

■7群 (コンピュータ ソフトウェア) - 5編 (データベース)

25章 モバイル, P2P, センサ DB

(執筆者: 原 隆浩) [2015年7月 受領]

■ 概要 ■

1990年代以降のICT技術の急速な発展に伴い、高速ネットワーク、モバイル(無線通信)ネットワーク、P2Pネットワーク、放送通信、センサネットワークなどのネットワーク環境の高度化及び多様化が進んでいる。このような多様なネットワーク環境は、データベース技術に大きな変革をもたらしている。これは、ユーザもしくはアプリケーションからのデータアクセスの性能要求(例えば、アクセス応答時間やデータの可用性)を十分に満たすためには、各々のネットワーク環境の特性や制約を考慮する必要があるためである。本章では、特にモバイル、P2P、センサの3つのネットワーク環境に注目して、各々におけるデータベース技術の研究開発の歴史や技術動向を概説する。

【本章の構成】

本章では、モバイルネットワーク環境におけるデータベース技術(25-1節)、P2Pネットワーク環境におけるデータベース技術(25-2節)、センサネットワーク環境におけるデータベース技術(25-3節)について概説する。

■7群-5編-25章

25-1 モバイル DB

(執筆著：原 隆浩) [2015年7月 受領]

モバイルネットワーク環境におけるデータベース（モバイル DB）に関する研究開発は、1990年代初頭から開始された。モバイル DB の典型的なシステム構成を図 1・1 に示す。インターネットなどの固定ネットワーク上に、1 台以上のデータベースサーバが存在し、データベースを管理している。更に、1 台以上の基地局が存在し、モバイル端末とデータベースサーバ間、及び、モバイル端末間の通信を中継する。モバイル端末は 1 台以上存在し、基地局を介してデータベースサーバが所持するデータベースにアクセスする。モバイル端末は、1 台以上の基地局の無線通信範囲（セル）内に位置する場合、ネットワークに接続可能となる。

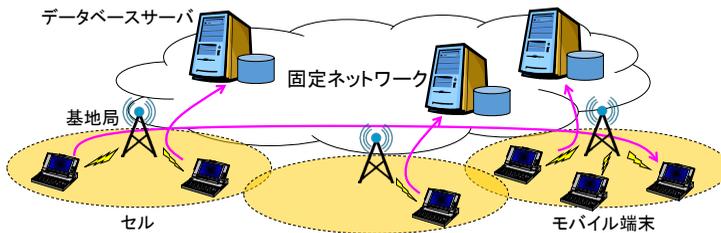


図 1・1 モバイル DB のシステム構成

モバイルユーザがデータベースを利用する状況は、以下の例を含め様々なものが考えられる。

1. ビジネスマンが外出先から、社内のデータベースで管理している自身のスケジュール情報や、顧客情報・在庫情報などの業務情報を参照、更新する。
2. 一般のユーザが、外出先で周辺の観光地やショップ、レストランなどの情報を検索したり、イベント情報、クーポンなどを受信したりするような位置情報サービスを利用する。

このような応用例において、セルの地理的な制限やバッテリー節約のために、ユーザは常にネットワークに接続しているとは限らない。そこで、ネットワーク接続の有無に関わらず、所望のデータにいつでもアクセスできることが好ましい。このような要求を満たすアプローチとして、データベースサーバが持つデータを、モバイル端末に複製（コピー）することが考えられる。しかし、データの複製は、以下に示す新たな技術課題を生じてしまう。

課題 1： データベースサーバでのデータ更新に伴う古いコピーへのアクセス

リードトランザクションのみを実行するアプリケーションでは、オリジナルのデータがサーバで更新されてしまうと、所持しているコピーは古いバージョンになってしまうため、一貫性などの観点から問題となる。したがって、サーバで発生した更新情報を効率的に入手し、古いコピーを即座に削除する仕組みが必要となる。

課題 2： 複数のコピーが存在する状況でのトランザクションスループットの低下

複数のモバイルユーザが同じデータの複製を作成し、更にリードとライトの両方を実行するようなアプリケーションでは、従来のデータベースでよく用いられる施錠（ロック）ベースの Read-one Write-all（リードはどれか一つのコピーに、ライトはすべてのコピーに

同時に実行) 方式はうまく機能せず、トランザクションスループットが著しく低下してしまう。これは、あるデータを更新したいときに、その時点で対象データのコピーを持つすべてのモバイル端末がネットワークに接続している可能性は非常に低いからである。そのため、モバイル DB 向けの新たなトランザクション処理技術が必要となる。

課題 3 : アプリケーション開発の煩雑化

上記のような課題を考慮したアプリケーション開発は非常に煩雑になるため、モバイル DB 向けの開発環境やデータベース管理システム (DBMS) が必要となる。

これらの課題を解決するために、これまでに様々な研究開発が行われてきた。例えば、課題 1 に対しては、無効化レポートと呼ぶ、古いコピーを無効化するためのメッセージを、データベースサーバから周期的に送信するアプローチが多数提案されている¹⁾。

課題 2 に対しては、ネットワーク接続時にオリジナルデータとの間のみで正式な更新トランザクションを実行し、コミット後、そのコピーを持つ他のモバイル端末へ非同期に更新を伝播する二層複製アルゴリズムが有名である²⁾。更に、モバイルユーザが持つコピーにアクセスするトランザクションにおいて、一貫性を緩めるようなアプローチも多数提案されている。

課題 3 に対しては、1990 年代初頭から様々な開発環境が研究レベルで提案されている³⁾。商用では、1990 年代終盤から、各データベースベンダーが従来の製品に対する拡張機能やプラグインなどとして、モバイル向け DBMS を公表している。

■参考文献

- 1) D. Barbara and T. Imielinski : “Sleepers and workaholics: caching strategies in mobile environments,” Proc. SIGMOD’94, pp.1-12, 1994.
- 2) J. Gray, P. Helland, P. O’Neil, and D. Shasha : “The dangers of replication and a solution,” Proc. SIGMOD’96, pp.173-182, 1996.
- 3) J.J. Kistler and M. Satyanarayanan : “Disconnected operation in the Coda File System,” ACM Trans. Comp. Sys., vol.10, no.1, pp.3-25, 1992.

■7群-5編-25章

25-2 P2P

(執筆著者：原 隆浩) [2015年7月 受領]

P2P ネットワークは、システム内のノード（ピアと呼ぶ）がサービスを提供しあうモデルであり、2000年代初頭から盛んに技術開発が進められている。P2P ネットワークは、提供するサービスがデータである場合、一種の分散データベースシステムとして捉えることが可能である。

P2P ネットワークには多くの異なる形態が存在し、一般に、各ピアとそれが持つサービスを対応付ける情報などを一元的に管理するサーバが存在するハイブリッド P2P と、そのようなサーバが存在しないピア P2P に分類される。後者は更に、ピア同士の接続関係やサービス要求のルーティング方法が何らかの厳密な規則に基づいている構造型 P2P（例：Chord, CAN）と、そのような規則が存在しない非構造型 P2P（例：Gnutella, Freenet）に分類される。

非構造型 P2P におけるデータ検索では、一般に、所望のデータ（及びそのコピー）を所有するピアを効率的に見出す方法がないため、フラッドイングと呼ばれる TTL（要求メッセージを転送するホップ数）制限付のブロードキャストが用いられる（図 2・1）。データ管理技術としては、オリジナルのデータが更新された際に、コピーを所持するピアに効率的に更新を伝播するために、個別のオーバレイネットワークを構築する手法などが提案されている。

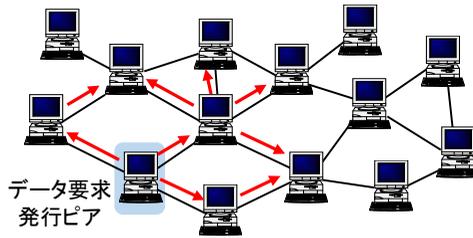


図 2・1 非構造型 P2P でのデータ要求

構造型 P2P では、ハッシュテーブルを複数のピアで分散管理する分散ハッシュテーブル（Distributed Hash Table）を用いるアプローチが一般的である。ピアのアドレス及びデータがハッシュ関数により論理空間上の一点に射影され、一般に各データは射影される点が等しいピアに所持される。Chord¹⁾では、円状の論理空間を採用しており、フィンガーテーブルと呼ばれるルーティングテーブルを用いて、2分探索に基づくデータ検索を実現している（図 2・2）。

最近では、上記の分散データ管理方法を発展させた、様々なフレームワークが開発されている。例えば、各

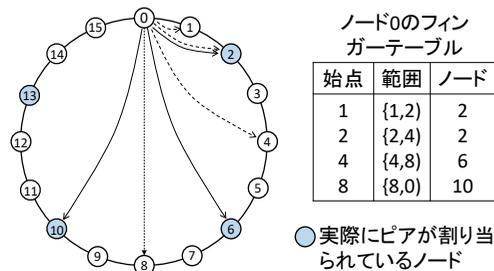


図 2・2 構造型 P2P (Chord)

データを小さなピースに分割して並列ダウンロードを可能とする BitTorrent や、ビッグデータ解析向けの NOSQL データベースである Cassandra などがある。

■参考文献

- 1) I. Stoica, R. Morris, D. Karger, M.F. Kaashoek, and H. Balakrishnan : “Chord: A scalable peer-to-peer lookup service for internet applications,” Proc. SIGCOMM’01, pp.149-160, 2001.

■7 群-5 編-25 章

25-3 センサ DB

(執筆者：原 隆浩) [2015年7月 受領]

センサネットワークは、2000年代初頭から盛んに研究開発されており、センシング機能と無線通信機能を持つ小型のセンサノードを大量に配置し、無線マルチホップのネットワークを構成してセンサデータを収集することを想定している。センサネットワークには、(1)計算能力やバッテリー、無線通信帯域など資源的な制限の強いセンサノードで大規模な無線マルチホップネットワークを構成する、(2)大規模数のセンサノードから大量にセンサデータが生成される、という特徴がある。前者については、データ収集のための様々なルーティング技術やデータ集約技術が提案されている。後者については、生成されたデータに対する様々な処理技術が研究されている。具体的には、ストリームデータ処理技術や、ノイズやエラーを含む不確かなセンサデータに対する問い合わせ処理技術、異種センサノード・ネットワークから生成されるデータを統合利用するための技術などが提案されている。全体的なイメージを図 3・1 に示す。

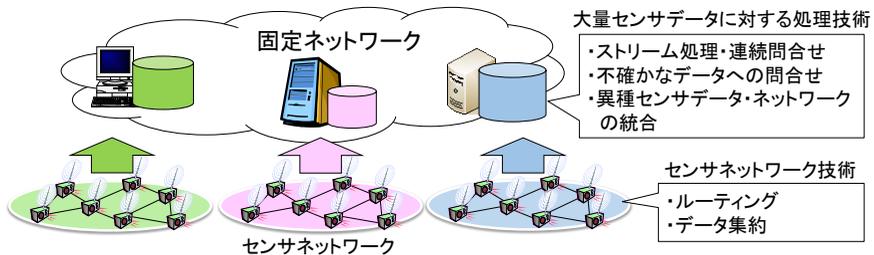


図 3・1 センサネットワークの技術課題

センサネットワークのルーティング技術としては、センサノードをクラスタリングし、クラスタごとにデータをまとめて送信することでデータ量を削減する手法が多数提案されている。

センサネットワークの代表的なデータ集約技術である TinyDB¹⁾ では、木構造ネットワークを構築し、葉ノードから根ノードに向けてデータを収集する。中継ノードでデータを集約でき、更に送受信時以外は各ノードがスリープ状態に入れるため、消費電力を削減できる。TinyDB 以降、センサデータの空間的・時間的な局所性を考慮したデータ集約手法が多数提案されている。

センサデータに対するストリーム処理では、プラントの異常検出やネットワークの障害検出など、システムを継続的に監視する要求が多い。そのため、条件を満たすデータを継続的に監視する「連続問合せ」の処理技術が多数提案されている。これらの技術では、複数の問い合わせの共通部分を考慮して中間結果の共有や具現化を行うことで、処理の効率化を図っている。

不確かなデータに対する問い合わせ処理としては、データの不確実性を確率的に定義し、複雑なデータ操作を含む問い合わせに対して、確率的な結果を求める技術が多数提案されている。

異種センサデータ・ネットワークの統合的利用のためのプラットフォームも幾つか提案されており、代表的なものに GSN²⁾ がある。これらでは、様々なセンサデバイスを用いて、異なるポリシー、頻度、粒度で収集されるデータを統合利用するために、デバイスのハードウェアを意識しないセンサデータの記述方法（センサの仮想化など）や、アプリケーション開発のため

の機能群, ストリーム処理機能などを提供している。また, 最近では, センサが生成するビッグデータを処理するためのプラットフォームについて盛んに研究開発が進められている。

■参考文献

- 1) S.R. Madden, M.J. Franklin, J.M. Hellerstein, and W. Hong : “TinyDB: an acquisitional query processing system for sensor networks,” ACM Trans. Database Sys., vol.30, no.1, pp.122-173, 2005.
- 2) K. Aberer, M. Hauswirth, and A. Salehi : “A middleware for fast and flexible sensor network deployment,” Proc. VLDB'06, pp.1199-1202, 2006.