ACCELERATOR CONTROLS IN KEKB LINAC COMMISSIONING

Kazuro Furukawa, Norihiko Kamikubota, Tsuyoshi Suwada and Takao Urano
High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
1 – 1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

The improved linac control system for the KEKB project is being utilized for accelerator commissioning. In the design, we've put emphasis on the system configuration with higher reliability, an object oriented design, and the operation integration with KEKB ring. And many pieces of operation software are developed during the commissioning.

KEKB Linac のコミッショニングにおける加速器制御

1. はじめに

高エネルギー物理学研究所の電子・陽電子線形加速器は 1998 年秋からの KEKB リングの運転に向けて、1997 年秋からコミッショニングを行なっている。制御系においては、1993 年に標準システムの採用 [1, 2] によって、古い制御系を更新したが、さらに KEKB 計画のために、(A) 高い信頼性を維持するための装置の配置 [3] や、(B) 多種類の制御機器をオペレータに区別せずに操作させるためのオブジェクト指向のデザイン [4] を行っている。また、運転開始後には高い実験効率を達成するために、(C) 下流の Ring 加速器との協調 [5] 、も必要となるので、関連技術の開発も行っている。

特に、KEKB の入射器の運転においては、実験効率がこれまで以上に求められるため、運転中に加速器のビームトランスポートのシミュレーションを行なったり、その結果得られた最適運転パラメータを直接運転に利用したりする、いわゆるモデリングの機構は、たいへん重要になる。特に、ビーム軌道を補正したり、加速器の診断を行なうことは日常的に必要になると思われる。

これまでの制御系を基礎として、コミッショニングにおいては、制御系メンバもコミッショニングに積極的に関わり、制御系の拡張とさまざまな運転用のソフトウェアの開発が行なわれた。

2. 入射器の制御

1982 年から運転に使用された入射器の制御系は、1990 年頃から更新後の制御系の設計が始まり、1993 年から更新が実施された。入射器の制御は主として、加速器装置のコントローラの物理的な処理を表現する下位層、及び加速器装置の論理的な処理を表現する上位層から構成されており、それらの制御処理サービスが運転用アプリケーションソフトウェアに提供されている。下位層と上位層、及び上位層とアプリケーションソフトウェアの間はネットワークについて透過な RPC (Remote Procedure Call) によって接続され、ソフトウェア開発者は通常その存在を意識することはない。

制御系内で 1993 年以降接続された装置の基本ネットワークは Ethernet や FDDI など国際標準規格に従ったものである。現場のネットワークは Klystron モジュレータからのノイズを避けるために全て光伝送をしており、また、重要な部分については規格上 2 重化されている FDDI や 2 重化した光 Ethernet など冗長性を持たせるよう配慮している。さらに故障診断を容易にするために、スタートポロジをできるだけ採用している[1]。また、基本通信規約としては現在では業界標準になっている TCP/IP (TCP 及び UDP) を使用している。古いコントローラを持った装置もまだ数多く使われており、それらについては Loop-2, Loop-3 と呼ばれるフィールドネットワークを経由して、TCP/IP 接続された VME に接続され使われている。

制御の上位層については Unix 計算機上にそれぞれの加速器構成要素ごとのサービスソフトウェアが用意されており、ハードウェアによって異なる下位層と通信し、静的データベースに従って、キャッシング、単位換算や全体的な障害処理を行なう。制御ソフトウェアで使われている静的データベースは、表形式のファイルをメモリ上に展開し、ハッシュアルゴリズムなどを使って検索するもので、単純高速で十分な機能を提供する。

現在の制御の下位層は新しいハードウェアの増設のために大幅に変更され、それに伴って、下位層と上位層の間の取り決め (ハードウェア特性情報や制御情報通信規約) も拡張されている。しかし、上位層とアプリケーションソフトウェアの間の取り決めについて

[1] 現在 Network Bridge で分割された Segment の数は約 50、光 Ethernet (10BaseFL) の機器は約 200 になる。

の変更は最小限に押えられており、そこでの変更はほとんど無い。現在の下位層の装置コントローラには表 のようなものが含まれる。新しいコントローラについては、特に標準を定めず、通信プロトコルとしてTCP/IP を使用することだけを規定してきた。

加速器装置	コントローラ	台数
Klystron	PLC 及び SBC (VME)	70
RF Monitor	VXI	30
Magnet	PLC 及び SBC (VME)	50
Trigger	CAMAC 及び SBC (VME)	16
Vacuum	PLC	18
Beam Monitor	VME	18

表 1: KEKB Linac の装置コントローラ
PLC (Programmable Logic Controller) は直接光 Ethernet に接続されていて、UDP Protocol で制御される。SBC (Single Board Computer) は MC6800 などの 8bit Microcomputer を用いており、古い装置に採用されていて、VME を経由して制御されている。

1993 年の更新時には、標準の採用と技術の進歩によって個々の機器の信頼性は向上したが、今後、古い機器と新しい機器が混合し、制御系が複雑になっており、さらに高い信頼性が必要になって来ている。障害箇所の置き換えがすぐにできるような体制だけでなく、自動的に障害復帰ができるようにハードウェア及びソフトウェアの両面から冗長性をもった実装が行なわれている [6] 。

3. 情報の交換

コミッショニングの直前やその最中においては、加速器の装置やその情報が日々更新される。それらの基本情報は装置の担当グループが管理する場合が多いので、各担当グループやコミッショニンググループと制御システムの間で情報が円滑に交換できるよう注意している。例えば、居室のパーソナルコンピュータからデータベースを更新することができるように、標準のファイル共有プロトコル (Macintosh の AppleShare [2]や Windows の NetBIOS-SMB [3])をファイアウォール上の Unix 計算機でサービスしている。

担当グループから制御系に渡る情報は Microsoft の Excel を経由する場合が多い。現在は、新しい情報を実際の運転に使用するデータベースに反映させる手順は制御グループが行なっている。

また、加速器のシミュレーションソフトウェアともさまざまな情報を交換しなければならない。入射器で以前から使用している TRANSPORT は入出力をファイルで行なうので、その規約と合わせるために入力ファイルの準備や、出力ファイルの解釈を外部で行なわなくてはならない。そこで、運転パラメータなどの制御系を通して得られる動的な情報と、静的なデータベースとから入力ファイルを生成し、計算を行なっている。

今回のコミッショニングでは SAD[7] も多数の運転用ソフトウェアで使用された。SAD はビームシミュレーションソフトウェアではあるが、Mathematica 相当の SAD Script というインタプリタ言語を持っており、また、最近 X-Window の GUI を作る機能も追加されている。そこで SAD と入射器の制御系の間では TRANSPORT と同様の比較的静的な情報の他に、直接に入射器の制御機能を通して相互作用して、柔軟な運転ソフトウェアが構築されている。

SAD は入射器の制御系の一部では無いが、KEKB リングの制御ネットワークを通して入射器のサーバ計算機と通信しており、入射器内の計算機との区別はあまりない。そのため、安全性には注意している。

制御系とシミュレーションソフトウェアの間の情報は加速器モデルとして意味のあるものになるように制御系側で努力している。例えば、制御系では加速電界とか、磁場勾配といった情報が使用できるようになっている。しかし、較正係数がまだ正確にわからないものも少からずあるので、ビームを使った較正などを進めていくことになっている。

1998 年秋からの KEKB リングの運転においては入射器とリングの制御系の間の協調も重要になる。KEKB リングの制御系は EPICS [8] と呼ばれる制御ソフトウェアを採用したので、入射器の制御系の RPC 規約と、EPICS の Channel Access 規約の変換をするための Channel Access Server というソフトウェアを準備している [5]。既に SAD の一部のソフトウェアはこのソフトウェアを利用して運用されている。

また、条件が整えば、EPICS に限らない上位インターフェイスとして定義された Cdev [9] や CORBA [10] の導入も将来の入射器の制御に有用であると考えており、実装を進めている。これらを利用することによって、対象指向プログラミングを行なうことができ、国際協力の見地からもソフトウェアやアイデアの交換が促進できるものと思われる。

4. オペレータインタフェース

入射器の制御系のオペレータインタフェースは、これまで主に、MSDOS で動作する PC で作られたタッチパネルと、Windows で動作する PC を併用してきた。タッチパネルは制御グループが開発維持にあたってお

[2]CAP という Freeware を使用している。
[3]SAMBA という Freeware を使用している。

り、入射器の RPC 規約を利用して加速器の単純操作を行なう。Windows のオペレータインターフェースは、運転グループによって開発が行なわれており、より高度な運転アプリケーションを提供することを目指している [11]。この他に制御グループが制御機器の試験を行なう際には X-Window 上のインターフェースも使われていた [12]。

KEKB 入射器のコミッショニングにおいては当初 Windows の環境でソフトウェア開発を行なうことを想定して、コミッショニングのメンバが Visual Basic 等の習熟に努めていた。しかし、Windows のコンソールと制御系との間に Windows NT Server を用いたゲートウェイを経由させていたことなどが障害となって、途中からソフトウェアの開発が停滞気味になってしまった。

一方、入射器コミッショニンググループにリングから参加したメンバは、リングの制御系が X-Window の採用を決めていたために、主に X-Window を利用した運転ソフトウェアの開発を始めていた。

そこで、コミッショニンググループ内で新しく作るソフトウェアは主に X-Window 上で Tk を利用して作成することになり、制御グループも積極的に開発に関わった。開発言語としては SAD Script と Tcl が使用されている。Tcl は加速器の単純操作に用いられており、SAD Script は主にビームの制御に用いられる。

いづれの言語からも入射器の制御との接続は単純で、またいづれもインタプリタであるために開発、試験の繰り返し期間が短縮され、開発効率が大幅に向上したと思われる。特にこれまでシミュレーションプログラムを実時間で動作させることは、原理的には可能であっても、現実にはさまざまな困難があったが、今回のコミッショニングにおいては複数の運転ソフトウェアとして利用されるようになっている。

5. 運転用アプリケーション

以上のような制御系の上に、次のような運転用アプリケーションソフトウェアがコミッショニングの期間に開発されている。

- ビーム位置モニタのビームによる較正。
- ビーム位置モニタのビームによる精度評価。
- 加速装置との対応付けをしたビーム軌道表示。
- ワイヤスキャナ上のビームの表示。
- ビームロス表示。
- エネルギーアナライザでのエネルギー分布の表示。
- エネルギー安定度の表示。
- 各種パラメータ相関プロット。
- バンチャ部シミュレータ。
- ビームオプティクス計算。
- エミッタンス測定及びマッチング。
- Isochronous かつ Achromatic な Arc 部の評価と補正。
- 繰り返しによるビーム軌道補正。
- ローカルバンプによるビーム軌道補正。
- Arc 部でのエネルギーフィードバック。
- Downhill Simplex によるビームの最適化。

いずれのソフトウェアもだれもが操作できるように、X-Window のグラフィカルユーザインターフェースを備えている。

今後も同様な運転ソフトウェアの開発が進むと思われ、より安定した制御系を目指している。また、安定した運転のために、コミッショニンググループと制御グループの間でより密に協調していきたいと考えている。

参考文献

[1] K. Furukawa *et al.*, Proc. of ICALEPCS91, Tsukuba, 1991.

[2] K.Furukawa *et al.*, Proc. of 16th Linear Accelerator Meeting in Japan, Sapporo, 1991.

[3] N. Kamikubota *et al.*, Proc. of ICALEPCS95, Chicago, USA.

[4] K. Furukawa *et al.*, Proc. of 18th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tsukuba, 1993.

[5] K. Furukawa *et al.*, Proc. of ICALEPCS95, Chicago, USA.

[6] K. Furukawa *et al.*, Proc. of 21st Linear Accelerator Meeting in Japan, 1996.

[7] URL:http://www-acc-theory.kek.jp/sad/sad.html

[8] L. Dalesio *et al.*, Nucl. Instr. and Meth. A **352**(1994)179.

[9] J. Chen *et al.*, Proc. of ICALEPCS95, Chicago, USA.

[10] N. Kamikubota *et al.*, these proceedings.

[11] I. Abe *et al.*, Proc. of 20th Linear Accelerator Meeting in Japan, 1995.

[12] K. Furukawa *et al.*, Proc. of 1994 International Linac Conference, Tsukuba, 1994.