

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 15 日現在

機関番号：34316

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330094

研究課題名(和文)クラウドトランザクションモデルの構築とクラウド適合アダプタ開発

研究課題名(英文)Developing Cloud Transaction Models and Cloud Conformance Adapters

研究代表者

新川 芳行 (SHINKAWA, Yoshiyuki)

龍谷大学・理工学部・教授

研究者番号：70351343

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：近年、情報処理基盤として注目されているクラウドコンピューティング環境で、企業情報システムなどの基幹システムを稼働させるための基本技術となる、データ整合性の保証と性能予測、およびセキュリティ機能の適合性に関する基礎研究および応用研究を行い、カラーペトリネットによるシミュレーションとUPPAALによる論理的な検証・評価を統合した手法を確立した。また、システムの機能面を厳密に定義するため、仕様記述言語のVDM++も補完的に使用した。出来る限り広範囲のアプリケーションに対応できるようにするため、クラウドの共通基盤部分とアプリケーション固有部分を明確に分離する手法も開発した。

研究成果の概要(英文)：The research includes both the fundamental and practical approaches to "data integrity", "performance prediction", and security for mission critical systems like enterprise information systems running in the cloud computing environments, which recently are focused on as information processing platforms. As a result, an integrated validation and evaluation process is established, combining the colored Petri Nets (CPN) based simulation and the UPPAAL based logical analysis. In addition, a specification language VDM++ is complementary used. In order to make the above process applicable to vast application domains, several techniques have been developed, which can separate clearly the common cloud platform functionality and the application specific logic.

研究分野：ソフトウェア工学

キーワード：クラウドコンピューティング トランザクション処理 データ整合性

1. 研究開始当初の背景

IT サービスの新しいモデルとしてクラウドコンピューティングが注目を集め、Haas、IaaS、PaaS、SaaSといった様々な形態のサービスが各社より提供され機能強化が続けられている。このような、社会全体に公開されるクラウドは、パブリッククラウドと呼ばれる。

しかしながら、公開されたクラウドには様々な制約があり、企業の基幹システムなど高い信頼性を要求されるアプリケーションを稼働させることは一般に望ましくないとされている。このため、このようなシステムを稼働させるクラウドとしてプライベートクラウドという、特定企業内・組織内で閉じた形態のクラウドが使用されるケースもある。

ただ、このような形態はクラウド本来の特性を生かし切れないため、クラウド、特にPaaS型のクラウドの本格的な普及のためには、企業の基幹システム、特にトランザクション処理と呼ばれる形態の情報システムがそのもとで安定的に稼働できる必要がある。

本研究はこのような背景のもと、パブリッククラウドにおける本格的なトランザクション処理の可能性を理論面・実用面より行うことを目指した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、既存のトランザクション処理システムをクラウドコンピューティング環境へ適応させるための基礎理論および実装技術と、クラウド化による新たな価値創造の手法を確立することにある。

トランザクション処理に求められる基本要件は、データ整合性、パフォーマンス、セキュリティの三つであり、これらに対する考え方が、クラウドと従来のオンプレミス型システムで大きく異なることが、問題点として認識されている。

この原因を解明するため、まずクラウドの本質的な機能・構造・動作を表現する抽象化モデルを作成し、これを基に個々のクラウド環境を正確にシミュレート可能な具現化モデルを構築する。そして、このモデル上でトランザクション処理の要件とクラウドとのギャップを評価・解消するための理論的基盤と実装技術を確立するとともにクラウド化による新たな価値創造を可能とするための体系的な手法を開発する。

3. 研究の方法

まずカラーペトリネット (Colored Petri Nets - CPN) によるシミュレーションモデルを構築し、クラウドにおけるデータ整合性、処理性能、およびセキュリティに関する適合性評価、いわゆるフィットギャップ分析を行う。これに加え、証明論的方法により、モデルの正当性を検証すると同時に、要件とのギャップを解消する汎用的アダプターの開発を行う。さらに、クラウドへの移行による新

たな価値創出の方法論およびその実装法についての研究を行うと同時に、研究成果として作成された方法論や手法を支援する統合ツールの開発を行う。

研究の対象とするクラウド環境としては、特定のクラウドに依存しない抽象度の高いレベルと、代表的なクラウドに特化した実用レベルの双方を対象とし柔軟性・拡張性の高い方法論・支援システムを目指す。

4. 研究成果

(1). データ整合性

クラウドにおけるデータ整合性評価の難しさはトランザクション処理を特徴づけるBASE という基本原理にあると考えられる。BASE とは、Basically Available、Soft state、Eventual consistency という3つの原則の頭文字を取ったもので、クラウドにおけるトランザクション処理の並行度を上げることで、可用性と拡張性を向上させる反面、データ整合性に関する要件を従来のACIDと呼ばれる原理よりも緩和したものである。

本研究では、まず、BASE原理のもとでのトランザクションの振舞いおよび機能を明確にするため、カラーペトリネット(CPN)というモデリングツールによりモデル化し、さらにシミュレーションによりBASEのデータ整合性への影響を評価するシステムを開発した。CPNはきわめて自由度の高いモデリングツールであるため、モデル構造の決定が難しい反面、適切なモデル構造を決定できれば高い汎用性を持つ。今回、様々なアプリケーションやクラウドプラットフォームに対応できるよう、モジュール化・コンポーネント化を追求したモデル構造の同定を行った。

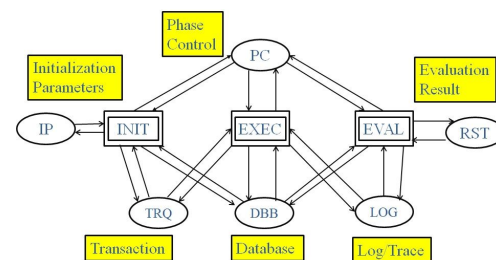


図1. 最上位CPN構造

図1に作成したCPNモデルの最上位階層のものを示す。二重線の方角は代入トランジションと呼ばれるもので、内部に詳細化したCPN構造を含む。本研究ではこれらをモジュールと呼び、“INIT”モジュールがモデル全体の初期化を、“EXEC”モジュールがトランザクション処理の実行とデータ更新を、そして“EVAL”モジュールが実行後のデータ整合性評価を行う。

楕円形はプレースを表すが、代入トランジションに接続されたプレースはソケットと呼ばれ、モジュール間の情報の受け渡しを担う。“IP”プレースにはモデル初期化の情報を含むトークンがマークされ、この情報を基に

“INIT”モジュールは初期化を行う。初期化により、“DBB”プレースにデータベースを表すトークンが、そして“TRQ”プレースに到着トランザクションを表すトークンがマークされる。“PC”プレースはモデル実行時(シミュレーション時)に、実行モジュールを決定するために用いられ、シミュレーションのフェーズに対応する値を持つ、整数型のトークンがマークされる。

各モジュールの内部構造も、アプリケーションやプラットフォームに依存しない構造とし、これらにユニークな特性はすべて、モデル記述言語の CPN ML による関数により表すこととした。これにより、関数を書き換えることで、任意のアプリケーションおよびプラットフォームに対応できることとなる。

CPN はシステムの構造や動作を比較的直接的にモデル化でき、可読性に優れたモデリングツールであるため、大規模なシステムの表現も可能であるが、シミュレーションによる評価は、トランザクション動作の1インスタンスを検証するのみで、完全な整合性保証はできない。

このため、より論理的に厳密な評価を行うため、状態遷移と時相論理に基づくモデル検査も併用する手法を開発した。モデル検査ツールとしては、時間オートマトンを基礎とするUPPAALを使用した。UPPAALは全状態空間の探索によりトランザクション動作のすべての可能性を検証できる。ただし、CPNと異なり、大規模システムのモデル化は、計算資源の観点より、不可能と考えられる。

従って、本研究では、局所的な整合性問題をUPPAALで評価し、大域的トランザクション動作はCPNによるシミュレーションで評価するアプローチを取った。さらに、トランザクションによるデータ更新のロジックを厳密に記述するため、仕様記述言語VDM++を補完的に使用した。

(2). クラウドのパフォーマンス

PaaS はトランザクション処理などの基幹業務を経済的に開発・運用が可能で、アプリケーションの自由度も高いという優れた特性を持つが、内部構造が隠蔽され、必要な性能関連データが公開されないことから、開発段階での性能予測が難しいという問題がある。また、性能予測の影響がオンプレミスに比べ大きいという特徴を持つ。これは、内部構造の隠蔽により運用後のシステム調整(チューニング)、アプリケーションの構造変更およびシステムの構成変更が困難なためである。PaaS 型クラウドはサービス毎に性能に関する条件が異なり、一般化は難しいため、まず代表的な PaaS サービスである Google App Engine (GAE) を対象とした性能予測モデルを構築し、これを他のサービスに展開するための手法を開発するというアプローチを取った。

GAE では内部構造の隠蔽のため、システム構

造に基づくモデルは非現実的と考え、公開されている API の情報とアプリケーション構造に基づくモデル化を行った。モデリングツールは、整合性評価で用いた CPN と UPPAAL を補完的に使用した。

CPN にはトークンに時間属性を持たせ、トランザクションに時間遅延を定義できるため、性能予測モデルの構築が可能である。性能決定要因としては、GAE が提供する API (Application Programming Interface) の平均処理時間とその分散を、API 呼出時のオプションや対象となるデータベースの特性毎に実測により求め、これらを基本パラメタとした。また、リソース競合による待ちをモデルに組み込むため、待ち行列を表現する CPN 構造を同定し、到着時間やサービス時間の確率的分布を CPN ML により関数化した。

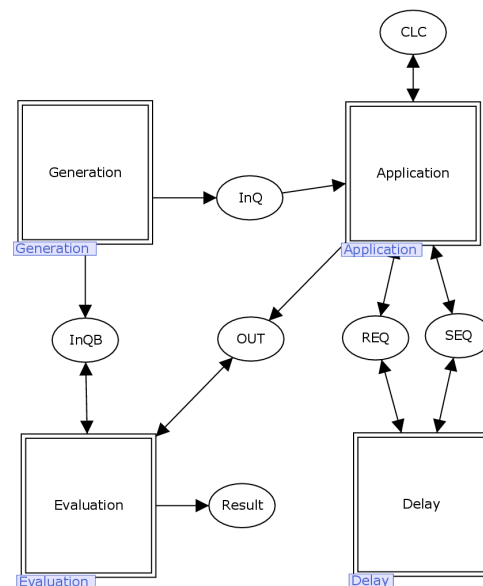


図 2. 性能予測 CPN モデル

図 2 は最上位の GAE 性能予測 CPN モデルであり、各記号の意味は図 1 と同じである。整合性評価モデルと異なり、“Delay”モジュールにより API の遅延を評価し、“Generation”モジュールでトランザクション到着のランダム性をシミュレートする構造となっている。

なお、このモデルは性能予測モデルと共通部分もあるため、最終的に単一 CPN モデルによる、整合性と性能の同時予測を行った。整合性評価の項で述べたように、CPN は大規模システムの動作の1インスタンスをシミュレートすることになるので、ある程度の回数シミュレーションを行わないと統計的に有意な結果を得ることができない。このため、個々のトランザクションについての局所的な性能予測には、全動作の網羅的検証が可能な前述の UPPAAL を併用した。

(3). セキュリティ

PaaS 型クラウドサービスはインターネット上

に展開されるサービスの一種と考えられるため、セキュリティに関しては一般的なインターネットセキュリティの考え方を適用することができる。ただし、トランザクション処理には独自のセキュリティ要件があり、インターネットサービスとしてクラウドが提供するセキュリティ機能に要件が適合するかどうかの判断が必要となる。

本研究では、この問題にも前述の CPN を用いた要件適合評価モデルを構築し、このなかでセキュリティ要件の適合性を評価するというアプローチを取った。

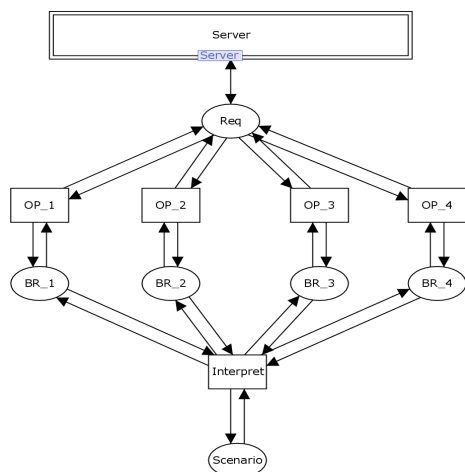


図 3. 要件適合性評価 CPN モデル

図 3 は最上位の適合性評価モデルである。要件及びクラウドが提供する機能は CPN ML の関数として定義され、シミュレーションにより適合性を判断した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

西田 紗知、新川 芳行、A Performance Prediction Model for Google App Engine, Proc. 10th International Conference on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing, 査読有、Vol 1, 2015, pp. 134-140, DOI:10.1109/3PGCIC.2015.9

西田 紗知、新川 芳行、A Performance Prediction Model for Google App Engine Using Colored Petri Net, Communications in Computer and Information Science, 査読有、Vol. 555, 2015, pp. 251-265, DOI:10.1007/978-3-319-25579-8_15

西田 紗知、新川 芳行、A Comprehensive Evaluation Model for BASE Transaction, Proc. 9th International Conference on Software Engineering and Applications, 査読有、Vol. 1, 2014, pp. 393-400, DOI: 10.5220/0005099703930400

西田 紗知、新川 芳行、CPN Based GAE Performance Prediction Framework, Proc. 9th International Conference on Software Engineering and Applications, 査読有、Vol. 1, 2014, pp. 401-406, DOI: 10.5220/0005106004010406

〔学会発表〕(計 5 件)

新川 芳行、単一カラーペトリネットモデルによる Google App Engine データ整合性および性能の同時評価、電子情報通信学会情報ネットワーク研究会、2016 年 3 月 4 日、フェニックス・シーガイア・リゾート(宮崎県・宮崎市)

西田 紗知、UPPAAL による GAE の性能評価、電子情報通信学会ソフトウェアインタプライズモデリング研究会、2015 年 12 月 5 日、東京工芸大学 中野キャンパス、(東京都・中野区)

西田 紗知、クラウドにおけるデータ整合性評価、経営情報学会秋季全国発表大会、2015 年 11 月 28 日、沖縄コンベンションセンター(沖縄県・宜野湾市)

新川 芳行、Data Integrity Evaluation for BASE Transactions, 30th International Conference on Computers and Their Applications(CATA2015), 2015 年 3 月 10 日、ホノルル(米国)

新川 芳行、Requirements Conformance Analysis for the Lift Framework, 30th International Conference on Computers and Their Applications(CATA2015), 2015 年 3 月 10 日、ホノルル(米国)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

新川 芳行(SHINKAWA, Yoshiyuki)
 龍谷大学・理工学部・教授
 研究者番号: 70351343