

氏 名 鈴木 友

学位(専攻分野) 博士(理学)

学位記番号 総研大甲第 1632 号

学位授与の日付 平成25年9月27日

学位授与の要件 高エネルギー加速器科学研究科 素粒子原子核専攻
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 Upgrade of the ATLAS Level-1 Muon Trigger for the High
Luminosity LHC

論文審査委員 主 査 准教授 長野 邦浩
教授 佐々木 修
教授 岩崎 博行
准教授 田中 秀治
准教授 三部 勉
シニアフェロー 寺田 進
高エネルギー加速器研究機構

論文内容の要旨
Summary of thesis contents

The ATLAS experiment explores the new physics and measures the standard model processes precisely using the world's energy frontier collider, Large Hadron Collider (LHC). The first years of LHC operation during years 2010–2012 (run1) concluded in the discovery of the long-sought Higgs boson. Further physics interests are then precise measurement on Higgs properties for instance couplings, and searches for physics beyond the standard model. To accomplish these aims, it is planned that LHC will resume its operation with increased colliding energy (13–14 TeV) and with increased instantaneous luminosity ($10^{34}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$) from 2015. In addition, luminosity upgrade of LHC is planned in 2018 up to $3\times 10^{34}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Phase1) and in 2022 up to $5\times 10^{34}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Phase2). It is mandatory to keep the performance and sensitivity of the ATLAS detector in these future runs. In particular, challenging is the trigger, online event selection, which needs to provide high rejection while maintaining high efficiency for rare signal events. The ATLAS trigger system consists of hardware-based Level-1 (L1) and the subsequent software-based High-Level Trigger (HLT). Triggering single leptons with electro-weak scale of the transverse momentum ($p_T \sim 25\text{ GeV}$) is desired, however, the tightest constraint is at L1; an extrapolation of the current L1 muon trigger rate is known to become un-sustainable at future runs. This thesis focuses on the L1 muon trigger and establishes a method to improve it to meet Phase1 and Phase2 requirements.

In this thesis, the origin of L1 muon triggers is first investigated in detail by using data recorded in run1. It is found that about 60% of L1 muon triggered events do not contain offline reconstructed muon candidate, and such 'fake' triggers are caused by positively charged particles with slow speed ($\beta \sim 0.6$) generated around endcap toroid magnet. A dedicated simulation study confirmed that these are indeed protons produced at endcap magnets and shields.

A method to eliminate these fake triggers is invented; the idea is to use the small wheel (SW) detector that locates in front of the endcap-troid magnet and will be replaced to a new one at Phase1. In this method, existence of track segments at SW with pointing to the interaction point and with geometrically matching to the segment in the current L1 detector (Big Wheel; BW) is required. It was shown that the rate of L1 single muon trigger with $p_T > 20\text{ GeV}$ (MU20) can be reduced by 65% and a relative efficiency against the current L1 muon trigger can be kept as greater than 95%. In addition, the position and angular resolutions required to the new SW detector were evaluated; the resolution of θ angle should be less than 8 mrad and that of R less than 4 – 20 mm (0.004 in η) and that of ϕ less than 22 mrad (22 mm – 154 mm in ϕ). For Phase2, further rate reduction is necessary. In this thesis, a method is proposed; the idea is to refine p_T resolution by using SW information. A promising variable

(別紙様式 2)
(Separate Form 2)

proposed is an angle difference between the SW and BW. It was shown that the rate of L1 MU20 can be reduced to be tolerable. In order to accord with the method, the angular resolution of θ for the detectors in both the SW and BW should be as good as a few mill-radian.

博士論文の審査結果の要旨

Summary of the results of the doctoral thesis screening

本学位論文は、将来計画である LHC 加速器の高輝度運転に際し、ATLAS 実験においてデータ取得を成功させるために必要な実験装置の改良、特に初段ミュオントリガー装置に必要な改良についての研究のまとめである。

LHC のようなハドロン衝突型加速器においては、大量の背景事象の中から稀な信号事象を逃す事なく、オンラインで事象を約 10 万分の 1 まで絞り込まなくてはならず、このトリガー系の出来が実験の成否を握ると言って過言でない。本論文では、まず、初段ミュオントリガーを占める大量の背景事象の起源を詳細に調べ、陽子・陽子衝突で生成された一次粒子が実験装置中の物質やビームパイプ、磁石などに当たって二次的に生成した陽子などの粒子によるものが主であると同定することに成功した。先行研究のないなかでも、多角的な検証によって着実に起源を絞り込むことが出来た点は研究者としての基本と自立性を示すものと評価できる。

後半部分では、これらの背景事象を効果的に除去するために最内層のミュオン検出器をトリガー用途へ応用する手法を想起し、そのための除去アルゴリズムを新たに開発して、実際に高輝度下においても安定運転可能なトリガー頻度まで落とせる事を示した。初段トリガーは同期と演算速度の要求から集積回路などハードウェアで実装する必要があるが、それを踏まえて除去アルゴリズムも十分簡潔であるよう考慮されている。また、ミュオン検出器を改良するにあたって位置測定や角度測定に必要な精度についても定量的に評価を行っている。すなわち、初段ミュオントリガー装置について、実現可能な手法を提示して必要となる測定精度を定量的に示したものになっており、学問的な独自性と専門性が大きく認められる。事実、本論文で開発されたこの手法は、その意義と有効性が認められ、ATLAS 実験において改良計画の中心の一つとして採用され、技術設計書 (Technical Design Review) に記述されている。

また、実験技術であるトリガーに関する専門的な内容だけでなく、なぜその実験技術が必要となるかという物理の背景やモチベーションについても導入部分で正しく書かれており、専門的知識を有していることが認められる。

このように、論文内容は最先端の独創的な成果を含み、学位を授与するに足る十分な学問的専門性と意義を有していると判断した。また、審査会における質疑応答を通して博士にふさわしい専門的知識およびコミュニケーション能力を有していると認められたので、合格と判断した。