

令和元年6月14日現在

機関番号：32689

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2017～2018

課題番号：17H07189

研究課題名（和文）LHCにおける標準模型を超える新物理のための高速飛跡再構成システムの開発及び運用

研究課題名（英文）Development and operation of the FastTraKer for beyond Standard Model physics at LHC

研究代表者

森永 真央（MORINAGA, MASAHIRO）

早稲田大学・理工学術院・次席研究員（研究院講師）

研究者番号：10803231

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、LHC-ATLAS実験において実装が進む新しいハードウェアベースのトリガーシステムであるFTKの開発・改良・運用を行った。本研究課題ではFTKのインプット部分の研究を行った。これはシステム全体の入り口であるため他よりも高い安定性が要求され、またクラスタリングも兼ねているため高速処理、更にシステム全体のバッファとなっているため、より厳しいリソース管理が要求される。ファームウェアの改良を行い、使用リソース・処理時間はそれぞれ20%・30%の改善、安定性に関しては、すくなくとも2日以上連続運転を達成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題では、パイルアップ事象を抑制・除去するために、リアルタイムでの荷電粒子の飛跡再構成を行うシステムの開発を行った。このシステムにはAMチップと呼ばれるASICを搭載している。AMチップはパターン認識を大量かつ高速にハードウェア上で行うことができる。このような機能を用いると、例えばゲノム解析等の時間のかかる処理は高速化できると考えられている。または、自動運転システムにおける画像認識の高速化も可能である。

研究成果の概要（英文）：In this study program, a development and improvement, operation of brand new trigger system of LHC-ATLAS experiment has been done. A higher stability and faster processing, a resource management of FPGA resource has been required. As a result of development of a firmware, 20% improvement of FPGA resource and 30% improvement of processing time has been archived respectively.

研究分野：高エネルギー実験

キーワード：トリガー/DAQ 飛跡再構成

1. 研究開始当初の背景

素粒子標準模型は現在までにヒッグス粒子を含む素粒子・相互作用を精密に予言している。しかし、暗黒物質やニュートリノ質量起源など、標準模型では説明できない現象も報告されている。現在、スイス・ジュネーブの欧州原子核研究機構（CERN）では、標準模型の詳細な検証や標準模型を超える新しい物理現象の発見を目指して Large Hadron Collider（LHC）での実験を行っている。

LHCは、陽子同士を40MHzで衝突させてその反応を記録し解析を行うが、その全てを記録できるわけではなく、2段階のトリガーを経て、1kHzまでレートを落として記録する。物理解析の感度は、トリガーで本来興味のない事象（パイルアップ事象という）をいかに落とせるかにかかっている。

2. 研究の目的

本研究課題の目的は、LHCに設置されている汎用検出器であるATLAS検出器のトリガーシステムの開発・改良を通して、暗黒物質を説明できる拡張理論である超対称性模型で予言される新しい素粒子現象の発見である。このような現象の多くはトリガー効率が悪く、トリガーを改良・改善することで物理解析の感度を効率よく改善することができる。

パイルアップ事象の同定には、その事象に存在するすべての衝突点を調べる必要がある。衝突点は、荷電粒子が残す飛跡を再構成しその集まりを探す方法が一般的である。ここで問題となるのが、荷電粒子の飛跡の再構成で、これには無視できない時間を要する。特に、トリガー時点では、100kHzで事象が更新されるため 100kHz で全飛跡を再構成する必要がある。現在のトリガーシステムでは、限定された領域のみをソフトウェアベースで行っている。しかし、ハードウェアベースの方法を用いることで、全領域での飛跡再構成を目指す。

3. 研究の方法

FastTraKer（FTK）は現在ATLAS実験において実装・テストが行われている新しいトリガーシステムで、トリガー時での全飛跡の再構成を可能にするシステムである。FTKは複数の電子回路ボードで構成され、再構成の大部分をField Programable Gate Circuit（FPGA）上に構成されるファームウェアで行われる。したがって、本研究課題の多くは、ファームウェアの開発・改良に焦点が絞られる。

ファームウェアはハードウェア記述言語（HDL）も用いて記述され、後から書き換え可能なため、改良が容易である。本研究課題では、FTKのインプット部分の改良と実装を担当した。インプット部分は、特に安定性が要求される箇所でも最も大量のデータを処理する必要がある。またFTKシステム全体のバッファも兼ねているため、他の構成要素よりもFPGAリソースに余裕がなく、使用リソースの最適化も課題である。

4. 研究成果

本研究課題で担当したインプット部分の改良について、内部ロジック1つ1つを精査し、調整・最適化を繰り返し、問題となっていた箇所の大規模な書き換えを行った結果、使用リソースについて20%の改善、プロセス時間について30%の改善、安定性について、それまで連続運転時間の最高である3時間から、少なくとも2日間以上の安定性を得た。

インプット部分の改善により後段部分の研究もスムーズに進めることもでき、実際の物理衝突実験中に、飛跡を安定的に再構成することも達成した

図1はその際にFTKが事象毎に再構成した荷電粒子の飛跡数のヒストグラムである。これは全体の1/64の領域での数である。図2はその際のとある事象のイベントディスプレイで飛跡が再構成されていることが視覚的に確認できる。

図1 FTKが再構成した飛跡数

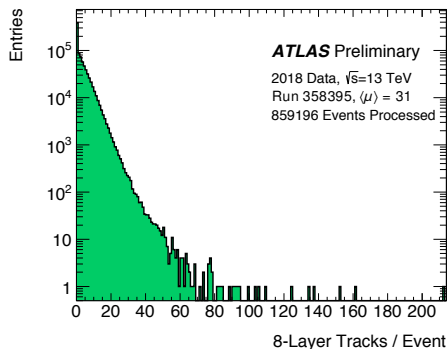
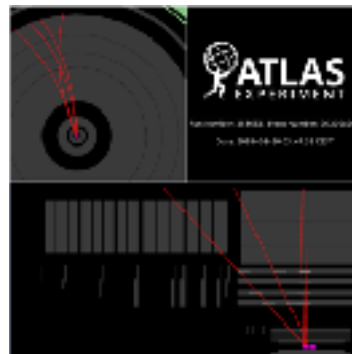


図2 イベントディスプレイ



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 0 件）

〔学会発表〕（計 3 件）

- ① LHC-ATLAS実験における高速飛跡トリガー (FTK) の初期データ解析と本格運転への展望
飯澤知弥、上田春来、加地俊瑛、木村直樹、三谷貴志、靱山慶輔、森永真央、寄田浩平、
日本物理学会、2017年秋季大会、宇都宮大学、2017年9月、
- ② LHC-ATLAS実験における高速飛跡トリガー(FTK)の初期データ解析と本格運転への展望
日本物理学会、2018年年次大会、東京理科大学、2018年3月、 森永真央、靱山慶輔、飯澤知
弥、奥村健人、植原靖裕、木村直樹、寄田浩平
- ③ LHC-ATLAS実験における高速飛跡トリガー (FTK) の運用とデータ解析
日本物理学会、2019年年次大会、九州大学、2019年3月、森永真央、奥村健人、三谷貴志、
加地俊瑛、植原靖裕、伊藤紘貴、岩澤広大、飯澤知弥、木村直樹、寄田浩平

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

○取得状況（計 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/AtlasPublic/FTKPublicResults>

（研究コラボレーションが公表した FTKのパフォーマンスプロットやイベントディスプレイ等）

6. 研究組織

(1)研究分担者
研究分担者氏名：
ローマ字氏名：
所属研究機関名：
部局名：
職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。