

Raspberry Pi を用いた GigE カメラコントローラーの開発 DEVELOPMENT OF GigE CAMERA CONTROLLER USING RASPBERRY PI

草野史郎 ^{*,A)}, 牛本信二 ^{A)}, 佐藤政則 ^{B)}, 宮原房史 ^{B)}

Shiro Kusano ^{*,A)}, Shinji Ushimoto ^{A)}, Masanori Satoh ^{B)}, Fusashi Miyahara ^{B)}

^{A)} Mitsubishi Electric System & Service Co., Ltd.

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

Abstract

The KEK injector linac provides electron/positron beams to five different rings (SuperKEKB LER 4 GeV/HER 7 GeV/Positron Damping Ring 1.1 GeV, PF 2.5 GeV, PF-AR 6.5 GeV). In the KEK injector, about 100 screen monitors are installed to check the beam position and size, and analog cameras are used for imaging. In the summer of 2014, GigE Vision standard cameras (manufactured by Allied Vision) were introduced, and 30 cameras are currently in operation. The GigE cameras are connected to a control network, and are controlled by the EPICS IOC on a blade computer connected to the same network. The newly developed GigE camera controller is equipped with a Raspberry Pi, and the GigE camera and Raspberry Pi are directly connected to the network and power supply with a single cable, and are controlled by the EPICS IOC on Raspberry Pi Linux. This reduces the impact and load on the control network, enabling efficient control. In this paper, we report the details of the GigE camera controller.

1. はじめに

KEK 電子陽電子入射器 (KEK 入射器) は、5つの異なるエネルギーのリング型加速器 (SuperKEKB LER 4 GeV, HER 7 GeV, positron damping ring 1.1 GeV, PF 2.5 GeV, PF-AR 5 GeV) にビームを供給している。KEK 入射器では、ビームの位置とサイズを確認するため、約 100 台のスクリーンモニターが設置されており、撮像用カメラとしてアナログカメラ (jai 社製 CV-M50) を使用している。2014 年夏より、GigE Vision 規格の GigE カメラ (Allied Vision 社製 GC-650) を導入し、現在は 30 台を運用している。GigE カメラは制御ネットワークに接続されており、同ネットワークに接続されたブレード計算機上の EPICS IOC から制御をおこなっている。今回開発した GigE カメラコントローラーは、Raspberry Pi [1] を搭載しており、GigE カメラとは 1 本のケーブルで地上とトンネル間のネットワークと電源、トリガーを直接接続し、Raspberry Pi Linux 上の EPICS IOC [2] で制御をおこなう。これにより制御ネットワークへの影響や負荷を軽減し、効率的に制御を可能としている。本稿では、GigE カメラコントローラーについて詳細を報告する。

2. スクリーンモニター用カメラシステム

2.1 現行システムの構成

KEK 入射器のスクリーンモニター用カメラシステムの構成を Fig. 1 に示す。KEK 入射器では、撮像用カメラとしてアナログカメラと GigE カメラの 2 種類を使用している。アナログカメラで撮影された画像データは、制御ネットワークに接続されているビデオサーバー (AXIS 社製 2410) によりデジタルデータに変換される。ビームトリガーに同期可能な GigE Vision 規格の Allied Vision 製カメラ GC-650 を 2014 年夏から導入している。GigE カメラは、制御ネットワークに接続されており、同ネットワークに接続されたブレード計算機

上の EPICS IOC から制御をおこなっている。アナログカメラと GigE カメラの画像データは、専用のオペレーターインタフェース (Screen Monitor Snapshot) で表示している (Fig. 2)。Screen Monitor Snapshot は、python スクリプトで開発されており、バックグラウンド処理には OpenCV ライブラリ、高速描画処理には PyQtGraph が使用されている。Screen Monitor Snapshot の機能としては、IOC への接続や画像プロファイル、バックグラウンド処理、画像データの保存ができる。

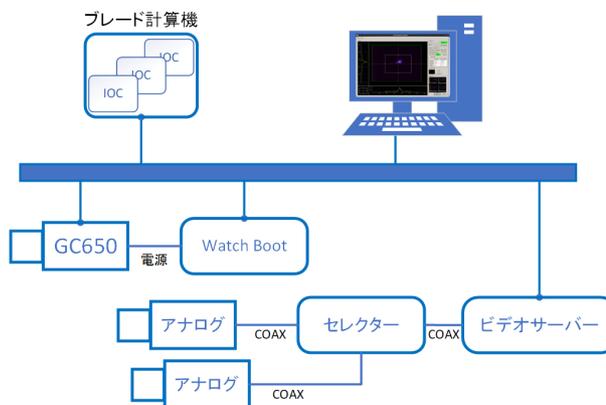


Figure 1: Camera system configuration.

2.2 現行システムの問題点

2.2.1 GigE カメラの異常停止

放射線の影響により、GigE カメラが度々異常停止することがある。GigE カメラは立ち入り制限区域内に設置されているため、電源の OFF/ON が容易ではない。異常停止の対策として、GigE カメラの電源ラインにネットワークから電源 OFF/ON できるリブーター (明京電機製 Watch Boot) を設置している。GigE カメラが停止した場合、Watch Boot を介してリモートで電源 OFF/ON と IOC の再起動をおこない対処している。

* skusa@post.kek.jp

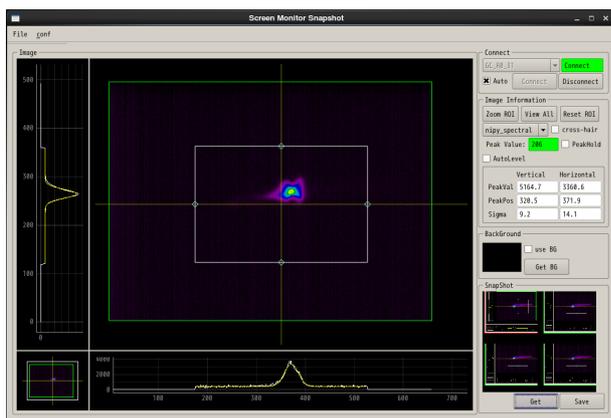


Figure 2: Screen shot image of Screen Monitor Snapshot.

2.2.2 ブロードキャストストーム

ネットワーク接続型の計測機器および EPICS CA プロトコルを用いたソフトウェアの増加により、ネットワーク負荷が増大する傾向にある。GigE カメラにおいても、直接制御ネットワークに接続されているため、IOC と GigE カメラ、および IOC とクライアント間で同じ映像データが送受信されることでネットワークトラフィックの増加の一因となっている。また、2024 年 1 月には GigE カメラの異常動作により、一部の PLC CPU が停止、VME CPU の負荷が増加し、ビーム運転に支障をきたした。これらの障害は、GigE カメラから大量のブロードキャストが送信されたことで、ネットワーク機器がパケットの処理がおこなえず、CPU が停止したことが原因だった。

3. GigE カメラコントローラー

3.1 ハードウェア構成

今回開発した GigE カメラコントローラーのシステム概要図を Fig. 3、外観および内部の写真を Fig. 4、Fig. 5 に示す。コントローラー内には、GigE カメラの電源用 DC12V、Raspberry Pi の電源用 DC5V を搭載している。GigE カメラの電源スイッチングは、Raspberry Pi に搭載されたリレーモジュールを GPIO で制御することでモーター OFF/ON を実現している。コントローラーと GigE カメラは、Cat.5e(1Gbps) 高速イーサネット対応の 12 芯 HR コネクタケーブルで接続されている。このケーブルでは、ネットワークに 8 芯、電源に 2 芯、トリガーに 2 芯を使用している。また、GigE カメラのネットワークおよび電源、トリガーのインターフェースが異なるため、変換ボックス内でネットワーク用の RJ45 と電源およびトリガー用の HR10 コネクタに変換している。Table 1 に GigE カメラコントローラーで使用した主なハードウェアを示す。

3.2 ソフトウェア構成

GigE カメラコントローラーのソフトウェア構成を Table 2 に示す。現在運転に使用しているソフトウェア構成で開発をおこなった。GigE カメラの制御部は、Allied Vision 社が提供している画像変換ライブラリ Vimba SDK

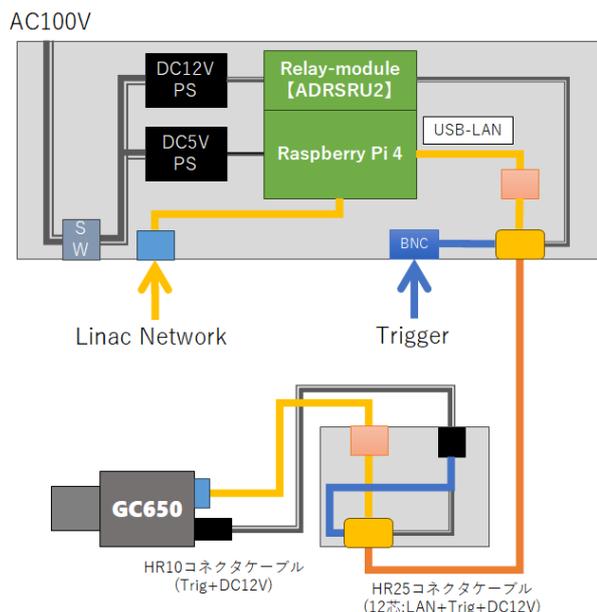


Figure 3: GigE camera controller configuration.

Table 1: Hardware Configuration

制御部	Raspberry Pi 4B
USB-LAN	tp-link UE306(UN)
ケーブル	HR25 コネクタケーブル (12 芯)
リレー	ADRSRU2
電源	DC12V、DC5V

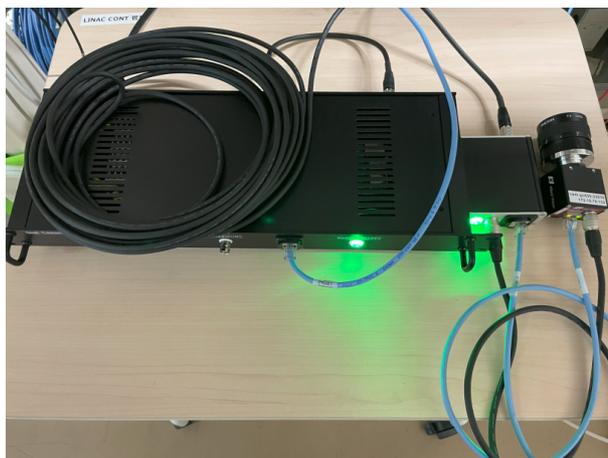


Figure 4: Image of GigE camera controller.

を用いて作成している。カメラは複数台あるので、スクリーン毎に IOC を用意している。

3.3 ネットワークトラフィックおよびフレームレート

ネットワークトラフィックは、ネットワークアナライザソフトウェアである wireshark で測定をおこなった。画像サイズ 659x493 ピクセル、フォーマット Mono8、露光時間 (exposure time) 100 μ sec、5 fps の場合、Raspberry



Figure 5: Image of GigE camera controller.

Table 2: Software Configuration

OS	Linux raspberrypi 6.6.20+rpt-rpi-v8
EPICS	base R3.14.12.7
Module	GC_Vimba, devgpio

Pi と GigE カメラ間は 1.6MB/sec 程度、EPICS IOC とクライアント間は、6.8MB/sec 程度であった。また、EPICS IOC と PC クライアント間でのフレームレートは、カメラの動作モードを freerun では 40 fps、トリガーでは 60fps であった。

4. 課題

4.1 最新 EPICS Base への対応

今回構築した IOC は、現在運用中のソフトウェア構成となっている。EPICS Base R3.15.9 または R7.0.4 に対

応できるように構築したが、一部の Device Support でコンパイルができない問題が発生した。現在、EPICS Base 7.0.x、areaDetector モジュールの構成による IOC を構築を進めている。

4.2 IOC と GigE カメラ間のポーリング監視

経験的に加速器運転中はカメラの電源を ON にしたままの場合、カメラとの通信不良やカメラの異常動作が発生する頻度が高く、他施設でも同様の報告がある [3]。したがって、未使用時はカメラの電源を OFF にしたほうが問題の発生を抑制できると思われる。また、カメラの異常時を検知しアラームを表示する仕組みがあると便利である。これまでの Vimba ライブラリを使用した場合、IOC から異常を検知することが容易ではなかったが、本システムの導入により、異常の発生を簡単に検知できるようになった。

5. まとめ

GigE カメラコントローラーの開発をおこなった。現在、放射線管理区域内での長期運用試験をおこなっている。次回運転開始時には、運転に使用しているスクリーンモニターに接続し、更なる試験をおこなう。この試験結果を基に、性能の向上や信頼性の確認を進め、今後は量産化をおこない本格的な運用を目指す予定である。

参考文献

- [1] <https://www.raspberrypi.org/>
- [2] <https://epics.anl.gov/>
- [3] A. Kiyomichi *et al.*, “GigE カメラ制御システムの改良と SACL A およびナノテラスのスクリーンモニターへの適用”, Proceedings of the 20th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, August 29 - September 1, 2023, Funabashi.