

## 分散エキスパートシステムにおける協調効果の実験的評価

松本 一則 横田 英俊 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

あらまし 通信網管理の分野では、移動通信における電波の割り当て等、動的に変化する需要に応じて資源を再配分する問題(動的資源割り当て問題と呼ぶ)に帰着できる問題が存在することから、筆者らは、資源割り当て問題を対象として協調動作の効果の予測を実験的に行なうための評価方法と実験システムの開発を進めている。

本稿では、まず通信網管理への応用を前提とする動的資源割り当て問題を定義し、同問題に対して、過去の観測結果と現在の大域情報を用いて、最適な資源の割り当てが求められることを示す。次に、過去の観測結果と現在の大域情報を用いて導出される最適資源割り当ての場合と比較して、協調動作を行なうために各 ES が持つヒューリスティクス(戦略)を評価する手法を提案する。本稿の後半では、筆者らが開発を進めている実験システムの構成と、これまでに得られている評価結果について報告する。

和文キーワード 分散、協調、動的の世界、エキスパートシステム、実時間処理

## An Experimental Evaluation of the Cooperative Effect of Distributed Expert Systems

Kazunori MATSUMOTO Hidetoshi YOKOTA Kazuo HASHIMOTO Tohru ASAMI

KDD R & D Laboratories

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

**Abstract** This paper introduces **Dynamic Resource Allocation Problem** as a class of problem to allocate resources according to the dynamically changing demands, such as the frequency allocation problem in the telecommunication applications. We are developing an evaluation scheme and an experimental evaluation system in order to predict the effect of the cooperative action for **Dynamic Resource Allocation Problem**.

The paper firstly defines **Dynamic Resource Allocation Problem** in the telecommunication applications, and shows that the optimal resource allocation is predictable with the history of the system status and the current global status. Secondly, the paper proposes a evaluation method to examine the heuristic strategy for distributed expert systems to act in a cooperative fashion. Lastly, the architecture of the experimental evaluation system under development and the results obtained so far are reported.

英文 key words Distributed System, Co-operation, Dynamic World, Expert System, Real Time Processing

## 1 はじめに

分散 Expert System(ES)では個別 ES が局所情報に基づいた知的処理で大抵の問題解決を行い、まれに協調動作によって大局的な問題解決を図るので、問題解決に必要な通信量は一般的に少なくすむ。このため通信網管理のように、情報が物理的に離れた場所で発生する場合、情報源間を密に結合した単一システムに比較して分散 ES が有利となる。また複数計算機上で個別 ES を動作させることで実時間性能や対故障性能の向上も可能で網管理に適している。今後、通信網管理の高度化を考える上で、複数の ES を疎に結合した分散 ES の適用を考慮する必要がある。

分散 ES の協調動作を設計するには、個別 ES の処理内容と個別 ES 間の通信内容をどの程度に設定すれば、どの程度の効果が得られるのかを予測する必要があるが、分散 ES の協調動作の効果とそれに要する通信量の間にはトレードオフの関係があるため、こうした予測は一般的には難しい。

通信網管理の分野では、移動通信における電波の割り当て等、動的に変化する需要に応じて資源を再配分する問題(動的資源割り当て問題と呼ぶ)に帰着できる問題が存在することから、筆者らは、資源割り当て問題を対象として協調動作の効果の予測を実験的に行なうための評価方法と実験システムの開発を進めている。

本稿では、まず通信網管理への応用を前提とする動的資源割り当て問題を定義し、同問題に対して、過去の観測結果と現在の大域情報を用いて、最適な資源の割り当てが求められることを示す。次に、過去の観測結果と現在の大域

情報を用いて導出される最適資源割り当ての場合と比較して、協調動作を行なうために各 ES が持つヒューリスティクス(戦略)を評価する手法を提案する。本稿の後半では、筆者らが開発を進めている実験システムの構成と、これまでに得られている評価結果について報告する。

## 2 動的資源割り当て問題

### 2.1 問題の定式化

通信網の各種問題に適合しやすいように、動的に変化する需要(サービス要求)に対応して資源を再配分する必要がある問題(資源割り当て問題)を扱うこととし、以下のよう

- いくつかの地区(A、B、C、...)で発生するサービス要求を各地区の制御局で受け付ける。
- サービスを1回実施するのに資源が1つ必要になる。サービスが終了すると使用されていた資源は解放され、別のサービスで使用可能となる。ただし、サービスの実行中は他のサービスのために使用中の資源は使用できない。
- 各制御局間で所有している資源の受け渡しは可能である。ただし、資源の受け渡しに際し、資源の移動が始まってから移動が完了するまである程度の時間遅れを伴う。各制御局が所有する資源の総数と受け渡し中の資源の数の和は常に一定である。
- サービス要求を受け付けた制御局は、同制御局が所有する使用可能な資源があればサービスを実行するが、使用可能な資源がない時はこのサービス要求を実行できない。実行されない要求は要求を受け付けた各地区の制御局のところで待ち行列となる。
- サービス要求の発生頻度は時間と共に変化し、発生地域によって異なる。
- 各サービスが資源を占有する期間(保留時間)は指数分布とする。資源がいつ解放されるかは決定的ではない。
- 各制御局は、自地区に関する以下の情報は直接入手できる。
  1. 使用中の資源の数
  2. 使用可能な資源の数
  3. サービス要求発生の有無
  4. 待ち行列の長さ

他地区の同様の情報は他制御局からのメッセージで知ることとする。ただし、各制御局が他制御局に送るこれらの情報の詳細度は自由に設定できるとする。

- 制御局は自地区の情報と他制御局から送られてきたメッセージに基づいて、他制御局に資源を要求したり、他制御局からの資源要求が来た時の受理/不受理を決定する。
- 与えられた範囲内の通信コストで制御局間で交渉を行い、各地区の待ち行列の長さの総和を各時点でできるだけ少なくすることを全体の目標とする。

|      |         |
|------|---------|
| 地区の数 | 3       |
| 地区名  | A, B, C |

表 1: 地区の構成

|                       | A 地区                                  | B 地区  | C 地区  |
|-----------------------|---------------------------------------|---|---|
| 第 $n$ サイクル目のサービスの発生確率 | $\frac{1}{2} \sin(\frac{2n\pi}{150})$ | $\frac{1}{2} \sin(\frac{2n\pi}{150} + \frac{\pi}{2})$ | $\frac{1}{2} \sin(\frac{2n\pi}{150} + \pi)$ |
| 初期状態の資源の数             | 4                                     | 3   | 3   |

表 2: 各地区のモデル

通信サービスの場合、サービス要求の発生頻度としてポワソン分布を用いることが多い [2]。ただし、実際の通信サービスの場合、需要の日変動のように、時間帯毎に需要が大きく変化するものもあり、ある程度の期間に渡って起こるサービス要求の発生の分布をポワソン分布と仮定することには無理がある。

ここでは日変動等に伴う資源の再配分の問題を念頭に入れ、サービス要求の発生確率が時間とともに変化することとした。

なお、Coney らのマルチネゴシエーションで有名な「資源割り当て問題」は、大域的な制約の下で状態空間を探索する問題である。本稿の「動的資源割り当て問題」は、非決定的に変化する動的世界を扱っている点で異なる。

## 2.2 協調動作の評価方法

限定されたいくつかモデルの下では分散アルゴリズムに対する定量的な評価が既に行われている [3]。ただし、最大流量問題等の既知の分散アルゴリズムの場合、問題を定義する情報が与えられてから問題が解かれるまでの間に問題の内容が変化しないことを前提としている。

2.1章の動的資源割り当ての問題のように外界の変化を許すようなモデルとその分散アルゴリズムを考えることはかなり困難であると思われる。そこで、まず状況を大域的に評価するための手法を考えてみた。

外部世界の出来事であるサービス要求の発生と資源の移動に関して、表 1、2、3 のように具体的にモデルを設定したとする。表中の「サイクル」は時間の経過を表すための単位である。

|                           |   |
|---------------------------|---|
| サービスが資源を $t$ サイクル以下使用する確率 | $\int_0^t \lambda e^{-\lambda x} dx$<br>$= 1 - e^{-\lambda t}$<br>(ただし、 $\lambda = 2.5$ ) |
| 資源の総数                     | 10  |
| 資源の受け渡しに必要なサイクル数          | 1.0   |

表 3: 資源に関するモデル

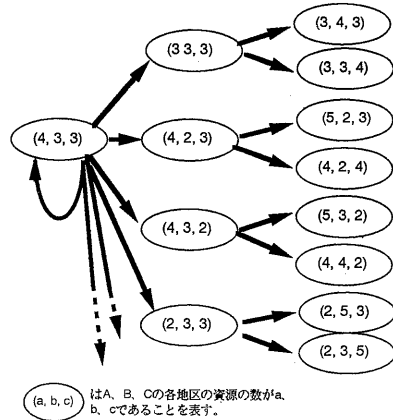


図 1: 資源配置状況の遷移例

例えば、A, B, C の各地区にそれぞれ資源を 4, 3, 3 個ずつ配分してあるとする。資源の移動に要する時間が 1 サイクルであるから、以後の資源数は図 1 のように遷移する。例えば、4, 3, 3 個ずつ配分してある状態で、A 地区から B 地区へ資源が 1 個移動したとする。資源の数は、図 1 の表記を用いれば、次状態で (3, 3, 3) となり、さらに次の状態で (3, 4, 3) となる。

十分な観測値が存在するとして、サービス要求発生の有無についての現在と過去数回分の観測値から各地区毎に将来発生するサービス要求の発生確率を時系列分析等の手法を用いて予想することができる。

さらに、資源が専有されている期間の分布状況から、現在使用中の資源が次のサイクルで解放される確率も求めることができる。なお、資源の専有期間が指数分布に従うとすれば、今までの使用期間に関係なく次サイクルで資源が解放される確率が求められる。

よって、各地区の

- 現在使用中の資源の数
  - 現在の使用可能な資源の数
  - 現在の待ち行列の長さ
- と、観測値から得た各地区の
- サービスの発生確率
  - 使用中の資源が次のサイクルで解放される確率

から、同地区の将来の待ち行列の長さを予測できる。

例えば、A 地区で使用中の 2 つの資源があり、使用可能な資源の数が 2、待ち行列の数が 0、次状態でサービスの発生確率が  $p$ 、次状態で資源が解放される確率が  $r$  であったとする。この時、A から B へ資源を 1 つ移動したとすると、A 地区での次状態は表 4 のようになる。

同様にして、さらに A 地区の次々状態のサービス発生確率を用いて A 地区の次々状態での各状態の確率を求めることができる。このようにして、各種の資源の移動を行った時や行わなかった時の各地区の待ち行列長及びその総和の期待値を求めることができる。

| 使用中の資源の数 | 使用可能な資源の数 | 待ち行列の長さ | 確率                        |
|----------|-----------|---------|---------------------------|
| 0        | 3         | 0       | $r^2(1-p)$                |
| 1        | 2         | 0       | $2r(1-r)(1-p) + r^2p$     |
| 2        | 1         | 0       | $(1-r)^2(1-p) + 2r(1-r)p$ |
| 3        | 0         | 0       | $(1-r)^2p$                |

表 4: A から B へ資源を 1 つ移動した時の A の次状態とその確率

このことから、2.1章の資源割り当て問題の場合、十分な観測例が存在すれば、任意の状況において任意の操作(資源を移動しない、A から B へ資源を 1 個移動する、...)を行った場合の大域的評価を良好に行える可能性がある。制御局が行う協調動作の善し悪しをこの評価尺度で評価することで、任意の状況下での任意の協調動作を評価することができ、当初の目的である「疎結合実時間分散 ES のための協調動作設計方針を得ること」が達成できる。

### 2.3 協調分散システムの他のモデル

動的世界を対象として協調分散の効果を論ずる場合、4つの駒が 1 つの動き回る駒を囲むといったベンチマーク [4][5]で論じられる場合が多い。同ベンチマークの場合、系全体の最終目標は明確である。ただし、最終段階に至るまでの途中の各状況を考えてみると、状況を表現するための情報は、取り囲もうとしている駒と取り囲むための駒との相対的な位置関係に限られる。

駒どうしの位置関係を評価する場合、取り囲もうとしている駒と取り囲むための駒との距離の和といった簡単な評価尺度を用いることも考えられるが、このベンチマークに対して有効な評価尺度がどのようなものであるかは明らかではない。

本稿での動的資源割り当て問題の場合、2.2章で述べたように、観測例が豊富にある時、任意の状態において任意の操作を行った場合の以後の各地域の待ち行列の長さが推定可能であり、質の良い状況評価尺度を導入できる見込みが高い。

各種状況化下での協調動作を評価する上で、良好な状況評価尺度を持つ本稿の動的資源割り当て問題の方が、ICE や MICE 等のベンチマークに比べて有利であると思われる。

## 3 実時間分散処理用実験システム

筆者らは 2.2章の評価方法を用いて、動的資源割り当て問題を解くための各種ヒューリスティックを評価するため、まず、各種のヒューリスティックな分散アルゴリズムを同一環境下で実行するための枠組みとなる実験システムを作成した。本稿の以後の部分では、この実験システムについて述べる。

システム構成上の容易さから、ひとまず 3 つの地区 A、B、C の間での動的資源割り当て問題に取り組んだ。図 2

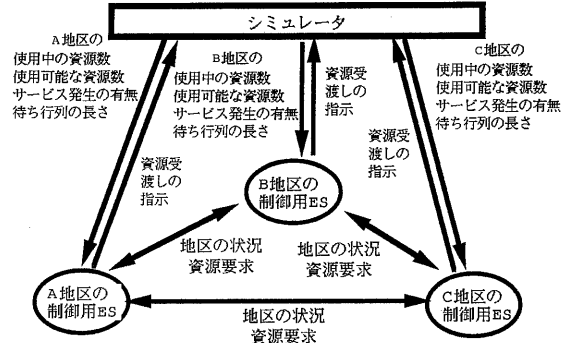


図 2: 実験環境の概要

に示すように、各制御局の処理を別個の ES で実現し、分散 ES の外部世界で起こるサービス要求の発生と資源の移動をシミュレータで実現した。

### 3.1 シミュレータの機能

シミュレータは離散型シミュレータで、シミュレーションのサイクルは、0, 1, 2, ... と進んでいく。具体的なシミュレーションのモデルとしては表 1、2、3 を用いた。

シミュレータの機能は以下の通り。

1. サイクルが  $n$  の時、UNIX の random 関数で得た値  $x (0 \leq x \leq 1)$  が表 2 の「第  $n$  サイクル目のサービスの発生確率」で計算した値より小さければ新たなサービス要求が発生する。
2. サービスの実施をシミュレートする際、そのサービスがどのくらい長く資源を資源を使用するかは、表 3 の「サービスが資源を  $l$  サイクル以下使用する確率」を用いる。  
同項目で得られる  $l$  サイクル以下使用する確率を  $P_l$  とすると、random 関数で得た値  $x (0 \leq x \leq 1)$  が、 $P_{l-1} \leq x < P_l$  となるような  $l$  を求め、シミュレータは以後の  $l$  サイクルは資源が使用されるものとして扱う。
3. 各サイクル毎にシミュレータは各地区の
  - (a) 使用中の資源の数
  - (b) 使用可能な資源の数
  - (c) サービス要求発生の有無
  - (d) 待ち行列の長さ

を計算し、その結果を ES に送る。

ただし、ES が受け取る情報は担当地区の情報のみである。資源要求のメッセージを受けた ES が要求を受け入れる場合、ES はシミュレータに資源の移動を指示する。

### 3.2 個別 ES のヒューリスティック

ES の処理内容が異なれば、協調の効果や通信コストは当然変化する。動的資源割り当て問題を解く ES の処理内容と

しては数多くのバリエーションが存在する。ここでは、具体例として以下の作業を行う ES を考える。

ただし、この処理例の場合、図 2 にあるような地区の状況に関する情報の送信しないで、「資源要求」の情報のみを送信する。このため、分散協調システムの立場から ES をエージェントとみなすと、エージェント間の交渉とそのプロトコルは非常に簡単なものであると言える。

#### サイクル毎の処理

1. 使用中の資源の数をシミュレータから得る<sup>1</sup>。
2. 使用可能な資源の数をシミュレータから得る。
3. サービス発生の有無をシミュレータから得る。
4. 待ち行列の長さをシミュレータから得る。

#### m サイクル毎の処理

1. 需要が多い (担当地区の待ち行列の長さが  $q_1$  以上) 時、かつ、資源が少ない (担当地区の利用可能資源の数が  $r_1$  未満) 時には他 ES に資源を要求するメッセージを送信する。
2. 需要が少ない (担当地区の待ち行列の長さが  $q_2$  未満) 時、かつ、資源が多い (担当地区の利用可能資源の数が  $r_2$  以上) 時に他 ES から資源の要求がきたら<sup>2</sup>、担当地区で利用可能な資源から適当な資源を 1 つ選び、選んだ資源を要求してきた制御局へ渡す指示をシミュレータに行う。

この例の場合、ES の処理内容は、資源を再配分するかの判断を行う頻度 ( $m$ ) と、判断基準に用いる 4 つのしきい値 ( $q_1, q_2, r_1, r_2$ ) に依存する。これらの値を変更することで、ES の処理内容にある程度のバリエーションをもたすことができる。

### 3.3 C-PRS による実装

実験システムの中核をなす分散 ES の作成にあたっては、

- 各 ES 間のメッセージ交換が容易であること
- 外部世界をシミュレートするプログラムとのインタフェースが容易であること

を条件に考え [6]、実時間処理用エキスパートシェルである C-PRS を用いた。

C-PRS は、マルチエージェント指向のシェルであり、メッセージ交換の機能を元々備えている。また、今回の実験システムの作成では使用しなかったが、他の ES の知識ベース (ワーキングメモリ) の内容の参照や書き込みの機能も用意されている。

C-PRS で複数のエキスパートシェルを動作させる場合、各シェルは 1 つのプロセスで実現され、シェルと外部との

<sup>1</sup>ここで説明する ES の場合、使用中の資源の数は協調動作に影響を与えないが、ES の処理内容次第では収集した方が良いので、ここではシミュレータから使用中の資源の数を取得している。

<sup>2</sup>同時に複数の ES から資源の要求が来る可能性はある。今回は、同一サイクルに来た複数の資源要求に対しては、適当な 1 つの要求だけを対象とした。

通信は UNIX の socket を用いた文字列ベースのプロセス間通信で行う。このため、ES とシミュレータの間のインタフェースが比較的容易に実現できる。

C-PRS のメッセージ交換機能は機種依存性が無い。実際、3 つの ES を異機種ワークステーション (SPARC2、NEWS3860、DECstation5000) 上で動作させても問題はなかった。

ただし、今回の利用を通じて分かった C-PRS の問題点は以下の通り。

- プログラミング環境・デバッグ環境が複雑で専用ツールの操作性が比較的悪い
- 実時間処理向けに他ツールに比べ、不確実性 (Uncertainty: 情報の信頼性が時間と共に減っていく)、時制推論 (Temporal Reasoning: 過去・現在・未来の事象に対する推論) のサポートがない

## 4 実験例

### 4.1 協調動作の効果

#### 協調動作をしない場合

ES が協調動作をしない、つまり各地区の資源の数が固定されているとすると、各地区の待ち行列の長さは図 3 のように変化する。同図では横軸が時間の経過を表す。縦軸は各時点における各地区の待ち行列長の和を表すが、各地区ごとの待ち行列長が分かるように総和に占める各地区の待ち行列長を濃淡で表示してある。各地区の待ち行列は、ある程度のゆらぎをもって周期的に変化しているのが読み取れる。資源の数が 3 個である B 地区、C 地区に比べて資源が 4 個ある A 地区の待ち行列長が平均的に最も小さい。

図 4 は、図 3 を得た実験での待ち行列長の総和の頻度分布である。同図の横軸は待ち行列長の総和を、縦軸は頻度を表す。右上方の数は、サイクル当りの待ち行列長の総和の平均値である。協調動作を行わないときには、各地区の待ち行列長の和の平均が 14.9 である。

#### 協調動作をする場合

各 ES が 3.2 章の処理例 ( $m = 1, q_1 = q_2 = 1, r_1 = r_2 = 1$  とする) に従って協調動作を行った場合、待ち行列長の和は図 5 のように変化する。図 3 と図 5 を比較するとこの協調動作によって各地区の待ち行列長の和が明らかに減っている。

また、この協調動作時の待ち行列長の和の頻度分布を図 6 に示す。図 4 と比較して、この協調動作によって、待ち行列長の和が 10 以下になる割合がかなり増えている。実際、各サイクルの待ち行列長の和の平均が、19.9 から 3.3 になっている。

各地区毎に観察してみると、特に C 地区の待ち行列長が大きく減少していた。これは、シミュレーションのモデルとなった表 2 のサービス発生率が C 地区で極大になるときに、A 地区で極小で、B 地区が極小から増加中であることで説明がつく。

この協調動作のアルゴリズムは非常に簡単で、ES 間の交渉と言えるのは一方的に送られる資源要求のメッセージだけである。シミュレーションに用いたモデルの特殊性を考慮す

る必要性はあるが、平均値の大きさと比較するならば、3.2章で述べた簡単なヒューリスティクスでサービス待ちの数を約1/5に減らせた。

残念ながら、今回は2.2章で述べた評価方法でこの協調動作の機能を評価してはいない。このため、定量的にこのヒューリスティクスが良いものであったかどうかの判断はできていない。

## 4.2 協調動作の頻度

4.1章で協調動作を行う実験の場合、協調動作の頻度に影響を与えるパラメータである  $m$  の値を1とした。当然、 $m$  の値を大きくすると、資源の要求回数と資源の移動回数が減少し、待ち行列長の総和の平均値が増加することが予想される。

同予想を確かめるため、 $m$  の値だけを変えて、それぞれ1200サイクル分の待ち行列長、資源を要求した回数、資源が移動した回数を調査した。図7は、横軸に  $m$  の値をとり、縦軸に

1. 待ち行列長の和の平均 (\*でプロット)
2. 資源要求回数 (◇でプロット)
3. 資源移動回数 (△でプロット)

をとった。ただし、

- 1. は4.1章の協調動作を行わない場合の待つ行列の和の平均値である14.9を1.0に正規化した。
- 2. と3. は  $m=1$  の時の資源要求回数(1464回)が1.0になるように正規化した。

結果は予想通り、 $m$  が大きい、即ち協調動作の頻度が減少すると、待ち行列長は大きくなり、協調動作の効果は悪化する。ただし、協調動作の頻度が減少すると、資源要求回数、資源移動回数が減少し、協調動作のコストは改善される。この実験では、協調動作の効果とそのコストのトレードオフが実際観察できた。

図7では、 $m=8$ 以上の時の待ち行列長の和の平均値が、協調動作をしない場合の値を上回った。このことから資源の移動が必ずしも良い効果を起こしていないことが分かる。協調の頻度が少ない場合、たまたま良くない資源の移動を引き起こすと状況が改善されるまでに時間がかかることがあることも予想される。

図8では、横軸は図7同様、 $m$  の値をとった。縦軸には資源要求回数に対する資源移動回数の割合をとった。むだな資源要求を行わない点からは、この割合が高いほうが好ましい。協調動作の頻度が高い  $m=1$  の時は、むだな資源要求が行われた回数とその割合も多いと言える。ただし、先に述べたように、全ての資源移動が良い結果を生むとは限らない。今後、2.2章の手法を用いて、各周期毎の協調動作の善し悪しを評価し、良い資源移動がどの程度起こっているか評価する必要がある。

## 5 おわりに

本稿の2.1章では、通信網管理等で応用が考えられる「動的資源割り当て問題」について述べた。同問題は動的世界を扱う問題であり、複数の地区で非決定的に発生する需要に対し、需要の発生地点でサービスを効率良く行うために、サービスに必要な資源をどのように配置するかを各時点で決定する問題である。

2.2章では、この動的資源割り当て問題に対して、過去の観測例と現在の大域的な情報を用いて、ヒューリスティクスが選んだ配置を評価する手法を説明した。具体的には、まず、観測値に基づいて次状態や次々状態での需要の発生率やサービスで使用していた資源が解放される確率を得る。これらの確率を基に、ある配置を実施した場合の、将来のある適当な時点における、現在の状態からの全ての遷移の確率を計算し、サービス待ちになっている需要の大ききの期待値を求める。期待値が小さいほど良い配置である。

同じく動的な世界を扱う従来のベンチマークに比べて、ヒューリスティクスによる協調動作が各時点毎に評価可能な点で、この動的資源割り当て問題はヒューリスティックを比較するベンチマークとしても利用しやすい。

動的資源配置問題を分散環境下で解く各種のヒューリスティクスの性能を評価するため、また、実際の場面で問題となる協調の効果とコストのトレードオフを考えたシステム設計を行うため、各種のヒューリスティックを同一環境下で実行するための実験環境の構築を進めている。実験システムを中心とする分散ESは、C-PRSのマルチエージェントの機能を利用し作成した。

現在はまだ、2.2章の評価方法で各時点毎にヒューリスティックを評価することは行っていない。ただし、既に実験によって簡単なヒューリスティックを比較し、協調動作の効果とそのコストがトレードオフ関係にある例が観察できた。

ES間のメッセージ機能がサポートされているシェルの利用によって分散型ESのプログラミングの負担は軽減される。しかし、妥当な通信コストの範囲内で適切な問題解決が図れるように個々のESの処理内容を決定することの困難さは残ったままである。今後、2.2章の評価の方法を実験に取り入れ、結果を分散ESの設計にフィードバックする必要がある。

## 謝辞

日頃お世話になるKDD研究所小野欽司所長、山崎泰弘次長、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] M. Georgeff, F. Ingrand, "Decision making in an embedded reasoning systems," Proceedings of the 11th International Joint Conference on AI, pp. 972-978, 1989
- [2] 秋丸春男, "現代交換工学概論", オーム社

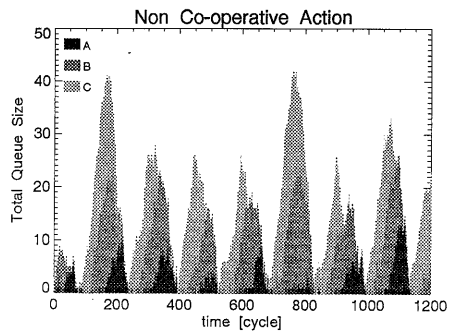


図 3: 協調動作をしない時の待ち行列長の総和

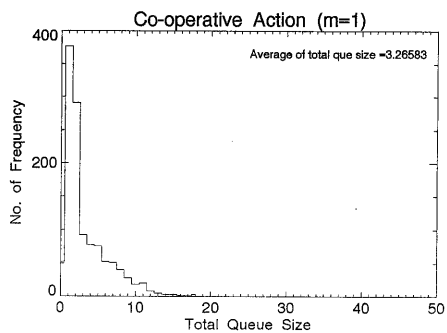


図 6: ある協調動作時の待ち行列長の頻度分布

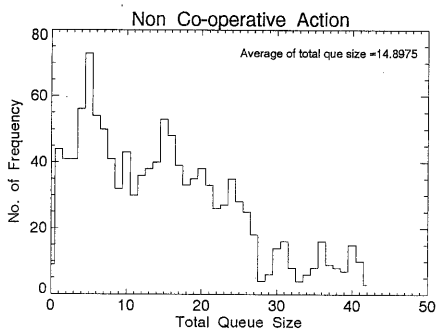


図 4: 協調動作をしない時の待ち行列長の頻度分布

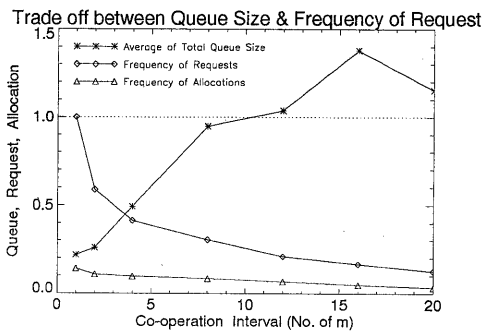


図 7: 協調頻度の違いによる待ち行列の長さや資源要求回数

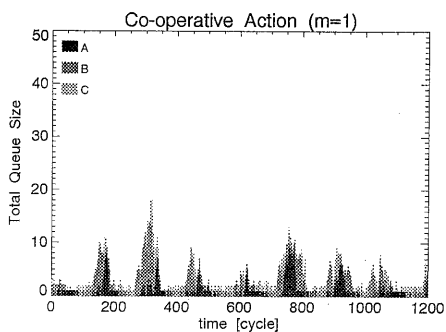


図 5: ある協調動作時の待ち行列長の総和

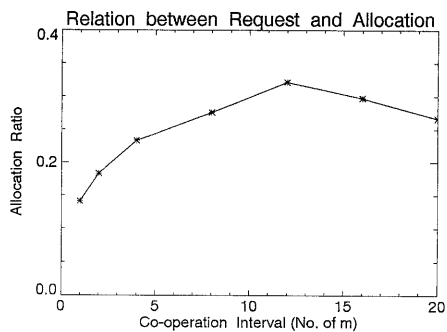


図 8: 実際に資源を再割り当てした数と要求回数の割合

- [3] 萩原兼一, “分散アルゴリズム”, 人工知能学会誌, Vol. 5 No. 4 pp. 430-440 1990
- [4] L. Gasser, N., Rouquette, R. Hill, and J. Lieb, “Representing and Using Organizational Knowledge in DAI Systems,” In Gasser, L. and Huhns, M. N. (eds.) : Distributed Artificial Intelligence, Vol. II, Pitman, pp. 55-78, 1989
- [5] E. H. Durfee, and T. Montgomery, “MICE: A Flexible Testbed for Intelligent Coordination Experiments,” 9th Distributed Artificial Intelligence Workshop, pp. 25-40, 1989
- [6] 横田他, “通信網管理に適したエキスパートシステム構築ツールの評価”, 92年電子情報学会春期大会 D-101