

Title	研究支援アシスタントインタフェース: 複数の学術論文からの研究トピックのトップダウン知識概要の自動生成
Author(s)	李, 勁宏
Citation	
Issue Date	2025-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	ETD
URL	http://hdl.handle.net/10119/19920
Rights	
Description	Supervisor: 長谷川 忍, 先端科学技術研究科, 博士

氏 名	LI Jinghong		
学 位 の 種 類	博士（情報科学）		
学 位 記 番 号	博情第 542 号		
学 位 授 与 年 月 日	令和 7 年 3 月 21 日		
論 文 題 目	A research survey assistant interface: An automatic generation of Top-down knowledge overviews for research topic from multiple academic papers		
論 文 審 査 委 員	長谷川 忍	北陸先端科学技術大学院大学	教授
	NGUYEN Minh Le	同	教授
	井之上 直也	同	准教授
	白井 清昭	同	准教授
	中村 勝一	福島大学	教授

論文の内容の要旨

Starting research requires understanding field trends through lectures, seminars, and paper surveys. However, novice researchers often struggle to apply this knowledge practically, especially in connecting concepts logically and analyzing them from multiple perspectives. The rapid advancement of information science has increased the need for self-study, but extracting key information from numerous papers remains challenging for newcomers lacking experience. To address this, novice researchers need a top-down approach that guides them from broad overview to detailed exploration. This study develops a research survey assistant interface that provides both broad perspective and detailed insights, helping novice researchers explore topics more systematically. The system consists of five main components spanning from data construction to interface development:

Phase 1 - Object Recognition from Scientific Document based on Compartment & Text Blocks Refinement Framework (CTBR) for infrastructure data generation: Efficient information extraction from scientific documents is crucial for digital ecosystems, especially in research surveys. While current methods use either rule-based (**RB**) or machine learning (**ML**) approaches, both have limitations - **RB** methods require extensive coding for complex layouts, while **ML** methods need costly annotations. Popular datasets like *S2orc* and *Unarxiv* often contain mixed content that disrupts text continuity, affecting semantic analysis accuracy. From the perspective of analyzing the standard layout and typesetting used in the specified publication, we propose **CTBR**, a framework that classifies text blocks and uses rule-based compartment segmentation for generating high-purity infrastructure data. These results automatically feed into further processing as foundational of research survey assistant interface.

Phase 2 - Gain a bird-eyes view on a specific research topic: Novice researchers struggle with understanding multiple academic papers and grasping research fundamentals. Traditional keyword-based knowledge graphs and **ChatGPT** have limitations for novice researchers who lack field expertise to formulate effective queries. This subsystem addresses these challenges by providing a *fish-bone* diagram with causal relationships, offering a research topic overview. Built using issue ontology from academic papers, it presents a broad perspective based on relevance and logical factors. The system guides researchers through a structured route (research topic → task → issue ontology →

corresponding articles) that forms the basis for detailed data mining. These components then feed into subsequent research insight phases.

Phase 3 - Hierarchical Tree-structured Knowledge Graph for Academic Insight Survey: The *fish-bone* diagram alone cannot effectively track temporal patterns across multiple articles. Novice researchers, particularly those inexperienced with longitudinal research, struggle to quickly understand logical connections between research tasks. While knowledge graphs (KG) and paper recommendations could help this processing, current solutions have limitations such as navigation knowledge graphs rely too heavily on keywords, making hierarchical relationships of inheritance and relevance unclear, while recommendation systems based on text similarity don't explain why articles are related. This subsystem addresses these challenges by creating a hierarchical *tree-structured knowledge graph* that shows longitudinal inheritance and relevance relationships between academic papers on specific research topics.

Phase 4 - A Viewpoints Refinement diff-table System for Cross-sectional Insight Surveys: While longitudinal insights are valuable, they may not fully capture similarities and differences across articles. Our cross-sectional insight survey addresses this by comparing article groups based on expert-defined attributes. Current systems rarely highlight such comparisons effectively, making it challenging for beginners to grasp the logical connections between research concepts. Therefore, this subsystem enhances difference extraction between related articles through Cross-sectional Insight Surveys, expanding the *tree-structured knowledge graph*. It generates a concise *diff-table* based on expert consensus viewpoints, using templated prompts to create abstractive summaries for each table cell.

Phase5 - Research Survey Supporting Interface: We integrate knowledge graph outputs from **Phases 2-4** into an intuitive UI display that helps researchers better understand survey logistics and navigate information. The interface lets users explore different survey routes aligned with their interests and objectives. By presenting a clear survey overview to novice researchers, it serves as a 'learn how to learn' module and research support tool for graduate students.

Keywords: Top-down, Research survey, Infrastructure data, Academic articles, Automatic summarization, Knowledge graph, Bird-eyes view, Longitudinal insight, Cross-sectional insight, Interface.

論文審査の結果の要旨

本論文は、研究初学者が研究分野を体系的に理解し、学術論文から得られた知識を効率的に整理するための論文サーベイ支援インターフェースの開発について述べたものである。経験の浅い研究初学者にとって、論文サーベイを通じて研究分野のトレンドを把握することは重要であるが、多数の論文から得られた知識を論理的に結びつけ、多角的に分析することは容易ではない。こうした課題を解決するために、この研究では、研究初学者が新たな研究分野を体系的に探求することを容易にし、広い視野から詳細な調査へと導くトップダウンアプローチの論文サーベイモデルに基づき、以下の5つのコンポーネントから構成される研究支援インターフェースを提案している。(1) 複雑なレイアウトを持つ学術論文からルールベースと機械学習を組み合わせ高品質なデータを自動的に抽出する CTBR (Compartment & Text Blocks Refinement) フレームワーク、(2) オントロジーに基づく研究分野の全体像を把握可能な Fishborn ダイアグラム、(3) 学術論文間の継承関係と関連性

に基づき研究タスクの間の論理的なつながりの理解を支援する階層的なツリー構造の知識グラフ、
(4) 専門家が定義した属性に基づいて論文グループを比較し抽象要約を生成することで、論文間の差異を横断的に把握することを支援する diff-table、(5) 上記のコンポーネントを統合して、論文サーベイのプロセスを包括的に支援する直感的な UI を提供する論文サーベイ支援インターフェース。

CTBR フレームワークに関しては、従来のルールベースや機械学習ベースの手法と比較してより高精度なオブジェクト認識精度を達成した。特に、複雑な図や連続する表の検出において既存手法より高い性能を示した。また、大学院生による提案インターフェースの利用調査から、研究分野の全体像を把握して学術論文から得られた知識を体系的に整理するツールとして機能すること、研究分野に含まれる研究トピック間の因果関係が視覚的に表現できること、支援インターフェースが高い満足度で受け入れられたことなどが示された。

以上、本論文は、研究初学者を対象にしたトップダウン型論文サーベイ支援インターフェースの開発について述べたものであり、インフラデータの自動構築、トップダウン型サーベイモデルの定義と実装、自動要約技術の実世界応用の観点から、学術的に貢献するところが大きい。よって博士（情報科学）の学位論文として十分価値あるものと認めた。