

LLM を用いた研究アイデア発想における ネットワーク構造に基づく研究代表者選定

中村 仁^{1,2} 広田 航³ 上田 佳祐^{2,4} 石垣 達也²

¹ 大阪大学 大学院情報科学研究科 ² 産業技術総合研究所 人工知能研究センター

³ ストックマーク株式会社 ⁴ EPFL

jin.nakamura@ist.osaka-u.ac.jp

概要

研究アイデア発想タスクは、新たな言語生成課題として注目されている。既存研究では、研究者ペルソナを付与した複数 LLM が、研究代表者 (PI) の下でチームを形成し議論する枠組みが提案されている。PI の選定は従来、無作為に行われており実社会の PI 選定と乖離している。本研究では、共著ネットワーク上でより多くの研究者と繋がる中心性の高い人物を PI として選定する、PageRank [1] に基づく PI 選定手法を提案する。実験より、PageRank 上位から PI 選定するアイデア生成手法ではアイデアの新規性と影響力に関する評価スコアが 24.9% 向上を確認した。本結果は、大規模言語モデルから得られる言語知識のみならずネットワーク構造の活用が研究アイデア生成に有効であることを示すものである。

1 はじめに

大規模言語モデル (LLM) の飛躍的な性能向上に伴い、文献調査から仮説立案、実験計画に至る科学的発見のプロセスを自動化する AI for Science が注目されている [2, 3]。中でも、専門知識を持つ複数の LLM エージェントが議論を通じて新たな研究アイデアについて発想する「研究アイデア生成」の研究が活発である [4, 5, 6]。

既存のアイデア発想手法では、LLM にペルソナを与え実在の研究者を再現する手法 [6, 4]、研究者エージェントの数や議論ターン数の最適化 [5] といった、プロンプトや議論デザインの改善など「どのようにアイデアを発想するか」に主眼が置かれている。一方、現実の科学コミュニティにおいては、研究テーマの新規性や影響力は「だれがアイデアを発想するのか」にも影響を受ける。例えば、研究成果は研究者のネットワーク上の位置 (誰と繋がり、

どのような情報の結節点にいるか) に強く依存するという Burt らの報告 [7] や「弱い紐帯」と呼ばれる他分野の人々と関係の重要性 [8] が指摘されている。我々は研究アイデア発想システムにおいても、人間同士の関係性を導入することでより高品質な研究アイデア生成が可能になると考える [4]。

そこで、本研究では「他分野の研究者との広範なつながりを持つ研究者を研究代表者 (PI) とすることで、多様な知見が結合し、新規性の高い研究アイデアが創出される」という仮説に基づき、新たなアイデア生成手法を提案する。この仮説に基づき、学術ネットワーク上のトポロジー情報をエージェント選定に導入する。具体的には、グラフ理論の概念である「中心性」に着目する。これは、共著ネットワークにおいて多くの研究者を結びつける位置にいる研究者を定量化する手法である。中心性を定量化する手法の中でも特に代表的な PageRank [1] を用い、ネットワークのハブとなる研究者を PI として選択する。

実験より、共著ネットワークの中心的な位置にいる研究者が PI を務め議論を主導する仮想的なチーム編成を行うと、自動生成アイデアの新規性と影響力を評価するスコア [4] において 24.9% 高まることを確認した。本稿は、言語処理技術による研究アイデア発想タスクにおいて、LLM の持つ言語的な知識だけでなく、科学コミュニティのネットワーク構造を考慮することの重要性を示唆するものである。

2 関連研究

研究アイデア発想の研究は、単一 LLM を用いた手法 [2] から始まり、ペルソナ定義により研究者を模倣した複数のエージェント同士が議論するマルチエージェント手法へと拡張されている [4, 5, 6]。マルチエージェント手法では、仮想的なチーム編成が

行われ、その後、エージェント同士の議論により最終的なアイデアを記述する。本研究は特に、もっとも最初の処理で後段に影響を与えるチーム編成における「研究代表者 (PI) 選定」処理に着目する。

自然言語処理の分野外では、特に社会ネットワークに関する研究において個人のネットワーク上の位置が人々の創造性に与える影響が報告されている。Granovetter [8] は「弱い紐帯の強さ」を提唱し、親密ではないが多様なコミュニティを繋ぐ関係 (弱い紐帯) が、通常知り得ない貴重な情報の獲得において重要であると主張している。また、Burt [7] は「構造的空隙」の概念を用いて、異なるクラスタ間の橋渡し役となる位置にいる人物ほど、多様な情報源にアクセスでき、結果として新規性の高いアイデアを生み出しやすいことを実証した。これらの知見は、ネットワーク上で中心的な位置を占める研究者が、異分野の知識を結合させる機会を多く持ち、より斬新な研究アイデアを発想できる可能性を示唆する。

3 既存手法

本研究は既存手法 [4] に共著ネットワーク構造を考慮する PI 選定機構を追加する。この既存手法では、実在する研究者のプロフィールや過去に執筆した論文のタイトルや抄録を LLM のペルソナとして設定することで、研究者を模倣した LLM を構築する。図 1 に示すように、既存手法は以下の手順で新たな研究アイデアについての説明を記述する：

1. **PI 選定**：研究者集合から PI をランダムに選出する。
2. **チーム形成**：PI との共著回数に基づき共同研究者候補をサンプリングし、PI の属性と過去の執筆論文情報を含む招待用プロンプトを送信する。承諾した候補者をメンバーに追加し、所定のチームサイズに達するまで繰り返す。
3. **トピック議論**：PI はメンバーから 1 名を選出し研究するトピックを提案させる。他のメンバーが批判や新たな提案を事前定義した回数繰り返し、PI が最終的に研究対象とするトピックを決定し説明テキストを記述する。
4. **文献調査**：PI の記述した説明テキストをクエリに用いて科学文献を検索し収集する。
5. **アイデア生成**：収集文献を基にメンバー 1 名が研究アイデアを記述し、別メンバーが批判または新規案を提示する。このやり取りを所定回数繰り返してアイデアを精緻化する。

6. **新規性評価**：生成されたアイデアをメンバーが評価し投票しランキングを付ける。
7. **抄録生成**：上位のアイデアを抄録として出力する。

既存手法では PI 選定はランダムに行われ、乱数を変更し何度も試行することで大量の研究アイデアを収集することができる。本研究では、PI 選定の手順に着目し、PageRank による PI 選定によりランダム選定よりも新規性とインパクトの大きな研究アイデアを得ることを目指す。

4 提案手法

提案手法は図 1 の処理手順における PI 選定において共著ネットワークを活用する。具体的には共著データからの共著ネットワークの構築、PageRank の計算による中心性の高い研究者の発見、PI 候補集合の作成を行う。

4.1 前処理

まず共著ネットワークの構築について説明する。既存研究 [4] においても同じネットワークを構築しており、PI 選定ではなく招待状を送るメンバーの選定に使用している。 $C \in \mathbb{R}^{N \times N}$ を共著回数行列とし、 $C_{i,j}$ は研究者 i, j の共著回数を表す。 $\tilde{C}_{i,j} = C_{i,j} + 1 (i \neq j)$ と 1 を足すことで平滑化し 0 となる要素がなくなるよう配慮する。平滑化により後述するチームメンバーの招待において、共著回数が 0 の研究者も含まれわずかなランダム性を持たせるようにする。また、後に説明するチームメンバーの招待において自分自身をチームに含める問題を避けるため $\tilde{C}_{i,i} = 0$ (全ての i) とする。これらの処理で得た \tilde{C} は、後段のメンバー招待時の優先度計算に用いる。

4.2 中心性計算

次に C を重みとして PageRank を計算し、中心性の高い順に並べ替える。共著関係を持つ研究者同士 ($C_{i,j} \geq 1$) を辺とする無向重み付きグラフ上で PageRank を計算する。 $w(i,j) = C_{i,j}$ を辺重みとし、 $d = 0.85$ を一般的な値の減衰係数として採用した。

PageRank スコアの降順に研究者を並べ、同点の研究者はランダムに順位を決定する。各試行では、PageRank 上位の研究者集合から PI を一様ランダムに 1 名選択し、複数回の試行を繰り返すことで異なるアイデアを生成する。本研究では PI 候補集合を



図1 Suらによる [4] 研究アイデア生成手法の処理手順. 提案手法はPI 選定において共著ネットワークを活用する.

PageRank 上位 2%, 25%, 50%のいずれかに設定し, その割合のみを条件として比較する.

4.3 メンバー招待

後段のメンバー選定の処理において, 研究者集合からメンバーが 1 名選択され PI の属性や過去の執筆論文についての情報が記載されたプロンプトが与えられ, 研究プロジェクトに参加するか否かの判断を仰ぐ. m をメンバー, l を PI としたとき, メンバー m が l によって選定される確率は, $\tilde{C}_{l,m}$ を重みとして正規化した分布に従う: $P(m | l) = \frac{\tilde{C}_{l,m}}{\sum_{m' \neq l} \tilde{C}_{l,m'}}$. これにより, PI との共著回数が多い相手ほど選ばれやすい一方で, 未共著者も確率が 0 にならずメンバーに含まれる可能性を残す. 招待と許諾を仰ぐ処理を事前定義した人数が集まるまで繰り返しチームメンバーを形成する. その後, 既存手法と同じ手法で LLM 同士を議論させ最終的なアイデアとして抄録を出力する.

5 実験

5.1 実験設定

LLM には llama3.1-8b¹⁾ を使用し, AgentScope + Ollama で実装した. 埋め込みには intfloat/e5-large-v2 (1024 次元)²⁾ を用いた. 比較手法として, 1) PageRank を用いないベースライン手法「VIRSCI」[4] に加え, 2) PageRank の上位 2%, 3) 25%および 4) 50%と増やした提案手法を用いる. 実験では乱

数シードを変えて 100 回の試行を行い, 各手法につき 100 件の生成抄録 a を得て評価する. ここでは, PageRank 上位の研究者を PI として選択する設定がより良いアイデア生成につながると仮定する. VIRSCI のハイパーパラメータとして, チームサイズは 8 名, 議論ターンの回数は 4 回に設定し, 提案手法でも同じパラメータを用いる.

5.2 評価手法

評価実験には Suら [4] による公開データセットを用いる. 本データセットは, AMiner データ [9] から取得した計算機科学分野の文献情報から構築されており, 156 名の研究者と, それらに紐づく 178,197 本の論文 (2000–2014 年, 抄録欠損を除外) と共著回数データから成る. 論文集合全体は 2000 年から 2014 年に出版されたものからなり, 出版年 2010 年を境に, 古典論文 B_{past} (85,217 本) と現代論文 B_{con} (92,980 本) に分割されている. 共著ネットワークは共著回数データから共著ネットワークと PageRank を計算する.

5.3 評価指標

評価には Suら [4] が提案した 4 指標: 既存研究との意味的距離 (Historical Dissimilarity; HD), 現代研究との意味的距離 (Contemporary Dissimilarity; CD), 影響力 (Contemporary Impact; CI), 総合評価 (Overall Novelty; ON) を用いる. まず, 各抄録 a を埋め込みによりベクトル化し, ユークリッド距離に基づいて古典論文集合および現代論文集合からそれぞれ近傍上位 5 本を取得する. HD は古典論文集合から取り

1) <https://huggingface.co/meta-llama/Llama-3.1-8B>
 2) <https://huggingface.co/intfloat/e5-large-v2>

表 1 各条件における ON の平均値 (± 標準偏差). PageRank による上位 25%までを PI 選定候補とするとベースラインよりもアイデア生成性能が向上する.

手法	ON
ランダム PI 選定 (Baseline) [4]	2.29 ± 1.86
PageRank (上位 2%)	2.86 ± 1.17
PageRank (上位 25%)	2.67 ± 1.19
PageRank (上位 50%)	2.15 ± 1.37

出した近傍 5 本との距離の平均, CD は現代論文集合から取り出した近傍 5 本との距離の平均, CI は現代論文から取り出した近傍 5 本の被引用数の平均として算出する. 出版年によるスケール差を抑えるため, 距離 (HD, CD) と被引用数 (CI) は, 近傍論文の出版年ごとにデータベース側で事前計算した年別平均で割ることで正規化する. この年別平均は, HD については古典論文集合, CD, CI については現代論文集合を母集団として, それぞれ別々に算出する. 総合評価 ON は「古典論文から遠く, 現代論文に近く, かつ高被引用な近傍を持つ」アイデアに高スコアを与えるよう設計され, 次式で定義される:

$$ON(a) = \frac{HD(a) \times CI(a)}{CD(a)}. \quad (1)$$

Su ら [4] は ON と人手評価との間の相関係数 $r = 0.52$ を報告している.

6 結果

各条件における ON の平均値と標準偏差を表 1 に示す. PageRank 上位 2%の PI 候補から選定する設定において ON は 2.86 を示した. これはベースラインであるランダム PI 選定 (2.29) よりも 24.9%高く, PI 選定による効果が示された. PI 候補の選定を PageRank 上位 25% の集合, 50% の集合と大きくしていくと, ON は 2.67, 2.15 と減少していくことから PageRank 上位の研究者を PI 候補とするのが良い戦略であることが分かる. なお, ON は定義上 CI を含むため, CI と強い正の相関を示した ($r = 0.995$). 本実験設定では, ON の差は主に CI の差により生じている可能性がある.

実際の実出力アイデアを図 2 に示す. 例 A は PageRank 上位 2%の研究者から PI を選定する設定において ON の値が 6.1 と高かった出力事例である. 例 B は PageRank による選定を行わないベースライン手法が選出した PI でこの研究者の PageRank は 156 人中 146 位と低い. 生成されたアイデアの評価

例 A (PageRank 上位 2%, ON = 6.1099)

PI 中心性: PageRank 順位 2/156 (上位 1.3%)

チーム (所属/分野タグ): AT&T Labs (S20; XML/DB), UMass (S77; wireless/network coding), Bell Labs (S27; multidatabase), Barcelona SC (S89; HPC), Politecnico Milano (S39; web service composition), Yahoo/U Chile (S154; search/IR), Stanford (S140; DB/data mining), Stanford (S104; data model/warehousing)

抄録中に現れるチーム由来語 (対応付け):

multidatabase systems (S27,S104,S140), network resource management (S77), search (S154)

生成抄録 (抜粋): Inverse problems involving discontinuous coefficients are a pervasive challenge in various fields, including medical imaging, geophysics, materials science, **network resource management**, and **multidatabase systems**...

例 B (Random, ON = 1.1282)

PI 中心性: PageRank 順位 149/156 (下位 95.5%)

チーム (所属/分野タグ): UNC Chapel Hill (S74; temporal databases), Georgia State (S142; parallel/clustering), Wang Institute (S15; DB/data integration), UIUC (S59; sensor networks), USC (S99; HPC), Washington U (S106; middleware), UIUC (S147; compiler), AT&T Labs (S121; traffic engineering)

抄録中に現れるチーム由来語 (対応付け): **temporal data (S74), traffic engineering (S121)**

生成抄録 (抜粋): The proliferation of temporal data has led to an overwhelming amount of information being presented in list-based formats... we propose the Temporal Search Result Explorer (TSRE), a hybrid interface...

図 2 チームのメタ情報と対応する生成抄録の抜粋. Sxx はデータセット中の研究者 ID (Scientistxx). 「PageRank 順位」は §4.2 の共著グラフ ($N = 156$) 上で算出.

値 ON も 1.12 と極端に低い. これらの 2 事例において編成されたチームを確認すると, 例 A では大学や企業, 多様な分野からの研究者が集まった文理融合型チームであるのに対し, 例 B では大学中心のメンバー編成であり差が見られる. 例 A では広範な分野での評価実験が行われ幅広い応用可能性が言及されており, 分野横断型のチーム編成によるメンバーの多様性が生成アイデアに反映されている. なお, 生成抄録の全文は付録 A を参照されたい.

7 おわりに

本研究では, 共著ネットワークから計算した PageRank スコアを研究代表者選定に用いる, 新たな研究アイデア生成手法を提案した. 評価実験では提案手法が新規性とインパクトによる既存評価指標を向上させることを示した. 今後, PageRank 以外の中心性指標についても実験し, 共著ネットワークを活用した研究アイデア生成をさらに高度化させたい.

参考文献

- [1] Lawrence Page, Sergey Brin, Rajeev Motwani, and Terry Winograd. The pagerank citation ranking: Bringing order to the web. Technical report, Stanford InfoLab, 1999.
- [2] L. Wang, Y. Qin, Y. Liu, Q. Zhu, T. Zhang, E. A. Chi, and Y. Choi. The AI scientist-v2: Workshop-level automated scientific discovery via agentic tree search. arXiv preprint, 2025.
- [3] OpenAI. Swarm: An educational framework exploring ergonomic, lightweight multi-agent orchestration. GitHub repository, 2024.
- [4] H. Su, R. Chen, S. Tang, Z. Yin, X. Zheng, J. Li, B. Qi, Q. Wu, H. Li, W. Ouyang, P. Torr, B. Zhou, and N. Dong. Many heads are better than one: Improved scientific idea generation by a LLM-based multi-agent system. In **Proceedings of the 63rd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics**, pp. 28201–28240, July 2025.
- [5] Keisuke Ueda, Wataru Hirota, Kosuke Takahashi, Takahiro Omi, Kosuke Arima, and Tatsuya Ishigaki. Exploring the design of multi-agent LLM dialogues for research ideation. In Frédéric Béchet, Fabrice Lefèvre, Nicholas Asher, Seokhwan Kim, and Teva Merlin, editors, **Proceedings of the 26th Annual Meeting of the Special Interest Group on Discourse and Dialogue**, pp. 322–337, Avignon, France, August 2025. Association for Computational Linguistics.
- [6] Chenglei Si, Diyi Yang, and Tatsunori Hashimoto. Can LLMs generate novel research ideas? a large-scale human study with 100+ NLP researchers. In **The Thirteenth International Conference on Learning Representations**, 2025.
- [7] Ronald S Burt. Structural holes and good ideas. **American journal of sociology**, Vol. 110, No. 2, pp. 349–399, 2004.
- [8] Mark S. Granovetter. The strength of weak ties. **American Journal of Sociology**, Vol. 78, No. 6, pp. 1360–1380, 1973.
- [9] Jie Tang, Jing Zhang, Limin Yao, Juanzi Li, Li Zhang, and Zhong Su. Arnetminer: Extraction and mining of academic social networks. In **Proceedings of the 14th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD '08)**, 2008.

A 生成例（生成抄録の全文）

例 A (PageRank 上位 2%, ON = 6.1099)

Title: Efficient Inverse Problems with Discontinuities using Level Sets and Total Variation Regularization: A Novel Framework for Multidatabase Systems, Network Resource Management, and Beyond

Abstract: Inverse problems involving discontinuous coefficients are a pervasive challenge in various fields, including medical imaging, geophysics, materials science, network resource management, and multidatabase systems. These challenges stem from the inherent non-linearity and non-smoothness of the coefficient, making traditional methods inefficient. To address this issue, we propose a novel framework that combines level set methods with total variation regularization to represent discontinuities in the coefficient while promoting sparsity and reducing artifacts. Our framework consists of four key steps: developing a level set method for representing geometry, implementing TV regularization using an augmented Lagrangian formulation, utilizing multiple level sets to accommodate coefficients with multiple constant regions without prior knowledge, and validating our approach on both synthetic and real-world datasets. We extend this framework to the multidatabase system environment, where efficient inverse problems are crucial for optimizing database queries and transactions. Our results demonstrate significant improvements in reconstruction accuracy and robustness compared to state-of-the-art approaches, while also showcasing computational efficiency suitable for large-scale applications. Furthermore, we adapt our framework to network resource management by identifying areas of high traffic concentration and allocating bandwidth accordingly. This adaptation has the potential to revolutionize network resource allocation, enabling more efficient use of available bandwidth and reducing congestion. Our novel framework offers an essential tool for researchers and practitioners in various scientific disciplines. We discuss the implications of our work on developing new algorithms for solving inverse problems in multidatabase systems, highlighting the potential benefits of combining level set methods with other techniques such as machine learning and deep learning approaches. In addition to its applications in multidatabase systems and network resource management, our framework can be applied to other fields where inverse problems with discontinuities are prevalent. For instance, medical imaging can benefit from improved reconstruction accuracy and reduced artifacts, while materials science can leverage our approach for optimizing material properties. Our work has significant implications for the development of new algorithms and methods for solving inverse problems in various scientific disciplines. We believe that our novel framework will serve as a foundation for future research in this area, enabling researchers to tackle complex inverse problems with discontinuities more efficiently and effectively. We also acknowledge the limitations of our approach and highlight potential areas for further improvement. Specifically, we discuss the need for more efficient level set methods and the potential benefits of integrating our framework with other regularization techniques. Furthermore, we provide a detailed comparison of our results with state-of-the-art approaches, highlighting the advantages of our novel framework in terms of reconstruction accuracy and computational efficiency. In this revised abstract, we have incorporated additional insights from our research on data model optimization for multidatabase systems (Scientist104, 2020) [1] and data warehousing techniques for efficient inverse problems (Scientist104, 2019) [2]. Our framework has been further refined to incorporate these advances, resulting in improved reconstruction accuracy and reduced computational complexity. We believe that our novel framework will have far-reaching implications for various scientific disciplines, enabling researchers to tackle complex inverse problems more efficiently and effectively. As future work, we aim to integrate our framework with other regularization techniques and explore its applications in emerging fields such as quantum computing and artificial intelligence.

Key Contributions:

- * A novel framework combining level set methods and total variation regularization for efficient inverse problems
- * Improved reconstruction accuracy and reduced computational complexity compared to state-of-the-art approaches
- * Adaptation of the framework to network resource management, enabling more efficient use of available bandwidth
- * Potential applications in medical imaging, materials science, and other fields where inverse problems with discontinuities are prevalent

References:

- [1] Scientist104 (2020). Data Model Optimization for Multidatabase Systems. Journal of Database Management, 20(3), 123-145.
- [2] Scientist104 (2019). Data Warehousing Techniques for Efficient Inverse Problems. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 31(5), 931-944.

例 B (Random, ON = 1.1282)

Title: Enhancing Temporal Data Exploration with Hybrid Interfaces in Network Operator and Traffic Engineering Contexts

Abstract: The proliferation of temporal data has led to an overwhelming amount of information being presented in list-based formats, often failing to support exploration and comparison of temporal search results. To address this limitation, we propose the Temporal Search Result Explorer (TSRE), a hybrid interface that combines the benefits of list-based representations with interactive visualizations for temporal data. Our approach involves a multi-step methodology, starting with data collection from various temporal databases. We then conducted user studies to identify pain points in current interfaces and developed a hybrid interface that integrates list-based representations with advanced visualization techniques, such as heatmaps and node-link diagrams, specifically designed for temporal data. Our study involved A/B testing and gathering user feedback through prototyping and testing of TSRE. However, as a researcher specializing in network operator and traffic engineering, I would like to emphasize the importance of integrating these aspects into TSRE. By incorporating real-time traffic monitoring and network performance metrics, we can enhance the hybrid interface's ability to adapt to changing network conditions, thereby improving user experience and reducing latency. Building upon existing research in human-computer interaction, information visualization, and temporal databases, our study introduces a novel approach to enhancing temporal search results. The proposed TSRE has the potential to revolutionize the way users interact with temporal data, making it easier for them to find relevant information in an increasingly complex digital landscape. In this revised abstract, we focus on integrating advanced network operator and traffic engineering techniques into the TSRE framework. By leveraging our expertise in these areas, we aim to develop a highly efficient and scalable temporal data interface that can handle large volumes of data in real-time, while also providing users with valuable insights into network performance and traffic patterns. Our future work includes extending the TSRE framework to other domains, such as finance, healthcare, and environmental monitoring, where efficient exploration and comparison of temporal data are crucial. We also plan to integrate machine learning algorithms into the TSRE framework to enable real-time adaptation of visualizations based on user behavior and preferences. To further enhance the performance of TSRE, we aim to investigate the application of high-performance computing techniques, such as parallel processing and distributed computing, to accelerate the processing of large volumes of temporal data. Additionally, we plan to explore the use of reconfigurable hardware, such as field-programmable gate arrays (FPGAs), to optimize the performance of our hybrid interface. The proposed research has significant implications for both academia and industry, as it addresses the pressing need for more effective and user-friendly interfaces in the digital age. By integrating advanced visualization techniques with high-performance computing capabilities and network operator and traffic engineering expertise, we aim to develop a highly efficient and scalable temporal data interface that can handle large volumes of data in real-time. Evaluation metrics:

* User satisfaction: 90%

* Temporal data accuracy: 95% (improved from previous studies)

* Energy efficiency: 25% reduction in energy consumption compared to traditional interfaces

Future Work:

- * Integration of high-performance computing techniques
- * Investigation of reconfigurable hardware acceleration
- * Application of TSRE framework to other domains

The proposed TSRE framework has the potential to revolutionize temporal data exploration by providing an intuitive and interactive interface that combines list-based representations with advanced visualization techniques. Our research contributes significantly to the advancement of human-computer interaction, information visualization, and temporal databases fields, addressing the pressing need for more effective and user-friendly interfaces in the digital age.