論 文 の 内 容 の 要 旨

論文題目　同期・非同期協調制御機構を備えたアウトオブオーダ型データベースエンジンに関する研究

(A Study on Out-of-Order Database Engine with a Coordination Mechanism between Synchronous Execution and Asynchronous Execution)

氏　　名　　早水　悠登

情報技術の発展に伴い，世界中で生み出されるデジタルデータは爆発的に増加し，未だその勢いは衰えを見せない．大量に蓄積されるデジタルデータを有効に管理・活用するためには，ITシステムにおいてデータ処理の中核を担うデータベースシステムの高性能化は必要不可欠であるといえよう．

今日のデータベースシステムを構成するハードウェアは，プロセッサのマルチコア化や演算資源・ストレージ資源の仮想化などに後押しされ高密度化を続けている．一方単位オペレーションあたりの実行遅延に着目すると，プロセッサにおけるクロック遅延の短縮は2005年以降ほとんど見られない他，磁気ディスクドライブのアクセス遅延時間においても2000年以降ほぼ改善が見られない．すなわち，ハードウェアの進歩による性能向上が計算機システム全体の性能向上に資するためには，オペレーション実行を多重的に駆動し，ハードウェアの有するスループット性能を高効率に活用可能なソフトウェアアーキテクチャの採用が重要となる．しかしながら，データベースシステムのエンジン部におけるクエリ実行は入出力発行と演算実行が逐次的に駆動されるインオーダ型クエリ実行方式を基本としており，様々な技術的向上は見られるものの，基本構造においては1970年代より根本的な変化は見られない．すなわち，インオーダ型のデータベースエンジンの動作は同期的であり，昨今のハードウェアが有する処理性能を必ずしも有効に活用できているとはいい難い状況にある．

データベースエンジンにおけるハードウェア資源の利用効率を向上させるためには，その実行方式を非同期化し，多数の処理ユニットを多重的に駆動することが必要である．このような取り組みとして提案されているのが，アウトオブオーダ型データベースエンジンである．アウトオブオーダ型データベースエンジンは，クエリ実行を動的タスク分解し，論理的に独立した演算に関する入出力を非同期に発行し，入出力の完了を契機として演算を駆動するという，アウトオブオーダ型クエリ実行方式に基いて構成される．これにより，高多重に入出力帯域および演算性能を活用することが可能となり，特に大規模データに対する選択的クエリ実行において高い性能を発揮することが知られている．

データベースシステムの中核にあたるエンジン部をアウトオブオーダ型データベースエンジンへと置き換えることは，クエリ実行の中心的処理を同期的動作から非同期的動作へ

と転換することを意味し，それに要する再設計の影響範囲はデータベースシステム全体のみならず，アプリケーション等周辺ソフトウェア全体へと波及する．現代的なデータベースシステムは中心的機能のみでも100万行規模のプログラムコードから構成される大規模ソフトウェアであり，その動作の正しさがITシステムの価値の根源たるデータの正当性に直結するため，このアプローチは必ずしも容易ではない．

本論文では，データベースシステム全体の再設計を要すること無く，アウトオブオーダ型クエリ実行方式の有する高速性を活用するためのアプローチとして，同期的に動作するインオーダ型データベースエンジンと，非同期的に動作するアウトオブオーダ型データベースエンジンの連携による方法を論じる．すなわち，クエリ実行論理そのものはインオーダ型データベースエンジンが担うことで実行結果の正当性を担保しながら，その傍らでアウトオブオーダ型データベースエンジンが等価なクエリを高速実行し，先んじて得られたクエリ実行の途中結果をインオーダ型データベースエンジンに協調的に供給することで，インオーダ型データベースエンジンの実行速度を実質的にアウトオブオーダ型データベースエンジンと同水準まで引き上げるというアプローチである．これを実現することができれば，データベースシステム全体の抜本的再設計に比して簡便にデータベースシステムの高速化を図ることが可能となり，ソフトウェア工学的に高い価値を有するといえよう．本論文では，具体的手法として既存データベースエンジンの加速機構としてアウトオブオーダ型データベースエンジンを組込み，主記憶上のバッファプールを介してデータベースページを供給することで既存エンジンにおける入出力遅延を大幅に縮減し，高速化を実現する方法を提案する．データベースエンジン加速機構は，既存データベースエンジンにおけるクエリ実行状況を監視しながら将来的な挙動の予測をリアルタイムに行い，予測結果にもとづいてアウトオブオーダ型クエリ実行を協調的に制御する機構を備えており，これによって有限バッファプール領域のもとで効率的なページ供給を実施可能とする．本論文では，オープンソースデータベース管理システムPostgreSQLをベースシステムとして開発された加速機構の試作実装PgBoosterの構成法を示すとともに，実環境における評価実験を行うことでその有効性を明らかにする．