

## 研究課題別評価

### 1 研究課題名:

Web アプリケーション指向ソフトウェアモデリング

### 2 研究者氏名:

結縁 祥治

### 3 研究のねらい:

本研究では、Web アプリケーションの記述と振舞いを結びつけるソフトウェアモデリング手法の確立を目指した。Web アプリケーションは、従来の計算機プログラムとは以下の2点で大きく異なる。

- (1) 単一の言語で記述されないこと: Web アプリケーションにはさまざまなプログラム言語やスクリプトが混在する。このため、各々のプログラム言語から統合可能な形で相互作用を取り出せるようにする必要がある。
- (2) 制御フローが単一プログラム上で完結しないこと: Web アプリケーションはイベント駆動のメカニズムで実行される。このため、従来の関数的な概念に基づく入出力関係ではモデル化が不十分である。

このような異なったパラダイムのアプリケーション構築の技法に対しては、新たな概念に基づく抽象的ソフトウェアモデリングが必要である。このためのキーとなる概念として、同期イベント通信と振舞い合成に基づいて振舞いモデルを構築する。具体的手法として Milner, Parrow および Walker の  $\pi$  計算に基づいて、Web アプリケーションの動作モデルを開発する。この計算モデルでは Web アプリケーションの記述の構造から直接的に振舞いをモデル化することが可能になる。

数学的な手法に基づいた形式的意味論によるソフトウェアモデリングを行うことで、既存の言語で記述された Web アプリケーションに対してソフトウェアモデルを構築する。形式的意味に基づくことは、並行的に相互作用を及ぼすコンポーネントの振舞いを定式化する上で重要な意味を持つ。逐次的な実行に比べて、並行的な計算では実行状態を正確に把握することが難しいため、形式的意味に基づいてすべての状態をもれなく把握可能なことは基礎的な振舞いの意味づけとして有用な性質である。

このモデリングに基づいて Web アプリケーションに対してソフトウェアとしての信頼性の向上を図る。さらに、振舞いの明確化による振る舞いの安定性の向上のための具体的技法を提案し、実際の構築環境のプロトタイプを示す。

### 4 研究成果:

Web オートマトン: Web アプリケーションの振舞いモデル

Web アプリケーションの振舞いを抽象的に意味づけるためのモデルとして、Web オートマトンを提案した。Web オートマトンは、ページ間遷移を状態遷移とみなす静的な Web システムのモデルである Link オートマトンを MVC<sup>1</sup> にモデルに基づく Web アプリケーションに拡張した振舞いモデルである。本

---

<sup>1</sup> MVC=Model View Control

研究においては MVC アーキテクチャに基づくフレームワークとしてよく用いられている Apache Struts (アパッチ・ストラッツ) フレームワークを抽象的な振舞いモデルとして表現する。Web オートマトンは Web アプリケーションの抽象的な実行の概念を表現する。Web オートマトンの応用として Web アプリケーションのテスト系列の生成手法について研究した。

Struts フレームワークの基本動作の概略は以下の通りである。request チャネルを通して外部から HTTP リクエストを受け取り、ActionForm オブジェクトを作成し、Action オブジェクトを発行する。Action オブジェクトはこの際にデータベースなどのバックエンドのビジネスロジックにアクセスし、Action オブジェクトの結果は ActionForward オブジェクトで返される。その結果を構成ファイル(struts-config.xml) を参照して得られる ActionMapping 記述に従って JSP を発行し、ブラウザなどのクライアントに結果を返す。この Web アプリケーションの振舞いをオートマトンの状態遷移としてモデル化した。

Web オートマトンは  $\langle View, \delta, \iota, iv, Trans, FV \rangle$  という 6 つ組みで表現される。View は JSP によって生成される画面の集合、 $\delta$  は View の各要素を生成する JSP に含まれる変数の集合、 $\iota$  は View の各要素に含まれる変数に成立する条件の集合、 $iv \in View$  は初期ビュー、Trans はビュー間の遷移関係、 $FV \subseteq View$  は最終状態の集合を表す<sup>2</sup>。Web オートマトンは EFA(Extended Finite Automata) の一種であり、URL リクエストによる変数の更新とページ遷移をモデル化する。Web オートマトンにおける View は JSP の変数に代入される値によって無限になる。しかし、遷移のパターンはその構成から本質的には有限であり、状態遷移のパターンによって値を有限的に分類することによって、有限の View によって振舞いを有限的に特徴づけることができる。

Struts フレームワークで構成された図書管理システムの Web オートマトンの遷移グラフを図1に示す。このシステムは、図書データの検索と更新を行う。更新をするためにはあらかじめ登録されたアカウントでログインしなければならない。一回の検索、更新が終了する View を最終状態として定義する。

#### Web オートマトンによるテスト系列生成

Web オートマトンの応用として、Web オートマトンの表す受理系列を Web アプリケーションのテスト系列として有効なテストを生成する手法を提案した。Web オートマトンにループが存在して初期 View から到達可能である場合、Web オートマトンの生成する系列は無限になる。ここで、テストという側面から見ると同じループを回る場合はテストとしてはよく似たテストであるという観測から、ループを回る回数で系列を分類し、Web アプリケーションに対するテスト基準を提案した。通常のテストでは、ループを2回以上回らない系列が用いられる。図1の Web オートマトンの場合のテスト系列の数を表1に示す。ここでループ基準  $T^n$  はループを n 回実行する系列の集合を意味する。

表1: 生成されるテスト系列数

ループ基準	$T^0$	$T^1$	$T^2$
系列の数	9	132	1947

#### 通信プロセスモデルによるモデル化へ

<sup>2</sup> ここで最終状態を定義に含めたのは、このモデルの能力を示すために、テスト系列の生成に応用するためです。通信プロセスモデルとしてモデル化する際には最終状態の区別は本質的に必要ありません。

Web オートマトンのような抽象的な振舞いを Web アプリケーションから直接生成するために、本研究では、Web アプリケーションを表す通信プロセスモデルとして非同期  $\pi$  計算という体系を対象とする。ここでの目的は、Web アプリケーションの振舞いモデルをプログラムから直接生成することである。

MVC のアーキテクチャに基づいてそれぞれの記述ごとに通信プロセス項に翻訳し、そのまま振舞い合成して全体の振舞いを定義する。この変換は以下の手順で行う。

- (1) ビューに対する翻訳: 各 JSP からアンカータグ、リンクタグおよびフォームタグを構文的に抽出し、アンカー、リンク、フォームの各パーツを振舞い合成する。
- (2) モデルに対する翻訳: FormBean をオブジェクトとして変換し、setter メソッドおよび getter メソッドを実装する。
- (3) コントロールに対する翻訳: Action オブジェクトを Struts-config.xml にしたがって変換する。Action オブジェクトは、ビューの中のフォームタグからの通信によって起動され、結果によってビューを起動する。

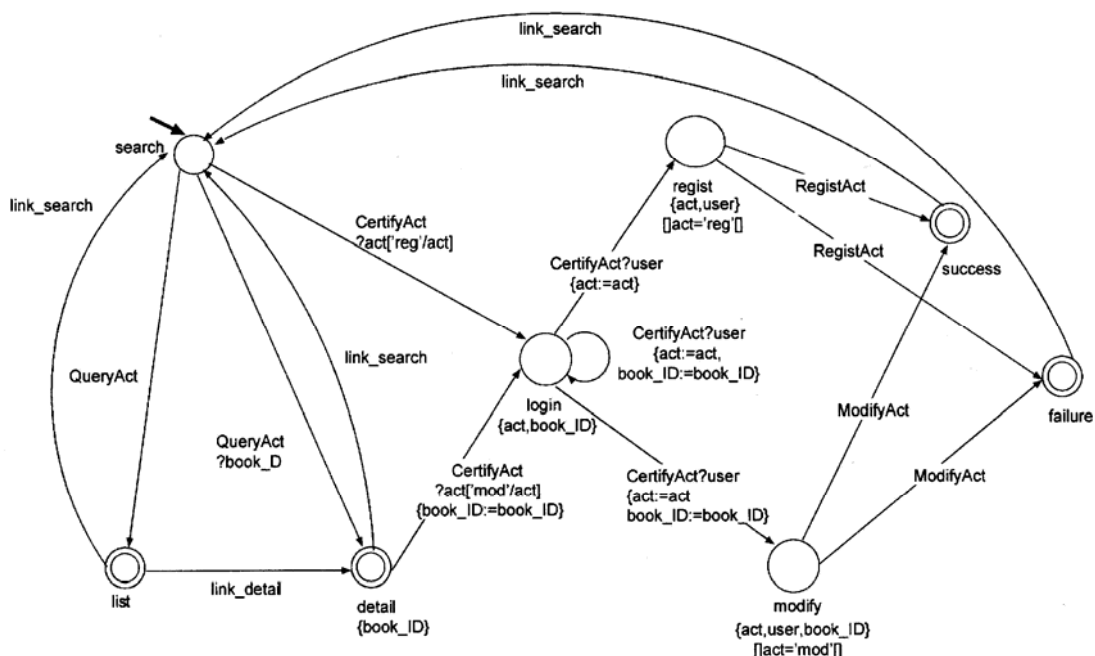


図1 Web オートマトン

それぞれの変換ではコンポーネント単位の Web オートマトンを構成し、非同期  $\pi$  計算の項に変換する。変換ターゲットとして Pierce と Turner によって提案されている非同期  $\pi$  計算言語 Pict による Pict 処理系によって抽象的に実行することができる。

ここでは、ログインページにおけるリンクの振舞い、ページ遷移、データベースとの通信を  $\pi$  計算の同期通信としてモデル化した。さらに、Pict 言語のタイプシステムを用いて、通信内容を表すタイプづけを行った。

## 5 自己評価:

本研究では、Web アプリケーションの持つ特性を通信プロセスの振舞いとしてモデル化することを目標とした。モデル化を通じて Web アプリケーションプログラムが従来のプログラムとは異なるスタイルで記述され、異なった制御メカニズムで動作することを表す基盤を示すことができた。研究開始当初は、Web アプリケーションの構築においてその振舞いが従来のプログラムのモデルでは理解しづらく、ソースプログラム以外の抽象的な上位概念がなければ全体を構成できないという特徴に注目して、より柔軟な通信プロセスモデルを基礎モデルとすれば明確な特徴化ができると考えた。特徴化のアプローチとして最初は通信プロセスモデルのさまざまな振舞い等価性とその等価性に基づく解析手法を研究した。研究を進める過程で、振舞いを表現するには通信プロセスモデルでは細かすぎるために、まず、抽象度の高いオートマトンモデルを中間的モデルとして定義した。これは、当初の研究予定にはなかった視点であった。このモデルをさらにコーディングする過程で、Web アプリケーションの振舞いをチャネルタイプによって特徴づけを行えば当初の目的をよりの確に表現できるという着想に至った。この点について、既存の研究についても詳細なサーベイを行った。Web アプリケーションはプログラムより細かい逐次的実行単位の合成として表現すればよいことが発見でき、その組み合わせにおける制約条件として、タイプ付けが有効であることが発見できた。

全体として、ソフトウェアの解析に対して、Web アプリケーションの進歩が非常に高速であり、基礎的なモデル化がごく一部のフレームワークについてしかできなかった点については課題が残った。本プログラムに基づく代数的な性質およびタイプ情報を利用した解析ツールの実装は引き続き行っていく必要がある。解析の目的として、Web アプリケーションのセキュリティモデルへの応用が有用であると考えている。

## 6 研究総括の見解:

現在の情報システムは、Web システムとして構築されることが多いが、この様なシステムは制御のフローが単一のプログラム上で完結しないことや、さまざまなプログラム言語で記述されことにより、そのテストや解析が困難であることが知られている。結縁氏は、Web アプリケーションの振舞いを抽象的な Web オートマトンとして形式化し、これをもとに高信頼 Web アプリケーションを開発する研究を行った。Web オートマトンの定義、Web オートマトンからのテスト系列の生成、Web オートマトンから非同期  $\pi$  計算への変換、それらの現実システムへの適用の研究を行い、このような形式的方法論が高信頼 Web アプリケーションの開発に有効なことを示したものであり、高く評価できる研究である。

## 7 主な論文等:

### 論文誌

1. Atsushi Mizuno, Ken Mano, Yoshinobu Kawabe, Hiroaki Kuwabara, Shoji Yuen, Kiyoshi Agusa, "Name-passing style GUI Programming in the  $\pi$ -calculus-base language Nepi" Electric Notes of Theoretical Computer Science (Elsevier) , Volume 139 Issue 1, pages 145-168, 2005 (ARTS'04)
2. Mohammad Sharaf Aun, Shoji Yuen, Kiyoshi Agusa, "Towards Assuring Quality Attributes of Client Dynamic Web Applications: Identifying and Addressing the Challenges"

Journal of Web Engineering , Vol.4 , 2005 , pages 144-164

3. Shoji Yuen, Keishi Kato, Kiyoshi Agusa, "Web Automata: A Behavioral Model of Web Applications based on the MVC", コンピュータソフトウェア , 22 巻 , 2005 , pages 44-57
4. Irek Ulidowski, Shoji Yuen, "Process languages with discrete relative time based on the Ordered SOS format and rooted eager bisimulation", The Journal of Logic and Algebraic Programming (Elsevier) , Vol.60-61 , 2004 , pages 401-460
5. 桑原 寛明,結縁 祥治,阿草 清滋, "時間付き  $\pi$  計算によるリアルタイムオブジェクト指向言語の形式的記述", 情報処理学会論文誌 , 45 巻 , 2004 , pages 1498-1507
6. Mohammad Sharaf Aun, Shoji Yuen, Kiyoshi Agusa, "An Approach for Debugging Client Dynamic Web Applications", 情報処理学会論文誌 , 45 巻 , 2004 , pages 2373-2383
7. 渥美紀寿,山本晋一郎,結縁 祥治,阿草清滋, "FCDG に基づいたコーディングパターン", コンピュータソフトウェア , 21 巻 , 2004 , pages 27-36

#### 解説論文

8. 結縁祥治, "通信プロセスモデルと形式意味論に基づくソフトウェアのモデル化", コンピュータソフトウェア , 22 巻 , 2005 , pages 22-43

#### 会議(査読つき)

9. H. Kuwabara, S. Yuen, and K.Agusa, "Congruence properties for a Timed Extension of the  $\pi$ -calculus", in Supplemental Volume of DSN2005, 2005, pages 207-214
10. Atsushi Mizuno, Ken Mano, Yoshinobu Kawabe, Hiroaki Kuwabara, Shoji Yuen, Kiyoshi Agusa, "Name-passing style GUI Programming in the  $\pi$ -calculus-base language Nepi", in Preliminary Proceedings of ARTS2004, Technical Report No.2004/28, 2004, pages49-66
11. S. Yuen, K.Kato, D.Kato, S.Yamamoto, K.Agusa: "Testing Framework for Web Applications based on the MVC model with Behavioral Descriptions", ICITA04, 2004, 11-4:pages 1-6

#### 口頭発表

12. 加藤大樹, 結縁祥治, 阿草清滋, "高信頼性 Web アプリケーションのための振舞い合成手法", 第2回ディペンダブルソフトウェアワークショップ, DSW05, 2005, pages 41-50
13. 桑原寛明, 結縁祥治, 阿草清滋:" $\pi$  計算に対する時間拡張と代数的意味論", ソフトウェア工学の基礎 XI, FOSE2004, 2004, pages 97-108
14. 末次亮, 結縁祥治, 阿草清滋:"時間オートマトンの遷移制約記述に基づく AIBO プログラムスケルトンコードの生成手法", 組込みソフトウェアシンポジウム 2004, 2004, pages126-133
15. 深谷直彦,結縁祥治,阿草清滋, "実行可能なメモリモデルに基づく Java 並行プログラムのモデル検査",ソフトウェア工学の基礎ワークショップ FOSE2003 , 2003 , pages 227-238
16. 桑原寛明, 結縁祥治, 阿草清滋, "時間付き  $\pi$  計算によるリアルタイムオブジェクト指向言語の形式的記述", オブジェクト指向最前線<2003>情報処理学会 OO2003 シンポジウム, 2003, pages

67-73

特 許

1. 特願 2004-165578 “ウィジェット操作方法, 装置, プログラムおよびこのプログラムを記録した記録媒体”, 出願日:平成16年6月3日