

ローカルエリアネットワークにおける

Modified Token-Passing 方式の検討

久保昭彦 石坂充弘 厚井裕司 井手口哲夫

三菱電機株式会社

1. まえがき

OA, FA, LAの進展に伴い、企業内の多様化する情報通信手段を統合化し、経営、製造、開発の諸活動を有機的に結合するローカルエリアネットワーク(LAN)が脚光を浴びている。現在、市場には多種多様なLANが提供されており、この中でイーサネット(Ethernet)に代表されるCSMA/CDバス形LANやトークンリング形LANがデータ通信を目的として標準化が進められている。しかしながら、今後企業内においては情報メディアの多様化により、データ通信、画像通信、音声通信をデジタル統合化したマルチメディア通信を可能にすると共に、これらの多元トラフィック量の変化に柔軟に対応できるネットワークが求められている。

我々はこのような要求に対応すべく、比較的小規模ネットワークから大規模ネットワークまでを構成でき、高速伝送が可能なリング形LANをベースとして、電話等の等時性を有する同期信号と、蓄積交換等の等時性を保持しない非同期信号を効率よく多重化して伝送するModified Token-Passing方式を提案する。

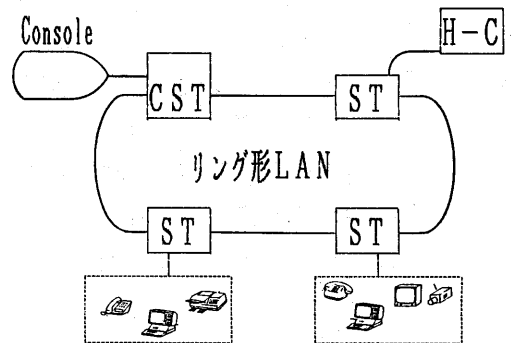
本稿では、まず本提案方式のシステム構成、フレーム構成、アクセス制御、応答制御について述べると共に、非同期信号を伝送するときのトークン制御について詳述する。最後に、IEEE 802トークンリングを比較対象として、本提案方式におけるスロット構成、ステーショ

ン数、伝送速度及び送信データ長と平均転送時間の関係について、BUX[2]のトークンリングの性能解析手法を用いて論じる。

2. Modified Token-Passing 方式の概要

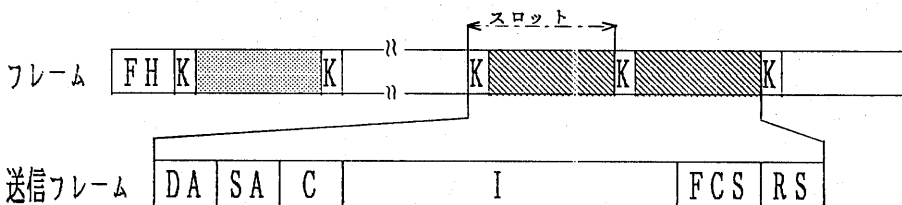
2.1 システム構成

リング伝送路を介してデータ転送を行うリング形LANの構成例を、図1に示す。リング形LANシステムは、伝送制御及び端末とのインターフェースを行うステーション(ST)と、システム全体の監視制御を行う管理ステーション(CST)と、これらを環状に接続する伝送路からなる。



ST: station CST: control station
H-C: host computer

図1. リング形LANシステム構成例



- | | |
|---|---|
| <p>■ : 同期信号領域 FH : Frame header DA : Destination Address C : Control field FCS : Frame Check Sequence</p> | <p>▨ : 非同期信号領域 K : Access Key SA : Source Address I : Information RS : Response field</p> |
|---|---|

図2. 伝送フレーム・フォーマット例

2.2 フレーム構成

伝送路上を周回するフレームは、図2に示すように、そのステータスや管理情報を有するフレームヘッダーと複数の固定サイズのスロットから構成される。

この方式では、管理ステーションが各スロット内にあるアクセスキー領域に「同期」, 「非同期」の区分情報を設定し、スロット単位にそれぞれの伝送のための領域を区分する。このため図3に示すように、同期・非同期信号領域の構成を、そのトラヒックの変化に対応して任意に設定できる。図中の a) . b) では同期信号領域と非同期信号領域が2分されており、それらの割合が変化している。さらに c) に示すように、それぞれの領域が分散した構成も可能である。

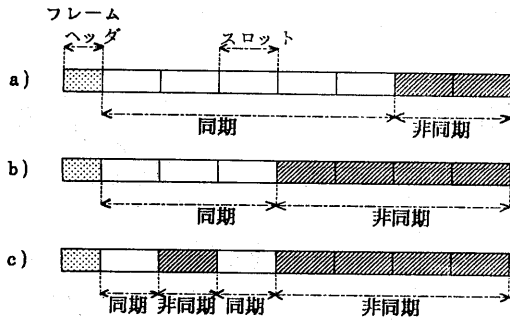


図3. 同期・非同期信号領域の区分例

2.3 アクセス制御

各ステーションは、アクセスキー領域の情報からスロットの状態を認識し、下記のようにスロットへのアクセスを行う。

同期信号領域を使用する場合、ステーション間でのデータ転送用スロットの割当て・解放の情報を転送するために、共通線信号を用いる。スロットの割当て・解放は管理ステーションが行い、送信データを有するステーションからの割当て要求に対して空き状態の「同期」のスロットを割当てる。ステーションでは該スロットを用いてデータを伝送する。データ伝送終了後、ステーションからのスロット解放要求により該スロットを解放する。

非同期信号領域では、「同期」, 「非同期」の他に、「送信可」, 「使用中」, 「中立」の3つのアクセス制御情報を用いる。そのうち「送信可」がトークンの役割を果し、この情報を受信したステーションが送信権を獲得する。送信するデータが複数のスロットに渡る場合には、混在する「同期」, 「非同期」のスロットの中から「非同期」のスロットのみを連続して使用する。以下に、図4を用いて非同期信号領域のアクセス制御のシーケンス例を示す。

- 伝送路上の複数のスロットにおいて唯一のスロットのアクセスキーが「送信可」(F)となり、他のスロットのアクセスキーは「中立」(N)となって伝送路を周回する(①)。

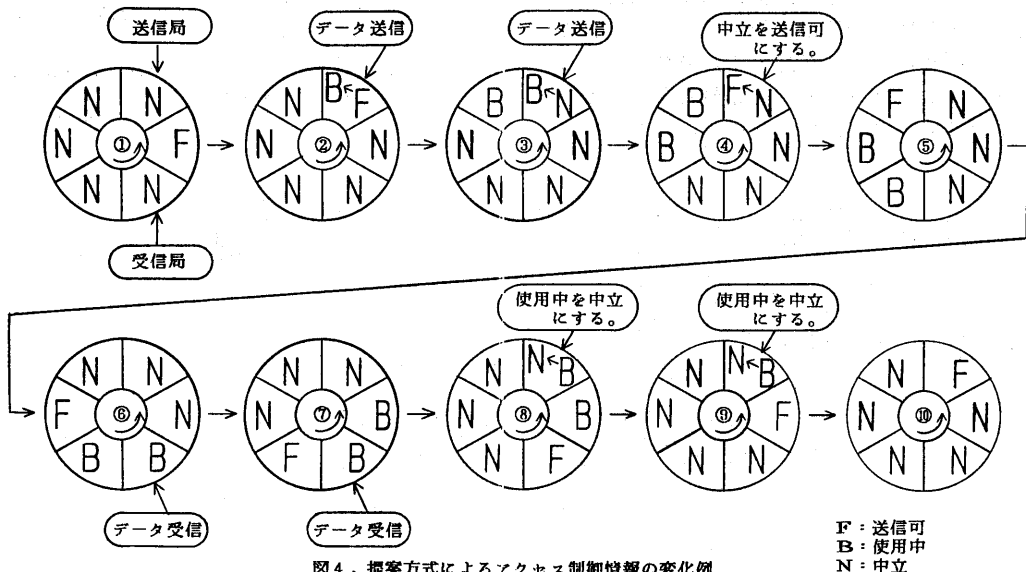


図4. 提案方式によるアクセス制御情報の変化例

F: 送信可
B: 使用中
N: 中立

(2) 送信すべきデータを有するステーションは「送信可」(F)を受信したとき、これを「使用中」(B)に変え(②)、そのスロット以降のスロットを連続して用いて、データを伝送する(③)。データ伝送に使用したスロットのアクセスキーは「使用中」(B)に変更される。

(3) データ伝送直後のスロットのアクセスキーを「送信可」(F)にする(④)。その後、データ伝送に使用したスロットが送信側ステーションに戻ってきた時、そのスロットのアクセスキーを「中立」(N)にする(⑧、⑨)。

2.4 応答制御

非同期信号領域での送信データに対する応答は、正常受信応答、バッファビジー応答、誤り検出応答に大別される。受信側ステーションからの応答は、送信フレームの末尾に設けられた応答フィールド(RS)に設定されるので、送信に使用した最後のスロットの監視により容易に受信できる。

応答が無応答、誤り検出応答の場合には、新規の送信データに先立ち再送を行う。一方、バッファビジー応答の場合には、適当な時間が経過した後に再送を行うが、その再送を行う前に別のステーションへの送信要求が発生しているときには、そのデータの送信を先に行う。

3. 提案方式の性能評価

リング形LANにおける伝送制御手順の標準

仕様として、IEEE 802委員会で標準化作業が進められているトークンリングがある。本章ではこのトークンリングを比較の対象として、本提案方式の性能を検討する。

3.1 提案方式とIEEE 802トークンリングの概要

本提案方式とIEEE 802トークンリングの概要を表1に示す。

本稿では、同期信号と非同期信号の混在した伝送方式を検討しているため、両方式とも伝送路上に固定サイズのフレームを構成しているものとする。ただし、フレーム内の領域はすべて非同期信号用に使われるものとする。

3.2 計算式の導出

両方式における、送信データの平均転送時間を求めるための計算式の導出には、BUXによる下式を利用した。

$$t_f = \frac{\lambda E(T_p^2)}{2(1-\lambda E(T_p))} + \frac{\tau(1-\lambda E(T_p)/s)}{2(1-\lambda E(T_p))} + E(T_p) + \frac{\tau}{2} \quad -①$$

- tf : 平均転送時間
- λ : データ到着率
- Tp : サービス時間(送信権獲得から送信権放棄までの時間)
- E(Tp) : サービス時間の1次モーメント
- E(Tp²) : サービス時間の2次モーメント
- τ : 信号のリング一巡遅延時間
- s : ステーション台数

表1. 提案方式とIEEE 802トークンリングの概要

| 項目 | 提案方式 | IEEE 802トークンリング |
|--------------------|-----------------------------|---|
| フレーム形式 | | |
| 送信権 | アクセスキー(K)内に表示。 | SD内で判別。 |
| 送信権解放 タイミング | 送信フレームを伝送路へ送信直後。 | (フリートークン/ビジートークン) 送信側ステーションで、送信フレームを受信後。 |
| 優先処理 | なし。 | 有り。 |
| 応答 | 送信フレーム伝送に使用した最後のスロットの末尾に設定。 | 送信フレームに応答領域を付加。 |
| 伝送路への アクセスタイミング | 同期(スロット単位)。 | 非同期。 |

式①は、複数個の窓口（ステーション）に生じる待ち行列を、1人の扱ひ者（送信権）が巡回的にサービスする多重待ち行列をモデルとしており、次の仮定が与えられている。

- (i) データの到着分布…ポアソン分布
 - (ii) 待ち行列の長さ…無限大
 - (iii) 待ち行列の処理方式…全処理方式
 - (iv) 待ち行列の特性…対称待ち行列
- さらに次の仮定を加える。
- (v) データ長の分布…指数分布（平均データ長 $1/\alpha$ ）
 - (vi) データ再送は考慮しない。

上記の仮定と共に式①の T_p （サービス時間）を送信権獲得から送信権解放までの時間と定義し、式①を用いてIEEE802トークンリングと提案方式の計算式の導出を行う。

(1) IEEE802トークンリング

IEEE802トークンリングでは、送信側ステーションで送信フレームを受信するまで送信権を解放しない。そのため送信フレーム送出時間（送信フレーム長/伝送速度）がリング一巡遅延時間（ τ ）より短い場合、 T_p は τ となる。この点を考慮すると T_p は次の式で表される。

$$T_p = \begin{cases} (L_p + L_d + L_h)/v & : (L_p + L_d + L_h)/v > \tau \text{ の場合} \\ \tau & : (L_p + L_d + L_h)/v \leq \tau \text{ の場合} \end{cases} \quad \text{---②}$$

- v : 伝送速度 (bit/sec)
- L_p : データ長 (bit)
- L_d : トークン信号長 (bit)
- L_h : 送信フレームヘッダ長+トレイラ長 (bit)

$(L_p + L_d + L_h)/v$: 送信フレームの伝送時間 (sec)

式②より $E(T_p)$, $E(T_p^2)$ は次式で表される。

$$E(T_p) = \frac{1}{\alpha v} e^{-\alpha(\tau v - L_n - L_d)} + \tau \quad \text{---③}$$

$$E(T_p^2) = 2(\mu - \tau) \left(\frac{1}{\alpha v} + \tau \right) + \tau^2 \quad (\mu = E(T_p)) \quad \text{---④}$$

また τ については、伝送路を固定サイズのフレームに分割しているため下式のように表される。

$$T_f = L_f/v$$

$$\tau = (1 + \lceil (sa/v + br)/T_f \rceil) \times T_f$$

$\lceil \rceil$: 切り捨て
---⑤

- a : ステーション内の遅延ビット (bit)
- b : 伝送路の遅延 (sec/km)
- r : 伝送路長 (km)
- L_f : フレーム長 (bit)

式①, ③, ④, ⑤より t_f を導出できる。

(2) 提案方式

提案方式では、伝送の単位が固定長のタイムスロットであるために T_p は次のように表される。

$$T_p = \begin{cases} L\ell/v & : L_p + L_h \leq L\ell - L_k \text{ の場合} \\ 2L\ell/v & : L_p + L_h \leq 2(L\ell - L_k) \text{ の場合} \\ nL\ell/v & : L_p + L_h \leq n(L\ell - L_k) \text{ の場合} \end{cases} \quad \text{---⑥}$$

- $L\ell$: スロット長 (bit)
- L_k : Key部の長さ (bit)

式⑥より、 $E(T_p)$, $E(T_p^2)$ を次の様に置く。

$$E(T_p) = \frac{L\ell}{v} \left\{ 1 + \frac{L\ell - L_k - L_h}{1 - e^{-\alpha(L\ell - L_k)}} \right\} \quad \text{---⑦}$$

$$E(T_p^2) = \left(\frac{L\ell}{v} \right)^2 \left\{ 1 + \frac{e^{-\alpha(L\ell - L_k - L_h)}}{1 - e^{-\alpha(L\ell - L_k)}} \right\} \quad \text{---⑧}$$

また、伝送路を固定長のフレームに分割しているため、 τ は下式のように置く。

$$T_f = L_f/v$$

$$\tau = (1 + \lceil (sa/v + br)/T_f \rceil) \times T_f \quad \text{---⑨}$$

$\lceil \rceil$: 切り捨て

式①, ⑦, ⑧, ⑨より t_f を導出できる。

3.3 結果と考察

前節で導出した計算式に基づいて、平均転送時間を求める。計算に使用したデータを以下に示す。

(i) 両方式に共通なデータ

- ・ 伝送路の信号伝搬遅延 (b) $5 \mu\text{s}/\text{km}$
- ・ ステーション内遅延 (a) 8bit
- ・ 伝送路長 (r)

1ステーション当たり 1 km

- ・ フレーム長 (Lf) 506byte
- (ii) IEEE 802用のデータ
- ・ トークン信号長 (Ld) 3byte
- ・ 送信フレームヘッダ長+トレイラ長 (Lh) 8byte

(iii) 提案方式用のデータ

- ・ フレーム制御領域 (Lc) 6byte
- ・ スロット長 (Ll) 25byte
- ・ key部の長さ (Lk) 1byte

以上のデータを用い、パケット到着率、ステーション数、平均データ長、伝送速度をパラメータとして本提案方式の特性を示す。

(1)ステーション数

ステーション数をパラメータとしてパケット到着率と平均転送時間の関係を図5に示す。また、ステーション数と平均転送時間の関係を図6に示す。

図6よりIEEE802は、ステーション数の増加に伴い急激に悪化することがわかる。いっぽう、本提案方式はステーション数による影響が比較的小さい。

ステーション数が増加するとステーション内の遅延と伝送路長の増加によりリング一巡遅延時間 τ が大きくなる。IEEE802では、送信側のステーションで送信フレームを受信するまで送信権を解放しない。このためサービス時間 T_p は τ の影響を受け(式②)、ステーション数が多い場合特に平均転送時間が長くなる。一方、本提案方式では、送信フレームを伝送路へ送出直後に送信権を解放するために T_p は τ の影響を受けない(式③)。

(2)平均データ長

平均データ長をパラメータとしてデータ到着率と平均転送時間の関係を図7に示す。また、平均データ長と平均転送時間比(提案方式/IEEE802)の関係を図8に示す。

図8より、標準的なパケット長(数百バイト)領域では本提案方式が有利となり、数千バイト以上のパケット長では両者にほとんど差はない。

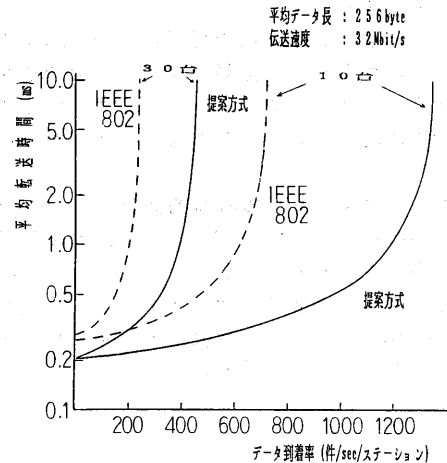


図5. ステーション数をパラメータとしたデータ到着率と平均転送時間の関係

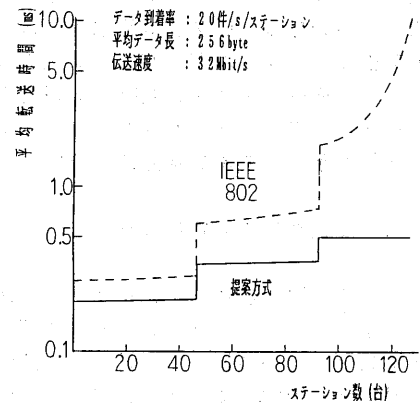


図6. ステーション数と平均転送時間の関係

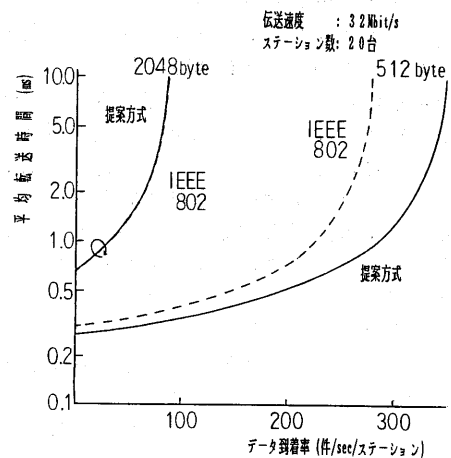


図7. 平均データ長をパラメータとしたデータ到着率と平均転送時間の関係

(3) 伝送速度

伝送速度と平均転送時間の関係を図9に示す。これより、本提案方式では、伝送速度が速くなるに従って、IEEE 802に比較して平均転送時間が小さくなることがわかる。

以上の結果より、本提案方式は、ステーション数が少なく、伝送路長が短く、伝送速度が低速の場合、IEEE 802トークンリングとの間に特に優劣は認められず、ステーション数が多く、伝送路長が長く、伝送速度が高速になる程、良い特性を示すことがわかる。

4. まとめ

本稿では、リング形LANで、同期信号と非同期信号を多重化して伝送する伝送制御方式について報告した。先ず本提案方式のシステム構成、フレーム構成、アクセス制御、応答制御について述べ、次に、IEEE 802トークンリングを比較対象として本提案方式の特性を検討した。

以下に、本提案方式の特性について述べる。

- (1) 本提案方式は、伝送路を固定サイズのスロットに分割し、各スロットにアクセス制御情報領域を設け、その領域に「同期」、「非同期」の区分情報を設定している。この結果、同期信号と非同期信号のトラヒック量に対応して、スロット構成を容易に変更できる。
- (2) IEEE 802トークンリングでは優先処理を行うために、送信権を獲得したステーションは送信したフレームが一巡するまで送信権を解放できない。このため、伝送路長やステーション数が増加し、リング一巡遅延時間が大きくなると、平均データ転送時間が長くなる。ところが本提案方式では、送信データを伝送路へ送出直後に送信権を解放するために、IEEE 802トークンリングに比べ、リング一巡遅延時間の影響は小さい。
- (3) 本提案方式の一般的特性として送信データを固定サイズのスロットに分割して転送するために、データ長によっては無駄な領域が生じる。この領域をデータと共に転送するためにデータ転送時間が長くなる傾向がある。
- (4) 図2で示したフレーム構成では、同期・非同期領域を区分するために、各ステーション

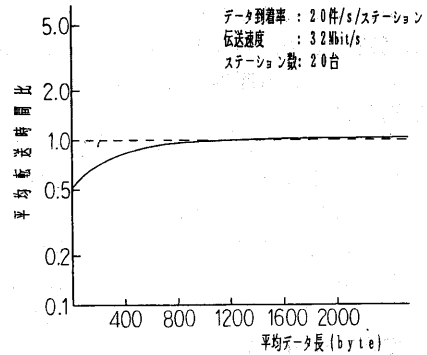


図8. 平均データ長と平均転送時間比の関係

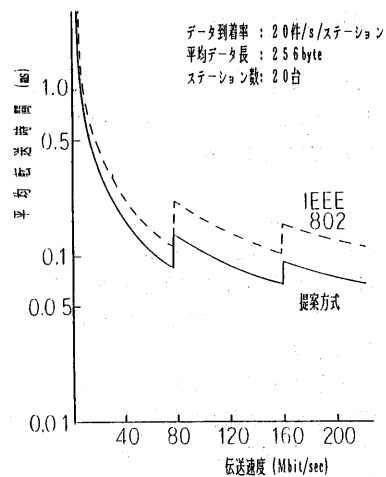


図9. 伝送速度と平均転送時間の関係

でスロット単位に同期をとっている。この構成で、非同期信号の伝送を行う方法としてトークンリングをもちいると、トークン検出用のH/Wを設ける必要があるが、本提案方式では、スロット同期を利用して伝送路へのアクセスをおこなっているためその必要はない。

以上のような特性を持つ伝送制御方式により、同期信号と非同期信号を効率良く多重化した伝送サービスを提供できることが示された。

最後に、今後の課題として、管理ステーションでのスロット割当てアルゴリズムの検討、「送信可」(トークン)消失の検出と再生のアルゴリズムの検討などがある。

文 献

- [1] 石坂他, “ローカルエリアネットワーク MELNET における分散交換”, 情報処理学会「ローカルエリアネットワーク」シンポジウム (昭和58-9) .
- [2] Bux, W., et al. “Local-Area Subnetworks: A Performance Comparison”, IEEE Trans. Commun., COM-29, 10, pp. 1465-1473 (1981).
- [3] Bux, W. “Performance issues in local-area networks”, IBM Systems Journal, vol. 29, no. 4, pp. 351-373. (1984).
- [4] 木村行男・及川義則・戸倉信之, “ループ網における同期・非同期混在伝送の検討”, 昭和59年度電子通信学会総合全国大会, 1779, pp. 8-9.
- [5] 厚井他, “階層形ローカルエリアネットワーク MELNET における交換方式の考察”, 信学技報 vol. 84, no. 269, IN84-113. (昭和59).
- [6] 高橋正弘・浜田卓志・安元精一, “分散計算機制御システムに適したループ伝送制御方式”, 電子通信学会論文誌, vol. J68-D no. 3. (昭和60-3) .
- [7] 小柳津育郎・魚住栄市・星子隆幸, “高速光ファイバループ用データリンクプロトコルの検討”, 情報処理学会分散処理システム研究会資料23-7. (昭和59-7) .
- [8] IEEE 802.5 “Token Ring Access Method and Physical Layer Specification” Draft E
- [9] Konheim, A. G. and Meister, B., et al. “Waiting lines and times in a system with polling”, J. Assoc. Comput. Mach., vol. 21, pp. 470-490. 1974.