

# データ駆動型プロセッサによるランダムフォレスト分類器の実装法

菊田 勇人 【コンピュータ構成学研究室】

## 1 はじめに

IoT (Internet of Things) 技術の発展に伴い, IoT デバイスにはより高度な処理性能と低消費電力性能が求められている. これらの性能を有するプロセッサとして, データ駆動型プロセッサ (DDP: Data-Driven Processor) が注目されている. 更に, 近年では, クラウドへの依存を低減するために, IoT デバイス上で直接 AI 処理を行うエッジ AI の利用が拡大している. このようなエッジ AI に適した分類タスクの機械学習手法として, ランダムフォレスト (RF: Random Forest) がある. DDP は RF における決定木探索の並列処理に適している一方, 従来の DDP の ISA は単純なアドレス指定に基づくメモリアクセス演算のみであるため探索に要する命令数も膨大になる上に, 並列化の効果を難しい課題があった.

そこで本研究では, RF 向き複合命令の設計とそれを実行するメモリ機構の実装を行い, これらを備えた DDP による RF 分類器の実装法を示す.

## 2 RF 向き複合命令とその回路実現法

本研究では, 決定木中の節点情報 (特徴量 ID, 閾値, 子節点 ID (左/右), クラス ID) のうち, 特定の項目のみを学習モデル用メモリから参照する命令群 (5 命令) を導入した. これらの命令では, 探索中の節点 ID を参照後, 対応する節点情報を参照する. さらに, 別途, 節点 ID を更新する命令を導入した. これにより, 節点 1 個分の探索プログラムを作成するだけで, 各節点 ID でインスタンス化して任意の深さの決定木を探索でき, かつ, 決定木を color で識別することで並列探索が可能になる. 結果, 探索に要する命令数を大幅に縮退できる.

### 2.1 探索中の節点情報管理機構 NODEMEM

NODEMEM では, color でアドレッシングして節点 ID を参照/更新し, この節点 ID を後続する RFMEM のアドレスとする. このため, 両者のメモリ機構は, DDP の隣接するステージに実装した. NODEMEM の更新時には, イネーブル信号 RF\_EN に従い, 節点 ID を現在の探索節点 ID に更新する.

### 2.2 学習モデル用メモリ機構 RFMEM

RFMEM の構成を図 1 に示す. 本機構は, 節点 ID node\_id をアドレスとして, 決定木の各節点の特徴量 ID, 閾値, 子節点 ID (左/右), クラス ID の 5 種類の情報を保存する ROM を備えている. そして, どの項目を参照するかを示す rf\_load 信号を基に必要な情報を選択する RF\_SELECTOR, パケットのヘッダ情報を結合する RF\_MERGE, 複合命令実行時以外に使用される other\_data との選択を行う MUX により構成される.

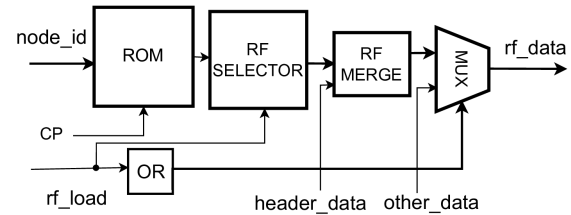


図 1 RF 学習モデル用メモリ機構 RFMEM の回路構成

## 3 評価

本研究で提案した複合命令を活用した並列探索プログラムを作製した結果, 従来 ISA では, 決定木の総節点数  $N$ , 決定木数  $T$  に対して,  $N \times T \times 3$  命令であったが, 提案命令セットでは,  $N, T$  に依存せずに, 18 命令で実装できた.

さらに, QB を備えた DDP[1] を対象として, 提案複合命令を実行可能な回路を追加実装した DDP を, AMD 社 FPGA ZYNQ-7020 上に実現し, 手書き数字画像の RF 探索を並列実行した際の総探索時間を評価した. 本評価では, MNIST 訓練画像 60000 枚で, 深さ制限 10, 決定木数 24 として Scikit-learn で構築した学習モデルを用いた. 図 2 に, 並列度 (並列に探索する決定木数) 1~8 の場合について, 決定木 24 本の総探索時間および性能向上比を示す.

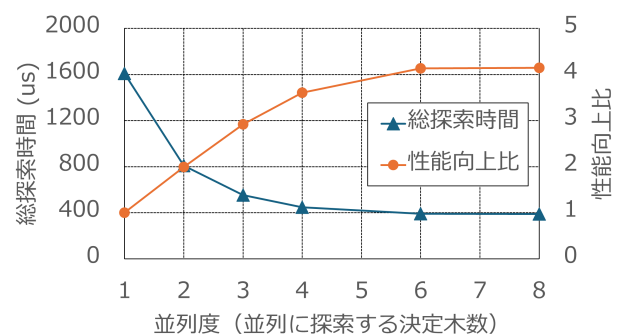


図 2 提案 RF 実装法の並列化効果

並列度 1 から 3 では並列度と性能向上比が比例関係にある. 一方, 並列度 4 以上では徐々に飽和する結果となった. これは, DDP 内を周回するパケット数が徐々に増加し, パイプライン上パケット転送に遅滞が発生した影響によると考えられる.

## 参考文献

- [1] 山下拓巳, “負荷変動耐性を備えたデータ駆動型プロセッサの構成法” KUT 修士学位論文, 2026.