

## 審査の結果の要旨

氏名 夏文軍

本論文は、「A Template Reduction Algorithm using Critical Boundary Vector and an Implementation to an On-Chip Learning VLSI (和題:主要境界ベクトルを用いたテンプレート削減アルゴリズムとオンチップ学習 VLSI への実装)」と題し、全6章ならびに appendix から構成され、英文で執筆されている。機械学習、特にパターン認識の学習および分類を低消費電力で行うために有効な手法として、テンプレート数を削減することが有効であるが、削減のために必要な計算量が膨大でありまた認識精度の低下が懸念されるという問題に対し、認識精度を落とさず、かつ効率的にテンプレート数を削減するためのアルゴリズムを提案し、ソフトウェアシミュレーションならびにハードウェア実装によってその有効性を示した研究結果についてまとめたものである。

1章は Introduction (序論) である。機械学習、特に低消費電力なハードウェア実装が可能な学習アルゴリズムならびにハードウェアの先行研究を論じている。特に最近傍探索に対して有効な手法として、サポートベクトルマシン(SVM)から着想を得た、主要境界ベクトル(Critical Boundary Vector)の概念を導入している。

### 2章 Overview of Learning Algorithms for Nearest Neighbor and Template

Reduction では、最近傍探索における学習アルゴリズムならびに、ハードウェア実装に適した分類器のアルゴリズムについて、本論文の主題である、テンプレート数の削減アルゴリズムと、そのハードウェアによる高速化について調査考察を行っている。

3章 Critical Boundary Vector Concept in Nearest Neighbor Classifiers using K-means Centers for Efficient Template Reduction では、主要境界ベクトル (CBV) という新しい概念を用いたテンプレート削減手法 (圧縮 Condensation 手法) と、その詳細について論じている。この手法は、クラスの境界付近にあるデータを

効率的に残しながら、テンプレートとして用いるデータの個数を自動的に削減する手法であり、提案した方式を用いて クラス数 100、学習データ数 4800、分類データ数 2400、64 次元データの分類をソフトウェアによって行ない、テンプレートを全て用いた 1-NN 手法と比較して正解率が同等でテンプレート数を 4800 から 2727 に自動的に削減したことでその有効性を実証している。

4 章 A Nearest Neighbor Classifier Introducing the Concept of Critical Boundary Vectors With an Enhanced Boundary by Global Characterization では、誤分類が生ずる主要因が、境界付近にクラスの境界をまたいでデータが存在することであると論じ、このようなデータを自動的にテンプレートから除去する手法(CBVNN)を提案した。24 種の小規模データセットならびに 4 種の大規模データセットに対して、7 種類の既存テンプレート削減手法並びに第 3 章の手法を適用し、比較によって、提案した CBVNN 手法が最も高い分類精度を示すことを実験的に検証した。特に、類似手法の中で最も精度の高い HMNEI 法と比較して、HMNEI 法の 81.6%に対して提案手法 (CBVNN) は 83.9%と、高い分類精度を維持したまま、学習時間を 3 分の 1 に削減できることを実験によって示している。

5 章 A FPGA-based Multi-Class Classifier Having an Low-Power On-Chip Learning Capability では、4 章で考案した CBVNN アルゴリズム FPGA ハードウェアに実装し、計算所要時間ならびに消費電力について実測を行い議論している。考案した行並列アーキテクチャによって、汎用 CPU によって処理を行った場合と比較して学習時間について 3.9 倍の高速化と 363 分の 1 の低消費電力化、分類時間について 8.25 倍の高速化と 995 分の 1 の低消費電力化を得た。この結果を類似の演算加速ハードウェアの性能と比較し、単位データセット当たりの学習の所要クロック数が少ないことを示した。

6 章 Conclusions は総括であり、本研究の成果をまとめている。

以上これを要するに本研究は、限られたリソース下で効率的にパターン認識を行なうために、主要境界ベクトルという概念を用いたベクトル数削減のための新規アルゴリズムを提案し、シミュレーションならびにハードウェア実装によってその有効性を示したものであり、電気電子工学の発展に資するところが少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。