

解説



リアルワールドコンピューティング研究計画

3. RWC における新機能の研究開発†

岡 隆 一†

梗概

ここでは、リアルワールドコンピューティング・プログラムにおける新機能関係の開発計画を述べる。リアルワールドを対象とする情報処理の機能は、実時間性、頑健性、状況適応性を兼ね備えていることが要求される。また、これらを実現するためには、パターン情報や記号情報に内在する固有の構造を明らかにするとともに、パターン情報からのアプローチを主とするパターンと記号の統合アルゴリズムを含む新しいパラダイム構築を必要とする。また、超並列のソフトウェアとアーキテクチャ研究との相互交流も重要な課題としている。

1. はじめに

リアルワールドコンピューティングシステムは、画像、音声、触覚、記号的知識データなどの多種類の情報を獲得し、また処理することによって、人間のさまざまな活動を支援するものとして位置付けられる。ここで扱うべき情報は膨大であり多様である。さらには、実世界の情報はその本来の性質から不完全性と不確実性を含んでいる。

リアルワールドコンピューティングは柔らかな処理を実現する新しい機能を求めるものである。ここでいう「柔らかな処理」とは「入力情報の不完全で不確実さの程度に応じて結果を与える処理」を意味する。頑健性、開放性、実時間といった特徴は、この柔らかさについての異なる側面を反映している。柔らかさをいかにして実現するかということが、新機能研究の基本課題である。

研究開発の目的は、(理論基盤との接点を保っ

て) 新たな基本機能を各種の応用分野において探求することである。それらの機能はそれぞれの応用分野で働くことになるか、あるいは、新しい情報システムを実証するために統合されることになる。ここでいう新機能の優れている内容は、リアルワールドコンピューティングにふさわしい新たな概念をもつ情報の表現とアルゴリズムによってもたらされうるものであり、それらは記号とパターンとの統合、新しい頑健な機能を与える学習や自己組織によって従来考えられている情報処理の隘路を克服しているものである。単に、従来技術の組合せや、特殊目的のために安易にシステムを構築することは望まれない。記号とパターンの統合は新機能の研究開発の一つの目標であるが、ここではパターン側からの記号に向かっての統合により重点がある。

柔らかな情報処理は、従来の情報処理能力の限界を越えるものを目指しているので、期待される応用分野はきわめて幅が広い。それらは、大きく次のように分類されよう。

- 画像や音声のようなパターン情報や自然言語のようなシンボル情報といった多様な情報の柔らかな認識と理解、
- 実世界の情報の直接操作を許容し、学習能力や自己組織化能力を有する柔らかな情報ベースに基づく、柔らかな推論と問題解決、
- 人間と実世界間の相互対話を実現するための、仮想現実感を含む柔らかなヒューマンインタフェースとシミュレーション、
- 実世界環境と相互作用するための、柔らかくかつ自律的な制御と統合方法。

これらの研究の実行は本プログラムでは2段階に分けて行われる。前段の終了段階では評価作業が行われる。

† Researches on Novel Functions in RWC Program by Ryuichi OKA (Tsukuba Research Center, Theory and Novel Functions Department, Real World Computing Partnership).

†† 新情報処理開発機構つくば研究センター 理論・新機能研究部

2. 統合システムの展望

個別の新機能を考えるために、それらが統合されたシステムを先に想定する。基本的な新機能を統合する統合システムの重要な方向としては、次の二つが考えられる：

- 実世界適応自律システム、
- 情報統合対話システム。

前者の意味するものは、実世界との能動的な相互作用を通じ、環境の理解や制御が自律的にできる柔らかなシステムである。このシステムは計算モジュール群と実世界との間で行動を通して協調を行う。実世界において人間と協調しながらその活動を支援することが一つの目的である。このシステムは実世界および人間の行動を理解し、それらの情報から必要な概念を学習し、新たな状況に適応する。さらに、このシステムは情報の獲得と望ましい状況の達成のため、人間および実世界に対して働きかけの行動を行う。このためにシステムは不確実、不完全、そして変容する実世界の中で行動するための情報処理を行わなくてはならない。

後者の意味するものは、人間とシステム間の拡大された情報チャネルを通じ、人間の能力を支援・強化する柔らかなシステムである。後者のシステムは計算モジュール群と人間との間の協調するものを意味し、それは明らかに先のものとは別の協調システムになる。人間はさまざまな情報を扱うことができる。人間はさまざまな情報をつくり出すこともできるが、そこには人間の意図が、あいまいな表現ではあっても、込められてもいる。人間にとって必要となっているさまざまな問題解決や、新たな情報の創造を支援するために、計算モジュール群にはこれらの人間の意図を含む情報を柔軟に理解し統合することが要求される。ここでは、この計算モジュール群を含むシステムは人間の知的活動を拡大する強力なツールとみなされるべきである。

各システムは、現時点ではまだ明らかになっていないそのシステム固有の基礎的な新機能から構成されるであろう。また、各新機能は前述の4つの分類のいずれかに含まれる。新機能のいくつかについては上述の二つのシステムにも適用可能であろう。

実世界適応自律システムを実現するためには、以下のような機能が必要である。

- 視覚、触覚など種々のセンサ情報を用いた自己および他者の行動理解、
- 人間を含む実世界と自己との非言語的相互作用に基づく協調、
- 変容する実世界に適応し、失敗からの回復が可能な柔軟で頑健な作業実行、
- 自律的、適応的な作業試行および行動理解に基づく高度な学習。

情報統合対話システムを実現するには、以下のような機能が必要である。

- 人間の発する種々の情報からその意図を理解すること、
- 大量のデータベースから価値ある情報を検索・提示するための知的対話型支援機能の実現、
- 新たな情報を創造し、実世界の遷移状態を予測する知的シミュレーション、
- 人間の要素と実世界の計算モデルとを組み合わせるための統合方法。

基礎的な機能は、上述の二つのシステムの実現にどれだけ貢献するかという視点と、各機能の属する研究分野でブレークスルーをなしているかという視点の両面から評価されるべきである。そのブレークスルーはリアルワールドコンピューティングの側面、すなわち、頑健性、開放性、実時間性というものと関連するであろう。研究開発プログラムは、個々の機能と統合機能の双方における新たなアルゴリズムの発見を試みる。以下、研究課題を列挙する。これらは、先に述べた二つのシステムの実現に必要なと思われる研究課題である。このことはここで列挙したすべての課題を研究プログラムが行うことを意味しないが、可能なかぎり追求する。

これらの新機能を実現する計算基盤については、ニューラルシステム、光計算システムを含む超並列分散システムによるものが想定される。

3. 新機能の研究課題

3.1 柔らかな認識と理解

1. 柔らかな画像理解

情報が不十分であったり不完全であったりする場合が通常である実世界画像の理解には新たなパラダイムの構築が必要である。ここにおいては画

像理解には定義不良, 設定不良に起因する多くの問題が存在する. 多くの研究者が, これまで分散された画像情報を凝縮された言語表現に変換する手段である認識と理解の技術の研究に努力してきたが, さらなる発展を以下の点から求める.

画像認識・理解の初期段階(色, 形, 位置, 動き)を抽出する個別モジュールはそれぞれより一段の高度化に向けて研究されるべきと考える. 一方, それらは広義の制約充足パラダイムに基づいて統合されるべきである. 画像情報の構造を把握するには, 能動的な行動を観測者に設定することも必要である. 画像に内在する構造を顕在化するために知識として一部制約を導入することも必要である.

画像理解の柔軟性は, 動画像をも対象とした画像の分割に関する新たなアルゴリズムの発見や, 世界モデルを仮定したり, 画像以外の他の情報を用いて画像を特徴づけ, それらを統合することによって生じる. 実世界から得られる画像を用いて構築される世界モデルは必ずしも幾何モデルに基づくものとは限らない.

重要な研究課題をあげる.

- 画像データに基づく概念学習, 自己組織化, 部分オブジェクトへの分割のためのアルゴリズム,
- 画像理解のための画像特徴と高次概念的記号の統合のための中間表現,
- 動画像データに基づく, 行動理解のための動的世界を取り扱う技術の構築,
- 非剛体の物体表現のための柔軟かで変形可能なモデルに基づく, 人間の意図理解のための人間についての動画像認識,
- 人間のもつ直観的情報を画像から抽出する基本機構.

2. 柔らかな音声理解

実現すべき柔らかな情報処理の中で, 音声はその対象となる重要な情報の一つである. 計算機が不特定話者の会話を理解できたならば, 計算機ユーザにとって音声は強力な情報伝達手段となる. 音声理解の柔軟さは, 動的な音声の特徴抽出と, 不完全な認識という制約下におけるマッチング手法を含む認識モジュールの統合のための新しいアルゴリズムの発見から生じる. この新機能を得るためには, 以下のような研究課題が考えら

れる.

- 騒音環境化における雑音抑圧と認識技術,
- 初期段階の音声処理と音声の動的特徴の抽出,
- 未知単語の取扱いが可能な不特定話者の会話理解機構,
- 超並列計算での実現に適した単純明解な認識アルゴリズム.

実世界における柔らかな発声・合成音声に基づく, コンピュータとユーザ間のインタフェース技術が開発されなければならない. 以下のような研究課題があげられる.

- ノイズのある記号列(音声認識の単語出力)でも頑健な構文的, 意味的处理,
- 音声駆動型会話モデルと音声会話とをリアルタイムで結合した動的世界モデル,
- 補完する特徴をもつような他の情報と音声との関係.

3. 柔らかな自然言語理解

実世界には自然言語で表現される膨大な生データがある. これも本プログラムが取り扱う対象データである. これは音声・画像などとは異なってコード化されていることに特徴がある. それらはさまざまな目的, 状況下で使われる. しかし, 現在これらの大規模量のデータを相互に結び付けるために機械によって理解処理される段階にいない. 本プログラムでは新機能研究の課題として, 膨大なコード化された自然言語を生データとして管理すると同時に, 汎用的な概念表現の抽出を通じて, それらの相互関係を利用可能な状況を作り出す頑健な理解システムの実現に焦点を当てる.

その実現のための鍵となる概念は自然言語の分割方法である. この分割には構文的なものと意味的なものがある. 分割された単位は大規模なデータを表現できる知識表現を通じて, 相互関係を記述するのに十分に組織化されるべきである. この組織化の評価は対話など継続する文を設定された言語世界の状況変化に頑健な理解モデルの中で行われる. 同時に, 知識ベースの学習と自己組織化の機構もこれらの理解モデルが高度化していくために必要とされる. 以下のような研究課題があげられる.

- 大規模かつ不完全な文に適用可能である頑

健な構文解析,

- 各種の電子化辞書の自然言語理解 (メモリベースを含む) への組込み手法,
- 談話から得られる文系列を文脈理解のために自己組織化するアルゴリズム,
- 汎用的な概念表現を抽出する機能,
- 談話を扱うための概念的構造的類似性に基づく状況理解や, 知識単位を統合する推論エンジンを含む計算モデル,
- 説明指向の自然言語理解とその評価規準,
- 自然言語と画像・音声など他の情報との統合 (連係と補完).

3.2 柔らかな推論と問題解決

1. 推論と問題解決

柔らかな推論は, 実世界で生成される不整合性・不完全性・不確定性をもつ情報・知識を扱う。また, 問題自体が完全に記述できないものも扱い, ユーザの不完全な要求の定式化も要求されるので, 知識表現の問題は重要である。推論の柔らかさは, それぞれが特化した作業課題を実行する各推論エージェント間の協調メカニズムから生じる。

実世界における生産システムを含む多くの大規模システムは, 協調によって全体システムを安定化, 準最適化, 適応させるような, 数多くの異なったエージェントが存在する。これらによって問題解決が行われるが, そこでは実時間性も要求される。

したがって, これらを許容する柔らかな推論・問題解決の新たな枠組が必要である。記号とパターンとの統合する柔らかな情報表現, 実世界情報からの柔軟な知識獲得 (確率構造や因果関係の学習), 確率論やファジィ推論などを統合した柔らかな論理に基づく推論や類推, 不良設定問題や暗黙的な多くの仮定を含んだ問題を高速に解くための制約充足問題, ネットワークダイナミクスによる最適化としての柔軟な超並列分散処理など, 要素機能を柔軟に拡張する新しい技術の開発が重要である。

以下のような研究課題があげられる。

- 準大域的な関係や制約の獲得と, 曖昧な要求を許容できる問題記述の枠組,
- 対話型知識獲得,
- 動的プランニング,

● 類推や確率的推論に基づく柔らかな問題解決アルゴリズム,

- 人間を含めた多数のエージェントの間での協調方式による問題解決や意思決定支援,
- 通信が制約されている条件のもとでの大規模システムの問題解決,
- 人間の問題解決過程のモデル化の研究.

2. 柔らかな情報ベースと検索

柔らかな推論・問題解決, 認識・理解, 行動といった新機能を支えるもの, また高度情報ネットワーク社会における人間の知的活動を支援する情報基盤として, 実世界の多様な形態の情報・知識を柔軟に管理できる柔らかな情報ベースが望まれる。そこでは, 実世界の情報構造を柔軟に内部に表現し記憶する技術と, ユーザの意図に対して正確かつ柔軟に対応し検索を行う技術が特に重要である。

これまで, 知識ベース, 関係データベース, オブジェクト指向データベース, 演繹データベースなどが活発に研究・応用され, 手続き的知識, 宣言的知識など多彩な情報・知識の取扱いが可能となってきた。しかし, 情報の記憶と管理手段として記号と論理操作を主体とした現在のデータベースや知識ベースに残されている課題も多い。

柔軟な情報表現・情報獲得・自己組織化・情報提供の機能を備えた柔らかな情報ベースの構築と運用技術の確立が必要である。

以下の研究課題があげられる。

- 大量の多様な生データや知識・手続きなどを統一的かつ統合的に処理することを可能とするような枠組,
- 実体のもつ位相性も含めた柔軟な情報表現,
- 情報階層に適したデータ構造の表現,
- 互いに独立なあるいは共通な知識の表現,
- 情報の価値の評価や特徴抽出による情報要約や自動インデックシング,
- 不足情報の明確化と能動的情報獲得,
- 外部環境からの情報に適応して内部情報構造を柔軟に自己組織化し拡張できる機能,
- 情報間の対応関係や協調関係の学習,
- 不完全・曖昧要求からの意図の同定,
- 連想による情報検索,
- 超並列処理による高速検索技術.

3.3 柔らかなヒューマンインタフェースとシミュレーション

1. 柔らかなヒューマンインタフェース

リアルワールドコンピューティングシステムの優れた使用法は、上述した個別新機能の開発と同時に開発されるべきである。新しい情報処理環境は新しいコンピュータと幅広く知的協調活動を可能にし、広く知的活動を拡大・支援するものとして理解される。このような環境では、ユーザとしての人間は身振り、表情、話し言葉のような自然な手段によって計算機と対話でき、また実時間の3次元画像によって情報を受け取ることができる。これによって、ユーザは従来のように狭いチャネルを通してのスキルを要する対話の煩わしさから解放され、よりレベルの高い知的作業に集中できることになるであろう。これらの情報環境を実現するための関連する研究課題には以下のものを含む。

- 広帯域の多様なインタフェース（身振り・表情、自然言語や画像のパターン認識など）。
- 仮想現実感を使った情報表示システム、
- 人間の意図を理解するための感覚統合や認知行動モデル。

2. シミュレーション

リアルワールドコンピューティングは、新たなシミュレーション技術を実現する。それは実現には目に見ることができない現象を可視化することによって人間の思考・創造・決定を支援するとともに、それは非常に困難な問題を解くための強力なツールをユーザに提供する。ここでは、費用と時間を要するうえに、いつも正確な結果が得られるとは限らない物理的な実験を代替するものとして、大規模かつ複雑な系のシミュレーションを可能とし、時間の制約なしに系の挙動を予測できることが求められる。未知の現象や将来の予測（たとえば地球環境や天気予報など）は実時間コンピューティングの重要な応用分野である。関連する研究課題としては以下のものがあげられる。

- 学習、適応型シミュレーション、
- 複雑・カオス的な時系列の予測と制御、
- 環境・経済・交通などの大規模シミュレーションと決定支援。

3.4 柔らかな自律制御

実世界において実時間で動作する柔らかな自律的協調システムを実現するために要求される技術の開発に焦点を当てた研究が必要である。ロボットはその典型的な例である。また、高齢者や、身体的に障害をもつ人々の支援・補償も応用分野である。このようなシステムは認知、決定、行動のために互いに相互作用する多様な機能モジュールからなる。解くべき問題は、これらの多様な機能をいかに統合するかの方法であり、実世界の制約のもとで望まれるゴールを達成するために機能モジュール間の相互作用の制御をいかに行うかの方法を明らかにすることである。実世界とは、不完全性、用いることのできる情報の曖昧性、物理的世界の動的変化、用いることのできる時間や空間の制限などがあるもので、前記の統合機能はこれらを考慮したものではなくてはならない。自発的で発見的な学習・自己組織化機能が必要であろう。関連する研究課題には以下のものがある。

- 環境・作業課題・制御の柔らかなモデリング、
- 能動的分散計測とセンサ統合、
- 作業する場面での計画と分散協調探索、
- 物体をうまく実時間で操作するための複数の計測・計画・行動エージェントの構造化と調整、
- 動的な実世界と内部的な世界モデル間の無矛盾性の維持。

4. おわりに

本プログラムは10年間の計画となっている。研究のもつ性質上その進展状況を予想できないが、目標とする途中の指標は現在想定できる。これを以下に述べる。

研究開発を2段階に分けて考える。第一の段階では、統合システムに必要な個別新機能を実現するために、アルゴリズムの発見を目指す研究が行われる。柔らかな認識と理解では、指の動きやジェスチャなどを示す動画像の理解や会話音声の理解技術の確立を目標とする。柔らかな推論と問題解決では、画像を含む特定の領域の情報ベースをつくり、それに対して柔らかな推論や問題解決のための新しいアイディアの適用を行い、それらの新しいアイディアの発展と革新を図る。新規性を

もつアイデアとしては確率推論や制約充足などの方法に基づくものも含まれるであろう。また、大規模データベースを自己組織化する方法の発見も目標とする。柔らかなヒューマンインタフェースとシミュレーションでは、人間の意図とそれを表す多様な情報表現との関係を、心理学的証拠や実験と情報処理メカニズムと結びつけることで明らかにすることを目標にする。また、認識や理解の結果を用いてつくり出される時間とともに変化する状況を表現する仮想現実感による表示技術の確立もその目標となる。柔らかな自律制御においては、観測、認知、計画、行動を実世界において行うことを適応と学習の観点から統合する方法論の確立がその研究目標となろう。

第二の段階では、第一の段階で発見された個別新機能を統合して、統合システム、すなわち実世界適応自律システムと情報統合対話システムの実現に向かう研究が行われる。ここにおける一つの研究道標としては、実時間で動作するシステムの実現である。この研究開発で提案される種々の新機能群についてはそれらを統合するために生じる組合せ問題を知的にかつ洗練された方法で解決することがその研究道程になると想定される。そのとき、個々の新機能は統合システムの中で他のそれらと協調することを通じてシステムが頑健性と開放性をもつことに貢献することが求められる。

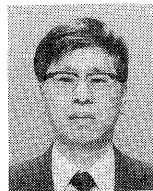
第一の段階ではその大部分は個別新機能の発見を目指す。部分的には要素新機能の統合のための研究も行われる。同様に、第二の段階でもその大部分は統合システムの構築研究であるが、部分的には個別新機能の発見のための研究も行わ

れる。

個別の研究活動の中では、リアルワールドコンピューティングにふさわしい新たなパラダイムの構築のための関連研究を刺激するようなアルゴリズムの発見活動（ただし、この段階では新たなアルゴリズムの理論的基盤は必ずしも要求されない）、新機能の実現方法と理論基盤に基づく実世界コンピューティング技術体系の構築活動、が行われる。

上述した個々の研究課題はプログラムの開始5年後に見直しがなされることが予想される。この見直しの機会に、本研究プログラムで開発される超並列計算機上での実装可能性やそれへの反映、あるいは、実世界コンピューティングに関連する個別の技術分野でいかなるブレークスルーをなしているか、のいずれかの観点から各新機能が評価されることが予想される。

（平成5年7月14日受付）



岡 隆一

1945年生。1970年東京大学大学院計数工学部専攻修士課程修了。同年電子技術総合研究所入所。以来、文字認識、音声認識、自己組織系等

の研究に従事。現在、新情報処理開発機構に出向。現在の主要テーマは、動画像理解、音声対話理解、移動ロボット、自己組織型大規模知識ベース、記号とパターンの統合方式、超並列・散層アルゴリズム、電子情報通信学会、日本音響学会、認知科学会、AVIRG 各会員。工学博士。