

IBM Smart Analytics Optimizer

— zEnterprise™ Systemが提供するワークロード最適化システムの一例 —

分析系クエリ処理は、さまざまなビジネス上の判断を正確かつタイムリーに行うために必要不可欠なものになってきました。IBM Smart Analytics Optimizer は、データウェアハウスで一般的な分析系クエリ処理のためのワークロード最適化システムの1つです。Smart Analytics Optimizer は System z® のサブシステムである zBX (zEnterprise BladeCenter® Extension) で動作する一種のアプライアンスで、DB2® for z/OS® での分析系クエリ処理の応答時間を大幅に短縮します。典型的な分析系クエリについて、zBX のハードウェアの性能を十分に引き出すべく、Smart Analytics Optimizer は設計されています。データは zBX のメモリー上に圧縮された最適な形式で配置され、解凍せずにデータをスキャンすることでクエリを高速に処理します。このため、一定の応答時間でクエリ処理が可能になり、対話的なデータの分析が格段に容易になりました。本記事では、Smart Analytics Optimizer の特長やクエリ処理高速化技術などについて解説します。

① System z シリーズでのハイブリッド・システム

現在最新の System z シリーズの z プロセッサ、z196 は前世代の z10™ と比較し、プロセッサのアーキテクチャーが大幅に進歩しました。動作周波数が 4.4GHz から 5.2GHz へ向上し、命令の Out-of-Order 実行が可能になり、プロセッサ・コア単体での性能が向上しました。さらに、キャッシュ・主記憶ともに容量が拡大する^{きょうたい}など、メモリー・システムも強化されています。また、筐体^{きょうたい}当たりのコア数も z10 の最大 64-way から、z196 では最大 80-way となり、並列処理能力も強化されました。

さらに、zEnterprise の最大の特長の 1 つは zBX (zEnterprise BladeCenter Extension) というブレード・サーバーによって、アプリケーション性能の向上などが可能になった点です。zBX は最新の POWER® プロセッサである、POWER7® プロセッサなどを導入し

IBM Smart Analytics Optimizer

- A Workload Optimized System on zEnterprise System -

Business Intelligence software is becoming increasingly important to enable business decision makers to make accurate and timely decisions. The IBM Smart Analytics Optimizer is a workload-optimized system that supports such decision-making by significantly accelerating the processing of analytic queries for data warehouse applications. It runs on zBX (zEnterprise BladeCenter Extension) and is optimized for the processing of typical analytic queries on zBX hardware. For example, it stores data in zBX's memory in a compressed and optimized format, so that it can process queries by quickly scanning the data without needing to decompress it. In this way, the Smart Analytics Optimizer increases the productivity of interactive data analysis by optimizing query response times. In this article, we describe some of the key acceleration techniques used in the Smart Analytics Optimizer.

たブレード・サーバーを搭載し、最新の z プロセッサ z196 とのハイブリッド構成が可能になりました。

従来より、System z シリーズでは、特定用途向けのプロセッサ・コアをサポートしてきました。z/Linux を実行する IFL (Integrated Facility for Linux) などです。今回、zBX を追加することにより、新たな次元のハイブリッド・コンピューティングが可能になりました。zBX には Power プロセッサなど、従来の System z プロセッサとはまったく異なるプロセッサが搭載され、z196 と zBX は高速な専用ネットワークで接続されます。

zBX の使い方としては大きく分けて以下の 2 通りに分類されます。1 つは、従来ブレード・サーバーで実行していたアプリケーションなどを zBX で実行し、サーバーを統合する方法です。zBX 上のサーバーは z196 と統合された HMC (Hardware Management Console) で管理できるため、システム管理が容易になります。もう 1 つは、z196 上の特定のアプリケーションを高速化するためのアプライアンスとして使用する形態です。後者

の場合は、あらかじめ特定のアプリケーションと zBX のハードウェアに最適に設計された専用のサブシステムで、アプリケーションにその存在を意識させることなく、性能を格段に向上させることが可能です。例として、DB2 for z/OS の分析系クエリー処理を高速化する、IBM Smart Analytics Optimizer があります。本記事では、この Smart Analytics Optimizer の特長、クエリーの高速化手法について解説します。

② 分析系クエリー処理の課題

分析系のクエリー処理は、効果的なビジネス上の判断を決定する上で、なくてはならないものとなってきました。特に日々蓄積されるビジネス・データから、ビジネスのトレンドを判断したり、異常な傾向を即座に特定するには、大量のデータに対して複雑な分析系クエリー処理を短時間で行うシステムが重要になります。Smart Analytics Optimizer は zEnterprise や System z10 上での分析系クエリー処理を飛躍的に高速化するソリューションです。図 1 に示したように、Smart Analytics Optimizer は DB2 の分析系クエリー処理を z プロセッサから zBX に自動的にオフロードし、高速に実行します。このオフロードは DB2 アプリケーションから透過的ですから、アプリケーションを変更する必要はありません。例えば、IBM Cognos® 8 BI はオンライン分析処理やレポート作成などを行う Business Intelligence (BI) Software ですが、データ・ソースとして DB2 を使用することができます。Smart Analytics Optimizer を使用すると、データ・ソースの DB2 が高速になるため、

BI Software 自体を変更することなく、その処理を高速化することが可能です。

分析系クエリーを高速化する必要性はかなり以前から広く認識されており、さまざまな手法が考案されてきました。一般的に、汎用のデータベースは主に基幹系のオンライン・トランザクション処理 (OLTP) で高い性能を提供するように設計されています。基幹系データベースに蓄積されたデータを分析し、効果的なビジネス判断を即座に行うためには、分析系クエリーの高速処理が可能なテーブル構造を持つデータ・ウェアハウス [1] や、さらに高速処理のためにデータ・ウェアハウスから一部のデータを抽出したデータ・マートを構築することが一般的になりました。分散系のシステム上にこれらの分析用データベースのコピーを複数作成し、分析系クエリー処理の負荷を複数のシステムに分散させ、処理を高速化する場合もあります。いわば手で分析系クエリーをメインフレームから外部の分散系システムにオフロードしていることになります。このような手法を採用すると、幾つかの問題が発生する可能性があります。例えば、複数のシステム間でデータベースのコピーが発生するため、コピー同士の整合性を管理したり、コピーのための遅延が発生することがあります。さらに、分散系システムと組み合わせた場合、セキュリティー管理を含めたシステム全体の管理が複雑になる課題もあります。

Smart Analytics Optimizer は、上に述べたような分散系システムを使った分析系クエリー処理のソリューションと z プロセッサ上の DB2 を組み合わせたパッケージではありません。Smart Analytics Optimizer は、zBX のハードウェア性能を最大限引き出すべく最適化された、分析系クエリー処理のためのワークロード最適化システムです。このため、DB2 と分散系の既存の分析系クエリー処理ソリューションを組み合わせただけより高い価値を提供しています。

分析系クエリーの典型的な利用形態として、データベースに蓄積されたビジネス・データを分析し、ビジネスのトレンドを把握したり、特異なパターンを早期に検出することがあります。例えば、いろいろな商品の売り上げの傾向を調べ、その中で収益の多い商品や販売店に共通のパターンを特定するという分析が考えられます。この場合、ユーザーは、商品や販売店、そのほかの条件を変えながら、分析クエリーを対話的に繰り返し発行することになります。例えば、商品や販売店、そのほかの条件を変えてクエリーを発行し、収益パターンを探

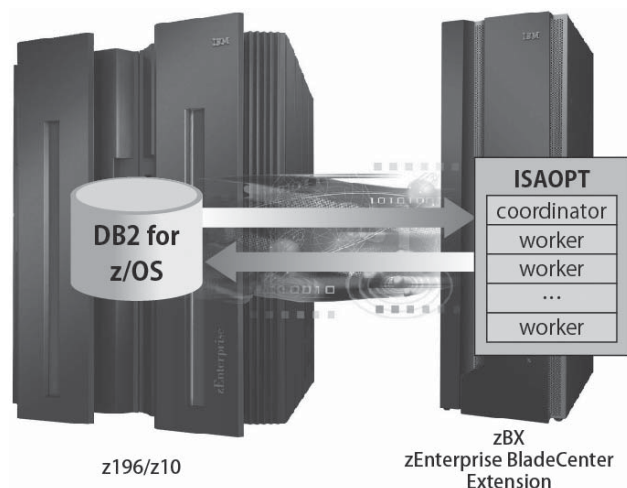


図1. IBM Smart Analytics Optimizerの構成

していきます。すなわち、あるクエリーの結果を分析し、次のクエリーを作成・発行することを繰り返します。このため、データベースは、ユーザーが適宜作成するクエリーを対話的使用に対応できる応答時間で処理する必要があります。

このような分析クエリーを処理する場合、データベースは大量のデータにアクセスをする必要があり、一般的にはデータを読み出すためのディスクへのアクセスがクエリー応答時間のボトルネックになります。そこで、データのインデックスやマテリアライズド・クエリー・テーブル (MQT) と呼ばれるテーブルを、あらかじめ作成しディスクのアクセス回数を減らす手法が広く使われています。後者の MQT は元のデータベースの一種のサマリーであり、元のデータベースに比べてデータのサイズを縮小することが可能です。分析クエリーは与えられた条件を満たすデータの集計を計算することが多く、MQT にあらかじめ想定されたデータを集計しておきます。こうして、実際のクエリー処理に必要なデータのアクセス回数を大幅に減らし高速な処理を可能にします。

しかしながら、インデックスや MQT によって大幅な高速化が期待できるのは、あらかじめ想定した範囲のクエリーに限定されます。このため、これらはクエリーのパターンによってチューニングが必要で、与えられたクエリーに対して、インデックスや MQT の推奨設計を示すツールも開発されています [2]。想定範囲以外のクエリーでは、元の大量のデータから検索することになり、クエリーの応答時間は長くなってしまいます。対話的にデータを分析する場合、クエリーは本質的にアドホックで予測が困難という特徴があります。すなわち、この高速化技法ではクエリーに応じて応答時間がまちまちになり、対話的な使用に向いているとはいえません。あるクエリーでは数十秒で処理が終わっても、別なクエリーでは結果が出るまで数十分かかるという場合もあり得ます。後者の場合、対話的に分析を行っているユーザーの思考サイクルが途切れてしまうといってもいいでしょう。つまり、予測困難な応答時間はビジネス判断についての生産性低下につながります。

③ Smart Analytics Optimizer の特長

Smart Analytics Optimizer は、zBX で提供される大規模な並列処理能力、大容量なメモリーなどハー

ドウェア性能を引き出すべく設計されていて、上で述べた分析クエリー処理での問題を解決しています。Smart Analytics Optimizer は z196 のディスクに格納された DB2 のデータのうち、必要な部分を抜き出して分割し、各ブレード・サーバーに割り当てます。さらに、それぞれのブレード・サーバーはマルチコア・プロセッサを使って、割り当てられたデータを並列処理します。このためスケールアウトとスケールアップの両方を活用し、大規模分散・並列処理を行っています。ブレード間の通信や同期は頻繁に発生しないため、ブレードの枚数に対して、高いスケラビリティが得られています。

それぞれのブレードでは、データは大容量のメモリーに格納されるため、ディスクへのアクセス回数を大幅に減らすことができます。メモリーのアクセス時間は非常に短いので、Smart Analytics Optimizer では、従来のディスク上データの検索に必要であった、インデックスや MQT を使う必要がなくなりました。このため、これらのメタ・データを作成、チューニング、更新する必要もなくなりました。さらに、Smart Analytics Optimizer ではメモリー上のデータを逐次的にスキャンするため、クエリー応答時間が予測しやすく、対話的なデータの分析に適しているといえます。実際、応答時間は、データ容量にほぼ比例し、ブレードの枚数・プロセッサのコア数にほぼ反比例します。すなわち、データ容量が大きくなるにつれて、ブレードの枚数を増やし、応答時間を一定以内に保つことが可能です。

このように、メモリーの高速性のため、メモリー上でデータを検索するメリットは大きいのですが、メモリーはディスクと比較すると、記憶容量当たりのコストは高いというデメリットがあります。そこで、Smart Analytics Optimizer ではデータ圧縮技術を使い、このコスト・デメリットの影響を最小限に抑え、さらにさまざまな技法を組み合わせることにより高速なクエリー処理を実現しています。以下に、Smart Analytics Optimizer で使われている幾つかの高速化技術 [3] [4] を紹介します。

④ Smart Analytics Optimizer が DB2 を高速化する技術

データベースでは、クエリー処理の種類により、好ましいデータのレイアウトが変わります。OLTP などに使われる基幹系の汎用データベースは行ストア方式を取ることが多く、分析クエリー処理のデータベースには列

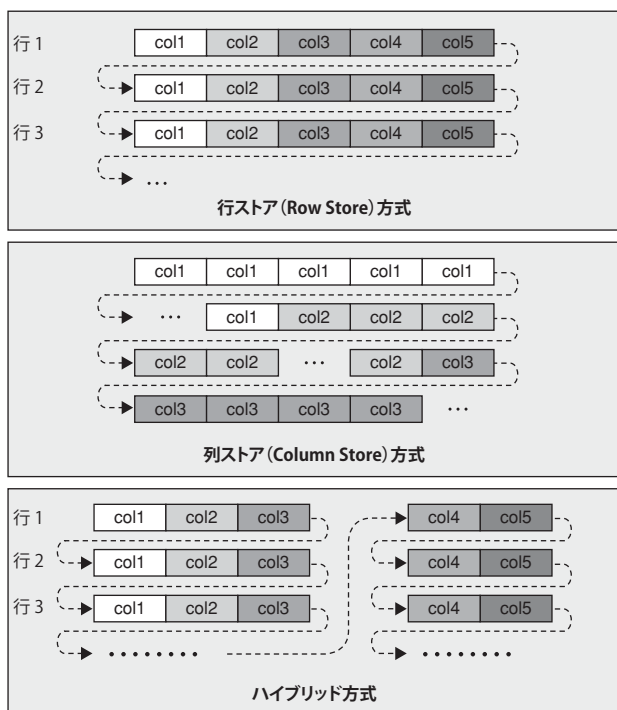
ストア方式を取るものもあります。行ストア・列ストアとはデータをメモリーやディスクに記憶するときのデータの配置方式で、**図2**に行ストアと列ストア、および Smart Analytics Optimizer で採用しているハイブリッド方式の概念図を示します。行ストア方式の場合、行方向、つまりデータベースのレコードを単位として記憶します。OLTP などでは、データベースの1レコード全体を追加したり、複数の列（フィールド）を変更する処理が多く、行ストアが向いているといえます。一方、列ストア方式では列方向、つまりレコードのフィールドごとに記憶します。分析クエリー処理で特定の列についてすべての行をアクセスして集計する処理（例えば売り上げの合計や平均を求めるなど）が多い場合は、列ストアが向いているといえます。

Smart Analytics Optimizer では、行ストアと列ストアのハイブリッド形式を採用しています。これは、実際の分析クエリーでは複雑なクエリーを処理することが多く、データベースのレコードを選択するために複数のフィールドにまたがる複雑な式を計算する必要があるからです。例えば、ある範囲の日付で、特定の地域での、特定の商品の売り上げの合計を計算するという場合、売り上げ日付、販売地域、商品名の条件がすべて満たされるレコードを選択する必要があります。純粋な列ストア形式

のデータベースでは、列ごとに条件を満たすレコードのセットを選択し、最後にそれらのセットの共通セットを求めることになります。Smart Analytics Optimizer で採用しているハイブリッド方式では、**図2**に示したように、各行レコードを幾つかに分割し、それぞれのレコードのサブセットを列方向にメモリー上で連続に配置したものをバンクとして扱います。バンク内の各行は、プロセッサの単一ワード（32ビット、64ビットなど）となるように選択し、必要に応じてパディング（余白）を入れます。各フィールドのデータは圧縮されているため、一般的に、単一ワード内に複数のフィールドを格納することができます。このため、単一ワードの比較演算で複数のフィールドからなる式を効率よく高速に計算することが可能になります。

一般的には、圧縮されたデータを使って演算をする場合、データを解凍して元のデータに戻す必要があります。しかしながら、解凍を行うためには計算が必要でクエリー処理のオーバーヘッドとなってしまいます。Smart Analytics Optimizer では解凍せずに、圧縮したままのデータで多くの処理を行い、このオーバーヘッドを削減しています。クエリー処理では、レコードそれぞれについて、クエリーで指定された条件を満たすかどうか、条件式を計算して判断する必要があります。前述の例では、売り上げ日付が指定された条件を満たすかどうかなどです。Smart Analytics Optimizer では、データを圧縮するとき、比較順序が圧縮された前後で同じになるように圧縮を行っています。つまり、解凍しないデータ同士で比較を行っても、元のデータ同士で比較を行った場合と同じ結果になり、圧縮したままのデータで条件式の計算が可能です。ただし、データの値の合計を取るなどの集計処理を行うためには、データを解凍する必要があります。

図3に、圧縮データを使った条件式の計算について簡単な例を示します。ここでは、製品コード'1234'の売り上げのうち、2010年8月に'Tokyo'で計上され、価格が10,000円だったものを集計することを想定します。最初の式(1)は、元々のクエリーから生成された条件式です。各データベース・レコードのフィールドは圧縮されているため、データの比較は圧縮された条件値同士で行います。この式を(2)に示します。各フィールドは圧縮されているため、この例では32ビットに条件式のフィールドがすべて収まります。このためプロセッサが実行する命令は、(3)に示したように32ビットの比較命令、1命令で済ませることができます。年月や価格など



各行がデータベースのレコード、各列がレコードのフィールドに対応します。
点線はメモリー上に格納する順番（メモリー・アドレスが増加する方向）を示します。

図2. データの格納方式



この例では、32ビット比較の一命令で条件式の計算が可能です。
 実際には128ビット・オペランドのSIMD命令を使用し、
 より複雑な条件式を一命令で計算可能です。

図3. 圧縮データを使った効率の高い条件式の計算例

のデータの値の範囲を指定して検索する場合は、多少計算が複雑になりますが、圧縮したデータを使って計算する基本的な考え方は変わりません。

複数フィールドを単一命令で処理する工夫は、単純にプロセッサの比較命令の実行回数を減らすだけでなく、条件分岐命令の実行回数を減らすことができます。現代の高速なプロセッサにおいて条件分岐命令は、プロセッサの実行性能を低下させる要因の1つであることが知られています。もともとの条件式を単純に実行すると、1レコードを選択するために、条件式のフィールド数だけの条件分岐命令を実行することも考えられます。Smart Analytics Optimizerでは、複数のフィールドからなる条件式をまとめて計算し、大幅に条件分岐命令の実行回数を減らすことがクエリー処理の高速化につながっています。

さらに、Smart Analytics OptimizerではSIMD (Single Instruction Multiple Data) 命令を使用して、条件式の計算をさらに高速化しています。SIMD命令は、もともとは画像処理や数値演算処理を高速化するためにマイクロ・プロセッサに導入されたものでした。マイクロ・プロセッサは128ビット(16バイト)のベクター・レジスターを複数持ち、それぞれのベクター・レジスターで32ビット整数4個や8ビット文字16個などを格納できます。このため、ベクターの各要素で同一演算を行う場合、32ビット整数なら4個、8ビット文字なら

16個の演算を1個のSIMD命令で実行することができます。Smart Analytics OptimizerではSIMD命令を活用し、より多くのフィールドの比較を1命令で実行し、クエリー処理の高速化を実現しています。また、データをメモリーに格納するために圧縮する際にもSIMD命令を使用し、圧縮処理の高速化を図っています。

このように、Smart Analytics Optimizerはさまざまな工夫により分析クエリーを高速化していますが、DB2のクエリーの中にはSmart Analytics Optimizerで高速化できない場合もあります。例えば、更新を含む処理です。Smart Analytics Optimizerで行っているクエリー処理は、読み出し専用クエリーに最適化されているため、更新を含む処理はSmart Analytics Optimizerへはオフロードされません。DB2がクエリーを自動的に解析し、Smart Analytics Optimizerで高速化できる場合にのみ、Smart Analytics Optimizerへオフロードします。

5 まとめ

Smart Analytics OptimizerはzBXのハードウェアに最適に設計された分析クエリー処理エンジンを使用し、分析クエリーをzBXにオフロードして処理することにより、飛躍的に処理を加速しています。従来の分析クエリー処理の高速化技術では、その効果がクエリーに大きく依存するため、分析クエリーの結果に応じて次の分析クエリーを作成するという、対話的なデータの分析は困難でした。Smart Analytics Optimizerでは、データベースからデータを圧縮した形式でzBXのメモリーに展開し、メモリー上のデータを高速にスキャンすることで、常に一定の短い応答時間を実現しています。特に、行ストアと列ストア形式のハイブリッドを採用し、データの圧縮形式を工夫することにより、高速なクエリー条件式の計算を実現しています。さらに、複数のブレード・サーバーとそれぞれのマルチコア・プロセッサを活用し、大規模並列処理を実現しています。これらの高速化はDB2内部で行われ、アプリケーションからは透過的です。つまり、DB2を使用するアプリケーションを変更することなく、DB2は対象のクエリーを解析し、Smart Analytics Optimizerで高速化可能な場合にはSmart Analytics Optimizerに自動的にオフロードしてクエリー処理を高速化します。

今後、より大量のデータをより高速に分析するシステムは、さまざまなビジネス上の判断を下す上で一層重要になると思われます。Smart Analytics Optimizer は System z で大量に蓄積されていくビジネス・データを高速に分析するために極めて有効な手段を提供するでしょう。

[参考文献]

- [1] Barry Devlin and Paul Murphy, An architecture for a business and information systems, IBM Systems Journal, IBM, (1988).
- [2] Daniel C. Zilio, Jun Rao, Sam Lightstone, Guy Lohman, Adam Storm, Christian Garcia-Arellano, and Scott Fadden., DB2 design advisor: Integrated automatic physical database design, In Proceedings of the 30th VLDB Conference, VLDB Endowment, (2004).
- [3] Vijayshankar Raman, Garret Swart, Lin Qiao, Frederick Reiss, Vijay Dialani, Donald Kossmann, Inderpal Narang, and Richard Sidle, Constant-time Query Processing, In Proceedings of the 2008 IEEE 24th International Conference on Data Engineering, IEEE, (2008).
- [4] Ryan Johnson, Vijayshankar Raman, Richard Sidle, and Garret Swart, Row-Wise Parallel Predicate Evaluation, In Proceedings of the VLDB Endowment, Vol. 1, No. 1, VLDB Endowment, (2008).



日本アイ・ビー・エム株式会社
東京基礎研究所
システムズ
シニア・リサーチャー

小原 盛幹 Moriyoshi Ohara Ph.D.

[プロフィール]

1986年、IBM Research - Tokyo に入所。共有メモリー型並列処理、Cell BE プロセッサを使ったハイブリッド・コンピューティング、サーバー・ワークロードの解析・高速化などの研究などを経て、現在 zEnterprise System でのワークロード最適化システムの研究に従事。ACM Senior Member。