

脳に倣うコンピューティングシステム — 人間的認知能力の実現を目指して —

加納 敏行 西原 康介

大阪大学 NEC ブレインインスパイヤードコンピューティング協働研究所

〒585-0871 大阪府吹田市山田丘 1-5

E-mail: t-kanoh@ay.jp.nec.com k-nishihara@az.jp.nec.com

あらまし ディープラーニングを始めとする、高性能かつ大規模な計算資源を用い、神経回路網ベースの人工知能の研究開発と実用化が進展してきている。一方、脳科学の進展に伴い、ヒトの脳はわずか 20W の消費エネルギーと 2kg 程度の神経細胞の塊でマルチモーダル入力を統合的に認知し、意思決定に用いることができる能力を保有していることがわかっている。本稿ではこの認知能力を支えるヒト脳の機能や構造の解明を通じて、高効率かつ柔軟な人工認知システムの実現を目指す取り組みについて紹介する

キーワード 人工知能、脳科学、脳型コンピューティング

Brain Inspired Computing System — Aiming to realize the human like cognitive computing —

Toshiyuki KANOH Kosuke NISHIHARA

† Osaka University NEC Brain Inspired Computing Research Alliance Laboratoies 1-5 Yamadaoka, Suita-city, Osaka,
585-0871 Japan

E-mail: t-kanoh@ay.jp.nec.com k-nishihara@az.jp.nec.com

Abstract Neural network based artificial intelligence like deep learning research makes remarkable progress by using huge and high performance computing resource. On the other hand, brain science research clarifies that human brain realize a multimodal, flexible and efficient cognitive function by only 20w energy consumption and about 2kg weight body. This paper introduces our challenge realizes the artificial cognitive system by following the result of brain function and structure analysis

Keywords Artificial Intelligence, Brain Science, Brain Inspired Computing

1. はじめに

ヒトはわずか 20W の消費エネルギーと 2kg 足らずの神経細胞により実現されているコンパクトな脳というハードウェアを持ち高度な認知能力を持っている。近年、脳科学の進展により、脳の機能、構造（アーキテクチャ）の解明が進んできている。我々は、これら脳科学の研究成果や知見に基づく新たな人工知能システムの実現の検討を進めてきた[1]。本稿ではディープラーニングとは異なるトップダウンアプローチで、脳科学の知見を応用することで脳に倣う人工知能システムの実現を目指す取り組みについて紹介する。

2. ヒト脳の認知機能に倣う

本研究ではヒト脳がもつ効率的かつ柔軟な認知機能に着目し、それらの研究成果を応用した「脳型認知

分類システム」の実現を目指す。脳の認知機能における最新の研究では、脳は限られた処理リソースを効率的に活用し、これにより柔軟かつ高速な処理を実現していることが明らかになりつつある。例えば、表情認知における 2 つの認知経路の存在[2]や、バイオリジカルモーション認知 [3]など、状況（目的）に応じた効率的なリソースと伝達経路を選択するメカニズムの存在が解明されつつある。また、運動の学習などにおける連続データの学習や処理において、連続量をそのまま扱うのではなく、脳が離散データとして再構成している可能性[4]や、新たな外部デバイスを拡張身体部位として操作する技能を獲得する過程において、拡張部位に対応する体性感覚領域が現れる脳の可塑性[5]も指摘されている。

これら脳の認知機能における研究成果に基づき、計算機上で実行可能なモデルを確立することで、ヒト脳が持つ認知機能を人工的に実現する脳型認知分類シス

テムの実現を目指す。

3. 脳型認知分類システム

3.1. 認知分類システムの機能

脳型人工知能として実現を目指す認知分類システムは以下の機能を持つ。

- 高速処理と精密処理の使い分けによる利用資源の最適化
- マルチモーダル処理により、他モーダル情報を基にした補間、類推による曖昧や欠損への対応
- 目的に応じてカテゴリ分類、未学習のカテゴリの対象でも新たなカテゴリとして自律的に内部形成
- 判断プロセスの見える化、外部からの制御

また、上記機能を実現するに当たり、脳科学において解明されつつある2つの認知ルート、つまり「高速で粗い処理ルート」と、「低速で精緻な処理ルート」が実現のポイントとなる。前者は危険回避や攻撃防御などに用いられるルートであり、低負荷かつ省資源で低遅延の処理が実行される。一方後者は顔の詳細認識、物体の形状・色等の識別ルートであり、資源の最大活用により高精度化を図る処理が実行される。人の脳がコンピュータに比べてはるかに少ないエネルギーで非常に効率的な情報処理を行うことができるのは、これらの処理を必要に応じ使い分けているからと考えられる。この高速処理と精密処理の使い分けの機構に学ぶことで、現存の人工知能とは異なる低計算負荷で実時間応答を可能にする認知分類技術確立する。

脳における知覚刺激の情報処理は、異なる知覚であっても神経細胞の発火と言う共通の形で行っている。複数モダリティでも、脳内では入力感覚器に依存しない形で統合され処理されている。マルチモーダルによる多面的な刺激の解釈は、例えあるモダリティの情報が欠けていたり曖昧であったりしても、他モーダル情報を基にした補間、類推を可能にする。本システムは、五感にとどまらず様々なセンサ群からの情報を共通の形式に基づいて統合することで、より既存知識や他モーダル情報を基にした曖昧や欠損への対応が可能な認知分類を実現する。

人は知覚を単に要素分解するだけではなく、場面に則して複数チャンネルで情報を抽出、加工し、目的に応じて再統合することで高度な認知を実現していると言われている。入力情報を個別の要素に分解するボトムアップ処理、判断目的や判断指針に応じて必要とする

要素の選択や欠損の補完などのトップダウン処理を組み合わせることで、正確かつ効率的な分類や、未学習カテゴリでも自律的なカテゴリ形成可能とする認知分類技術確立する。

深層学習では入力データから最適な内部表現を表す特徴量を抽出し、その組み合わせで情報を再構築する。しかし、その抽出は自動で行われるため、目的に沿ってものが選ばれるとは限らない。人が外部からの干渉を受けながら内部機能を形成するメカニズム（発達メカニズム）に倣うことで、カテゴリ分類等の内部プロセスが観測可能で、外部から入力される目的に基づき内部表現が修正可能なインタフェース環境を備えた脳型人工知能基盤を開発する。

3.2. 認知分類システムの概念設計

認知分類システムの全体概念図を図1に示す。入力情報を内部情報として符号化する符号化モジュール、複数モダリティの特徴データをカテゴリ化、統合する統合モジュール、カテゴリ分類を行う決定モジュールから構成される。各モジュールはさらに機能単位のサブモジュールから構成される。

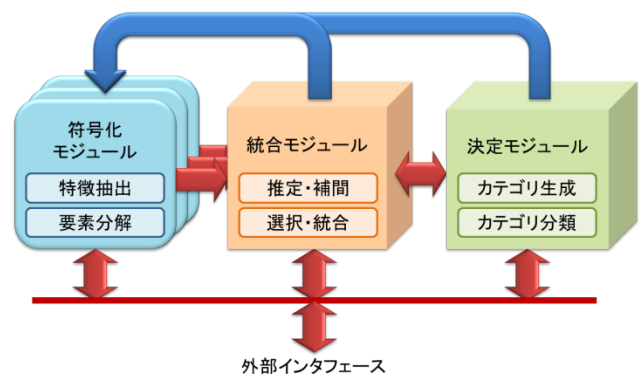


図1 全体概念図

符号化モジュールは、システムへの入力情報を要素に分解、複数の要素を抽出し、抽出した要素ごとに特徴量の計算を行いモダリティに依存しない共通フォーマットの要素ベクトルとして符号化する。統合モジュールでは、各要素に対して必要とする要素の選択や要素推定、欠損の補完などを行い、目的に応じて要素を統合した表現ベクトルを出力する。決定モジュールでは、自律的にカテゴリ分類を獲得しながら判断目的に応じた分類を行う。

fMRI や EEG、MEG などの脳活動計測技術の発展で、脳機能の解明が進んできた。これらの知見をいち早く取込み、計算機で実行可能なアルゴリズムに落とし込むことで認知分類システムを実現していく。

4. アーキテクチャ設計

前述した概念設計をベースにシステムアーキテクチャの設計を行う。設計に当たり重要視したポイントは脳科学の研究は未だ途上であり、常にその知見やそれに基づくモデルは進化（アップデート）し続けているということへの対応である。つまり、常にアップデートし続けるモデルをタイムリーに実装し、動作させることのできる柔軟なプラットフォームとしての機能を実現することが重要である。図2にそのアーキテクチャを示す。このプラットフォームにより、それぞれ異なる進捗を持つ脳の機能モデル研究の成果が共存し、連携することが可能となる。また、脳機能モデルの定義に対してシステム利用のためのインタフェース条件を明確化することで脳機能研究、脳機能モデル化、情報システム、脳機能研究へのフィードバックのサイクルを加速することができる。

4.1. アーキテクチャの特徴

プラットフォームアーキテクチャとしての特徴を以下に示す。

- イベントドリブン指向モジュールによる脳情報処理モジュールの構成
- リレーショナルデータベース（RDB：Relational Data Base）をコアとする脳情報データベース（BIDB：Brain Information Data Base）を介在するモジュール間イベント・メッセージ通信とデータ処理。
- グラフィカルなモニタとクエリベース制御インタフェース

脳の機能は部位ごとに比較的独立し、モジュール構造を持っていると言われている。複数の知覚（モダリティ）が同時に入力され、独立して動作することができる。開発の容易性と異なる進度の脳機能モデルの共存のためにも、機能モジュールを独立させている。これは、脳のモジュール性に倣っているという側面と、各モジュールの追加、組み換えが機能毎の開発を容易にするという側面を持つ。ここでのマルチモーダルは、視覚や聴覚などの五感に加え、様々なセンサからのセンシングデータも含めて複数タイプのデータを扱うことを意味する。

独立に搭載された各モジュールは入力に応じたイベント駆動で自律的に動作する。必要なモジュールのみ動作させ、それ以外を停止させることで不必要なエ

ネルギー消費を抑える。モジュール間は直接通信せず、処理の完了等のイベントのみを交換する。イベントの連鎖が処理フローを形成する。1つのイベントメッセージを複数モジュールが受信することも可能であり、その処理フローのネットワークを動的に構築することも可能とする。

モジュール間のデータ通信はBIDBを介して行う。人の脳においては、ある部位の処理結果を複数個所で参照する。BIDBを介することで、あるモジュールでの処理結果を複数のモジュールに波及する仕組み、または複数のモジュールにおける処理のデータ共有を実現する。BIDBは複数モジュールから同一データへの操作に関するコヒーレント性を保証する機能も有する。

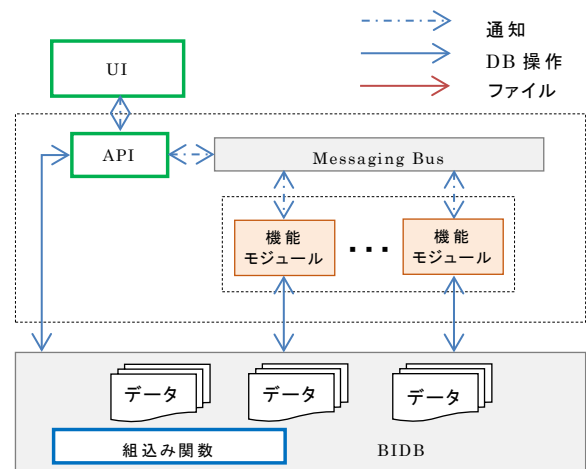


図2 アーキテクチャ

また、記憶情報（特徴ベクトル）の検索、比較照合、検索などデータ操作に関する負荷の高い共通処理はBIDB内部で高速処理する機能を提供する。脳内では繰り返される処理が無意識下で高速実行されるように、BIDB内に認知分類における共通機能を組み込み、処理の高速化を行う。

またBIDB内に格納された各モジュールの処理結果を可視化すると同時に、その結果を修正、変更したり、処理そのものを制御するためのインタフェースを有する。統一的な作法で操作するコマンドを外部に提供することにより、インタフェースを通じてカテゴリ分類に関する各過程に対して操作・修正・変更を可能とする。BIDBへの操作及び内部処理履歴を保存することで、認知結果に至るプロセスを観測可能とするヒストリ機能も持つ。

4.2. 構成

図1で示した各モジュールは、図2内に示される機

能モジュールとして実装される。機能モジュールは複数タイプ（皮質系、皮質下系など）に分けられ、それぞれの共通する機能が実装されたテンプレートが提供される。

各モジュールはイベントメッセージを交換するメッセージングバスとデータを記憶・通信する BIDB を介して疎に結合し、モジュールの追加や組み換えを容易にする。各モジュールに共通する処理は、BIDB 内に組み込む専用関数（コマンド）として提供される。

また、BIDB 内の内部状態を表示するグラフィカルインタフェースとデータを操作するクエリベースのプログラミングインタフェース（API）が提供される。外部からこのインタフェースを介して、データの観測や、BIDB 内の記憶データの変更や機能モジュールの制御、さらにアップデートを可能とする。

5. おわりに

本稿では、脳科学の知見を活用しヒト脳における情報処理機能を搭載することのできる人工知能システムの実現に向けた取り組みについて述べた。情報通信システムの分野は半導体技術の進化と共に発展してきた。これらは「量的進化」ということができる。現在、これら情報システムの進化が脳科学研究の進展を支えている。一方、脳科学の知見の導入により、情報システムそのものも従来とは異なる方向に進化の方向を変えることになるだろう。本稿での報告に加え、脳や神経回路に倣う情報処理システムの実現により、それらの進化は「量」から「質」に変化する。今後、これら情報処理システムと脳科学研究の相互作用（ポジティブサイクル）により双方の進化が加速する。今回の研究成果となるプラットフォームが情報科学と脳科学との分野を超えた研究の加速、拡大に貢献できることを期待したい。

謝 辞

本研究並びに本稿作成に当たり、最新の脳科学研究、情報科学研究に関し情報提供並びに研究へのご支援、ご協力をいただいた独立研究開発法人 情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター、国立大学法人 大阪大学大学院生命機能研究科、大学院情報科学研究科、大学院医学研究科、大学院工学研究科の皆様に深く感謝いたします。

尚、本研究は総務省「次世代人工知能技術の研究開発」の委託を受けたものです。

文 献

- [1] Kosuke Nishihara, Norihiko Taya, Toshiyuki Kanoh, “A Consideration of Realizing the Brain Inspired Computer”, In Proceedings of the 9th EAI International Conference on Bio-inspired Information and Communications Technologies, BICT’ 15, pages 495-496, December 2015
- [2] 稲垣未来男、藤田一郎.「顔反応性細胞の表情に対する選択性の潜時：側頭葉視覚皮質と扁桃体の比較」. 信学技報 NC2010-174, 277-282, (2011.3)
- [3] Giese MA, Poggio “T Neural mechanisms for the recognition of biological motion”. Nat Rev Neuroscience 4: 179-192, (2003)
- [4] 前田太郎.「ヒトの行動意図の推定と誘導」. 人工知能学会誌 vol27, No4, p411-417. (2012)
- [5] Schaefer, M., Heinze, H., J., Rotte, M. ” My third arm : shifts in topography of the somatosensory arm”. Human Brain Mapping 30, pp1413-1420, (2009)