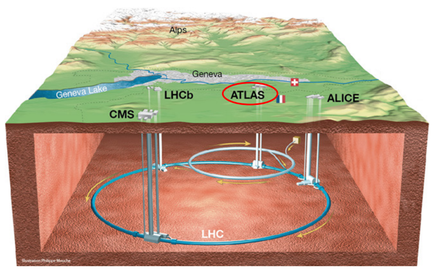
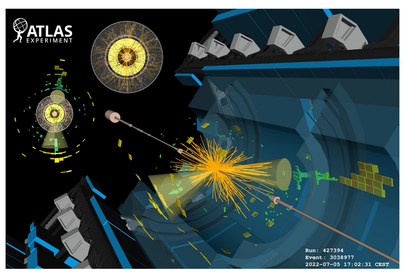
LHC-ATLAS実験 オンライントラッキング改良のための ヘテロジニアスコンピューティングの研究

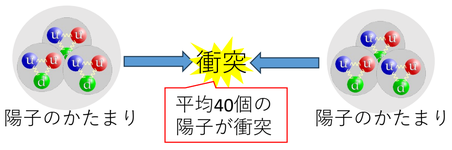
神戸大学 M1 村田優衣

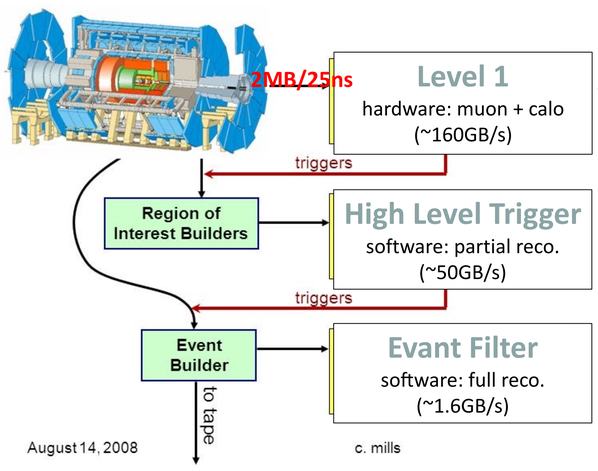
ATLAS実験





トリガーシステム





- 1回の衝突でのデータサイズは2MB
- 衝突は25nsに1回

全てのデータを保存すると、1秒だけでも10TB!!

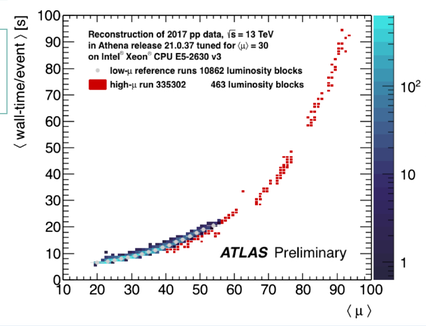
データ量が膨大なため、物理事象の選別を行うトリガーシステムが必要不可欠

ハードウェアによる高速で大まかな判定を行うトリガーの次の段階で使用する範囲を決定する

ソフトウェアによるオンライン飛跡再構成にもとづいた精密な判定を行う

さらに精密な飛跡再構成を行う

全てのトリガーを通過したイベンのみ保存



HL-LHCで予想されるイベントに対しより多くの演算能力が必要

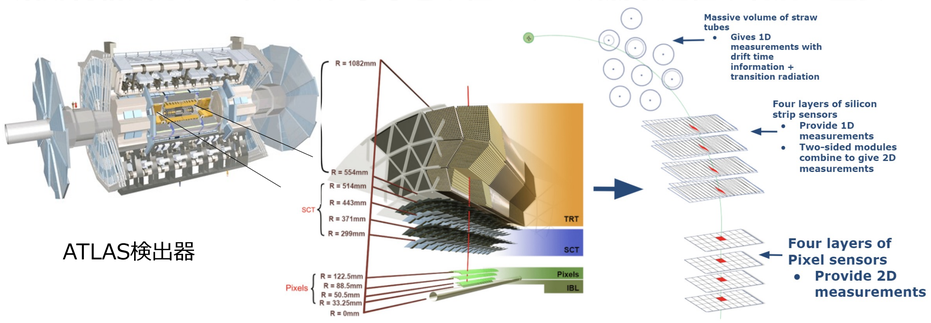
- 計算時間
- 計算機台数(スペース)
- 消費電力量
- 精度の低下

が問題

少ない計算資源で、消費電力を抑えながら高速にしたい！

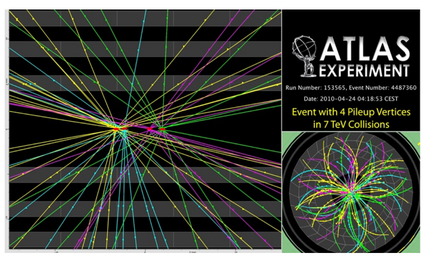
tracking

飛跡再構成は、ヒッグス粒子などの種々の生成崩壊過程の判別に重要



ATLAS検出器

ヒット情報から飛跡を再構成



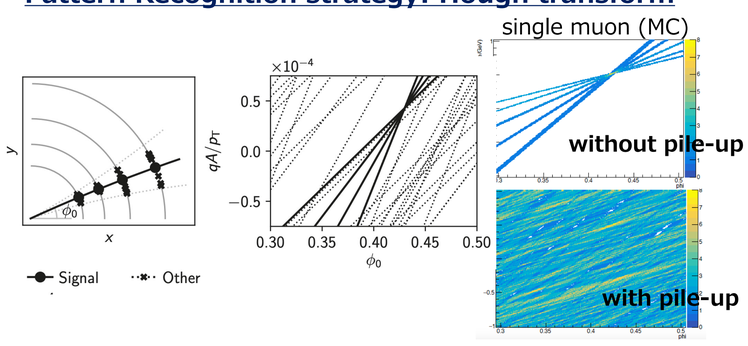
飛跡再構成は、
トリガーの演算の大部分を占める

飛跡再構成において、、
- **効率の良いアルゴリズム**
- **代替処理アーキテクチャ**

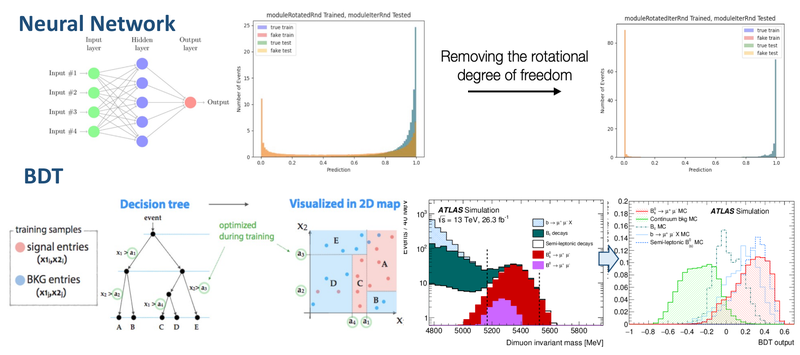
の採用を検討

Tracking with ML

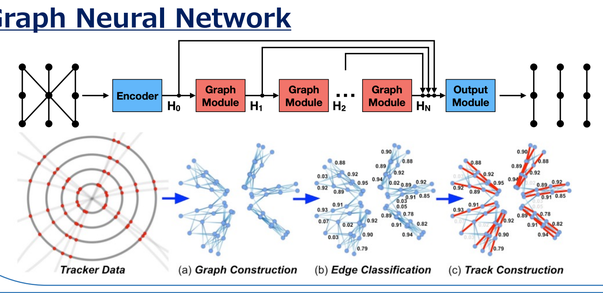
Pattern Recognition strategy: Hough transform



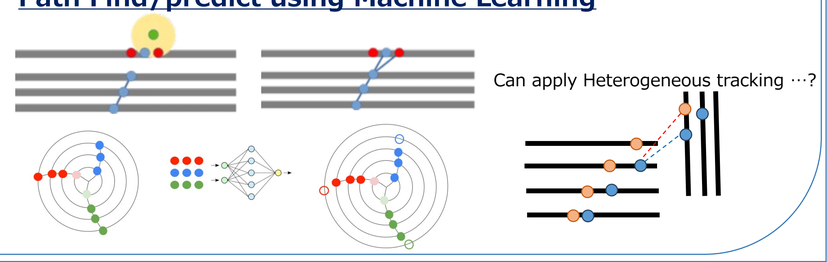
Fake Rejection using Machine Learning



Graph Neural Network

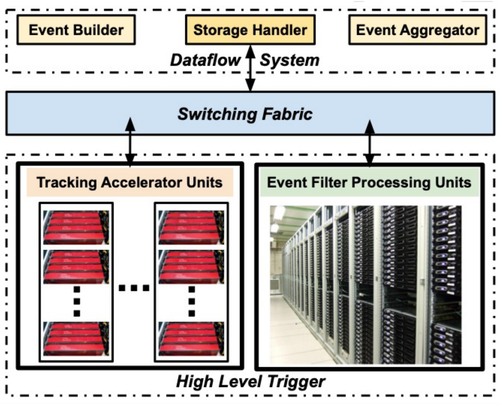


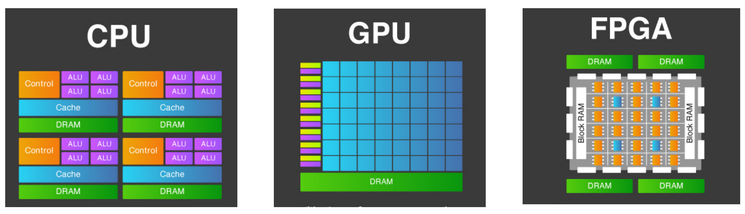
Path Find/predict using Machine Learning



HL-LHCに向けての改良案

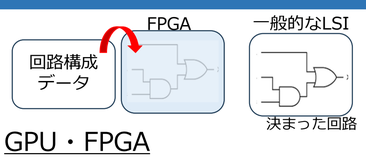
ヘテロジニアスコンピューティング：1つのプログラムで異なるプロセッサを組み合わせて演算を行うこと





low — **Processing speed** — fast

easy — **operation** — hard



GPU・FPGA

- ✓ **並列計算が得意で高速**
- ✓ **機械学習との相性がいい**
- ✓ **一般的に消費電力量が少ない**

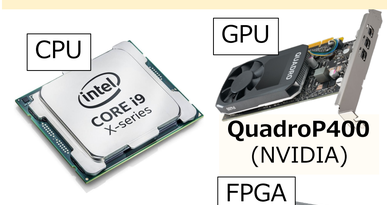
と言われている

機械学習：行列計算が多い

GPUやFPGAで並列計算させることで、CPUよりも高速化できる？

トリガーシステムに導入するメリットを評価するため、

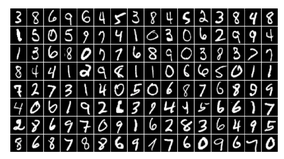
MNISTデータセットを使用して、 CPU, GPU, FPGAを使用した場合の推論時間・消費電力を測定



Core i9-10920X
Core i9-13900K
(Intel)

QuadroP400
(NVIDIA)

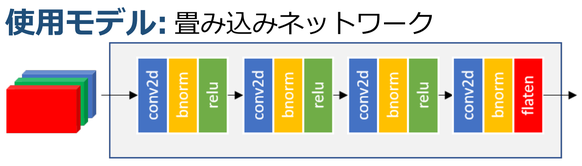
Alveo U200
(xilinx)



MNIST dataset
手書き文字データセット

評価方法

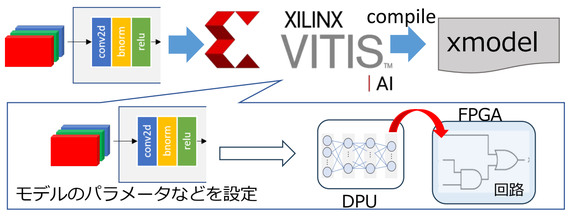
使用モデル: 畳み込みネットワーク



チャンネル数 (1,32) (32,64) (64,128) (128,10)

バッチサイズ(1度に転送,推論するデータ数)：1

FPGA：量子化・HLSが必要
今回はVitis-AIを使用

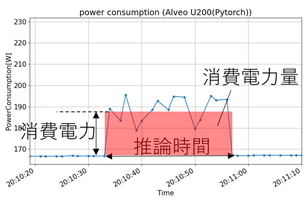


精度(正答率)

device	accuracy
Alveo U200	0.98
QuadroP400	0.98
core i9-13900K	0.98

消費電力：ワットチェッカーを用いて測定

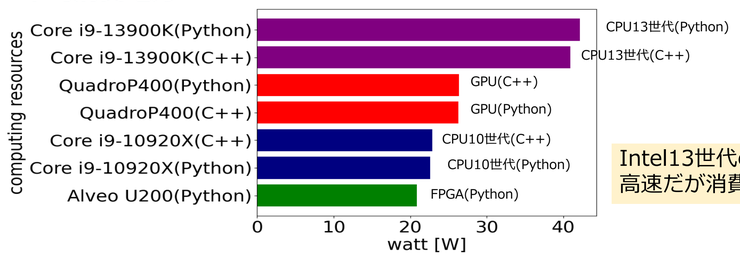
RS-BTWATTCH2
(RATOC Systems)
測定範囲: 1W – 1500W
測定間隔: 1s 精度: 1%



測定結果

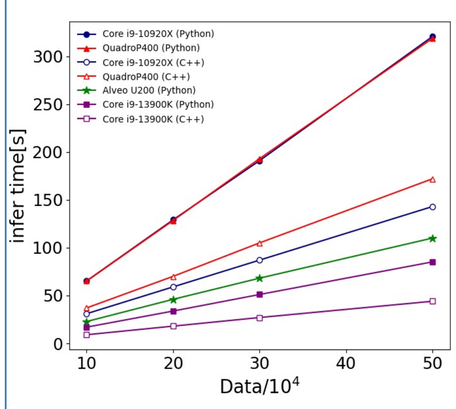
CPUのスレッド数が1の場合

平均消費電力

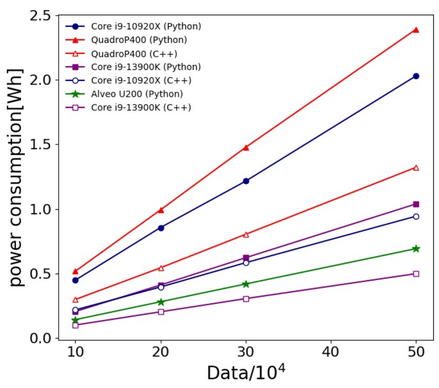


Intel13世代のCPUは高速だが消費電力も高い

推論時間

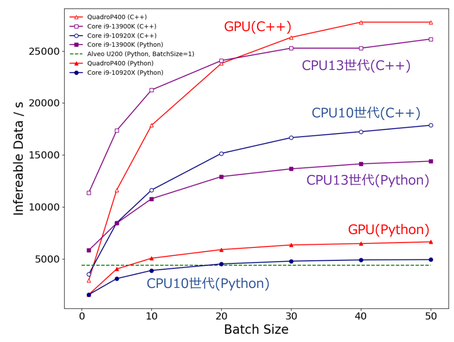


消費電力量



- Intel13世代は高速なため、消費電力量は低くなっている
  J = W × s
- 共通してC++の方が速いが消費電力はそれほど変わらない
- あまりGPUの利点を活かせていない

バッチサイズを変化させた場合

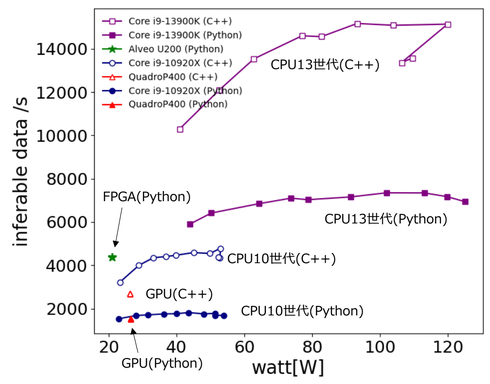


バッチサイズが大きくなると
- 転送時間の割合が少なくなる
- 並列計算が多くなる

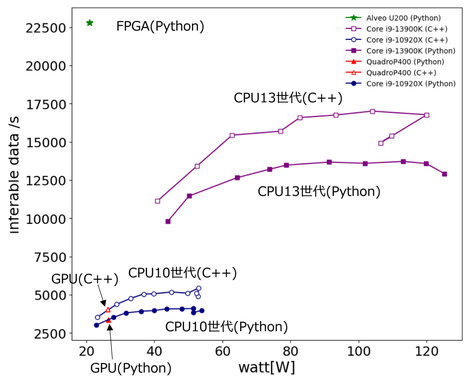
GPUの利点を活かせる

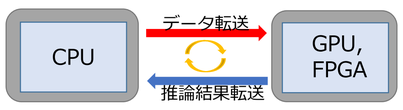
CPUのスレッド数を変化させた場合

転送時間込み



推論時間のみ(転送時間なし)





データ転送時間の影響が大きい
CPUに対してかなり推論速度が速い場合、十分メリットがあると考えられる