

SPRING-8 加速器診断ビームライン II の Turn-by-Turn 放射光プロファイル モニター遠隔制御系整備

REMOTE CONTROL OF TURN-BY-TURN PHOTON BEAM PROFILE MONITOR AT THE SPRING-8 DIAGNOSTICS BEAMLINE II

植田 倉六, 増田 剛正, 正木 満博
Souroku Ueda #, Takemasa Masuda, Mitsuhiro Masaki
Japan Synchrotron Radiation Research Institute

Abstract

The turn-by-turn beam profile monitor (TTPM) using undulator radiation is installed in the diagnostic beamline II (BL05SS) of the SPRING-8 storage ring to observe stored beam oscillation, instabilities of a high current single bunch and so on. The TTPM system employs a high-speed CCD camera (ProEM 512BK by Princeton Instruments) with a special function to record turn-by-turn images both of horizontal and vertical spatial profiles in a single picture by vertically shifting electric charge stored in the CCD elements in microseconds. The CCD camera can be controlled by using WinSpec32 software (Princeton Instruments) running on a local Windows PC at BL05SS via a gigabit Ethernet interface. We have built a TTPM remote control system to realize continuous and automatic observation of stored beam stability during the user time operation at the SPRING-8 central control room. The TTPM remote control system consists of the following three parts; control software of WinSpec32 by through COM (Component Object Model) on the local Windows PC, remote application software on Linux operator consoles and communication software using ZeroMQ between the WinSpec32 control software and the remote application software. As the remote application software, two kinds of GUIs are prepared. One is for the measurement of the stored beam oscillation at the top-up injection, and the other is for the instability observation of a high current single bunch. These GUIs provide functions of display of the captured image, fitting calculation of the image, display the result and record it into the DB and so on. The remote control system has been utilized for the stability observation by operators in the central control room since December 2012 and worked well.

1. はじめに

SPRING-8 蓄積リング加速器診断ビームライン II(BL05SS)では、アンジュレーター放射の空間プロファイルをビーム周回毎に計測可能な Turn-by-Turn 放射光プロファイルモニター(TTPM)が設置されている^[1]。これを用いて、ユーザー運転中のトップアップ入射時における蓄積ビームの微小な振動の連続測定や、大電流シングルバンチを含むバンチファイルモードでの運転時にビームの安定性監視などを中央制御室で行なえるようするため、制御ソフトウェアなどの環境を整備したので報告する。

2. Turn-by-turn 放射光プロファイルモニター

TTPM では、アンジュレーター放射の X 線イメージを減衰時間の速い蛍光板で可視光イメージに変換しており、その 2 次元イメージを 1 次元集光系を用いて水平および垂直方向に圧縮し、それぞれの方向の射影プロファイルを生成している。これら 2 方向のライン状プロファイルは、CCD 素子のピクセル数が 512(X)×512(Y)である高速 CCD カメラ(Princeton Instruments 社製 ProEM:512B)で撮像される。このカメラが持つキネティクスモードと呼ばれると特殊な

機能が、高繰り返しでの撮像を可能にしている。この動作モードは、フレーム最下部に幅の細いサブフレームを設定して受光エリアとすると、蓄積した CCD 素子電荷を外部トリガーに同期して縦方向に(Y 方向)にシフトさせることができるものである。外部トリガーとして、ビームのリング周回信号またはその分周信号を使えば、周回に同期して複数のプロファイルを 1 フレーム内に一度に撮像することができる。

3. 遠隔制御システムの設計

ProEM はギガビットイーサネットのインターフェースを搭載しており、BL05SS にある Windows PC (現場制御用 PC) にインストールされている分光測定ソフトウェア Winspec32 を用いて、現場で操作することができる。当初は、ProEM の中央制御室からの遠隔制御を実施するにあたり、SPRING-8 標準の制御フレームワークである MADOCA に組み込むことを検討していた。MADOCA では、中央制御室のオペレータコンソールと機器の近くにある制御用計算機との通信に RPC(Remote Procedure Call)を使用しており、それをサポートしていない Windows PC は制御できないため、現場 PC の OS を Windows から Linux に変更する必要がある。しかしながら、

ueda_s@spring8.or.jp

Linux の ProEM 用デバイスドライバ及びソフトウェアがベータ版であること、Linux からの制御には ProEM 側のファームウェア更新が必要であるが更新後は Windows から制御ができなくなることなどの理由により、MADOCA への組み込みを断念して現場 PC を Windows のままで制御することにした。一方、当時開発中であった新制御フレームワークである MADOCA II^[3]では ZeroMQ^[4]を通信に利用しており、Windows でも制御が可能となる。そこで将来的には MADOCA II へ移行することを念頭において、遠隔操作 PC との通信方法を容易に変更できるようにソフトウェアの設計を行った(Figure 1)。

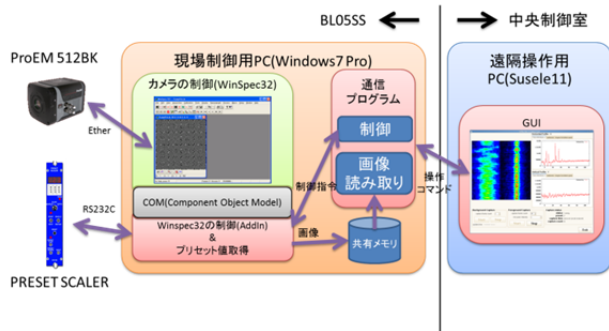


Figure 1: Design overview of the remote control system.

具体的には、現場の PC において、カメラを制御する部分と中央制御室の遠隔操作 PC との通信を行なう部分のソフトウェアを分けて構築することにした。通信プロトコルや通信ライブラリの違いによるソフトウェア動作の差異を極力少なくするために、カメラ制御用プロセスと通信用プロセス間、及び通信プロセスとクライアントソフトウェア間の通信部分に ZeroMQ を使用することとした。現場制御用 PC ではカメラの制御と画像取得のみを行い、取得した画像からプロファイルの強度、幅、位置を算出するフィッティング処理などは中央制御室の遠隔操作 PC 上のソフトウェアで行なうこととした。

3. ハードウェア

3.1 現場制御用 PC

現場に設置する制御用 PC ではフィッティング処理等の計算を行わないため、標準的な仕様のもを用いている(Table 1)。

Table 1: Main Specification of the local control PC.

OS	Windows7 Pro(32bit)
CPU	Xeon Quad Core 3.1GHz
memory	4GB
HDD	1TByte

3.2 遠隔操作用 PC

遠隔操作には SPring-8 の中央制御室に設定しているオペレータコンソールを使用する(Table2)。

Table 2: Main specification of the remote operation PC.

OS	SUSE Enterprise Linux 11 SP1(32bit)
CPU	Xeon Quad Core 3.0GHz
memory	4GB
HDD	160GByte mirror

4. ソフトウェア

4.1 カメラ制御用ソフトウェア

ProEM の制御ソフトウェアである Winspec32(Figure 2)は外部から操作を行うためのインターフェースとして COM(Component Object Model)を公開している。そこで、CCD カメラを直接制御するソフトウェアを用意するのではなく、COM 介して Winspec32 を制御することにより、間接的にカメラを制御するソフトウェアを作成した。Winspec32 は MDI(Multiple Document Interface)形式のソフトウェアで、取得した画像の強度グラフ等を表示するなど機能が豊富であり、その機能のほぼすべてを COM 経由で外部から操作が可能である。

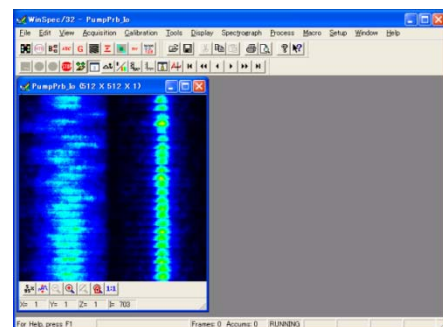


Figure 2: Winspec32

カメラ制御ソフトウェアは、クライアントソフトウェアからの設定値の取得や撮像開始・停止要求を受けて、COM を利用して Winspec32 の撮像開始・停止を操作する。撮像中は一枚撮像するごとに Winspec32 内で撮像完了のイベントが発生するので、そのイベントを待機しイベント発生時に Preset scalar から開始タイミングを取得し、現在時刻とともに共有メモリに書き込む。Winspec32 の起動は、制御ソフトウェア内で行われる COM の初期時にシステム(Windows)によって起動される。また既に起動している場合は、起動している Winspec32 と接続され制御可能となる。

4.2 通信ソフトウェア

通信ソフトウェアは、クライアントソフトウェアからの要求を受け取り、CCD カメラ制御ソフトウェアに送信し、その応答をクライアントソフトウェアに返信する役割を担う。撮像開始・停止要求や撮像中・停止中や撮像サイズ取得等のステータス要求は ZeroMQ 経由でカメラ制御ソフトウェアに送信し、応答をクライアントソフトウェアに返信する。画像取得要求を受信した場合は、共有メモリにアクセスし、画像データと共に取得日時・開始タイミングの情報を返信する。通信ソフトウェアはクライアントソフトウェアである遠隔 GUI と 1 対 1 の通信を想定し、また近い将来の MAODCA II 移行時は不要となるソフトウェアであるため、複雑な処理を行わず極力シンプルな構成とした。

4.3 入射時のビーム振動測定用 GUI

TTPM を用いてユーザー運転中にビーム入射時の蓄積ビームの微小振動を自動で連続測定するための GUI を作成した。作成にあたり、RAD(Rapid Application Development)である Glade^[5]を使用し画面構成の設計を行った(Figure 3)。

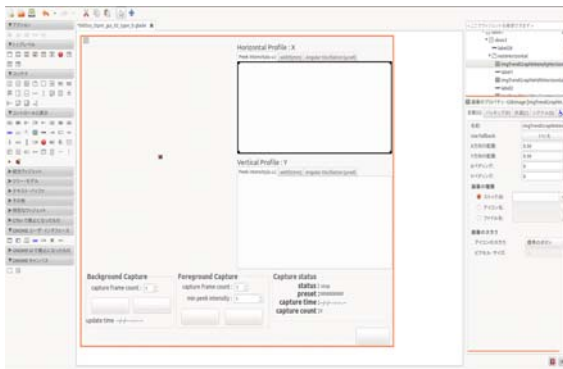


Figure 3: Glade

シングルショットで取得した画像から水平および垂直方向の射影プロファイルを作り、ガウス関数+1次関数によるフィッティング(Figure 4)により求めたプロファイル中心位置をターン毎にソートして光軸の角度振動とその FFT 処理の結果も合わせてデータベースに記録できるようになっている。また、測定の統計精度を向上させるために、指定回数分だけ複数回測定してターン番号毎に平均する機能も有している。

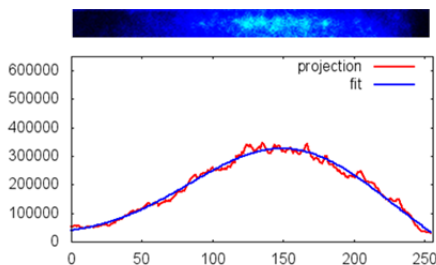


Figure 4: Gaussian fitting

取得した振動データは gnuplot を使用してグラフ化し、GUI 上に表示している。またカメラで撮像した画像を目視で確認できるように GUI 上にも表示している。(Figure 5)。

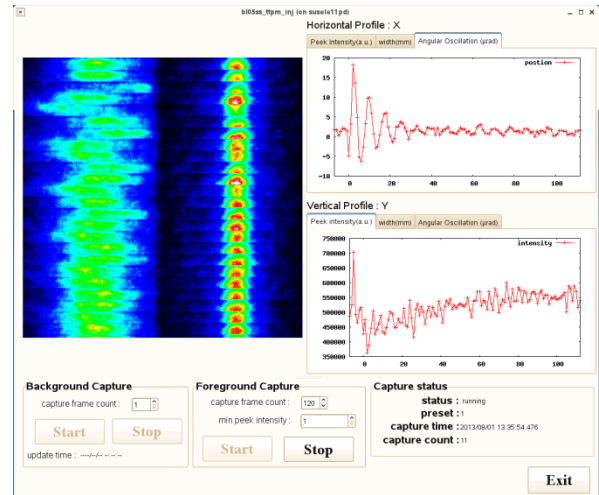


Figure 5: TTPM GUI for the measurement of stored beam oscillation induced by beam injection.

また、振動データの FFT 解析で現れるベータatron チューンスpekトルの強度 (振動の振幅に相当) およびチューン小数部などの変動をグラフ化して、中央制御室の大型ディスプレイに表示しており、ユーザー運転中における監視機能を強化している(Figure 6)。

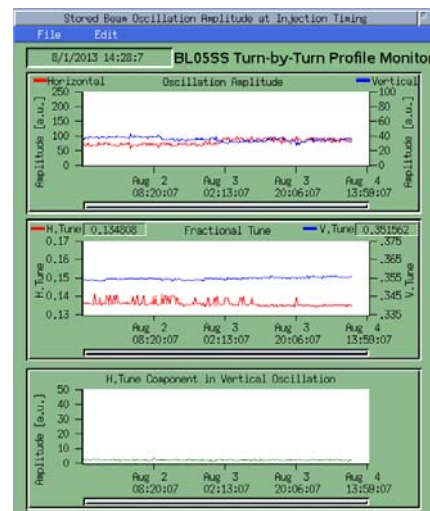


Figure 6: Trend graphs of stored beam oscillation amplitude, fractional tune.

4.4 シングルバンチ不安定性観測用 GUI

バンチ電流が増加すると電子バンチが作るウェイク場が自分自身に作用し不安定性によりビームロスなどが発生する場合がある。ユーザー運転中にこの

ような不安定性が発生した際のビーム挙動を捉えるために、TTPM を用いて常時監視ができる環境を整備した。この測定では、前述したキネティクスモードのサブプレームのウィンドウ幅を 1pixel とし、ビーム入射のタイミングで水平・垂直方向のプロファイルを計測し、ビームロスなどが発生して光強度が減少したときのプロファイルの強度、幅、位置をデータベースに記録するようになっている。

5. まとめ

今回の整備により中央制御室での連続的な監視が可能となり、加速器運転員がより加速器のビーム状態を把握できる環境が整った。2012 年 12 月に導入されてから、計算処理の変更等を行いながら、問題なく現在まで安定動作している。今後はさらなる詳細な情報収集と、新制御フレームワークである MADOCA II への対応を行う予定である。

参考文献

- [1] M.Masaki, "Development of Turn-by-turn Diagnostic System Using Undulator Radiation", Proceedings of IBIC2012, Tsukuba, Japan, 2012.
- [2] T. Matsumoto, et al., "Development of New Control Framework MADOCA II at SPring-8" in these proceedings
- [3] <http://zeromq.org/>
- [4] <https://glade.gnome.org/>