

イベントシステムを用いた ATF 加速器トリガーの高精度化

HIGH PRECISION TRIGGER DISTRIBUTION FOR KEK-ATF USING EVENT SYSTEM

塚田義則^{#, A)}, 内藤孝^{B)}, 照沼信浩^{B)}

Yoshinori Tsukada^{#, A)}, Takashi Naito^{B)}, Nobuhiro Terunuma^{B)}

^{A)}Kanto Information Service

^{B)}High Energy Accelerator Research Organization

Abstract

KEK-ATF is a test accelerator for linear collider. The operation of the accelerator complex is according to the synchronized trigger signal. ATF2 project at the KEK-ATF require the high precision trigger for the precise beam handling and the measurements. For example, the timing between the laser and the electron beam at the beam size monitor has to have less than 1ns of the accuracy. The exiting trigger system has a signal and the clock signal. A new trigger distribution system was installed to cure the problem. EVG/EVR(MRF) and STD-EVE(SINAP v2 timing system) are high precision trigger distribution system without one-count error. We could realize to provide the precision triggers by using the system. This paper describes the system configuration and the software.

1. はじめに

先端試験加速器(ATF)は、International Linear collider(ILC) final focus 光学系を実証するためのATF2 実験を中心に加速器開発が進められている。ATF の建設当初は常電導加速管を用いた Linear collider を想定したパラメータに適合するように設計されていたが、ILC として超電導技術が用いられることとなり ATF の運転パラメータも若干の変更がなされた[1]。特に取り出しキッカーはパルス幅が60 ns から 300 ns へ広げられ、バンチ間隔の広い複数バンチの取り出しが可能となるように変更された。ATF では Linac の 1 ショットで生成される複数のビームを multi-bunch と呼んでおり、最大 20bunch の multi-bunch を Damping Ring (DR) へ入射することが出来る。DR では複数のショットを任意の bucket へ入射することが出来る。1 ショットで入射されるビームを Train と呼んでおり DR では最大 3train まで蓄積することが出来る。3train を一度に取り出すことが可能になっている。

現在、ATF で使われている主な運転サイクルは Linac から 3.12 Hz で DR 入射され約 200 ms 蓄積時間の後、ATF2 ビームラインへのビーム取り出し実験が行われている (Fig. 1)。ATF はパルス運転であり、ほとんどの機器はトリガー信号に同期させる必要がある。ビームとの同期の精度は機器によって違うが ns 以下の精度を求められる機器もある。時間遅れは 300 ms 近くまでカバーしなければならない。測定用 Laser には 6.25 Hz を供給しており、これも同様に時間遅れを作り供給している。このトリガー信号は Programmable delay module (TD4 及び改良版の TD4 が使われている。以後 TD4 と呼ぶ)によって各機器に必要なタイミングで生成され供給されてきた。ATF で使用されている TD4 の数は 80 台に及び、その接続も複雑な構成となっている[2]。配線量を減

らすために制御ステーションごとにあらかじめ遅れないトリガー信号 (Trg)と Clock 信号 (CK)を供給し、TD4 によって独立に時間遅れを作り各機器に必要なタイミングの Trg を作り出している。この独立に時間遅れを作ることが ATF の加速器運転上問題になることが解ってきた。この問題を解消すること、ATF2 実験ではレーザーとビームとの相対時間を安定させるためにさらに高精度の Trg を要求することから、MRF 社の Event System[3]を 2012 年に導入した。今回、Event System を拡張するために SINAP で開発された STD-EVE[4,5]を導入した。これらのハードウェアとソフトウェアについて報告する。

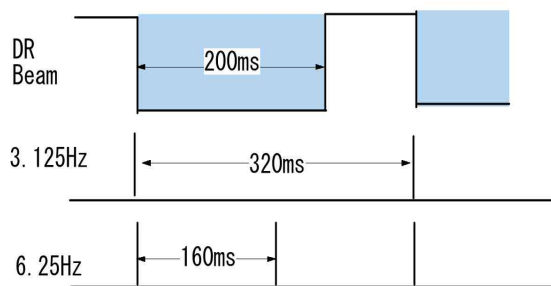


Figure 1: Schematic drawings of the inside of thyristor.

2. 既存のトリガーシステムの問題点

Figure 2 に既存のトリガーシステムの簡略化した構成を示す。Line-Synch Generator (LSG)は 50 Hz の電源信号を生成する。Linac などの大電力装置を安定して動作させるために繰り返し信号は 50 Hz の電源に同期させる必要がある。また、LSG の出力は加速器の基準信号から作り出した 1.08 MHz (DR の 1/2 revolution frequency)に同期している。このような構成にすることによって、1.08 MHz の位相をずらすことで DR の任意のバケットのタイミングにビームを入射することが出来る。

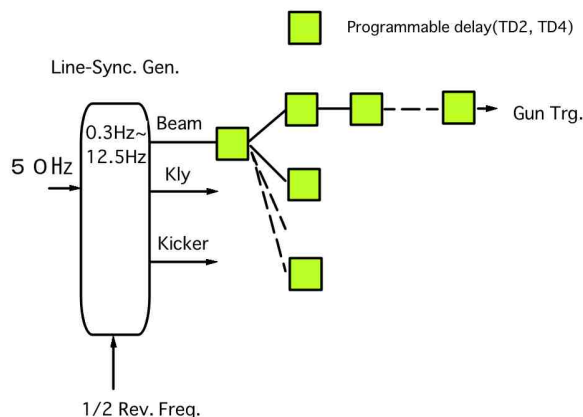


Figure 2: Schematic drawing of the trigger distribution system using programmable delay modules.

LSG は、機器によって異なる繰り返しを必要とするため 4ch の出力を持ち、独立に繰り返しを設定できるようになっている。

各機器が必要とするタイミングは LSG の出力を TD4 によって遅らせることによって作られる。TD4 は Fig. 3a のようになっており、Trg が入ってから CK が閾値を超える回数を数え始め、予めセットされた Delay 値に到達した時に出力にパルスを出力する。

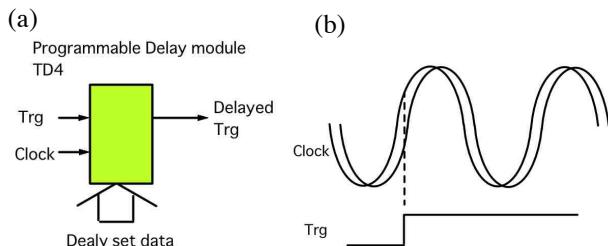


Figure 3: TD4 (left figure), TD4 timing chart between the input trigger and the input clock (right figure).

この時間遅れの安定度は遅れ時間に関係なく CK の安定度によって決まり、ATF で使用している 357 MHz では CK に対しテストベンチでは 10 ps 以下の時間安定度を持つ。従って、TD4 を使うことによって Trg と CK があれば離れた場所でも任意のタイミング信号を高精度で作ることが出来る。ATF では 4 箇所 TD4 を用いたタイミング制御ステーションを設け、独立に時間遅れを作り出している。この Trg と CK の関係は CK の周波数が固定であれば相対的に一定であり問題がないが、ATF では DR 周長が外気温の変動などで変わった場合、周波数を変えてビームのエネルギーを合わせているため CK の周波数が変わる。CK の周波数が変わると TD4 の入力での今までの閾値を超えていなかったものが超えてしまう場合がある(Fig. 3b)。この 1 カウントの相対的な時間のズレは 80 枚ある TD4 のどこで発生しているかを見つけ出すのは難しく、ケーブル長を変える等

で閾値から外しても、また周波数を変えると再び閾値に近づくことになる。一時的にはセットデータで補正することが出来るが、温度でケーブル長が変わったりノイズ等で 1 カウントのズレが出たり出なかったりすることがしばしば発生した。このシステムではこの問題を完全に解決することは諦めざるをえなかった。

3. イベントシステム

ATF2 に於いて Pulse Laser の干渉縞と電子ビームの衝突によるビームサイズモニタ(BSM)[6]では前述の 1 カウントのタイミングのズレが深刻な影響を及ぼす。この問題を解決するために MRF 社 Event System を導入した。送信モジュール(EVG)の出力は 1 本の光ファイバーに Trg 信号の情報を載せた Event code と共に CK 信号を伝送し、受信モジュール(EVR)によって Event code を decode すると共に Programmable delay counter で時間遅れたパルスを出力する。

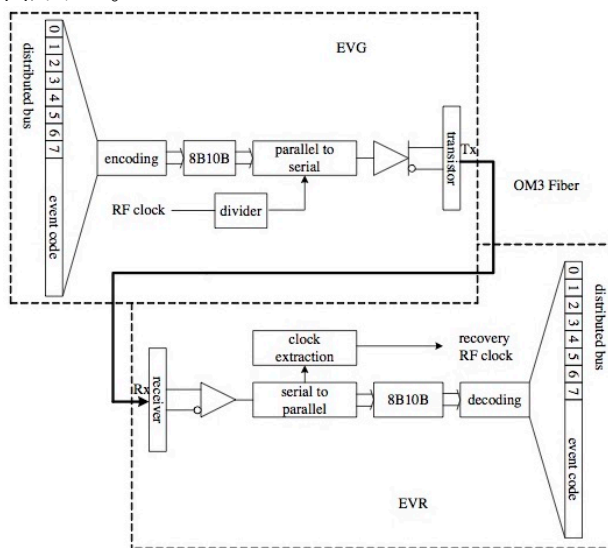


Figure 4: Coding decoding structure of the event system (from reference 4).

1 本の光ファイバーに Trg 信号と CK 信号が載っているため Trg 信号と CK 信号の時間差は CK の周波数が変わってもどの場所でも 1 カウントずれの問題は発生しない(Fig. 4)。また、EVR の出力の拡張として SINAP で開発された STD-EVE を導入した。

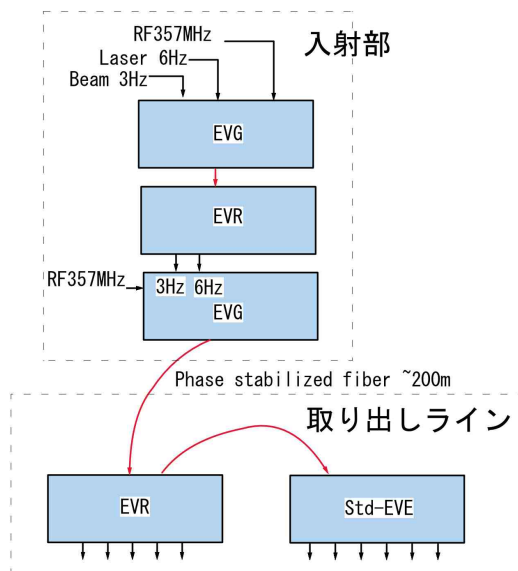


Figure 5: Configuration of the ATF event trigger distribution.

Figure 5 に ATF の Event System の構成を示す。EVG などのハードウェアは入射部にあり、計測装置の集中する取り出しラインの制御ステーションに EVR が設置されている。入射部から取り出しラインまでは約 200 メートルの距離があり、位相安定光ファイバーで接続されている。BSM の Laser は取り出しラインの最下流に位置し Trg に 3 Hz と 6 Hz を必要とする。それぞれ 200 ms の時間遅れした Trg を必要とするが、6 Hz 信号は周期が 167 ms のため周期を超えた時間遅れを作り出すことが出来ない。そのため EVG と EVR を 2 段構成にして時間遅れを半分ずつ分割することで 200 ms の時間遅れを作り出し、高精度に同期した 3 Hz と 6 Hz の Trg を作り出している。

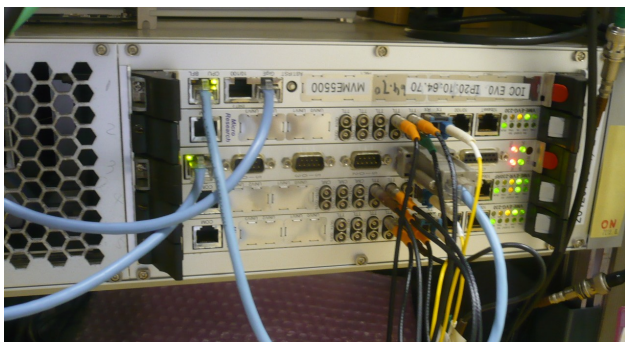


Figure 6: Picture of the injector event system - MVME5500 CPU, Two EVGs, EVR and RAS(VME reset module) are installed in the crate.

Figure 6 に VME クレートの写真を示す。5 幅のクレート内に MVME5500 CPU、EVG2 枚、EVR、RAS が設置されている。TD4 のシステムでは、3 Hz の Trg を作りダブルパルスのパルスジェネレータで 6 Hz にしていたが 3 Hz の間に入るパルスの時間精度は悪

かった。取り出しラインの EVR は 6ch 出力であるが既に不足となり、SINAP で開発された STD-EVE を追加した (Fig. 7)。STD-EVE は MRF 社 EVR と同一規格の信号共通性を持ち、MRF 社 EVG が VME 規格のモジュールであり MVME5500 CPU を介して制御されるのに対して、EIA1 幅のサイズに CPU を含めたすべての機能が収納されている。出力は 16ch、時間 Delay のステップは最小 5 ps まで調整可能である。

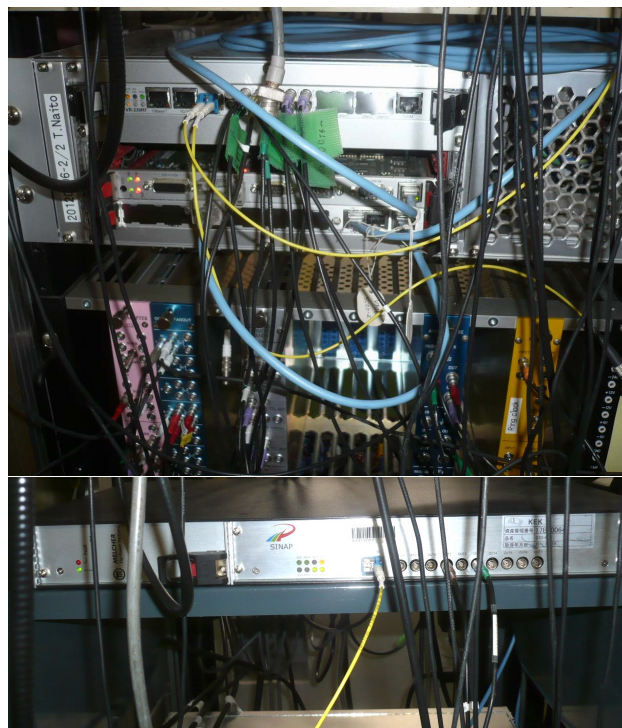


Figure 7: Picture of the extraction line event system - EVR and MVME5500 CPU (top), STD-EVE (bottom).

4. イベントシステムのソフトウェア

イベントシステムのソフトウェアは EVG、EVR、STD-EVE それぞれの IOC 上で EPICS が動作しており、Channel Access により制御されている。イベントコードは 6 Hz、3 Hz、1.5 Hz、0.7 Hz を用意しており、運転モードに合わせた繰り返しの Trg 信号を生成している。EVG から 6 Hz の同期イベントに対し EVR はイベント受信回数を calc レコードに書き、回数をカウントして指定値に達したらイベントコードを発行することで繰り返しを変えている。また、各 EVR (STD-EVE) では入力されたイベントコードに対し Delay 値を設定するが、ATF では 100 ms 以上の delay に対して 0.5 ns step で設定を行っており、10 桁の Delay 値表示になる。オペレータが直感的に操作出来るよう、機能ごとに設定画面 (Fig. 8) と全体の設定画面 (Fig. 9) を用意している。操作用の画面は Qt creator を用いて作成されている。

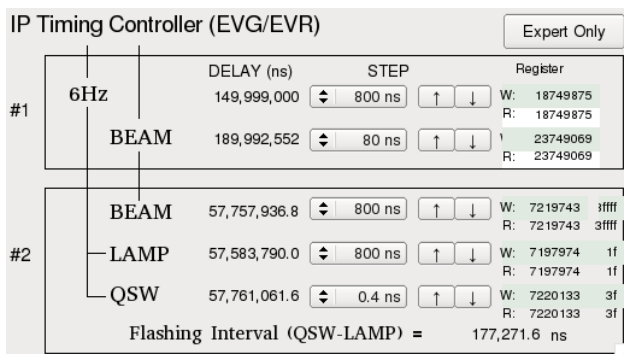


Figure 8: Control window of the event system for the IP laser timing control.

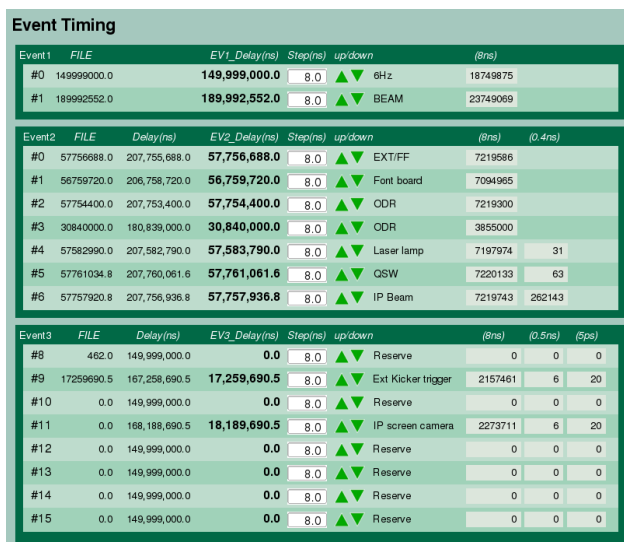


Figure 9: Control window of the event system for all event outputs.

支援していただきました山口施設長、道園主幹に感謝致します。

参考文献

- [1] ATF2 Collaboration “AF2 Proposal”, KEK Report 2005-2.
- [2] T. Naito, *et al.*, “Timing System for Multi-Bunch/ Multi-train operation at ATF”, LinacMeeting2000, Himeji, pp. 234-236.
- [3] <http://www.mrf.fi/>
- [4] “SINAP Timing System Version 2 User Manual”, Ver1.72, Electronics Group, Beam Instr. & Ctrl. Div. Shanghai Institute of Applied Physics (SINAP), 2017-09-10.
- [5] M. Liu *et al.*, “DEVELOPMENT STATUS OF SINAP TIMING SYSTEM”, Proc. of IPAC2013, WEPME032, Shanghai, China.
- [6] K. Kubo *et al.*, “ACHIEVEMENT OF SMALL BEAM SIZE IN FINAL FOCUS TEST AT ATF”, Proc. of the 10th Annual Meeting of PASJ (August 3-5, 2013, Nagoya, Japan) SAOP1.

5. まとめと今後の展望

イベントシステムの Trg 信号を用いることによって、Iclock ジャンプ問題を解消することが出来た。BSM では laser と取り出しビームのタイミングのズレが全く観測されなくなり安定な動作に寄与している。BSM の他にも取り出しラインの Beam Position Monitor (BPM)、バンチフィードバック (FONT)、Optical Diffraction Radiation(ODR)等の測定装置にも使用され安定な動作を実現している。最近、取り出しキッカーTrg にも用いられ取り出し起動の不安定要因の一つを解消することが出来た。今後は、既存の Trg を徐々にイベントシステムに置き換えていく予定である。

謝辞

EVG/EVR システムのソフトウェア構築には三菱電機サービス草野氏に大変お世話になりました。また、std-EVE の導入には KEK 加速器梶氏にお世話になり効率的に導入することが出来ました。本研究を