

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 30 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2012～2016

課題番号：24220002

研究課題名(和文) マルチエージェントモデルに基づく持続可能な言語サービス基盤の世界展開

研究課題名(英文) World-Wide Sustainable Language Service Infrastructure Based on Multi-Agent Model

研究代表者

石田 亨 (Ishida, Toru)

京都大学・情報学研究科・教授

研究者番号：20252489

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 167,600,000円

研究成果の概要(和文)：持続可能な世界規模の多言語サービス基盤の確立に向け、(1)継続的に不誠実な提供者の参加を抑制し高品質なサービス提供を促すインセンティブ維持メカニズムの考案、(2)世界各地の運営組織が集積した言語サービスを共有し利用目的に応じて言語サービスを自己組織的に合成する手法の考案、(3)アジア4拠点(京都、バンコク、ジャカルタ、ウルムチ)の運営センターの相互接続および欧米の主要大学・研究機関が開発する言語サービス基盤との世界的な連携体制の整備、を行った。本研究の成果をオープンソースとして公開するとともに、サービス基盤の運営を行うNPO法人を発足させ、プロジェクト終了後も継続して社会貢献を行っている。

研究成果の概要(英文)：To realize the world-wide sustainable language service infrastructure, we tackled the following themes: (1) we proposed a mechanism that restrains participation of unfaithful service providers and prompts providers to provide high quality services; (2) we enabled sharing of language services that are gathered by each operation center around the world, and proposed a self-organization method that automatically combines language services according to the purpose of use; and (3) we connected four operation centers in Asia (Kyoto, Bangkok, Jakarta, Urumqi), and realized the global cooperation among the language service infrastructures that have been developed by universities or research institutes in Europe and USA. A part of the accomplishments of this research is released as open source software. We also established non-profit organization that operates the service infrastructure and will continue to make social contributions.

研究分野：人工知能

キーワード：ウェブインテリジェンス サービスコンピューティング マルチエージェント サービス基盤 インセンティブ設計 自己組織化 言語サービスオントロジー 異文化コラボレーション

1. 研究開始当初の背景

「言語の壁」は、世界がそして特に日本が典型的に持つ問題である。我々は 2006 年から 5 年をかけて、言語資源をサービスとして共有し連携させる多言語サービス基盤「言語グリッド」の研究開発と運用を進めてきた。本研究を開始する 2012 年時点で、17 カ国 144 組織が参加し、140 を超える言語サービスが、翻訳、対訳辞書、用例対訳など 20 種のサービスタイプに分類され共有された。この間、「言語資源から言語サービスへ」という言語グリッドの方向性は、世界中の言語資源研究者の間で共有されるに至っている。言語グリッドを用いた異文化コラボレーションの研究が行われ、多くの学術論文が出版されるようになった。また、国際 NPO 法人の活動など、実際のフィールドでも利用されるようになり、言語グリッドの提案は、学術的な面からも、社会貢献の面からも実績を上げてきた。しかしながら、その持続可能性は十分とは言えない。

2. 研究の目的

本研究では、言語サービス(辞書、構文解析、機械翻訳など)を集積する「言語グリッド」を世界に展開し、国際的かつ持続可能な言語サービス基盤を確立することを目的とする。そのためには、まず、言語サービスが持続的に集積されるよう、(1)言語サービス提供のためのインセンティブ設計が必要である。また、各組織が独立に集積した言語サービスを共有できるよう、(2)言語サービス基盤の連邦制運営のための制度設計が必要である。さらに、言語サービス基盤の世界展開には、(3)アジアにおける連邦制運営を実現し、欧米の主要大学・研究機関と連携するための汎用的な言語サービスのオントロジー設計が必要となる。

3. 研究の方法

本研究は、新規のアイデアを科学的に検証する統制実験(ラボ)と、実世界での継続した実証システム開発(フィールド)とを並行して行い、フィールドでの問題をラボで理論的に解明し、ラボで得られた研究成果を随時フィールドに適用していく。フィールドとしては、実運用されている言語グリッドを用いると共に、NPO 法人と連携して実証サイトを開設し維持する。ラボとしては、商用のクラウドソーシングを統制実験環境として活用すると共に、複雑なネットワークのシミュレーションを行うためのマルチエージェントシミュレーション環境を構築する。研究成果は、言語資源、サービスコンピューティング、マルチエージェントシステムの各分野で発表し、世界と連携して技術蓄積を図る。

4. 研究成果

本研究では、(1)言語サービス提供のためのインセンティブ設計、(2)連邦制運営のた

めの制度設計、(3)言語グリッドの世界展開、の三つの課題に取り組んだ。さらに、(4)世界規模の言語サービス基盤が実現した際の有用性検証や、発生する問題の分析などを行うための異文化コラボレーション研究を行った。以下、それぞれの課題について、得られた主な成果と、その国内外における位置づけとインパクト、および今後の展望について述べる。

(1)言語サービス提供のインセンティブ設計 研究の主な成果

持続可能な言語サービスの提供を目指し、経済的・社会的・道徳的インセンティブの全てを考慮したインセンティブ維持メカニズムを考案した。これは、多くのユーザが言語サービス(用例対訳など)の改善を行う場面で、迅速さと品質の高さ双方の充足を目指すものである。具体的には、成果報酬方式を用いた金銭報酬志向かつ不誠実な提供者の参加を抑制するメカニズムと、強化学習を用いた適切なインセンティブの探索によってボランティア志向提供者の参加を促すメカニズムを考案した。このメカニズムを、言語資源研究を行う自然言語処理の研究コミュニティが利用することで、ユーザからのサービス提供が促進される。

また、高品質なサービスの提供を促すインセンティブ促進メカニズムを考案した。これは、複数のサービス提供者が協働して言語サービスの提供を行う場合、例えば、文書校正において、発見・修正・検証の各作業を異なるサービス提供者が担当する場合に、各サービス提供者への動的報酬配分によって最終成果物の品質を最大化するものである。これにより、高品質なサービスの持続的な提供を維持する仕組みを提案した。

国内外における位置づけとインパクト

言語サービス提供のためのインセンティブ設計の学術的価値の一つは、クラウドに対する品質管理手法としてインセンティブ設計アプローチの有効性を示した点にある。言語資源獲得のためにクラウドソーシングを用いることは一般的になってきている。しかし、その品質管理において従来研究の多くは機械学習アプローチに基づく事後的処理であるのに対し、本研究では事前処理(不誠実請負者の参加抑制)を実現した点に特長がある。学術的価値のもう一つは、インセンティブ設計におけるデータドリブンアプローチの有効性を示した点にある。従来アプローチでは、種々のインセンティブの普遍的性質の獲得を試みてきたのに対し、本研究では状況に応じたインセンティブの発見に問題を変換し解決した点に特長がある。人工知能学会誌でのクラウドソーシングに関する解説特集の中でインセンティブ設計アプローチに関する論文を発表するなど、本アプローチの拡大に努めている。

今後の展望

インセンティブ設計の高次化に取り組む。一つは実時間への対応である。多言語会議で実時間字幕生成を行うといった場合でも適切なインセンティブ設計が可能となるよう、本成果を拡張する。もう一つはインセンティブの組合せ（インセンティブ・ミックス）への対応である。本研究では金銭志向、ボランティア志向といった参加者の特徴づけを行ったが、実際にはインセンティブは複合的に作用する。そのような提供者の想定のもとで、適切なインセンティブ設計が可能となるよう、本成果を拡張する。

(2)連邦制運営のための制度設計

研究の主な成果

これまでの言語グリッドの運営経験から、運営組織が京都にあるだけでは、世界中の言語サービスを集積することは困難であることが分かっている。世界中に言語サービス基盤の運営組織が多数生まれ、それらが独立に言語サービスを集積し、連携し、共有する連邦制の運営が必要である。そのために必要とされる機能の開発を行うとともに、柔軟かつ頑健な連邦制運営を可能とするよう、運営組織間の取り決めや簡明な利用規約などの制度設計を進めた。また、集積した言語サービスを活用するには、複数のサービスを組み合わせる新たな機能を持った複合サービスを作成するサービス合成が不可欠となる。そのため、集積した多種多様なサービスを柔軟に組み合わせるための仕組みの提案と、実際に現実的な課題に対して適用する際に生じる問題の分析、およびマルチエージェント技術の導入により QoS を考慮しつつ自動的にサービス合成を行う機構の開発を行った。

具体的には、まず、世界各地の運営組織が運営する言語サービス基盤を連携し、集積した言語サービスを共有する連邦制運営メカニズムを考案した。この手法では、言語サービスの利用・提供における認証・認可を所属する運営組織に委譲することで、サービスの提供コストを削減する。さらに P2P 型の情報共有により、運営組織同士の連携を中央制御なしに実現し、実際の連邦制運営に適用した。

次に、連邦制運営で集積される、対応言語や品質などが異なる多様なサービスから、適切なサービスを自動的に選択して合成する、サービス合成の自己組織化を考案した。まず、サービスの組み合わせについて階層的な記述を導入し、記述に基づいて実行時にサービス合成を行う仕組みを実装し、実際の連邦制運営に適用して少ないオーバーヘッドでサービス合成可能であることを確認した。さらに、サービスを自動的に合成するため、マルチエージェント技術を用いて自律的にタスクの分解・再構成およびサービス選択を行う仕組みを導入し、実際に言語グリッド上のサービスを用いて実用的な時間とメモリ消費でサービス合成を行えることを確認した。加

えて、様々な運営組織が有するサービスが停止した場合の影響を明らかにするため、言語グリッドのサービスの呼び出し記録を用いて、サービス停止に伴う障害の連鎖によるサービス提供への影響を分析し、スケールフリーネットワークが障害の連鎖に対して最も頑健であることを明らかにした。

国内外における位置づけとインパクト

連邦制運営のための制度設計に関する取り組みは、主にサービスコンピューティング分野へ貢献するものである。本研究の成果を、サービスコンピューティング分野のトップカンファレンスである SCC において、2015 年は 4 件、2016 年は 2 件発表しており、内 1 件は Best paper award を獲得するとともに、IEEE Transactions on Services Computing にも採択されている。さらにこれらは、サービスコンピューティング分野と IoT (Internet of Things) の接点となる領域を切り拓く成果を含んでいる。例えば、サービスネットワークにおける障害の連鎖とネットワークポロジの関係分析の知見は、IoT 時代の理想的なネットワークについて考察するものであり、IEEE Internet of Things Journal に採択されている。具体的には、従来の研究が障害時の代替サービスへの適応に焦点を当てていたのに対して、本研究では代替サービスが少ない場合に、サービスネットワークのスケールフリー性が障害の連鎖を抑えるために重要であることを指摘している。近年サービス間の依存度が増しており、2013 年の AmazonEC2 における障害発生を契機に、それを利用する Instagram や Netflix などの大手のサービスが連鎖的に停止するなどの問題が生じている。今後更にサービス間の依存度が複雑化する IoT 時代に向けて、本研究のインパクトが増すことが予想される。

今後の展望

これらの研究はシミュレーションを経て言語グリッドへの実装の段階に移行していく予定である。また、サービスコンピューティング分野からの IoT へのアプローチをより発展させて継続していく予定である。具体的には、サービスの連携により構成される IoS (Internet of Services) と IoT を融合させさせる IoS+IoT に取り組む。これに関連して、IoT 機器連携の論文を 2016 年 12 月に IEEE WF-IoT で発表するなど、徐々に成果が出始めている。

(3)言語グリッドの世界展開

研究の主な成果

世界規模の言語サービス基盤実現の第一歩として、アジアにおいて、京都、バンコク、ジャカルタ、ウルムチの 4 拠点に設立した運営センターを開設し、相互接続することで、アジアにおける言語グリッドの連邦制運営

を実現した。さらに、既存の言語資源を組み合わせることで言語資源を生成する技術を考案し、低資源言語の多いアジアでの連邦制運営を増強した。その結果、登録サービス数が研究開始時の約2倍(229言語サービス)に増加した。第二段階として、アジアで連邦制運営を行う言語グリッドと、欧米の主要大学・研究機関が開発する言語サービス基盤の世界的な連携体制を整備した。異なる言語サービス基盤を相互接続するため、言語資源協会LDC及びELRAと連携して作成した規約に沿ったオープン言語グリッドを開発し、インタフェースや、サービス管理の規約上の整合をとった。実際に、アメリカのサービス基盤と言語グリッドの接続を実現している。

さらに、多国籍企業のWebコンテンツの地域間共有状況など、これまでに行った世界規模の言語サービス基盤実現の効果を評価し、欧州、アジア太平洋、中東アフリカ間で頻繁なコンテンツ共有が図られていることを明らかにした。これは欧米の運営組織の連携により、コンテンツ共有のための多言語サービスを効率的に構築できることを示している。

国内外における位置づけとインパクト

言語グリッドの世界展開のインパクトは、以下の二点である。まず、欧米では米国LDCや欧州ELRAといった言語資源協会が言語資源の共有をトップダウンに進めてきたのに対し、連邦制運営により京都(京都大学)、バンコク(NECTEC)、ジャカルタ(インドネシア大学)、ウルムチ(新疆大学)の各言語グリッドが相互接続し、多くの言語が存在するアジアでアジアワイドなサービスネットワークをボトムアップに構築する体制を築いた点である。これにより、東南・中央アジアの96言語サービスを含む225言語サービス(申請時の約2倍)を集積し、欧米に対してプレゼンスを示すことに成功している。

もう一つは、欧米の言語サービス研究者による世界的かつ異分野横断の連携体制を確立した点である。欧米の研究プロジェクトは自然言語処理の研究者が中心であり、言語ごとの特徴を考慮して言語資源を記述するためのメタデータや、言語資源に付与されるアノテーションの語彙の決定に多くの時間を費やしており、特にEU内のコミュニティ形成やビジョン作成、標準仕様設計に主眼を置いている。一方で、我々アジアの言語グリッドプロジェクトは、計算機科学の研究者が中心であり、システムの改良と提供が主眼である。このような研究分野、研究文化の違いを埋めるため、言語サービス基盤の国際ワークショップを2013年より毎年開催し、欧米の研究機関(NECTEC、インドネシア大学、新疆大学、ブランダイス大学、ヴァッサー大学、CNR、CELI、ポーランド日本情報工科大学、ELRA、モンゴル大学)に対し言語グリッドの技術トレーニングを開催するなど、情報

共有や人材育成を通じて欧米の言語サービス研究者と密な連携をとれる体制を確立している。

今後の展望

欧米の運営組織と今後も持続的な協議を進め、各運営組織で所有するオープン言語グリッドを用いた世界規模の連邦制運営を開始する予定である。2017年5月時点で、MOUの締結や技術トレーニングなどは完了しており、運用開始の目途は立っている。

(4) 異文化コラボレーション

研究の主な成果

世界規模で連邦接続される言語サービス基盤の有用性検証や、発生する新たな問題の分析などを行うため、多くの異文化コラボレーション研究を行った。例えば、翻訳サービスの構築において、翻訳結果を提示するだけでなく、対話によって翻訳品質を向上させる翻訳エージェントを考案し、従来の翻訳サービスと比較して、共同作業を達成するために必要なメッセージの交換回数を21%削減することに成功した。また、リアルタイムの多言語理解の研究にも取り組み、機械翻訳を用いた字幕提示における異言語音声の理解について分析した。この研究では、機械翻訳の品質が低い場合は、生成した自動字幕が非母語話者の理解を妨げ、新たな問題を生じることが明らかにしており、機械翻訳などの多言語サービスを組み合わせる際の設計原理に重要な知見を与えている。

研究室実験だけでなく、異文化コラボレーションの現場に言語グリッドを適用したフィールド実験も毎年行っている。具体的には、国際活動を行っている非営利団体(NPO法人パンゲア)と連携して、2014年8月、2015年8月、2016年8月に、京都大学で開催された世界の子供たちの異文化交流ワークショップ KISSY(Kyoto Intercultural Summer School for Youths)に言語グリッドを用いた多言語BBSと多言語チャットを提供し、日本、韓国、アメリカ、カンボジア、ケニア、オーストリアの子供たちのコミュニケーションを支援した。また、このようなフィールドでの多言語コミュニケーション支援のために、言語グリッド上の不特定のユーザが利用可能な言語サービスとスマートフォン端末上の個人ユーザのみ利用可能な商用の言語サービスを個人端末上で組み合わせるシステム「Language Mashup」を開発した。さらに、国際シンポジウムなどにおける講演を複数の入力者による協調入力によって書き起こし、言語グリッドを通してリアルタイムに翻訳・多言語化するシステムを開発した。実際に2015年7月に京都で約1,000人(内外国人200名以上)が参加する国際的なイベント Y's Men International に適用し、講演の多言語支援を行っている。

国内外における位置づけとインパクト
異文化コラボレーション研究のインパクトは、主に研究室実験だけでなく実際に国際NPO 法人などと連携しながら研究成果の社会実装を行い、研究成果を直接社会に還元している点である。特に、NPO 法人パンゲアと共催している KISSY については 2014 年から三年連続で開催しているが、2014 年度 23 名、2015 年度 28 名、2016 年度 35 名と毎年参加者数が増え続けており、社会からの評価が高い。

また、学術的には、異文化コラボレーション研究について、国内の異文化コラボレーションの研究者が情報交換できるよう、本研究の研究分担者らが中心となって異文化コラボレーション研究会を毎年開催しており、国内における異文化コラボレーション研究の中心的なコミュニティとして機能している。

今後の展望

本研究成果を用いた異文化コラボレーションの現場での社会貢献を研究終了後も持続させるため、2016 年 12 月に特定非営利活動法人言語グリッドアソシエーションを発足させており、今後も継続的にフィールドでの実証研究を行っていく予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 30 件)

Mai Xuan Trang, Yohei Murakami, and Toru Ishida. Policy-Aware Service Composition: Predicting Parallel Execution Performance of Composite Services. IEEE Transactions on Services Computing, Vol. 10, No. 6, 2017, 査読有, DOI: 10.1109/TSC.2015.2467330. (in press)

Kemas Lhaksana, Yohei Murakami, and Toru Ishida. Analysis of Large-Scale Service Network Tolerance to Cascading Failure. IEEE Internet of Things Journal, Vol. 3, Issue 6, pp. 1159-1170, 2016, 査読有, DOI: 10.1109/JIOT.2016.2564678.

Amit Pariyar, Yohei Murakami, Donghui Lin, and Toru Ishida. Information Sharing Among Countries: A Perspective from Country-Specific Websites in Global Brands. Journal of Information and Knowledge Management, Vol. 15, No. 2, 1650013, 26 pages, 2016, 査読有, DOI: <http://dx.doi.org/10.1142/S0219649216500131>.

Mairidan Wushouer, Donghui Lin, Toru Ishida, and Katsutoshi Hirayama. A Constraint Approach to Pivot-based

Bilingual Dictionary Induction. ACM Transactions on Asian and Low-Resource Language Information Processing, Vol. 15, No. 1, Article 4, January 2016, 査読有, DOI: 10.1145/2723144.

Arif Bramantoro, Ahlem Ben Hassine, Shigeo Matsubara, and Toru Ishida. Multilevel Analysis for Agent-Based Service Composition. Journal of Web Engineering, 14(1&2), pp. 63-79, 2015, 査読有, <https://pdfs.semanticscholar.org/4fbf/ff7994d21999cba4cee7b487396ebd7721cc.pdf>.

Shigeo Matsubara and Meile Wang. Preventing Participation of Insincere Workers in Crowdsourcing by Using Pay-for-Performance Payments. IEICE Transaction, Vol. E97-D, No. 9, pp. 2415-2422, 2014, 査読有, DOI: 10.1587/transinf.2013EDP7441.

Donghui Lin, Toru Ishida, Yohei Murakami, and Masahiro Tanaka. QoS Analysis for Service Composition by Human and Web Services. IEICE Transactions, Vol. E97-D, No. 4, pp. 762-769, 2014, 査読有, DOI: 10.1587/transinf.E97.D.762.

Chunqi Shi, Toru Ishida, and Donghui Lin. Translation Agent: A New Metaphor for Machine Translation. New Generation Computing, Vol. 32, No. 2, pp. 163-186, 2014, 査読有, DOI: 10.1007/s00354-014-0204-0.

[学会発表](計 65 件)

Masayuki Otani, Toru Ishida, Yohei Murakami, and Takao Nakaguchi. Event Management for Simultaneous Actions in the Internet of Things. IEEE 3rd World Forum on Internet of Things (WF-IoT), pp.64-69, Reston(USA), 2016.12.12.

Xun Cao, Naomi Yamashita, and Toru Ishida. Investigating the Impact of Automated Transcripts on Non-Native Speakers' Listening Comprehension. ACM International Conference on Multimodal Interaction (ICMI 2016), pp. 121-128, Tokyo, 2016.11.13.

Shinsuke Goto, Toru Ishida, and Donghui Lin. Understanding Crowdsourcing Workflow: Modeling and Optimizing Interactive and Parallel Processes. AAAI Conference on Human Computation and Crowdsourcing (AAAI HCOMP 2016), Austin(USA), 2016.11.02.

Toru Ishida. Intercultural Collaboration: A Brief History. International Conference on Principle

and Practices in Multi-Agent Systems (PRIMA 2016), pp. 3-19, invited paper, Phuket(THAILAND), 2016.8.22.

Takao Nakaguchi, Yohei Murakami, Donghui Lin, and Toru Ishida. Higher-Order Functions for Modeling Hierarchical Service Bindings. IEEE International Conference on Services Computing (SCC 2016), pp. 798-803, San Francisco(USA), 2016.06.27.

Mai Xuan Trang, Yohei Murakami, and Toru Ishida. Policy-Aware Optimization of Parallel Execution of Composite Services. 2015 IEEE 12th International Conference on Services Computing (SCC2015), New York(USA), 2015.06.29. Best Paper Award.

〔図書〕(計7件)

Yohei Murakami and Donghui Lin (Eds.), Worldwide Language Service Infrastructure. Lecture Notes in Artificial Intelligence, 9442, 201 pages, Springer, 2016, ISBN 978-3-319-31467-9.

〔その他〕

言語グリッドポータルサイト
<http://langrid.org/>

サービスグリッド
オープンソースプロジェクト
<http://langrid.org/oss-project/jp/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

石田 亨 (ISHIDA, Toru)
京都大学・情報学研究科・教授
研究者番号：20252489

(2)研究分担者

松原 繁夫 (MATSUBARA, Shigeo)
京都大学・情報学研究科・准教授
研究者番号：80396118

村上 陽平 (MURAKAMI, Yohei)
京都大学・学際融合教育推進センター・特定准教授
研究者番号：00435786

林 冬恵 (LIN, Donghui)
京都大学・情報学研究科・助教
研究者番号：90534131

井佐原 均 (ISAHARA, Hitoshi)
豊橋技術科学大学・情報メディア基盤センター・教授
研究者番号：20358881

吉野 孝 (YOSHINO, Takashi)
和歌山大学・システム工学部・教授
研究者番号：90274860

菱山 玲子 (HISHIYAMA, Reiko)
早稲田大学・理工学術院・教授
研究者番号：70411030

服部 宏充 (HATTORI, Hiromitsu)
京都大学・情報学研究科・助教
研究者番号：70411030

稲葉 利江子 (INABA, Rieko)
京都大学・情報学研究科・講師
研究者番号：90370098

(3)連携研究者

KINNY, David
京都大学・情報学研究科・特定准教授
研究者番号：90584053

中島 悠 (NAKAJIMA, Yuu)
東邦大学・理学部情報科学科・講師
研究者番号：50554979

高玉 圭樹 (TAKADAMA, Keiki)
電気通信大学・情報理工学研究科・教授
研究者番号：20345367

(4)研究協力者

森 由美子 (MORI, Yumiko)
特定非営利活動法人パンゲア・理事長

高崎 俊之 (TAKASAKI, Toshiyuki)
特定非営利活動法人パンゲア・副理事長