

分散制御システムの情報構造に関する研究*

岩本 尚樹

電気通信大学 情報通信工学専攻†

高田 昌之

電気通信大学 情報基盤センター‡

1 研究の背景

これまで数多くの分散処理に関する研究が継続的に行われてきており、様々な問題を解決するなど大きな成果をあげている。そのため、近年では分散処理環境が一般化してきている。また、近年の情報通信技術の発達に伴い、多種多様な機器がネットワークに接続され情報を共有し協調して動作するようになり、共有する情報量は増加している。そのため、処理される情報量が増加し、計算機資源上の制約から処理速度が低下することが懸念される。機器制御のような実時間動作が求められる分野ではこれは致命的な問題である。

一方、機器制御で利用される情報には、同じ場所で動作する機器は同じ情報を利用する傾向があるという局所性がある。また、実際に物を作っている機械が利用する情報、生産計画を行うために利用する情報などのように、情報によってその抽象度も様々であり、それぞれの動作時間間隔は抽象度によって大きく異なる。そこで、共有情報を特定のコンピュータや機器によって頻繁に利用される関係が密な集合に分けることや、抽象度の違いに応じて階層にわけることなどが可能であり、これらを基にすれば効率よく情報の分割が行え、柔軟な分散制御システムを実現できるようになるのではないかと考えた。そのため、関係の密な情報を同一のデータベース上にまとめて表現できるようにする必要がある。

以上のことから、実時間分散制御システムに適した情報構造を設計することで、複数のサーバを用いた柔軟な分散制御システムを構築できることが期待される。

2 研究の目的

本研究の目的は、関係が密な情報の集合の扱いに適した情報構造を設計し、複数のサーバを用いた柔軟な分散制御システムを構築できるようにすることである。

3 Glue Logic について

Glue Logic とは、高田研究室で開発された実時間制御用インフラシステムである。Glue Logic は、エージェントと呼ばれる単純な機能を持った複数のアプリケーションプログラムと、エージェント同士が協調動作するために必要な共有情報を管理するサーバによって構成される。

*Study on Information Structure for Distributed Control System

†Naoki IWAMOTO, The University of Electro-Communications, Department of Information & Communication Engineering

‡Masayuki TAKATA, The University of Electro-Communications, Information Technology Center

事象駆動型のシステムであり、共有情報の値が変化したときエージェントに状態の変化を知らせる変更通知が送信される。この変更通知を受け取ることをきっかけとしてエージェントはその変化に応じた動作を行う。

4 研究の要件

研究において満たすべき要件を次のように定める。

- 共有情報間の整合性を維持できること
- 実時間性を保証できること
- システム構成の変更を容易に行えること

5 アプローチ

前節の要件を満たし、実時間分散制御システムを実現するため以下の通りに方針を定める。

整合性維持のため、処理が競合しないよう排他制御を行う。また、情報の複製を作ることを制限する。整合性を維持しつつ分散環境で複数のサーバにある情報を同時に更新する方法がいくつか提案されているが、厳密に整合性を維持しようとするほど通信回数が増えるなどオーバヘッドが大きくなる。動作しているエージェントの中には非常に短い時間間隔で動くものもあるため、これらの動作を妨げないようにする必要がある。また後述するように、各サーバに適切に共有情報を配置できれば複製を必要とせずに運用できるため複製を制限する。

次に、実時間性を維持するため、特定の処理や機能がボトルネックとならないように独立した処理は並列に実行できるようにする。これは、複数のサーバに連続してアクセスするなどの時間のかかる処理や、負荷の大きい処理が要求、実行され、他の処理が中断されたりこれらの処理の終了を待つために遅延することなどが考えられるためである。

最後に、物理的なシステム構成と情報の論理的な表現を分離して扱えるようにする。これによりどのサーバにある共有情報なのかを意識せずに利用できるようになる。物理的な構成の変化に関わらず、既存のエージェントをそのまま利用できるようになるため負荷の増大や減少に対応してサーバの追加や統合を行うなどのシステム構成の変更を容易に行うことができるようになる。

6 共有情報の扱い

共有情報は、図 1 のように階層構造をもった名前と、それに 1 対 1 で対応する値という形で管理する。名前として任意の個数の識別子を "." で繋いだものを利用でき、これによって階層構造を表現できる。この階層構造を利

用することで、ある名前とその名前にひとつ以上の識別子を付加したものをまとめて単位要素とするなどの方法で容易に情報の集合を扱うことができる。

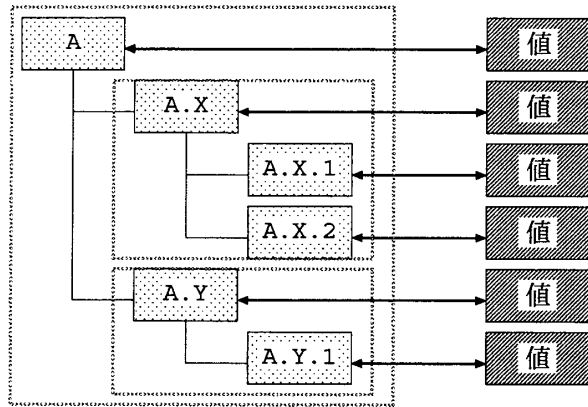


図 1: Glue Logic の名前空間

7 分散環境での名前空間

分散制御システム全体としてどのように共有情報を管理するかについて次の2つの方法が考えられる。

- 各サーバごとに独立した名前空間を用意し、それぞれを相互に接続する方法
- 全体でひとつの名前空間を扱い、各サーバにその一部を割り当てていく方法

前者の場合、それぞれのサーバの指定した名前同士を対応付けることで情報を共有する。そのため、サーバ同士をどのような関係で接続するかなどを比較的自由に設計できる。例えば、それぞれのサーバを多対多で接続し網構造をもったシステムをつくることも可能である。しかし、名前同士の対応関係が複雑で整合性維持が困難であり、サーバ同士の分割や統合も行いにくい。

後者の場合のサーバ構成は、名前空間と同様の階層構造をもった形となる。各サーバで管理される名前は名前空間全体で定められた制約や統一されたルールに従うことになるため設計の自由度は小さくなる。しかし、サーバの分割や統合などの物理構成の変更も複数の名前空間を用いる場合と比較して容易に行うことができ、整合性維持も容易に行える。以上のことから全体で扱う名前空間は一つであることが望ましい。

8 サーバ同士の接続

適切に分割が行えた場合、各サーバで管理する共有情報の中で、他のサーバから参照される情報は一部分だけである。そのため、他のサーバから参照される情報だけを他のサーバと共有すればいい。名前空間を図2のように分割し、名前空間同士の間で重複する部分をもたせ、その部分の情報のみを他のサーバと共有する。ただし、実際に情報を管理するのは上位階層の名前空間に対応するサーバだけとする。

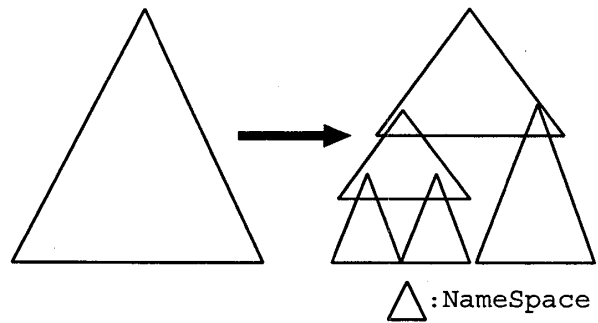


図 2: 名前空間の分割

9 分割・統合

共有情報を分割するときは次のような観点から行う。

- 機器制御の制御階層に沿って分割する
- 特定の機能や役割を果たすために必要な機能的な集合ごとに分割する
- 特定の場所で動作する機器の制御情報の様な空間的な観点から分けられる集合に分割する

空間的な観点から分割すれば、分割後の各集合では相互に参照する情報が少なくなるので、動作時間間隔が短い下位階層の情報は空間的な観点から分割を行うことが望ましい。その上で共通する機能部分を上位階層のサーバで管理し、下位階層のサーバに接続されたエージェントは、必要に応じて下位階層のサーバを経由して上位階層のサーバから情報を取得するようにすれば、サーバ間通信を伴う参照要求を減らすことができる。

10 実装及び評価

サーバ同士を接続するためのネットワーク通信などの処理に時間がかかる特定の機能がボトルネックとなり性能低下を引き起こす可能性がある。これを防ぐために、機能ごとにスレッドに分割してマルチスレッド化を行い、Javaを用いてシステムを実装した。サーバ・サーバ間の通信が行われる場合でも期待した動作を行い所定の要件を満たす性能を有しているのかを確認するために、動作実験及び動作速度測定を行った。

11 結論

分散制御に適した情報構造の及び共有情報の配置方針についての考察を行った。要件に沿って分散化・階層化された Glue Logic の実装を行った。動作速度の測定により分散化したシステムが十分な実時間性をもつことを確認した。

参考文献

- [1] 西野弘毅: "実時間分散制御システムの永続化に関する研究", 電気通信大学大学院情報通信工学専攻修士論文, 2006
- [2] Andrew S. Tanenbaum、Maarten van Steen: "分散システム—原理とパラダイム", ピアソンエデュケーション, 2003