

NAVEX — ナビゲーション・エキスパート・システム — NASA

【挑戦】

シャトル事業が取沙汰されている今日では、人が配置されているいなくにかかわらずNASAの任務は困難であり、危険である。宇宙工学はできたばかりであり、それに含まれている技術的・人間的複雑さは大きくもの巢のようであることを考えると確かにうなずける。この複雑さや、その結果としての危険を減少させることがNASAが近い将来に追求している目標である。Inference社のAutomated Reasoning Tool™(ART™)によって、このゴールへの一歩が踏みだされた。

もちろん、複雑さのすべてが、宇宙船やその構造にあるわけではない。地上管制・支援の設備システムはまだ簡単で理想的な設計にすぎないが、機能的によりよいものへと展開しつつある。その一例が、ジョンソン宇宙センターのミッション・コントロール・センターでの高速地上管制コンソール(HSGNC)である。HSGNCは離着陸時のカルマンフィルターの監視と制御に使用される。カルマンフィルタはレーダー追跡データを処理して、フィルターの解、つまりシャトルの現在位置・速度・加速度のリアル・タイムの最良推定値を生成する。また、レーダー局からのデータが完全であるかということやフィルター解の状態を評価するための統計量一覧も生成する。

第1世代のHSGNCは、能力としては十分であったが負担が重すぎた。それを改良するためNASAは次のことを達成しなければならなかった。

- 毎回のシステム信頼性と人間による完全な制御の実現。
- 制御数の多さでオペレータを圧倒しないシステムの設計。古いシステムでは、100以上ものレーダー関連のパラメータと50もの状態をしめすライトがあった。
- 必要なスタッフの削減、初期のHSGNCシステムは操作するのに3人のエンジニアが必要であった。
- スタッフのトレーニング時間と費用の削減。それぞれのコントロールオペレータ

は18か月から2年のトレーニングが必要であった。つまり1セットのコンソール操作に6年人の学習にまで達してしまっていた。

【戦略】

HSGNCシステムでは、さまざまな偶発的な事実が、シャトルの離陸、大気圏への再突入の際に起りうる。このような事象によって生成される非同期データを簡単に取扱うことは、手続き的言語でも困難である。このような偶発的な事象を処理する必要のあるプログラムを慣習的な制御構造でコーディングすることは、長くて複雑な作業となることであろう。

新システムは、操作の際、これまでに設計されたコンピュータシステムで必要であった熟考を不要とする、完全な人間による制御を提供する。また、効率的で十分なオペレータ・トレーニングをサポートしている。伝統的ソフトウェアではプログラム文の逐次実行が明白な形でコントロールされて割込み処理のサポートは貧弱であった。さらに、逐次実行のコードは鈍いアルゴリズムによって肥大化されていることが多い。それらの実行機能は、たいてい複雑であり、その形式もほとんどが説明的でない。

現実的なプログラミング戦略は次の特長をもっていなければならない。

- ルールベースプログラム、これはIF-THENルール文の展開された集合を含んでいる。例えば「C Bandレーダ局でバイアス問題が発生し、かつ他に処理できる局があるなら、その局をこのサイクルの実行からははずす。」この種の表現法は非常に簡単でシステム・ルール・ベースの開発をスピードアップできる。オペレータが言語で知識を表現すると、ほとんど直接にルールに変更できる。
- データ駆動型プログラム：シャトルの離陸や再突入の際に起こるかもしれないさまざまな偶発的事象を取扱うためには、データ駆動型システムは最良の設計である。このような設計では、偶発的事象それ自体が、適切な応答処理への引き金と

なる。

さらに、データ駆動型システムでは、複雑な制御構造の設計、コーディング・テストが不要なため、非常に早く開発することを約束するという利点もある。

● 自己説明型プログラム：ほとんどの適用可能なエキスパートシステム開発ツールでは、そのシステムの推論結果を導くまでの理由づけを説明するメカニズムの構成が可能である。

明らかに、エキスパートシステムは最良のアプローチであった。しかし、すべてのエキスパートシステムが同じとは限らない。NASAの決定要因は、カルマンフィルタの監視および制御のリアルタイム処理が可能かということであった。このレベルのパフォーマンスを達成するシステムが1つだけあった。それが、Inference社のAutomated Reasoning Tool™である。

● スピード：ARTは、ルールベース処理可能な環境では現在最も速い。実際、ARTのスピードはNASA自身のベンチマークテストによると顕著である。このテストはジョンソン宇宙センターのミッション計画・解析部人工知能セクションによって行われ、最終目標に到達するため、サブゴールを生成する必要のあるプランニングを問題として行われた。9つの異なるプロセッサ上にインプリメントされた5つのエキスパートシステムツールセットの中でSymbolics™ 3640プロセッサ上のARTが最も実行が速かった。

● パワー：ARTのルールによる表現力は早くて簡単な開発を予言する。そのデータ駆動のアーキテクチャはアプリケーションのニーズに非常によくマッチしている。ARTISTというエンドユーザ向けインターフェイス構築用の強力なツールを用いて、NASAでは、トレーニングをサポートするアニメーション・グラフィックディスプレイを設計した。

まとめると、ARTは現在の商用可能なものの中ではもっとも完全で、深く統合されたAIツールセットといえる。

Benchmark Results¹ — Rule Based Approaches²
[NASA, FM7 (86-51), April 1986]

TOOL (version)	MACHINE	TIME (sec)	RPS ³
ART (V2.0)	SYMBOLICS	1.2	86 : 72
OPS5 (VAX V2.0)	VAX	1.3	81 : 62.3
OPS5 (Forgy VPS2)	SYMBOLICS	1.7	81 : 47.6
ART (V2.0)	TI EXPLORER	2.4	86 : 35.8
ART (V2.0 Beta)	LMI	3	86 : 28.7
CLIPS (V2.30)	VAX	5	84 : 16.8
OPS5+ (V2.0003)	IBMAT	5.2	81 : 15.8
ART ^{4,5}	SYMBOLICS	7.6	N/A
CLIPS (V2.30)	HP 9000	13	84 : 6.5
OPS5+ (V2.0002)	Macintosh	14	81 : 5.8
ART (V Beta 3)	VAX	17	86 : 5.1
KEE (V2.1.66) ^{5,6}	SYMBOLICS	17.8	N/A
OPS5+ (V2.0003)	IBM PC	19	81 : 4.3
CLIPS (V2.10)	IBMAT	19	84 : 4.3
ExperOPS5 (V1.04)	Macintosh	55	81 : 1.5
CLIPS (V2.10)	IBM PC	57	84 : 1.5
KEE (V2.1.66)	SYMBOLICS	165	84 : 0.5

¹While benchmarks provide useful information, one should avoid drawing far reaching conclusions from them. This benchmark is just one of many possible benchmarks and does not fully test the capabilities of the expert system tools. For example, to draw the conclusion that ART is a better expert system tool than KEE or that KEE is a better expert system tool than ART is beyond the scope of this study. This table by itself may present information out of context. It is necessary to read the text of the memo which accompanies this table for a fuller explanation. This table does not contain all of the benchmark results.

²While the appropriateness of a particular paradigm (e.g. rule based, object oriented, or procedural) for a particular problem is subjective, the AI section believes that this benchmark is most naturally solved using rules.

³Total number of rule firings : Rules per second.

⁴Benchmark implemented by Inference.

⁵Benchmark implemented using backward chaining rules. All other benchmarks on this table were implemented using forward chaining rules unless noted otherwise.

⁶Benchmark implemented by Intellicorp.

[解法]

NASA では、シャトルの再突入の際の HSGNC 操作向けの第 1 システムとシャトルの上昇向けの第 2 システムを計画していた。NAVEX (ナビゲーションエキスパートシステム) と呼ばれる新システムは、単なるデモ用のプロトタイプとしてしか期待されていなかった。しかし、ART を用いることによって第 1 NAVEX システムはすべての立案計画を達成するばかりではなく、それを拡張して全ての機能を含むエキスパートシステムをデモンストレーションすることができる。しかもこれは、簡単なシステムではない。短期間の開発にもかかわらずそのアーキテクチャーは精巧である。

- フロント・エンド・プロセッサ (FEP) が 2 秒ごとにカルマンフィルタ・プロセスからデータを受け取り、NAVEX の知識ベースに保持する一連の ART ファクトを生成する。
- カーネル・ルールセットは以前のクロックサイクルから保持されているファクトとともに、新しい FEP からのファクトを操作する。そのルールは、一連の内部フィルタ制御の最適値を生成する。
- 実行ルールセットは、内部フィルタ制御を評価して必要ならばそれらを変更する。

- プロモートルールセットは、内部フィルタ制御最適値を選択し。それを実行状態に適用する。操作モードによって、この決定を自動的に行わせたり、コンソール・オペレータに表示したりする。
 - ランタイム・モニタはオペレータが、会話モードのフィルタ制御命令を選択できるように NAVEX データを表示する。
 - ファクトデータベースには、カーネル実行・プロモートルールセットで使用されるファクトのすべてが登録されている。
- NAVEX は、実際の送信データでテストされた結果、会話モード時には 1 人のエンジニアによって、またオートモード時には自動的に操作可能であると証明された。それは 100% 正しい判断を下している。それは、以前 3 人のオペレータで可能であったデータの 8 倍のデータまで処理できる。また、それは高速であり、以前の「リアルタイム」オペレーションの 4 から 8 倍のスピードで実行できる。

テストの結果、NAVEX は成功であったと証明されたので、NASA は現在、それを最初は助言システムとして設置しようと計画している。

NAVEX によってひらかれた道とともに NASA では、他のいくつかのエキスパートシステムも考慮中である。これらのシステムの要求のほとんどに対し、ART は開発システムとして選択されるであろう。

ART, the Automated Reasoning Tool, and ARTIST are trademarks of Inference Corporation. Symbolics is a trademark of Symbolics, Inc.

Copyright © 1986 Inference Corporation. All rights reserved.

総代理店
8 ニチメン株式会社
 電子情報機器部 情報機器課
 〒103 東京都中央区日本橋3丁目1番1号 TEL (03)277-5820

8 ニチメンデータシステム株式会社
 営業部 AI 推進課
 〒103 東京都中央区日本橋本町1丁目3番2号 共同ビル TEL (03)241-2611

TIS 株式会社 ティエイエスシステムズ
 営業部
 〒105 東京都港区新橋1丁目1番7号 新橋三和東洋ビル
 TEL (03)575-4031