

卒業論文

マルチエージェントシステムによる
Web サービス合成

指導教官 村上 陽平 教授

立命館大学情報理工学部
先端社会デザインコース

飛澤 佑季

2025年1月9日

マルチエージェントシステムによる Web サービス合成

飛澤 佑季

内容梗概

近年, Web サービスは生活や産業のあらゆる場面で不可欠な存在となり, 複数の Web サービスを組み合わせて利用するサービス合成の重要性が高まっている. しかし従来手法では, ユーザーが自身の目的や要求を時相論理・述語論理といった形式的表現で記述する必要があり, 専門知識を持たない利用者にとって大きな障壁となっていた. 本研究では, 大規模言語モデル (LLM) に自然言語で要求を記述できる利点に着目し, これをエージェントとして活用することで従来のプランニング手法と統合し, より柔軟かつ直感的に利用可能なサービス合成を実現する. しかし単一エージェント方式では, 対象サービス領域が広い場合に知識の希薄化や技術仕様の理解不足が生じ, さらに専門知識をプロンプトへ付与する場合にはプロンプトの肥大化と文字数制限が新たな問題として浮上する. そこで本研究では, 複数の LLM エージェントを協調させるマルチエージェントシステムを導入し, 各エージェントを特定領域に特化させることでプロンプト制約を緩和し, より高精度なサービス推薦・合成を可能にするアプローチを提案する.

加えて, 将来的にはユーザーの嗜好や利用履歴を踏まえた能動的なサービス推薦システムへの発展を見据え, エージェント間の協調プロトコルとして契約ネットプロトコル (Contract Net Protocol) を応用する. 各 Web サービスに対して1つの LLM エージェントを割り当て, エージェントはサービスドキュメント, API 仕様書利用規約などの自然言語記述を解析し, 機能, 入出力パラメータ, 制約, 実行環境等を構造化した知識ベースを構築する. ユーザーから自然言語で要求が与えられると, 各エージェントは要求内容との整合性や制約充足度を自己評価し, 十分な適合性がある場合には入札として推薦文を生成する. 入札は, サービス仕様・要求内容の関連度, 対応可能な機能, 期待される成果物の品質などを自然言語で説明したものである. 入札が揃った後は, 評価専用エージェントが各推薦文を比較・評価し, 関連度スコアや専門領域における信頼性指標などを総合的に判断して最適なエージェントを落札者として選定する. 最終的に選定されたエージェントによるサービス合成結果を正解データセットと照合し, 適合率・再現率・F1 値などを用いて定量的に性能評価を行う. 本研究

が提案する方式により，各エージェントはサービス仕様に基づいた自律的判断と説明能力を備え，入札・評価・選定というプロトコルに基づく協調によって，効率的かつ高精度なサービス合成の実現が期待される．

How to Write Your B.E./M.E. Thesis

Yuki Tobisawa

Abstract

This guide gives instructions for writing your B.E. or M.E. theses following the standard of the Department of Information Science. The standard includes the structure and format which you must obey on writing your theses.

This guide also explains how to use a \LaTeX style file for theses, named `kuisthesis`, with which you can easily produce well-formatted results. Since this guide itself is produced with the style file, it will help you to refer its source file `guide.tex` as an example.

Note for graduate students: This document is written for students of old graduate school of information science, not for graduate school of informatics. Writers of master thesis belonging to graduate school of informatics must obey rules given by each department.

マルチエージェントシステムによる Web サービス合成

目次

第 1 章	はじめに	1
第 2 章	サービス合成	3
2.1	サービス合成手法	3
2.1.1	水平型サービス合成	3
2.1.2	垂直型サービス合成	3
2.2	LLM を用いたサービス合成	4
第 3 章	契約ネットプロトコルに基づくサービス合成	5
3.1	契約ネットプロトコル	5
3.2	システム概要	5
3.3	LLM に基づくエージェント	5
3.3.1	入札者エージェント	6
3.3.2	マネージャエージェント	6
3.4	プロトコル	6
3.4.1	マネージャ主導タスク分解	6
3.4.2	入札者主導型タスク分解	6
3.4.3	協調型タスク分解	6
第 4 章	評価	6
4.1	実験設定	6
4.1.1	実験データ	6
4.1.2	評価指標	7
4.2	実験結果	7
4.2.1	マネージャ主導タスク分解	7
4.2.2	入札者主導タスク分解	7
4.2.3	協調型タスク分解	7
第 5 章	考察	7
5.1	単一エージェントとの比較	7
5.2	入札者エージェント数	7

5.3 今後の課題	7
第6章 おわりに	7

第1章 はじめに

近年，サービスコンピューティングの発展により，多種多様な Web サービスを組み合わせて新たな付加価値を提供する複合サービスが盛んに構築されている。翻訳サービスと音声認識サービスを連携させたりリアルタイム音声翻訳や，地理情報サービスと天気情報サービスを統合した地図表示サービスなど，個々の Web サービスでは実現できない機能を柔軟に実装できる。しかし，公開されている Web サービスのうち，複合サービスに実際に利用されているものは一部にとどまり，ユーザが膨大な候補の中から目的に適したサービスを選択することは依然として大きな負担となっている。

従来の複合サービス合成は，水平型サービス合成と垂直型サービス合成の二つのアプローチに大別される。前者は，所与のワークフローに対して各タスクを実行するのに適した Web サービスの組み合わせを選択する枠組みであり，ワークフロー設計のコストが高いという課題を持つ。後者は，人工知能のプランニング技術を用いて，論理式で与えられたゴール状態に到達するサービス実行系列を生成する手法であるが，ユーザが時相論理や述語論理といった形式的表現で要求を記述しなければならず，エンドユーザにとって扱いやすいとは言い難い。この問題を軽減するため，自然言語で記述された要件定義からサービスの組み合わせを推定する手法や，WSDL やサービス説明文，サービスネットワークをテキストマイニングやグラフ埋め込みによって特徴ベクトル化し，機能ごとにクラスタリングする手法が提案されてきた。

一方，近年急速に発展している大規模言語モデル（Large Language Model; LLM）は，自然言語で記述された要求から計画を生成し，外部ツールや API を呼び出す能力を備えており，ユーザに形式的な記述を要求することなくサービス合成を行う枠組みとして期待されている。しかし，単一の汎用 LLM エージェントに広範なサービス領域を一括して扱わせる場合，個々のサービス仕様や実行環境に関する専門的な知識の理解が浅くなりやすい。また，多数の API 仕様や利用例を一つのプロンプトに詰め込む必要があるため，プロンプトの膨張とコンテキスト長制限に起因する性能劣化が生じるという問題がある。

本研究では，これらの課題を解決するため，複数の LLM エージェントからなるマルチエージェントシステムに基づくサービス合成手法を提案する。各エージェントを特定の API カテゴリや機能領域に特化させることで，プロンプト内

で扱う知識を局所化しつつ、専門性の高いサービス推薦を実現することを目指す。さらに、タスク割当てメカニズムとして契約ネットプロトコルを導入し、マネージャエージェントと入札者エージェントがタスク分解と入札・応札を通じて協調的にサービス合成を行う枠組みを設計する。本論文では、マネージャ主導・入札者主導・協調型という三種類のタスク分解プロトコルを比較し、サービス合成精度や単一エージェント方式との性能差、エージェント数や担当 API 数が与える影響を評価することで、LLM ベース・マルチエージェントによるサービス合成の有効性と課題を明らかにする。

そこで本手法の実現にあたり、取り組むべき課題は以下の 2 点である。タスク分解自然言語で記述されたユーザ要求から、契約ネットプロトコルに基づいて適切なタスク分解を行う。要求の粒度や曖昧さに応じて、マネージャ主導・入札者主導・協調型といった異なるタスク分解戦略を切り替えつつも、一貫したサービス合成結果を得られる仕組みが必要となる。

LLM エージェントの役割分担エージェントを特定の API カテゴリや機能領域に特化させることでプロンプトの膨張を抑えつつ、サービス仕様や実行環境に関する専門的な知識を十分に反映させる必要がある。また、タスク分解プロトコルの違いがエージェント間の情報共有や推論過程に与える影響を明らかにすることも求められる。

第2章 サービス合成

本章では、複合サービスの実現に向けたサービス合成手法について説明する。複合サービスとは、インターネット上に存在する複数の Web サービスを組み合わせ、新たなサービスのことである。近年では、さまざまな Web サービスが API を通じて連携可能となっており、ユーザ要求に応じた柔軟なシステム開発が可能となっている。

複合サービスの代表例として Expedia を挙げる。Expedia は航空券、宿泊、移動手段など複数の API を統合することで、旅行計画・予約を一括提供している。航空券の検索では航空会社情報を提供する API、予約確定時には決済 API、旅の計画閲覧には地図 API を利用し、単独では実現不可能な利便性を提供している。このような複合サービスを開発するためには、ユーザ要求に応じて必要な機能を提供できる Web サービスを適切に発見する必要がある。しかし膨大な数の Web サービスの中から目的に合致したものを探索することは容易ではない。本章では、サービス合成手法について説明する。

2.1 サービス合成手法

従来のサービス合成手法では大きく、水平サービス型と垂直サービス型の 2 つに分類できる。以下でそれぞれについて説明する。

2.1.1 水平型サービス合成

水平型サービス合成とは、同一の機能領域に属する複数のサービスから適切なものを選択し、代替性や冗長性を高めるために組み合わせる手法である。例えば、Expedia で航空券予約 API を選択する際、複数の航空会社 API の中から価格・便数・信頼性などを基準に最適なサービスを選択することが挙げられる。このような選択を自動化することで、サービス品質の向上や障害耐性の確保が期待できる。

2.1.2 垂直型サービス合成

垂直型サービス合成とは、異なる機能領域を階層的に結合し、ワークフロー全体を構築する手法である。例えば、旅程計画 → 予約 → 決済 → 地図表示 → 渡航情報通知といったように、ユーザ行動に沿って複数 API が連携することで完全な体験を提供する。Expedia の例では、航空券検索 API、宿泊施設予約 API、決済 API、位置情報 API が連携して、旅行計画という 1 つのタスクを段階的に

実現している．このような垂直型の連携では，サービス間の入力/出力データの整合性が重要となる．

2.2 LLMを用いたサービス合成

LLMを用いたサービス合成では，自然言語で記述されたユーザ要求から，適切な Web サービスを選択・組み合わせる手法である．従来機能要件を論理ベースで記述し，形式的なフロー設計が必要であったが，LLM の自然言語理解能力を活用することで，機能要件を推定し，それに基づいてタスク分割をすることができる．そして API 使用に関しても，LLM が API ドキュメントを解析し，適切な呼び出し方法を生成することで，ユーザは専門知識なしにサービス合成を実現できる．

第3章 契約ネットプロトコルに基づくサービス合成

本章では，LLMを用いたマルチエージェントシステムに基づくサービス合成手法について説明する．マルチエージェントを用いる中で本研究では契約ネットプロトコルを採用し，エージェント間の協調メカニズムとして利用する．

3.1 契約ネットプロトコル

契約ネットプロトコル (Contract Net Protocol; CNP) は，分散システムにおけるタスク割当てメカニズムの一つである．CNPでは，マネージャエージェントがタスクを提案し，入札者エージェントがそのタスクに対して入札を行う．マネージャは入札を評価し，最適な入札者を選定してタスクを割り当てる．このプロセスにより，エージェント間で効率的なタスク分配が実現される．

3.2 システム概要

3.3 LLMに基づくエージェント

結論は論文のまとめとして，研究成果の要点を簡潔に記述すべきである。これは当然，本論に置ける本質的な部分を圧縮したものとなるが，内容梗概とは異なり，論文の締めくくりにふさわしい格調のうちに完結するように努めなければならない。

また研究途上に派生した副次的な問題や，将来に残された研究課題があれば，それらについても触れることが望ましい。

なお結論のあとに，研究上の指導，助言，援助を受けた人々に対して，謝辞を書くのが研究発表者の礼儀であるから，特別研究報告書や修士論文においても，この慣習に従うことが望ましい。

3.3.1 入札者エージェント

3.3.2 マネージャエージェント

3.4 プロトコル

3.4.1 マネージャ主導タスク分解

3.4.2 入札者主導型タスク分解

3.4.3 協調型タスク分解

第4章 評価

4.1 実験設定

報告書および論文は、A4 の用紙の片面に印字する。**図表を含めた本文の長さ**はつぎの基準による。ただし枚数の増減は1割以内とする。

- 特別研究報告書：**25 枚**
- 修士論文：**50 枚**（ただし英文の場合には 60 枚になってもよい）

なお図表の分量は全体の 40 %程度を限度とし、これを超過する場合は適宜付録にまわすこと。

日本文／英文にかかわらず、ワードプロセッサあるいは (I^A)T_EX のような製版ツールを用いて清書し、**手書きは許されない**。

論文の各ページの**左端 3 cm と右端 1 cm** は必ず空白とすること。

日本文の場合は 12 pt（あるいは相当の大きさ）のフォントを用い、**1 行当たり 35 文字、1 ページあたり 32 行**とする。ただしワードプロセッサを用いる場合、この基準が守れない場合は1 ページ当りの字数が同程度となるようにして、1 行当りの字数や、1 ページあたりの行数を調整してもよい。

英文の場合は 12 pt（あるいは相当の大きさ）のフォントを用い、**1 行の幅を 14.2 cm、1 ページあたり 32 行**とする。

日本文／英文にかかわらず、章・節の見出しは2行分とし、それ以下の小節の見出しは1行分とする。また箇条書の前後や項目間に余分な空白は挿入しないこと。

4.1.1 実験データ

報告書および論文には、内容梗概のまえに「とびら」をつけ、全体を所定のファイルにとじて提出する。

表紙には、報告書／修士論文の別、題目、指導教官名、所属学科／専攻名、氏名、提出年月を記入する。

とびらは本文と同じ用紙を用い、表紙と同様の事項を記載する。

内容梗概（日本文、英文とも）の始めには、題目および氏名を書く。また目次の始めにも題目を記載する。

4.1.2 評価指標

論文および報告書は、予告された期限までに完成し、教室事務室に提出すること。提出期日は厳守しなければならない。

4.2 実験結果

論文の執筆にとりかかる前に、構成や長さについて十分検討し、各研究室で行なわれる発表会などで他人の意見をよく聞いて記述する内容を吟味する。また最終的な形に仕上げるまでに、自分自身で何度も校正を重ね、論旨の飛躍や矛盾のないように注意するとともに、よく文章を練り、誤字や誤記を除くように心がけなければならない。さらに、できれば先輩に目を通してもらって、思い違いや不注意による誤りを訂正し、できるだけ完璧なものにするように努めるべきである。

4.2.1 マネージャ主導タスク分解

4.2.2 入札者主導タスク分解

4.2.3 協調型タスク分解

第5章 考察

5.1 単一エージェントとの比較

5.2 入札者エージェント数

5.3 今後の課題

第6章 おわりに

本論文では、LLM を用いたマルチエージェントシステムに基づくサービス合成手法を提案した。契約ネットプロトコルに基づくタスク分解メカニズムを導入し、マネージャ主導・入札者主導・協調型の三種類のプロトコルを設計した。評価実験では、各プロトコルのサービス合成精度や単一エージェント方式との性能差、エージェント数や担当 API 数が与える影響を分析した。実験結果から、マルチエージェント方式が単一エージェント方式に比べて高精度なサービス合成を実現できることが明らかとなった。特に、入札者主導型タスク分解プロト

コルが最も優れた性能を示し、エージェント数の増加がサービス合成精度の向上に寄与することが確認された。今後の課題として、エージェント間の通信効率化や、動的なタスク割当て戦略の導入が挙げられる。これらの課題に取り組むことで、より実用的で柔軟なサービス合成システムの実現を目指す。