

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 21 日現在

機関番号：82118
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22540319
 研究課題名（和文）パイプライン分散並列処理によるリアルタイムフィードバックシステムの研究
 研究課題名（英文）Study of a real time feed-back system by the pipeline distributed parallel processing
 研究代表者
 伊藤 領介（ITO RYOSUKE）
 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・准教授
 研究者番号：90193531

研究成果の概要（和文）：超高速パイプライン分散並列処理フレームワークの開発を行い、それをもちいたリアルタイムフィードバックを可能にした。計算機 1 台の中でマルチコア CPU を用いてパイプライン並列処理を行うコアフレームワークを核として、ネットワーク接続された PC クラスタ上に処理を展開する外部フレームワークをかぶせることにより、大規模なパイプライン分散処理を実現した。Belle II 実験の高次トリガーテストベンチを使用して、このフレームワークの性能評価を行い、期待通りの性能が達成できることが確認された。このシステムは Belle II 実験のデータ収集システムの一部として使用されることになっている。

研究成果の概要（英文）：A software framework with a capability of the high-speed distributed pipeline parallel processing is developed. The framework consists of the “core framework”, which takes care of the pipeline parallel processing in a multi-core CPU, and the outer framework to connect PC servers over network extending the parallel processing to the PC cluster. The parallel processing performance provided by the developed framework is studied using the High Level Trigger test bench of Belle II experiment, and it is confirmed that the framework can achieve the expected performance. The system is now being implemented in the Belle II data acquisition system.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：素粒子物理学実験

科研費の分科・細目：物理学、素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

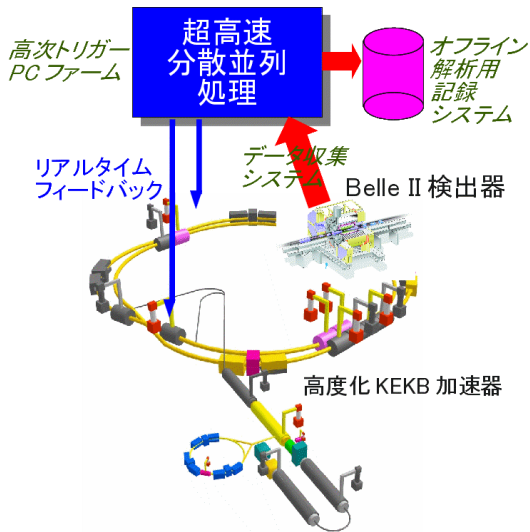
キーワード：加速器実験、測定技術、リアルタイム処理、並列処理

1. 研究開始当初の背景

KEKB/Bell 実験の高度化の成功の鍵は、加速器のルミノシティを飛躍的に増大させる事ができるかにかかっている。そのためには衝突点におけるビームの詳細な情報を高精度に求め、リアルタイムにフィードバックする

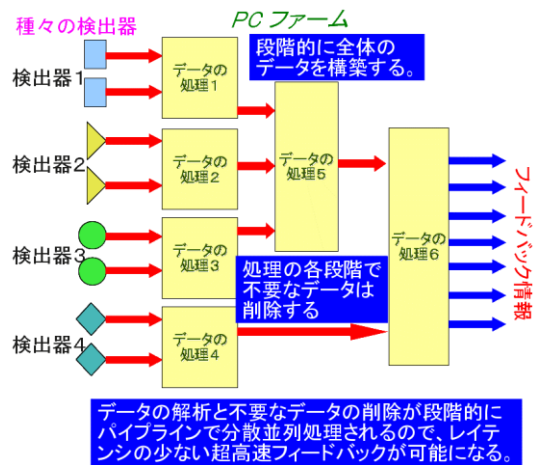
ことが不可欠である。しかし従来のビームモニターは比較的単純な情報しか得ることはできなかった。一方高度化された Belle II 検出器は物理解析の要求から超高精度の情報を得ることができるが、複雑な処理が必要であり、リアルタイムで情報を得ることが従来

は困難であった。同様な要求は宇宙観測など他の分野でも存在した。



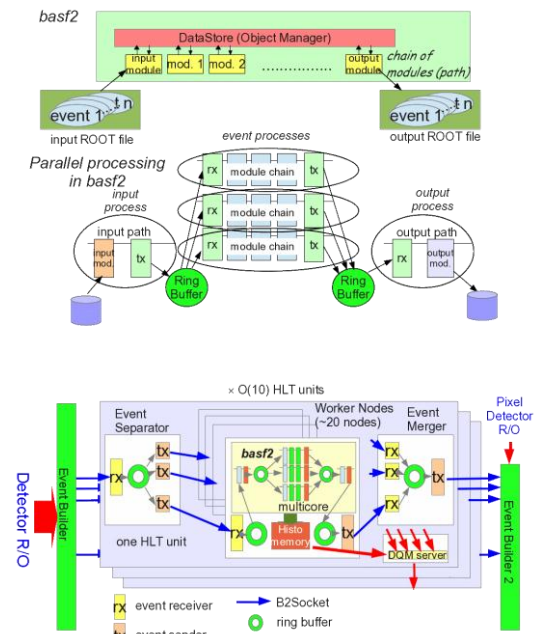
2. 研究の目的

リアルタイムに高精度の情報をフィードバックするためには、複雑な処理を超高速に行う大規模な並列処理が不可欠である。これまでも高次ソフトウェアトリガーのような事象毎での並列処理を行う事例は存在したが、事象単位での処理時間（レイテンシ）を短くすることができず、真のリアルタイムフィードバックができなかった。本研究では事象単位での並列化に加え、事象の処理自身をパイプライン並列化することにより、レイテンシを低減して超高速に精密な情報を取得し、それをフィードバックできるようにする方法を確率することを目的とした。



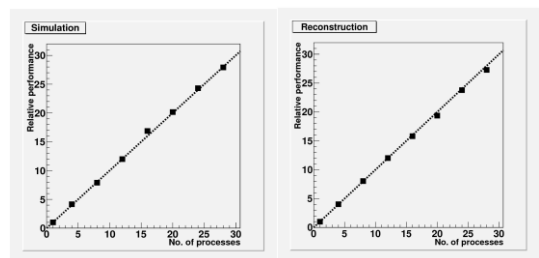
3. 研究の方法

本研究ではそれぞれがマルチコア CPU を搭載した多数の計算機からなる PC クラスターの上で動作する、事象毎の並列処理と事象内のパイプライン並列処理を同時に行う大規模なフレームワークを開発した。各計算機ノードで実行するコアフレームワーク、別々の計算機にパイプライン分散処理を割り振る中間フレームワーク、事象毎のデータを並列処理する外部フレームワークを順次開発し、システム全体の動作の管理を行う機構の上で動作するようにした。事象データの管理は ROOT と呼ばれるパッケージを用いてオブジェクト指向のアプローチにより行えるようにした。

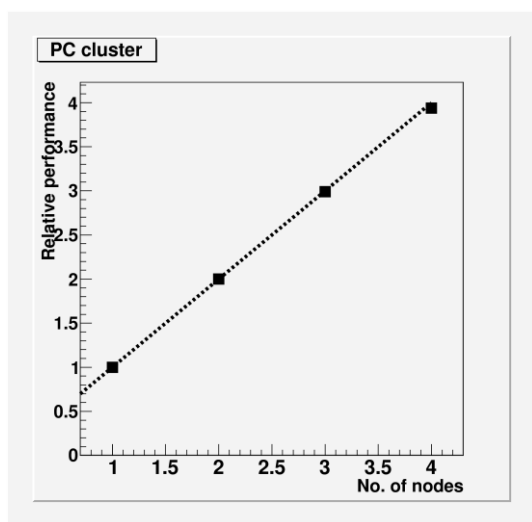
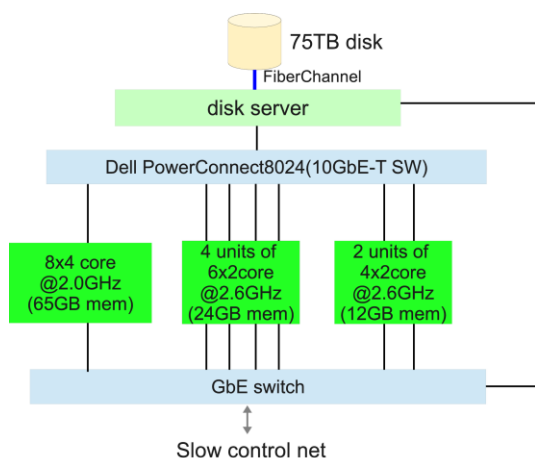


4. 研究成果

Belle II 実験と共同でこの研究をすすめる、コアフレームワークは Belle II で使用する標準フレームワークとして開発され、パイプライン並列処理と事象毎の並列処理を同時に行うことができるマイクロフレームワークとして実装された。その性能評価を行い、32 コアの CPU において 2 つの並列処理が設計通りの性能を達成することが確認された。



さらに中間フレームワーク、および外部フレームワークは Belle II データ収集システムの高次トリガーのフレームワークとして開発を行った。



Belle II のテストベンチを使用して性能評価をおこなったところ、17 台の PC サーバーの総計 216 コアの CPU を使用した 2 つの並列処理により、リアルタイムフィードバックへの使用に耐えうる性能が出せることを実証した。実際のフィードバック機構の開発はまだなされていないが、このフレームワークを使用する実験毎に異なるので、それぞれで開発することを仮定している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① R. Itoh and S. Lee, “Implementation of parallel processing in basf2 framework for Belle II”, J. Phys. Conf. Ser., 査読あり, 396, 022026 (2012).
- ② R. Itoh, “Data flow and high level trigger of Belle II DAQ”, accepted by IEEE Trans. Nucl. Sci. 査読あり (2012).
- ③ S. Lee, R. Itoh (et al.), “Belle-II high level trigger at SuperKEKB”, J. Phys. Conf. Ser., 査読あり, 396, 012029 (2012).
- ④ S. Lee, R. Itoh, et al., “Development of high level trigger software for Belle II at SuperKEKB”, J. Phys. Conf. Ser., 査読あり, 330, 022015 (2011).
- ⑤ S. Mineo, R. Itoh, et al., “Distributed parallel processing analysis framework for Belle II and Hyper Suprime-Cam,” PoS ACAT2010:026, 査読なし, (2011)

[学会発表] (計 4 件)

- ① R. Itoh, “Implementation of parallel processing in basf2 framework for Belle II”, International Conference on Computing in High Energy Physics (CHEP) 2012, New York, USA, May 21-15, 2013 (2013)
- ② R. Itoh, “Data Flow and High Level Trigger of Belle II DAQ System”, IEEE 18th Real-Time Conference 2012, Berkeley, USA, June 11-15, 2012 (2012)
- ③ R. Itoh, 「Belle II 実験の高次レベルトリガー (HLT)」日本物理学会秋季大会、2012 年 9 月 11 日、京都 (2012)
- ④ R. Itoh, 「Belle II DAQ の開発 (IV) 高次トリガー (HLT) とデータフロー」, 日本物理学会秋季大会, 2011 年 9 月、弘前、(2011)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤 領介 (ITO RYOSUKE)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・准教授
研究者番号：90193531

(2) 研究分担者

片山 伸彦 (KATAYAMA NOBUHIKO)

東京大学・カブリ数物連携宇宙研究機構・教授
研究者番号：50290854

(3) 連携研究者

相原 博昭 (AIHARA HIROAKI)
東京大学・理学系研究科・教授
研究者番号 : 60167773