

分散協調問題解決の概要及び技術的課題

Distributed Cooperative Problem Solving: Overview and Technical Issues

久保野 秀雄
Hideo Kubono
ICOT
ICOT

1. はじめに

著者は現在、次世代型エキスパート・システム・ツールの基本技術の一つとして注目される、分散協調問題解決について研究している。今回は、分散協調問題解決というものの概要及び技術的課題について解説する。

2. 分散協調問題解決の定義

分散協調問題解決の定義としては、以下の定義が代表的なものとして挙げられる。([Smith et al. 81, Smith 84])

「分散協調問題解決とは、分散されずに結合された知識源の集団による協調的な問題解決である。ここで、知識源とは何らかの知識表現に基づいて記述された知識システムであって、異なるプロセッサ上に実現されているものとする。これらが協力的なのは、どの知識源も全体の問題を解決するために必要な情報あるいは情報処理能力を持たないためである。これらが分散されているとは、これらの間に大域的な制御や大域的なデータ格納場所が存在しないことをいう。これらが遂に結合されているとは、各知識源が時間の大部分を通信よりも計算に費やすことをいう。」

ここで述べられている知識システムはエージェントとも呼ばれる。このエージェントは、一般にはかなりの処理能力を有するものと仮定されている。またエージェント間は疎結合であるので、最近話題のコネクション・モデルは含まない。こうしたモデルをも包含した研究領域を分散AIと呼ぶ。([Decker 87])

複数のエージェントで構成された分散協調問題解決に於ける分散性、協調性について、上の定義に沿っての著者の意見を示す。

2. 1. 分散性について

以下の二種類の分散性が存在する。

- ① 制御の局所性。
即ち各エージェント毎の自己制御性。
- ② データ格納場所の局所性。
所謂黒板領域などは存在しない。

2. 2. 協調性について

エージェントは全く独立して問題解決を行なえる訳ではない。全体として求められる目標に対する解決活動の為に、各エージェント間の協調性が求められる。協調活動は他エージェントとの利害関係に絡んで、以下の二種類が存在する。

- ① cooperative.
エージェント間の利害関係は存在しない。各エージェントの利得増だが、システム全体の問題解決活動に貢献する。
- ② coordinate.
エージェント間に利害関係が存在する。システム全体の問題解決活動の為に、各エージェント間での妥協('compromise')が必要となる。

分散協調問題解決の具体的なシステムとしては、各エージェントに1プロセスを割り当てた、通信ネットワークといえる。

このような分散協調問題解決のメリットを述べてみると、

- ① 分散性は、システム構築、実行スピード、信頼性向上に有効。
- ② 協調性は、制限されたデータ、知識、処理時間の下での妥当な解の生成に有効。

3. 分散協調問題解決の研究動向

分散AIワークショップの報告記事を参考に、応用面での研究動向の促進について概説する。([Davis 80, Fehling 83, Smith 85, Gasser 87])

3. 1. 計画問題

分散環境での計画問題の出発は、SRIで見られるように、ロボットの作業計画などに端を発しているように思われる。

これに絡んだ実験について、以下に示す。

① ロボットの作業計画に絡んだ理論研究

SRIでは、Rosenscheinを中心に、ロボットの作業計画に絡んだ理論研究が行なわれている。

ここでは、計画は意図と同意語として扱われている。計画、意図とは、アクション列と考えられる。分散型環境での計画作成を成功させる上での中心的な問題は、全体としてまとまった計画を立案する為の、他エージェントの作成中の意図の認識である。この為の理論的枠組みとして、談話行為理論('speech act theory')が挙げられる。

② 積み木の世界での協調プランニング

SRIでは、K. Konoligeを中心に、積み木の世界での2つのエージェント間での協調プランニングのモデルを開発している。このモデルでは、エージェント間でのコミュニケーションによって、積み木の世界の状態に関する共通認識('common knowledge')が実現される。

3. 2. 認識問題

協調問題解決の代表的システムとしてHEASAY-II(音声認識システム)が挙げられるように、当初からこの枠組みでの主要な問題領域として、認識問題が挙げられる。事実、通信機能を持ったブラックボード・モデルをエージェントとする分散システム・アーキテクチャが幾つか挙げられる。以下に、その代表的なシステムを示す。

① 談話理解システム

カーネギー・メロン大では、予め話者の識別テストを行わずに連続的に話される英語の認識システムの開発を行なっている。この研究はDARPA計画の一部である。このアプローチでは、音響信号から音素ユニットが認識されていく。

その為の構築環境として、AGORAと呼ばれるツールが開発されている。AGORAは分散コンピュータ・システム上のエージェント群構築用の環境である。

② 分散ヴィジュアル監視実験環境(DVMT) ([Lesser 83])

マサチューセッツ大で、V. Lesserを中心に、長い間利用されている実験環境である。この環境を記述しているEFIGEと呼ばれるモデルは、ブラックボードをベースとしている。

このシステムでの興味深いメカニズムは、Lesserが提唱している、FA/Cと呼ばれる協調活動形態である。各エージェントが不完全で、不正確で矛盾を含む情報をもとに、他のエージェントとのコミュニケーションを介しての試行錯誤を通して、解へと収束させていく。

4. 分散協調問題解決のための技術的課題

- 意図理解の重要性と実現のためのアプローチ方法 -

ところで分散協調問題解決では、エージェント間でのタスクや中間解の交換は、全て通信を介して行なわれる。それ故、より良い解を得るとなると、通信の頻度と量の増加を招く。ところが一般に通信速度は、エージェント内での計算速度よりも遅いものと仮定されている。そこで、通信効率の向上が大きな課題となる。(極端な話をすれば、完全に通信を途絶しても活動出来れば良い。)

通信量の削減方法としては、エージェントが関連するエージェントの行動を予測して通信を行なう方法('expectation-driven communication')が挙げられる。相手エージェントの行動予測が出来るためには、相手の意図、行動計画を知る必要が有る。

相手の意図、行動計画を知ることは、システム全体としての問題解決の際の協調性の実現の為に不可欠である。

以降では、その為の方策として、以下の3つのアプローチについて概説する。

- ① 様相論理的アプローチ
- ② メタレベルでの通信
- ③ ゲーム論的アプローチ

① 様相論理的アプローチ

分散環境で協調的に問題解決を行なう、つまり全体として最大の利得を確保させる上で、各エージェントが持つべき共通認識が重要である。共通認識を導入することで、通信の効率化を図ることも可能である。

共通認識とは、社会または集団内では常識と呼ばれるものである。例えばドライバーにとっての交通ルール等が挙げられる。ここでの常識とは単に各人が所与の知識を知っているだけではなく、他の者が自分と同様に所与の知識を知っていることを知っていることを含む。こうした知識は様相論理での言明の一種と考えられる。

② メタレベルでの通信

共通認識を実現する為に、エージェント間で行動計画情報を直接間接に交換する方法も有る。このような通信は、通常のタスクや処理結果の交換の為の通信に対して、メタレベルでの通信と云える。こうしたメタレベル通信を実現させる為には、各エージェントが通信内容に対して同一の解釈が行なえる必要が有る。

こうした予測能力の導入は、人とマシンとの協調活動の為、即ち知的マン・マシン・インタフェースにも役立つ。

([Durfee&Lesser 87, Appelt 80, Grosz&Candace 86])

③ ゲーム論的アプローチ ([Ginsberg])

目的的なエージェント群による問題解決環境で、与えられた問題を解決する為には、それぞれが勝手に振る舞いをさせては困る。全てのエージェントに、それぞれの活動を通して、システム全体の利得最大化を図ることが要求される。それを実現する為の知識として、エージェントが各行動の選択肢毎に生産し得る利得を計算する報酬関数('payoff function')が挙げられる。報酬関数を用いての協調活動を、例を用いて説明する。

例. 依頼者A、Bそれぞれのタスク依頼に対する潜在的な請負者の入札評価が以下のものであるとする。このようなマトリックスは、報酬マトリックスと呼ばれる。

		依頼者	
		A	B
請負者	X	0.9	0.8
	Y	0.8	0.2

今、このマトリックスを請負者X、Yが共に共通認識として持っていれば、尚且つX、Yが協調的であれば、即ちシステム全体での最大利得を心掛けるのであれば、両者の間で通信を行ななくても、タスクの割り付けは、A-Y & B-Xとなる。

5. おわりに

分散協調問題解決の概要及び技術的課題について解説した。ここで示した内容、特に技術的課題に偏りの有ることは否めないが、敢て近著者の興味有る処の説明として、御了承願いたい。

尚本稿の作成に当たっては、ICOT内での分散協調問題解決の為のワーキング・グループ、KSA-DIC-SWGのメンバーとの討論を少なからず参考にしている。この場を借りて、各メンバー、特に主査の立命館大学助教授、小川均先生に謝辞を述べる。

参考文献

- [Appelt 80] D. Appelt, "A Planner for Reasoning About Knowledge and Belief", Proc. of the First Annual Conference of the American Association for Artificial Intelligence, August 1980.
- [Davis 80] R. Davis, "Report on the Workshop on Distributed AI", SIGART Newsletter, No. 73, October, 1980.
- [Decker 87] K. S. Decker, "Distributed Problem-Solving Techniques: A Survey", IEEE Trans. on System, Man, and Cybernetics, SMC-17-5 Sep./Oct., 1987.
- [Durfee&Lesser 87] E. H. Durfee and V. R. Lesser, "Using Partial Global Plans to Coordinate Distributed Solvers", Proc. of IJCAI 87, pp. 875-883.
- [Fehling 83] M. Fehling, "Report on the Third Annual Workshop on Distributed Artificial Intelligence", SIGART Newsletter, No. 84, April, 1983.
- [Gasser 87] L. Gasser, "The 1985 Workshop on Distributed Artificial Intelligence", AI Magazine, Summer, 1987.
- [Ginsberg] M. L. Ginsberg, "Decision Procedures", Reading, Distributed Artificial Intelligence, Morgan Kaufmann.
- [Grosz&Candace 86] B. J. Grosz and L. S. Candace, "Attention, Intentions, and the Structure of Discourse", Computational Linguistics, Vol. 12, No. 3, pp. 175-204, July-Sept. 1986.
- [Lesser 83] V. R. Lesser and D. D. Corkill, "The Distributed Vehicle Monitoring Testbed: A Tool for Investigating Distributed Problem Solving Networks", The AI Magazine Fall, pp. 15-33, 1983.
- [Smith et al. 81] R. G. Smith and R. Davis, "Frameworks for Cooperation in Distributed Problem Solving", IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, SMC-11-1, Special Issue on Distributed Problem Solving, pp. 61-70, 1981.
- [Smith 84] R. G. Smith, "Report on the 1984 Distributed Artificial Intelligence Workshop", The AI Magazine, Vol. 5, No. 3, pp. 234-243, 1984.