

DEVELOPMENT OF THE EVENT-SYNCHRONIZED DATA ACQUISITION SYSTEM

T. Masuda¹, T. Fukui, R. Tanaka, A. Yamashita and K. Yanagida
Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI/SPring-8)
1-1-1 Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo 679-5198

Abstract

We have developed an event-synchronized data acquisition system for 47 sets of non-destructive beam position monitors (BPMs) installed in the SPring-8 1-GeV linac. The system takes all the BPM data synchronizing to every beam shot by using six VME computers and records all the synchronous data into a commercial relational database (RDB). We have succeeded in the 60Hz synchronized data acquisition without any event detection losses. The accumulated BPM data into the RDB provides precise analysis opportunity as well as feedback control capability to stabilize beam trajectory and energy in the linac. The system has contributed to the long-term energy stability of 0.02% (rms) and beam position stability of $\pm 30\mu\text{m}$ through automatic feedback control using the BPM data. We will apply the system to 60Hz data acquisition for coming SCSS (SPring-8 Compact SASE Source), an 8-GeV XFEL accelerator.

イベント同期型データ収集システムの開発

1. はじめに

SPring-8 1GeV 線型加速器は、8GeV蓄積リングと1.5GeV NewSUBARUへの同時トップアップ運転に対応するため、数ヶ月の運転期間にわたって高度なビーム安定度が求められる加速器である。線型加速器でのビーム不安定性の原因究明や、ビーム軌道やエネルギーへのフィードバック制御を目的として、合計47台の非破壊ビーム位置モニター (BPM) が加速器の分散部と非分散部に設置された^[1]。ショット毎に変動しうるビームの状態を正確に把握するには、ショット毎のビーム軌道を確実に捉え、全てのショットのビーム軌道データを記録出来るデータ収集システムが必要不可欠である。そして詳細なビーム軌道解析を可能にするためには、線型加速器の他のデータとの相関を容易に調べられるよう、関連するデータが汎用的なデータベースに格納出来ることが望まれる。我々は、線型加速器BPMのショット毎のデータ収集を可能にし、全ショットのビーム軌道データを汎用的なリレーショナルデータベース (RDB) に記録出来る、新たなイベント同期型データ収集システムの開発を行った。線型加速器の最大繰り返し運転周期である60pps運転時に、全ショットのビーム軌道データを取りこぼしなく取得し、データベースに記録出来ることを目標としてシステムの開発を行った。

2. システム構成

2.1 ハードウェア構成

開発された線型加速器BPMデータ収集システム^[2]のハードウェア構成を図1に示す。47台のBPMからの

信号は、光伝送ボード (OPT-VME)^[3]を通して6台のVME 計算機に集約される。これらのVMEは、100MbpsのEthernetに加えて、高い実時間性と3.4MB/sec程度の実効データ転送速度を持つ共有メモリネットワーク (SHM-net)^[4]で接続されている。取得したデータを同一SHM-net経由で読み出し、RDBに書き込むための専用のPC (Pentium III 850MHz) を用意した。そして加速器制御システムのメインデータベースに負荷を掛けずにRDBへの速いデータ書き込みを実現するために新たに専用のデータベースサーバ計算機 (Xeon 2.0GHz) を用意し、分散データベースを構築した^[5]。当初、VMEのコントローラとしてAdvme8001 (Pentium III 600MHz) CPUボードとx86 Solaris 7を使用していた。しかし60Hzでのデータ収集を実現するために、新たにSVA041-185T (Pentium M 1.8GHz) CPUボードを採用した。オペレーティングシステムとしてはx86 Solaris 9を用いた。

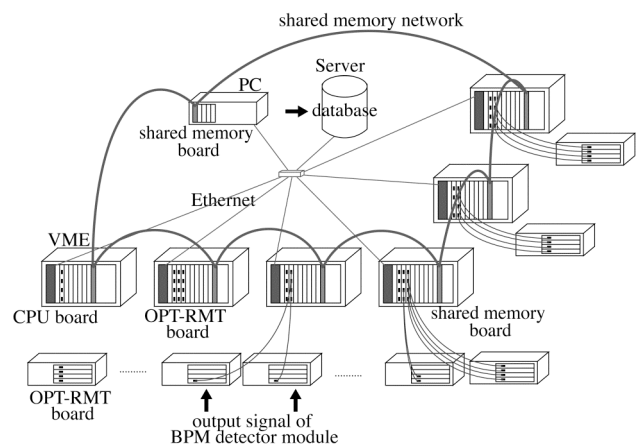


図1: ハードウェア構成

¹ E-mail: masuda@spring8.or.jp

2.2 イベント同期型データ収集ソフトウェア

イベント同期型データ収集ソフトウェア^[2] (図2)は、SPRING-8標準ソフトウェアフレームワークであるMADDOCA(Message And Database Oriented Control Architecture)^[6]を拡張して開発された。

MADDOCAに新たに加えられたのは、イベントの通知を受けて所定のデータ群を取得し、取得したデータを自身が管理するイベント番号とタイムスタンプと共にSHM-netに書き込むEMA-EV(Event-driven Equipment Manager Agent)、対象となるイベントを監視しEMA-EVに対してイベントの発生を通知するEVGEN(Event Generator)、そして更新されたイベントのデータをSHM-netから読み出してRDB(Sybase)に書き込むFillerである。Fillerプロセスは、構成ファイルを基にSHM-net上にデータ構造を構築し、各VME上のEMA-EVやEVGENの起動や停止を制御する管理

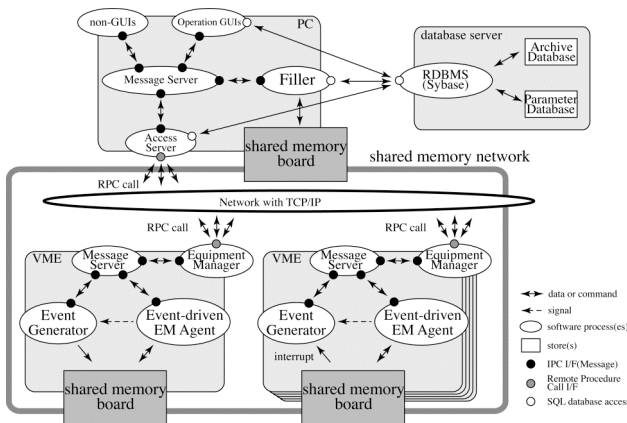


図2：ソフトウェア構成

プロセスとしての役割も担う。

異なるVMEのプロセス間の同期は、SHM-netの割り込み機能を用いて実現している。システムの実際の監視対象イベントを監視させるマスターEVGEN(M-EVGEN)を1つ用意する。M-EVGENがイベントを検出すると、他のスレーブEVGEN(S-EVGEN)に対してSHM-netの同報割り込み機能を用いてイベントの発生を知らせる。S-EVGENがSHM-netからの割り込みを監視イベントとすることでプロセス間の同期が取られる。またS-EVGENは、SHM-net同報割り込み時の付加情報としてM-EVGENが管理するイベント番号の一部を受け取り、これを用いて自身のイベント番号を補正する。

Fillerプロセスの処理遅延や、将来の高速フィードバックへの応用を考慮して、SHM-net上のデータ書き込みエリアにはリングバッファを構築した。バッファの深さは構成ファイルによって変更出来る。

3. パフォーマンス測定

3.1 テスト環境

VME上のデータ収集に関わるソフトウェアは、全てSolaris 9のリアルタイムクラスのグローバル優先

度100のプロセスとして動作させた。図3にSolaris 9が提供するスケジューリングクラスとそのグローバル優先度を示す。リアルタイムクラスは、通常優先度のタイムシェアリングクラスやシステムクラスよりも上位に位置している。

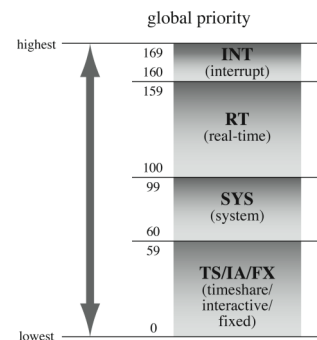


図3：Solaris 9のスケジューリングクラス

取得する信号は1BPM当たり8点で、全体では376点のデータが収集される。最も多数点のデータを取得するVMEは、96点の信号を取得するlibpmm20というVMEである。

M-EVGENは、入力ボードが電子銃トリガ信号を受けて発生するCPUボードへの割り込みをイベントとして検出するように設定した。

SHM-netのリングバッファの深さは600とし、60pps運転で多くのデータがSHM-net上に残るよう設定可能な最大値とした。

3.2 1pps運転でのパフォーマンス

図4は通常の1pps連続運転下でのlibpmm20のある信号のデータ取得の結果を示したものである。横軸は前後のデータの取得時間の差を示し、縦軸はその頻度を示している。13,272回のイベントの発生に対して、全てのイベントが取得出来た。

CPUボードに対する割り込みをM-EVGENのイベント検出に用いたことがイベントの100%検出に大きく寄与している。0.6msec幅のAD変換終了信号をポーリングによって検出していた際には、EVGENをリアルタイムクラスで動作させていても、割り込みによるタスクスイッチが原因と思われる検出漏れがあり、イベント取得率は99.9%にとどまっていた。

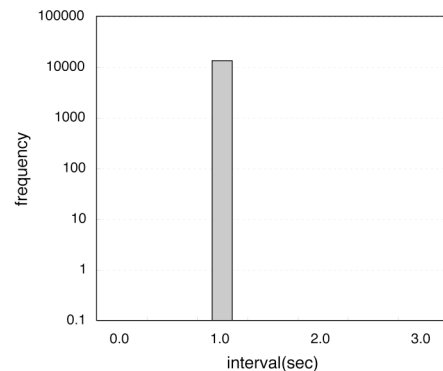


図4：1pps運転時の取得データ時間差度数分布

3.3 60pps運転でのパフォーマンス

図5はlibpmm20における60Hzでの収集結果を示したものである。現在、FillerによるRDBへの書き込

みが50ms程度掛かることが判明したため、SHM-net上の600個のリングバッファが溢れない程度の断続運転で測定を行った。実際には、5秒間60pps運転を行い25秒間休止するサイクルを繰り返し行った。

全部で11,370回の有効イベントに対し、全てのイベントデータを取りこぼしなく収集出来た。本結果からも、M-EVGENのイベント検出方法として割り込みを用いることが有効であることが分かる。さらに使用しているCPUボードが60Hzでの96点の信号取得に対して十分な処理能力を持っていることが分かる。

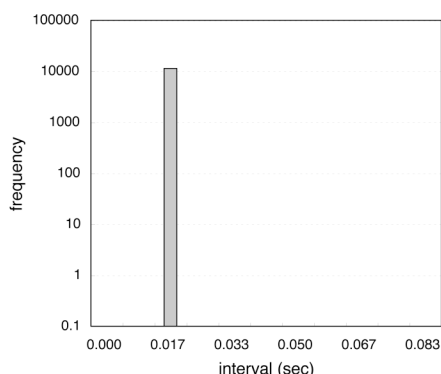


図5：60pps運転時の取得データ時間差度数分布

4. アプリケーション

4.1 ビーム位置フィードバック制御

室温の変化に起因するビーム軌道の長周期ドリフトは、特にNewSUBARUへの入射効率を次第に悪化させる。入射効率を常に安定に保つよう、非分散部の3カ所のビームの位置と角度を約5分おきに自動補正するプログラムが導入された[7]。RDBにショット毎に蓄積されたBPMデータがこの自動補正プログラムでは使用されており、 $\pm 30 \mu\text{m}$ 以内の長期ビーム位置変動の実現に貢献している。

4.2 ビームエネルギーフィードバック制御

線型加速器のビームエネルギーは、エネルギー圧縮システム(ECS)で補償され安定化されている[8]。しかし室温の変化に起因する長周期ドリフトが僅かながら観測された。そこで、RDBに蓄積されたECS下流の分散部のBPMデータを用いて、ECSのRF位相を自動補正するプログラムが導入された[7]。このエネルギーフィードバック制御によって、線型加速器終端での0.02%(rms)の長期ビームエネルギー安定度が実現されている。

4.3 ビーム欠損時のオフライン解析

サイクロトロン自爆などにより、トップアップ入射中にビームが欠損する場合がある。イベント同期型データ収集システムでRDBに収集されたBPM平均電圧をビーム電流モニターとして用いて、当該ビームが線型加速器の何処で欠損したのかの調査するこ

とができる。そして関連するデータとの相関を調べることでビーム欠損の原因の調査にも用いられている。これらのオフライン解析は、取得するBPMデータが同一ショットのものであることが保証され、かつ全てのビームショットのデータが保存されていることで初めて可能である。

5. まとめと今後の展望

我々は線型加速器BPMのためのイベント同期型データ収集システムを開発した。システムは、60ppsのビーム運転に同期して376点の信号を100%取得し、全ての取得データをRDBに記録出来る。RDBに蓄積されたデータはビームの位置やエネルギーのフィードバック制御に用いられ、ビームの安定化に貢献している。また全ショットのBPMデータをRDBに記録することで、時々発生するビーム欠損の解析の機会を提供出来たことは意義深い。

我々は、MADUCAの拡張フレームワークとして本データ収集システムを開発したため、他のデータ収集システムへの適用も容易である。将来的なアプリケーションとして、SCSSの250MeV試験加速器と8GeVのXFELにおいて60Hzでのデータ収集が予定されている。

現在、システムのパフォーマンスボトルネックとなっているのはRDBへの書き込みである。現状では一回の書き込みに50ms程度掛かっている。そのため、20Hz以上のイベント周期の場合には、SHM-net上に構築したリングバッファが溢れない程度の断続的なイベント周期としなければならない。より高速なRDBマネジメントシステムの採用、バルクインサート等の高速な書き込み手法の採用などのアプローチを検討している。

参考文献

- [1] K. Yanagida et al., "Installation of the SPring-8 Linac BPM system", Proc. of LINAC2002, Gyeongju, Korea, 2002, p.448
- [2] T. Masuda et al., Nucl. Instrum. Methods. A 534 (2005) 415-430.
- [3] T. Masuda et al., "Upgrade of the SPring-8 Linac Control by Re-engineering the VME Systems for Maximizing Availability", Proc. of ICALEPCS'03, Gyeongju, Korea, 2003, p.295
- [4] T. Masuda et al., "Data Acquisition System with Shared Memory Network", Proc. of ICALEPCS'01, San Jose, USA, 2001
- [5] A. Yamashita, "Distributed Database in SPring-8", Proc. of ICALEPCS'03, Gyeongju, Korea, 2003, p.436.
- [6] R. Tanaka et al., "The first operation of control system at the SPring-8 storage ring", Proc. of ICALEPCS'97, Beijing, China, 1997, p. 1.
- [7] K. Yanagida et al., "Beam Instrumentation using BPM system of the SPring-8 Linac", Proc. of LINAC '04, Lübeck, Germany, 2004, p. 464.
- [8] T. Asaka et al., Nucl. Instrum. Methods. A 516 (2004) 249-269.