

広帯域ツリー形ネットワークにおけるパソコン通信用 2 Mbps CSMA/CD システム†

小林 浩†† 春山 秀朗†† 広瀬 次宏†††

パソコン通信等への応用を目的に、低廉化、コンパクト化を指向した広帯域ツリー形ネットワークにおける 2 Mbps CSMA/CD システムについて述べる。CSMA/CD がその基本思想としている完全分散対等プロトコルを実現するためには“fairness”と“lost packet”の問題を解決しなければならず、そのためには“100%衝突検出”を保証する必要がある。広帯域ネットワークの周波数分割の単位である 6 MHz を占有することおよび物理レイヤから上位レイヤまでを 1 枚のアダプタ・ボード上に搭載することを前提に、2 Mbps システムに適するよう先に開発した“ビート信号レベル検出方式”の簡素化を行った。簡素化の骨子は①衝突したパケット信号間でデータが食い違ったところにて必ず 2 倍の振幅レベルをもつビート信号が発生するよう変調指数 1 の FSK 変調を行う。②衝突した信号のレベルが互いに等しくなるよう上位レイヤ用プロセッサでの演算処理に基づくレベル制御を行うことにある。シミュレーションによる評価の結果、十分な衝突検出マージンを有していることが分かった。また衝突検出のために付加されるハードウェアもわずかで低廉化、コンパクト化に効果的であり、さらにレベル制御の導入から派生するシステム・ダウンへの耐性を上位レイヤと物理レイヤとの密結合によって高められることが明らかになった。

1. ま え が き

ローカル・エリア・ネットワーク (LAN) の一つに CATV を応用した広帯域 LAN がある。これは 1 本または 2 本の同軸ケーブルを用いて上りと下りの広帯域 (周波数多重) 伝送路をツリー状に形成し、ヘッドエンドにてこれらを結合することによって、音声、データおよびビデオ情報を包含した双方向通信を実現しようとするもので、私設のマルチメディア・ネットワークを低コストで実現できることから OA, FA 用の次世代 LAN, MAN (Metropolitan Area Network) さらには都市形の CATV として期待されている^{1)~4)}。

同ネットワークにおけるビデオ系サービスは、いわゆる CATV として既に広く実用に供されており、また占有帯域の有効利用をはかった ITV システムが筆者らによって既に報告^{3), 4)}されている。そして回線交換音声サービスについても筆者らによって、伝搬遅延時間計測を施した TDMA 方式が開発され報告されている^{3)~6)}。

一方、パケット交換系のデータ・サービスについては、IEEE 802 LAN & MAN 標準化委員会にて ANSI/IEEE Std 802.3 として既に標準化されてい

るベースバンドでの 10 Mbps CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) 方式^{7)~9)}との互換性を確保したもの¹⁰⁾並びに 1, 5, 10 Mbps Token-passing Bus 方式のもの¹¹⁾が既に標準化され、あるいは標準化されつつある。

特に、前者の 10 Mbps CSMA/CD 方式については、筆者らはより優れた特性を備えた方式として“ビート信号レベル検出方式”とその特性改良方式を提案した^{12)~15)}。これらの提案方式の骨子は、①上位レイヤより送られてくるマンチェスタ符号信号を NRZ 信号に変換してから基底帯域と周波数帯域にて帯域制限を施した MSK 変調 (Filtered-MSK: FMSK と略) を行う。②伝送路上に信号レベルの基準を設けこの基準との差を補正するレベル制御を施す。③ブリアンブル中にランダム・データを設け、衝突信号間でのビットの食い違いを早期にかつ確実に生じさせることにある。これによって、衝突後直ちに生じる食い違いビットのところにて、正常信号に対し 0 または 2 倍の振幅レベルをもつビート信号が発生する。この異常レベルを検出することによって、“100% 衝突検出”を保証するとともに、上記標準化されつつある“ビット照合方式”¹⁰⁾に比べ、占有帯域幅を 12 MHz と 33% 狭く、またネットワーク長も直径 5.6 km と 55% 長く (ベースバンド・システムの 2 倍) することができた。なお、こうした 10 Mbps CSMA/CD システムでは、上位レイヤの処理を行う DTE (Data Terminal Equipment) に対し、AUI (Attachment Unit Interface) と呼ばれるインタフェース・ケーブルを介して接続される

† 2-Mbps CSMA/CD for Personal Computer on Broadband Tree-shaped Network by HIROSHI KOBAYASHI, HIDEAKI HARUYAMA (Information & Communication Systems Laboratory, Toshiba Corporation) and TSUGUHIRO HIROSE (Research & Development Center, Toshiba Corporation).

†† (株) 東芝情報通信システム技術研究所開発第 1 部

††† (株) 東芝総合研究所電子機器研究所

MAU (Medium Attachment Unit) 内にて上述の衝突検出およびレベル制御等を含む物理レイヤの処理を行うことが前提となっている。

10 Mbps CSMA/CD システムは IEEE 802.3 における標準化活動の中心となっているものであるが、これとは別に、パソコン通信等への応用を目的に、より低廉化、コンパクト化を指向したものとして 1 ないし 2 Mbps の CSMA/CD システム実現への要望が高まっており、IEEE 802.3 でもその標準化が検出されている^{16),17)}。こうしたシステムでは、伝送速度を規定していないより上位レイヤにて (例えば、論理リンク制御とメディア・アクセス制御サブレイヤ間インタフェース) にて IEEE 802.3 との互換性を確保することとし、論理リンク制御サブレイヤ以上の上位レイヤから物理レイヤまでの処理機能を 1 枚のプリント板上に搭載することにより、パソコン本体に組み込み得るコンパクトで低廉なアダプタ・ボード化が指向されている。また広帯域伝送路上は、テレビ 1 チャンネル分の帯域 (6 MHz) を単位に周波数分割されていることから、2 Mbps の伝送速度に対し 6 MHz の占有帯域が許容される¹⁷⁾。こうした条件 (アダプタ・ボード化および 6 MHz 占有帯域) を前提に、筆者らはパソコン通信に適した 2 Mbps CSMA/CD の方式開発を行った。

その骨子は、前述の“ビート信号レベル検出方式”の簡素化にあり、特に①衝突した信号間でデータが食い違ったところにて必ず 2 倍の振幅レベルをもつよう変調指数 1 の FSK 変調を行う。②レベル制御のための演算処理を上位レイヤの処理を行うプロセッサに請負わすことにある。これによって、衝突検出にわずかな回路を付加するだけで“100% 衝突検出”を実現することができ、アダプタ・ボード化の見通しを得るとともにレベル制御の導入にともなって派生するシステム・ダウンへの耐性も向上させ得ることが分かった。

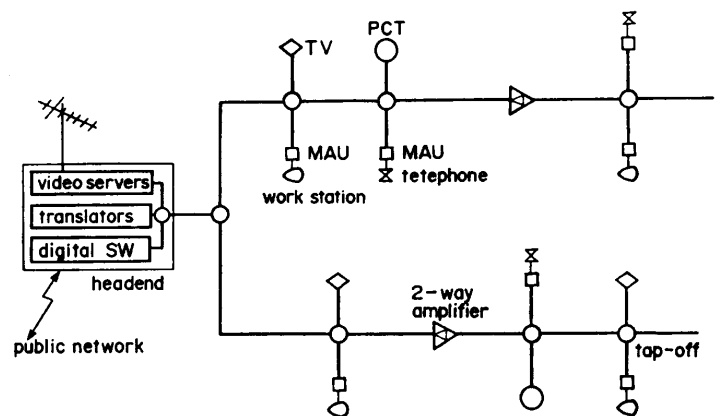
本論文は、まず IEEE 802.7 Broadband TAG¹⁸⁾にて検討中の広帯域ネットワークの概要について触れ、その中で伝送路は 6 MHz の帯域を単位に周波数分割されていることを述べる。次に、CSMA/CD がその基本思想としている

完全分散対等プロトコルを実現するためには、“fairness”と“lost packet”の問題を解決しなければならず、そのためには“100% 衝突検出”を保証することが必須であることを述べる。この“100% 衝突検出”を実現する方法について複数の方式を挙げて比較評価を行い、衝突検出機構のシンプルさから“ビート信号レベル検出方式”が有利ではあるが、パソコン用には低廉化、コンパクト化の点でなお改良の余地があることを述べる。ついでビート信号レベル検出方式の簡素化について提案し、同提案が適切な衝突検出マージンをもって実現し得ることをシミュレーション結果をもとに示す。最後に上位レイヤを含むアダプタ・ボード化の可能性とレベル制御系の誤動作によるシステムダウン対策について言及する。

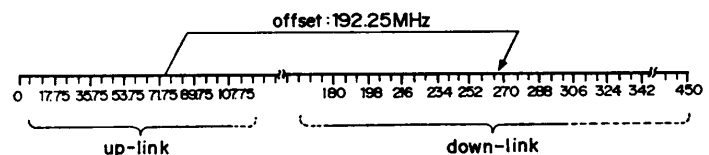
2. 広帯域ツリー形ネットワークと CSMA/CD

2.1 広帯域ツリー形ネットワークの概要

変調伝送路を利用した 1 重ケーブル方式による広帯域 LAN あるいは MAN の構成例を図 1 (a)に、さらに IEEE 802.7 が勧告しているミッドスプリット方式の周波数割当て案¹⁸⁾を同図 (b)に示す。同構成例では、1 本の同軸ケーブルを上り (5~107.75 MHz



(a) An example of single-cable system



(b) Frequency allocation of mid-split system

図 1 広帯域ツリー形ネットワークの構成例

Fig. 1 Configuration of a broadband tree-shaped network.

以上)と下り(172~300 MHz 以上)の周波数帯域に分けて、これらをヘッドエンドにて結合したツリー形の伝送路が形成されている。同伝送路には、信号の減衰を補償するための双方向幹線増幅器が数 100 m の間隔で、また伝送路をユーザ機器に分岐するためのタップオフが設けられている。

下り方向の伝送が主体なビデオ系サービスでは、ヘッドエンドに設置されたビデオ送信機より映像信号が送られ、テレビ受像機に届けられる。また前述の回線交換系 TDMA システムでは、ヘッドエンドに設置されたデジタル交換機は、MAU を介して伝送路に接続された電話機との間で双方向通信を行う。さらにパケット交換系 10 Mbps CSMA/CD システムでは、上り方向のパケット信号を下り方向の周波数帯域に変換するトランスレータ(変換周波数: 192.25 MHz)がヘッドエンドに設けられており、ワークステーション等の DTE は、AUI を介して MAU に接続され、トランスレータを介して $n:n$ の通信を行う。

本論文が対象としている 2 Mbps CSMA/CD システムでは、パソコン等のデータ端末(PCT)に内蔵されたアダプタ・ボードに同軸ケーブルが直接接続されており、10 Mbps システムと同様にトランスレータを介して双方向通信を行う。

同図(b)に示されているように、上り/下り伝送路の各帯域はテレビ1チャンネル分の帯域(6 MHz)を単位に分割されている。6 MHz の占有帯域幅があれば、4相 PSK, 8QAM 等の多値変調方式を用いることによって、4 Mbps 以上のより高速なシステムを実現または 6 MHz 内に複数の 2 Mbps システムを収容することが可能である。しかしながらパソコン通信を指向するシステムでは、むしろ伝送能率的には 6 MHz の帯域幅を余裕をもって使用することによって低廉化、コンパクト化を追及すべきとの考え方が強く¹⁷⁾、本論文でも同じ考え方を採ることとした。

2.2 完全分散対等プロトコルと CSMA/CD

IEEE 802 にて検討している CSMA/CD, Token-passing Bus 等にみられる LAN のアクセス方式に共通な思想は、完全分散対等プロトコルのもとで 1~20 Mbps の高ビットレートにて高いスループット特性を実現することにある。この完全分散対等プロトコルは“fairness”と“lost packet”の問題に帰着する。

“fairness”とは、LAN に接続されたすべてのデータ端末に公平に送信権が与えられることである。これが崩れる現象は、例えば衝突した信号のレベルが極端

に異なっている場合、高レベルの信号は衝突検出されずに、また衝突によってパケットが破壊されることなく正常に相手方に届くのに対し、低レベルの信号は衝突検出され再度送信を行うことによって送信権を獲得しにくくなるようなケースでおきる。

一方、“lost packet”とは、CSMA/CD 等のコンテンション方式のネットワークで、送信したパケットが衝突によって破壊された時、送信中にこれを検出できず送信側が正しく相手方に届いたものとみなしてしまうことである。この場合、相手方より誤りなく受信した旨を知らせる ACK が所定の時間内に返送されないことによって、送信側は異常発生を知り再度送信を試みることになるが、これによって送信側の実効伝送速度が低下する。さらに、通常のパケット通信と同様にネットワークのスループット特性を向上させる目的で複数パケットを単位に ACK もしくは NAK を返送するため、“lost packet”が頻繁に発生すると実効速度が極端に低下するとともにネットワーク上の負荷トラヒックも増え、スループットの劣化を招く。

以上の2点を満足するため、Token-passing Bus および Token Ring では、衝突が起きないように送信権を一定のルールに従って公平に割り当てるようにしている。

これに対して、CSMA/CD では、パケットの送信中に“100% 衝突検出”できることを保証することによって、上記2点を満足するようにしている。

低廉化、コンパクト化を指向するパソコン用のシステムであっても、本思想を貫くべきであることは付言するまでもない。

2.3 各種衝突検出方式の比較

周波数帯域伝送路上で“100% 衝突検出”を目指した衝突検出の基本方式としては、主に次の3方式が考えられている¹⁹⁾。第1の方式は、送信データと伝送路を介して戻ってきた受信データとをビットごとに比較照合する“ビット照合方式”である。第2の方式は、パケットの送信に先立ちランダムな時間間隔でパルスを2個送出し、伝送路を介して戻ってきたパルスが3個以上あれば衝突が起きたとみなす“ランダム・パルス監視方式”である。第3の方式は、衝突した二つの信号の重なりによって生じる異常な信号レベルを検出する“信号レベル検出方式”である。

第1の方式では、衝突した信号間にレベルの相違がある場合、レベルの低い信号は高い信号に打ち消されるため、衝突した信号間に1ビットでもデータの食違

いがあれば、低い信号レベルを送出した端末にてビット誤り（衝突）を必ず検出できるが、他の端末は必ずしも検出できない。このため、“100% 衝突検出”を保証するには、衝突検出した端末が別途何らかの方法で他の端末に衝突が起きたことを知らせる必要がある。衝突を知らせる具体的方法に次の2通りがある。一つはデータ通信とは別の帯域を用いて知らせる方法¹⁰⁾であり、他の一つはビット照合結果に基づきパケット信号内に無信号状態のスロットを挿入し、ヘッドエンドにてスロット内のエネルギーを調べてすべての端末に衝突の有無を知らせる方法¹⁷⁾である。前者の方法は、データ通信および衝突通知各々に送受信器を設ける必要があり、本質的に低廉化、コンパクト化は望めない。一方、後者の方法は、スロット内のエネルギーを検出したり衝突してない時スロットを除去してからパケットを再送信するなど、複雑な機能をヘッドエンドに設けなければならない、パソコン数台程度の小規模システムではオーバヘッドが多すぎるなどの問題がある。

第2の方式では、送信前にランダム・パルスを送出するためスループットの低下をきたし、前述の LAN の思想から望ましい方式とはいえない。

これに対し、第3の方式は、既に標準化されているベースバンド・システムと同様に伝送路上のキャリアそのものを用いて衝突検出するため、スループット特性の劣化が少なく、送受信器を2系統設ける必要がないあるいはヘッドエンドがシンプルであるなどコスト的にも有利になることが期待できる。その具体例が前述の 10 Mbps システムに適用した“ビート信号レベル検出方式”である。

しかしながら、10 Mbps システムでの方式を 2 Mbps システムにそのまま適用すると、①FMSK 変調のフィルタ系、②レベル検出機構、③レベル制御のための演算処理等に低廉化、コンパクト化を妨げる要因が内在し、所期の目的を十分に満たすことができない。より具体的には、①は 10 Mbps の伝送速度に対し占有帯域幅を 12 MHz に抑えるための FMSK 変調における基底帯域および周波数帯域双方のフィルタ特性が厳しく製造ばらつき等の許容範囲が少なく微妙な調整を必要とすること、②は衝突にともなって発生する 0 および 2 倍の異常レベルを検出する機構が 2 系統必要でハードウェアおよび調整工数の増加をきたすこと、③は物理レイヤ内にマイクロ・プロセッサを備えなければならないこと

である。このうち、①、②はアナログ系に関するもので、たとえ LSI 化を行い部品点数を減らしたとしても、製造時にアナログ固有の微妙な調整が残り低廉化の妨げとなる。

以上の問題が、前述した前提条件すなわち 6 MHz 占有帯域およびアダプタ・ボード化によって解決され、さらにシステム・ダウンに対する耐性が強化されることが次章に述べられる。

なお、10 Mbps システムで採用したプリアンプル中へのランダム・データの挿入は、デジタル系の機能であり LSI 化によってコスト増加を吸収できるが、本質的には“ビート信号レベル検出方式”を実現するために必要な機能ではない。サービス・エリアを拡大する上で有効な方法であり、先に報告¹⁵⁾したように 2 Mbps システムに適用した場合、最大ネットワーク長を直径 30 km まで広げることができる。

3. ビート信号レベル検出方式の簡素化

3.1 ビート信号の発生と衝突検出

図2はデータ端末 PCT-A、-B から送出される NRZ 信号(a)、(b)を FSK 変調したときに、衝突によって生じる搬送波のビート信号の様子(c)を示している。(a)、(b)は互いに1ビットだけデータが異なっており、また $t\phi$ なる時間差を持っている。FSK 変調の角周波数偏移を ωd 、1ビット時間を T として変調指数を Δ とすると、 $t\phi$ の大小にかかわらずデータが異なったところでの1ビット時間内の搬送波間の位相差変化量 θ は、衝突した搬送波の信号（振幅）レベルが互いに等しいとすると、次式で表される。

$$\theta = 2\omega d \cdot T = 2\pi\Delta$$

これより、 $\Delta = 0.5$ （これを MSK 変調と呼び 10 Mbps システムにて採用）したときは、 $\theta = \pi$ となり T の間に正常な信号レベルに対し 0 または 2 倍どちらかの振幅レベルをもつビート信号が発生する。 Δ を 0.5 より大きくすると、 T の間に 0 および 2 倍のレベルが同

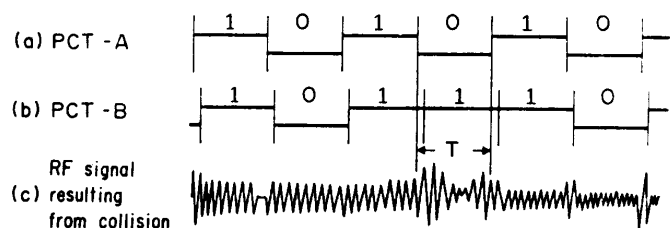


図2 ビート信号レベル検出方式の原理

Fig. 2 Principle of collision detection using a beat-signal level detection method.

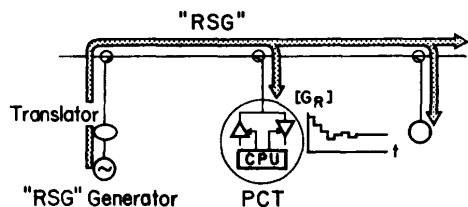
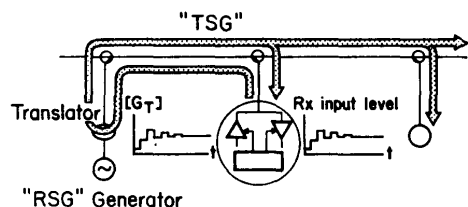
(a) Adjustment of $[G_R]$ for normalizing input level(b) Adjustment of $[G_T]$ so that "TSG"="RSG" in level

図 3 レベル制御の原理

Fig. 3 Principle of a level control technique.

時に発生する確率が高くなり、 $\Delta \geq 1$ では $\theta \geq 2\pi$ となるため、必ず 0 および 2 倍のレベルを T の間に生じることになる。この 0 または 2 倍 ($\Delta < 1$ では 0 および 2 倍) の振幅レベルを検出することによって衝突検出を行うことができる。

一方、図 3 はレベル制御の様子を示すもので次の 3 ステップからなる。

- (1) ヘッドエンド内に設けられたトランスレータに接続されている基準レベル信号発生器が、基準となるレベルの信号 (RSG) を送出する：図 3 (a)
- (2) 各端末では、衝突検出器への入力レベルが所定の値となるよう受信アンプの利得 $[G_R]$ を調整する：図 3 (a)
- (3) 各端末は適当なタイミングでテスト信号 (TSG) を送出し、トランスレータを経て戻ってきた信号レベルが RSG の受信レベルと等しくなるよう送信アンプの利得 $[G_T]$ を調整する：図 3 (b)

これによって伝送路上の任意の切口でみたとき、そこを通過するすべての信号レベルが互いに等しくなっていることが保証され、上述した 0 または 2 倍の振幅をもつビート信号が発生することになる。

なお、RSG、TSG の送信にともなう付加トラヒックは 1% 以下のわずかな量である¹⁴⁾。また、レベル制御の実行に当たっては、基準レベル信号発生器の故

障、パケット信号とテスト信号あるいはテスト信号同士の衝突によって、パケット通信に支障をきたしたりあるいは誤ったレベル制御を行わないよう種々の障害処理を各端末に施す必要がありマイクロ・プロセッサによる演算処理が必要である (詳細は文献 14 参照)。

3.2 簡素化の具体例

3.2.1 衝突検出機構

$\Delta \geq 1$ ならば、衝突検出機構は 2 倍の振幅レベルだけを対象 (0 レベルを対象とする場合は、0 レベルが衝突によって発生したのか、パケット信号の送出が終わって発生したのかを判別する必要があり、構成が複雑になる) とする 1 系統で済み、低廉化、コンパクト化に効果的である。

ところで周知のように変調指数が大きいほど、占有帯域幅も広がる。データが食い違ったところにて、必ず 2 倍のレベルをもつ最小の変調指数 1 について、前述した 6 MHz の占有帯域幅のもとで適切な衝突検出マージンを有しているかを以下に考察する。

図 4 (a) は $\Delta = 1$ の FSK 変調信号のスペクトラム密度を、(b) は IEEE 802.7 にて規定¹⁵⁾している帯域外不要スペクトル (斜線) を満足するよう、同図上部に示されている特性を備えた帯域通過フィルタを通したときのスペクトラム密度を示している。

図 5 は、同変調信号について歪みをもつ伝送路 (チルト ± 1 dB/6 MHz¹⁶⁾)、ヘッドエンドおよび端末の受信系での帯域通過フィルタ (特性は図 4 と同じ) を通った後の包絡線リップル (リップルは 0 レベルを中心に上下両側に変動するが、図は片側のみプロット) を等価低域変換法を用いたシミュレーションによって求

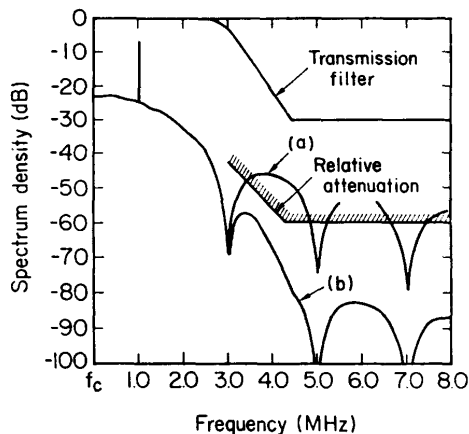


図 4 FSK 変調信号のスペクトラム密度と送信フィルタ
Fig. 4 Spectrums of a FSK wave and frequency response of a transmission filter.

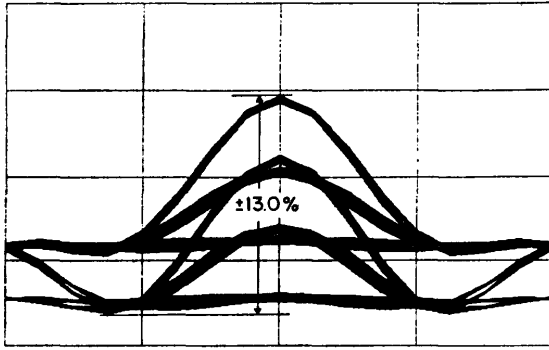


図 5 FSK 変調信号の包絡線リップル
Fig. 5 Ripple of a FSK wave received.

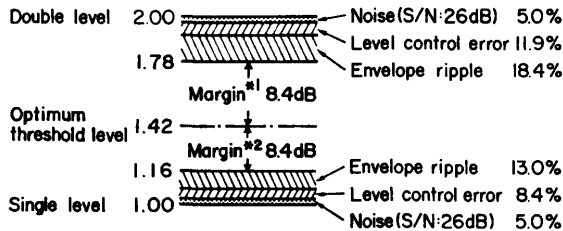


図 6 ビート信号レベル検出方式の衝突検出マージン
Fig. 6 Margin of collision detection based on the beat-signal level detection method.

- 1 Margin for the possibility that a collision is missed, although it exists.
- 2 Margin for the possibility that a collision is evidenced, although no collision exists.

めたものである。同図によれば、その最大値は $\pm 13.0\%$ となっており、以下に述べるように“ビート信号レベル検出方式”の検出マージンを損ねる最大の要因となる。

検出マージンを損ねる要因としては、このほかにレベル制御精度（先に報告¹⁴⁾したように最悪ケースにて ± 0.7 dB）および伝送路の雑音（最悪値 26 dB¹⁰⁾）がある。

以上の劣化要因を総合した 2 Mbps システムにおけるビート信号レベル検出方式の衝突検出マージンを図 6（図中、右側の % 値は 1 レベルに対する劣化値を表す）に示す。なお、衝突の際、雑音を除く劣化要因は各々独立に発生することから、2 レベルについては各々の要因ごとに rms 加算し、さらに要因全体としても rms 加算してある。またマージンは、理想レベルと閾値間の距離と最大劣化幅との比として求めている。

これより、衝突が発生している時に正しく衝突検出する Margin*1 あるいは衝突していない時に誤って衝突検出しない Margin*2 は、共に 8.4 dB である。

この値は 10 Mbps システムでの値 (6.6 dB: 文献 15) より大きく、十分なマージンを有しているものといえる。

以上の考察により、2 Mbps システムでは 6 MHz の占有帯域幅を有効に活用すれば、2 倍の振幅レベルだけを対象とする検出機構を備えても“100% 衝突検出”を実現でき、かつ製造工程での変復調器を含むアナログ系の微妙な調整工数を減らすことができる。

なお、以上の議論では伝送速度を 2 Mbps に限定しているが、伝送能率 (1 bps/3 Hz) 一定のもとで伝送速度を $1/n$ 倍あるいは n 倍としたとき、 n が 2 ないし 3 の範囲では占有帯域も $1/n$ 倍あるいは n 倍となり、上述の議論がほぼ成り立つ。しかしながら、伝送速度をさらに下げると、比帯域幅等の点で通過帯域フィルタの製造が難しくなり、伝送能率は劣化する。また、伝送速度の低下は、画像情報等のアクセスに支障をきたし、アプリケーションに制限をもたらす。逆に、伝送速度を上げると、一般に受信パケット信号からクロック信号を再生する回路は伝送速度の 10 倍くらいの高速クロックを用いるため MOS LSI 化が難しくなるなど、低廉化を妨げることになる。これらの考察から、前述したようにパソコン用には 1~2 Mbps の伝送速度が選択されている。

3.2.2 アダプタ・ボード化

1 枚のプリント板上に物理レイヤから上位レイヤまでを搭載することによって、さらに低廉化、コンパクト化がはかれる。特にレベル制御のための演算処理を上位レイヤの処理を担当するプロセッサに分担させることによって、顕著な効果が期待できる。すなわち筆者らの試作結果によれば、レベル制御演算は 8 ビット程度のマイクロ・プロセッサにて 500 ステップ程度のプログラムで処理でき、高速処理も要求されないことから、上位レイヤで用いられる 16 もしくは 32 ビットの汎用プロセッサにこれを分担させても、そのオーバーヘッドは無視できる。10 Mbps システムでは物理レイヤに具備させなければならなかったプロセッサが省略できることになり、その効果は大きい。

以上述べた簡素化のための具体例をすべて適用した場合、通常の packets 伝送に付加される衝突検出のためだけに必要な主なハードウェアは、アナログ・コンパレータ、D/A 変換器各々 2 個程度のわずかである。その結果、筆者らの試算では、標準のプリント板 (330 mm×100 mm くらい) 上に論理リンク制御サブレイヤ以上の上位レイヤから物理レイヤまでの全機能を搭

載できる見通しを得ている。

なお、前述したようにレベル制御機能の付加にともなう、例えば基準レベル信号発生器に異常をきたしシステム全体が制御不能状態に陥るなど、システム・ダウンを招く恐れがある。これに対しては、各端末にレベル制御が正常に動作しているかを判断する機能（例えば一定周期ごとに RSG が送られているかを監視する）を付加し、異常を検出した時はレベル制御を中断するとともに衝突検出機能も停止させ、CSMA/CD 方式から CSMA 方式（当然 “fairness”, “lost packet” の問題が派生しスループット特性が劣化する）に移行してパケット通信機能を確保することができる。このように上位レイヤ（上記例ではメディア・アクセス制御サブレイヤの関与が必要）から物理レイヤまでを密結合すなわちアダプタ・ボード化することによって、システム・ダウンに対する耐性を高めることも可能となる。

4. む す び

パソコン通信等への応用を目的に、低廉化、コンパクト化を指向した広帯域ツリー形ネットワークにおける 2 Mbps CSMA/CD システムについて述べた。同ネットワークの周波数分割単位となっている 6 MHz の占有帯域幅にて、変調指数 1 の FSK 変調を用いたビート信号レベル検出方式を採用し、かつ同方式に必須なレベル制御を上位レイヤ処理用のプロセッサに代行させることによって、十分目的を達成できる見通しを得た。

2 Mbps CSMA/CD システムは、サービス・エリアを直径 30 km まで拡大できる。都市形 CATV 網に本システムを適用すれば、パソコンによるコミュニティ・ネットワークの実現も不可能ではなく、これまで LAN の用途に限定されていた CSMA/CD システムも MAN にもその用途を広げられることが示唆されよう。

参 考 文 献

- 1) Klessing, R.: Overview of Metropolitan Area Networks, *IEEE Commun. Magazine*, Vol. 24, No. 1, pp. 9-15 (1986).
- 2) Maxemchuk, M. and Netravari, A.: Voice and Data on a CATV Network, *IEEE JSAC*, Vol. SAC-3, No. 2 (1985).
- 3) Kobayashi, H. and Haruyama, H.: Data, Video and Voice Integrated Broadband LAN, *Proc., 1st PCCS*, pp. 369-373 (1985).
- 4) 小林 浩, 春山秀朗: データ・ビデオ・音声統合ブロードバンド LAN, *信学技報*, SE 85-104 (1985).
- 5) 小林 浩, 春山秀朗, 広瀬次宏: ツリー形マルチメディアネットワークにおける伝搬遅延時間計測を施した TDMA 即時系サービス, *信学交換・情報ネット合同ワークショップ*, pp. 139-144 (1986).
- 6) 小林 浩, 春山秀朗, 広瀬次宏: ツリー形マルチメディアネットワークにおける伝搬遅延時間計測を施した TDMA 即時系サービス, *信学論 (B)*, Vol. J 69-B, No. 10, pp. 1083-1091 (1986).
- 7) Metcalfe, R. and Boggs, D.: Ethernet: Distributed Packet Switching for Local Computer Network, *CACM*, Vol. 19, No. 7, pp. 395-404 (1976).
- 8) Digital Equipment Corporation, Intel Corporation and Xerox Corporation: The Ethernet a Local Area Network Data Link Layer and Physical Layer Specifications, Version 1.0 (1980).
- 9) ANSI/IEEE Standards 802.3 CSMA/CD Access Method and Physical Layer Specifications, IEEE Project 802 Local Area Network Standards (1984).
- 10) Draft IEEE Standards 802.3 Broadband Medium Attachment Unit and Medium Specifications, IEEE Projects 802 Local Area Network Standards, Revision F (1985).
- 11) ANSI/IEEE Standards 802.4 Token-passing Bus Access Method and Physical Layer Specifications, IEEE Project 802 Local Area Network Standards (1984).
- 12) Kobayashi, H., Hirose, T. and Haruyama, H.: Broadband Network CSMA/CD Using a Beat-signal Level Detection Method”, *IEEE GLOBECOM '84*, pp. 1058-1062 (1984).
- 13) Kobayashi, H., Haruyama, H. and Hirose, T.: Improvements in AUI-Compatible 10-Mbps CSMA/CD MAU for Broadband Network, *IEEE ICC '85*, pp. 666-671 (1985).
- 14) 小林 浩, 春山秀朗, 広瀬次宏: 衝突検出に振幅情報を用いた広帯域 LAN CSMA/CD, *信学論 (B)*, Vol. J 69-B, No. 12, pp. 1607-1615 (1986).
- 15) 小林 浩, 春山秀朗, 広瀬次宏: 衝突検出に振幅情報を用いた広帯域 LAN CSMA/CD システムの特性改良, *信学論 (B)*, Vol. J 69-B, No. 12, pp. 1616-1624 (1986).
- 16) Physical Signaling, Medium Attachment, and Baseband Medium Specifications, Type 1BASE 5 “StarLAN”, IEEE 802.3, Draft G (1986).
- 17) Optimized Broadband CSMA/CD Tutorial on Proposed Standards, IEEE 802.3 Broadband CSMA/CD Task Force (1985).
- 18) Broadband Local Area Systems Recommend-

ed Practices, IEEE 802.7 Working Documents, Draft E (1986).

- 19) Draft IEEE Standards 802.3 CSMA/CD Access Method and Physical Layer Specifications, IEEE Project 802 Local Area Network Standards, Revision B (1982).

(昭和 61 年 8 月 21 日受付)

(昭和 62 年 1 月 14 日採録)



小林 浩 (正会員)

昭和 22 年生。昭和 45 年東京工業大学工学部電気工学科卒業。同年東京芝浦電気(株)入社。昭和 48 年から同 52 年までの間、宇宙開発事業団へ出向。現在(株)東芝、情報通信システム技術研究所所属。この間、人工衛星搭載用電子機器、人工衛星軌道解析プログラム、ロケット慣性誘導システム、電子交換機、LAN, OA フロアに関する研究開発に従事。電子情報通信学会, IEEE 各会員。



春山 秀朗

昭和 32 年生。昭和 55 年東京工業大学理学部数学科卒業。昭和 57 年同大学院総合理工学研究科システム科学専攻修士課程修了。同年東京芝浦電気(株)入社。現在、情報通信システム技術研究所所属。広帯域マルチメディアネットワークの研究に従事。電子情報通信学会会員。



広瀬 次宏

昭和 31 年生。昭和 55 年早稲田大学理工学部電子通信学科卒業。昭和 57 年同大学院理工学研究科修士課程修了。同年(株)東芝入社。以来同社総合研究所にてローカル・エリア・ネットワーク、衛星通信システムの研究開発に従事。電子情報通信学会会員。