

令和元年6月18日現在

機関番号：12611

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00152

研究課題名(和文)更新意図の外形的推測に基づくビューの高度な更新可能性達成の理論と実践研究

研究課題名(英文)A theory and practice of achieving high updatability of views based on pro forma guessing of update intention

研究代表者

増永 良文 (Masunaga, Yoshifumi)

お茶の水女子大学・999・名誉教授

研究者番号：70006261

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：ビュー更新問題はこれまで多くの研究がなされてきたが、更新可能なビューは極めて限定的であった。本研究は、その原因が従来の研究がそれをデータベースの“スキーマレベル”で論じてきたことにあることを指摘し、そうではなく“インスタンスレベル”で論じると、これまで更新不可とされた直積ビューや結合ビューが場合により更新可能となることを明らかにしている。この新規アプローチは「更新意図の外形的推測アプローチ」、略して「意図に基づくアプローチ」と名付けられている。この下でのビューの更新可能性判定アルゴリズムを示すと共に、それをPostgreSQL 10の拡張機能として実装し、その実現可能性を検証している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究を遂行した結果、リレーショナルデータベースにおいて、これまで理論的にも実践的にも極めて限定的なビューの更新可能性を、「更新意図の外形的推測に基づくビューの更新可能性」というこれまでにない新しい考え方のもと、極限にまで高めることが可能であることを示した学術的意義は大きいと考えられる。データベースの現場で多用される直積ビューや結合ビューがこの新規アプローチの下で場合により更新可能となる恩恵は大きく、加えて、これをオープンソースのリレーショナルDBMSとして多くの情報処理の現場で稼働しているPostgreSQL上で実装し、その実現可能性を示し得たことも、社会的意義が大きいと考えられる。

研究成果の概要(英文)：As views are virtual, the updatability of views poses a difficult problem known as the view update problem. To resolve the problem, many investigations were conducted, but updatable views within the conventional approach were extremely limited. In this research, it is shown that the limitation comes from because the updatability of views has been discussed at the database "schema level," and by arguing it at the "instance level," it is shown that Cartesian product views and join views become updatable under certain circumstances which are not updatable in the conventional approach. This novel approach is named as the pro forma guessing of update intention approach, also known as the intention-based approach. An algorithm to decide whether a generally defined view is updatable or not with respect to an update operation issued to it under the intention-based approach is shown. To examine the feasibility of the novel approach, it was prototyped as an extension of PostgreSQL 10.

研究分野：データベース

キーワード：データベース リレーショナルデータベース ビューサポート 更新可能性 PostgreSQL 意図に基づくアプローチ 更新意図の外形的推測に基づくアプローチ

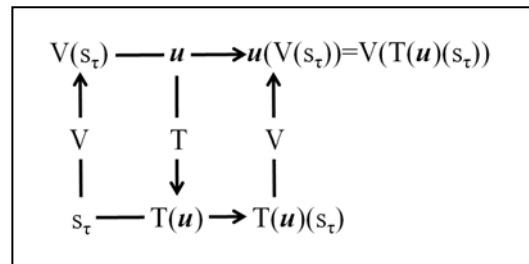
様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ビュー (view) はリレーショナルデータモデルを提案したコッド(E. F. Codd)自身により導入された。ビューは、問合せの結果をあたかも実リレーションのように扱える簡略化表現 (short-hand) でユーザの利便性に供し、ANSI/X3/SPARC のいう論理的データ独立性をリレーショナルデータモデルで達成する手段であり、また、データベースのセキュリティ実現のための仕掛けとして、理論的にも実践的にも多大の関心を集めてきた。

しかし、ビューはデータベースに格納されている実リレーションではなく、実リレーション群に対して発行された問合せの結果リレーション、SQL の用語でいえば導出表、を導く“定義”にしか過ぎないので、ビューをさらに問合せの対象とするときには問題は生じないが、あくまで定義だけが存在して物理的には存在していない仮想的なビューを“更新”しようとするその更新可能性が問題となる。これを「ビュー更新問題」という。

ビュー更新問題はビューが導入された直後から、多くの研究・開発者の関心と呼んだ興味ある課題であった。この問題はまず構文的 (syntactic) アプローチに基づき研究された。そこでは、ビューは実リレーション群がなすデータベース状態からビュー状態への“関数”であると規定される： s をある時刻におけるデータベースの状態、 V をビュー定義、 $V(s)$ は (その時刻における) ビューの状態、 u を $V(s)$ に対して発行された更新操作とすると、 u が変換可能であるとは、 u を s への更新操作に変換する副作用がなくかつ一意な変換 T が存在するときと定義される [Dayal, U. and Bernstein, P., “On the updatability of relational views,” Proc. 4th VLDB, pp.368-377, 1978]。すなわち、右図の可換図式が成立するときをいう。変換 T に一意性を課したことは議論の余地があるところだとしながらも、その理由は T に代替案があった時、その選択基準を設けられないためとしている。この構文的アプローチのもと、これまで多くの研究が報告された。



しかしながら、ビュー更新問題の研究が進むにつれて、構文的アプローチはその問題解決への基本的枠組みを与えるものではあるが、限界があり、意味的 (semantic) アプローチが提唱されることとなった [Masunaga, Y., “A relational database view update translation mechanism,” Proc. 10th VLDB, pp.309-320, 1984]。このアプローチは構文的アプローチで課せられた変換 T の一意性という制約を“緩める”代わりに、代替案の意味を明示して更新要求の変換可能性を決定しようとする。つまり、ビュー更新問題は極めて“意味的”であることが認識・強調されたのである。換言すれば、変換の意味的曖昧性を本質的に除去しようとするれば、ユーザとのやり取りを通して、その更新意図を把握するしか道はないことも明らかになった。実際、ユーザとのインタラクションを組み込み、曖昧性を解消しようとしたビュー更新ツール TAILOR の開発が報告されている。

このように、ビューの更新問題は構文的にも意味的にも難解であることが明らかになり、問題解決は積年の課題となって今日に至っていた。従って、リレーショナルデータベースの現場でも、国際標準リレーショナルデータベース言語 SQL-89, SQL-92, SQL:1999 で、更新可能なビューが規格化されたものの極めて限定的であった、そのような状況を打破するために、SQL:2008 では、ビューを定義したユーザ自身がその更新可能性を定義できる仕組みとして INSTEAD OF トリガを規格化した。しかしながら、その使い方を示すことは規格外であり、ユーザがその使い方を一歩間違えばデータベースは直ちに一貫性のない状態に落ち込むこととなる。換言すれば、INSTEAD OF トリガをどのように使用するべきかを示す理論が欠如しており、それが希求されるとともに、現場では混乱が生じていた。

さて、現状では理論的にも実践的にも極めて限定的なビュー更新可能性を、これまでにない考え方で打破することができないかと本研究申請者は考えてきた。その解決策が、本研究申請者が着想した「更新意図の外形的推測に基づくビュー更新可能性」である [増永良文, “更新意図の外形的推測に基づくリレーショナルデータベースビューの更新可能性,” 第 8 回 Web とデータベースに関するフォーラム (WebDB Forum 2015), 2015 年 11 月]。このアプローチは、これまでの構文的・意味的アプローチではビューへの更新操作が変換不可と結論される場合でも、ビューを一時的に“マテリアライズ” (materialize, 体現化) し、変換候補を仮に実行してその“外形”を計算してみると、ユーザが発行した更新要求の意図を一意に“推測”でき得る場合があり、その時には (ユーザにことさら確かめることはしないで) その変換候補に従って実リレーションの更新を行い、所望のビュー更新を実現させようとするものである。これにより、従来は更新不可とされてきた直積ビューや結合ビューが場合により更新 (削除 / 挿入 / 書換) 可能となる。結合演算はリレーショナルデータベースで最も有用な演算の一つであり、結合ビューの更新可能性が極限にまで高められることの意義は、特にリレーショナルデータベースの現場で極めて大きいと考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は大別して次に示す 3 つの研究テーマを遂行して、これまで極めて限定的であったリレーショナルデータベースにおけるビューサポートの機能に格段の向上を図ろうとする

ものである。

(1) ビューサポートの新規方式を徹底的に理論的に明らかにしていくこと

本研究を遂行するに先立ち提案した「更新意図の外形的推測に基づくビューの更新可能性」は純粋にリレーショナルデータモデルでの議論、つまり「集合意味論」の下での理論である。この着想を広くリレーショナルデータベースの現場に適用するためには、国際標準リレーショナルデータベース言語 SQL で定義されるビューに対してこの新規アプローチが適用可能とならなくてはならず、そのためにはこのアプローチを「バッグ (bag) 意味論」、マルチ集合意味論ともいう、の下で成り立つ理論に再構築する必要がある。そのための研究を展開する。

(2) 更新意図の外形的推測に基づくアプローチをリレーショナル DBMS 上にプロトタイプして、実現可能性を検証すること

バッグ意味論の下で成り立つ「更新意図の外形的推測に基づくアプローチ」、簡単に「意図に基づくアプローチ」を、リレーショナルデータベースの現場で数多くの稼働実績のあるオープンソースソフトウェアのリレーショナル DBMS である PostgreSQL 上にプロトタイプして、実現可能性を検証する。その際、どのようなアーキテクチャを採るべきなのか、また、この新方式は、直積ビューや結合ビューの更新可能性を検証する際に、ビューを一時的にマテリアライズすることが必要なので、それによる性能劣化の検証や最適化技法にも留意する必要がある、そのような問題を検討する。

(3) 理論と実践で得られた新しい知見を会議での論文発表とリレーショナル DBMS のユーザ会などを通して広く国内外に知らしめること

データベース関連の理論と実践に関する学術的研究を発表する場合は国内外に多数ある。また、開発や利用についても PostgreSQL などオープンソースソフトウェアの DBMS の開発者会議やユーザ会なども国内外で盛況であるので、それらを活用する。

3. 研究の方法

前項で述べたように、本研究の目的は大別すれば3つある：ビューサポートの新規方式を徹底的に理論的に明らかにしていくこと、それをリレーショナル DBMS 上に実装していくこと、理論と実践で得られた新しい知見を会議での論文発表やリレーショナル DBMS の開発者会議などを通して国内外に迅速に周知することである。そのためには、理論的研究と実践的研究・開発が相互にうまくかみ合いながら遂行されることが必須となるが、理論的研究を本研究代表者が中心となり、実践的研究・開発ではオープンソースのリレーショナル DBMS である PostgreSQL に精通している石井達夫と長田悠吾(共に、SRA OSS, Inc.日本支社)が「研究協力者」として、主体的かつ研究代表者と密接に連携しながら、本研究・開発を遂行する。

4. 研究成果

本研究は、研究代表者が着想した「更新意図の外形的推測に基づくビューの更新可能性」に基づき、リレーショナルデータベース(RDB)のビュー更新可能性を理論的のみならず SQL を用いた RDB の現場でも極限にまで高めることを目的としている。研究成果をまず時系列的に総括すると次のようである。

(1) 平成 28 年度の研究成果

上記の理論はリレーショナルデータベース理論に忠実に、Dr. Codd が導入したリレーショナルデータモデルが依って立つ「集合意味論」の下で展開されている。しかしながら、この結果をリレーショナルデータベースの現場に適用しようとすると、そこでは国際標準リレーショナルデータベース言語 SQL が依って立つ「バッグ意味論」の下でこの理論が成立するかどうか問われる。そのために、従来のリレーショナル代数に代わってバッグ代数を精査し、それに基づき、更新意図の外形的推測に基づくビューの更新可能性がバッグ意味論の下でも成立するか否かを検証することが必要で、それを行った。その結果、この理論がバッグ意味論の下で集合意味論の上位互換で成立することを示した。その結果は国内会議 DEIM2017 で報告されている(5 項, 主な発表論運等[学会発表])。

さらに、「更新意図の外形的推測に基づくビューの更新可能性」の英文論文を作成し投稿し、国際会議 IMCOM2017 で受理され発表した(5 項, 主な発表論運等[雑誌論文])。

また、「更新意図の外形的推測に基づくビューの更新可能性」をオープンソースのリレーショナル DBMS として多くの稼働実績のある PostgreSQL で実装するための課題を研究協力者である石井達夫、長田悠吾、両氏と共に検討と協議を重ねた結果、実装には様々な工夫が必要となったことが明らかとなったものの、様々な選択肢の中から最終的に適切と考えられるプロトタイプの構築法を明らかにできた。

加えて、2017 年 2 月にサイエンス社より拙著『リレーショナルデータベース入門[第 3 版]』(5 項, 主な発表論運等[図書])を上梓することができたが、そこでは 7 章「ビューサポート」を新設して、本研究の主題である「更新意図の外形的推測に基づくビューの更新可能性」の成果の一部を盛り込むことができた。これは当初に予期していなかった成果であり、広く本研究成果を我が国のデータベース関連の人々に周知するのに大いに貢献している。

(2) 平成 29 年度の研究成果

前年度に引き続き研究協力者の石井達夫氏と長田悠吾氏(共に、SRA OSS, Inc.日本支社)と共に研究・開発を行い、次に示すような研究実績を残すことができた。

まず、理論的研究成果として、我々が展開しているビューサポートの理論をリレーショナルデータベースの現場に適用するには、先述の如く理論的体系を集合意味論からバグ意味論に拡張する必要がある。この問題に対して我々は初年度にバグ代数に基づく基礎的結果を示しているが、本年度更にこの問題について考察を加え、その結果を国際会議 IMCOM2018 で発表する成果を挙げている(5 項, 主な発表論運等[雑誌論文])。

さらに、この問題を徹底的にフォーマルに議論することにより、「バグ意味論の下でのビュー更新問題は制約充足問題に帰着されること」を明らかにした。一般に、制約充足問題は NP 完全問題であり、これは世界で初めてビュー更新問題の本質を明らかにできた研究成果ではないかと考えられる。この成果は国内会議 DEIM 2018 で、2 本の論文として報告することができた(5 項, 主な発表論運等[学会発表] と)。

また、実践的研究の成果としては、「更新意図の外形的推測に基づくアプローチ」、簡単に「意図に基づくアプローチ」を世界で最も広く使われているオープンソースのリレーショナルデータベース管理システム PostgreSQL 上で実装するべく研究協力者と共に初年度よりプロトタイプピングに取り組んできたが、本年度はそのプロトタイプが出来上がり、それを PostgreSQL の開発者が集う世界的な会議である PGCon 2017 (カナダ・オタワ市で開催) に投稿し、採択され発表することができた(5 項, 主な発表論運等[雑誌論文])。同様の結果を国内会議 WebDB Forum 2017 でも報告できた(5 項, 主な発表論運等[雑誌論文])。

(3) 平成 30 年度の研究成果

3 年計画の最終年度にあたる平成 30 年度は、研究協力者の石井達夫氏と長田悠吾氏 (共に、SRA OSS, Inc. 日本支社) と共にこの問題に取り組み、その結果、「バグ意味論の下での直積ビューの更新問題は非線形連立方程式を解く問題に帰着できる」という前年度の結果をさらに精緻化することに成功し、「バグ意味論の下での直積ビューの更新問題は制約充足問題(CSP)として定式化でき、一般に CSP は NP 完全であるものの、CSP を解くアルゴリズムの一つとして知られる併合法を用いると問題はストレートに解け、さらに併合法の特性に着目するとバグ意味論の下での直積ビューの更新判定アルゴリズムはリレーショナルデータモデルの自然結合演算で実現できる」という結果を得ることに成功した。これはこれまでに全く知られていない結果で、ビューサポートシステムの実装に新風を吹き込むものである。この成果は国際会議 IMCOM2019(5 項, 主な発表論運等[雑誌論文])並びに国内会議 DEIM2019(5 項, 主な発表論運等[学会発表])で発表されている。

以上、この 3 年間の研究・開発を通して、これまで長年にわたり十分な解決策が与えられてこなかった、リレーショナルデータベースにおける「ビュー更新問題」について、従来のアプローチが採ってきたデータベースの“スキーマレベル”の議論ではなく、それを“インスタンスレベル”で見直すことにより、「更新意図の外形的推測に基づくアプローチ」、簡単に「意図に基づくアプローチ」を提案することができ、その結果、これまで更新不可とされてきた直積ビューや結合ビューが場合により更新可能となることを理論的にも、実践的にも明らかにすることができた。リレーショナルデータベースの現場では、直積ビューや結合ビューは更新不可とされ、データベースの利用者はそれらがどのような場合に更新可能となるのか、その条件を希求してきた経緯があるが、本研究・開発で明らかにした新規アプローチの下で、その解が示されたことになる。加えて、これまで、現場のそのような状況を打破しようと、ビューの更新をユーザの責任で INSTEAD OF トリガを使って行えばよいとする見解が現場に見られるが、いい加減な INSTEAD OF トリガの使用は直ちにデータベースを一貫性のない状況に陥らせてしまう危険性がある。本研究で明らかにした「更新意図の外形的推測に基づくアプローチ」を理解して INSTEAD OF トリガのコアコードを書き下せば、そのような心配はなくなる。

PostgreSQL 上で行った「更新意図の外形的推測に基づくアプローチ」の実現可能性検証は最も基本となる機能をプロトタイプピングしてそれを行っただけなので、データベースの現場にこのアプローチを提供するには、意図に基づくアプローチの完全な実装、関連する機能の実装、そしてマニュアルの整備などが必要なのは言を待たない。これらは本研究では成し遂げることができなかったが、しかしながら、将来、このアプローチがデータベースの現場に浸透して、より効率のよいリレーショナルデータベースのアプリケーション開発が可能となっていくことを願っている。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 3 件)

Yoshifumi Masunaga, Yugo Nagata, Tatsuo Ishii, Making Join Views Updatable on Relational Database Systems in Theory and in Practice, Advances in Intelligent Systems and Computing - Proceedings of the 13th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (IMCOM) 2019, 査読有, Springer, Phuket, Thailand, 2019

Yoshifumi Masunaga, Yugo Nagata, Tatsuo Ishii, Extending the View Updatability of Relational Databases from Set Semantics to Bag Semantics and its Implementation on PostgreSQL, Proceedings of the 12th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (IMCOM) 2018, 査読有, Langkawi,

Malaysia, 2018

DOI:10.1145/3164541.3164584

Yoshifumi Masunaga, An Intention-based Approach to the Updatability of Views in Relational Databases, Proceedings of the 11th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (IMCOM) 2017, 査読有, Beppu, Japan, 2017

〔学会発表〕(計6件)

増永良文, 長田悠吾, 石井達夫, 制約充足問題としてのビューの更新可能性とSQLによる解法 バッグ意味論の下での直積ビューの更新可能性, 第11回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム(第17回日本データベース学会年次大会) DEIM Forum 2019, 2019

増永良文, 長田悠吾, 石井達夫, 意図に基づくアプローチのもとでのSQLビューの更新可能性 非線形連立方程式問題への帰着, 第10回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム(第16回日本データベース学会年次大会) DEIM Forum 2018, 2018

長田悠吾, 増永良文, 石井達夫, 意図に基づくアプローチのもとでのSQLビューの更新可能性 ビュー更新判定問題の定式化と実問題への適用に向けた計算量削減の試み, 第10回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム(第16回日本データベース学会年次大会) DEIM Forum 2018, 2018

増永良文, 長田悠吾, 石井達夫, バッグ意味論のもとでのビュー更新問題の検討 更新意図の外形的推測に基づくアプローチの適用可能性, 第9回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム(第15回日本データベース学会年次大会) DEIM2017, H3-5, 2017

長田悠吾, 石井達夫, 増永良文, 意図に基づくアプローチによる更新可能ビューの拡張 PostgreSQLにおけるプロトタイピング, 第10回 Web とデータベースに関するフォーラム(WebDB Forum 2017), 査読有, 2017

Yugo Nagata, Yoshifumi Masunaga, Extending View Updatability by a Novel Theory-Prototype Implementation on PostgreSQL-, PGCon 2017 -The PostgreSQL Conference, 査読有, Ottawa, Canada, 2017

〔図書〕(計1件)

増永良文, サイエンス社, リレーショナルデータベース入門[第3版], 2017, 415

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年:
国内外の別:

取得状況(計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名:

ローマ字氏名:

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：石井 達夫

ローマ字氏名：(ISHII, Tatsuo)

研究協力者氏名：長田 悠吾

ローマ字氏名：(NAGATA, Yugo)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。