

超次元計算（Hyperdimensional Computing）アクセラレータ

ー 高速で低消費電力なAIを身近な存在に ー

井阪 友哉（奈良先端科学技術大学院大）

背景と提案内容

Hyperdimensional Computing（HDC）はデータを（数千から数万次元の）超次元ベクトルで表現し、分類タスクへ応用可能。従来の機械学習法と比べて、「**高速**」「**低消費電力**」「ノイズに対して**ロバスト**」な特性を持つ。

HDCは、いくつかの認識タスクにおいて、従来の機械学習手法と**同程度の精度**を、**高速かつ低消費電力**で達成できる。

精度 (%)	HDC	従来
言語認識	96.7%	97.9%
EMG認識	97.8%	89.7%
音声認識	95.3%	93.6%
画像認識	80.4%	99.7%

HDCを使ったアプリケーションでは、データを超次元ベクトルに**符号化**し、独自の演算 **Bind, Permutation, Bound** を組み合わせて処理する。
→ CPUで実行するのは**高コスト**

	Bind	Permutation	Bound
演算	ビットワイズ排他的論理和	循環シフト（単項演算）	ビットワイズ多数決関数
意味	情報の関係づけ	情報の順序付け	異なる情報を記憶

このプロジェクトでは…

超次元ベクトル計算を加速させる**新たな計算基盤を提案**
→ **高速かつ低消費電力かつプログラマブルかつCPUと協働**

未来の話

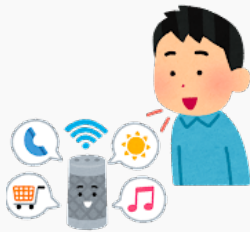
本プロジェクトで開発した新たな計算基盤が普及すれば…

HDCアプリケーションの**研究者**や**開発者**は実験や開発に必要な**試行錯誤のサイクル**を大幅に**改善**できる。

その結果、研究が進むと、精度と速度がさらに**改善されたHDCアルゴリズム**が生まれる可能性もあり、開発が進むと、**新しいHDCアプリケーション**とその**利用例**が生まれる。

特に、エッジサーバーやIoTのような**エッジ端末**にとって、高速で低消費電力でロバストなHDCは**すごく相性が良い**。電力消費が激しい従来の機械学習よりも**環境へ優しく**、電力や端末価格のような**コストも安く抑えられる**ためスマートスピーカやウェアブルデバイスのように、活用範囲は今後も拡大するだろう。

本プロジェクトは、このような**HDCの活用と推進**に向けた未来を**サポートする鍵**となる取り組みである。

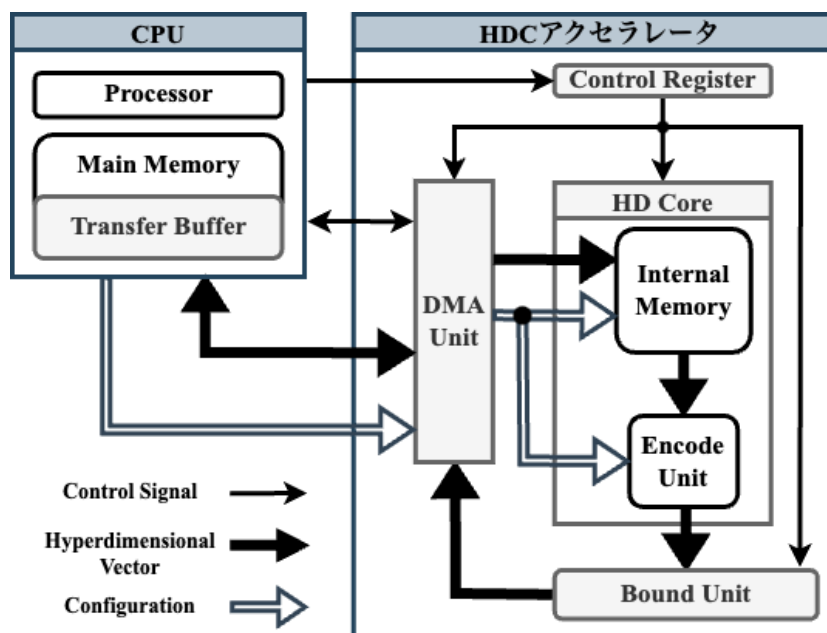


HDCアクセラレータ：

HDC独自に定義された算術演算を高速化するための右図のようなHDCアクセラレータを開発した。

HDCアクセラレータの特徴は次の通り。

- **高速かつ低消費電力**なHDC演算器
- 新しい符号化方法に対応できる**プログラマビリティ**
- **従来のCPUで協調動作**することで豊富なソフトウェア資源を活用できるアーキテクチャ



[PYNQ-Z1, Xilinx]

提案するアーキテクチャは、Zynq SoC を搭載した「Xilinx PYNQ-Z1」に実装した

成果物

ライブラリ：

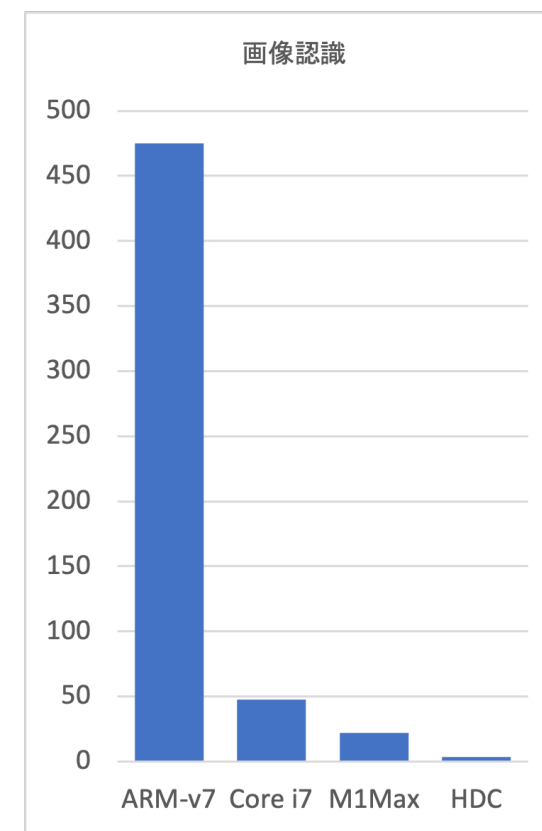
本プロジェクトで開発したライブラリを使うことで、ユーザは**関数を呼び出すだけで**CPUからHDCアクセラレータに指示を出すことが可能になっている。例えば、文献[1]で示されているN-gramの符号化方式は下のようなコードをC言語で書くことになる。

```
① Load_1(0); // アドレス0からレジスタ1にロード
② Load_2(1); // アドレス1からレジスタ2にロード
③ Permute_2(1); // レジスタ2の値を1回Permutation
④ Bind_p11(); // レジスタ1とPermutationの結果をBindしレジスタ1に格納
⑤ Load_2(2); // アドレス2からレジスタ2にロード
⑥ Permute_2(2); // レジスタ2の値を2回Permutation
⑦ Bind_p12(); // レジスタ1とPermutationの結果をBindしレジスタ2に格納
⑧ Bound_2() // レジスタ2の値をBound
```

[1]
A. Rahimiet al., "A robust and energy-efficient classifier using brain-inspired hyperdimensional computing," Proc. ISLPED, pp. 64-69, 2016.

HDCアプリケーション：

認識タスクの一例として、画像認識、音声認識、言語認識のHDCアプリケーションを実装した。それぞれ **M1 Max** (3.00GHz)、**Intel Core i7** (1.80GHz)、**ARM-v7 Cortex-A9** (0.666GHz)、**HDCプロセッサ** (0.125GHz) で実行し、速度の評価を行ったところいずれの結果においても本HDCアクセラレータは**低消費電力**でありながら**高速に実行できた**。



画像認識における速度比較結果