並列定性推論による局所情報の統合的解釈の生成†

西山 高史*・増 市 博**・片 井 修***
榎 木 哲 夫***・岩 井 壮 介***

Generating Integrated Interpretation of Local Information Based on Parallel Qualitative Reasoning

Takashi NISHIYAMA*, Hiroshi MASUICHI**, Osamu KATAI***,
Tetsuo SAWARAGI*** and Sosuke IWAI***

A parallel reasoning process is studied, which is executed by intelligent sensors, each of whom is a member of a distributed sensor network (DSN). DSN is a new notable approach to situation assessment, that involves the acquiring and integrating of local information sensed from the world in order to produce a global interpretation. In this paper, each intelligent sensor has its own knowledge, a qualitative model about its concerning world and general law on the event evolution, both of which are utilized for predicting a future evolution after an observed event known by the local information obtained. Each of sensors generates a tree structure, qualitative evolutions after that event, by transitting states on that model to meet constraints, representations of general law. A tree structure, partial interpretations of a local information, involves branches caused by incompleteness of that information, lack about details. In order to integrate those interpretations into global ones, sensors exchange their own tree structures to prune branches which are inconsistent under global perspectives.

Key Words: Distributed Sensor Network (DSN), qualitative model, cooperative problem solving, finite state system, predicate/transition net

1. 緒 言

状況把握は問題解決のための重要な課題である。その過程は、対象とする世界からの、局所的かつ多面的な情報を検知し、それらの統合により対象世界に対する大局的解釈を生成するものである。

この課題への新しいアプローチとして、分散型センサネットワーク (DSN: Distributed Sensor Network) が注目されている。DSN は、それぞれセンサであると共に局所的情報処理ユニットである知的センサ群からなる。各知的センサは、自己の分担領域についての部分的解釈を生成し、生成した解釈を交換することによって、全体的な状況の把握を達成するものである。そこでは、センシング技術と人工知能技術の融合が重要となる¹⁾。

分散型センサネットワーク研究は、従来、人間の社会組織形態を参考にすることにより、複数の主体 (ノード) 間でのマクロなコミュニケーション活動のモデル化、ノードの構成形態についての検討が中心であった。Smith²⁾らは、商業分野における契約交渉過程に注目、階層的なノード構成の契約ネットを提唱している。これは、契約交渉を通すことにより、最適な負荷分散を動的に実行することを目的にしている。一方、Wesson¹⁾らは、ノードの階層的構成と非階層的構成を取り上げ、両者を比較することにより、問題の性質によっては、後者の形態をもつシステムの検知能力が、前者に優ることを示している。これは、階層構造内の上位ノードにおける、通信のボトルネックに起因するとされている。本研究は、このような分散型システム

† 第11回知識・知能システムシンポジウムで発表 (1990・3)

* 松下電工(株)インフォメーションシステムセンタ
門真市大字門真 1048

** 富士ゼロックス(株) 東京都港区赤坂 3-3-5

*** 京都大学工学部 京都市左京区吉田本町

* Information System Center, Matsushita Electric Works, Ltd., Kadoma

** FUJI XEROX, Minato-ku, Tokyo

*** Faculty of Engineering, Kyoto University, Kyoto

(Received June 15, 1990)

(Revised January 23, 1991)

の構成形態やその優劣など、システム構成に関するマクロな議論ではなく、システムを構成する分散サブシステム自体における局所情報処理とそれらの統合のプロセスについて考察する。すなわち、定量的あるいは良構造モデルとしての把握の難しい複雑・大規模システムを対象に、定性モデル³⁾による世界の表現、それに基づく情報処理の手法について検討する。

一般に、DSN に与えられるセンサ情報は、時間的、空間的に分散し、ノイズを含んだものである。それらを互いに関連付け、統合するためには、情報間の時・空間的な隔たりを補完し、これら情報の内挿を行うとともに、ノイズに対してロバストな推論手法の導入が必要不可欠である。手法の一つとして、DSN を構成する知的センサに対して、対象世界のモデルに基づいた推論の導入が考えられる。対象世界の定量的モデル化は、世界が複雑・大規模化すると難しくなる。ここでは、世界で生起する本質的事象のみに着目する定性的モデル化を導入する。すなわち個々のセンサは、それぞれの分担領域についての定性モデルをもち、領域内での情報を獲得すると、このモデルに基づいて事後の事象推移予測を生成する。これらセンサ情報群の内挿による統合は、各センサの生成した事象推移予測の内から、情報間の時・空間的な関係と整合するものを選び出し、これらを結合することによって実行される。

定性モデルは、取り扱う課題に応じて有限状態システム、あるいはペトリネットの拡張形式である述語・事象ネット⁴⁾を用いて表現する。モデル上での事象推移は有意のものに限定される必要があり、推移を予測する普遍的法則を導入し、これを制約条件の形で与える。モデルに基づく推論は、この制約を満足する状態遷移の木構造、発生ネットを生成する。これらは、入力情報ごとに生成される状況の定性的記述であり、情報欠落による分岐を生じるが、生成結果のコミュニケーションにより、全体として整合しない解釈分岐を刈り取り、統一解釈を導くことができる^{5), 6)}。

2. 並列定性推論システムの構成

いま、一つの物体が Fig. 1(a) に示すスロープ上を移動する場合を考える。対象世界 (World, ここではスロープの全体) は、要所に配置されたセンサを界にして、いくつかの部分世界 (Partial World) に分けられる。各センサは、Partial World の境界領域 (たとえばセンサ2は、World 1 および 2 の要素スロープ (Component Slope) S_3 および S_4) を通過する物体の方向のみを検知できるものとする。また同図 (b) に

(IP- I_{ij}) : Interpretation Process triggered by I_{ij}

(b) Generation of local situation and instantiation of MODEL of Partial World

Fig. 1 An object moving on slopes and an architecture of the proposed system

示す各センサに対応した情報処理要素 (Sensor Node) は、検知した情報 $I_{i,j}$ (i はセンサ, j は入力情報の順番) ごとに、該当する Partial World についての局所的状況解釈プロセス $IP-I_{i,j}$ (Interpretation Process $I_{i,j}$) を起動する。各プロセスは、負荷の分散並列処理ユニットとして機能するとともに、生成した解釈を、逐次図示の統合ノード (Integration Node) に伝達する。統合ノードは局所的解釈を、空間および時間的に整合する有限個の全体解釈に統合する。各センサノードにおける局所的状況の生成は、同図に示すように、自己の有する Partial World についてのモデル (MODEL of Partial World) と、運動学上の一般的知識 (Kinematic Constraints) に基づき行われる。モデルは、同図に示すように、次章で述べる対象世界に普遍的な知識 (General World Model, ここではスロープ接続および物体挙動の連続性に関する一般的知識、複数物

体挙動の解釈においては、さらに隣接する物体間の相対位置の不変性に関する知識を、当該 Partial World の具体構成 (Structural Constraints of Partial World) に合せコンパイルしたものである。局所的状況解釈プロセス $IP-I_{i,j}$ は、このコンパイルモデルに対して、運動学上の一般的知識としての法則（ここでは摩擦のある重力場での運動に関する常識）を制約として用い、当該 World での物体挙動の予測、すなわち局所的状況解釈を生成する。

3. スロープ上における単一物体挙動の解釈生成

3.1 物体挙動の定性表現

(1) 基本スロープと接続可能関係

任意のスロープは各部分を、変曲点、極大点や極小点で、Fig. 2(a) に示す四つの基本スロープ (Primitive slope) A, B, C および D に分類することができる。ただし四つの間には、同図(b)に示すような接続可能関係が存在するものとする。たとえばA型スロープに注目するとき、その右にはBあるいはC型が、左にはB型のみが接続可能である。

(2) スナップショットによる物体挙動の定性表現

時々刻々の物体の動きは Fig. 3(a) に示すように、いずれかの基本スロープの、左あるいは右端からの物体の遷移として捉えることができる。図示の八つの遷移パターン $A_L \sim D_R$ を、スナップショット (Snapshot) と呼ぶ。たとえば A_R は、基本スロープAに右端から遷移する物体の動きを表わす。全体のスロープ上での物体の挙動は、基本スロープの接続可能関係と、同図(b)に示す挙動の連続性に基づき生成される、スナップショットの連鎖として表わされることになる。スナ

(a) Snapshots

(b) Continuation constraints of Snapshots

Fig. 3 Qualitative representation of object movement by snapshots

ップショットの導入は、基本スロープの複雑な接続からなる具体的スロープ上での物体挙動の集約、簡略化定性表現に重要な役割を果たすものである。たとえば基本スロープAがCの左に接続されているときの同図(ii)に示す連続性、「物体のAへの右からの遷移→Cへの左からの遷移」は「Aスロープにおける物体の左へ移動→途中から右への後戻り→Cスロープにおける右へ移動」を集約したものになっている。

3.2 一般的挙動の有限状態システムモデル化

基本スロープの接続関係とスナップショットの連続性に関する知識は、Fig. 4 に示すように、各スナップショットを状態とする有限状態システムでモデル化することができる。これは、物体挙動に対する一般的、普遍的な制約知識の構造化表現であり、Fig. 1(b)の General World Model に相当する。

(a) Primitive slopes

(b) Connective relationships

Fig. 2 Primitive slopes and their connective relationships

(i), (ii), (iii): Continuation Constraints in Fig. 3 (b)

Fig. 4 Finite state system of object's behavior on slopes

Fig. 5 Instance diagram of Partial World 1 in Fig. 1

3.3 具体的スロープに対するモデルの生成

Fig. 4 の普遍的知識は、四つの基本スロープの間に存在する、すべての可能な接続関係に対して導出されたものである。したがって具体事例、たとえば Fig. 1 の Partial World 1「左から A スロープ S_1 、C スロープ S_2 、D スロープ S_3 が隣接」に対するモデルは、Fig. 4 の中の本事例に該当する部分構造を抽出、World 1 に対する例示化 (instantiation) を行うことにより得られる。Fig. 5 は Fig. 1 の Partial World 1 に対する例示モデル、すなわち同図の MODEL of Partial World 1 である。World 1 における物体挙動の予測は、センサ 1 あるいは 2 への信号入力による Fig. 5 の状態 $S_1(A_L)$ あるいは $S_3(D_R)$ の活性化に続く状態遷移のパターンとして表現される。状態遷移は、つぎに述べる運動学上の一般的知識 (Kinematic constraints) の制約のもとに実行されることになる。

3.4 運動学的制約条件

いま Fig. 6(a) に示すように、物体が B スロープ S_i を左に移動し、途中から A スロープ S_{i+1} に逆戻りしたとする。物体が S_{i+1} から再び S_i に戻ってきたとき、 S_i における以前の逆戻り点を越えて D 型スロープ S_{i-1} へ遷移することは起こらない。すなわち同図に示す状態遷移連鎖は生じえない。このように物体挙動に対する運動学的制約として、

運動学的制約条件 1

隣接スロープ S_i 、 S_{i+1} において、Fig. 6(b) に示す (i) から (vi) の、いずれかのスナップショット遷移が生じ、事後再び S_i あるいは S_{i+1} に物体が戻ったとき、同一の遷移が再起する。

運動学的制約条件 2

(i) あるいは (iv) の遷移が生じたとき、物体挙動は S_i と S_{i+1} の境界点に収束 (CONVERGE) す

(a) Not allowed, not admissible object movement

(b) Kinematic constraints

Fig. 6 Deriving Kinematic constraints

る。

を考えることができる。

3.5 局所的状況解釈の統合

センサノードは、センサよりの定性情報 (監視物体の移動方向) ごとに、分担スロープに対する有限状態モデル (たとえば Fig. 5) に基づき状態遷移連鎖木を生成する。

Fig. 7 は、Fig. 1 の Partial World 1 および 2 に対する木構造の例である。同図 (a) は、センサ 1 が情報 $I_{1,1}$ (物体が S_1 の左端を右に移動) を得たとき生成される木構造を表わす。分岐 i (path(i)) では運動学的制約 2 (Fig. 6(iv)) が充足されることから、 S_1 と S_2 の境界への収束 (CONVERGE) が結論される。分岐 ii (path(ii)) は、World 1 の右境界スロープ S_3 への遷移に続いて隣接 World 2 の左端スロープ S_4 への到達を表わすものである。生成された収束、あるいは境界への到達を表わす各 Partial World の木構造は、Fig. 1 の統合ノードに送られる。

Fig. 7 Envisionment on the World

統合ノードは、各センサノードが各 Partial World に対して生成した木構造の枝刈り、接続を行う。たとえば上述の情報 $I_{1,1}$ に対する解釈（木構造の分岐）は、いくつかの path として表わされるが、センサ 2 が情報 $I_{2,1}$ (World 2 の左端スロープ S_4 への物体の移動) を得たとき、 $I_{1,1}$ に対する解釈 path(ii) と整合する。そこで統合ノードは、(a) の path(ii) のみを残し他の枝を刈り取る。すなわち $I_{1,1}$ による path(ii) のつぎに $I_{2,1}$ の解釈を表わす同図(b)の木構造が接続されることになる。さらにその後、情報 $I_{2,2}$ (World 1 の右端スロープ S_3 への物体の移動) を得ることによって、(b)における World 2 の左境界から Partial World 1 への到達を表わす path(iii) 以外の枝が刈り取られる。このように順次 path の統合、path(ii)→path(iii)→(c)が行われることになる。 $I_{2,2}$ 以降、センサが何の情報も得なかったとき、(c)の木構造において World 1 における収束、たとえば同図(c)path(iv)に示す S_1 と S_2 の間での収束が推論され、以外の枝はすべて刈り取られる。

4. スロープ上における複数物体挙動の解釈生成

4.1 複数物体挙動に関する制約条件

物体が複数個の場合、それら物体挙動は非同期・同時進行のプロセスとなり、上述の各センサノードが分担する、Partial World に対する有限状態システムモデル上での状態遷移の連鎖として、展開表現するこ

とは難しい。すなわち Fig. 1 の MODEL of Partial World に、複数物体挙動に関する一般的制約

「隣り合う 2 物体の挙動は、その（左右）位置関係を変えない」

を付加しなければならない。事後の挙動解釈は単一物体の場合と同様、上記モデルに運動学的制約条件 1 および 2 を適用し、生成されることになる。

4.2 複数物体挙動の述語・事象ネットによるモデル化

非同期・同時進行事象間の、従属性や独立性を厳密に表現するものにペトリネットがある⁴⁾。ただし、上記複数物体に関する制約条件を付加する場合、各センサは個々の物体を区別して検知し、局所的状況解釈の生成とコミュニケーションによる統合を行わなければならない。すなわち、プレース中のトークンを区別しない通常のペトリネットでは不十分である。そこで本研究では、複数物体の挙動解釈を生成するためのモデルとして、プレースの表わす状態の成否（述語の真偽）が、事象の種類（プレースにおかれたトークンの種類、ここでは物体 a, b などの区別）に支配される述語・事象ネット (Predicate/Transition-net) を用いることにする。

(1) 述語プレース

いま、Fig. 8(a)に示すように、二つの物体（左右物体をそれぞれ変数 L, R で表わす）が S_i, S_{i+1} 上を移動する場合を考える。このとき、上述の制約は、同図右の述語・事象ネットで表現することができる。

Fig. 8 Representation of constraints about plural objects' behavior on the A-type primitive slope

プレース $S_i(A_L)$ の中の二つのトークン a , b は、図示のように現在、 $L=b$, $R=a$ が S_i 上を共に右へ移動中を表わす。プレース Left は、 $\text{Left}\langle L, R \rangle$:「 L は R の左に位置する」を表わす述語プレースであって、図では L および R に b , a が代入された状態を表わしている。

(2) 発火禁止アーク付きトランジション

図からわかるように、 S_i に $R=a$ が存在する限り、左の b は S_{i+1} には移動できない。ネットにおけるトランジション t_1 へ、 $S_i(A_L)$ から入る記号 $\langle R \rangle$ の付けられたアーク (—○) は、「 L の右への移動は R によって制約される」を表現する発火禁止アークである。すなわち $\text{Left}\langle b, a \rangle$ が真であるとき $R=a$ の S_{i+1} への遷移は許容されるが、 $L=b$ の移動は不可能である。

(3) 衝突トランジション

Fig. 8(b) に示すように、一つの基本スロープ S_i 上で 2 物体 $L=b$, $R=a$ が衝突したとき、 L に注目したときのスナップショットは A_L から A_R へ、 R のそれは A_R から A_L に変化する。同図右はこの現象をモデル化したもので、図中 $\square$ を衝突トランジションと呼ぶ。

(4) 述語プレースによるトランジションの制御

以上のように、物体の相対位置の不変性に対する制約は、述語プレース Left によって、モデル構造に陽に表現することができる。すなわちセンサからの情報により、述語プレースの L , R に物体名 (ここでは $L=b$, $R=a$) が代入されたとき、注目するスロープ (こ

こでは S_i と S_{i+1}) 上における物体挙動は、 R あるいは L のラベルの付いた禁止アーク、ラベル付き衝突トランジションによって制約されることになる。

Fig. 8 で説明した基本スロープ $A (=S_i)$ 上での複数物体挙動に関する制約は、Fig. 2 のすべての基本スロープおよび接続構造についても成立する。センサノードがもつ Partial World のモデルは、物体が複数の場合、3.2 節で述べた基本スロープの接続関係と挙動の連続性に関する常識を、現実の World に対してコンパイルしたもの (たとえば Fig. 5) に、さらに上述の複数物体挙動の制約を付加した述語・事象ネットでは表現される。Fig. 9 は、Fig. 1(a) の Partial World 1 に対する述語・事象ネットである。

4.3 二つの物体挙動の局所的解釈の統合

Partial World 1 の S_1 における物体移動方向を検知するセンサ 1 が、順次情報 $I_{1,1}=S_1(A_L)$ (物体が S_1 の左端から右に移動)、 $I_{1,2}=S_1(A_L)$ (同上) を得たとする。センサノード 1 は、情報の入手順序にしたがって、 $I_{1,1}$ をたとえば a に、 $I_{1,2}$ を別の物体 b に関するものであると判断する。さきに述べた荷重的分散並列処理の原則に従って、情報 $I_{1,1}$, $I_{1,2}$ はノード自身の有する述語・事象モデル Fig. 9 に基づいて、同時並行的に解釈され、統合ノードは個々の解釈を、二つの物体挙動として整合する解釈に統合する。この場合、統合ノードでは $I_{1,2}$ に対する解釈、すなわち物体 b の挙動解釈の中に、 a の挙動に制約を与える部分があり、 $I_{1,1}$, すなわち a の挙動解釈の中に b の挙動に依存する部分が存在するとき、この部分を並行に進行する分散処理プロセスで整合させるべき点と判断し、両解釈の統合を行う。

4.4 発生ネットの生成

センサノード 1 の起動した荷重的分散処理過程 $IP-I_{1,1}$, $IP-I_{1,2}$ は、それぞれ Fig. 9 におけるトークン a および b の移動を司る。すなわち $I_{1,1}$ の処理過程によってプレース $\text{Left}\langle L, R \rangle$ の変数 R に a が、 $I_{1,2}$ のそれによって L に b が代入される。代入 $R=a$ により同図におけるトランジション①の発火が許可される。①は他に入力アークをもたないからただちに発火、 a はプレース $S_1(A_L)$ 上に移動する。同様に代入 $L=b$ は②を発火させ、 b を同じく $S_1(A_L)$ 上に移動させる。以下 a および b に対する分散処理過程はつぎのように進められる。

1) 入力プレース $S_i()$ にトークン a , b あるいは a と b の存在するトランジションの一つ、 t_i を選ぶ (() 内は Fig. 3 に示すスナップショット)。

2) Partial World を構成する要素スロープ S_i の

Fig. 9 Predicate/Transition-net modelling of Partial World 1 in Fig. 1

左右隣接スロープを S_{i-1} および S_{i+1} とする. t_i の出力プレースが $S_{i+1}()$ の場合, ラベル $\langle L \rangle$ の付いた t_i への入力アークに注目し, L にトークン名を代入する. 出力プレースが $S_{i-1}()$ の場合, ラベル $\langle R \rangle$ の付いた入力アークが注目され, R にトークン名が代入される. このとき, 述語プレース Left $\langle L, R \rangle$ にはセンサ情報 $I_{1,1}$, $I_{1,2}$ の順番により $L=b$, $R=a$ が与えられている. 上記代入は, これに整合するものでなければならない.

3) t_i の発火はつぎのように決定される.

3-1) t_i が禁止アークを入力にもつトランジションのとき, 2) における同アークのラベル $\langle L \rangle$, $\langle R \rangle$ への代入に一致するトークン (a または b) が, 同アークの出発プレースに存在するかを確かめる. 出発プレースに当該トークンが存在しないとき, かつ t_i への他の入力アーク (禁止でない通常のアーク) が活性状態のとき t_i は発火する. t_i の発火により, その出力プレースに当該トークンが移動, 同時に同プレースの出力アークのラベルにトークン名が代入される. ただし, トークンが隣接

Partial World へ移動したとき ($S_3(D_L)$ の出力トランジションが発火したとき) 消滅する.

3-2) t_i が衝突トランジションのとき, 述語プレースからのアーク以外の二つの入力アークの一つは, 上記の過程によりラベルにトークン名が代入されている. ラベルへの代入が行われていないアークのラベル名の決定は, 述語プレース上のトークンによって行う. 同時に, 当該アークの入力プレースに同トークンが存在するかを確かめる. 存在するとき t_i は発火, 二つのアークの入力プレースのトークンを置き換え, また各出力アークのラベルに代入する.

4) 1) に戻る.

以上の処理において, プレースにおけるトークン a および b の確認, 移動, トランジション出力アークのラベルへの代入は, それぞれ $I_{1,1}$ および $I_{1,2}$ によって起動された負荷の分散処理プロセスからのメッセージを, 統合ノードが受け取ることで実行される. 各プロセスの行うトークン移動は, 単一物体の場合の状態遷移連鎖の木構造に相当する発生ネット (Occur-

Fig. 10 The Occurrence nets about Partial World 1 in Fig. 1

rence net)⁴⁾として表わされる。

Fig. 10 は、4.3 節で述べた情報 $I_{1,1}$ と $I_{1,2}$ の解釈を表わす発生ネットである。同図(a)は、Partial World 1 に対する $I_{1,1}$ の解釈で、物体 a の World 1 の右境界への到達が結論されている。同図(b)は $I_{1,2}$ の解釈で、物体 b は a の挙動に制約されつつ右境界に到達していることが結論されている。物体 a に関するネット(a)は、物体 b に関するネット(b)における物体 a の挙動による制約を記述した部分(点線で囲まれた部分)と等しい。統合ノードは、この両者の共通部分に注目することにより、 $I_{1,1}$ および $I_{1,2}$ の解釈を統合した同図(c)の解釈を生成する。(c)は物体 a および b 共に右境界に到達するが、 a が b に先行するという解釈を表わしている。

5. 結 言

本研究では、局所情報に対する解釈を同時並行的に生成、それらを統合して整合のとれた全体解釈=システム状況把握を生成する問題について考察した。すなわち、ここで提唱した手法は、対象システムの構造、そこで生起する事象に関する常識的性質としての定性的制約関係に基づき、あいまい不完全な定性的情報から、対象世界についての整合した事象解釈を生成するものである。

本論文では、定量的あるいは良構造モデルとしての把握の難しい複雑・大規模システムを表現する手法として、定性モデルの考え方を導入したが、対象世界全体に対する定性モデルに基づく推論の枝分れは、組合せ的な爆発を生む。この場合、何らかの形で世界を分割し、個々の部分世界のモデルに基づく推論を、並列的に実行するアプローチの導入が必要不可欠である。従来から提唱されているアプローチの一つとして、エネルギー収支、物質の流れ、力学的つりあい、電磁気的關係など、相異なる物理的視点から対象の振舞いを捉え、これらを整合的に統合するものなどがあるが⁷⁾、本研究では分散型センサネットワークの構造に密接に依存したアプローチを採用した。すなわち、個々のセンサに分担領域を規定、その領域のみに関するモデルを導入、対象世界全体を時・空間的に分割し、事象推移予測と予測結果の統合という機能的な分散並列化、および個々のセンサの処理負荷の分散並列化を可能にした。機能的な分散並列化は、推論の高速化を図る上でボトルネックとなる「後戻り」の操作を、統合ノードにおけるフィルタリング機能で代行することを可能とした。

本論文で提案した、力学的世界での物体挙動の定性表現であるスナップショットと、それらの間の一般的遷移パターンの定義は、他の対象世界に対しても適用することのできる概念であり、部分的情報に基づいた状況判断の推論則として重要な役割を果たすものといえよう。ここでは、力学的世界における部分的情報の解釈は、発見的知識である運動学的制約のみ満足するよう生成されたが、全体解釈のより効率的生成のためには、過去における情報解釈の過程を分析、現在の解釈過程と類似する部分を見いだして参照するなど、学習機能の付与が今後の課題の一つと考えている。

参 考 文 献

- 1) R. Wesson, F. Hayes-Roth, J. W. Burge, C. Stasz and C. A. Sunshine: Network Structures for Distributed Situation Assessment, IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, **SMC-11-1**, 5/23 (1981)
- 2) R. G. Smith and R. Davis: Frameworks for Cooperation in Distributed Problem Solving, IEEE Trans., **SMC-11-1**, 61/70 (1981)
- 3) J. deKleer: Multiple Representations of Knowledge in a Mechanics Problem-Solver, Proc. of 5th IJCAI, 299/304 (1977)
- 4) W. Reisig (長谷川, 高橋 訳): ペトリネット理論入門, 1/50, シュプリンガー・フェアラーク東京 (1988)
- 5) 西山, 増市, 片井, 榎木, 岩井, 鳥羽: 局所観測情報の統合的解釈支援のための並列推論システム, SICE 関西支部シンポジウム「知的システム構築の実践と将来」予稿集, 55/60 (1989)
- 6) 西山, 増市, 片井, 榎木, 岩井: 局所観測情報に基づいた並列定性推論システム, 第11回知識・知能システムシンポジウム予稿集, 191/194 (1990)
- 7) J. Rasmussen and M. Lind: Coping with Complexity, Risø National Laboratory Report No. M-2293, Roskilde, Denmark (1981)