の特性は、固定スロット方式の特性に類似するであろうことが予想される。

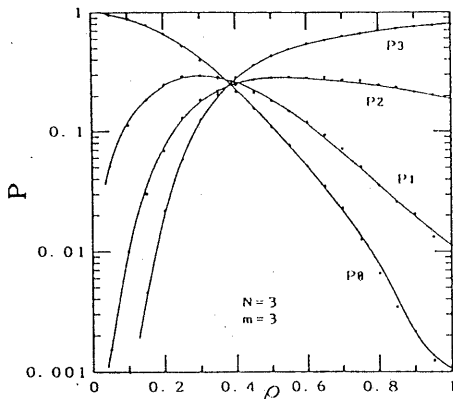


図5 $N=3, m=3$ の場合のバケット定常分布

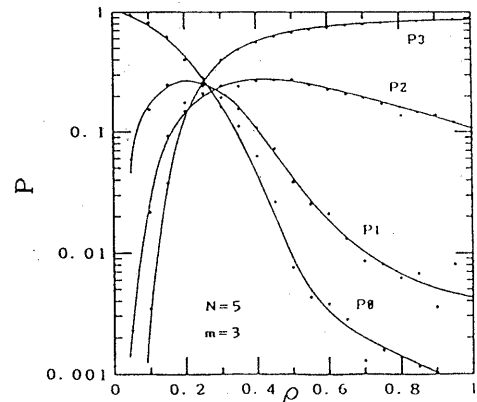


図6 $N=5, m=3$ の場合のバケット定常分布

図5にステーション数 $N=3$ 、バッファサイズ $m=3$ の場合、図6にステーション数 $N=5$ 、バッファサイズ $m=3$ の場合のバケット数の存在確率の定常値を示す。これは定常分布の上限値を示す。

図5と固定スロット方式の場合の図1とを比較してみるとグラフの概形が似ていることが確認できる。

棄却率については入力負荷率 ρ が0.5までの範囲であればこの予約スロット方式のほうが固定スロット方式に対して若干小さくなっている。しかし、入力負荷率 ρ が0.5を超えたあたりからは予約スロット方式と固定スロット方式のそれぞれの棄却率の曲線はほとんど一致してしまう。これは、予約スロット方式においては、入力負荷率が增大するにつれてバッファに待ち行列が存在しない確率 P_0 が急激に減少し、結局、特定のステーションによるスロットの独占がおこってしまい固定スロット方式と同じような状況になっているためであると考えられる。このことについてはステーション数 $N=3$ 、バッファサイズ $m=3$ 、入力負荷率 ρ がそれぞれ0.2, 0.5および0.8の場合でシミュレーションにおける最初の100サイクルのスロットの利用状況に関するデータを得た。それによると、入力負荷率が0.2のときは目立ったスロットの独占は認められなかったが、0.5や0.8の場合にはスロットの独占が確認された。 $\rho=0.5$ の場合は瞬間的ではあるが、1つのステーションによる複数のスロットの独占が見られた。 $\rho=0.8$ の場合には、最初の100サイクルにおいてであるが、2つのステーションによって3つのスロットがすべて独占されてしまい、残りあと1つのステーションは1回もバケットを載せる機会がないという状況がおきている。このような状況の発生を防ぐために、例えば3回以上のスロットの連続使用を禁止するなどの制御が必要であろう。

4. 4 空スロット方式

図7から、入力負荷率 ρ が増加するに従って徐々にバッファが混みあってくる様子がわかる。

図8にバッファ $m=6$ の場合のステーション数 N をパラメータとした棄却率の比較を示す。縦軸は棄却率 R 、横軸は入力負荷率 ρ を表している。

この場合ステーション数が増えれば、バッファサイズ、入力負荷率などの条件が同じでも、棄却率 R は大きくなっていることがわかる。

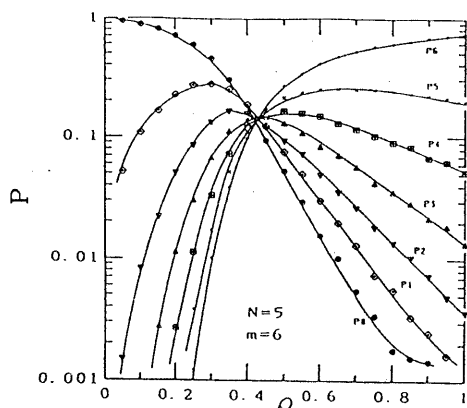


図7 $N=5$, $m=6$ の場合のバケット定常分布

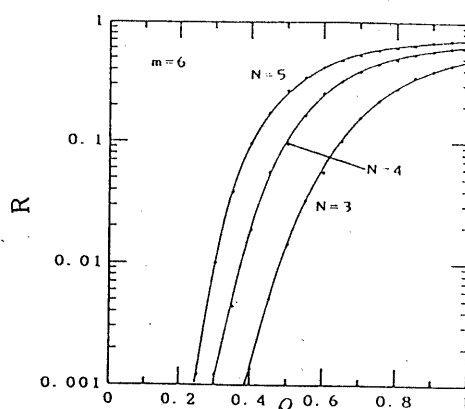


図8 $m=6$ の場合の N をパラメータとした棄却率の比較

このことは、ステーション数が増えるとリング上に空いているスロットが出現する確率が小さくなってしまふことに起因していると推測される。

例えば、ステーション数 $N=3$ の場合と $N=5$ の場合を比較してみると、 $N=3$ の場合は、あるステーションからみて最も遠いステーション（伝送方向の逆から見ての隣）が宛先のバケットを載せたスロットは送信元のステーションから送信されてから、目的のステーションに到着するまでに、他のステーションを1回しか素通りしないが、 $N=5$ の場合は3回も素通りしてしまう。

このことにより、ステーション数が増えると、リング上にまだ宛先に届いてないバケットを載せたスロットが多く現れることが棄却率を大きくすることになっていると推測される。

4.5 方式別の比較

これまでスロットを用いたリングネットワークシステムにおける固定スロット方式、半固定スロット方式、予約スロット方式、空スロット方式の4つのスロット割当て方式についてバケットの棄却率を中心として諸特性を述べてきた。

図9にステーション $N=3$ 、バッファサイズ $m=3$ の場合について、4つの方式のそれぞれの棄却率を示す。図において、縦軸は棄却率 R 、横軸は入力負荷率 ρ を表す。

また、図10にステーション $N=5$ 、バッファサイズ $m=3$ の場合について、4つの方式のそれぞれの棄却率を示す。図において、縦軸は棄却率 R

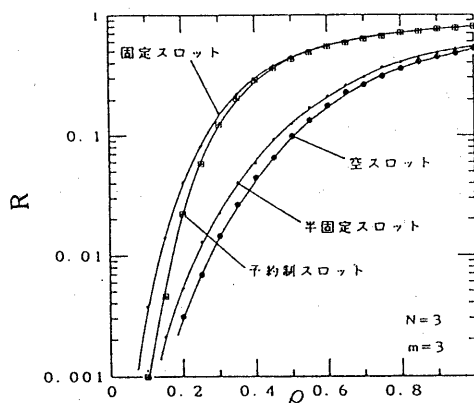


図9 $N=3$, $m=3$ の場合の棄却率の比較

横軸は入力負荷率 ρ を表す。

これらの2つの図から分かるように、4つのスロット割当方式の中では、入力負荷率 ρ の全域にわたって、空スロット方式がバケットを最も効率よく伝送していることがわかる。

5. おわりに

スロットを用いたリングネットワークシステムにおける固定スロット方式、半固定スロット方式、予約スロット方式、空スロット方式の4つのスロット割当方式に注目してシステムの諸特性を述べた。棄却率に関しては、半固定スロット方式と空スロット方式、固定スロット方式と予約スロット方式は、それぞれ類似した特性を示していることが分かった。この傾向はステーション数が増えるほど顕著になる。次に、すべてのスロット割当方式について言及できることであるが、入力負荷率が大きくなるとバッファは飽和状態となり、バッファサイズを大きくしても棄却率を下げる効果は期待し難い。また、ステーション数が増えても棄却率は大きくならない。

本研究では対称形リングについて行ったが、今後は非対称形リングについての考察も必要である。

謝 辞

4年次卒業研究の際に、計算機シミュレーションに従事して頂いた国吉真也君に深謝する。

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), J59-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)。
4. 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)。
5. 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), J70-A, 2, pp.289-300 (昭和62-02)。
6. W.Bux: "Local-Area Subnetworks: A performance comparison", IEEE Trans. Commun., 10, pp.1465-1473 (Oct. 1981)。

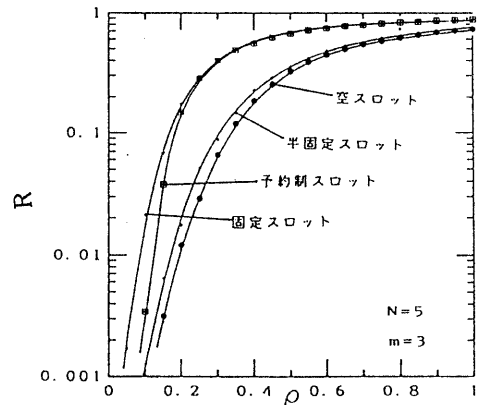


図10 N=5, m=3の場合の棄却率の比較