

科学研究費補助金研究成果報告書

平成 22 年 6 月 15 日現在

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19300053

研究課題名 (和文) 動的信念変更の定式化とウェブサービスの実時間プランニングへの応用

研究課題名 (英文) Formalization of Dynamic Belief Revision and its Application to Real-time Planning for Web Services

研究代表者

佐藤 健 (SATO KEN)

国立情報学研究所・情報学プリンシプル研究系・教授

研究者番号：00271635

研究成果の概要 (和文): 動的信念変更および投機的計算が可能なウェブサービス連携機構およびその実行過程可視化ツールを開発した。さらに、動的信念変更を持つ投機的なウェブサービスを実現可能とするために、簡易な連携機構を開発した。

研究成果の概要 (英文): We applied our previous model of speculative computation with dynamic belief revision into web-services and developed a visualization tool for execution of speculative web-services. We also developed lightweight web-service synthesis in order to enable speculative synthesized web-services easily.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
2008年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
2009年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
総計	11,300,000	3,390,000	14,690,000

研究分野：人工知能基礎

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：動的信念変更、投機的計算、エージェント、プランニング、ウェブサービス

1. 研究開始当初の背景

信念変更 (belief revision) とは、エージェントが持っている信念と外界から得られた知識が矛盾する場合に、どのように信念を変更すればよいかという研究であり、1985 年頃から AI や論理の分野で研究されてきた。しかし、そのような信念変更の枠組みでは、信念変更と推論は別々なもので、信念変更が終了するまでは推論を開始できない仮定がおか

れている。

これに対して、実際のロボティクス等における推論においては、センサーの情報が推論途中で入力されることもあるため、上のような信念変更ではそのような応用に対処できなかった。さらに、ロボットがあるプランに従って操作を実行する場合、その操作によって副作用が生じるため、信念変更ではそのような副作用まで考慮する必要がある。このよ

うな動的な状況変化に応じた信念変更を動的信念変更と呼ぶ。

本研究の対象である実時間プランニングはまさしくそのような副作用を考慮するプラン変更を想定している。すなわち、最初のプランが何らかの原因で失敗した場合に、その失敗を解析しつつ、当初のゴールを達成するためにプランニングをインクリメンタルに変更していくことを実時間プランニングと定義する。すると、上の動的信念変更の枠組みとうまくマッチするので、動的信念変更の定式化により、実時間プランニングの定式化が可能となると考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、以下の3点である。

- (1) 動的信念変更の定式化および処理手法の開発
- (2) 動的信念変更の実時間プランニングへの応用、とくにウェブサービスへの応用
- (3) 上記応用を通じた動的信念変更手法の効果検証

3. 研究の方法

2007 年度

動的信念変更機構として、外部環境の変化ごとにプランを変更する方法を検討したが、この方法では、アドホックな方法にならざるを得ず、変更方法の表現について複雑度が増すことが判明した。そこで、動的信念変更にかかわる処理手法のとして、外部世界の環境変化に対応した推論を行うための、プランのコンパイル手法の基礎部分についての検討を行い、実装を進めた。具体的には、並列かつ投機的なウェブサービス実行プランが生成された際に、そのプランを具体的に実行するためのエンジン部分のプラットフォームを構築し、具体的ないくつかのシナリオについて、その動作をプロトタイプ作成により確かめた。

2008 年度

動的信念変更にかかわる処理手法として、Kowalski, Sadri らが開発する IFF 手法を用いた外部環境変化の取り込みを検討するための第一歩として、ウェブサービスとその連携

実行プロセスの定式化を行った。この定式化によって、事前の仮定に反することが判明した際のウェブサービス修正の対処可能範囲の明確化を試みた。

2009 年度

動的信念変更に基づくアプリケーションとして、事例に基づくウェブサービスの連携実行プロセスを格納・再利用するための枠組みを構築した。そして、その枠組みの効果を視覚的に確認・検討するための基盤として、連携実行プロセスおよび投機的実行プロセスの可視化を行うための機構を設計し、その動作を確認した。

また、階層構造型のマルチエージェントシステムに動的信念変更に基づくメカニズムを拡張した。今までの枠組みは単体のエージェント内だけの動的信念変更に対応していたが、マルチエージェント上では、あるエージェントの動的信念変更が他エージェントの信念に影響をする場合があるため、そのような場合においても正しく動作するメカニズムが必要である。具体的には、制約論理プログラミングと分散論理プログラミングならびに投機的計算の融合によって、そのような健全な枠組みを開発し、健全性について理論的に証明した。

4. 研究成果

本研究の主な成果は、連携サービスの動的信念に基づく実行モデルとその可視化機構の提案および事例の一般化に基づくウェブサービスの再利用および連携機構の開発である。以下詳述する。

4.1 連携サービスの動的信念に基づく実行モデルの提案およびその可視化

連携したウェブサービスに対して動的信念変更を実行する機構を開発した。これは以前に提案した投機的計算のモデルに基づき、ウェブサービスで動的信念変更を可能にしたものである。

図1に、「気が利く」エージェントによる投機的ホテル予約とその整合性保持を含んだシナリオを選択した場合の、シナリオ実行のためのパラメータ入力画面を示す。このよう



図 1: シナリオ実行のための入力画面例

に、シナリオとして記述した文章中で可変となるパラメータの部分がそのまま穴抜きとなり、パラメータを入力可能となっている。また、そこに入力すべき値やそのフォーマットが直感的にわかりやすくなるように、シナリオ例で用いられた値がそのまま初期値として画面上に表示される。

このパラメータを好みの形式に改変してから、下にある「シナリオの実行」ボタンを押下することで、本シナリオを実際に行わせることができる。

シナリオ実行時には、ユーザからの補足情報の入力が必要となる場合がある。それは主に、特定のサービス実行にあたって必要なデータで、その特定の情報がウェブ上からはうまく検索できない場合や、その精度が十分ではなく、ユーザによる確認を必要とする場合である。図 2 では、出発地である国立情報学研究所からの最寄り駅とそこまでの移動時間の入力を求めている。ここで、たとえば竹橋駅にあるコーヒー店のコーヒー価格が高価であるので、神保町の駅前にあるなじみのコーヒー店に立ち寄ってから移動したいという場合には、駅名を神保町に変更し、徒歩でかかる時間を若干多めに指定することで、そのようなプランに変更することも可能となる。ここで登録された情報は、他のシナリオ実行時に内部で参照され、必要に応じて再利用される。

図 3 に、出発地から目的地までの列車乗り



図 2: 必要な補助パラメータ入力を求める画面例



図 3: サービス実行時の投機的並行検索の例

換え検索結果の提示例を示す。このシナリオでは、目的値に到着が若干遅くなくても移動が楽になるプランがあれば、それを提示するようになっている。本システムの投機的実行機構が、目的値までの通常の列車乗り換え検索と同時に投機的に目的値までの楽な乗り換えが可能な時間帯の検索を行い、通常の乗り換え検索結果に割り込ませる形で、見つかった新たな乗り換え経路の存在を示唆する表示を行っている。

図 4 は、目的地で予約をしたいホテルの選択画面である。この画面上ではユーザには特に追加的な情報が提示されないが、ユーザが普段よく利用する「いつもの大阪」という名前のホテルがすでに投機的実行によって予



図 4: 投機的実行による実行が覆される場合の例

約されている。しかしながら、この画面例のように、普段はあまりない特別価格での宿泊プランなどが存在する場合がある。その場合には、ユーザはその特別価格プランを選択することもでき、その選択に応じてシナリオ制御機構が投機的実行による副作用を削除する方向で整合性の確保が行われる。(具体的には、ここで指定した特別価格プランの「大阪ホテル」が予約され、「いつもの大阪」ホテルの予約は解約される。)これが、我々のいう、動的信念変更のメカニズムである。

図 5 は、これらの過程を経て最終的に得られた結果の表示画面を示す。画面サイズの関係で一部見ることができないが、画面下の方などで他のホテル予約等の情報も参照可能となっている。

これらのサービス連携シナリオを合成ウェブサービスとして実行するための過程は、投機的実行が含まれる場合は特に複雑となるため、その動作が効果的に機能しているかどうかをデモンストレーションおよび監視できるようにするために、図 6 に示すようなシステムコンポーネント間の通信ログを表示できるトレーサを開発した。ここでは、各コンポーネント・サービス間の通信状況および、サービスの実行状況が、ほぼ時系列順に閲覧できるようになっている。投機的実行に伴う並列実行部分については、ログを記録した際の順序で提示され、必ずしも厳密に正しい



図 5: 最終的な実行結果の提示例

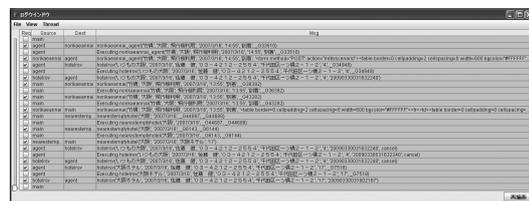


図 6: トレーサによる実行ログの提示画面の例

ものとはならないが、各問い合わせの結果がどのように反映されていくかが、メッセージ内容からある程度追跡できるようになっているため、厳密なデバッグが必要な場面を除いて、システムの挙動を捕らえることに利用できる。

このトレーサは、詳細な時系列順序での実行状況の把握には有効であるが、サービス間の連携関係などの広がりを見視的に確認するには不向きな場面もある。そこで、各コンポーネント・サービス間での通信の様子を観察するために特化したモニタを開発し、コラボレーション状況モニタを、図 7 のように提示できるようにした。このモニタは、ほぼリアルタイムにコンポーネント・サービス間での通信関係を表示できるほか、先の実行ログトレーサ画面でトレースすべき基準時をスライダで動かすことにより、特定の時点でのコンポーネント・サービス間の通信関係を表示により確認することができる。

また、時系列の実行の順序関係に着目し

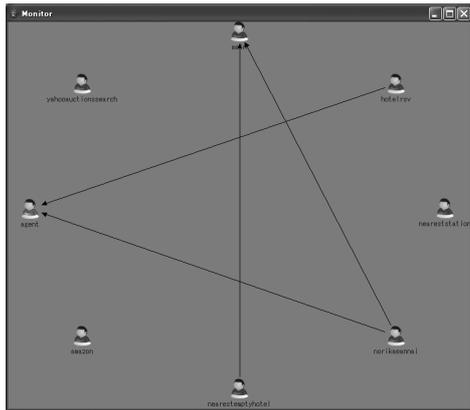


図 7: コンポーネント・サービス間でのコラボレーションチャート表示例

た動作モニタのために、図 8 に示すシーケンスチャート表示の機能も開発した。図の表示形式は UML のシーケンスチャートを模した形式となっている。先のコラボレーションチャート表示と同様に、リアルタイムでのシステムの動作の監視が可能のほか、ログトレサ画面での基準時調整により、任意時点での通信や動作の様子をログに基づいて表示することができる。

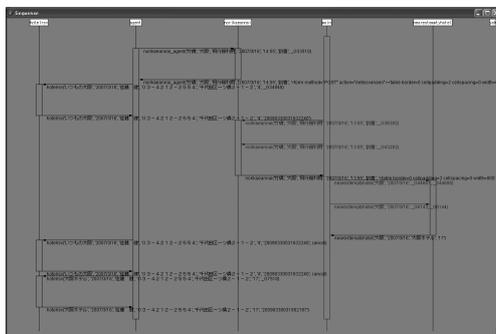


図 8: コンポーネント・サービス間通信のシーケンスチャート表示の例

4.2 事例の一般化に基づくウェブサービスの再利用および連携機構の開発

動的信念変更を用いた外部世界の環境変化に対応した推論を行う、並列かつ投機的なウェブサービス実行プランを実現可能とするためには、複雑な連携機構を作らねばならないように一見考えられる。しかし、本研究で



図 9: サービス連携シナリオの作成手順 (一般形)

は、ある範囲の連携について、以下で示す簡易な連携機構を開発し、複雑なものではないことを示した。具体的には、いくつかのプランについて、ひな形となるようなシナリオが提供され、それらの中から一般化できる部分をうまく共通化・再利用していくことで、ウェブサービスの連携を可能にしている。

本システムでは、主要な実装機能として、ウェブサービス連携シナリオの新規登録、およびシナリオの検索・実行機能を、ユーザから直接利用できる 2 つの大きな柱としている。図 9 に、本プロトタイプシステムにおけるサービス連携シナリオの作成手順の一般形を示す。シナリオは、図にあるような特定の具体的なタスク遂行におけるサービス連携の様子を記述したものである。シナリオは、そのシナリオの説明文とタスクの記述の 2 つの部分から構成される。これらを並記した形でシステムに入力すると、システム側でシナリオの説明とタスクの記述間での共起文字列などの関係から、タスクの記述中におけるシナリオ固有の値を変数として抽出する。たとえば、「3月16日に」とある部分がシナリオの説明およびタスクの記述の双方にあれば、その部分が変数が可能な箇所の候補として識別される。それらの一致関係を用いて、タスクの記述中にある特定のタスク遂行に固有の値が入った部分を変数化し、他のタスク遂行にも適用可能な程度に一般化されたタスクの記



図 10: サービス連携シナリオ間での一般化の例

述を生成する。ここで生成されたタスクの記述をさらに必要に応じて改変し、再利用可能なシナリオとしてシステムに蓄積する。

シナリオを単に蓄積していだけでは、同様の内容を扱う類似したシナリオが無秩序に蓄積されてしまう。そこで、本システムでは、新たに入力されるシナリオと過去のシナリオとの共通部分を一般化していくことで、シナリオの再利用性を高めることを狙う。図 10 は、過去に入力されたタスク・シナリオをもとに新たなシナリオおよびタスクの記述を作成し、その共通部分を一般化させる例である。この場合では、列車・飛行機乗り継ぎ検索と思われるサービス 2 つを一般化して 1 つにまとめ、その両者を条件に応じて使い分けられるような記述に改めている。

登録されたウェブサービスは、その簡単な説明文が付与され、そのうちの 1 つを選択することで、実際にその合成ウェブサービスを実行することができる。ここで用意しているシナリオとしては、最も単純に 1 度だけウェブサービスを呼び出すような、サービス

連携を伴わないもの（ヤフーオークションの結果を表示する）、2 つのサービスを組み合わせるシナリオ（アマゾンで検索してからオークションで購入）、複雑なサービスの組み合わせから実現されるシナリオ（出張先への乗り換え経路検索、ホテル予約と、それに連動した天気および食事先の検索）、投機的処理の初歩的な動作として必要となるサービス連携プロセスに並列処理を伴うもの（乗り換え経路検索とホテル空室検索の並列検索）および、投機的実行機構が効果的に働く場面を想定したシナリオ（「気が利く」エージェントによる投機的ホテル予約とその整合性保持）が登録してある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

- ① Naoki Fukuta, Ken Satoh, Takahira Yamaguchi, Towards “Kiga-kiku” Services on Speculative Computation, Lecture Notes on Artificial Intelligence (Springer), 5345, 2008, 256-267
- ② Hiroshi Hosobe, Ken Satoh, Philippe Codognet, Agent-Based Speculative Constraint Processing, IEICE Transactions on Information and Systems, E90-D(9), 2007, 1354-1362

〔学会発表〕(計 2 件)

- ① Hiroshi Hosobe, Ken Satoh, Jiefei Ma, Alessandra Russo, and Krysia Broda, Speculative Constraint Processing for Hierarchical Agents, Proc. of European Workshop on Multi-Agent Systems, 2009
- ② Jiefei Ma, Alessandra Russo, Krysia Broda, Hiroshi Hosobe and Ken Satoh, On the Implementation of Speculative Constraint Processing, Proc. of 10th International Workshop on Computational Logic in Multi-Agent Systems, 2009, 105-120

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 健 (SATO KEN)

国立情報学研究所・情報学プリンシプル
研究系・教授

研究者番号：00271635

(2) 研究分担者

福田 直樹 (FUKUTA NAOKI)

静岡大学・情報学部・助教

研究者番号：30345805