高性能並列情報検索技術

郡　光則*
中村隆顕*
山岸義徳*

High Performance Parallel Information Retrieval Technology

Mitsunori Kori, Takaaki Nakamura, Yoshinori Yamagishi

要　旨

近年のデータ量の爆発的増大を背景に，三菱電機では時系列的に追加されるデータに適した高速データ処理技術“高性能並列情報検索技術”の研究開発を行ってきた。

RDBMS(Relational DataBase Management System)に代表される従来のデータベースは，近年増加しつつある文書，画像などの非構造化データ，多様な形式を持つログ，計測データなどの管理に必ずしも適していない。高性能並列情報検索技術は次の基本技術によって，多様なデータを対象とする追記型データベースの高速処理を実現した。

(1)　プロセッサやディスク装置の利用効率を高め，切れ目なくデータを流すデータ駆動型の並列処理技術

(2)　効率的データ配置と高速・高圧縮率のデータ圧縮によるストレージアクセス技術

(3)　複雑な検索条件を高速処理する文字列照合方式と，学習型フィルタによるテキストフィルタリング技術

(4)　様々な種類のデータを一元的に取り扱い，データの間の関係を管理する異種データ統合管理技術

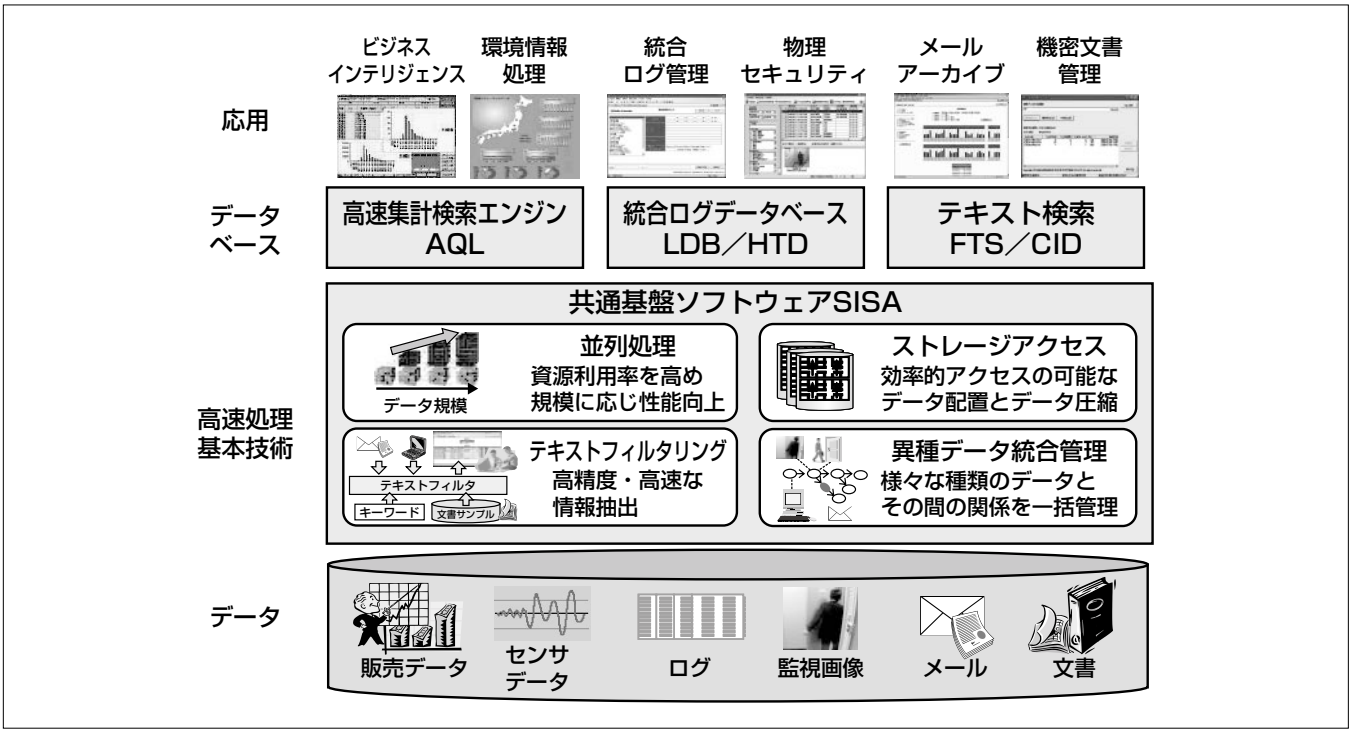
高性能並列情報検索技術は，様々なデータに対して利用可能な共通基盤ソフトウェアSISA(Scalable Intelligent Storage Architecture)として実装されており，目的別に次のデータベース機能を提供している。

(1)　高速集計検索エンジンAQL(Analytical Query Language)

(2)　統合ログデータベースLDB／HTD(Log DataBase／Highly Traceable log Database)

(3)　テキスト検索エンジンFTS／CID(SISA Full Text Search／Combined Information Detector)

高性能並列情報検索技術は，ビジネスインテリジェンス，環境情報システム，セキュリティ／内部統制向け統合ログ管理，物理セキュリティ，メールアーカイブ，機密情報管理などの分野で利用されている。



高性能情報検索技術とその応用分野

高性能並列情報検索技術は，並列処理，ストレージアクセス，テキストフィルタリング，異種データ統合管理の各基本技術を基盤に，様々なデータに対して利用可能な共通基盤ソフトウェアとして実装されている。高速検索集計エンジンAQLは，ビジネスインテリジェンスにおける販売データの分析や，環境情報処理におけるエネルギー使用量の集計に利用されている。統合ログデータベースLDB／HTDは，セキュリティ管理や内部統制における証跡の保存と検索に活用されている。テキスト検索エンジンFTS／CIDは，メールや文書の検索や個人情報・機密情報の検出に利用されている。

*情報技術総合研究所

1. まえがき

近年のデータ量の爆発的増大を背景に，当社では時系列的に追加されるデータに適した高速データ処理技術“高性能並列情報検索技術”の研究開発を行ってきた[1]。

高性能並列情報検索技術は，近年増加しつつあるログ(証跡データ)保存やセンサデータ処理などの要求にこたえるため，追記型の実装がなされている。また，いわゆる非構造化データを含む，様々なデータに対応可能な共通ソフトウェア基盤として実装されている。

本稿では，時系列的に発生するデータ処理の課題と高性能並列情報検索技術による解決策について述べる。

2. 従来のデータベースの課題

RDBMSに代表される従来のデータベースは，OLTP(On-Line Transaction Processing)を中心とする，次のような特徴を持つデータの管理を主目的に設計されてきた。

(1) 構造が明確に定義されている
(2) レコード単位の局所的な参照，更新，削除が中心
(3) 比較的短いレコード長(数十～数千バイト程度)

しかし，非構造化データ，ログ，センサデータなどは，次のようにRDBMSの想定するデータとは異なる性質を持つ。

(1) 構造が定義されていない，又は多様な構造が存在
(2) 大量データの一括処理が多く，データは追加が中心
(3) 可変長でしばしば長大データを含む

このため，RDBMSで用いられてきたメモリ上へのキャッシュや索引等の高速化方式は，このようなデータの管理に必ずしも適していない。

3. 高性能並列情報検索技術

当社では，**2章**で述べた問題を解決するために，高性能並列情報検索技術の研究開発に取り組んできた。

高性能並列情報検索技術は，時間とともにデータが追加される追記型データベースに適した高速処理技術であり，データの大量一括処理に重点を置いて設計されている。

また，様々な種類のデータや応用に対して共通利用可能な共通基盤ソフトウェアSISAとして実装されている。SISAは次の目的別データベースから利用できる。

(1) 高速集計検索エンジンAQL[2]
(2) 統合ログデータベースLDB／HTD[3]
(3) テキスト検索エンジンFTS／CID[4]

(1)は，ビジネスインテリジェンスや環境情報処理における集計などに利用されている。(2)はログや監視画像の保存に利用されている。(3)はメールや文書の検索，個人情報・機密情報検出に利用されている。

4. 高速処理を支える基本技術

高性能並列情報検索技術は，並列処理，ストレージアクセス，テキストフィルタリング，異種データ統合管理の各基本技術によって，高速処理を実現している。

4.1 並列処理技術

近年，プロセッサ性能向上の手段は動作周波数の向上からプロセッサ(コア)数の増加を利用した並列処理に移行しつつある。このため，データ量増大に追随する性能向上を図るためには，並列処理の利用が不可欠となっている。

高性能並列情報検索技術では，マルチコアを含むSMP(Symmetric Multi-Processor)による並列処理を積極的に利用し，プロセッサ数に応じた性能を実現する。

また大規模な構成では，インテリジェントストレージノード(ISN)と呼ぶサーバの並列処理による高速化が可能である(**図1**)[5]。ISNはストレージからデータを読み出しながら並列検索を行い，結果をホストノードと呼ぶサーバに転送する。ISNは，アプリケーションソフトウェアに影響を与えずに，最大256台まで拡張できる。

これら多数のプロセッサやストレージは，データ駆動型並列処理方式によって制御される。データ駆動型並列処理では，ストレージ読み出しや検索処理を制御する並列処理スケジューラがハードウェア構成から処理グラフ(**図2**)を生成し，処理グラフの各ノードに対応するスレッドが自律的に同期制御を行う。

あるノードの処理が完了するとその状態が隣接する次のノードに伝達され，次のノードの処理が起動される。各ノードに対応するスレッドは独立に動作可能なため，並列度の高いスケジューリングが可能になる。この制御方式によ

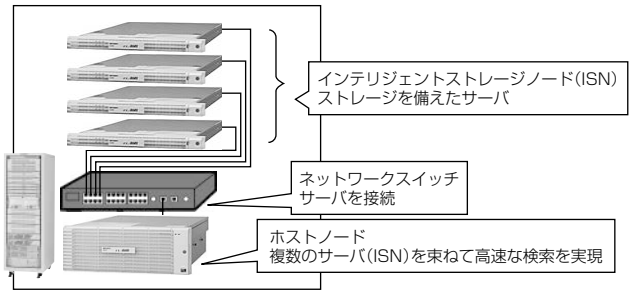


図1．インテリジェントストレージノード

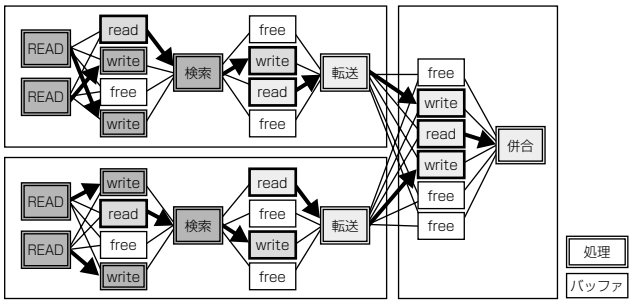


図2．データ駆動型並列処理における処理グラフ

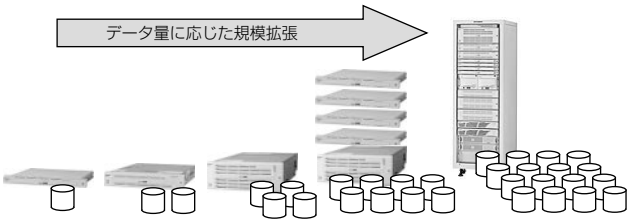


図3．データ量に応じた規模拡張

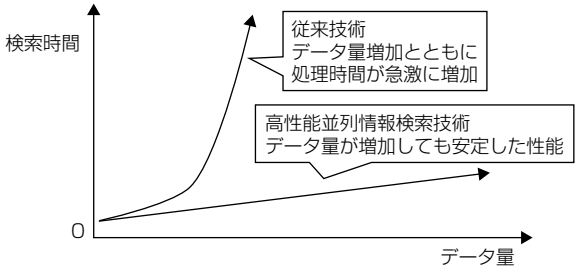


図4．高性能並列情報検索技術の性能特性

って，多数のプロセッサ，複数のストレージ装置の効率的な利用を実現し，データ規模に応じた性能向上を実現した(**図3**)。

4.2　ストレージアクセス技術

高性能並列情報検索技術では，ストレージのアクセス効率向上に注力して大規模データの高速処理を実現した。

データベースの高速化手段として，データの一部を主メモリに格納するキャッシュの技術が広く利用されている。しかし，この方法では，対象データのサイズが増加して限界を超えると急速に性能が低下し(**図4**)，データ量の増大に対して性能を維持することが困難になる。

高性能並列情報検索技術は，キャッシュに依存せずストレージアクセス効率の向上を図ることによって，データ量の増加に対し安定した高速性を実現した。

4.2.1　ブロック化トランスポーズドデータ配置

ストレージの動作特性を考慮したブロック化トランスポーズドデータ配置方式によって，メモリ上に格納できない大規模データでも安定した高速処理を実現した[6]。

二次元構造のデータをストレージ装置に格納する場合，データを行(レコード)方向に配置する，すなわち同一行内の列(項目)を順に配置したあと，各行を順に配置する場合が多い。一部のデータベースで採用されているトランスポーズドデータ配置では，列方向にデータを配置し，検索集計で必要な列を選択的にストレージ装置から読み出し，高速化を図っている。しかし，単純なトランスポーズドデータ配置では，データ規模が増大すると，複数の列を一度にメモリ上のバッファに保持できなくなり，必要なデータを求めてストレージ内でのシーク(ディスク装置のヘッドの移動)が多発する。

ブロック化トランスポーズドデータ配置は，データを“ページ”と呼ぶ単位に分割し，ページ内でトランスポーズドデータ配置を行う行方向・列方向の複合配置によってこの課題を解決した。ページのサイズは，ストレージアクセス効率とメモリ使用量を考慮して最適に設定される。これによって，必要最小限のデータ転送とアクセス回数の削減，ストレージ装置のシークの最小化の両立を実現した(**図5**)。また，ページを単位としてデータを複数のストレージに分散配置し，ストレージ入出力の並列化を実現できる。

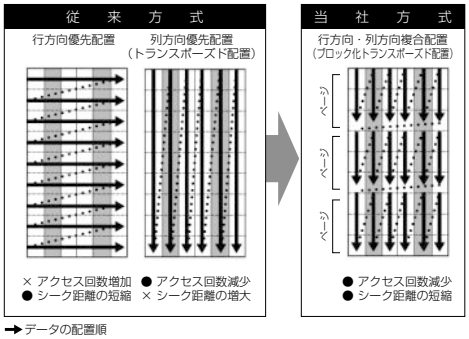


図5．ブロック化トランスポーズドデータ配置

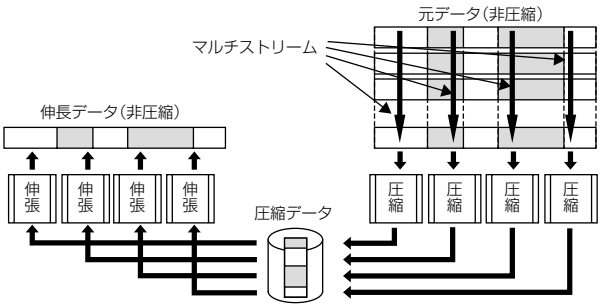


図6．マルチストリームデータ圧縮

4.2.2　データ圧縮

ブロック化トランスポーズドデータ配置とともに，データ圧縮技術を積極的に利用し，ストレージ容量の削減と，入出力負荷の削減による高速化を実現している[7]。

ブロック化トランスポーズドデータ配置では，データを列方向に分割するため，列ごとにデータ圧縮を行う(**図6**)。これをマルチストリーム圧縮と呼ぶ。データベースの圧縮では，高圧縮率と高速性の両立が求められるため，データの種類に応じて複数種類の符号化方式を使い分けている。

4.2.3　範 囲 管 理

時系列的に追記されたデータを日単位などの“範囲”に分割し，範囲を単位としてバックアップ／リストア，削除する機能を提供している(**図7**)。これによって古いデータのバックアップを採取後，削除するなどの運用が可能になる。

4.2.4　差分バックアップと負荷分散

ブロック化トランスポーズドデータ配置では，前回バックアップされたデータと新たに追加されたデータの差分を抽出し，差分バックアップを行う機能を提供している。さらに，差分データを配布することによって，ロード専用サーバで生成された差分データを検索集計専用サーバに配布する負荷分散構成を構築できる。

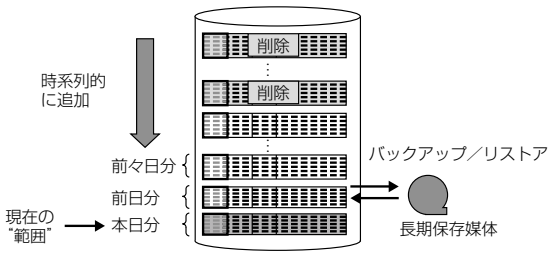


図７．範囲管理

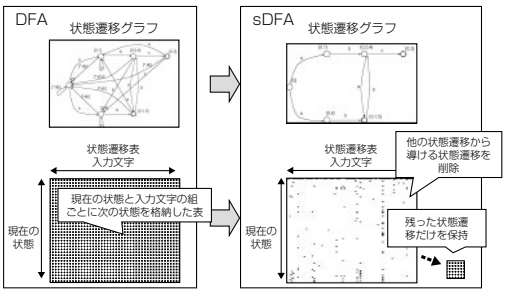


図８．sDFA文字列照合の原理

4.3　テキストフィルタリング技術

高性能並列情報検索技術では，複雑な検索条件を高速に処理するための基本アルゴリズムを提供している。

高速文字列照合技術sDFA(size-reduced Deterministic Finite Automaton)は，複雑な正規表現で記述された検索条件の高速照合を行う技術である[8]。高速だがメモリ消費量が大きかったDFA(Deterministic Finite Automaton)[9]方式のメモリ消費量を削減し，大規模検索条件であっても１億文字/秒の高速照合を実現した(**図８**)。

機密情報のような人手による定義・作成の難しい条件による検索には，学習型フィルタ技術が有効である。学習型フィルタは，あらかじめ用意したサンプルデータから出現頻度の高い部分文字列を統計的特徴として抽出・学習し，入力データと統計的特徴の類似性を比較することによって検索を行う。

テキストフィルタCIDは，sDFA文字列照合と学習型フィルタSSC(String-based Statistical Classifier)を併用し，再現率99.9%という高精度の機密情報検出を実現した[10]。

4.4　異種データ統合管理技術

高性能並列情報検索技術は，様々なデータに対して利用可能とするために共通基盤ソフトウェアとして実装されている。共通基盤ソフトウェアSISAと各目的別データベースの間にはAPI(Application Program Interface)が規定されており，このAPIに従って新たな機能を備えたデータベース機能を追加することが可能である(**図９**)。

目的別データベースのうち，統合ログデータベースLDB／HTDは，いかなる形式のデータも蓄積可能な保管庫の役割を担っている。ログデータベースLDBは，データ形式にかかわらず格納可能な“本文”と，本文に付随する“属性”の組によってデータを管理し，異種データの一元管理を実現する。履歴追跡型ログデータベースHTDは，異なる種類のデータ間の関連性をグラフ構造で管理する機能を備えており，多様なデータの一括管理の基盤となる[11]。

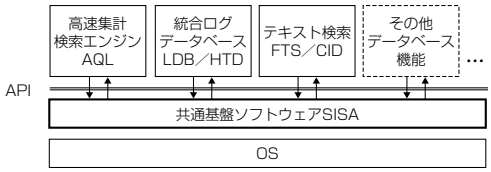


図９．共通基盤ソフトウェアSISA

5. む　す　び

データ量の爆発的増大と多様化にこたえる高性能並列情報検索技術への取り組みとその基本技術について述べた。高性能並列情報検索技術は，ビジネスインテリジェンス，環境情報システム，統合ログ管理，物理セキュリティ，メールアーカイブ，機密文書管理などの分野で利用拡大が進むとともに，その技術も進化を続けている。

参 考 文 献

(1) 森田　温，ほか：データの価値を創出するデータマネジメント技術，三菱電機技報，**83**，No.12，700～704 (2009)

(2) 山岸義徳，ほか：高速集計検索エンジンとセンサデータベースへの応用，三菱電機技報，**83**，No.12，709～712 (2009)

(3) 平井規郎，ほか：統合ログ管理技術と履歴追跡型ログデータベース，三菱電機技報，**83**，No.12，713～716 (2009)

(4) 加藤　守，ほか：テキスト検索技術と個人情報・機密情報検出，三菱電機技報，**83**，No.12，717～720 (2009)

(5) 郡　光則，ほか：検索機能を備えたストレージシステムによる大規模並列全文検索，電子情報通信学会技術研究報告，CPSY-2002-47 (2002)

(6) 上田尚純，ほか：ブロック化転置ファイルを利用したデータウェアハウス向けデータベース管理システムの評価，情報処理学会論文誌，**42**，No.SIG10 (2001)

(7) 郡　光則：データウェアハウス向け高性能データ圧縮方式，情報処理学会論文誌，**47**，No.SIG13 (2006)

(8) 中村隆顕，ほか：大規模正規表現の高速照合方式，情報処理学会全国大会講演論文集 (3)，235～236 (2005)

(9) E. J. Hopcroft，et al.：Formal Languages and their Relation to Automata，Addison Wesley (1969)

(10) 柴田秀哉，ほか：正規表現・学習型フィル併用方式による機密情報検出の評価，第8回情報科学技術フォーラム講演論文集 (2)，159～160 (2009)

(11) 平井規郎，ほか：履歴追跡型データモデルの評価，日本データベース学会論文誌，**7**，No3，73～78 (2008)