# LHCアップグレードに向けた ATLAS実験のミューオントリガー開発

小野木宏太 N研究室

修士論文発表 2015年2月12日

### LHC-ATLAS実験



ヒッグス粒子発見後、期待される物理事象

• 標準理論を超える物理事象(超対称性、余剰次元、etc.)



#### データー時保存とトリガーを並列処理するパイプライン構造



事象レート ~1GHz 処理時間 0s



データー時保存とトリガーを並列処理するパイプライン構造



L1トリガー : 膨大な事象に対する高速判定

#### 横運動量判定

- 低い横運動量:背景事象多数
  - ➡ 横運動量閾値を定め、興味のある物理 事象の検出効率を向上させる。

データー時保存とトリガーを並列処理するパイプライン構造



- L1トリガー : 膨大な事象に対する高速判定
- HLトリガー:高精度な判定

#### 横運動量判定

- 低い横運動量:背景事象多数
  - ➡ 横運動量閾値を定め、興味のある物理

事象の検出効率を向上させる。

データー時保存とトリガーを並列処理するパイプライン構造



• L1トリガー : 膨大な事象に対する高速判定

→ 新物理探索に対しては?

HLトリガー:高精度な判定

#### 横運動量判定

- 低い横運動量:背景事象多数
  - ➡ 横運動量閾値を定め、興味のある物理 事象の検出効率を向上させる。

データー時保存とトリガーを並列処理するパイプライン構造



<sup>3</sup>/21

データー時保存とトリガーを並列処理するパイプライン構造



データー時保存とトリガーを並列処理するパイプライン構造



L1ミューオントリガー

#### 使用される座標系: 擬ラピディティー (η)



<sup>4</sup>/21

# L1ミューオントリガー

#### L1ミューオントリガー検出器:TGC (|η| > 1.05), RPC (|η| < 1.05)



<sup>4</sup>/21

# L1ミューオントリガー

L1ミューオントリガー検出器:TGC (|η| > 1.05), RPC (|η| < 1.05) → 層間のコインシデンスにより、横運動量下限値を測定しトリガーを発行



飛跡再構成していない → L1トリガーにおける横運動量分解能は低い

#### 2012年実データにおけるミューオンのL1トリガーレート

L1ミューオン: 横運動量閾値20GeVのL1ミューオントリガー通過したミューオン候補 真ミューオン: 全検出器を駆使して精密に再構成できた横運動量20GeV以上のミューオン



L1ミューオンには多数の背景事象を含んでいる

特に、エンドキャップ領域におけるL1ミューオントリガーの精度を 高めることで、背景事象を大幅に削減できる可能性がある。

# エンドキャップミューオントリガー検出器



- Thin Gap Chamber (TGC)
  - ✓ 多線式比例計数型
  - ∨ ワイヤーとストリップによる2次元読み出し
  - ✓ 3ステーション (3層, 2層, 2層)
    - ➡ストリップはすべてのステーションで2層
  - v 1.05<|η|<2.4, 0<Φ<2π</pre>

• コインシデンス要求



# TGCにおけるL1ミューオントリガーアップグレード

#### LHCアップグレード

• 重心系エネルギーの向上 (13-14 TeV)により、新物理探索の感度を高める。

20	13 20	15 20	018	2020	2022	2025~
Run-1	アップグレード1	Run-2	アップグレード	2 Run-3	アップグレード3	Run-4

#### L1ミューオントリガーアップグレード (横運動量閾値 20 GeVに対して)

- Run-2:
   瞬間ルミノシティー: 2 x 10<sup>34</sup> cm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>
   ハードウェアアップグレードなし
   → 現行トリガー論理の改良によるL1トリガーレート削減 (研究1)
- Run-3:
   瞬間ルミノシティー: 3 x 10<sup>34</sup> cm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>
   エンドキャップ内部にミューオントリガー検出器導入
- Run-4:

瞬間ルミノシティー: 5 x 10<sup>34</sup> cm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>

ハードウェアの一新

→新たなトリガー論理の構築によるL1トリガーレート削減 (研究2)

研究1

### 磁場の弱い領域におけるトリガー論理の改良

### 磁場の不均一性とTGCヒット分布

・バレルトロイド磁場ととエンドキャップトロイド磁場の境界領域
 1.3< |η|<1.7, Φ=0もしくはπ/8 付近で弱い磁場領域が存在</li>



横運動量による飛跡の変化が小さくなり、正確な横運動量測定ができない

L1トリガー領域選別



- R値が非常に大きい領域をL1トリガーに使用しない手法 (RoI Mask)を L1トリガーに導入
  - ✓ 横運動量20GeV以上のL1ミューオン候補の検出効率を99%に維持した際、
     L1トリガーレート削減率が最大になるR閾値を用いてRoI Maskを行う。
     (=弱い磁場領域の選別 → R>0.003領域排除)

# RoI Mask前後におけるη分布および横運動量分布



横運動量閾値20 GeVの場合

横運動量20GeV以上のL1 ミューオン候補の検出効率 = 99 % L1トリガーレート 削減率 = 12 %

横運動量20GeV以上のL1ミューオン候補の損失 1%だけで、約10%の背景事象を削減できる

2015年からのデータ取得に導入される。

#### 研究2

Run-4に向けた新たなL1ミューオントリガー論理の構築



### Run-4に向けたトリガーアップグレード

• 瞬間ルミノシティー向上に耐えるために、L1トリガーハードウェアの取り替え

➡ L1トリガーのパイプライン強化



- トリガーアップグレードなしの場合におけるミューオンのL1トリガーレートの見積もり: 40 kHz ➡L1トリガーレート及び処理時間は余裕
  - 低い横運動量閾値を設定できる可能性
  - HLトリガーの自由度(処理時間及び事象数低下)増加に伴い、 精度を高められる可能性

飛跡再構成を用いた新たなL1ミューオントリガー論理の構築

## 新たなL1ミューオントリガー論理の流れ

各層間のコインシデンスを要求
 ➡ 現行よりコインシデンス自由度増加



現行論理ではこの段階で、大雑把に見積もった 横運動量下限値をL1トリガー演算器へ送る。

• 飛跡再構成を行う。



- 磁場前後の飛跡差を用いた飛跡選別を行う。
  - ➡ 横運動量分解能向上させ、L1トリガーレート削減が目的





#### 飛跡再構成手法の導入



横運動量20 GeVのシングルミューオン モンテカルロサンプル使用し、飛跡再構成 に伴うTGCの角度分解能の見積もり





#### 真ミューオンの検出効率の評価

真ミューオンの検出効率

TGCの飛跡再構成数

真ミューオン数

	20 GeV シング モンテカル	ブルミューオン ロサンプル	2012年実データサンプル	
	新しい論理	現行論理	新しい論理	現行論理
真ミューオンの検出効率 (1.1 <  η  < 2.4)	0.98	0.95	0.98	0.95

=

モンテカルロサンプル



コインシデンス自由度増加により、 真ミューオンの検出効率が向上

新しい論理において、真ミューオンの 検出効率は十分取得可能であることが 立証できた。

### 磁場前後における飛跡選別手法



### 磁場の強さとβ閾値への要求

#### 磁場の強さと相関関係

- 磁場の強い領域: |β|と横運動量の強い相関
- 磁場の弱い領域: |β|と横運動量の弱い相関





真ミューオンの検出効率が95%以上になるβ閾値を要求し、この時の L1トリガーレート削減率を評価する。

\*横運動量閾値20GeVの実データ使用

#### L1トリガーレート削減の評価



1.3 < |n| < 2.4 領域におけるL1トリガーレート削減率は、

•約36%削減

● 横運動量20GeV以下のL1ミューオン候補を効率的に削減できている
 横運動量分解能を高め、L1トリガーレートを大幅に削減できることを
 示した。

新物理探索を行うために、エンドキャップミューオントリガー検出器における L1トリガー論理の改良を行った。

磁場の弱い領域におけるトリガー論理の改良

たった1%の横運動量20GeV以上のL1ミューオン候補の損失だけで、
 約10%の背景事象を削減できるトリガー改良を行えた。

Run-4に向けた新たなL1ミューオントリガー論理の構築

 ・飛跡再構成及び飛跡選別をL1トリガーに導入することで、約36%の背景 事象を削減できるほどのトリガーの横運動量分解能を向上できた。

⇒ 更にL1トリガーにおける横運動量閾値を下げれる可能性を示唆

#### ルミノシティー増強に対応出来るL1ミューオントリガー論理 を構築できた。

# backup



### Introduction



### Run-1におけるトップスクォークの探索領域



<sup>24</sup>/21

# ミューオン横運動量とAcceptance fractionの関係



横運動量閾値20GeVの場合 → SUSYのAcceptance fractionは0.6

<sup>25</sup>/21

# ミューオン横運動量とAcceptance fractionの関係



<sup>25</sup>/21

# ミューオン横運動量とAcceptance fractionの関係



横運動量閾値15GeVの場合 → SUSYのAcceptance fractionは0.7以上になる

研究1

### 磁場の弱い領域におけるトリガー論理の改良



#### 各η領域におけるTGCヒット数/事象

L1トリガー閾値 15GeVに対するTGCのヒット数分布図。

→ 磁場が弱い領域では非常にヒット数が多くなる。



27/21

# L1トリガー領域選別

横運動量20GeV以上の L1ミューオン候補の検出効率 = RoI Mask後の横運動量20GeV以上のL1ミューオン候補数 RoI Mask前の横運動量20GeV以上のL1ミューオン候補数

L1トリガーレート  
削減率 = 1 - 
$$\frac{\text{RoI Mask後のL1ミューオン候補数}}{\text{RoI Mask前のL1ミューオン候補数}}$$



## RoI Mask前後におけるη分布および横運動量分布



横運動量閾値20 GeVの場合



# L1トリガー閾値15GeVの場合におけるRoI Mask結果

Run-2でL1トリガー閾値 15GeVを使用する可能性あり。

→ 閾値20GeVで得たR閾値(0.003)を閾値15GeVの場合に対応させた時 にどうなるかを調べた。



<sup>30</sup>/21

#### 研究2

Run-4に向けた新たなL1ミューオントリガー論理の構築

#### 新たなL1ミューオントリガー論理の性能評価

#### • オフラインミューオン候補の検出効率の評価

- > シングルミューオンモンテカルロサンプル
  - 横運動量 : 10 GeV, 20 GeV, 100 GeV, 1 TeV
  - η領域 :1.05 < η < 2.4</li>
  - Φ領域 : -0.05 < Φ < 0.85</li>
  - 電荷 : 両方共存在
- ✓ 2012年実データ
  - 重心系エネルギー :8 TeV
  - 瞬間ルミノシティー : 5.5 × 10<sup>34</sup> cm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>
  - バンチ間隔 : 50 ns
- L1トリガーレート削減の評価
  - ✓ 2012年実データ
    - 重心系エネルギー :8 TeV
    - 瞬間ルミノシティー : 5.8 × 10<sup>32</sup> cm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>
    - バンチ間隔 : 25 ns
    - HLトリガーなし

# Run-4におけるL1ミューオントリガー回路の草案



<sup>33</sup>/21

コインシデンスパターンについて

#### 真ミューオンの検出効率を落とさないようにするために、コインシデンスの 層数を決定している。



<sup>34</sup>/21

\*1event中の要求を満たした層数をプロット



Friday, January 25, 13

<sup>35</sup>721





#### 角度分解能のη依存性



<sup>37</sup>/21

### 実データによるオフラインミューオン候補の検出効率 の評価手法

- 実データは現行のトリガー通過後のデータである。
  - ・ 現行のトリガーのバイアスがない事象のみを使用し、新たなトリガー
     論理の評価を行う必要がある。
  - ⇒ タグ・プローブ法を用いたトリガー評価



#### 真ミューオンの検出効率の評価

真ミューオンの検出効率 =

TGCの飛跡再構成数

真ミューオン数

	20 GeV シンク モンテカル	ブルミューオン ロサンプル	2012年実データサンプル	
	新しい論理	現行論理	新しい論理	現行論理
真ミューオンの検出効率 (1.1 <  η  < 2.4)	0.976	0.947	0.976	0.954

実データサンプル

実データサンプルにおいても、新しい 論理の性能を確認しており、MCと同 等の結果が得られている。



## 実データを用いた新たなL1ミューオントリガー倫理における 横運動量分布

Case 2: オフライン検出効率 98%

#### Case 1: オフライン検出効率 95%



40/21