

AGI 用対話型計算機構の基礎検討について

“Conceptual consideration on an interactive computing architecture for the AGI”

岡島 義憲¹

Yoshinori Okajima¹

¹ 情報統合技術研究合同会社

¹ Info-Integnology Research, LLC.

Abstract: Interactive computing architectures have been similarly proposed in various computer science fields, such as the interactive proof systems, evolutionary computations, and Marvin Minsky’s Quasi-Separate Models. So, an interactive structure of having two AI circuit parts is going to preliminary studied here so as to make an AGI system provide a self-improving function; as that the AGI system is modeled as being presumed to be consisted of multiple master circuits and a set of cascade-connected narrow-AI circuits and that the narrow-AI circuits as being consisted of a few types of similar module circuits.

1. はじめに

本稿では、「カスケード（並列）接続された専用 AI 回路群+マスター回路」という構造を持つ「汎用 AI 回路モデル」を出発点として、「その内部に持つ専用 AI 群の構造改良を自律的に行うには、どのような回路の追加/変更が必要か」を検討し考察する（注 1）。

情報処理技術(IT)の進化の歴史には、様々なニーズに応えるデジタルな情報処理プロセスを、より処理性能の高い汎用計算回路上のアプリケーション層での実装に変更することで、ハードウェア・ニーズを汎用計算機に収束させて来たという側面がある。

個別ニーズに特化していた当初の専用回路は、処理性能の高い汎用計算回路上に整備されたライブラリやフレームワークからなるプラットフォーム上のアプリケーションとして再構成されて来た。アプリケーション化することで、その機能の開発・検証はサイバー空間上の作業となり、利用も容易となった。

但し、その再構成が正しい再構成であったのかを、後追いで再検証することは容易ではない。技術のパフォーマンスを表す指標（量産コスト/開発コスト/消費電力/性能/供給性、等）は非常に多く、現実の要因としては、様々な競争や、政府の経済政策等の「経済環境変化」の影響も大きかったであろう。何を優先するのが正しい判断であったかの検証は困難と思える程に複雑である。実際、起こった再構成や標準

*連絡先 E-Mail : okajima@info-integnology.com

化は、通常、消費電力を最小にする方向でもなければ、部品点数を最小にする方向でもなかった(注 2)。

どのような観点で最適化すべきなのかというポリシー議論は複雑である。そこで、本稿においては、「汎用 AI 回路の構造最適化ポリシーの検討を除いて、議論が可能である汎用 AI 回路の汎用的な回路再構成手法のみを対象とすることとした。

・・・(方針 1)

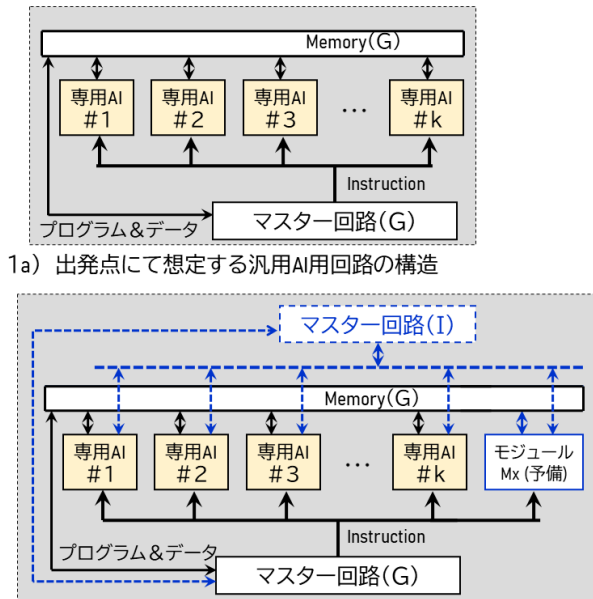
最適化ポリシーは難題だが、しかし、回路の再構築方法は限られている。どのような場合にも、専用回路は、多くの素回路(セル)に分解、還元され、その素回路に更に様々な標準化素回路を加えたライブラリ・フレームワーク上での再論理&再結線問題となるしかないと筆者は考える。

ついで、検討をする上では、汎用 AI 回路も専用 AI 回路も初歩的なレベルでのモデル化し、大構造としての進むべき方針を抽出することとした。

・・・・(方針 2)

(注 1) ここでの「マスター回路」との表現は、一般に言う「状態遷移回路 (State-Machine)」の意味である。

(注 2) 例えば、消費エネルギーや性能に関しては、最終的な実装形態でのハードウェア実装された回路間の物理距離、即ち、回路配置の影響が大きく、ソフトウェア表現された段階での最適化は、ハードウェア上に実装された後には、必ずしも最適化とならない。



1a) 出発点にて想定する汎用AI用回路の構造
 1b) 当初の汎用AI回路にマスター回路(I)と予備のモジュール回路(Mx)を追加し、マスター回路(I)の動作によって、汎用AI回路の構成を自己改良すると仮定する。

図1. 想定する汎用 AI 用回路のモデル

汎用 AI 回路は、専用 AI 回路群とマスター回路 (G) と、Memory(G)からなるとし(図 1)、専用 AI は、多段接続されたモジュール回路からなるモデルとしている (図 2、注 3)。

2. 自己改良を行う回路

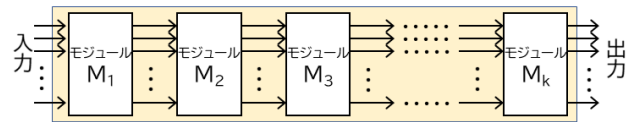
以降、「最適化」ではなく、「自己改良」を目的とした追加機能が何であるかを議論する。

自己改良を行うには、「自己改良を行う回路」が、改良される側である汎用 AI 回路の外側に必要となる構造変化が必須である (注 4)。従い、汎用 AI のモデル (図 1 a) に、「自己改良を行う回路」を付加し、その機能を有効とするに必要な回路接続を想定することとした (図 1 b)。

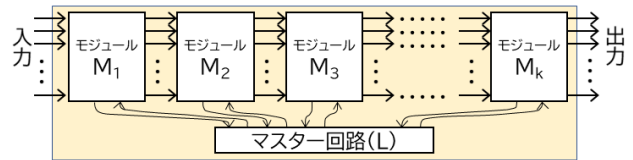
以降、「自己改良を行う回路」を「マスター回路 (I)」と呼ぶことにする。「マスター」と位置付けるは、汎用 AI 回路全体を管理する、一種の状態遷移回路だからである。

(注 3) 汎用 AI や専用 AI の回路を図 1 や図 2 のように想定するのは、AI を実装する多くの計算機が、このような並列計算機構を持つからである。

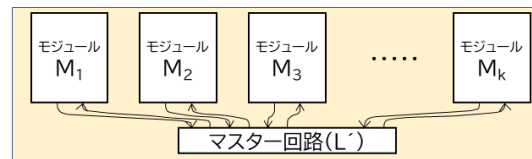
(注 4) マービン・ミンスキー[7,8]は、1961 年に、「Self-Improvement を実現しようとするには、Improve する”Self”と、Improve される”Self”が分離してはいけなくてはいけない」としていた。



2a) 専用AIの原型 #A: 推論動作を表現する回路接続



2b) 専用AIの変形 #B: マスター回路(L)にて機能調整



2c) 専用AIの変形 #C: マスター回路(L)にて論理を進展 (入力/出力の記載を省略している)

図2. 専用AIの回路モデル

趣旨により、マスター回路 (I) の機能は、専用 AI 回路の内部回路の動作や、専用 AI 回路全体の動作を調査し、解析し、分析することである。そこで、「自己改良」は、マスター回路 (I) が生成するプランに従って、以下の動作を行うとする。

..... (方針 4)

- 1) 専用 AI 回路群を構成する内部回路の機能を変更 (調整) する。
- 2) 専用 AI 回路群を構成する内部回路の接続変更を行う。
- 3) 予備のモジュール回路 (Mx) に論理を設定して、予備回路も活用して専用 AI 回路群を構成する内部回路の接続変更を行う。

検討にては、機能の実装を過剰にハードウェア化することは避けなくては行けないが、しかし、回路接続を変更するには、「モジュール間接続を可変とするための回路とその接続変更を指示し制御する回路が、予めハードウェアとしても実装されている」ことが必要であるので、ここでもその点を前提とし、以下 4 点も方針とする。

- 4) 専用 AI 回路内は、程良い粒度でモジュール化されており、そのモジュール回路の入出力信号のルーティングは、可変 (プログラマブル) となっているとする。..... (方針 5)
- 5) 専用 AI 回路内のモジュール回路の機能も可変 (プログラマブル) となっている。..... (方針 6)

- 6) マスター回路 (I) が、方針 5、方針 6 の可変機構のプログラムを行う。・・・(方針 7)
- 7) 過渡状態で、予備のモジュール回路と元のモジュール回路の両方が動作しても全体動作に大きな支障は生じない。・・・ (方針 8)

2.1 専用 AI 回路のモデル

専用 AI 用回路の推論動作は、一般的に、図 2a のように、入力から出力に向けて多数の信号からなる情報が逐次処理される構成を取る。具体的には、ニューラル・ネットワーク回路である。そのネットワーク回路は、並列処理可能な計算機ハードウェア上に実装されるソフトウェアとして表現されることが多い。

学習動作を行うためには、各モジュール回路の動作を調査し、収集・分析し、ニューラル・ネットワーク回路の結合パラメータを調整する回路が必要な筈である。ここでは、その回路をマスター回路(L)とする(図 2b)。

ここで、推論時のモジュール間のデータ転送は共用のメモリ回路(図 1 の Memory(G))を介して行うとしても良い(図 2c)。

出発点にて仮想する汎用 AI 回路(図 1 a)の専用 AI の各々は、図 2 の内部構造モデルのいずれかを持つとするが、説明を容易とするために、図 1 の専用 AI の各々は、図 2c の内部構造(マスター回路(L)にて論理を進展する)を取るとする。この場合、推論時のモジュール間のデータ転送は共用のメモリ回路(図 1 の Memory(G))を介して行うこととなる。但し、汎用 AI の構成としては、図 2b の専用 AI のようにモジュール間接続を持っていてもかまわない。

2.2 回路の自己改良シナリオ

汎用 AI 回路の改良に向けての第 1 ステップは、「専用 AI 群の全てのモジュール回路の動作に関するデータを調査し、解析し、専用 AI 群の回路改良プランを作成すること」である。(方針 1 に従い、そのデータの解析方法には立ち入らない。)

その解析結果を元に、第 2 ステップでは、いずれかのモジュール回路の動作を調整、もしくは、モジュール回路間の接続を変更、もしくは、予備のモジュール回路(Mx)を追加してモジュール回路間の接続を変更することとなる。(方針 4、5、6、7)

第 1 ステップの調査方法としては、

- 1) 推論動作中の専用 AI 群の中のモジュールの入出力動作を監視し集計する。(監視型調査)
- 2) マスター回路 (I) から、様々な組み合わせの質問信号を専用 AI 群の中の各モジュールに送り、その返答結果を集計する。(対話型調査)

の 2 方式が考えられるが、推論動作中の回路動作に関する情報は余りに大量であることを考えると、後者の対話型調査が現実的である。以下では、後者を想定する。収集する情報は、各モジュールの「確率的真理値表(確率的ハッシュ・テーブル)」に相当する情報となる。

第 2 ステップにおいて、マスター回路 (I) は、第 1 ステップで生成した「専用 AI 群の回路改良プラン」に基づいて、各モジュール回路の機能変更(調整)、または、モジュール回路間の接続変更を行う。

モジュール回路の機能変更(調整)は、前述の「確率的真理値表(確率的ハッシュ・テーブル)」を調整し、改良する方向を探る作業である。

モジュール回路間の接続変更は、モジュール回路の入出力信号のルーティングを行う回路の設定を変更することによって行う。接続を担う回路は、図 1 や図 2 では記載を省略している(注 5)。

3. 対話型計算機構

以上で初歩的ながら、汎用 AI 回路は、素回路の調整、もしくは、設定変更によって「回路の自己改良能力を持つこととなる。その汎用 AI 回路は、

- (1) 推論やトレーニング動作としては、マスター (G) が、専用 AI 回路群を制御し、
- (2) 回路の自己改良を行う動作としては、マスター (I) が、専用 AI 回路群と対話し、制御する

と、二つの状態遷移回路に同時に制御される(注 6)。

マスター (I) は、当初の方針より、図 1 a に示した、「出発点とする汎用 AI 回路」の外側の存在であ

(注 5) 変更後には、「装置全体としてはそれまでよりも優れた能力を発揮することができるようになる」ことをシミュレーションできれば良い。但し、本稿ではそのシミュレーション動作については、検討していない。

(注 6) マスター (I) による専用 AI 回路群の再構成後には、マスター (I) は、マスター (G) に対して、再構成後の回路情報を送らなくてはならない。

り、元々の汎用 AI 回路と対話する回路として付け加えられた回路であった。

マスター (I) と専用 AI 回路群との間のような対話型の計算機構は、計算機科学や人工知能研究にて再三登場して来た構造であった。引例として挙げきれないが、筆者が代表と考えるのは、以下である。

3.1 対話型計算機構のモデル

計算複雑性理論の分野では、ババイ・ラースロー [2, 4] やシャフィ・ゴールドワッシャー [1, 3] を始めとして、対話型証明システム (Interactive Proof System, IPS) の計算効率の高さが示されて来ている。

“Arthur-Merlin” と呼ばれるシステム [4] では、巨大な知識と巨大な計算能力を持つ「証明者」と、汎用な判断能力とランダムな意思決定能力を持つ「検証者」の間の対話にて、命題の証明を進める。確率的に状態分岐しうる先の論理の進展を並列的に行うこと、ランダムな選択を組み合わせることが、計算効率を高める上で重要とされている。

「証明者」を「巨大なデータベースであり、多彩なアルゴリズムを有する専用 AI 群」と見立て、「検証者」を「対話により調査し、最適化機構であるマスター回路 (I)」と対応付けた場合、IPS や Arthur-Merlin システムは、本稿で検討を進めた「自己改良機構を備えた汎用 AI」の構造に類似した構造を持つ。

ローマン・ヤンポルスキー [5] は、2015 年に、「超知性は Recursively Self-Improving System であり、超知性を達成しようとする全てのシステムは同じアーキテクチャに収束する」との仮説を示していた。そのシステムの構造は、マークス・ヒュッターの AIXI [6] に似るとした。

畷見達夫 [10]、高木英行 [11] は、1998 年に、「対話型進化計算法 (EC, Evolutional Computation)」について注目していた。同計算法は、特に、人間の評価に基づいて AI に最適化を行う手法であり、その対話動作では、検索が重要であった。

対話構造は、マービン・ミンスキーが 1960 年代前半に提唱していた “Quasi-Separate Models” にも現れる [7, 8]。同モデルは、Mind の働きを説明する目的で提示されていたが、Models を世界モデルと生成モデルを含めた機構と見なし、Mind は Models の一部 (a Model) に注目するとしていた。

3.2 ミンスキーの Hill Climbing とその課題

前述の論文 [7] で、ミンスキーは、

「問題の本質やゴールや、対策シナリオを定義しなくとも、改善を繰り返すことで、進歩を続けることはできる」

とし、また、

「より良い方を選ぶという改良の善悪判断能力があれば、ランダムなトライアルにて良い方を選び続けるだけで、結果的に進歩が何であるかは見えて来る。そして、どの位のトライアルを行うとマシンがどの位進歩するかを見積もれるようになる。」

と、漸次的な動作の重要性を強調した。

この改良は、Hill-Climbing に例えられたプロセスである。「近視眼的な改良作業」に見えるが、「改善作業を進めるには、必ずしも本質を捉えたプラン作成は必要が無い」と指摘した点は「知性」の活動の本質を洞察していると、筆者は思う。但し、

「勾配の大きい方向に山を登るというアルゴリズムを頼りにすると、最善箇所ではない局所的なピークにトラップされてしまう危険性がある。そのような局所最適から完全に逃れるには、結局は、全てのピークの高さを調べなければ逃れられない。」

と勾配消失問題がありうることも注記されていた。

しかし、この点について、以下のような幸運を想定できるのではないだろうか、と、筆者は思う。

対話型構造では、「対話」にて交わされる質問や解答には、有限な大きさの信号量しか使われないため、意図する表現は「厳密」にはなりえない。従って、対話時に導入される不正確さは、調査内容を確率的にぼやけさせ、情報を拡大させる。

結果、その効果により、Hill Climbing を行った場合に生じうる局所最適へのトラップ」の危険性は、ある程度は軽減されうる。

4. 考察とまとめ

回路表現は、並列動作する各局所の逐次的な進行や遷移を表現するには不便であるが、回路中の機能ブロックの過不足を理解するのに向き、アルゴリズム表現の不便さ（動作機構の全容を把握しづらい）を補うのに役立つ表現方法である。

本稿の検討を通じて、「仮想の汎用 AI 装置を回路表現することで、自律的に自己の論理を改良する能力を持つ計算機構には、『改良する自己』と『改良される自己』が分裂する」との対話構造が生ずることを表現することができたと筆者は考える。

その結果、各々一種の状態遷移回路であるマスタ

一回路が2個存在する計算機構となった。

一個(G)は推論及び学習動作、もう一個(I)は内部構造を調査し改良するための回路である。

論理演算回路が改良されると、(G)が指示する状態遷移が同じであっても、実際に行われる演算には(I)の改良の影響が及び違った結果を導出する。(I)は、自律改良の指示制御機構であり、(G)は外部からの入力に応答する指示制御機構である。

脳が自己の内部構造を自律的に改編できるのだとすると、同様の複数のマスターを持つ構造と考えられるのではないだろうか？ (注7)

現代のITの中に、対話型計算機構に準ずる構造は、実は広く見られる。通常の場合は、計算機と人間の間の対話となっているが、EWSやCADを始めとして、Cloud-Computingや検索エンジンを活用した調査やプラン作成なども、その異形として見ると筆者は推測する。

そのように考えると、AGIシステムの目指す方向としては、人間と対峙する「機械脳」としての方向の他に、「環境と対話しながら世界モデルや生成モデルを構築し、それらモデルを提供する装置」とも考えるべきと思われる(図3)。

本稿の検討後に残したい大きな課題は、以下の6点である。

- 1) 最適化計算を行うマスター回路(I)が収集する情報と、その回路の内部構造
- 2) 論理を担うモジュール回路の構造
- 3) 接続を担う回路の構造
- 4) 上記2項と3項で回路論理の調整や接続の変更

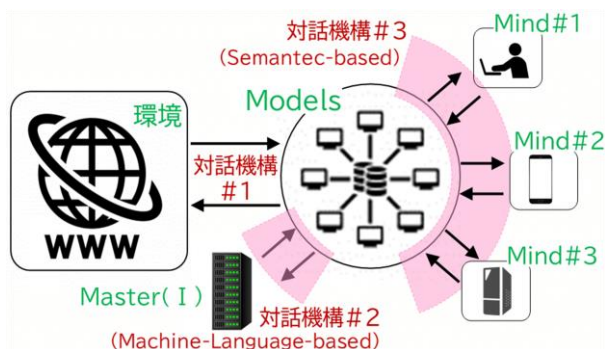


図3. 対話するAGIシステムの提案

(注7) 2個のマスター回路の同時動作を認める場合には、チューリングマシンである現在の計算機にはエミュレーション出来ないと筆者は考える。

の過程で使われる言語(プロトコル)

- 5) マスター回路と専用AIやモジュール回路の間の対話で使われる言語(プロトコル)
- 6) 外部の環境やユーザーとの間の入出力インターフェース方法

中でも重要なのは、第1項の「最適化計算を行う回路の構造」と考える。その回路は、「自己改良機能」のコアとなる動作となるからである。

4. 謝辞

本稿執筆にあたって、北海道大学院情報科学院の浅井教授に議論させていただいたことに感謝する。

参考文献

- [1] Goldwasser, S., Micah, S., and Rackoff, C., "Knowledge Complexity of interactive proof systems", Proceedings of the 17th ACM Symposium on theory of Computing, 1985.
- [2] Babai, L., "Trading Group Theory for Randomness", Proceedings of the 17th ACM Symposium on Theory of Computing, 1985.
- [3] Ben-Or, M., Goldwasser, S., Kilian, J., and Wigderson, A., "Multi prover interactive proofs: How to remove intractability assumptions", Proceedings of the 20th ACM Symposium on Theory of Computing, p.113-121. 1988.
- [4] Babai, L., Moran, S., "Arthur-Merlin games: a randomized proof system, and a hierarchy of complexity class", Journal of Computer and System Science, 36 (2): 254-276, 1988.
- [5] Roman V. Yampolskiy, "On the Limits of Recursively Self-Improving AGI.", in: Bieger J., Goertzel B., Potapov A. (eds) Artificial General Intelligence. AGI 2015. Lecture Notes in Computer Science, vol 9205. Springer
- [6] M. Hutter. "Universal Artificial Intelligence: Sequential Decisions based on Algorithmic Probability.", Springer, Berlin, 2004.
- [7] Minsky, M., "Steps toward Artificial Intelligence", Proceedings of the IRE Contents, Vol. 49, 1961.
- [8] Minsky M., "Matter, Mind and Models", Proc. International Federation of Information Processing Congress 1965, vol. 1, pp. 45-49.
- [9] R.J. Solomonoff, "A Preliminary Report on a General Theory of Inductive Inference," Zator Co., Cambridge, Mass., Zator Tech. Bull. V-131, February 1960.
- [10] 畝見 達夫, 論文特集「対話型進化計算法」にあたって, 人工知能学会誌, 1998年13巻5号 p.691
- [11] 高木英行, 畝見達夫, 寺野隆雄, 「対話型進化計算法の研究動向」, 人工知能学会誌, 1998年13巻5号 p.692-703