

NETWORK-BASED CONTROLLERS FOR ACCELERATOR EQUIPMENT

K. Furukawa*, M. Satoh, T. Suwada, N. Kamikubota
High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
Oho 1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801, Japan

Abstract

In the KEK 8-GeV linac the network-based controllers have been installed in order to cover accelerator equipment which spread over a wide area. They employ standard technologies like Ethernet and TCP/IP, which reduce the development efforts and increase the flexibility, and operated the linac to provide high quality beams these ten years. The idea is also being applied to the J-PARC control system. Recently, several new interface controllers are developed to meet the requirement of new equipment and new functions. The advantage and future of these network-based controllers are described based on our experiences on the development and the usage.

加速器制御のためのネットワーク接続機器の開発

1. はじめに

高エネルギー物理学研究所の 8-GeV 電子・陽電子入射器は、4つのリング加速器に対して高い品質のビームを高度な安定性、再現性をもって提供し続けている [1]。すでに最初に放射光施設にビームを供給し始めてから 20 年以上が経過しているが、その間にビーム運転の中での制御システムの役割は飛躍的に大きくなってきた。

入射器の運転制御システムについては、1993 年に大幅な更新があったが、そのときから制御システムでは特殊用途のネットワークシステムの利用を縮小し、Ethernet や TCP/IP を基本とする標準的なネットワークシステム（ここではこれを標準ネットワークと呼ぶことにする）の利用を押し進めている [2]。現在では、基幹ネットワークには標準ネットワークが利用されることが少くないが、最近までは、現場の機器制御には専用のフィールドネットワークが利用される例が多かった。しかし、入射器においては、あとに述べるさまざまな理由から、10 年前の更新のあとは、機器制御においても標準ネットワークが利用されている [3, 4]。その考え方は徐々に他の加速器に広がっていて、例えば J-PARC においても特殊用途のフィールドネットワークはもたず、標準ネットワークが機器制御にも用いられようとしている [5]。

このような標準ネットワークに接続する機器の開発について、以前はあまり容易ではなかったが、最近それらについて進展があり、いくつかの制御機器が標準ネットワーク用に開発されてきた。それらについて以下に説明する。

2. 標準ネットワークの利用

制御システムの中で、運転コンソール周りのネットワークシステムとしては、現在ではほとんどが TCP/IP や Ethernet を基本とした標準ネットワークシステムで構成されていると思われる。入射器の制御システムにおいても、以前から次のような理由で標準ネットワークを利用している。

- 市場に利用できる製品があるので、できるだけ独自の開発を避けることができ、保守が容易となる。
- 利用者の多い標準は次の世代の標準でも継続性がよい可能性が高く、更新が容易となる。

- ISO/OSI (Open Systems Interconnection) のモデルで記述されるような階層化が比較的はっきり定義されており、それぞれの階層で拡張性がある。
- 光ファイバを含めたさまざまな媒体が用意されており、ノイズ源の多い入射器においても大きな開発を行う必要がない。
- リピータ、ブリッジ (スイッチ)、ルータなど各階層でのネットワークの延長の手段が提供されており、大型の加速器でも独自の開発の必要がない。
- 多数のオペレーティングシステムで TCP/IP プロトコルが利用できる。
- 障害追跡や解決のための手段が各階層で用意されている。

現在ではこれらはほとんど自明とも言えるが、1993 年前の更新を検討し始めたころには研究所内での TCP/IP の利用者も多くなく、市場の動向をにらみながら方針を決定した。特に重視したのは加速器内で利用される多種類の計算機間の接続性であった。更新の際に苦労したのがその点だったので、将来の再度の更新時にそれが再び問題とならないようにしたかった、ということである。

個々の機器コントローラを接続するフィールドネットワークとしては、各加速器でさまざまなものが用いられており、代表的なものでは、ARCNet、CAMAC Serial Highway、MIL1553B、さらに GP-IB や RS232C などがある。入射器の加速器装置は、当初、独自に開発された多数のフィールドネットワークと数百台のコントローラを経由して接続されていたため、更新のころには、障害低減とハードウェア、ソフトウェアの保守に必要な人的資源が問題となっていた。そこで、その時点から独自のフィールドネットワークの拡張をやめ、新しい機器から標準ネットワークへ切り換えていった。大電力モジュレータのノイズのために媒体としては光ファイバを利用しているが、ソフトウェアやハードウェアの保守や機能向上に必要な人的資源は大幅に低減され、制御システムの信頼性が高まり、加速器運転の安定性も向上した。

このような環境下ではネットワークは次のような複数の目的で同時に使用され、標準ネットワークはそのような多数対多数の通信を行うために特別な機構を必要としない。特に多数の機器が利用される加速器では、保

*E-mail: <kazuro.furukawa@kek.jp>

守も同じネットワーク経由で行えることが必要かと思われる。

- 機器コントローラを管理、保守するための通信。
- 機器の動作を監視、保証する局所的な制御のための通信。
- ビーム運転のために機器を制御するための通信。

このような考え方は他の人的資源の十分でない加速器においても採り入れられてきており、例えば J-PARC においてはできるだけ IP 接続が可能な機器が導入されている。これには、さまざまな測定器や安価なコントローラにも直接に標準ネットワークが接続可能になってきたことも関係している。

3. ネットワーク接続コントローラの利用

ネットワーク接続コントローラとしてはこれまで次のようなものが使用されてきた。(ほぼ導入順に並べている。)

- さまざまな制御ボードを載せる VME 計算機
- 単純な機器を接続する DOS PC
- PLC (Programmable Logic Controller)
- 測定器を接続する GP-IB インターフェース
- 計算機やネットワーク機器の監視に使用する RS232C インターフェース
- 測定器を収容する VXI 計算機
- CAMAC クレートコントローラ
- 汎用ソフトウェアが利用できる Windows PC
- 波形測定用のオシロスコープ
- 波形測定用の WE7000 測定器

これらの機器のうち複雑なソフトウェアを実装できる VME については、入射器内の上位層のソフトウェアでも使用されている RPC (Remote Procedure Call) によって通信を行うが、単純なコントローラについてはパケットの交換を行っているものも多い。ただし、エラー処理のしやすい UDP をできるだけ使用するようになっている。それぞれ中間層のサーバソフトウェアがコントローラとの通信の詳細を隠し、運転ソフトウェアは中間層のサーバソフトウェアと TCP を使用した RPC で通信する。

最近ではオシロスコープなどの測定器に直接標準ネットワークが接続できるようになってきたのでさらに応用範囲が広がっている [6]。しかし、新しい制御機器を単体で設置する場合に、その機器に標準ネットワークのインターフェースが備わっていないと、近くに VME などのフィールドバスもないと接続が困難であった。

このような問題に対処するために、ひとつには RS232C と Ethernet の間のゲートウェイが用いられることが多い。そのような目的の市販品も数多くあり、上に書いたように、入射器においても計算機やネットワーク機器の管理のためにターミナルサーバと呼ばれる製品が多数用いられてきた。しかし、これらは小型で安価な NIM モジュールのような制御機器に用いるには、高価でまた比較的サイズが大きいうという難点があった。

また、通信速度を必要とする場合には、RS232C の速度が問題になるので、Ethernet インターフェースを持ったボードを開発したいところであるが、開発費がかなり高価になる傾向があった。

4. ネットワーク接続コントローラの開発

これに対して最近利用できる技術の選択肢が増えてきているので、新しく必要になった制御機器について、いくつかネットワーク接続コントローラを製作した。

4.1. 50Hz 監視モジュール

最近入手可能になった XPort という製品は、シリアル (RS232C) と Ethernet のゲートウェイとしての十分な機能を持ち、速度も 900kbps が可能でありながら、大きさは UTP (RJ45) のコネクタとほぼ同じで、価格も約一桁下っており、上のような目的の一部に利用することができる [7]。

入射器のタイミングシステムにおいては、主タイミングステーションで生成されたビームやマイクロ波のタイミングが、異なる遅延時間をもって、約 150 の機器に分配されている [8]。もし、この信号が抜けることがあると、加速器装置が正常に動作せずビームの品質が劣化するだけでなく、場合によっては機器に損傷を与えてしまう。しかし、タイミング信号は加速器全体に分配されており、監視するためには簡単に制御ネットワークに接続できるモジュールを必要とする。

このような目的のタイミングシステムの監視モジュールを上記の XPort というインターフェースを利用して製作した [9]。図 1 のような NIM モジュールのケースに 50Hz の信号が正しく届いているかどうか監視する回路を 2 つ入れ、Ethernet または VME のデジタル I/O に接続できるようになっている。

4.2. RAS モジュールと DTL-Q 電源コントローラ

上に挙げた方法はかなり応用範囲が広いと思われるが、データ転送能力やデータ処理能力を必要とする場合には、ボード上の CPU が直接 Ethernet と接続できることが好ましい。しかし、これまではそのようなボードを開発する環境が十分でなく、結果として開発に長い期間と費用がかかっていた。最近になって少し状況が改善



図 1: 2ch 50Hz Monitor モジュール。正しくない信号が来るとカウンタの値がひとつ増える。信号が早過ぎたか遅すぎたかで 2 つカウンタが用意されている。一番下が XPort の 100BaseTx のコネクタ。



図 2: VME の RAS モジュール。左上に Ethernet コントローラチップと 100BaseTx (RJ45) コネクタが実装されている。

し、2つの可能性が出てきた。ひとつは、TCP/IP のプロトコルのファームウェアを内蔵した LSI で、容易にハードウェアとインターフェースできる可能性がある。しかし、大量にインターフェースを製造する目的に販売されており、今回は評価ができずあきらめた。もうひとつは、ネットワークの開発支援が充実してきた組込み用ソフトウェア開発環境で、コンパイラ、デバッガや CPU、Ethernet チップなどの選択肢が多岐に互るようになり、柔軟性が高くなっている。特に μ ITRON 準拠の NORTi という製品のネットワーク機能の柔軟性が高く開発が容易になってきた [10]。

入射器の制御システム内では、タイミングシステムやビームモニタシステムにおいて VME 計算機が使用されているが、それらが広く分布して設置されていることから、それらの正常動作を常時監視することは重要である。これまでは、異常時に電気信号を発生することができるモジュールを用いていたが、全ての信号の接続をすると費用がかかりすぎ、一部の機能しか利用していなかった [11]。また、RC232C で情報交換ができるモジュールもあったが、高価であり、また RS232C をインターフェースする機器が別に必要となる。

そこで、今回そのような VME (及び近傍のネットワーク機器) の信頼性監視のために、RAS モジュール¹を製作し、VME 電源の電圧、温度、ファンの状態やウォッチドッグタイマによる CPU の監視、CPU のリセット機能、CPU やネットワーク機器などのコンソールとの遠隔接続機能、などを持たせることにした [12]。図 2 のような VME ボードに SH4 CPU や 16MB の RAM、Ethernet Chip、ADC、DC-DC コンバータなどを載せ、全ての機能を持たせた。

同様のボードを J-PARC の DTL-Q の電源制御のために製作して使用している。開発環境とボードの形状は少し異なるが、全体の構成はほとんど同等である。これらのボードを製作する際は、ブロードキャストストームなどの極端なネットワーク状況においてもボードが停止しないよう試験を繰り返し、ファームウェアの信頼性を高めている。

5. ソフトウェア

現在のところ、50Hz 監視モジュールと RAS ボード向けには、これまで制御システムで使用している通信ソフ

トウェアライブラリ [14] で簡単なソフトウェアを組んでポーリングを行っている。DTL-Q 電源コントローラについてはすでに J-PARC 向けの EPICS のソフトウェア (Device Support) が用意されている。今後、入射器においても徐々に EPICS の導入を検討しているので、入射器の制御ソフトウェアと EPICS の双方に対応できるソフトウェアを準備することを考えている。また、NORTi 環境への EPICS の移植も計画されているので、成功すればその対応も行いたい。

現在のソフトウェアを経由した通信 (応答) 速度としては、50Hz 監視モジュールでは約 10ms、DTL-Q については相手計算機やメッセージのサイズによるが、100BaseTx の通信速度がそのまま得られている。

6. 考察とまとめ

今後入射器においても、SuperKEKB に向けた改造などが計画されており、制御機器の増設も少からず予定されている。主なものは既存のコントローラの枠組みのいずれかの増強になるが、一部は今回のコントローラのように独立の Ethernet インターフェースを必要とすると思われる。今回製作したコントローラの実験がそれらに役立つものと期待している。今後さらに EPICS などのソフトウェア機能への対応を進めていきたい。

参考文献

- [1] Y. Ogawa *et al.*, "Present status of the KEK electron/positron injector linac", these proceedings.
- [2] K. Furukawa *et al.*, "Upgrade Plan for the Control System of the KEK e^-/e^+ Linac", Proc. of ICALEPCS91, Tsukuba, 1991, p.89.
- [3] K. Furukawa *et al.*, "Microwave Control and Measurement System at the KEKB Linac", Proc. of ICALEPCS97, Beijing, China, 1997, p.146.
- [4] N. Kamikubota *et al.*, "Introduction of Modern Subsystems at the KEK Injector-Linac", Proc. of ICALEPCS2001, San Jose, U.S., 2001, p.328.
- [5] K. Furukawa *et al.*, "Network Based EPICS Drivers for PLC'S and Measurement Stations", Proc. of ICALEPCS99, Trieste, Italy, 1999, p.98.
- [6] M. Satoh *et al.*, "Beam Energy-Spread Feedback using Non-Destructive Beam Monitor with Eight Electrodes", S. Kusano *et al.*, "Development of Fast Waveform Acquisition and Analysis System at KEK Slow Positron Facility", these proceedings.
- [7] Lantronix, Inc., XPort Datasheet, <http://www.lantronix.com/products/eds/xport/>.
- [8] K. Furukawa *et al.*, "Timing System for KEK Electron Linac", Proc. of 27th Linear Accelerator Meeting in Japan, Kyoto, 2002, p.82.
- [9] ツジ電子社製 2ch 50Hz Monitor.
- [10] ミスポ社, NORTi 技術資料, <http://www.mispo.co.jp/>.
- [11] T. Kudo *et al.*, "KEK-Linac における VME 計算機のシステム監視", Proc. of 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tokai, 2003, p.446.
- [12] アール技研社、エルエッチエス社製 RAS Module.
- [13] インターニクス社、ニチコン社製 EMB-LAN100 Board.
- [14] s2 ライブラリ, <http://www-linac.kek.jp/cont/libinfo.html>

¹Reliability, Availability, Serviceability