

氏名	照屋 健
授与学位	博士（工学）
学位授与年月日	平成9年2月12日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第2項
最終学歴	昭和42年8月 フロリダ大学大学院工学研究科電気工学専攻課程修了
学位論文題目	環状型ネットワークの情報伝送特性に関する研究
論文審査委員	東北大学教授 白鳥 則郎 東北大学教授 西関 隆夫 東北大学教授 阿曾 弘具

## 論文内容要旨

本論文は環状型ネットワークにおけるスロット方式をより効率的なものにし、多様化するユーザ環境に追従していくための方式を選別し、考察したものである。環状型ネットワークには、パケット棄却率とバッファサイズの決定、網のスループットの評価、スロット使用に際しての伝送制御とその効率、さらに環状型ネットワーク特有の問題としての網の占有防止などといった解決すべき問題点が多々ある。

本論文は、スロットを用いた環状型ネットワークのもつ即応性、柔軟性、拡張性に着目し、網の有する特性を明らかにし、利用環境を可能な限り高効率に、より柔軟に構築する技術開発を容易に示唆する数多くの解析と考察を行った結果をまとめたものであり、ネットワークの使用効率の向上と資源の有効利用を可能ならしめる有益な結果が得られており、全編6章から成る。

第1章は序論であり、本研究の背景、目標、環状型ネットワークのモデルおよび諸定義について述べている。

第2章では、各ステーションの送信バッファ内のパケットの待ちがフルロードという条件のもとで解析し、システムの諸特性を導出している。フルロードとは送信バッファ内にパケットの待ちが限りなく続いている状態を意味することを述べ、従って、伝送路上では空スロットはなく、各ステーションにおいては自己のステーションでパケットを受け取る場合にのみ、パケットの伝送が可能となることを記述し、伝送路のトラヒックが過密になってくると、このようなことは現実に一時的な現象としてしばしば起こり得ることを指摘し、そのため、このような解析はシステムの処理能力や過密時のトラックの様子を調べる上で有用な手段となることを述べている。

Pierceタイプの環状型ネットワークシステムを対象とし、フルロードの条件下で、従来あまり検討されていなかったパフォーマンスに対するトラヒックパターンの影響に関する導出された諸特性について述べている。特に、トラヒックパターンによりシステムの処理能力が大きく左右されることを解析的に厳密解を用いて示している。また、宛先分配率が対称の場合について過渡状態におけるスループットの特性について検討し、トラヒックパターンへの依存性について述べている。

スロットの状態確率ベクトルを定義し、スロットの状態がマルコフ連鎖の性質を有することに着目し、スロットの遷移確率を導き、遷移確率行列を得ている。フルロードの条件下で定常状態におけるスループットを宛先分配率、ノード数や回線容量を用いて厳密解で表現している。システムの処理能力が、宛先分配率の均等形ではステーションに依存せず一定で、べき乗増加形では $C_p$ 以下にならないことなど、システムの諸特性が定量的に得られることを示している。

宛先分配率をパラメータとして過渡状態における情報伝送率の各遷移毎の変動を固有値、固有ベクトルを手法として

用い、遷移数の関数として表現している。ネットワークに連結されるステーション数が増加すると情報伝送率の定常値は小さくなる傾向にあることを示している。

また、宛先分配率が非対称の場合について、遷移行列を導き、情報伝送率を求め、その推移について示している。特に、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、他のステーションの情報伝送率は次第に小さくなることについて述べている。これらのことより、ステーションの位置関係による情報伝送率の影響の位置依存性を明かにし、スロット配分のための伝送制御の必要性を示唆する結果を示している。

第3章では、各ステーションにおけるバッファサイズを有限とし、システムの諸特性の導出を行っている。環状型ネットワーク上のステーションはすべて同一条件とし、任意の一つのステーションのある離散的な時点での待ち行列長に注目すると隠れマルコフ連鎖を形成することに着目し、近似解析を行い諸特性の導出を行っている。

スロットがステーションに到着した直後でかつパケットを載せる直前の時点に着目してステーションのバッファ中に存在するパケット数について考えると、これは任意の時点で観測したパケット数よりも大きくなり、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、この時点に注目し導出した待ち行列長やパ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ことを述べ、また逆にパケットを載せた直後の時点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とを述べている。解析における観測時点を本文中で図によって示し、上限値の解析では、あるステーションのバッファ中のパケット数の次の時点で推移する推移確率を求め、定常状態においては、各状態へ流入する確率とその状態から流出する確率が等しい、いわゆる保存則 (conservative law) が成立することから、ステーションのバッファ中に存在するパケット数に関する定常確率の関係式を得ている。定常確率の関数として表現された非線形連立方程式を導き、バッファサイズが2以下の場合を閉じた形の数式表現で与え、3以上の場合はパケット数を算出するためのガウス・ジョルダン消去法を基本としたアルゴリズムを与えている。下限値についても同様の解析を行っている。

以上の手法により、ステーションのバッファ中に存在するパケット数の定常確率を近似解析により導出し、これを用いてパフォーマンスの評価式を与えている。

スロットを用いた分散制御形の環状型ネットワークにおいて、ポアソン到着の条件下でバッファ中に存在するパケットの定常確率分布を近似解析によって求め、特に、棄却率とスループットについて検討している。また、計算機シミュレーションによって近似の有効性を確認している。特に解析による上限値 (下限値) は真の棄却率 (スループット) の値に近く、しかも安全側の近似となるので、真の値に対する近似として代用できることを示し、パケット棄却率や網のスループットを用いて、適切なバッファサイズを決定する指針を提供する有用な解析結果を得ている。

第4章ではスロットを用いた環状型ネットワークにおいて伝送用バッファが有限サイズ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、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ている。スロットを用いた環状型ネットワークにおけるバッファサイズ有限の場合において4つのスロット割当方式について検討している。

スロットを用いた環状型ネットワークシステムにおけるランダムスロット方式、固定スロット方式、半固定スロット方式および予約スロット方式の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ている。棄却率に関しては、ランダムスロット方式と半固定スロット方式、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を明らかにしている。この傾向はステーション数が増えるほど顕著になることを示している。次に、すべてのスロット割当方式に関して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ことが期待し難いし、また、ステーション数が増えても棄却率は大きくなってしまふことを明示している。

これまでに得られた結果から、棄却率はランダム方式が最も低いことを示している。システム提供者の立場からは棄却率を低くする上でランダム方式を採用すればよいが、ユーザ側の立場からは、ネットワークの占有を防止し、遅延時間が保証される点で、固定方式を採用すれば良いということを言及し、これら両方式のトレードオフとしては半固定方式が、より良い選択といえることを述べている。

第5章では分散形の環状型ネットワークにおける各種伝送方式の評価及びその比較を行っている。種々の長所を有する環状型ネットワークの短所の一つにネットワークの占有問題があり、これは負荷のアンバランスの度合いが大なるときに生起し、ネットワークの占有を防止するには使用可能なスロットをステーション毎に固定する F-A 方式を採用すれ

ばよいことを述べ、一方、F-A方式のパフォーマンスは低く、特に負荷のアンバランスの度が大なるとき、かなり低下することを指摘している。本章ではこれらの欠点を改善する方策としてシフトレジスタを伝送路中に積極的に挿入する伝送方式を採用し、その有効性を定量的に示している。又、R-I方式とF-A方式を改善する他の方策の一つであるS-F方式を比較・評価することにより、その有効範囲と限界を明確化している。

まず始めに、空スロットを自由に使用できる方式とした場合、システムパフォーマンスがトラヒックパターンにかなり左右されることを示し、特に、特定のステーション間の通信が増加し密になってくると、ネットワークの占有が生ずることを指摘している。

次に、使用可能なスロットをステーション毎に固定すると、ネットワークの占有を完全に防止できるがパフォーマンスはかなり低下することを定量的に示している。ここで、パフォーマンスの低下を防ぐ方策として用いられた伝送路へのシフトレジスタの挿入を積極的に採用した伝送方式を考察している。この方式を導入することによりネットワークの占有を防止しながらスロットの固定割当方式よりパフォーマンスを向上させることができることを示している。また、スロットの固定割当方式と半固定割当方式の改良策として採用されたシフトレジスタ挿入方式の得失について検討している。

ランダム方式と固定方式を改善する方策としては、半固定方式とシフトレジスタ挿入方式があり、両者とも有用な伝送制御方式であり、いずれかの方式を採用するかは、負荷の状況によって決まることを指摘している。例えば負荷率が小さく、ある値（たとえば $\alpha=0.3$ ）以下の場合にはシフトレジスタ方式を採用すると良いが、負荷率が大きく、ある値（たとえば $\alpha=0.7$ ）を超えると半固定方式が有利となり、両者のうち、いずれの方式を採用するかは負荷率を考慮したトレードオフとなることを述べている。

第6章は結論であり、本研究で得られた結果を総括している。

以上、本論文は、環状型ネットワークにおけるスロットの使用効率を向上させることが可能となり、その結果、伝送路などの資源の有効利用、低コスト化などの効果が期待できる有益な結果を得ている。

本研究はユーザの発生するデータ環境が予測不可能なランダム的であるものにとらえ、宛先分配率の概念を導入して解析が可能となる工夫を行い、パケット宛先のもたらす影響、適切なバッファサイズの設定と網のスループット向上の指針となるパケット棄却率やスロット割当方式を導入し、網のトラヒックを考察し、その成果として、ネットワーク使用の効率化、柔軟性の向上が期待できる。

## 審査結果の要旨

情報通信ネットワーク利用者の増加と利用者要求の多様性に対応して、情報通信ネットワークの構成も多様化している。そのため、様々な利用者要求に適合するネットワークを構成するための方法をネットワーク設計者に提供することは、極めて重要な課題になっている。しかしながら、基本となるネットワーク構成であるバス型や環状型ネットワークの諸特性は十分には解明されていない。そこで著者は、環状型ネットワークのもつ即応性、柔軟性、拡張性に着目して、網の有する諸特性を明らかにし、ネットワークを高効率・柔軟に構築するための方法を詳細に研究した。本論文はその結果をまとめたものであり、全編6章から成る。

第1章は序論である。

第2章では、ステーションにおけるバッファがフルロードの条件下で、まずスロットの状態遷移がマルコフ連鎖の性質を有することに着目しその遷移確率行列を与えている。次に、この遷移確率行列を用いて、システムの情報伝送率を解析的に導出している。また、情報伝送率に対するパケットの宛先分配率の影響について考察し、宛先分配率に応じた伝送制御の必要性を示唆する興味深い結果を示している。

第3章では、各ステーションにおけるバッファの容量を有限とした場合について、システムの諸特性を導出している。スロットの状態遷移に関するマルコフ連鎖の性質を用いて解析的に情報伝送率の評価式を与えている。またパケットの棄却率や網のスループットを用いて、ステーションの適切なバッファの容量を決定する方法を提供するなどの重要な解析結果を得ている。

第4章では、バッファの容量が有限の場合について、従来のランダムスロット方式と固定スロット方式に加えて、半固定スロット方式および予約スロット方式を提案し、そのプロトコルを構成した。次にこれらの4つのスロット割当方式の比較評価に関して、計算機シミュレーションの手法を用いてシステムの諸特性を明らかにし、目的や制約条件に応じた伝送方式の選択に関する有用な知見を与えている。

第5章では、バッファの容量が無限大の場合について、環状型ネットワークに特有な伝送路の占有を防止する方策として、シフトレジスタを伝送路中に積極的に挿入する伝送方式を提案し、従来の方式と比較・評価することにより、その有効範囲を明確化している。これらの結果は実際にネットワークを構築するうえで、実用上重要な結果である。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、環状型ネットワークの諸特性に関して理論と実験の両面から研究を行い、高品質・高信頼な情報通信ネットワークを構築するための有用な基礎を与えたものであり、情報通信工学の発展に寄与するところが少ない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。