

柔軟な行動決定のための脳内回路探索とシンボル創発

Brain Circuit Search and Symbol Emergence for Flexible Action Decision

大森隆司*¹
Takashi Omori

蓑谷 頌一*²
Ken-ichi Minoya

有田隆也*²
Takaya Arita

*¹ 玉川大学脳科学研究所
Tamagawa University, Brain Science Institute

*² 名古屋大学自然情報学科複雑システム系
Nagoya University, Graduate School of Information Science

Our behavior is represented and realized by a dynamic combination of many brain areas. A new combination is sought for a new task of the moment. From a view point of brain computational model, this is the dynamic search of system behavior through a functional parts combination and we consider this process may look like the symbolic search using a probability distribution. Real brain realizes a quick search by using the constraints from the real world. In this paper, we discuss what types of constraints the search may use and show a result of computer simulation to demonstrate the model ability.

1. 脳のシンボル処理と行動生成

脳は人間の知能を生み出す器官であり、人間の行動に特異性があるならそれは人間の脳の特異性である。その一つが、言語や論理といったシンボリック機能である。ここでシンボルとは離散的な情報である。例えば言語は、単語という任意の離散音声単位に意味を付与し、さらに文法規則により離散記号の系列に複雑な事象を表現する力を与える道具であり、我々はそれを日常的なコミュニケーションに利用している。言語はシンボルであるということの意味は、ここにある。

人間のシンボリック機能の特異性は、連続媒体にも離散的な処理を発現させていることである。我々の住む物理世界は基本的に連続で、例えば音声は連続した音の系列であるにも関わらず、我々はその中に単語とその系列を認識し、さらにその関係としての文法を適用できる。すなわち、我々の脳は連続世界の中でシンボリック処理を創発させて知的機能を実現している。

行動生成もまた同様である。我々は連続した物理世界で、連続した動きを生成している。しかし我々の意識的な行動計画は離散的であり、無限のバリエーションがあるはずの連続行動は比較的少数のカテゴリに分類できる。そこには、我々の脳がもつ連続情報を離散化してシンボル処理を発現させる能力があるように思われる。しかし視覚や運動の領域でのシンボリック処理の脳計算論ははまだ仮説すらない[大森 2003]。

では、シンボル処理のもう一つの特長である記号の組み合わせは行動生成ではどのように働いているのだろうか。現時点ではこのような脳のシンボリック情報表現についてはほとんど知られていない。そこで本稿では、脳の離散的な情報処理を可能とする一つのメカニズムとしての FPC(機能部品組み合わせモデル)について紹介し、その行動生成への適用について検討する。

2. 機能部品組み合わせモデル

2.1 脳の処理領野のタスク依存の活性化

神経科学によると、脳には多数の機能の異なる領野があり、それらの領野はタスクに依存して選択的に活性化されている。活性化される領野はその瞬間のタスクの要求によることから、脳はある瞬間の情報処理の必要に応じて領野を選択している。一

方で、はじめて経験するタスクには、多くの領野が同時に活性化され、しばらくすると次第にそのタスクに必要な領野が定まってくる。これより、領野選択はある種の探索に基づくと考えられる。

2.2 領野選択の脳システムアーキテクチャ

上記の脳領野の選択過程の概念モデルを図 1 に示す。下半分には感覚入力から行動出力までの途中をつなぐ接続性の高い多くの領野があり、その上に外界の状況を認識して過去の経験から蓄積された機能部品の組み合わせを選択するシステムがあり、さらにその上位に状況依存で機能部品の組み合わせを探索するシステムがある。

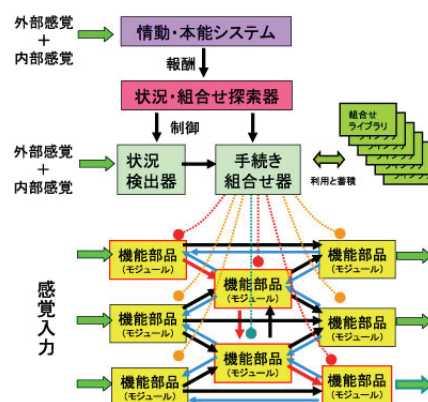


図1. 脳の機能部品組み合わせシステムの全体像

2.3 シンボリックな振る舞いの発現過程

図 1 のシステムでは、脳の各瞬間の情報処理は感覚入力から行動出力までの経路にある機能部品によって自動的に決まる。個々の機能領野は入力を与えられると出力を自動的に出すため、入出力の関係は上位の部品組合せ器からのその領野を使う/使わないを定める二値の制御ベクトル信号で決まる。すなわち、各瞬間の制御ベクトルを探索することが各瞬間の適切な入出力関係を定める[Ogawa 2006]。

実際の脳でその探索過程がどのようなものであるか、個々の機能部品の粒度がどの程度のものであるかはまだ明らかではないが、それらが適切であれば、外見上は離散的な記号の組み合わせ探索と同様の振る舞いが現れる可能性があることは容易に想像できる。本研究では、このモデルの妥当性を計算機シミュレーションで検証する。

3. 計算機シミュレーション

3.1 機能部品組み合わせの探索過程

制御ベクトルの値の探索過程として、我々は確率探索を想定した。すなわち、各機能部品には認識された外界の状況に応じた事前確率が与えられ、その確率分布は状況への認識に依存して変化する。個々の機能要素はその確率に従って選択されるなら、通常確率探索に比較して高速の探索が期待される。しかし本稿のシミュレーションではそれらの確率値を均一にして、探索の手法として遺伝的アルゴリズムを使用した[Minoya 2011].

3.2 ハンタータスクとネットワークモデル

計算機シミュレーションに使用したハンタータスクは、2人のハンターが2匹の獲物を追跡し、個々のハンターが異なる獲物を捕獲した時点で終了する(図2)。効率的に獲物を捕獲するには、それぞれのハンターが他のハンターが追跡しようとしている獲物を推定し、それと異なる獲物を追跡する必要があるという意味で、他者の意図推定を必要とする[横山 2009].

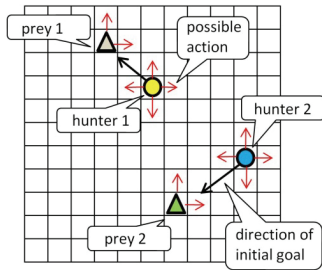


図2 シミュレーションに使用したハンタータスク

問題は、2人のハンターが他者意図を同時に推定して自己の目標を変更すると、却って混乱が起きて効率が低下することである。そのため、ハンターの取り得る戦略は、(1)相手の意図に自己を合わせる、(2)相手が推定した自己意図に合わせる、(3)自己意図に相手にあわせる、(4)相手のことは考えない、等があり、どの戦略を取るか、あるいは変更するかということで上記の問題の解消を考える[長田 2010]. 本研究では、これらの戦略そのものを探索の対象とする。

機能部品の組み合わせで上記の戦略群を実現するネットワークを図3に示す。機能部品としては通常の Q 値による行動決定と、他者意図推定に基づく行動決定に必要なものを組み込んだ。2体のハンターはそれぞれがこのネットワークを持ち、両者がその結線をタブサーチによる遺伝的アルゴリズムで探索した。

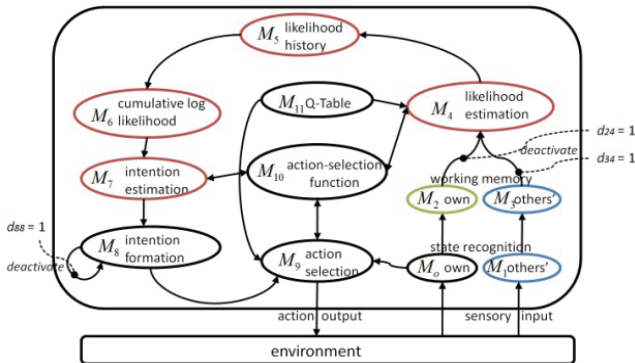
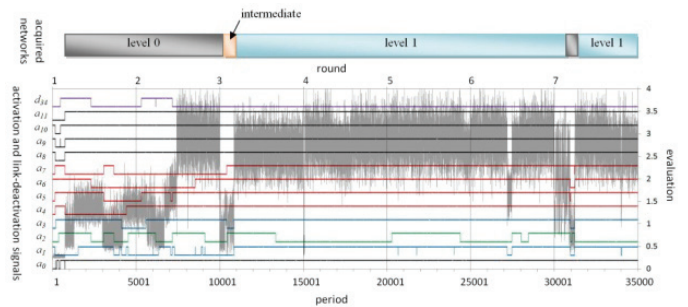


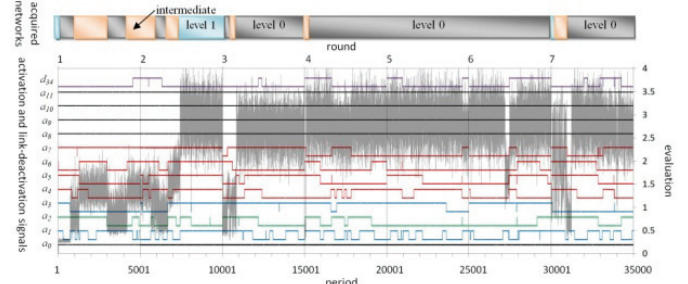
図3 機能部品の組み合わせで他者との相互作用を実現するネットワーク

3.3 シミュレーション結果

図4にシミュレーション結果を示す。図4(a)と(b)は2体のハンターの内部結線と評価値の時間変化である。内部結線が変化することでそれぞれのハンターの行動決定過程が変化し、結果として両者の最適と思われる組み合わせが実現されていた。



(a) 注目するハンター1の内部処理の時間推移



(b) ハンター1のパートナーの内部処理の時間推移
図4 2体のハンターの評価と内部結線の時間変化

4. まとめ

脳の多数の機能領野を動的に探索する計算モデルを構築し、2体のエージェントのコミュニケーションを必要とするタスクでその効果を検証した。コミュニケーションは相互に他者の意図推定を必要とする複雑なタスクであり、他者の意図や処理の変更には自己処理の高速な探索過程を含むシステムでなければ対応できないと考えられる。

ところがこの過程を外から見ると、一見してシンボリックな、すなわち離散的な処理の探索が起きることが期待される。人間の脳が遺伝的アルゴリズムを実装しているかどうかは不明であるが、過去の経験に基づく非常に高速な探索過程を持っていることは間違いないと考えられる。

参考文献

[大森 2003]大森: 知識や経験の再利用による処理手続きの獲得, 特集 機械の学習, それがヒトに及ぼさる理由をさぐる, 人工知能学会誌, Vol.18, No.5, 559-563, 2003
[Ogawa 2006] Ogawa A., Omori T.: Acquisition of learning processing in navigation task using Functional Combination Model, Systems and Computers in Japan, Vol.37, no.4, pp.64-76, 2006.
[Minoya 2011] Minoya K., Arita T., Omori T.: An artificial life approach for investigating the emergence of a Theory of Mind based on a functional model of the brain, SSCI 2011
[横山 2009]横山 絢美, 大森 隆司: 協調課題における意図推定に基づく行動決定過程のモデル的解析, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol.J92-A, No.11, pp.734-742, Nov.2009
[長田 2010] 長田 悠吾, 石川 悟, 大森 隆司, 森川 幸治: 意図推定に基づく行動決定戦略の動的選択による協調行動の計算モデル化, 認知科学, Vol.17, No.2, pp.270-286, 2010