

広域分散した動的な情報のための共有システムの構想

八木 哲[†] 高橋直久^{††}

NTT 未来ねっと研究所[†]

名古屋工業大学^{††}

本稿では、広域分散した地点で生成され頻繁に変化する情報を、リアルタイムに広域で共有するためのシステムの構想を述べる。例えば、ITS(Intelligent Transport Systems)のナビゲーションのための情報、ネットワーク管理のための情報、気象情報、環境情報、グローバルコンピューティングのための計算リソースの情報などが対象となる。この種の情報を何処でも同じように利用可能にすることで、利便性の高いエンドtoエンドのナビゲーション基盤を実現する。提案方式では、複数のResource Managerを分散配置して情報を分割管理するとともに、抽象化により値の変化を抑制した情報を索引として利用して分割管理している情報をリンクする。本稿では、システムの機能構成と各機能要素を示し、適用性について考察する。

A sharing system for distributed and dynamic information

Satoru Yagi[†] and Naohisa Takahashi^{††}

NTT Network Innovation Laboratories[†]

Nagoya Institute of Technology^{††}

This paper presents a sharing system which supplies distributed and dynamic information to wide area in real-time. For example, distributed and dynamic information is road traffic information, network traffic information, meteorology information, environmental information or load information of distributed computing resources. The sharing system handles and supplies information seamlessly for a navigation service at everywhere. For the purpose, The sharing system employ a group of autonomous element called Resource Manager. Each Resource Manager manages share of information and uses abstracted information as a index to link share of information each other. This paper describes a design of the sharing system and a study of applicable domain.

1 はじめに

本稿では、広域分散した地点で生成され頻繁に変化する情報を、リアルタイムに広域で共有するためのシステムの構想を述べる。この種の情報として、ITSのナビゲーションのための情報¹⁾²⁾³⁾⁴⁾、ネットワーク管理のための情報(SNMP,RMONのMIB)、気象情報⁵⁾⁶⁾、環境情報⁷⁾、グローバルコンピューティングのための計算リソース情報⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾などがある。例えば、ITSのナビゲーションのための情報であれば、GISを利用した歩行者向け情

報¹⁾²⁾、VICSによる地域別道路情報³⁾、WWWによる全国の高速道路情報⁴⁾など、個別のシステムに閉じて利用されている情報を何処でも同じように利用可能にすることで、より利便性の高いドアtoドアのナビゲーションを提供するアプリケーションが構築できる。このためには、a) 広域分散した多数の利用者、b) 広域分散した多数の情報源、c) 頻繁な情報の変化という特徴に対応した、情報の管理、提供システムが求められる。

広域分散した情報を管理、提供するために、ディレクトリサービス¹¹⁾¹²⁾を直接用いたり、索

引として用いる方法¹³⁾がある。ディレクトリサービスでは、木構造を与えた情報の部分木を単位として、複数のディレクトリサーバによる情報の分割管理と複製の保有が可能である。b)c)の特徴のために、情報源ごとに情報を分割管理すれば、a)の特徴のためにアクセス負荷が問題となる。a)の特徴のために、複製を用いてアクセス負荷を分散すれば、b)c)の特徴のために複製の更新負荷が問題となる。複製の代わりにキャッシュを用いると⁸⁾⁹⁾、キャッシュの有効期限と相反して情報の信頼性が問題になる。

このような課題に対して、以下の自然な段階的詳細化の過程に従ったアクセスパターンを前提条件に、ResourceManager と呼ぶ情報共有システムを地域別に分散配置し、個々の地域で生成された情報を管理、提供する方式¹⁴⁾を提案する。

- 全情報を概観(第一段階)した後、必要に応じて特定の情報の詳細に焦点を絞る(第二段階)。
- 全情報にアクセスする多数の第一段階の利用者と、多数のグループに分かれて個別の情報にアクセスする第二段階の利用者。

本稿では、まず、ResourceManager の機能構成を示し(2章)、各機能要素の内容を述べる(3章)。次に、幾つかの適用領域を想定し、基本的な適用性について考察する(4章)。最後に、本稿の内容をまとめ、今後の課題を示す(5章)。

2 機能構成

前提条件に従えば、各 ResourceManager が第一段階のために保有すべき情報は、情報の概略であり、抽象化した情報といえる。抽象化した情報は値の変動が減少するため、複製を用いても同期負荷を抑制できる。第二段階のために保有すべき情報は、抽象化する前の素な情報である。素な情報に対するアクセスは多数のグループに分かれて行われるために、個々の素な情報に対するアクセス負荷は比較的小さい。そこで、素な情報を素な情報が生成された地域を担当する ResourceManager で管理し、抽象化した情報を ResourceManager の間で全て複製することにする。抽象化した

情報を用いて第一段階のアクセスを局所化し、更にこれを索引として用いて第二段階のアクセスを分散させる。このために、素な情報と抽象化した情報を扱うデータベースと、抽象化ルールに従って素な情報を抽象化する抽象化機能を採用する。

抽象化した情報の抽象化度は、高過ぎると素な情報へのアクセスが増加し、第一段階の利用者のアクセスを局所化する効果がでない。低過ぎると値の変動が吸収されず、抽象化した情報の複製の同期負荷を抑制する効果がでない。より広い条件下で適切な抽象度を得るには、アクセス頻度に応じて抽象化度を調整する機能が必要になる。このために、素な情報へのアクセスが多い時は抽象化度が下がり、少ない時は抽象化度が上がるように、抽象化ルールを変更する学習機能を採用する。

ResourceManager の間で抽象化した情報を交換する方法について、正確な情報が必要な場合には、各 ResourceManager が保有する素な情報が参照されるため、コストの高い厳密なトランザクション処理の必要性は低い。その一方で、できるだけ新しい抽象化した情報の提供が望まれる。このため、抽象化した情報の伝搬速度を重視した、ベストエフォート型の情報交換プロトコルを使用する、情報交換機能を採用する。

最後に、複数の ResourceManager が分割管理する素な情報と抽象化した情報に対する、統一的な問い合わせ窓口をクライアントに提供するために、問い合わせ機能を採用する。これらの機能を持つ ResourceManager の機能構成の概要を図1に示す。次節以降では、図1に示した問い合わせ機能、データベース、抽象化機能、抽象化度の学習機能、情報交換機能の内容を示す。

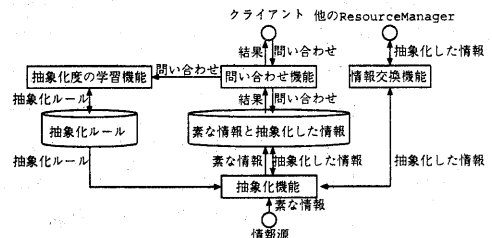


図1: ResourceManager の機能構成

3 機能要素

3.1 問い合わせ機能

問い合わせ機能は、クライアントからの問い合わせの対象が、自身で保有する情報か他の ResourceManager が保有する情報かを判別する。対象が自身で保有する情報であった場合は、問い合わせを実行し結果を返す。また、問い合わせの内容を抽象化度の学習機構に渡す。他の ResourceManager が保有する情報であった場合は、その ResourceManager のアドレスを返す。

3.2 データベース

素な情報あるいは抽象化した情報を構成する情報の要素 i を、地理分散という特徴に対応する生成された地点を表すパラメタ gid 、頻繁に変化するという特徴に対応する生成された時点を表すパラメタ sid 、情報の抽象化という特徴に対応する抽象化度を表すパラメタ aid 、情報の種別を表すパラメタ oid 、値を表すパラメタ v の組を用いて、以下のように表す。

- $i = (gid, sid, aid, oid, v)$
 - gid : 識別名 (Distinguished Name)¹¹⁾ により表す。
 - sid : 非負の整数により表す。単調増加するシーケンス番号である。絶対時間が必要な場合は、同一の gid, sid, aid を持つ i により表す。
 - aid : 非負の整数により表す。0 は素な情報を示し、値が大きいほど抽象化度が高いことを示す。
 - oid : gid に対する相対識別名 (Relative Distinguished Name)¹¹⁾ により表す。
 - v : 数値、文字列、画像データなど。

i に基づいた素な情報と抽象化した情報のデータモデルを図 2 に示す。本データモデルは、同一の gid と aid を持つ i の集合をノードとするグラフである。更にノードは、同一の sid を持つ i の部分集合から構成される。基本的に各 ResourceManager は同じ構造のグラフを持っており、ノードを単位に複製を行うか、参照用のリンクを張る。

独自に用いる情報を透過的に扱うために、独自のノードを持つ場合も考えられる。

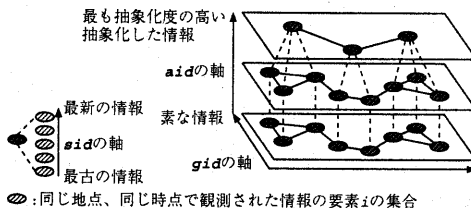


図 2: 情報要素のデータモデル

データモデルに従ったグラフ g を、 g の構成要素である、情報の要素 $i = (gid, sid, aid, oid, v)$ の集合 I 、ノード $n = (gid, aid)$ の集合 N 、リンク $l = (n_1, n_2)$ の集合 L を用いて、次のように表す。 n_1, n_2 はリンクの両端のノードである。

- $g = (I, N, L)$

g の構成要素である、情報の要素 i 、ノード n 、リンク l に対する基本的なクエリとして、次のようなクエリが考えられる。

- 情報の要素 i に対するクエリ
 - 追加 (g, i) : 情報の要素 i を追加する。
 - 削除 (g, i) : 情報の要素 i を削除する。
 - 更新 (g, i, i') : 情報の要素 i を i' に置き換える。
 - 検索 (g, gid の条件, sid の条件, oid の条件, aid の条件, v の条件) : 条件に合う情報の要素 i の集合を求める。
- ノード n に対するクエリ
 - 追加 (g, n) : ノード n を追加する。
 - 削除 (g, n) : ノード n を削除する。
 - 検索 (g, gid の条件, aid の条件) : 条件に合うノードの集合を求める。
- リンク l に対するクエリ
 - 追加 (g, l) : リンク l を追加する。
 - 削除 (g, l) : リンク l を削除する。
 - 検索 (g, n_1 の条件, n_2 の条件) : 条件に合うリンクの集合を求める。

検索クエリは、特定の条件を満たす情報の要素 i を含む、 g の部分グラフを抽出するための操作である。条件の記述は、大小関係、パターンマッチ、包含関係、存在を表す述語などを用いる。

3.3 抽象化機能

抽象化とは、図2に当てはめれば、あるノードからより抽象化度の高いノードを作る操作である。一つのノードから一つのノードを作る場合と、複数のノードから一つのノードを作る場合がある。即ち、情報の要素 $i = (gid, sid, aid, oid, v)$ の集合から、相対的に変化の少ない、情報の要素 $i' = (gid', sid', aid', oid', v')$ の集合を求める操作であり、次の方法が考えられる。

- 要素削減型：特徴的な i を選択し、 i' を作る。
- 精度削減型： i の v に対して、1) 有効桁数を減少させる、2) クラスに分類することにより v' を求め、 i' を作る。
- 要素集約型：ある条件を満たす i の集合の v に対して、その統計値を v' として i' を作る。また、統計関数の代わりに恣意的な関数を用いることも考えられる。

3.4 抽象化度の学習機能

抽象化度の学習機構は、情報の要素に対するアクセス頻度に応じて、抽象化ルールを変更する。二つの方法がある。一つは、ノードを単位として複製の使用と参照用のリンクの使用を切り替える。ノードへのアクセス頻度が多ければ複製を使用し、少なければ参照用のリンクを使用する。もう一つは、抽象化操作の内容を以下のように変更する。情報の要素 i へのアクセス頻度が多ければ i' の情報量が増加するように変更し、少なければ減少するように変更する。

- 要素削減型：情報の要素 i を、情報の要素 i' とするか否かを切替える。
- 精度削減型：予め決められた幅を単位に、1) 有効桁数を増減させる。2) クラスの数を増減させる。
- 要素集約型：1) 予め決められた幅を単位に統計値を求める期間を伸長、短縮する。2) 恣意的な関数を切り替える。

頻繁に抽象化度を変更することは好ましくないため、アクセス頻度の変化を一時的期間観測した後、抽象化ルールの変更を判断する必要がある。

3.5 情報交換機能

ResourceManager の間で抽象化した情報を交換する方法について、情報源から抽象化した情報を伝搬させる方法は、伝搬の信頼性と即時性の観点からは同報通信により伝搬させる方法がよい。負荷の観点からはツリー状に伝搬させる方法がよい。このため、ResourceManager のグループをノードとするグラフ構造を作り(図3)、グラフの極大木に沿って情報を伝搬させる。

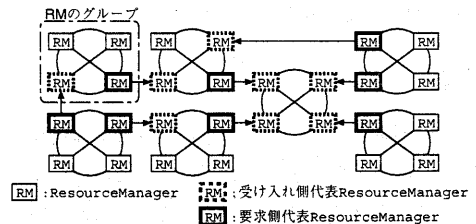


図3: 抽象化された情報の伝搬経路の例

グループ内では同報通信により情報を伝搬させ、グループの間では代表となる RM の間で情報を伝搬させる。グループ内の情報交換プロトコルは、次のようである。

- RM 接続：
 1. 新規に接続する RM には、既存の RM のアドレスを一つ登録する。
 2. 新規の RM は、登録された RM からグループ内の他の RM のリストを取得する。
 3. 新規の RM は、リストにある他の RM と抽象化した情報を交換する。
 4. 他の RM は、リストを更新する。
 5. 「RM 定常状態」に移す。
- RM 定常状態：
 1. 各 RM は、抽象化した情報に変化があった場合は、リストにある RM に抽象化した情報を配布する。
 2. 各 RM は、RM のリストを定期的リストにある RM に配布する。
 3. 各 RM は、リストに未知の RM がある場合には、リストを更新し抽象化した情報を交換する。
- RM 切断：
 1. 抽象化した情報や RM のリストの配布に特定回数応じない RM は、リストから削除する。

2. リストにある RM に、RM の削除メッセージを出す。受け取った RM は、指定された RM をリストから削除する。
3. 「RM 定常状態」に遷移する。

グループの間の情報交換プロトコルは、次のようである。

● グループ接続：

1. ある RM が属するグループを要求側グループ、ある RM が属するグループを受け入れ側グループと呼ぶことにする。
2. 受け入れ側グループに属するある RM のアドレスを、要求側グループに属するある RM に与える。
3. 要求側グループの RM は、与えられた RM から受け入れ側グループの RM のリストを取得し、リストを要求側グループ内に配布する。
4. 各 RM は、リストにある RM の最小の IP アドレスを、受け入れ側グループの ID とする。
5. 受け入れ側グループが複数ある場合は、まず、最小グループ ID を持つ受け入れ側グループに対して、要求側グループ内で最小の IP アドレスを持つ RM を、要求側代表 RM として割り当てる。同様にして全ての受け入れ側グループに、要求側代表 RM を割り当てる。
6. 要求側代表 RM は、割り当てられた受け入れ側グループの中からランダムに RM を選択し、これを受け入れ側代表 RM とする。
7. 「グループ定常状態」に遷移する。

● グループ定常状態：

1. グループ内で抽象化した情報の交換が行われた場合は、要求側代表 RM と受け入れ側代表 RM の間で抽象化した情報の交換する。
2. 同時に、要求側代表グループの RM は、受け入れ側グループの RM のリストを更新する。

● グループ再接続 (要求側代表 RM の変更)：

1. グループに新たに RM が接続した場合、あるいは RM が切断された場合は、各 RM は「グループ接続」の4の段階に遷移する。

● グループ再接続 (受け入れ側代表 RM の変更)：

1. 受け入れ側代表 RM が一定回数抽象化した情報の交換に応じない場合は、要求側代表 RM は受け入れ側グループのリストを更新し、要求側

グループ内に配布する。各 RM は「グループ接続」の4の段階に遷移する。

閉路のあるグラフの極大木に沿って情報を伝搬させる方法として、ある情報の要素 i が伝播してきた場合に、既知の i と異なる sid を持つ場合にのみ、さらに i を伝搬させるという方法を用いる。スパニングツリーを求めるプロトコルを動作させる方法と比較して、1) 実際に伝搬速度が早い経路が選択される、2) 伝搬経路の変更に強いという利点がある。また、情報源のポリシーにより伝搬させる情報を差別化する必要がある場合には、伝搬させる情報にクラスを設け、各クラス別にツリー構造を設定し伝搬させる方法がある。

4 適用性

4.1 概要

本システムは、広域分散した動的な情報を扱うアプリケーションのためのデータベースといえる。4つの適用領域を想定し、各適用領域で扱う情報向けの、図2のデータモデルに基づいたスキーマを概観することで、基本的な適用性を考察する。

4.2 ナビゲーションのための情報

GISを利用した歩行者向け ITS の情報、VICS による地域別の道路情報、WWW による全国の高速道路情報などをシームレスに提供する、ドア to ドアのナビゲーションシステムのための情報を提供する。移動経路の概略情報と、現在地点、中間地点、目的地の詳細情報を提供する (図4)。

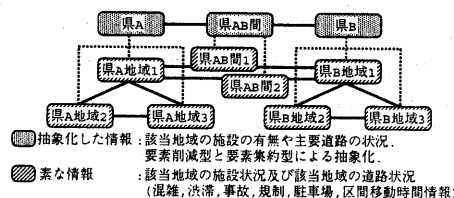


図4: ナビゲーションのための情報向けのスキーマの例

4.3 ネットワーク管理のための情報

設備設計やトラブル対策のための状況把握や、広域分散した負荷分散装置のための情報を提供す

る。地域単位のネットワークの概略情報と、着目するセグメントの詳細情報を提供する(図5)。

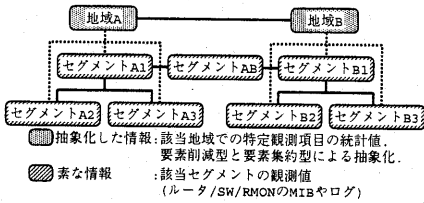


図5: ネットワーク管理のための情報向けのスキーマの例

4.4 気象情報

一般的な天気概況や予報と、特定用途向けの詳細状況や予報を提供する(図6)。気象情報の特徴は、人工衛星や気象レーダのように大域的な情報が得られるセンサと、アメダスのように局所的な情報が得られるセンサの併用であり、抽象化した情報と素な情報が類似のトポロジを取る。

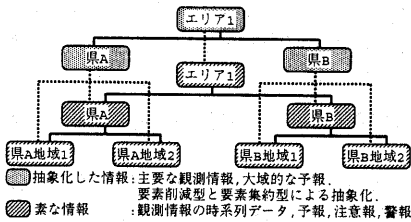


図6: 気象情報向けのスキーマの例

4.5 グローバルコンピューティングのための計算機リソース情報

ネットワーク接続された計算機によるクラスシステムや、分散配置されたサーバの管理システムのための情報を提供する。各地域にある計算ノードの負荷状況の概略と、選択した計算ノードの詳細な負荷情報を提供する(図7)。

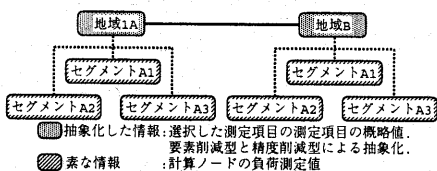


図7: 計算機リソース情報向けのスキーマの例

5 おわりに

本稿では、地理分散した地点で生成され、頻繁に変化する情報を、広域にリアルタイムで提供し、共有するためのシステムについて示した。今後の課題として、実験用システムの設計と実装を進め、各機能要素を具体化する。また、アプリケーションへの適用実験を行い、適用性を評価する。

参考文献

- 1) 国土交通省土木研究所 歩行者 ITS: http://www.pwri.go.jp/pwriweb/japanes/topics/kotuanzen/construction_laboratory/its_index.html
- 2) 寺田, 塚本, 西尾: アクティブデータベースを用いた地理情報システム, 情処学会論文誌, Vol41, No.11 (2000)
- 3) (財) 道路交通情報通信システムセンタ: VICSの挑戦, (財) 道路交通情報通信センタ (1996)
- 4) 日本道路公団 (JH): <http://www.japan-highway.go.jp>
- 5) 気象庁: <http://www.kishou.go.jp>
- 6) (財) 気象業務支援センタ: <http://www.jmbsec.or.jp>
- 7) 国立環境研究所データベース: <http://www.nies.go.jp/db/index.html>
- 8) Fitzgerald, S., Foster, I., Kesselman, C., Laszewski, G. V., Smith, W., Tuecke, S.: *A Directory Service for Configuring High-Performance Distributed Computings*, Proc. 6th IEEE symp. on High-Performance Distributed Computing, PP.365-375 (1997)
- 9) Wolski, R., Swamy, M., Fitzgerald, S.: *White Paper: Developing a Dynamic Performance Information Infrastructure for Grid System*, <http://www.didc.lbl.gov/GridPerf/> (2000)
- 10) 八木, 高橋: オープンな協調型データベースのためのアーキテクチャ, 情処学会論文誌: データベース, Vol42, No.SIG7(TOD10) (2001)
- 11) 大山, 千田, 戸部, 窪田, 田中, 空: X.500 ディレクトリ入門, 東京電気大学出版局 (1997).
- 12) Wahl, M., Kille, S.: *Light Weight Directory Access Protocol(v3)*, RFC2251 (1997).
- 13) 服部, 呉, 安田, 横井: ディレクトリサービスを利用した都市情報の分散型データベース構築に関する検討, 情処学会論文誌, Vol.41 No.12, pp3307-pp3313 (2000)
- 14) 八木, 高橋: メタ・コンピューティングのためのリソース管理フレームワーク, 第61回情処学会全国大会, 第3分冊, pp519-pp520 (2000)