

通信網管理のためのエキスパートシステムの性能評価手法に関する提案

横田 英俊 松本 一則 橋本 和夫 浅見 徹

国際電信電話株式会社 研究所

〒 356 埼玉県上福岡市大原 2 丁目 1 番 15 号

通信網の巨大化と複雑化に伴い、通信網の管理は次第に難しくなっている。こうした状況に対して、エキスパートシステムを用いて通信網管理を支援する試みがいろいろなところで行なわれているが、通信網管理を目的とするエキスパートシステムを構築する場合には、実時間で送られてくる通信網の情報に対する十分な応答性があること(高速性)、機能や負荷を物理的に分散できること(分散推論性)、膨大な数の管理要素を収容できること(スケーラビリティ)、などが要求される。我々はこれらの視点から、一般の実時間エキスパートシステムが持つべき高速性、非同期性などの機能に加えて、通信網管理の支援を目的とするエキスパートシステムに要求される分散推論機能、スケーラビリティなどについて明確化した。またこれらの要求項目に対する性能評価手法を提案し、実際にエキスパートシェルのひとつに適用して評価手法の有効性を検証した。この結果、エキスパートシステムの外界の変化速度に対する追従性、分散時の応答性、管理できるデータの量などについて評価することができた。これにより被評価システムの通信網管理への適用性、および推論戦略のための指針を得ることができ、本評価手法の有効性が確認された。

通信網管理、エキスパートシステム、実時間性

Proposal on Evaluation Scheme for Network Management Expert Systems

Hidetoshi YOKOTA Kazunori MATSUMOTO Kazuo HASHIMOTO Tohru ASAMI

KDD R & D Laboratories

2-1-15 Ohara Kamihukuoka-shi, Saitama 356, JAPAN

The difficulty in management of communication networks is highly growing according to the increase in complexity of the network structure and functions. In the hope of saving the heavy load of network management, expert systems are beginning to be practically applied. However, the evaluation scheme for applicability of expert systems to network management has not been established yet.

This paper proposed the evaluation scheme for network management expert system, from a viewpoint of performance. Firstly, we clarified the requirements for a network management expert system and listed up the three features which reflects the performance; the high speed responsiveness for the real time processing of traffic data, the distributability of tasks and functions among cooperating expert systems, and the scalability to manage a huge number of the network objects. Secondly, we proposed an evaluation scheme for the requirements described above, and verified the usefulness of the proposed evaluation scheme with respect to the responsiveness to the change of the outer world, and the upper limit of the manageable data size by the experiment applying this evaluation scheme to an existing real time expert shell.

Network Management, Expert System, Realtime

1. はじめに

近年の通信需要の増大化とネットワークの機能および構成の複雑化に伴い、通信網の運用はますます難しくなっている。網のノードやリンクは増大し、衛星、マイクロ波、同軸、光ファイバなどの多様な通信媒体によってノード間が接続されるようになってきている。こうしたノードやリンクは各々異なった性質を持つため、異なる保守技術を組み合わせることで、より正確にかつ効率的にネットワークを管理、運用する試みが様々な形態で行なわれている^{[1][2][3]}。しかし、医療診断のような用途に適用されてきた従来のエキスパートシステム^[4]とは異なり、通信網管理に適用する場合にはその実時間性が非常に重要なファクタとなる。また通信網を構成する要素は非常に多く、これらを管理できるようなシステムでなければならぬ。そして様々な機能を持つ大規模なシステムを構築する必要性から、物理的に一つのハードウェアで構成することが難しく、個々の機能をモジュール化して統合できるような機構が要求される。このように従来とは異なった要求条件を満たすようなものとして、高速性、非同期性を考慮した実時間エキスパートシェルがいくつか開発されているが、通信網管理に適用させた場合の問題点については必ずしも十分に議論されていない。

本稿では、通信網管理を目的とするエキスパートシステムに必須の機能として、実時間エキスパートシステムを持つ高速性、非同期性などに加えて、通信網管理を行なう場合に要求される分散推論機能、スケラビリティなどの必要性について明かにする。また通信網管理に適用するための評価手法について提案し、実時間エキスパートシェルと呼ばれるいくつかのツールの中から C-PRS を例に取り上げ、提案した性能評価法を検証する。

2. 通信網管理の概要とそれに要求されるエキスパートシステムの機能の明確化

2.1 通信網管理の概要とエキスパートシステムの必要性

通信網管理の内容には、装置の接続・切替え、回線の開通・切替えなどの網構成の管理や、伝送誤りの測定、サービス品質の評価などの性能の管理、また警報の収集・解析、装置診断などの網の障害の管理などがあるが、近年通信網管理が難しくなってきた理由としては以下のような事柄が挙げられる。

- 増加の一途をたどる通信トラフィックに対し、効率よく網を機能させるため、網の広がりを持って木目細やかにコントロールする必要が出てきた。
- サービスの増加、装置の高機能化により管理は一段と複雑さを増す一方、迅速な処理が要求される。

- 十分な管理を行なうためにはトラフィックデータを測定、収集し、発信規制や迂回ルートの変更、回線数の変更などの制御を実行することが必要になる。

これに対して従来のような人手による管理は、柔軟性はあるものの対応が遅く対象とする範囲も限られるので、エキスパートシステムの技術を用いた支援環境により作業効率の向上が期待されている。しかし人間に変わってこれだけの仕事をエキスパートシステムが行なうには 2.2 に示すように医療診断などに用いられてきた従来のエキスパートシステムとは異なった機能が要求される。

2.2 通信網管理に要求されるエキスパートシステムの機能の明確化

エキスパートシステムを通信網管理に適用する際に最も重要と思われるのが実時間性であるが、これについてこれまで指摘されてきた機能を 2.2.1 に示し、さらにこれをベースにして筆者等が通信網管理に適用する際に必須と思われる機能を明確化して 2.2.2 に示した。

2.2.1 一般的な実時間エキスパートシステムに要求される機能

実世界を変化させるものがプランナに限定されている静的世界を取り扱うドメインとは異なり、動的な環境では時々刻々と状態が変化していく外界にプランナが追従していかなければならない。

Laffey 等はこのような動的世界でのエキスパートシステムの動作環境を以下のように特徴づけている^[5]。

- ワーキングメモリ内に書き込まれた信念 (belief) や、そこから導出された事実 (fact) は、プランニングの最中に変化し、得られた結果が必ずしも知識の増大をもたらさない (非単調性)。
- 新しいデータが入ってきたことにより推論が変化するだけでなく、新しいデータが入ってこなくても、時間が経過するにつれて、それまでのデータや結論の有効性が失われていくことがある。すなわち情報の信頼性は時間とともに失われていく (不確実性)。

Laffey 等や Hendler 等^[6]は、以上のような環境でエキスパートシステムが効率的に動作するために要求される機能をいくつか指摘しているが、これを集約すると表 1 の上段のようになる。

2.2.2 通信網管理のためのエキスパートシステムに要求される機能

通信網管理を支援するようなエキスパートシステムの動作環境は、先に述べた動的世界の環境と同等なものであり、表 1 で示した機能は全て必須であるが、筆者らは通信網管理を行なう上でさらに必要な機能を提案し、それを表 1 の下段にまとめ、以下に解説する。

(1) 分散推論機能

通信サービスはもともと地理的に離れた地点をネットワークで結ぶ必要性があることから、通信網管理にお

表 1 通信網管理のためのエキスパートシステムに要求される機能

	機能	説明
一 般 的 機 能 実 時 間 E S に 要 求 さ れ た 機 能	高速性	時々刻々と変化している系に対して、データの取り込みと推論を高速に行なう機能
	非同期性	推論中の予期しないイベントの発生(割り込み)への対応
	連続稼働性	故障があってもシステムが継続して稼働する機能
	一貫性保持機能	時間が経過するにつれてそれまでのデータや結論の有効性が失われていく動的な環境に対する時間を考慮した一貫性維持機能
	優先制御機能	ルールやプラン毎にプライオリティを設けて処理する機能
通 信 網 加 管 さ れ る の 機 能	分散推論機能	離れたところにある複数のプランナが自律的に動作し、かつ情報を送受することにより互いに協調する機能
	スケーラビリティ	一度に扱うデータが膨大なものになっても急に性能が劣化することなく処理する機能

※ ES=Expert System

いては地理的に分散している管理対象を扱うことが多い。よって互いに離れたところにある複数のハードウェア上にある複数のプランナが情報をやりとりしながら協調していくような機能がなくてはならない。このためにはプランナにネットワークを介した通信による分散機能が必要となる。しかしプランナを分散させて推論させるということは通信による余分な負荷がかかることになるので、この通信によるオーバーヘッドがシステム全体の処理量に対して十分小さいことが要求される。

(2) スケーラビリティ

通信網管理においては管理する対象が非常に多く、管理のためのシステムも大規模なものが多い。従って一度に扱う管理データが膨大なものであっても急に性能が劣化することなく処理できるものであることが必要である。

3. 通信網管理への適用性の性能評価手法

2.2で述べたように、エキスパートシステムを通信網管理に適用しようとする場合様々な機能が要求されるが、筆者らはこれらのうち特にエキスパートシステムの性能を左右する機能として、(1) 高速性、(2) 分散推論機能、(3) スケーラビリティ、について特に取り上げ、これらに対する評価手法を提案する。

3.1 高速性の評価手法

i) 基本的な高速性の評価手法

外界の変化、すなわちワーキングメモリの変化にシステムがどのくらいの速度でプランニング、すなわちプランを構築して、実行することができるかを評価する。これはエキスパートシステムにおけるあらゆる処理速度を評価する上で、最も基本的なレベルの速度である。また双方向推論が可能であれば、前向き推論のほかに、後向き推論の速度についても評価する必要がある。

[高速性の評価項目 1](適用される事実や目標の量と応答速度の関係の評価)

新しい事実、信念や、新しい目標の数に対してそれがワーキングメモリに書き込まれてからプランナが適用可能と判断し終るまでの応答時間の平均、分散、最大値、最小値など基本的な統計量を採取する。

[検討基準]

この評価項目により外界の変化が著しい時、または適用できるプランが多く存在する時でもシステムが一定のパフォーマンスで動作するかどうかを評価することができる。投げ込まれた事実や目標の数に対して応答速度が線形に増加していくのが望ましいが、それ以上の割合で増加していく場合には、一度に大量のルールが適用可能にならないような推論戦略を取らなければならない。特に応答時間の最大値は高速性に対する最悪値となり、システムの性能を左右する重要なパラメータである。システムをより安全側に設計する場合には、平均値よりも最大値を用いた方がよい。

ii) 総合的な高速性の評価手法

1) の評価手法によりエキスパートシステムの基本性能を評価することができるが、より実用時に即した性能を評価するには十分とはいえない。実際に外界の変化にどれくらい追従できるのか、追従できなくなった時にどのくらいの割合でパフォーマンスが低下していくのかといったことは、実際にエキスパートシステムを適用する際の前提条件として知っておく必要がある。

動的な環境における推論戦略の振舞いを評価する実験モデルとして、Pollack、Ringuette らが提案している Tileworld⁶⁾がある。このモデルは独立した多くの制御パラメータを持ち、これを変えることにより様々な設定環境での戦略の有効性を評価するというものである。しかし今回の評価に関しては、エキスパートシステムの応答性能を評価するのが目的であるので、戦略の有効性を特に考える必要はない。よってパラメータの数を減らし、シミュレートする状況をより単純化した形態のものを考える。Pollack らの Tileworld は 2 次元平面上にランダムに穴が現れ、それを追跡しつつタイルを移動させて埋めるものであるが、今回はこの過程を省略し、現れた穴を直接埋めることができるものとする。よってここでとる戦略は、単純により得点の高い穴を埋めるということである。図 1 にそのモデルを示す。

[高速性の評価項目 2](外界の変化への追従性の評価)

エキスパートシステムの高速度に着目した評価を行なう場合には、Tileworld の環境が変化する速度を変えた時の処理効率(推論結果が実際に有効となる割合)を計測する。これにより、単なる処理に要する応答時間ではなく、外界の変化に追従できなくなった時のパフォーマンスが劣化する割合が分かる。穴が生起する率を入、穴が現れている平均時間

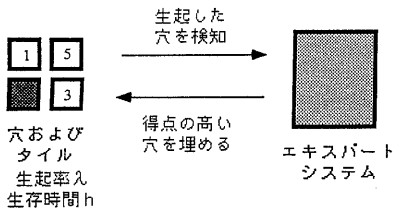


図1 簡略化された Tileworld モデル

(生存時間)を h とした時に、

$$a = \lambda h \quad (1)$$

をパラメータとして、生存時間と得点率の関係を求める。得点率は現れた穴を全て埋めた時に獲得する得点を1とした時の実際に獲得した得点の割合で表される。 a は計測時間全体に対して穴が現れている割合を示す量である。 a が小さい時は穴はほとんど現れず、逆に a が大きい時は穴が現れている確率が高い。これを変化させる外界のアクティビティと呼ぶことにする。

[検討基準]

生存時間と効率(得点率)の関係を見て、これが緩やかに劣化していく場合には問題はないが、外界が変化する速度に対して効率が急峻に劣化するところが存在する場合には、それ以上の外界の速度での効率的な動作は望めない。

[高速性の評価項目 3](外界のアクティビティに対する推論効率の評価)

式1 a の値を変えて同様に得点率を計測を行なう。これにより、外界の変化に対して、プランナが応答すべき対象の数が著しい時のプランナのパフォーマンスの変化を見ることが出来る。

[検討基準]

a を変えてもあまり差がない時にはアクティビティに対してセンシティブではない。逆に a を変えた時に差が出る場合には、要求される効率が得られるような推論戦略が必要になる。

3.2 分散推論機能の評価

プランナを分散化して、相互に協調しながら一つの目標を達成するといったシステムで問題になるのは通信コストである。通信コストが、

$$\text{通信コスト} = \text{プランナ間の通信処理機能の速度} \times \text{通信量}$$

で与えられる量と定義すると、この二つのファクタによって通信コストが影響を受ける。物理的に分散せざるを得ないようなドメインへの適用はともかく、通信速度が遅かったり、通信量が多いために一つのシステムで構成するよりも遅くなってはいけな。最小限の通信量で済むようなシステム設計も重要であるが、通信速度が遅い場合にはやはり通信コストを下げることはできない。従ってプランナ間のメッセージパッシングの応答速度を評価することが必要となる。

[分散推論機能の評価項目 1](メッセージの量と書き込み速

度の関係)

事実または目標により駆動されるルールを、一つの計算機上の複数のプランナでメッセージパッシングをさせながら実行させ、ルールを駆動する事実または目標の量を変えていった時の応答速度の変化を、単一のプランナで実行させた場合と比較検討する。

[検討基準]

同じ計算機上で複数のプランナを動作させた場合は、負荷分散がされていないので、この場合の応答速度と単一のプランナで実行させた場合の応答速度の差は、プランナ間のメッセージパッシングによるオーバーヘッドである。単一のプランナで実行させた場合に比べて極端に性能が劣化するようでは分散推論機能として十分なものとはいえず、むしろ分散させないようなシステム設計が得策である。

3.3 スケーラビリティの評価手法

ここではシステムの規模を大きくしていった時に、プランナの性能がどのように変化していくかを評価する。基本的な評価手法を以下に述べる。

[スケーラビリティの評価項目 1](外部からのメッセージの量と書き込み速度の評価)

外界の変化を検出するセンサなどの外部装置からエキスパートシステムに対して送出されるメッセージの量と、それが実際にワーキングメモリに書き込まれたことをプランナが検知するのに要する時間との関係を計測する。

[検討基準]

この関係が線形ならば理想的であるが、指数関数的に増大したり、あるところで急に増加するような特性を持っているプランナの場合には、それらを考慮して全体の規模を小さくするか、複数のプランナを用いて負荷分散を考えなければならぬ。

[スケーラビリティの評価項目 2](データのサンプリング周期と応答速度の関係の評価)

通信網の状態を監視するセンサは各ノードやルートの状態を一定間隔でサンプリングするようなシステムが多いので、このような環境でエキスパートシステムが管理するノードやルートの規模と、診断の効率を評価する必要がある。

今回筆者らはこのような状況をシミュレートする実験モデルを提案する。この実験モデルは通信網のノードを監視するもので、一定間隔 T 毎に管理対象となる全ノードの状態をエキスパートシステムに送り、エキスパートシステムがノードの故障を診断した後その結果を送り返すものである。また故障と診断されたノードは平均 r の時間で修復し終るものとする、平均回復時間は故障が発生してから修復し終るまでの時間となる。評価モデルの概念図とノードの状態遷移図を図2および図3に示す。

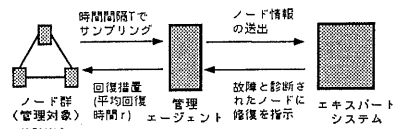


図2 評価モデルの概念図

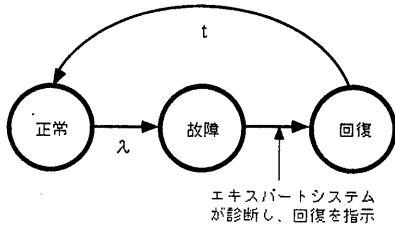


図3 ノードの状態遷移図

ノードの故障は λ の頻度で発生するものとし、エキスパートシステムが故障と判断しそれを管理エージェントに通知してから、管理エージェントが故障ノードを修復し終るまでの平均時間を t とする。故障の発生率はポアソン分布に従うものとし、修復時間は指数分布に従うものとする。

ここで、外界からのデータのサンプリング周期をパラメータとして管理するノードの数と故障回復時間との関係を求める。

[検討基準]

管理するノードの数によって回復時間が急に大きくなるところが存在する場合には、プランナが管理するノード数を制限する必要がある。サンプリング周期を変えることで、あるノード数における回復時間が変わってくるので、管理するノード数に対する最適なサンプリング周期を求める。

4. エキスパートシステムの性能評価例

我々は、2.2.2で述べた評価手法の有効性を検証するために、2.2で述べた要求項目について表2のような機能を持つエキスパートシェルであるPRS(Procedural Reasoning System)^[7]を被評価システムとして例に取り、実際に提案する評価手法を適用してみた。

評価するシステムはC言語でコーディングされたPRS(C-PRS)を用い、評価データはSun Microsystems, Inc.のSPARC server 690 MP上で採取した。

4.1 高速性の評価

(1) 応答速度の評価

表2に示したように被評価システムは2種類の推論方式を取っているため両者について評価する。3.1の[高速性の評価項目1]に従って、新たな事実や目標が投げ込まれてからインタプリタ(推論エンジン)がルールを選択して実行するまでの時間を計測した。

まず、実行すべき手続きを持たないような単純なルールを評価用のルールとし、このルールを発火させるようなfact(事実)およびgoal(目標)をデータベース(ワーキングメモリ)に50回、100回、200回...500回連続して書き込み、発火されるべきルールが全て実行可能になるまでの合計時間を計測した。書き込むfactおよびgoalはいずれも1引数でかつそれが定数であるような述語で、“(TEST1 \$a)”といったフォーマットである(\$aの部分に定数が入る)。図4はこのような操作を10回繰り返した時の平均値を示している。また図5は

表2 PRSの機能

項目	PRSの機能	備考
非同期性	○	手続き的な処理を行なっている中でも非同期で発生するイベントに反応できる
連続稼働性	△	プログラミングに依存
優先制御機能	○	メタルールで記述する
一貫性機能	△	時間は考慮していないが、メタルールで記述することも可能
推論方式		イベント駆動型推論方式: ワーキングメモリに新たに投げ込まれた事実(fact)によってルールが起動される。 ゴール駆動型推論方式: 目標(goal)によってルールが起動される。

factおよびgoalの1個あたりに要する平均応答時間である。

[評価結果]

これらの結果から被評価システムの応答時間はゴール駆動型の推論方式についてはgoalの数に線形に増加しているため、goal 1個あたりの応答時間はgoalの数にほとんど依存しないが、イベント駆動型の推論方式はfactの数が増えるにつれてfact 1個あたりの応答速度は遅くなっている。これはインタプリタが達成すべきゴールは常に一つでゴール駆動型の推論はルールが直列に処理されるのに対し、イベント駆動型の推論は適用できるルールが複数ある場合には並列に処理され得るので、メタレベルでの制御機能が影響しているものと考えられる。よってルールがどちらの推論方式でも記述できる場合にはゴール駆動型の推論方式を用いた方がよいことが分かる。

また、LISPでコーディングされたPRSでイベント駆動型の推論に対して同様な評価を行なった場合、factの数がある値を越えるとGCのために急に実行速度が低下するといった現象が見られた。よってLISPによるPRSは高速性が要求されるシステムにはあまり向かないことと思われる。

(2) 総合的な実時間性の評価

3.1の[高速性の評価項目2][高速性の評価項目3]で述べた実験モデルを用いて評価を行なう。プランナは“(HOLE \$a \$b)”という2引数の述語(\$a, \$bの部分に定数が入る)を入力データとして受け取り、ワーキングメモリに書き込む。プランナが推論結果として h_1 という穴を選択したとすると“(SELECTED-HOLE h_1)”というメッセージを返し、これをもって h_1 が埋められたとする。式1の a について $a = 0.2$ と $a = 0.8$ のときの穴の生存時間と得点率の関係を図6に示す。ただし穴が同時に生起する最大数を3とし、生存時間はPRSの平均応答時間(今回の評価では384[msec]であっ

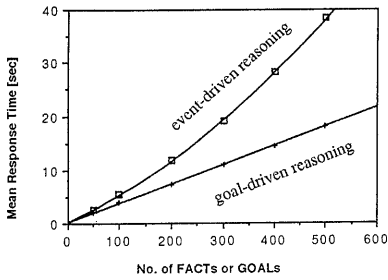


図 4 FACT および GOAL の数と応答時間との関係

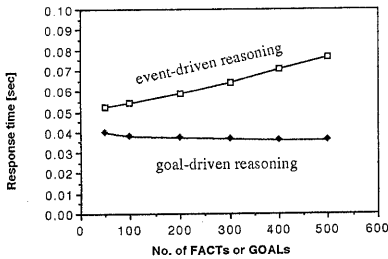


図 5 FACT および GOAL 1 個あたりの応答時間

た)で正規化した。

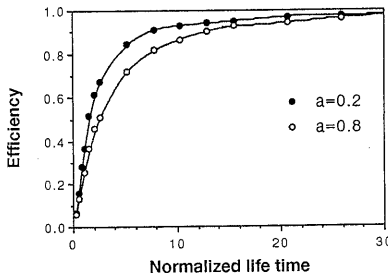


図 6 Tileworld を用いた高速性の評価

[評価結果]

この図より、外界の変化の速度を表す正規化生存時間が 8~10 よりも小さくなるころ、すなわち生存時間が被評価システムの平均応答時間の 8 倍から 10 倍よりも小さくなるころで得点率が急激に落ち込んでいる。よってこの被評価システムの応答速度は、外界の変化に対して少なくとも 8 倍から 10 倍は速くなければならない。

また [高速性の評価項目 2] の [検討基準] より、式 1 のパラメータ a は穴が同時に生存している確率が高いと

いう外界のアクティビティと考えることができるが、正規化生存時間が 20 以下になると a の値によって得点率が落ちる割合が異なる。よって応答速度が外界の変化の速度の 20 倍を下回る時には要求される効率を満たすような推論戦略を取ることが必要になることがわかる。

4.2 分散推論機能の評価

3.2 の [分散推論機能の評価項目 1] に従って、一つのタスクを実行するのに単一のプランナで行なった場合と複数のプランナに分散させた場合の応答時間の比較を行なった。3 つのプランナ $PLN1$ 、 $PLN2$ 、 $PLN3$ が $PLN1 \rightarrow PLN2 \rightarrow PLN3 \rightarrow PLN1$ の順でメッセージを送り、 $PRS1$ がメッセージを受け取るまでを 1 回のタスクとする。これを 50 回、100 回、200 回 ... 500 回繰り返し実行させた場合と、メッセージパッシングを行なう代わりに、1 つのプランナのワーキングメモリに fact として書き込み、同様に実行させた場合の応答時間を計測し図 7 に示した。送出するデータは "($PLN1$ \$a \$b)" のような 2 引数の述語とした (a 、 b には定数が入る)。また、両者についての 1 回あたりの応答時間を図 8 に示した。

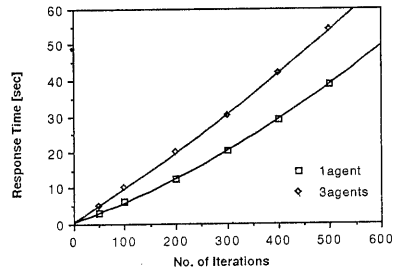


図 7 タスクの実行回数と応答時間の関係

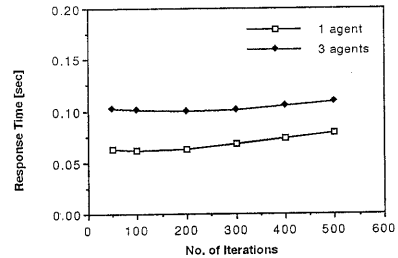


図 8 タスク 1 回あたりの応答時間

[評価結果]

図 7 より、プランナを分散させた方が応答速度は劣化している。これはメッセージパッシングにかかるオーバーヘッドの影響である。よって被評価システムを機能分散、負荷分散などの目的のために分散させる場合には、分散の割合を考慮して設計する必要がある。また図 8 より、1 回あたりの応答速度は繰り返しの回数にはほとんど依存していない。これは安定した連続動作が可能であることを示している。

4.3 スケーラビリティの評価

3.3の[スケーラビリティの評価項目 1]に従い、あるエージェントに対して送出されたメッセージの個数とそれがワーキングメモリに書き込まれるのに要する時間との関係について調べた(図9)。プランナに送出するメッセージは“(FACT A)”という1引数でかつ定数の述語とした。

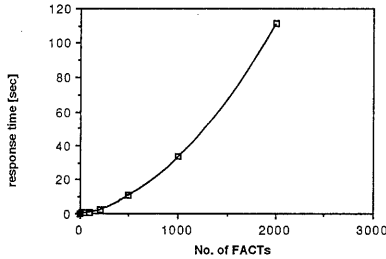


図9 送出するメッセージの量とその書き込み時間の関係

[評価結果]

この図より、ワーキングメモリへの書き込み量と書き込みが終了するまでの時間は線形ではない。例えば、被評価システムを通信網管理に適用することを考えた場合、1分毎に各管理対象のデータを収集してくると考えると、1つのエージェントで扱える管理対象は多くとも1500以下でなければならない。この数を越えるとワーキングメモリへの書き込みが間に合わないために、外界の変化に追従することができなくなる。こういった場合には推論エンジンを複数化して負荷分散を図ることになる。

次に3.3の[スケーラビリティの評価項目 2]に従って故障診断をシミュレートした評価を行ない、エキスパートシステムが管理できるノードの数とそのパフォーマンスを評価した。プランナは全ノードについて“(NODE \$a \$b)”という2引数の述語データ(\$a, \$bには定数が入る)を受け取る。その後プランナが推論結果として、例えばノード n_1 が故障していると診断すると、管理エージェントに対して“(STATUS n_1 BROKEN)”というメッセージを返すものとする。データを収集するサンプリング周期をパラメータにして、管理するノード数とノードが故障してから回復するまでの時間の関係を図10に示した。ここで、故障の平均発生率を $\lambda = 0.33$ 、平均修復時間を $r = 3.0$ [sec]とし、データのサンプリング周期は $T = 2.0$ [sec]と $T = 3.0$ [sec]のものについて求めた。また計測時間は6000[sec]とした。

[評価結果]

サンプリング周期が $T = 3.0$ の時のグラフを見ると、ノード数が32のあたりで急に回復時間が大きくなっている。これは、ノード数が約32の時のエキスパートシステムの推論時間とデータが送られてくるサンプリング周期がほぼ一致しており、エキスパートシステムの推論時間がサンプリング周期を越えると外界の変化に追いつかなくなるために生じるものである。すなわち、エキスパートシステムの推論時間がサンプリング周期を越えた時には、ノードのデータが来ても反応できないため次の周期まで待たされて故障の発見がその分だけ余計に遅れることに起因する。

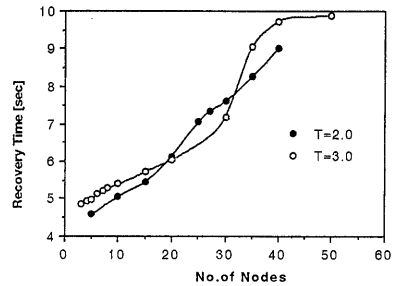


図10 故障診断シミュレーションのベンチマーク

サンプリング周期が $T = 2.0$ の時も、 $T = 3.0$ の時ほどではないがノード数が約22のあたりで勾配が急峻になっている部分がある。やはりノード数が約22の時の推論時間がサンプリング周期とほぼ一致している。

一般にデータを収集する周期は、短いほどシステムの性能が向上すると考えられるが、この図から分かるようにノード数が約20~30の時はむしろサンプリング周期が長い方が、故障したノードの回復時間が短くなっていることが分かる。このことは、サンプリング周期を短くすることが必ずしも故障診断システム全体の性能を挙げることにはならないことを示している。スケーラビリティの面から見ると、効率良く処理できるノード数はエキスパートシステムの推論時間に制約され、これを考慮してシステムを設計しなければならない。

5. 考察

5.1 本評価手法の有効性

筆者らが提案した評価法を用いて、実時間エキスパートシェルが持つ高速性、分散推論機能、スケーラビリティについて評価を行なったが、本評価手法について以下のような考察結果が得られた。

高速性の評価手法 ワーキングメモリの変化量と、それによって起動されるルールがプランナによって構築されるまでの応答時間の関係について計測することができた。また外界の変化速度に対するプランナの推論効率の変化について検討することができた。これによりプランナの推論時間を決定する基本的な応答速度、および外界の変化に対する追従性などプランナが持つ高速性について評価することができる。

分散推論機能の評価手法 複数のプランナ間で行なわれるメッセージパッシングの応答速度を評価することができた。これによりプランナを分散させたことによる通信のオーバーヘッドを評価することができ、分散の度合を決定する指針が得られる。

スケーラビリティの評価手法 プランナに送出するメッセージの量とそれが実際にワーキングメモリに書き込まれるまでの時間との関係について計測することができた。これにより被評価システムが要求される応答時間が与

えられた時の管理できる対象の数の上限を定めることができる。またデータを取得する時間間隔(サンプリング周期)と取得するデータ数が全体の性能に及ぼす影響などについても確認することができた。これによりシステムの性能はサンプリング周期と取得したデータに対するプランナの応答速度に影響されることが分かり、データの数が与えられた時の有効なサンプリング周期を求めることができる。

以上、2.2で要求された機能に対する被評価システムの充足性を評価することができたので、この点について今回提案した評価手法が有効であることが実証できた。以上の評価結果は通信網管理エキスパートシステムを構築する上での設計指針、および様々な推論戦略の中から有効なものを選択するための指針を与えるものとなる。

5.2 本評価手法の拡充項目

本評価手法において必ずしも十分な評価ができなかった項目としては、

- 分散させたプランナの数に対する1つのタスクの処理時間の変化
- メッセージ長とメッセージに対する応答速度の関係

などが挙げられる。

5.3 通信網管理エキスパートシステムに追加されるべき要求条件

今回は通信網管理を支援するエキスパートシステムを構築する上で必須となる機能について検討したが、システムの開発やその拡張性という観点から見ると以下のような機能が必要である。

モジュール性 大規模なシステムを構築する場合には、全ての機能を一つのシステムで構成するよりは、個々の機能をモジュール化して最後に統合できる開発形態がとれること。

オブジェクト指向性 構築したソフトウェアの再生産性、機能追加の簡便性からオブジェクト指向のパラダイムが組み込まれていること。

6. まとめ

筆者らは、通信網管理という分野にエキスパートシステムを適用するために、実時間システムに必要とされている機能に加え、新たに要求される機能について明確化した。その中で特に高速性、分散推論機能、スケーラビリティの重要性に着目してこれらの機能の充足性を評価できるような手法を提案した。さらに提案した評価手法を実時間エキスパートシミュレーションの一つであるC-PRSに適用し、本評価手法の有効性についての検討を行なった。

その結果、高速性については、新しい事実や目標の数に対して、それらがワーキングメモリに書き込まれてから適用可能になるまでの応答時間の関係、また変化する外界のアクティビティに対するプランナの推論効率の変化につい

て計測することができた。これによりプランナの推論時間を決定する基本的な応答速度、および外界の変化に対する追従性などプランナが持つ高速性について評価することができた。分散推論機能については、複数のプランナ間で行なわれるメッセージパッシングの応答速度を評価することができた。これによりプランナを分散させたことによる通信のオーバーヘッドを評価することができ、分散の度合を決定する指針が得られる。スケーラビリティについては、外部からプランナに送出するメッセージの量とそれが実際にワーキングメモリに書き込まれるまでの時間の関係について計測することができた。これにより被評価システムが要求される応答時間に対して管理できる対象の数の上限を定めることができる。またデータを取得する時間間隔(サンプリング周期)と取得するデータ数が全体の性能に及ぼす影響などについても確認することができた。これによりシステムの性能はサンプリング周期と取得したデータに対するプランナの応答速度に影響されることが分かり、データの数が与えられた時の有効なサンプリング周期を求めることができる。

実現するシステムが複雑になるにつれて、一つの推論戦略で動作させるよりも複数の推論戦略を適宜切替えてより効率的な動作をさせる必要性が出てくる。今回提案した評価手法は、被評価システムが通信網管理を行なう上で妥当であるか否かを判断するためだけではなく、複数の推論戦略を切替える際の閾値を決定する上でも有効なものである。

今後、他の実時間エキスパートシミュレーションにも適用することで本評価手法の有効性について検証していきたい。

日頃御指導頂くKDD研究所小野欽司所長、浦野頼義次長、山本誠一AI応用グループリーダーに感謝します。

参考文献

- [1] 山本 昌夫等、交換機運用支援エキスパートシステムの試作、1990年秋季信学大全、B-406、1990
- [2] 岡田 栄、網管理エキスパートシステム、KDDテクニカルジャーナル、No.5、pp.9-10、1991
- [3] 浅見 徹、VENUS-P技術支援設備の事例、KDDテクニカルジャーナル、No.5、pp.11-13、1991
- [4] E. H. Shortkiffe. Computer Based Medical Consultation:MYCIN, Elsevier, NewYork, 1976
- [5] T. J. Laffey, P. A. Cox, J. L. Schmidt, S. M. Kao and J. Y. Read. Real-Time Knowledge-Based Systems, *AI Journal*, Vol.9, No.1, pages 27-45, 1988.
- [6] J. Hendler, A. Tate, and M. Drummond. AI Planning: System and Techniques., *AI Magazine*, pages 61-77, Summer 1990.
- [7] L. Wesley, F. F. Ingrand, J. Lee, J. Rushby and J. G. Luna. Application of PRS to Network Management System. Artificial Intelligence Center, SRI International. 333 Ravenswood Avenue, Menlo Park, California, U.S.A, June 1991.
- [8] Martha E. Pollack and Marc Ringuette. Introducing the Tileworld: Experimentally Evaluating Agent Architectures. In *proceedings of the Eighth National Conference on Artificial Intelligence, AAAI-90* pages 183-189, Boston, MA, 1990.