

解説

3. 光情報処理システム

3.6 コンピュータと光バス†

菅原 昌平††



1. ま え が き

バス型のローカルエリアネットワーク (LAN) は主にワークステーション、パソコン、各種サーバ類やミニコンなどの接続に用いられ、近年特に OA の分野で広く普及しつつある。光ファイバを用いたバス型の LAN は、接続可能なノード数が少ないこと、光の送受信回路、分岐・結合器が高価なことから、商用となっているものは少ないが、超高速 (30~100 M ビット/秒) の LAN になると光ファイバを用いたリング型 LAN が多く使われており、このような光リングに接続するサブ・ネットワークとして用いられ始めている。光バス型 LAN は従来のバス型 LAN の技術をそのまま適用するには後述するように問題点が多く、また光伝送の特色を活かす意味からも、従来の同軸ケーブルや対より線のバス型 LAN とは異なる構成を用いることが多い。

本稿ではバス型 LAN の概要を紹介し、光ファイバを用いたバス型 LAN の特徴、問題点を解説し、さらにコンピュータ内部バスへのバス型 LAN の応用について述べ、コンピュータ内部光バスについて解説する。

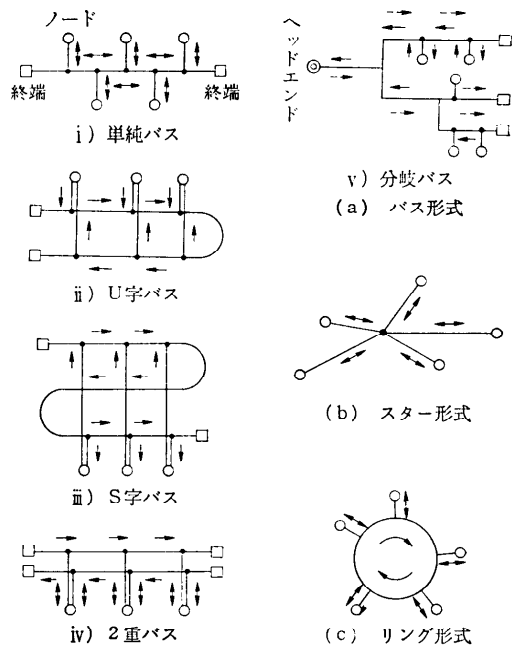
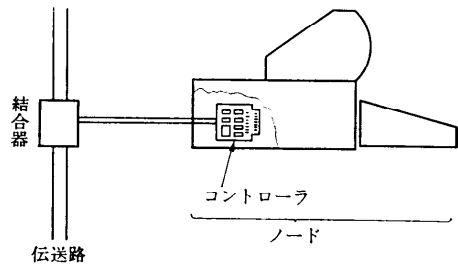
2. 光バスの形態

2.1 LAN のトポロジ

LAN は1つの建物や構内などの比較的せまい地域に分散した装置を数 km 程度の共有の伝送路で接続するネットワークである。各装置 (以降ノードと呼ぶ) は伝送路へのアクセスを制御する機能 (コントローラ) と、伝送路からの信号を分岐・受信して自ノードのコントローラへ伝え、自ノードの送信信号を伝送路上へ送信する結合器 (アクセサ, トランシーバ) からなる

(図-1)。トランシーバをコントローラ内に設け、トランシーバケーブルを省く場合もある。伝送路の形態を LAN のトポロジという。

LAN で用いられるトポロジは、①バス形式、②スター形式、③リング形式の3つが基本である。バス形



†, † An Overview of Optical LAN Based on Bus Topology by Shohei SUGAWARA (NTT Yokosuka ECL, Nippon Telegraph and Telephone Corp.).

†† 日本電信電話(株)横須賀電気通信研究所

表-1 LAN トポロジの性質

トポロジ	バス		分岐バス	スター	リング
	単純バス 二重バス	U字バス S字バス			
伝送順	送出ノードに近い順	ネットワークの端から順	ヘッドエンドに近い順	伝送路長の短い順	送出ノードに近い順
伝送方向	両方向	単方向	単方向	単方向	単方向
伝送のしかた	直列	直列	直/並列	並列	直列
端点	有	有	有	有	無
信号をとり除く必要	無	無	無	無	有

式①はさらにU字バス（およびS字バス）、2重バス、分岐バスなどの変形も含む（図-2）。特に使用する伝送技術により、伝送方向が単方向の場合には、すべてのノードに信号を送るため、U字バス、2重バス、分岐バスが用いられる。これらの各形態を、

- i) 伝送路上に送出した信号の伝播順、
- ii) 終端の有/無、

などの点から特徴づけると、表-1 のようになる。

2.2 光バス

一般にバス型の LAN とは図-1 のバス形式①の形態のネットワークを指すが、伝送路に光ファイバあるいは光の空間伝播を用いた LAN では、後述の分岐技術の問題から、スター形式②の形態の LAN を光バス形 LAN に含めることが多い。これは、スター形式をバス形式の共有伝送路が一点に縮退したものと考えれば良い。表-1 で示したようにバス形式とスター形式はノードからの送信信号が全ノードで各々1回だけ受信されるという点でも同じである。以降バス形式と言う場合はバス、スターの両形式を示し、本来のバス形式は線型バス、スター形式はスター型バスと呼ぶことにする。

3. バス型 LAN のアクセス方式

3.1 LAN のアクセス方式

LAN のアクセス制御は、集中型で行う場合と分散型で行う場合とがある。集中型で行う場合は、特定の制御ノードが全ノードのアクセス権を管理する。アクセス方式としては、タイム・スロット方式、ポーリング方式などが使われる。集中型ではネットワークを効率的に使用できるが、制御ノードの信頼性が重要となる、ノードのネットワークへの参加・脱退の手順が複雑となるなどの問題点がある。LAN は、比較的高速

（数 M ビット/秒～数 10 M ビット/秒）かつ信頼性の高い共有伝送路を、伝送路の使用率はあまり問題とせず（Ethernet の実測例では平均使用率は数%である）¹⁾、各ノードが平等かつ簡単な手順で利用するネットワークであり、分散型のアクセス方式が基本となっている。以降分散型のアクセス方式について解説を行う。

分散型のアクセス方式は IEEE 802 委員会では標準化作業が進められているトークン・パッシング系と CSMA/CD 系²⁾に分けられる。トークン・パッシング系は、トークンと呼ぶネットワーク使用権を示す特定の packets または信号を、ネットワーク上の各ノードの間で巡回させ、送信要求の発生したノードは自分宛のトークンを受信するとトークンをネットワーク上から取り除くか無効にし、その後自分の送信を行い、送信終了後次のノードに新しいトークンを送る。CSMA/CD 系では各ノードは送信要求が発生すると、ネットワークが無信号状態なら送信を開始する。ノード間を信号が伝播する遅延時間があるため、複数のノードがほぼ同時に送信を開始してしまい、ネットワーク上で送信パケットの衝突・破壊が発生する場合がある。このため、各ノードは送信開始後一定の時間ネットワーク上の信号を監視し、衝突発生を検出する。衝突を検出すると送信を中止し適当な時間待って再送信を行う。両方式とも、各ノードは常にネットワーク上の信号を監視し、自ノード宛のパケットがあれば受信する。CSMA/CD 系のアクセス方式では高負荷時に送信の衝突・再衝突が増加し、無効となる送信が増えて送信の遅延時間が不安定となったり、ネットワークの利用効率が低下する。衝突・再衝突の発生を減らすため、送信に優先度をつける、再送待ち時間を工夫するなどのさまざまな手段が検討されている³⁾⁻⁵⁾。

3.2 バス型 LAN の特徴

バス型 LAN のアクセス方式を考える上で注意しなければならない点について解説する。光バス型 LAN は図-1 に示したような形態が用いられる。

① 単純バスおよび二重バス、U字バス、S字バス
これらの形態のバスでは、ネットワーク上の各ノードの物理的な位置順に従いネットワーク上を信号が伝播する。これを利用して（インプリシット）トークン・パッシングを実現することができる^{6),7)}。

ネットワーク全長を L とすると任意のノードが送信を開始してから、ネットワーク上のすべてのノード

* Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection.

が送信パケットの受信を開始するまでに要する時間 $T \leq (L/v = D)$ (v : 信号の伝播速度) である。CSMA/CD 系のアクセス方式で衝突検出を行う場合、送信開始後、送信パケットが到着する直前に送信を開始した他ノードからの衝突パケットを受信するまでに要する時間は (送信パケットが他ノードへ到着するまでに要する時間) + (他ノードからの衝突パケットが自ノードへ到着するまでに要する時間) $\leq 2D$ である。

②スター・バス

スター型のバスではネットワーク上に送出したパケットは各ノードに向かって並列に進み、スター・カプラとの間の伝送路長が短いノードから先に到着する。この場合、スター・カプラからの距離が最も大きなノードの伝送路長を l とすると、任意のノードが送信を開始してからネットワーク上のすべてのノードが受信を開始するまでに要する時間 T は $T \leq (2l/v = D)$ である。CSMA/CD 系のアクセス方式で衝突検出を行う場合、送信開始後①と同様に $2D$ 時間の間伝送路上の信号を監視する必要がある。

通常、CSMA/CD 系の LAN では衝突の検出を送信中に行うため、使用パケット長に最小パケット長 $> 2D \cdot M$ (M : 通信速度 (bits/秒)) ビットの制限がつくことが多い。バス型 LAN の CSMA/CD 系アクセス方式の代表としては Ethernet 仕様⁹⁾ 及び IEEE 802.3 委員会仕様⁹⁾ がある。

4. 光 LAN の多重化

4.1 光 LAN の伝送方式

LAN で用いる伝送方式には①ベースバンド伝送、②ブロードバンド伝送の2つがある。ブロードバンド伝送はさらに位相変調と振幅変調とに大別できる。光 LAN の場合、発光素子として用いる LD, LED は十分コヒーレントな光源とはならず、出力も不安定であり位相や周波数による変調には向いていない。さらに光ファイバ伝送路のモード分散や干渉・反射などにより、伝送路の形や接続ノードの変更に対し柔軟性の要求される LAN では伝送特性の保障がむずかしい。現在のところ実際の光 LAN で用いられる変調方式は強度変調 (振幅変調) のみである。LD, LED の応答特性から、変調帯域は LED 使用で数 10 M ビット/秒、それ以上数 100 M ビット/秒までは LD を用いることが多い。

4.2 光 LAN の多重化技術

通常の LAN ではブロードバンド伝送による周波

数分割多重 (FDM) が多重化技術として用いられている。IEEE の 802 委員会でも CSMA/CD, トークン・パッシングの各々についてブロードバンド化の検討が行われている。

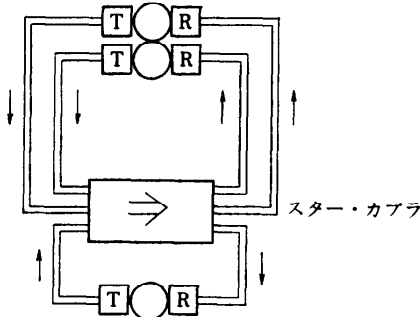
バス形の LAN で多く用いられる CSMA/CD 系のアクセス方式は、ネットワークに加わる負荷 (ビット/秒) が伝送ビットレート (ビット/秒) の 60% を超えると、急速にネットワークの遅延特性が劣化する。同軸ケーブルを用いた LAN では FDM により伝送路を複数に分割して用いることで負荷の分散化をはかることができる。光 LAN で用いる周波数は、数 100 THz であるが、前節で述べた問題点があり、同軸の場合に行われているような周波数帯域の効率的利用は技術的に不可能となっている。現在行われている方式は、発光帯域の異なる LED や LD を用い、受信側は干渉膜や回折格子を利用した光分波器により各波長の分波を行う波長多重 (WDM) 方式である。チャンネル数は 4 チャンネル程度が使われている。また、電気信号のレベルで多重化したものを光信号として伝送し、受信側でも電気信号に変換してから分離する方式もある。

5. 光アクセサ

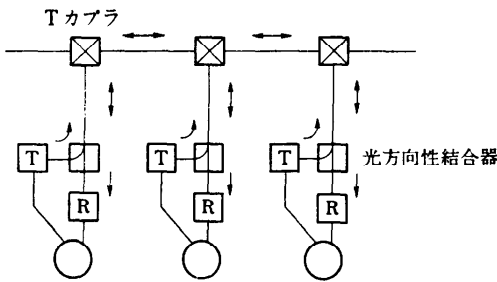
光アクセサは光ファイバ伝送路から各ノードへ光信号を分配し、各ノードからの光信号を伝送路へ供給する光分岐・結合装置である。同軸ケーブルによるバス型 LAN は、各ノードを受動的に接続できるため、ノードの追加・削除やノードごとの個別の電源オン/オフが自由に行えることを一つの特徴としていた。光バス型 LAN のアクセサは、図-3 に示すスター・カプラ、Tカプラ、光方向性結合器などを用いた受動型アクセサ及び O/E-E/O 変換により電気信号で分岐・結合を行う能動型アクセサとがある。

5.1 受動型アクセサ

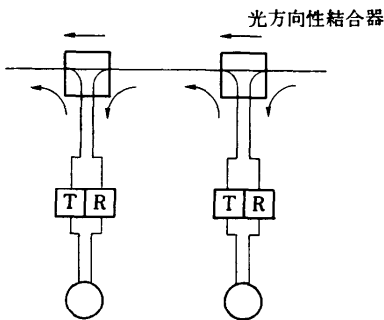
光受動型アクセサとネットワーク・トポロジの関係を表-2 に示す。受動型アクセサを用いる場合、光受信器に十分な光入力を与えるためにはあまり分岐数を多くとれないことが問題となる。実用に耐える分岐数はスター・カプラで 100 程度、1/2 分岐の方向性結合器を使った単純バスで 6~8 程度である。単純バスや U 字バスなどでは結合器が直列につながるため、過剰損失の影響も大きい。特に受信光量が相手ノードとの間のノード数により影響をうけるため、受信回路に広いダイナミックレンジが要求される。



(a) スター・カプラ使用
T: 光送信器, R: 光受信器



(b) Tカプラ使用



(c) 光方向性結合器使用
図-3 受動型アクセサ

5.2 能動型アクセサ

能動型アクセサを用いた線型バスは、ノードが不活性となったときにもバスを切断しないように、①アクセサ部はノードと独立して常に活性にしておく、②バイパス回路を設け、ノードを不活性としたときは光信号がそのまま通過するようにしておく、などの対策が必要である。

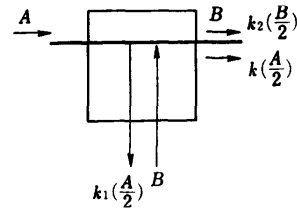
能動型アクセサを用いると各ノードの受信光量の変化をなくすことができるが、上記②のバイパス回路を用いた場合には、送信ノードと間のバイパスノード

表-2 受動型光バスと使用アクセサ

バス・トポロジ	単純バス	U字バス	スター・バス
使用するアクセサ	方向性結合器, Tカプラ	方向性結合器	スター・カプラ
非衝突時の最大受光量注1) (ノードの光量を1)	$\frac{k_1 k_2}{4}$ 注2)	$\frac{k_1 k_2}{4}$	$\frac{k}{N}$ (N: ノード数)
非衝突時の最小受光量注1)	$\frac{k_1 k_2}{4} \left(\frac{k}{2}\right)^{N-1}$	$\frac{k_1 k_2}{4} \left(\frac{k}{2}\right)^{N-1}$	$\frac{k}{N}$

注1) 伝送路長による損失は無視している。

注2) カプラの損失は次のように仮定する ($k, k_1, k_2 < 1$)。



数により受信光量が変化する。また、ネットワークを使用中にノードの活性/不活性の変化があると、バイパス回路の動作による通信エラーが発生するという欠点もある。

6. 光バスの実現例

6.1 受動型スター型バス

受動型スター・カプラを用いた CSMA/CD 方式の光 LAN は広く使われており、各社で製品化されている。通常 8~32 ポートのスター・カプラを用いている。100 ポートのスター・カプラを用いたネットワークも試作されている¹⁰⁾。製品として商品化されているものは、トランシーバとコントローラのインタフェースを IEEE 802.3 の標準仕様または Ethernet と同じとすることで、同軸ケーブルを用いたバス型 LAN 用の製品との互換性を保っているものが多い。

6.2 能動型スター型バス¹¹⁾

能動型のスター・カプラを用いたバスで、各ノードとスター・カプラの接続は光ファイバ・ケーブルを使用している。スター・カプラ内の混合器として同軸ケーブル・バスを用いている。各ノードからの光信号は図-4 に示すドライバにより電気信号として受信バス上に送出され、制御モジュール経由で送信バスへ送られ、光送信器から分配器を経て各ノードへ送られる。衝突発生時は受信バス上の信号レベルが少なくとも 2 倍となるため、制御モジュールでこれを検出し、

送信バスに1MHzの矩形波を送る。トランシーバは送信中に1MHzの矩形波を受信することで衝突を検出する。トランシーバとコントローラのインタフェースはEthernet仕様である。

6.3 空間伝播型スター型バス¹²⁾

能動型スター型バスで各ノードとスター・カプラの接続に無指向性の空間伝播光を用いる。図-5に示すように複数のトランスポンダを用いるため、受信を行ったトランスポンダの制御部はバス・アービタに送信バスの使用を要求し、バス・アービタは1つのトランスポンダに送信バスを使用させる。全トランスポンダは送信バス上の信号を光信号に変換して放射する。送信リンクと受信リンクの周波数を分離することで、送受信データの干渉は避けているが、拡散光を用いるので、直接/間接光の干渉や複数トランスポンダの送信光の干渉が発生する。実験システムでは変調周波数の十分低いPSK方式を用いて、径路差(最大数10m)による干渉を避けている。

7. 計算機内部バスへの応用

7.1 LANの内部バス

計算機の内部バスは一種の交換機能と見なすことができる。LAN制御技術は分散型の交換技術であり、これを筐体内のバスに適用することが考えられる。通常の計算機の内部バスは並列転送により数10~数100Mビット/秒の伝送を可能としている。一本の共有伝送路を用いたLANでこのような高速データ転送を行うとLAN制御部が筐体内で用いるには高価なものとなりすぎる。筐体内LANはトラヒックの多いメモリーメモリ間やメモリーCPU間のデータ転送には不向きであり、プロセッサ・ユニットやディスク制御ユニット、プリンタ制御ユニットなどの独立性の高いモジュール間の比較的低速のメッセージ転送や制御情報の交換に用いる。筐体内LANは通常のLANと比較すると

表-3 筐体内LANと通常のLAN

	筐体内LAN	通常のLAN
ネットワーク全長	数m	~数km
接続ノード数	~100	~数千
アクセス方式	簡易LANプロトコル	LANプロトコル
ノードの変更	少ない	多い

表-3のような特徴を持つ。ネットワーク長が短いことは、CSMA/CD系のアクセス制御方式を用いる場合、最小パケット長を短くできる、衝突発生確率を小さくできるなどの利点をもたらす。また、ノードの追加・削除や接続順の変更、ノード個別の活性/非活性化などの発生が通常のLANに比べ少ない、全ノードが数mの距離内にあるなどの理由から、変更を加える場合全ノードを停止させることが可能であり、アクティブ接続でもバイパス回路を省略できる。各モジュール

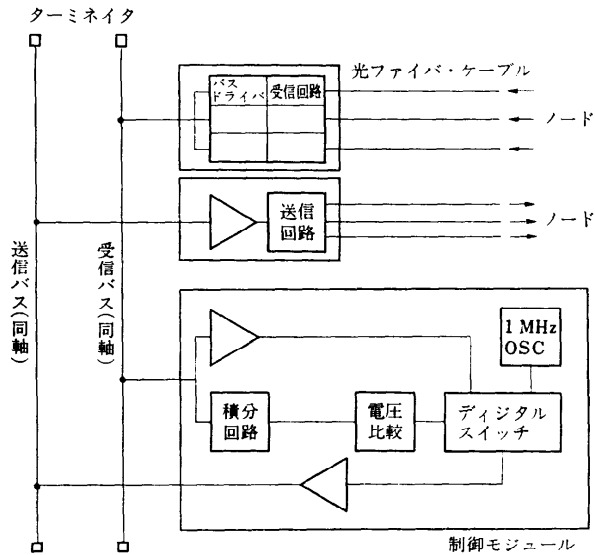


図-4 能動型スター・カプラ

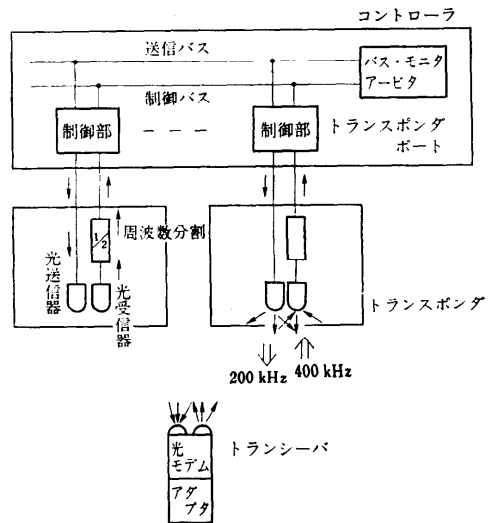


図-5 空間伝播型スター型バス

ルの接続に用いる場合、ノード数が少ないため、使用パケットのアドレス部を Ethernet などの標準プロトコルに比べ小さくできる、などの特徴がある。

7.2 LAN を用いた内部バスの例

実際に内部バスに LAN を用いた例としては、交換機の内部に時分割多重型のバスを使ったもの¹³⁾や、マルチ・プロセッサ形式のパソコンで各プロセッサ・モジュールの接続に CSMA/CD バスを用いたもの¹⁴⁾がある。6.2で解説したアクティブ・スター・カプラも、内部バスに CSMA/CD バスを用いた一種の交換機と見なすことができる。しかし、CSMA/CD は高負荷時に遅延特性が不安定となるため、音声やリアルタイム通信を扱うには向かない。7.1で述べたように、筐体内バスはノード位置がほぼ固定されており、ノードの位置関係を利用した衝突回避形の CSMA/CD を交換機に応用することも興味のある問題である。

7.3 光バスへの応用

7.1 及び 7.2 では同軸ケーブル LAN の計算機内部バスへの応用について述べた。これらを単純に光 LAN に置換えることもできるが、筐体内では光の空間伝播を利用することも考えられる。光を用いる利点として、

- ① 相互作用（誘導、干渉）がない、
 - ② 屈折率が同じならば伝播速度は一定、
 - ③ 光学的効果による配線の変更（ホログラムなどの利用）ができる、
- などがあげられる。①の利点から光路を近接配置・交差させることが可能であり、格子状、網状のトポロジなど、LAN とは異なる構成を利用できる。また、高密度の配線が可能であり、素子間の接続にも使うことが考えられる。

このため、光伝送技術を計算機内部バスに用いるには、バス型 LAN の延長として考えるよりは、光の特性を十分生かした独自の方式を検討すべきであろう。光を用いた計算機内部バスはこれから研究が進められる分野である。しかし素子の集積化・高速化が急速に進むに従い、モジュール間や素子間の信号伝達に要する時間や波形の歪みによる信号周波数の制限が全体のスループットに対するボトル・ネックとなりつつあり、この解決の一つの方向として光配線の利用が挙げられる。光配線の利用については Goodman らの詳細な解説¹⁵⁾があり、伊藤らにより紹介¹⁶⁾されている。接続ノードが素子レベルになると、バスのアクセス制御に LAN のような方式を用いるのはオーバーヘッドが大き

い。基本的には光配線を用いた伝送路を多数用い、光配線を切り替えることでノード間の接続を行う。配線の切り替えはノード上で行う場合と、光導波路を切り替える、空間伝播を用いている場合には、ホログラムを用いる、液晶などのシャッタを用いる、反射鏡を用いるなどの方法がある。それぞれ応答速度、変更の頻度、ノードの大きさなどにより使い分けて用いることになる。発光素子・受光素子（およびフィルタ）の組み合わせで WDM が実現できるため、素子レベルでも WDM は利用できる。応用例として拡散型の光源を用いた空間伝播と光ファイバ伝送路を組み合わせたクロック供給によるクロックスキューの解消案が挙げられている¹⁵⁾。

8. 問題点

8.1 光信号の送受信

受動型の光バス型 LAN は接続ノード数がふえると受信光量の変化が大きくなる。また、通常は無信号状態で送信時は光パルスを送出する。このため、送受信回路は広いダイナミックレンジとパルスに対する十分な追従性が必要である。

8.2 衝突の検出

CSMA/CD 系のアクセス方式を受動型の光バスで実現する場合、自ノードが送信中の信号と衝突信号とを受信して同軸の場合のように、単純なレベル検出で衝突検出を行うには、受信する自ノードの信号と衝突信号とのレベル差が大きすぎ、衝突を検出できないことがある。この対策としては、線型バスの場合、アクセサの構成を工夫して自ノードの送信信号を受信しないようにして、送信中に信号を受信すれば即衝突検出とする方法がある。スター型バスを用いた場合、線型バスと同様にアクセサの構成を工夫する方法(図-6)のほか、次のような方法もある。スター・カプラを用いた場合、自ノードの送信信号の受信レベルと衝突信号の受信レベルの差は線型バスの場合ほどは大きくない(スター・カプラのポート間の通過損失の差+送信出力の差+伝送路長による損失の差)ため、両信号を同時に受信できる。受信側で受信信号の符号則違反を

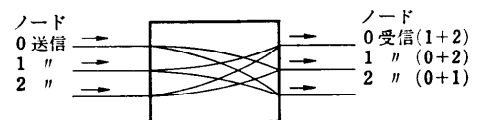


図-6 自ノードの信号を受信しないスター・カプラ

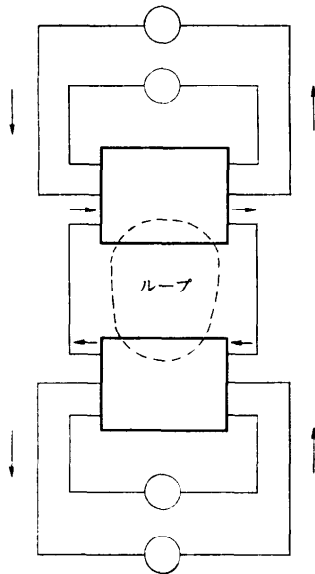


図-7 送受信ループの発生

検出して衝突発生を検出する^{17),18)}。

8.3 接続ノード数

受動型の光バスでは、接続ノード数が限られてくると先に述べた。このため、線型バスでは適当な間隔で中継器（リピータ）を設置する必要がある。スター型バスでは、100ポート前後のスター・カプラは製作可能であるが、高価になるため、ネットワーク規模に応じて分岐数を増していくようにしたい。単純に2つのスター・カプラを接続すると図-7のように送受信のループができてしまい、誤動作の原因となる可能性がある。これを防ぐために図-8のようにスター・カプラを接続する¹⁹⁾、あるいは周波数を変換する²⁰⁾などの方法が考えられている。

8.4 光ファイバ伝送路

発光素子としてLEDを使用している場合はそれ程度問題にならないが、高速のLANなどでLDを用いる場合は、ファイバに依存するモード雑音、反射光によるLDの発振の不安定などの影響が現れてくる。

9. おわりに

光ファイバを用いたLANは、オフィス用としてはファイバが同軸ケーブルと比べ細く、柔軟であり敷設が容易である点に最も大きな特徴がある。さらに、雷や電源線による電磁誘導ノイズの影響を伝送路で拾わないこと、ノード間の電氣的絶縁が確保できることなどが利点となる。光アクセサ、特に受動型スター・カ

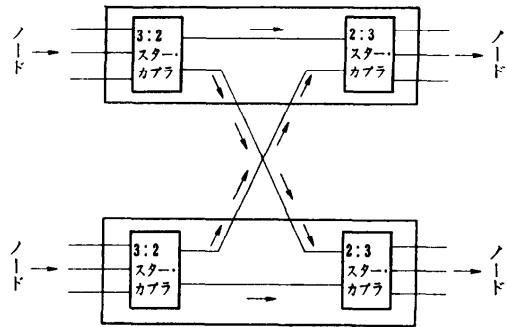


図-8 スター・カプラの接続（簡単のため3分岐×2の例を示す）

プラの安価なものが使用できるようになれば、能動型のリピータやリング型光LANと組み合わせる、あるいは多数の端末をRS232Cなどのインタフェースで収容するアダプタを、ノードとして接続することで、ポート数に対して収容可能な端末数を増すなどの形でバス型の光LANが普及していくと思われる。

参考文献

- 1) Shoch, J. and Hupp, A.: Measured Performance of an Ethernet Local Network, Comm ACM, Vol.23, No.12, pp.711-721 (1980).
- 2) Tokoro, M. and Tamaru, K.: Acknowledging Ethernet, Digest of papers, COMPCON 77 Fall, pp.320-325 (Sep. 1977).
- 3) 飯田, 安田: CSMA/CD ローカルエリアネットワークにおける優先権付与方式に関する検討, 信学技報, SE 81-55, pp.23-29 (1981).
- 4) Takagi, A., Yamada, S. and Sugawara, S.: CSMA/CD with Deterministic Contention Resolution, IEEE J. Selected Areas Comm., Vol. SAC-1, No. 5, pp.877-884 (1983).
- 5) Fine, M. and Tobagi, F.: Demand Assignment Multiple Access Schemes in Broadcast Bus Local Area Networks, IEEE Trans. Comput., Vol. C-33, No. 12, pp.1130-1159 (1984).
- 6) Limb, J. and Flores, C.: Description of Fasnet-A Unidirectional local-area Communications Network, Bell Syst. Tech. J., Vol.61, No. 7, pp.1413-1430 (1982).
- 7) Tobagi, F., Borgonovo, F. and Fratta, L.: The Expressnet: A Local Area Communication Network Integrating Voice and Data, COMPCON 82, Spring, pp.121-127 (1982).
- 8) DEC, Intel and Xerox: The Ethernet, A Local Area Network, Data Link Layer and Physical Layer Specifications Version 2.0

- (1982).
- 9) IEEE Standard 802.3 CSMA/CD Access Method and Physical Layer Specifications (1983).
- 10) 小口, 袴田: 32 Mb/s スター形構内光伝送方式の伝送遅延特性, 信学総全大, 予稿集 8-26(1985).
- 11) Schmidt, R., Rawson, E. et al.: Fibernet II: A Fiber Optic Ethernet, IEEE J. Selected Areas Comm., Vol. SAC-1, No. 5, pp. 702-710 (1983).
- 12) Gfeller, F.: INFRANET: Infrared Micro-broadcasting Network For In-house Data Communication, 7th European Conference on Optical Comm., pp. 27-1-27-4 (1981).
- 13) The LOCAL Netter Newsletter: AT & T Technology Centralized-Bus Architecture, Vol. 3, No. 8, pp. SR-76.1-76.6 (1983).
- 14) 日経エレクトロニクス: 複数の 80286/80287 を並列動作させる..., No. 364, pp. 123-126 (Mar. 1985).
- 15) Goodman, J., Leonberger, F., Kung, Sun-Yuan. et al.: Optical Interconnections for VLSI Systems, Proc. IEEE, Vol. 72, No. 7, pp. 850-866 (1984).
- 16) 伊藤, 石原: マイクロエレクトロニクスにおける光配線, 光学, Vol. 14, No. 1, pp. 51-53(1985).
- 17) 沖川, 近藤他: DP/PR 方式における衝突検出性能の改善法, 信学総全大, 予稿集 8-23(1985).
- 18) 横田, 小沢, 袴田: 光スター形 LAN 用トランシーバの検討, 信学総全大, 予稿集 8-24(1985).
- 19) Mangus, G.: LANFOTS-A Fibre Optic Transmission System for a Local Area Network, Proc. FOC/LAN 83, pp. 129-134 (1983).
- 20) 袴田, 小口, 箕輪: 異波長を用いたスター網間接続光リピータの検討, 信学総全大, 予稿集 8-41 (1985).

(昭和 60 年 4 月 17 日受付)