

TM-0012

人工知能向き VLSI アーキテクチャ

— 知識情報処理マシンと VLSI —

内田俊一

August, 1983

ICOT

Mita Kokusai Bldg. 21F
4-28 Mita 1-Chome
Minato-ku Tokyo 108 Japan

(03) 456-3191~5
Telex ICOT J32964

Institute for New Generation Computer Technology

人工知能向き VLSI アーキテクチャ

— 知識情報処理マシンと VLSI —

内田俊一 (新世代コンピュータ技術開発機構)

1. 人工知能向きマシンとは?

コンピュータの利用がより高度なものとなり、ノイマン型コンピュータを越えて新しいコンピュータを生み出す努力が、世界各地で行われています。

この原動力となるものは多々あるが、コンピュータをより人間に使い易いインテリジェントなものにしようとする導かれた支えられた人工知能の研究の進歩と、従来の実装技術を大きく越えて潜在能力を有するVLSI技術は、この代表的なものである。

人工知能の研究が示すコンピュータ像は、従来ノイマン型コンピュータと種並びにして譲られてきた、特定の応用を指向した専用コンピュータではない。

ノイマン型コンピュータを、單純に、並列計算をオーバーとして構築された汎用マシンと言うならば、人工知能向きコンピュータは、複雑な記憶構造から成る「知識・知識ベース操作」をオーバーとして構築される。より高レベルの汎用マシンと言える。

このようなマシンは、従来の人工知能研究分野の枠組を越えて、自然言語処理、CAD、エキスパートシステム、知識フロッグラミング、OAシステムなど、広範な分野へ浸透していくものと予測される。従って、ここでは、このようなマシンを、知識情報処理用マシン、略してKIPSマシンと呼ぶことにします。

そして、このようなマシンを中心とする知識情報処理システム (KIPS: Knowledge Information Processing System) は、現在、日本の国家プロジェクトとして進められており、先世代コンピュータ研究開発プロジェクト、既して、FGCSプロジェクトの研究開発も標榜さもある。

KIPSマシンとVLSI上の関係を述べようが、本論文の目的ではあるが、これら2関係は、十分明らかではない。しかし、VLSI上で、KIPSマシンの実用的構造は作れないことは、明らかである。

FGCSプロジェクトにおけるVLSI上の位置づけは、図-1に示すように、データフローマシンや関係データベースマシンなど並列アーキ

キテフナや実装技術として考えられます。従って、KIPSマシンとVLSI上の関係は、マシン全体の明確化を待つべきである。

従って、本論文では、世界各地で行われている研究動向を昆とし、KIPSとVLSIとの関係を述べてみる。

2. KIPSマシン機能の階層的分類

KIPSマシンのアーキテクチャを序とすると、まずはその機能を概説する。

KIPSマシンの最も重要な機能は、知識・知識ベース操作であり、これは、簡単と言えばネットワーク状 (または、グラフ状) に表現され、知識を處理するデータ構造の中から、求め部分的構造と、それ探し出すことである。

また、現在あらわす、新たに構造化し加えたり、削除するよりも充実な機能である。それがします操作の中には、あらわすと全く同じものをさがす (Exact Match) ほか、もし、このようなものが見つかれば、最も近いもつとさかず (Best Match) ことを含め、さらに、近いものもなければ、すぐあらわすから、

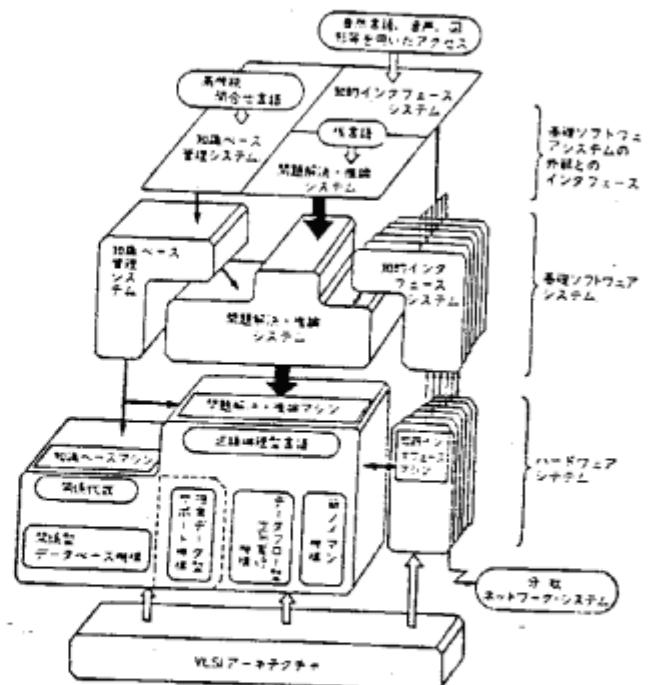


図-1. KIPSシステム構成イメージ

求めよものか、演繹 (deduce) できよいか否か確かめることも含んでいます。このように、知識を扱う上では、推論と知識ベースの検索は、渾然一体です、といふ。

このような知識表現の形式や、操作のための言語には、いろいろなもののがあります。溝口 [1]によれば、これらは、図-2のようく分類されます。

KIPSマシンのアーキテクチャを考える上では、まず、この知識表現言語のレベルでのアーキテクチャサポートを、オーネベルトとして考えよのが、妥当である。

このレベルでの、推論・知識ベース操作は、より具体的に、次のよう述べられます。

- 1) 構造体 (Data Structure) のパターンマッチング
- 2) 概念の持つ屬性の宣伝 (Inheritance) のための操作
- 3) 集合演算

1)は、アサーション、デモン、プロダクションと呼ばれる規則や事実の達成マッチングや、サブグラフやパターンマッチング等です。2)は、知識表現において概念間に、上下関係がある時、下位の属性が、上位のもう属性となり引き継ぐことです。この中では、明示されない事実の宣伝のための操作も含んでいます。

このレベルにおいて、これらの操作と直接アーキテクチャ的にサポートするよことが考え方です。この例としては、前述するユキウション・マシンやNET・マシンの例があげます。

[2][3]

しかし、知識表現形式や、その上での操作は、通用する分野や目的によって、適、不適があります。また、適用的ものは、今後の研究へ向むけておなじよい。

アーキテクチャ的サポートを考える上からは、知識表現言語モデルか、それと具体化する場合の計算モデル (マシン・モデル) が必要で、さうして、それが、明確な科学的基盤へ立脚していくことが望まれます。

これらの理由から、アーキテクチャ研究上のアプローチとしては、知識表現言語レベルより一段低い言語レベルをおめ、これとオーネベルトと考え、ここでアーキテクチャ的サポートを考えることが妥当である。

このオーネベルトの言語としては、图-2における宣言的形式と手続き的形式のいずれもいかうまく実現できるものが望ましい。さらに、アーキテクチャとして、高機能なものを得ようすれば、並列処理と容易に整合するものでなければならない。

これらの条件を考慮すると論理型の言語 (logic programming language) が、最適候補として浮上します。この言語は、宣言的意味と手続き的意味を併せて持つもの、並列処理との整合性もよい。

しかし、論理型言語のもともとのモデルには Inheritance を含むオブジェクト指向型の言語機能は含まれていませんから、この部分についてこの改良が必要である。

このような拡張を行ふ上で論理型言語と並列推論言語との比較には、このレベルが、アーキテクチャを考えるオーネベルトとなる。

このオーネベルトにおけるアーキテクチャは並列推論・知識ベースマシンとも言うべきもので、知識表現形式は、一階述語論理の詰 (claw) の集合 (元データ化されていき) となり、構造体のマッチングによる検索は、單一化 (unification) と And-Or木の那決定的探索に置きかえられる。

オブジェクト指向型の言語構造をいかにしてヒリカルムに取り、計算モデルの一端がまとめてくると思われます。言語モデルとしては、統論的基盤を持ち、計算モデルを考えるのには最も合っている。

このレベルにおけるマシンは、高並列アーキテクチャを持つものとなり、その実現には、リターフレンジン・マシンやデータフロー・マシン等の並列型マシンをベースとす方が自然である。

また、集合演算が周しては、関係モデルに基づく関学データベースマシンの技術が有用である。

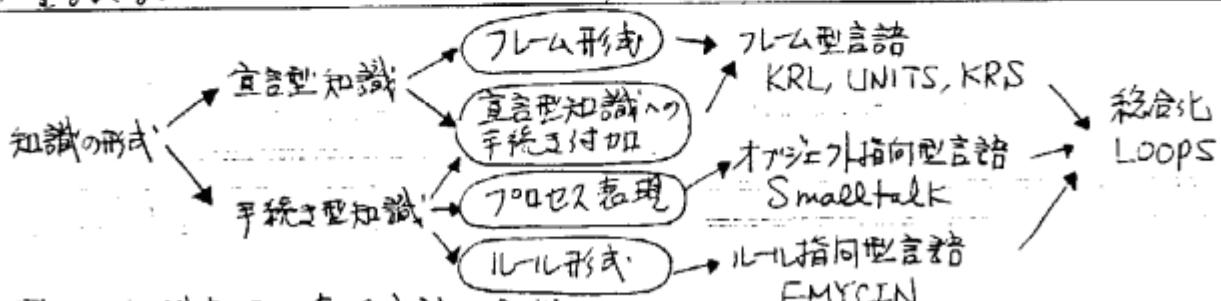
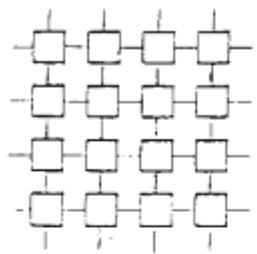
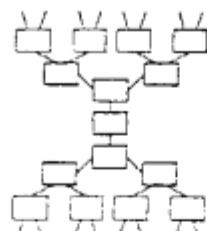


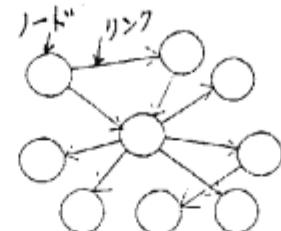
図-2. 知識表現と表現言語の分類



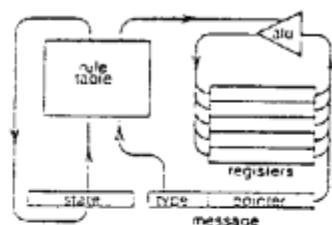
(a) CELL LEVEL



(b) TREE LEVEL



(c) NODE LEVEL



(d) CELLの内部構造

図-4. ユニクエーション・マシン

並列型推論言語レベルにおけるアーキテクチャやサポートは、図-3に示すよる高度なアーキテクチャをマースとして考へることで可い。

これらのマシンは、一般に、論理装置や実装の計算モデル実現によくハードウェアと対応する。これは、單純にすれば、ノイズエンジンマシンに対するプロセス管理やパラメータの多くをハードウェアで実現しておることである。了りがたく、ソフトウェアプロセスは軽減し、性能も上がるつである。

これらの主要構成要素は、要するにCPU (P), 構造(アーキテクチャ)SM), スワィチングネットワーク (SW) であるが、それ以外のが、接続構造を持つ。さて、VLSIの使用により、PEやSMを、おもに垂直口込みマシンが はじめで実現されるところである。

これらへのVLSIの適用は、PE中にありて、トーランツ構造を用いて各のテニッフを行ったり、SM中で各ノードと面地の接続を行うCAM (Content Addressable Memory) や、FIFOやLIFO型のレジスト、SW用のルーテ等から、始められよう。

ここ10年位の目標としては、PEやSMのユニットローラー、ポート1枚程度へ約まるくらいに専精化か、一つか二つ程度であろう。

このレベルよりもう一つ下の逐次型推論言語のアーキテクチャサポートは、ほかに明確である。現在、その内訳中の PROLOGマシン (PSI, Personal Sequential Inference Machine) は、FGCSプロジェクトのソフトウェア専用バージョン、バーリナルエンジニアリングとして設計工されてい。しかし、このCPUヒュンタリは、約2000個のMSI、SSIから成り、かぎり大きい。了りがたくは DEC2060と同等であるので、性能と少し落しても、小型化することが望ましい。

VLSIの適用は、このマシンを大幅に小型化し、1ポートマシンから、2ポート、1ポート

マシンへと並みの多機能性を持つ。これに、單純小型・低価格化によるマシンの利用範囲の拡大の企圖から、この一部の設計が変更となり、これまで蓄積へおこなう接続がそのままでは可ならぬ。これは、こうよるなCPUとPEとする人間扱いから実用的マルチプロセッサ (Multi-Sequential Inference Machine) の実現可能性へすることと思われる。

4. おわりに

理解えど、(人工知能の応用とレシタルのつよいところ)がいかで個別に確立することは、さわめて難しい。マンガアーキニフマが、さすがに専門家と空手したところと、こう思えらん。かつ、VLSIとか、実装技術として、アーキテクチャ実現上の制約を取り去る方、可へ飛躍するものだといれば、テキスト上の手書きと、問題のヒントネットの問題等は、回路やシミュールレベルで既に解かれ、アーキテクチャレベルへは簡単に到達されよう。

しかし、Pとえてどうぞあ、とも、ここで述べようなKLPSマシンは、VLSIと競争にし、了りがたく十分に使って、はじめて可能となるものであることは、周知のとおり。

[1] 藤田文雄：人工知能における西野義理，機械科学，No. 240, pp. 34-39, Jun. 1983

[2] W. D. Hillis: The Connection Machine, MIT, AI Memo No. 046, Sept. 1981

[3] S. E. Fahlman: Design Sketch For A Million-Element NETL Machine, Proc. of 1st Annual National Conf. on AI., pp. 249-252, Aug. 1980

このようにして求められる並列推論・知識ベースマシンは、FGCSプロジェクトのアーキテクチャ研究開発目標といふのである。

このレベルよりも、さらに一段低い、やうの言語レベルも考えられる。それは、逐次型実行を前提とする論理言語とベースとするものである。現在、ノイマン型汎用機（たとえば、DEC2060）上で動かすPROLOGは、その例である。

このレベルひのアーキテクチャ的サポートは、現実的実用化テーマであり、本稿の要点は、ほんと無い。逐次型であふから、ノイマン型アーキテクチャを拡張した「スタック型」を用いるアーキテクチャが実現できる。しかし、その性能については、ノイマン型マシンとの競争の限界がある。

このレベルにあたるもう一つの言語は、LISPであり、これも従来のへりが研究され、ほんと唯一のツリーにして使われてきる。

現段階の知識表現の研究は、このレベルの言語の上に、厚いソフトウェアの層を積み上げて行われており、これは、その性能の不足と並んで大きな理由となる。

3. アーキテクチャのレベルとVLSI

これまで述べたLISPマシンの3つのレベルと整理して示すと図-3のようになる。これらについて、VLSI上での実現例をさしきを考えてみよう。

知識表現言語レベルで、一般的なアーキテクチャ的サポートを考えるのは、現時点では難しい。しかし、知識表現形式とそこでの操作と限定すれば、ある程度は可能である。

このようすが、レポートは、ユニクションマシンがある。このマシンは、セマンティックネットワーク上で論理・知識ベース操作を、VLSIエベースのハードウェアで、直接サポートしようとするものである。

セマンティックネットワーク上での、ノードとリンクの一般的構造は、図-4(c)のようす。何本かの入力カリキュラムセグメントノードから出入口があるものであるが、まず、これと、(b)のようにまとめてリンクしないセルの組合せて実現する。また、二段階アレイ状の構造は、(a)のようすである。各セルは、(d)のようすいくつかのレジスター、ALU、レールテーブルといふ、きわめて簡単な構造である。また、スイッティングネットワークへ接続している。

これにより、論理的構造としては、いろいいろ形狀のものが実現できる。(ネットワークをどう作るかは、未検討)

＜エコマシンのレベル

要素アロケーション

1. 知識表現言語

レベル

$10^6 \sim 10^7$

＜接続マシン＞

- Connection Machine
- NELL Machine
- Factor Model

2. 並列処理言語

レベル

$10^7 \sim 10^8$

＜並列PROLOGマシン＞

＜Reduction Machine＞

＜Dataflow Machine＞

＜高級データベースマシン＞

3. 逐次推論言語

レベル

$10^8 \sim 10^9$

＜逐次PROLOGマシン＞

- PSI (Personal Sequential Inference Machine)
- Multi-Sequential Inference Machine

＜LISPマシン＞

- Symbolics 3600
- その他

*要素アロケーションと構造複雑度を考慮すれば、VLSI上では、NELL Machineは簡単である。

図-3 マシン・アーキテクチャレベルと例

各セルは、外部より、メッセージが到着すると、メッセージの内容、セルの内部状態によりルールテーブル中のあるルールを実行する。それにより、他のセルへメッセージを再送したり、返事を返したり、自分の内部状態を更新したりする。

このようにして、ネットワーク状の一点から飛ばされてメッセージは、坂のようなく間に広わり、持寄の対象となるセルを：は、内部レンズ（すく）フランクが立てられていく。このよどみで、ネットワーク中を走るメッセージが走る。

NETLマシンも、ほぼ同じ構造を基に、VLSI上の直接利用を狙っている。しかし、いやれもアリテアの技術であるが、セル群としては、百万個というよりも大きさと複雑度を想定している。

このようすマシンは、まだ多くの研究が必要とされるが、特定の知識表現形式へかけるべき操作が、非常に高速であることがおのずれに場合有効なもののひとつである。