

分散協調マルチエージェント型知的通信網モデル
ー 並列・分散協調処理 ー

岸本 了造 奥村 康行 湊 賢治
日本電信電話株式会社 伝送システム研究所

アブストラクト

本論文では、知的通信網の高機能レイヤを一つの大規模な分散協調コンピューティングシステムと捉え、その知的通信網モデルとして分散協調型マルチエージェントモデルを提案する。また、通信網制御に応用した場合の具体的内容について論じる。これらの内容を通して、分散協調コンピューティング技術によりいかに知的な通信網が出来るか、また、これらの技術がいかに通信網にインパクトを与えるかを明らかにし、今後の通信網の研究の方向を提案するものである。

Distributed Cooperative Multi Agent Model for Intelligent
Telecommunication Network
- Parallel, Distributed Cooperative Proseccing -

Ryozo KISHIMOTO Yasuyuki OKUMURA Kenji MINATO
NTT Transmission Systems Laboratories

Abstract

This paper proposes Distributed Cooperative Multi Egent Model as Intelligent Telecommunication Network Model. The intelligent telecommunication network is composed of transport layer and higher functional layer. In the proposed model, higher functional layer is dealt with distributed cooperative computing environment. This paper also discusses results of multi path allocation control in telecommunication networks.

1. まえがき

現在、世界各国でB-ISDNの構築を目指して数多くの研究が進められている。特に、情報を一定ビット長のセルと呼ばれる情報転送単位により伝送するATM(Asynchronous Transfer Mode)伝送技術は多くの利点を有するため、精力的に研究が進められている。しかし、これらの研究が進めば進む程、これらの大容量な伝送路を有効に使っていかにか柔軟な網サービスを実現するかが重要な課題となっている。

今後、通信網に要求される条件は、いかに新しいサービスや即時に発生するサービスを柔軟にかつ即時に提供するかであり、これは網に対してインテリジェントな網であることを要求している。しかし、従来の研究においては通信網をダイナミックに運用する技術が十分発達していなかったため、これらの条件はあまり取り入れられていなかった。

しかし、情報処理分野での新しいテクノロジーは急速に進展しており、RISCに代表される超高速プロセッサ技術、並列計算機処理技術、分散コンピューティング技術などは今後の知的な通信網の実現にあたって多大の影響を与えると予想される。

本論文では、知的通信網の高機能レイヤを一つの大規模な分散協調コンピューティングシステムと捉え、その知的通信網モデルとして分散協調型マルチエージェントモデルを提案する。また、通信網制御に応用した場合の具体的内容について論じる。これらの内容を通して、分散協調コンピューティング技術によりいかに知的な通信網が出来るか、また、これらの技術がいかに通信網にインパクトを与えるかを明らかにし、今後の通信網の研究の方向を提案するものである。

2. インテリジェント・ネットワークの構成

ネットワークに新たに機能を付加して、新しい網サービスを提供するものとして世界各国でインテリジェントネットワーク(以下、知的通信網と呼ぶ)が研究されている。知的通信網はおおよそその概念は固まりつつあり、図1に示すように伝達レイヤと高機能レイヤからなり、高機能レイヤから伝達レイヤを制御して新たな網サービスを提供するものである。高機能レイヤでは通信網自体の管理・制御をするための通信網管理・制御システムとユーザに対して新しいサービスを提供するためサービスそのものを管理・制御するサービス管理・制御システムがあり、世界的にそれぞれ

Telecommunication Management Network (TMN), Intelligent Network (IN)の概念に基づき研究が行なわれている。しかし、従来より、知的通信網の理論モデルは明確には提案されておらず[1]、そのため、知的通信網が具備すべき機能や標準化すべきインタフェースを明らかにすることが難しく、かつ、知的通信網の内在する能力を明らかにすることが困難であった。また、TMNとINの異なる概念により研究が行なわれ、統一的な考えは提案されていなかった。

3. 分散協調型マルチエージェントモデルの提案

3.1 知的通信網のモデル化

本論文では、図2に示すように、知的通信網の高機能レイヤを一つの大規模な分散協調コンピューティングシステムと捉え、その知的通信網モデルとして分散協調型マルチエージェントモデルを提案する。まず、言葉を次のように定義する。

通常、ネットワーク管理システムやネットワーク制御ノードはデータベースや計算機から構成されているが、これらの総称して、エージェントと定義する。また、ネットワークにおける知識はノード、リンクなどの状態を表わす通信網の基本的な知識と定義し、問題解決実行時の予備評価結果や計算結果などの知識は解析結果と定義し、区別することとする。

エージェント[2]は計算機とデータベースから構成される計算実体であり、このエージェントがどのように伝達レイヤのネットワークを管理・制御するかという問題に帰着する。つまり、この問題を、複数のエージェントという問題解決器(Problem Solver)が、解決すべき対象としてのネットワークを、図3に示すように分散協調型問題解決アプローチにより管理制御する問題とモデル化することを提案する。このモデルは知的通信網でサービスを提供する手順を抽象的にモデル化したものと見ることが出来る。以下、順を追って説明する。

[1] エージェントの配置

解決すべき研究対象に対してどのようにエージェントを配置するかは分散協調問題解決器のアーキテクチャを決定する重要な項目である。1つであれば集中型問題解決器であり、反対に、ネットワークの場合、伝達ノード毎にエージェントを配置する超完全分散のようなものもある。また、エージェントの関係は対等なものや階層的なものもある。

更に、地理的制約や機能的制約により元々与えられている場合もあり、理想的には配置出来ない場合もある。

[2]知識の分割

ネットワークに関する知識を各エージェントにどのように割り当てるかを決定する。知識の分割にあたっては、(1)知識の分割の割合と(2)分割された知識の管理が重要な点となる。まず、知識の分割の割合については、各エージェントが網の全知識を共有するか、一部分を所有するかが問題となる。更に、知識の分割が細かければ問題解決の並列度は増加するが、エージェント間の通信は急増するため、問題にあった知識の分割が重要となる。分割された知識の管理は、ネットワークのデータベースをどのように維持管理するかの問題を提起する。エージェントが1つの集中型問題解決方式であれば、元々、知識を分割する必要がなく、巨大な1つの集中型データベースを維持管理することになる。また、複数のエージェントの場合は、ネットワークの分散データベースを構築する必要がある。

いずれにせよ、知識の分割はエージェントの問題解決能力を規定するものであり、システム全体の問題解決能力に大きな影響を及ぼすため、どのような問題解決のための分散協調型問題解決プロトコルを提案するかも含めて十分検討する必要がある。

[3]問題の分割

問題が与えられるとエージェントの知識、数に応じて部分問題に分割し、その分散アルゴリズムを開発することになる。しかし、問題によっては、分散アルゴリズムの開発の難易度が異なるため、エージェントの配置にあたっては、問題の分割についても十分な注意が必要である。

[4]エージェントへの問題の割当

部分問題を適切なエージェントに割り当てる。そのためには、効率的な同報通信プロトコルなどの開発が必要である。

[5]問題の解決と解の統合

分散アルゴリズムを実際に実行することにより部分問題を解決する。エージェント単独では解決出来なかったり、他のエージェントの問題解決と干渉が生じる場合には、エージェント間で種々の

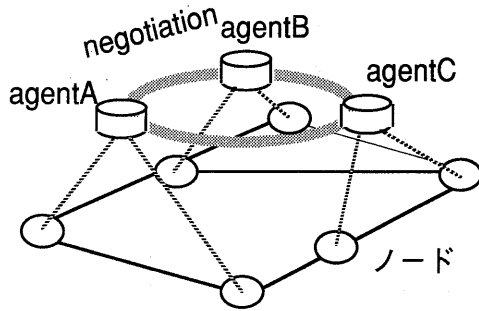
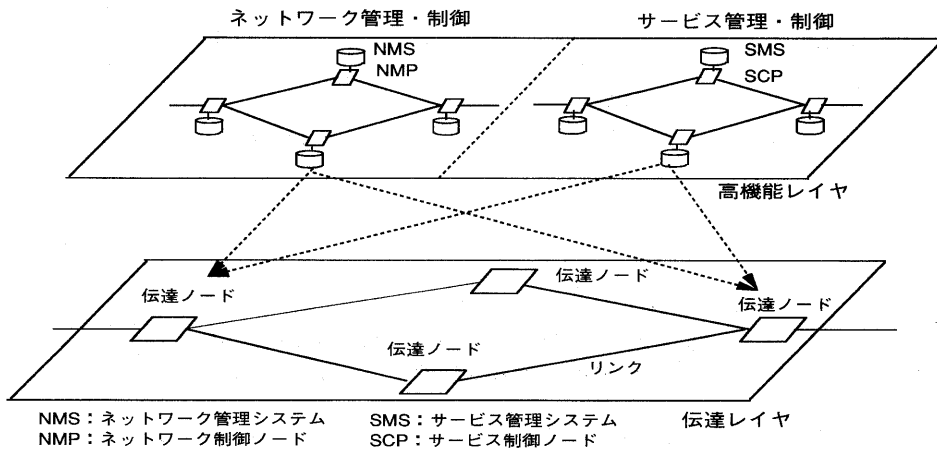


図2 分散協調型マルチエージェントモデル



NMS：ネットワーク管理システム SMS：サービス管理システム 伝達レイヤ
 NMP：ネットワーク制御ノード SCP：サービス制御ノード

図1 知的通信網の階層的構成

知識を情報交換することによって問題を解決することになる。その後、部分問題の解を統合して1つの解を得ることになる。エージェント間で問題を解くためのプロトコルを分散協調型問題解決プロトコルと呼ぶ。

以上、今回提案した分散協調型知的通信網モデルを説明したが、このようなモデル化を行なうことにより知的通信網が具備すべき機能や標準化すべきインタフェースなどを明らかにすることが出来ることを示した。

3.2 分散協調コンピューティングモデル

今回提案した分散協調型知的通信網モデルは、通信網の高機能レイヤを一つの大規模な分散協調コンピューティングシステムと捉えている。その分散協調コンピューティングモデルを図4に示す。このモデルは、複数のサブシステムから成り立っており、下のレイヤから(1)分散OSサブシステム、(2)分散データベース・サブシステム、(3)分散知識処理サブシステム、(4)網制御アルゴリズム・サブシステムとなっている。分散OSサブシステムは、一つの標準的な分散OSが用いられる場合や異なる分散OSが複数用いられる場合などが想定され、heterogeneousなOS環境の研究が重要となる。これらの分散コンピューティング環境については、一部、ISOにおいてOpen Distributed Processing (ODP) の概念で検討されているが、分散協調コンピューティングモデルは概念自体統一したものがないため、今後より詳細なモデ

ル化が必要である。

3.3 分散協調型知的通信網の特徴

次に、この分散協調型知的通信網が内在する能力やメリットを通信網の制御を例に明らかにする。

分散協調型知的通信網の特徴を明らかにするため、通信網の制御を例に他の集中制御方式などと比較する(表1)。これらの通信網制御システムには、(1)高信頼性、

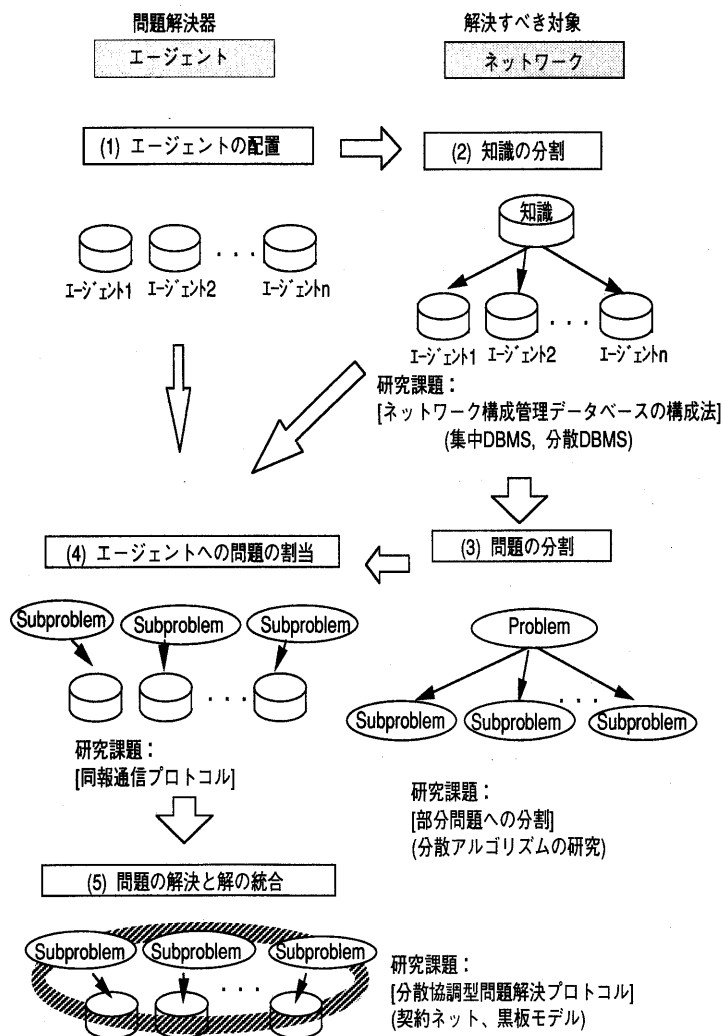


図3 分散協調型マルチエージェントモデルによる知的通信網の問題解決シナリオ

(2)高速応答性、
 (3)通信網の拡張あるいは再構成に対する柔軟性、
 (4)本来は独立して運用されている複数の異なったサブ通信網同志のための高度な網運用性、
 などが要求される。これらの中で、高信頼性、高速応答性はいずれの方式においても達成可能であるが、網の柔軟性、拡張性の点では、表1に示すように、分散協調制御方式が優れていることが分かる。また、分散協調型知的通信網のメリットとして、種々の形態に適用可能なことである。図5に分散形態の一例を示すように、地域分散や機能分散などの柔軟な形態が可能となる。図5(b)のケースの将来的なサービスとしてはエンドカスタマ・コントロールが考えられる。

4. 分散協調制御による網の切替制御

4.1 網のダイナミックな再構成サービス

今回提案した分散協調型知的通信網モデルによる具体例として、通信網の制御について分散協調システムを提案する。

これらのサービスは、技術的に表現すると、通信網が与えられ、その際、任意の始点、終点を持つ複数の回線あるいはパスを通信網に割当ること

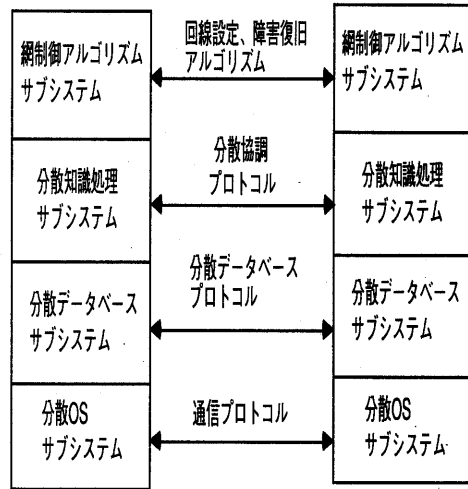


図4 分散協調コンピューティングモデル

表1 通信網制御方式

方式	集中制御	分散協調制御	超分散制御
構成図			
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 網の一元的管理が容易 網の高信頼度対策が難 	<ul style="list-style-type: none"> 網の高信頼対策が容易 柔軟性、拡張性が高い 異種ベンダ構成が容易 制御アルゴリズムが複雑 	<ul style="list-style-type: none"> 簡易な個別制御 小規模DBで構成可能 網全体での整合が困難 デッドロックの可能性 (メッセージ転送の爆発的増大)
適用分野	<ul style="list-style-type: none"> 小規模LAN 全国網の中の個別網 	<ul style="list-style-type: none"> 全国網の網制御やサービス制御 異種通信網制御 	<ul style="list-style-type: none"> 既存の回線交換網 フラッドルーチング
研究課題	<ul style="list-style-type: none"> 大規模DBMSの実現 超高速並列制御アルゴリズムの開発 	<ul style="list-style-type: none"> 分散制御アルゴリズムの研究 分散DBMSの開発 分散知識処理技術の開発 	<ul style="list-style-type: none"> 効率的な制御アルゴリズムの開発 網の信頼性の研究

になる。もし、1つの回線あるいはパスのみを割当るとすると、これは、それらの最短経路を求めることとなり、従来より、ダイクストラの方法が知られている。しかし、複数の回線を割り当てる方法は、ノード数が20~30を越えるとグラフ理論的にNP完全問題であり、有限の時間内に解くことは困難であることが知られている。そのため、線形計画法の超高速内点法アルゴリズムであるカーマーカー法がATTから1984年に提案された[3]。しかし、現実には、適用出来る網規模は制限されており、そのため、ヒューリスティックなアルゴリズムが研究されている[4],[5]。その代表例は伝送路切替方式に使われているDSWアルゴリズムである[4]。しかし、このアルゴリズムは逐次の計算を行なうため、最適解を見つけることが難しい。複数の回線を割り当てるヒューリスティックなアルゴリズムの要点は以下の点である。

- ・ 1つの回線のみを割り当てるのは最短経路法で可能である。
- ・ しかし、通信網上のリンク容量が限られたリンクに、複数の回線を割り当てる場合は、リンク上での複数の回線の一部の重なりを検出し、調整する必要がある。

4.2 分散協調制御システムの分散環境への実装 分散協調システムを分散コンピューティング環境にマッピングする場合、同じ分散アルゴリズムを用いても、

- (1) エージェントの配置：対等か階層的か、
- (2) 知識の分割：共有か一部分の知識の所有かによりその形態は大幅に異なる。

これらの点より、分散協調システムをモデル化すると、一例として図6に示すモデルが考えられる。図6(3)のマネージャ・エージェントモデルは、エージェントが階層的な関係にあるモデルであり、代表的なものとしては、黒板モデルや契約ネットがある。ただし、それらの分散協調プロトコルは異なる。また、現在、OSIネットワーク管理において用いられているマネージャ・エージェントモデルは、分散協調プロトコルは用いないため、その枠組みは大幅に異なる。図6のモデル1とモデル2は、エージェントが対等なモデルであるが、知識の所有形態が異なる。その結果、問題の分割、エージェントへの問題の割当、解の統合などはすべて異なる。今回、モデル1とモデル2を具体的に分散環境に実装した。

複数回線設定の分散アルゴリズムとして図7に

示す分散割付法を提案する。この分散割付法は図7に示すように、経路探索フェーズと輻輳確認フェーズより構成されている。まず、経路探索フェーズでは、複数(例えば、1000回線)の回線のそれぞれの最短経路をダイクストラの方法により探索する。

次に、輻輳確認フェーズでは、経路探索した回線を与えられた網に割り付けるが、あるリンクにおいて許容量以上の輻輳した回線は削除する。網への割付が出来なかった回線は再度、経路探索フェーズで割り付ける。そのため、分散環境への実装が容易であり、輻輳確認フェーズで自エージェントの回線と他のエージェントの回線を同等に扱うことが出来る。

複数回線設定制御を例にして、分散協調マルチエージェントモデルを対等なエージェントモデル1と2に適用した場合のマルチエージェントモデルの問題解決シナリオの各フェーズの具体的なシナリオを表2に示す。この2つのモデルはそれぞれメリット、デメリットを有しており、実際には総合的観点から評価を行なう必要がある。なお、モデル2の詳細な結果は別稿[6]に示す。

4.3 モデル1を用いた協調分散制御システム [分散アルゴリズム]

モデル1を用いた複数回線の設定制御を図8に示す分散環境に実装した。エージェントとして3

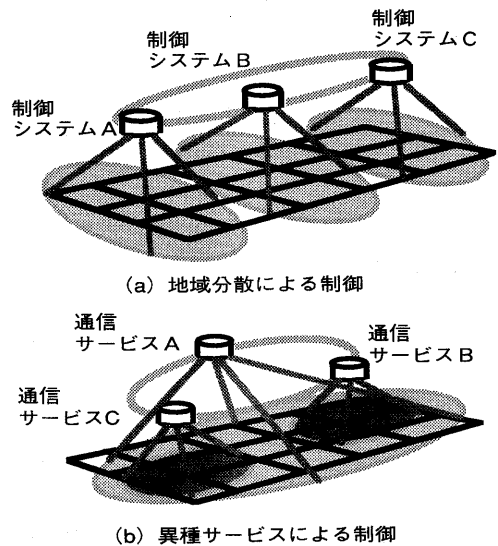


図5 分散協調制御網の分散形態

台のワークステーション(SUN4)を使用し、イーサネットに接続した。各エージェントは網利用状況テーブル、輻輳確認モジュール、経路探索モジュールで構成されている。ある設定要求はどこか1つのエージェントに出される。もし、エージェントが地理的に分散されている場合は近くのエージェ

ントに送れば良いし、カスタムコントロールを仮定するならば、各エージェントが各カスタムであると考えれば良い。

各モジュールの仕事の説明する。経路探索モジュールは自エージェントにやってきた設定要求を満たす経路を探索し、その経路を自エージェントの

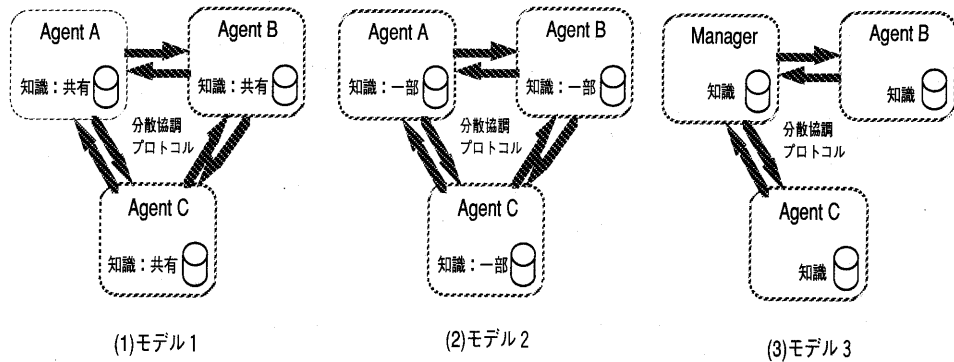


図6 分散協調システムにおけるエージェントモデル

表2 具体的な分散環境への実装

分散協調 マルチエージェントモデル		モデル1 (SUN4の分散環境に実装)	モデル2 (SUN4に実装)
エージェントの配置	・複数のエージェントを配置。	・部分網に各エージェントを配置。	・部分網に各エージェントを配置。
知識の分割	知識の分割 (DB構造)	・各々のエージェントは網の全知識を持つ。	・部分網内の知識のみ所有。
	知識、解析結果の共有	・回線設定結果の共有。	・協調処理による解析結果の共有。
問題の分割	・問題を複数のサブ問題に分割し、その分散アルゴリズムを割り当てる。	・各々のエージェントは分担した複数回線の経路探索と輻輳確認を行なう。	・部分網内だけの探索結果を相互にやり取りして、全体の回線を設定する。
エージェントへの問題の割当	・同報通信プロトコルなどによってサブ問題を複数のエージェントに割り当てる。	・回線の経路探索問題を均等に分担して割り当てる。	・部分網内に始点を有する回線の経路探索問題を割り当てる。
問題の解決 解の統合	・分散アルゴリズムの実行。 ・分散協調型問題解決プロトコルを用いて個々のエージェントで処理した解析結果をエージェント間で情報交換する。	・分担した複数回線の設定計算を独立に行ない、その結果を各エージェントにより伝達する。	・他のエージェントと継続探索依頼メッセージや経路決定メッセージをやり取りすることにより全体として回線設定を行なう。

知識：ノード、リンクなどの状態を表わす通信網の基本的な知識
解析結果：問題解決のための予備評価結果、計算結果などの知識

網利用状況テーブルに送る。網利用状況テーブルには自エージェントから出された経路と他のエージェントから送られてきた経路が記録される。輻輳確認エージェントは網利用状況テーブルを監視してリンク容量を超えた経路がないかチェックする。その際、自エージェントで計算された経路が条件を満たしていれば、他のエージェントの網利用状況テーブルにその経路を送る。もしも、自エージェントで計算された経路が条件を満たさず開放する事になれば、その事を経路探索モジュールに送り経路を再考させる。しかし、他のエージェントから送られてきた経路が条件を満足していない場合は自分の網利用状況テーブルからその経路を開放するだけで他のエージェントには何も言わなくても良い。というのは、送られてきた経路を採用する可否かはそれぞれのエージェントが決めれば良いからである。そのようにして、最も効率よくパスを設定できたエージェントの計算結果を最終的に採用すれば良い。計算は各エージェントにおいて計算の進展が見られなくなった時点で終了となる。

本方式は黒板等のようにすべてのエージェント

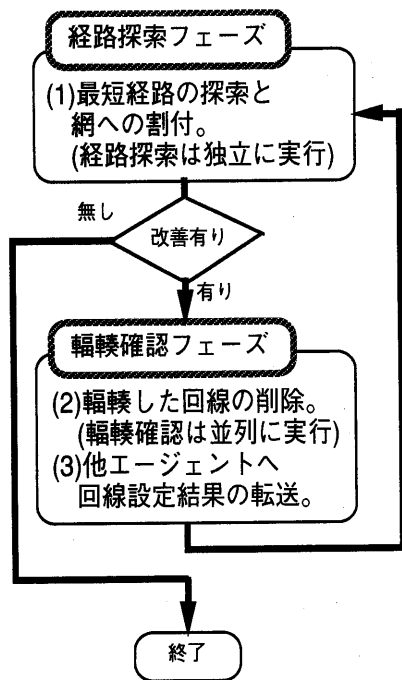


図7 複数回線設定の分散アルゴリズム

間で共用する装置を必要としない完全に均等な分散制御である。そのため、エージェントが故障等によって停止しても、そのエージェントに発信された要求を満たす事ができないだけで、全体にはまったく影響を与えない。また、この満たされない要求も2ヶ所のエージェントに要求を発信できるようにしておけばまったく問題なく解決できる。さらに本方式の特徴は、エージェント間の整合を保つのに複雑な交渉を行う必要がなく、互いに贈り合う情報は自分の経路探索モジュールが探索した経路だけで済む点である。

このような方式が可能となる理由は、割り付け法が計算の順番に依存せず非同期な計算を許しているからである。

[分散環境での実験]

提案した完全分散制御システムを複数のワークステーション上に構築し、シミュレーションを行った。実験構成は図9に示すようにイーサネットケーブルで接続された計算機を用いて、1つの計算機を1つのエージェントと仮定しておこなった。

計算機間の通信にはソケットを用いたプロセス間通信を使用した。各計算機で実行させるプログラムはすべて同一であり、そのアルゴリズムの概要を図10に示す。アルゴリズム上の各関数の説

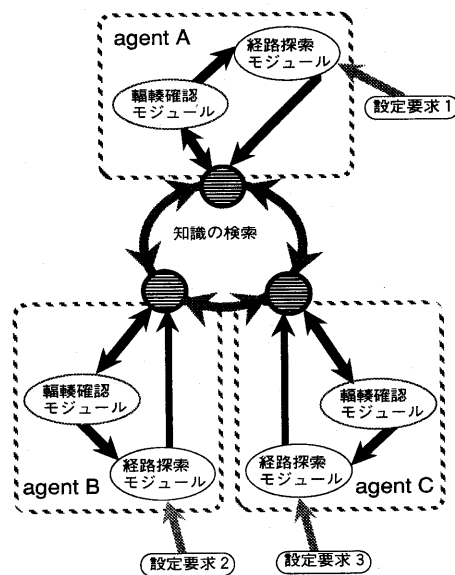


図8 SUN4を用いた分散環境への実装

明は以下にする。

`connect_with_other_agents`ではエージェントとして動作している各計算プロセスの間にソケットを構築し、エージェント間通信の準備を行う。なお、ソケットの構築はすべてのエージェント間が直接つながるようにエージェント間を論理的にメッシュ状に接続させた。以降はこの通信回線を用いて互いに情報を送受しながら計算を進めていく。

次に、要求回線設定の計算は4つの関数を繰り返す事によって行う。この繰り返しは自エージェントにおいて新たに未割り当ての要求に経路を見つける事が不可能となり、かつ、他のエージェントからの経路情報がなくなると終了させる。次に、各関数についてその役割を説明する。まず、`search_route`は自エージェントにきた回線設定要求の経路を探索する。経路の探索は一度にすべての要求の経路を探索するのではなく、ある程度分けて計算させた。これは、一度にすべての経路を送出すると通信レスポンスが悪くなるのと、他のエージェントからの情報と自エージェントの経路探索結果をなるべく均等させるために行った。次に、`listen`では他エージェントからの設定経路の情報を受け取る。`confirm_route`では`search_route`で探索した経路と`listen`によって得た経路を記録したテーブルを見て、リンクの許容量を超えて使用を宣言している回線がないかチェックする。もし、超えている回線があれば経路延長の長い順に開放させ、許容量以下に抑える。この時、開放された回線が自エージェントへの要求回線であるならば次の繰り返しの`search_route`で経路探索を再考させ、他エージェントからの情報であれば開放するだけでその事を他エージェントに通知はしない。次に、`listen_&_send`ではもう一度他エージェント

```
connect_with_other_agents()

while(1) {
    search_route();

    listen();

    confirm_route();

    listen_&_send the message();
}

end_connect();
```

図10 エージェントの計算アルゴリズム

からの情報を取り込んでから自情報を他エージェントへ送信する。1つの繰り返し計算の中に`listen`を2回行っている理由は、送られて来た情報はなるべく早急に取り込んで通信バッファがオーバーフローしないようにするためである。送る情報は`search_route`において探索した経路で`confirm`において開放されなかった回線の経路を送出させる。

計算終了後は、最も設定回線数の多い情報を保持している網利用状況テーブルの情報を使用して回線設定を行えば良い。

実験結果を図11に示す。評価は計算時間と設定率によって示している。本システムの計算結果は、単独の割り付け法の設定回線数と同等の値を得た。また、各エージェントが得た設定回線数はどれもほぼ同じで、どのエージェントの計算結果を回線設定に利用しても問題はないと思われる。

5. むすび

本論文では、知的通信網モデルとして分散協調型マルチエージェントモデルを提案した。この知的通信網モデルの基盤技術となる分散協調コンピューティングシステムは、90年代の通信網の研究分野において中心的な研究テーマの一つとなろう。この分野における日本の先導的な役割が期待されており、今後の発展を図りたい。

謝辞

日頃、御指導頂くとともに熱心に御討論頂いた伝送システム研究所三木部長、榎主幹研究員に感

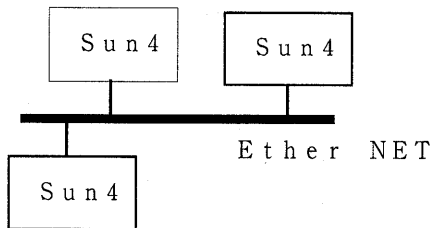


図9 対等なエージェントモデル1を用いた分散協調制御の実験システム

謝致します。

文献

[1]T.Bence,"Advanced Networked Systems Architecture; An Approach for Future Telecommunications Networks",Workshop on TINA, 1990(New York).
 [2]横尾、石田:"ATMSを用いた分散制約充足問題の解法"、情報処理学会論文誌Vol.31, No.1, pp.106 ~114 (1990).

[3]N.K.Karmarkar:"A new polynomial-time algorithm for linear programming",Combinatorica, No.4, pp.373(1984)
 [4]山県:"DSW方式における切替パターン設計法"、昭和51年信学会全国大会1524.
 [5]長谷川、他:"将来の伝達網における網サバイバビリティ技術"、第1回情報伝送と信号処理ワークショップ(1989.3).
 [6]湊、奥村、岸本"分散協調マルチエージェントモデルによる通信網の複数回線設定制御"、本研究会

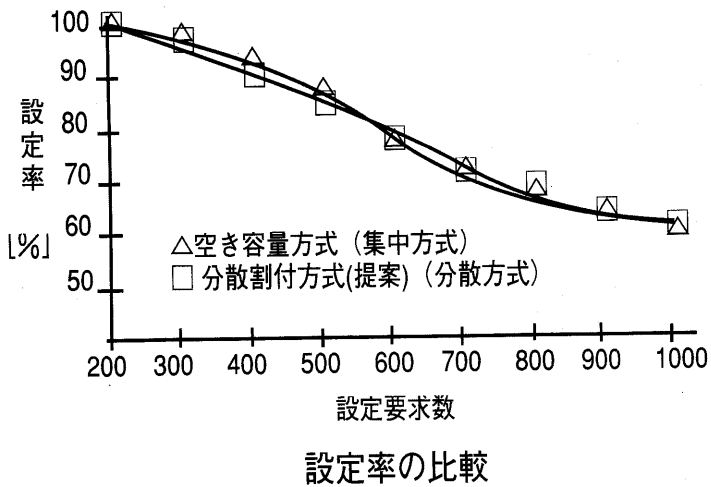
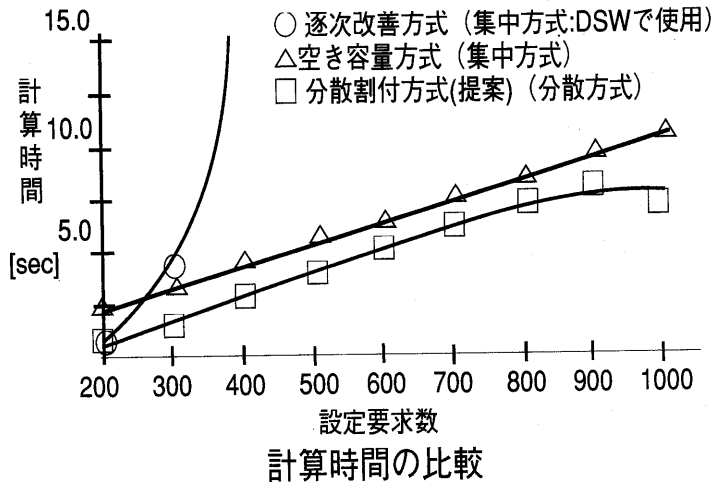


図11 対等なエージェントモデル1による分散協調制御の実験結果