

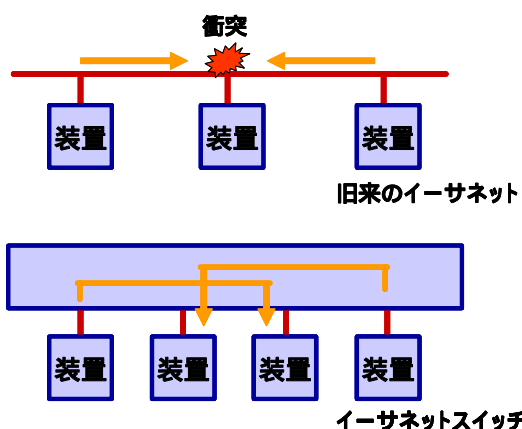
イーサネットスイッチング

産業用途への供給機能と導入メリット

シスコシステムズ 宮村信男

1. はじめに

イーサネットとは現在使用されている主要なローカルエリアネットワーク (LAN) テクノロジーで、世界の LAN 接続された PC およびワークステーションの約 85% で使用されている。イーサネットとは、IEEE 802.3 標準の適用対象となる LAN 製品のファミリを指し、このテクノロジーは光ファイバとツイストペア ケーブルの両方で利用できる。その圧倒的な普及率と激しい競争の過程において、イーサネットは年々性能が向上しているにもかかわらず、コストは逆に下がり続けている。そのため製造業者はプロセスの改良、経費削減、生産性向上を実現するための手段として、生産現場にイーサネットテクノロジーを導入しようとしている。



かつてシェアードメディア (CSMA/CD : Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect方式) として出発したイーサネットは、同時に送信された信号がケーブル上で衝突を起こし (コリジョン)、その場合ランダムな待ち時間の後に再送するという仕組みであった。そのため製造現場で求められる信頼性とリアルタイム性を保証することは難しかった。結果としてイーサネットの使用そのものをあきらめる、あるいは独自仕様の機能を追加するという拡張性に乏しい選択肢しかなかったが、イーサネットスイッチの登場により状況は一変した。

イーサネットスイッチは内部に論理的に複数の経路を持ち、コリジョンが発生しない。さらにQoS機能と組み合わせることで、リアルタイム性を保証できる。また現在のイーサネットスイッチは、金融機関やサービスプロバイダのコアネットワークという非常にミッションクリティカルな環境で使用されており、単体及びネットワークとしての信頼性は証明済みである。

ではそのスイッチとは一体どのようなものか? 以下にイーサネットスイッチの基本的な特徴と産業用途への適用について述べる。

2. OSI参照モデル

データ ネットワーキングの中心は、OSI参照モデルである。

OSI 参照モデルの 7つのレイヤは、下位レイヤ (1 ~ 4) と上位レイヤ (5 ~ 7) に分かれている。この稿では特に下位レイヤについて見ていくことにする。OSI参照モデルそのものについての詳細は 国際標準化機構 (ISO)のHPなどを参照していただきたい。



最下位レイヤである物理レイヤは、物理的なネットワーク媒体 (例、ネットワーク ケーブル) に最も近い位置にあり、データを通信回線に送出するための電気的な変換などの処理を行う。イーサネットはレイヤ2に相当し、通信相手との物理的な通信路の制御を行い、通信路を流れるデータのエラー検出などを行なう。レイヤ3は相手までデータを届けるための通信経路の選択や、通信経路内のアドレス(住所)の管理を行なうものでありインターネットでお馴染みの Internet Protocol (IP)の使用が一般的である。下位レイヤの最後のレイヤ4はトランスポート層で、これはデータがエラーなしに、正しい順序で送信されることを保証するための仕組みを提供する。

このOSI参照モデルに準拠することにより、異なるベンダー間の通信は保証され、かつアプリケーションベンダーはネットワーク層について独自に開発を行う必要がなくなる。イーサネットやIPという標準技術が広く普及したのはこの点によるところが大きい。(これまでに世界中に 3億個以上のスイッチ型イーサネットポートがインストールされている)

イーサネットスイッチは当初レイヤ2の機器として開発されたが、その後の機能拡張により現在ではレイヤ3、レイヤ4あるいはさらにその上位レイヤまで対応する機種も存在する。かつてレイヤ3はルータと呼ばれる機器の守備範囲であったが、いわゆるLANではレイヤ3の部分もイーサネットスイッチを使用し、他の拠点などと接続するワイドエリアネットワーク (WAN) にルータを使用するという棲み分けになっているのが一般的である。

なお、現在のイーサネットスイッチは以下のように10Mbpsから10Gbpsまで対応している。

10BASE-T イーサネットは、ツイストペア銅線を介して最大 10 Mbps の伝送速度を提供、ファーストイーサネットでは、伝送速度が10BASE-Tの10倍の100 Mbpsになり、ギガビットイーサネットは、イーサネットプロトコルをさらに拡張し、伝送速度がファーストイーサネットの10倍の1000 Mbps (1Gbps) である。そして現在最速なのが10ギガビットイーサネットであり、その名の通りその伝送速度はなんと10Gbpsである。

重要なポイントは、これらのネットワークはすべてイーサネットベースのインテリジェントネットワーク サービスをサポートし、既存のアーキテクチャと相互運用し、ユーザの学習効果を最大限高めることが出来る点である。簡単に言えばどれだけ速度が速くなろうとイーサネットはイーサネットであるということである。

次にイーサネットスイッチに求められる各種の機能を紹介する。

3. リアルタイム性

リアルタイム性という言葉は一般によく使用されるが、実際にはその定義は立場によりまちまちである。経営レベルにおけるリアルタイム性というのは数時間というレベルかもしれないし、モーションコントロールのようなアプリケーションでは数マイクロ秒であるかもしれない。一般的な産業用アプリケーションのほとんどの制御動作で許容されるレイテンシ (伝送遅延) は 10 - 50 ミリ秒 (ms) であり、産業用アプリケーションの制御トラフィック フレームは通常 500 バイト以下であるため、100 Mbpsではスイッチによるレイテンシは約 30 - 45 マイクロ秒にすぎず、制限を十分に下回っており、転送速度はほとんどのアプリケーションで必要とされる速度の実に100倍である。参考までに弊社の製品による実測値を次表に示す。これは単体のスイッチにおいてどの程度の遅延 (ナノ秒) が発生するかをパケットサイズ別に表したものである。

パケットサイズ	64	128	256	512	1024	1280	1518
トライアル#1	10,860	15,160	25,400	45,900	86,860	107,360	126,180
トライアル#2	10,900	15,160	25,380	45,900	86,840	107,360	126,200
トライアル#3	10,880	15,180	25,440	45,900	86,860	107,340	126,240
トライアル#4	10,900	15,100	25,340	45,860	86,780	107,300	126,180
トライアル#5	10,900	15,120	25,360	45,880	86,780	107,320	126,180
トライアル#6	10,860	15,160	25,420	45,820	86,880	107,300	126,140
トライアル#7	10,840	15,140	25,420	45,900	86,820	107,280	126,200
トライアル#8	10,860	15,180	25,380	45,860	86,860	107,320	126,160
トライアル#9	10,920	15,180	25,420	45,920	86,860	107,360	126,160
トライアル#10	10,900	15,180	25,420	45,920	86,820	107,340	126,200
最小値	10,840	15,100	25,340	45,820	86,780	107,280	126,140
最大値	10,920	15,180	25,440	45,920	86,880	107,360	126,240
平均	10,882	15,156	25,398	45,886	86,836	107,328	126,184
標準偏差	25.73	27.97	31.9	31.34	35.02	28.6	27.97

注： パケットサイズ バイト
遅延 ナノ秒

ちなみに以下の言葉はリアルタイム性ということ論じる際によく聞かれるものであるが、再度その定義を明確にしておきたい。

- レイテンシ（伝送遅延）

レイテンシとは通信の際に発生する遅延を意味する。通常、伝送路自体の遅延やスイッチやルータの内部処理により発生する遅延を合計する。複数のスイッチなどのデバイスを経由する場合には、それぞれの遅延を合計してアプリケーションにとっての最終的な遅延を計算する必要がある。

- ジッタ（ゆらぎ）

ジッタとは遅延の“ばらつき”を意味する。リアルタイムなシステムではこのジッタを抑えることが重要である。

- Deterministic（決定性）

前述のレイテンシについて、その上限値がいかなる場合にも保証されことを意味する

尚、イーサネットやIPに代表されるオープンシステムについて一つ強調しておきたい点がある。それはこれらの技術は単に新たな配線技術では終わらないということである。オープンシステムの採用によりこれまでは難しかった製造現場の情報をより柔軟に上位システムと連携できる、あるいはプロセスの改善のためにデータを収集し、分析した上でリアルタイムにフィードバックするというようなメリットが生まれ、それが企業の競争力を大きく左右する。しかし、様々なデータを取り扱うということは、ネットワーク的の観点で言えば通信量の増加をも意味する。

これまで述べたように現在のイーサネットスイッチは非常に高速であるが、それでも輻輳時のパケット（イーサネット上の情報伝送単位）の廃棄や遅延のばらつきという心配が残る。そこで重要なのがサービス品質（QoS）の機能である。

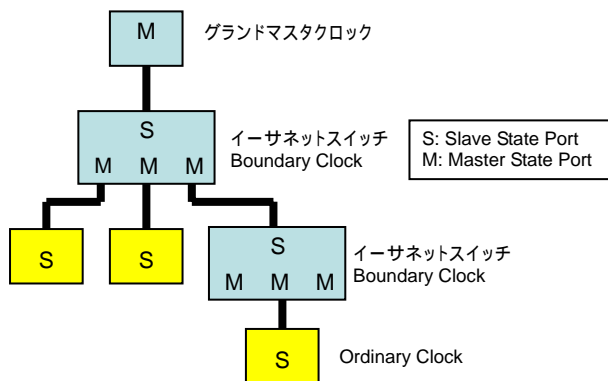
QoSとは簡単に言えばデータの重要性に応じて優先順位を割り当てることを意味する。つまりネットワーク内の種々のデータタイプ（この場合特定のアプリケーションを意味する）を識別し、輻輳時に重要なパケットが優先されるように、バッファを管理し、そして優先度が高いパケットをできる限りすばやくキューから伝送するためのスケジューリングを行うということである。

今日のインテリジェントスイッチは、QoS機能によって重要なデータを優先することができ、輻輳によってそれが失われることはない。インテリジェントスイッチにQoSパラメータを実装することによって、ワイヤスピードで重要なデータを重要でないデータよりも優先することができ、それによって制御ネットワークの決定性を保証するのである。

4. IEEE1588

リアルタイム性に関連する事項として、時刻同期が重要である。オートメーションの世界では、複数軸のドライブを同期させるアプリケーションなどが存在し、イーサネットベースのネットワークでも同期を実現する仕組みが必要となる。一般にOA系のネットワークではNTP（Network Time Protocol）が時刻同期に使用されるが、この仕組みが提供する時刻同期はミリ秒単位であり、これでは製造現場での要求には到底応えられない。そこで新たに登場したのがIEEE1588という規格であり、PTP(Precision Time protocol)フレームをやりとりするという仕組みにより、ネットワーク全体でマイクロ秒以下の精度での時刻同期が可能になる。この規格においてイーサネットスイッチは“Boundary Clock（BC）”という機能のサポートを求められるのであるが、今後登場するイーサネットスイッチ製品ではこの規格をサポートする方向にある。

Boundary Clock(BC)とはIEEE1588の要素の一つであり、ネットワーク全体にPTPフレームを伝播するために定義された機能である。PTPフレームは、イーサネットスイッチ内で自身のインターナルクロックと同期するために処理され、さらにBCに接続された機器へ転送される。イーサネットスイッチはMaster(主)とSlave(従)の関係で接続されることになる。詳細はIEEE1588の仕様を参照いただきたい。



5. ブロードキャストとマルチキャスト

産業用アプリケーションは、多くの場合、ブロードキャスト（ネットワーク全体への同報通信）またはマルチキャスト（ネットワーク内の特定メンバーに対する同報通信）に依存しており、イーサネットスイッチプラットフォームではこれらの通信を効率的に処理することが求められる。

IGMP スヌーピングという機能は、マルチキャストトラフィックが IP マルチキャスト装置が接続されているインタフェースにだけ転送されるように、インタフェースを動的に構成することによってマルチキャストトラフィックの伝送量を制限する。つまり、イーサネットスイッチは、マルチキャストメッセージを受信したとき、そのマルチキャストトラフィックを受け取るべき装置が接続されているインタフェースにだけメッセージを転送する。これにより、ネットワークに不要なトラフィックが流れ込むのを防ぐことができる。

なお、マルチキャストの運用に関しては事前の設計が重要であり、この点は注意しなければならない。

6. 産業用イーサネットスイッチ

これまで述べてきたようなイーサネットの利点により、従来のフィールドバスアーキテクチャから産業用イーサネットへの移行は真剣に検討されている。産業用イーサネットは、データ通信用に開発されたイーサネット標準を製造管理ネットワークに適用することを意味するが、必ずしも既存のOA環境の製品が使用できるとは限らない。もともとオフィス環境向けに設計されたイーサネットスイッチの温度、湿度、ノイズなどへの耐性では工場の厳しい環境では使用できない場合も多い。また19インチラックに実装するサイズも問題となることがある。このため従来の機器に比べ、環境性能を強化し産業用グレードの部品を使用した、DINレールにマウントできるコンパクトなファンレスタイプの専用機器も各社よりリリースされている。これらを特に産業用イーサネットスイッチと呼ぶこともある。例えばシスコシステムズのラインナップではカタリスト2955スイッチがこれに該当する。



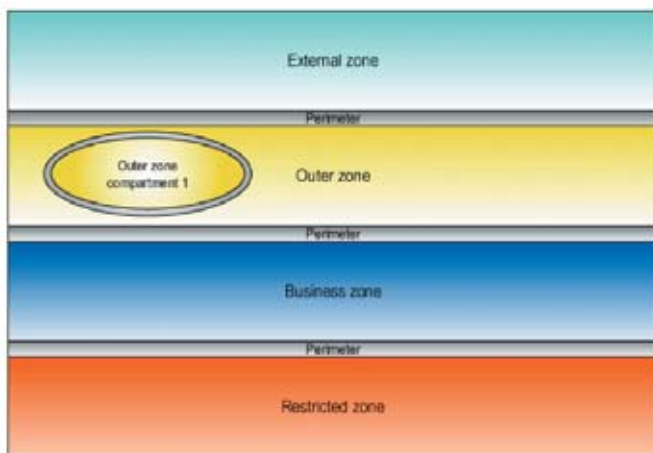
このカタリスト2955スイッチは、既存のシスコシステムズ製スイッチのソフトウェア機能を全て備え、さらに2つの設定可能なリレー回路を持ち、AC電源を外部化/冗長化している。もちろんファンレスであり、動作環境温湿度、動作環境振動/衝撃についても、並外れたスペックを持っている。専用のエンクロージャもサードパーティから販売されておりIP67対応にすることも可能で、すでに多くの実績を持っている。シスコシステムズでは今後もこの種の産業用イーサネットスイッチのラインナップを充実させていく予定である。

7. セキュリティ

オープンシステムによるメリットをこれまで述べてきたが、それと同時に忘れてはならないポイントがセキュリティである。これまで比較的外部の世界と隔離されてきた制御系のシステムではあるが、よく見れば使用されているプラットフォームはWindowsであったりLinuxであったりOA系のシステムとほとんど変わらない。さらにMESやHistorianなど企業の基幹システムと連携することが前提のアプリケーションも導入が進んでおり、このことは制御系のネットワークにもOA系のシステムと同様な脆弱性への対策が必要なことを意味する。例えばカナダの研究機関であるBCIT(British Columbia Institute of Technology) の調査によれば、制御系システムにおいても、2003年までに少なくとも34件のセキュリティに関するインシデントが確認されており、一件あたりの被害総額は平均1億円以上と言われている。今のところ日本国内で実際にそのような問題がどの程度発生しているかどうかは統計がないため不明であるが、ウィルスやワームなどは相手を選ばないため注意が必要である。

国内ではあまり知られていないが、実はこの分野は研究が急ピッチで進められている。特に米国においては米国政府のレベルで、社会インフラに対するサイバーテロという懸念から、社会インフラを運営する民間企業、例えば電気やガスといったユーティリティ、あるいは石油関連の企業に対しサイバーセキュリティ対策の指針を出している。

一般的に制御ネットワークのベストプラクティスとして認められているのは以下のようなアーキテクチャである。



- ゾーンニングのコンセプト
 - 機能単位にネットワークを分割し
 - 各ゾーン間の通信にはファイヤウォールなどの防御策を講じる
- デバイスのハードニング
- デバイスコントロールと認証の仕組みの導入
- 侵入検知と防御(IDS/IPC)
- VPNなどの暗号化の仕組みと管理

OA系のシステムで培われた様々なセキュリティの技術は制御系ネットワークにおいても当然有用である。

しかしながら、セキュリティに関して言えば、実際にはテクノロジーではなく、組織が課題となる場合がある。IT(OA系)エンジニアとプロセス制御エンジニアの間には境界が明確に存在しており、また、極端な場合には敵対心を持っているケースさえ散見される。この両者の歩み寄りなくしてこの新たな制御系ネットワークへの脅威に対抗することはできない。

工場システムのセキュリティという点についてはシスコシステムズとしても重要な課題と認識し、今後も積極的に関与していきたいと考えている。

8. 結論

製造環境におけるイーサネットへの移行は着実に進んでおり、ARC Advisory Group の調査によると、産業用イーサネット装置の市場は 2001 年から 2003 年の間に、年間 50 % 以上の割合で拡大している。この伸びは今後も継続するというのが一般的な見方である。産業用イーサネットは標準ベースのテクノロジーであり、企業は「スケールメリット」を活用しながら、生産現場における固有の要件をサポートするために必要な柔軟性を確保することが可能である。イーサネットスイッチはこのトレンドの中で最も重要な要素である。

再度申し上げたいのは、産業用イーサネット ネットワークは、単に従来の製造ネットワークを置き換えるだけではないということである。社内のビジネスネットワークと生産現場をより緊密にリンクし、企業全体の業務の効率を高めるという点に最大のメリットがあることを忘れてはならない。

(工業技術社 月刊「計装」5月号掲載)