

# 書誌情報ネットワークのビュー操作に基づく文献サーベイ支援

## Supporting Survey of Academic Papers based on Operating Bibliographic Network

小池 諭                      三末 和男                      田中 二郎  
Satoshi KOIKE              Kazuo MISUE                  Jiro TANAKA

筑波大学大学院 システム情報工学研究科 コンピュータサイエンス専攻  
Department of Computer Science, University of Tsukuba.

E-mail: koike@iplab.cs.tsukuba.ac.jp, {misue, jiro}@cs.tsukuba.ac.jp

**Abstract** — In the scene of the survey of academic papers, we obtain useful knowledge by exploring the bibliographic network. In this research, we analyzed the features of exploring information in the survey of academic papers and the requirements to construct and operate the network view. Based on the analysis, we developed a tool named "STANICOV" and evaluated the usability of it. Using STANICOV, the user can explore the network with focusing relations according to necessary information. This advantage enables the user to obtain useful knowledge more efficiently.

**Keywords:** interactive network visualization, network exploration, bibliographic network

### 1. はじめに

研究活動などで文献をサーベイする場面では、「著名な研究者が執筆した論文」や「興味のある研究トピックに関連する論文やその著者」、「研究者のコミュニティ」、「研究分野の近年の動向」といった「研究分野についての知識」を得たいという欲求がある。これらの知識は電子化された論文の蓄積(論文データ)から得ることができる。論文データには論文のタイトルや著者、トピックを表すキーワードなどいわゆる書誌情報が含まれており、そのそれぞれが互いに関係を持っている。例えば論文とその著者との間には「執筆した／執筆された」という関係があり、同じ論文を執筆した著者の間には「共著した」という関係がある。前述した知識の多くは書誌情報間の関係を把握することで得られる。

論文データに含まれる関係情報はネットワークを為すことが多く、その構造を把握することで知識を発見しやすくなる。しかしながら、論文データの中に文字や数値として存在するネットワークの構造を把握することは容易でない。ネットワークの構造を把握する有力な手法として可視化が挙げられる。ネットワークを可視化することで関係情報を視覚的に捉えることができるようになる。現在、多くの研究で様々な可視化手法が

提案されている。

論文データの書誌情報間関係には「執筆」「共著」「キーワードの使用」など複数の種類があるため、論文データが為すネットワークは複数の関係から構成されている。論文データが為すネットワークから知識を得るには、書誌情報間の局所的な関係に着目しながらネットワークを探索する必要がある。しかしながら、従来のネットワーク把握支援技術の多くはネットワークの概観の把握支援に関するものであり、ネットワークが複数の関係からなることを考慮したネットワーク探索については十分に支援できていないのが現状である。

本研究は、論文データに含まれる有益な知識の獲得を支援することを目的とし、論文データが為すネットワークの探索を支援するツールの開発を目指す。本研究のアプローチは、文献サーベイにおける情報探索の中で得たい情報に応じたネットワークビューをインタラクティブに構築できるようにすることである。得たい情報に適切な関係と情報量でビューを提供できるようにすることで、ネットワークの局所構造から情報探索を行うことが可能になる。これにより、探索者は大規模なネットワークを把握する際の認知的な負荷から解放されると共に、文献サーベイに適したネットワーク探索を行うことができる。

## 2. 文献サーベイにおける情報探索の特徴

文献サーベイにおいて論文データから得たい知識は「局所的な情報」と「概観的な情報」の2種類に分けられる。局所的な知識とは「特定の書誌情報に関連する書誌情報」であり、例えば「研究者 A が発表した論文」や「キーワード B を使っている論文や著者」などがそれにあたる。概観的な知識とはこれら局所的な情報が集まることでわかる大局的な情報であり、例えば「研究分野の動向」や「研究者間のつながり」などがそれにあたる。この概観的な情報の獲得が文献サーベイの目的であることも多い。

文献サーベイを行う場面ではこれら情報を得るための探索作業を行うが、得たい情報が局所的なものか概観的なものかによって探索の方法は異なる。

局所的な情報を得るためには論文データに含まれる関係情報を把握することが必要であるが、その際、書誌情報間の関係に複数の種類があることが重要である。例えば「論文に使われているキーワード」を探すには「論文とキーワードとの関係」を把握する必要があり、「著者が執筆した論文」を探すには「著者と論文との関係」を把握する必要がある。このように、局所的な情報を得るには書誌情報間の関係の意味に着目して情報探索を行っていると言える。

概観的な情報を得るために局所的な情報の探索を繰り返す場面がしばしばある。例えば「興味のある研究トピックに関連する論文を調べ、次にそれら論文の著者を調べ、さらにそれら著者が論文の中で使っているキーワードを調べる」といった情報探索を繰り返すことで、「そのトピックについて誰がどんな技術を用いて研究を行っているのか」といった知識を得ることができる。このように、概観的な情報を得るには書誌情報間の異なる関係に着目しながら連鎖的な情報探索を行っていると言える。

## 3. インタラクティブなネットワーク構築

論文データに含まれる関係情報の把握を支援するためにネットワークを可視化する際、得たい情報によって把握すべき関係が異なるため、ネットワークビューは関係が明確にわかるものである必要がある。また、閲覧者の認知的な負荷を軽減するためにも、得たい情報それぞれに対して過不足のない情報量でビューを提供することが好ましい。そこで本研究では、文献サーベイにおけ

る探索の中で得たい情報に応じて把握すべき関係や情報量を決め、それに応じたネットワークビューを探索者の手で構築するというアプローチをとる。

情報可視化において、可視化された図とのインタラクションを導入することで図から効果的に情報を獲得できるようになる。これは、閲覧者が図を操作することで能動的に情報獲得を行っているためであると考えられる。本研究では、文献サーベイにおける情報探索を支援するために、ネットワークビューとのインタラクションを導入する。探索者により情報獲得の意図を持った操作によって関係情報を把握しやすいビューをインタラクティブに構築することで、能動的な情報探索が行えるようになると考えられる。

また、概観的な情報を得るための連鎖的な情報探索を行う場合にもインタラクティブなネットワーク構築は効果的であると考えられる。得たい情報に対して適切なビューを閲覧し、その中から情報探索のきっかけを得て、それを基に新たなネットワークビューを構築するといった手順を繰り返すことで、書誌情報間の関係を大局的に知ることができると考えられる(図 1)。

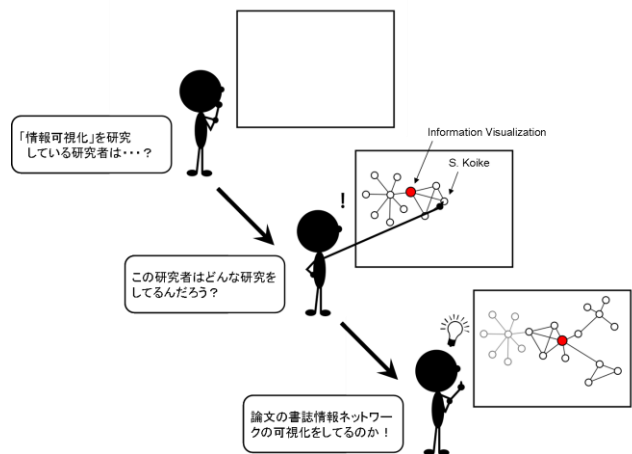


図 1 ビュー構築による情報探索支援

## 4. 書誌情報ネットワーク

### 4.1. 論文データに含まれる関係情報

論文データを表形式で表現すると、例えば表 1 のようになる。

ひとつの論文の書誌情報は「タイトル」、「著者」、「キーワード」など意味的な属性を持つ各要素からなり、それぞれの間に「執筆」や「共著」、「(キーワードの使用)」など意味の違う関係がある。

表 1 論文データの例

発表年	セッション	タイトル	著者	キーワード
2007	Tree and Graph Visualization	NodeTrix: a Hybrid Visualization of Social Networks	N. Henry, M.J.McGuffin	Network visualization, Matrix visualization
2006	Graph Exploration	MatrixExplorer: a Dual-Representation System to Explore Social Networks	N. Henry, J. D. Fekete	Network visualization, interactive clustering
2005	Interactive information visualization	prefuse: a toolkit for interactive information visualization	J.Heer, S.K.Card, J.A.Landay	information visualization, user interfaces, navigation
...	...	...	...	...

表 1 の例では、2 人の著者「N. Henry」と「M. J. McGuffin」との間には「論文を共著した」という関係があり、論文「MatrixExplorer: a Hybrid Visualization of Social Networks」とキーワード「Matrix visualization」との間には「論文にキーワードが使われた（論文の中に登場した）」という関係がある。また、著者「N. Henry」やキーワード「Network visualization」のように複数の論文で登場する要素もあり、それらは複数の論文にわたってその書誌情報の要素との間に関係を持つ。

#### 4.2. 書誌情報ネットワークとは

書誌情報間の関係はネットワークを構成する。本研究では、論文データにおける書誌情報の各要素が為す関係構造を「書誌情報ネットワーク」と呼ぶ。

書誌情報ネットワークは、書誌情報の各要素をノード、要素間の関係をエッジとしたグラフとして表現することができる(式 1)。式中の  $G$  はグラフ、 $V$  はノード集合、 $E$  はエッジ集合である。ノードは「著者」「キーワード」など書誌情報が持つ意味的な属性ごとに  $n$  個の排他的な集合に分けられる。 $n$  は書誌情報が持つ属性の数である。

$$G = (V, E)$$

$$V = V_1 \cup V_2 \cup \dots \cup V_n \quad (\text{式 1})$$

$$E \subseteq \{\{v, w\} | v, w \in V\}$$

#### 4.3. 書誌情報ネットワークの分類

局所的な情報を得るために把握すべき関係情報は「書誌情報の特定の要素に関連する書誌情報及びそれらの間の関係の意味」であり、概観的な

情報を得るために把握すべき関係情報はそれら局所的な関係情報の集まりであると言える。

関係情報の「関係の意味」と「それが局所的か概観的か」に着目したとき、把握すべき関係情報は「着目する関係の数(単数か複数か)」と「関係を把握する範囲(書誌情報の特定の要素に関わる範囲か、複数の要素間にわたる範囲か)」という観点で分類できる。これを書誌情報ネットワークの観点から見ると、書誌情報ネットワークは以下のように分類できる。

- A) ネットワークを構成する関係の数による分類
  - A-1) 単一の関係からなるネットワーク
  - A-2) 複数の関係からなるネットワーク
- B) ネットワークの構成範囲による分類
  - B-1) 特定のノードに隣接するノードからなるネットワーク
  - B-2) 複数のノードの隣接関係からなるネットワーク

情報探索において「共著関係」や「執筆関係」など特定の関係に着目するとき、探索者は「著者と著者との関係」や「著者と論文との関係」など、ノードの属性の組み合わせに着目していると言える。また、書誌情報の中の特定の要素に関わる範囲で関係情報を把握するとき、探索者はネットワークの中の特定のノードに直接つながる(隣接する)ノードに着目していると言える。

#### 4.4. ネットワークを構築するための操作体系

得たい情報に応じたネットワークを構築するには、探索者が「着目する関係」や「ネットワークの構成範囲」を定める必要がある。ノード属性の組み合わせを定めることで着目する関係が決

まり、着目すべき特定のノードを定めることでネットワークの構成範囲が決まることから、ネットワーク構築のために探索者が行うべき入力は、「ノード属性の組み合わせ」と「ノード」である。

局所的な情報を探索する時に把握すべきネットワークは、着目する属性の組み合わせやノードを入力として、以下に示すネットワークで表される(式 2、式 3)。式中、入力である  $v$  は着目するノード、 $\lambda$  は着目するノード属性、 $\Lambda$  は着目するノード属性の集合である。なお、式 2 ではノード  $v$  が持つ属性と入力である属性  $\lambda$  の組み合わせによって、式 3 ではノード  $v$  が持つ属性と入力である属性集合  $\Lambda$  の要素の組み合わせによって着目する関係を決定している。

[A-1×B-1 のネットワーク] 入力:  $v, \lambda$

$$\begin{aligned} G_{A1,B1} &= (\{v\} \cup V_{v,\lambda}, E_{v,\lambda}) \\ V_{v,\lambda} &= \{w \in V_\lambda \mid \{v, w\} \in E\} \\ E_{v,\lambda} &= \{\{v, w\} \in E \mid w \in V_{v,\lambda}\} \end{aligned} \quad (式 2)$$

[A-2×B-1 のネットワーク]

入力:  $v, \Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m\}$

$$\begin{aligned} G_{A2,B1} &= (\{v\} \cup V_{v,\Lambda}, E_{v,\Lambda}) \\ V_{v,\Lambda} &= \left\{ w \in \bigcup_{\lambda \in \Lambda} V_\lambda \mid \{v, w\} \in E \right\} \\ E_{v,\Lambda} &= \{\{v, w\} \in E \mid w \in V_{v,\Lambda}\} \end{aligned} \quad (式 3)$$

式 2 のネットワークや式 3 のネットワークの構築を繰り返すことによって概観的な情報を表すネットワークを構築することができる。概観的な情報を探索する時に把握すべきネットワークは、探索者が着目する属性の組み合わせやノード集合を入力として、以下に示すネットワークで表される(式 4、式 5)。式中、 $A$  は着目するノード集合、 $\lambda$  は着目するノード属性、 $\Lambda$  は着目するノード属性の集合である。なお、式 4 でのノード集合  $A$  は同じ属性を持つノードからなり、その属性と入力である属性  $\lambda$  の組み合わせによって着目する関係を決定している。また、式 5 ではノード集合  $A$  の要素が持つ属性と属性集合  $\Lambda$  の要素の組み合わせによって着目する関係を決定している。

[A-1×B-2 のネットワーク] 入力:  $A \subseteq V_a, \lambda$

$$\begin{aligned} G_{A1,B2} &= (A \cup V_{A,\lambda}, E_{A,\lambda}) \\ V_{A,\lambda} &= \{w \in V_\lambda \mid \{v, w\} \in E, v \in A\} \\ E_{A,\lambda} &= \{\{v, w\} \in E \mid w \in V_{A,\lambda}\} \end{aligned} \quad (式 4)$$

[A-2×B-2 のネットワーク] 入力:  $A, \Lambda$

$$\begin{aligned} G_{A2,B2} &= (A \cup V_{A,\Lambda}, E_{A,\Lambda}) \\ V_{A,\Lambda} &= \left\{ w \in \bigcup_{\lambda \in \Lambda} V_\lambda \mid \{v, w\} \in E, v \in A \right\} \\ E_{A,\Lambda} &= \{\{v, w\} \in E \mid w \in V_{A,\Lambda}\} \end{aligned} \quad (式 5)$$

## 5. 文献サーベイ支援ツール STANICOV

本研究では、第 4 章で述べたネットワーク操作体系を搭載した文献サーベイ支援ツール STANICOV<sup>1</sup>を開発した。

### 5.1. ツールの設計方針

STANICOV では、ネットワークを構成するノード(書誌情報)をそれぞれの属性に従ってフィールドを分割して配置し、各領域からノードを集めることによってネットワークを構築する(図 2)。

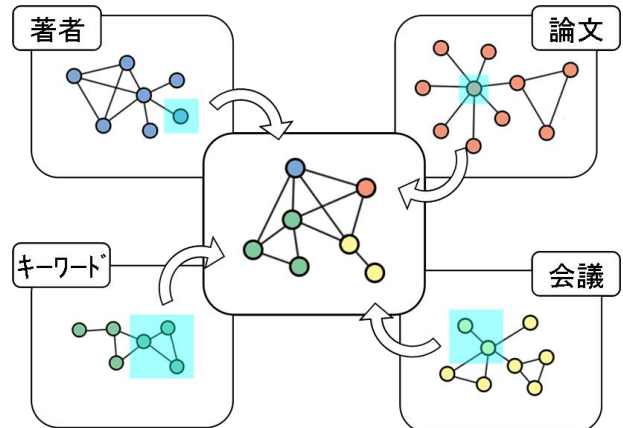


図 2 領域分割によるネットワーク構築

このとき、第 4 章で述べた入力「ノード属性の組み合わせ」「ネットワークを構成するノード」はそれぞれ「ノードを集めてくるフィールドの選択」「集めるノードの選択」に対応する。このことにより、ノード属性の組み合わせを「ノードをどの領域に移動するか」という意思決定のみで入

<sup>1</sup> Survey Tool of Academic-paper Network with Interactive Composing / Operating View



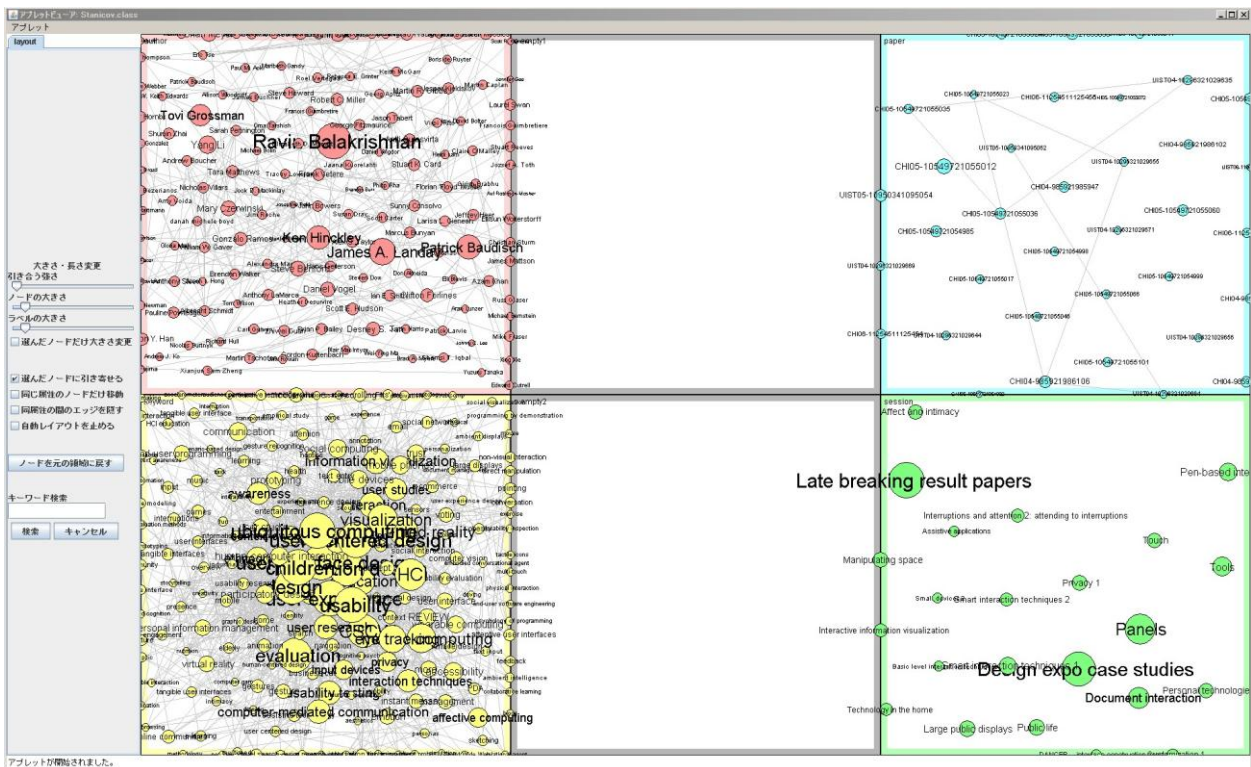


図 3 STANICOV の初期画面

力できるようになる。また、ノードの選択をノードの直接操作によって実現し、直感的にネットワークを構築できるようになる。

ツールのユーザは、得たい情報に応じて各フィールドからノードを集めてネットワークを構築し、構築したネットワークを基にさらにノードを集めることによって情報探索を行う。

## 5.2. ツールの概要

図 3 は STANICOV の初期画面である。ツールは画面左側の操作パネルと画面中央のネットワーク図表示部分からなる。ネットワーク図表示部分では、論文データのネットワークがネットワーク図で描画されている。ネットワーク図表示部分はノードの属性ごとにフィールドに分かれており、フィールドの中にあるノード間のみエッジがつながるようになっていいる。フィールド及びその中のノードは属性ごとに色分けされている。これは、ネットワークを構築した際にそれぞれのノードがどの属性のノードかをわかりやすくするためである。ネットワークはばねモデル[6]による自動レイアウトと閲覧者による手動レイアウトの 2 種類を選べる。ノードはばねモデルによってその位置を変化させるが、自発的にフィールドの外に出ることはない。ネットワーク図表示部分中央にある「何も描かれてないフィールド」はワークスペースである。

## 5.3. ツールの機能

本ツールにおける主な操作はノードの選択及び移動である。STANICOV では、移動するノードの選択に関するいくつかの機能を提供し、ノード選択をスムーズに行えるようにしている。

ノードの移動はノードのドラッグ&ドロップによって行う。ノードを他のフィールドにドラッグすると、移動した先の領域の中にあるノードの中で移動したノードと関連があるもの間にエッジがつながる。ノードを移動する際、ドラッグしているノードは赤くハイライトされる(図 4)。

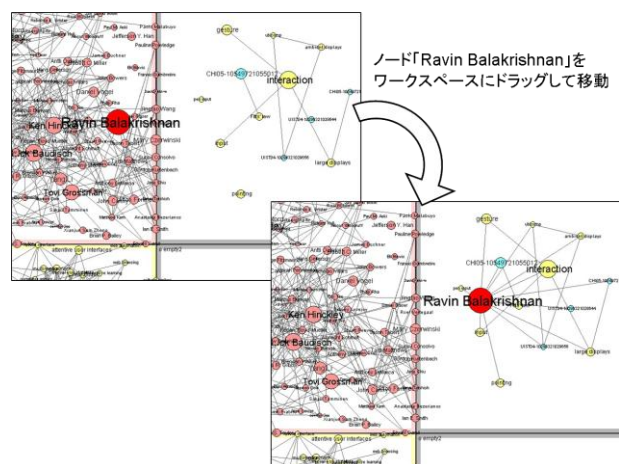


図 4 ノードの移動

選択したノードに隣接するノードを選択したノードと共に選択、移動することができる。この機能によって、ネットワークから特定のノードとそれに直接関係するノードでネットワークを新たに構築することができる。

隣接するノードの選択及び移動は、ノードをクリックして選択し、そのノードをドラッグ&ドロップすることで行う。その際、選択されたノードに隣接するノードは紫色にハイライトされ、ドラッグ中は選択されたノードとの相対位置を保持したまま移動する(図 5)。

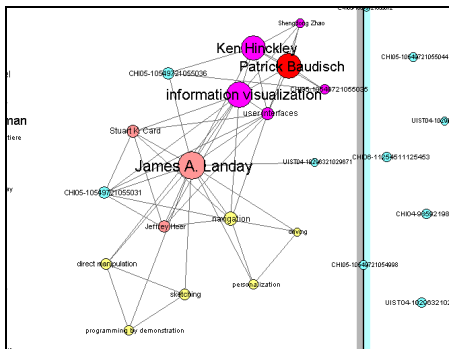


図 5 隣接ノードの移動

フィールドの任意の場所に矩形領域を作り、矩形領域に含まれるノードをまとめて選択、移動することができる。この機能によって、ノードを移動することで構築したネットワークや密接にエッジがつながっているノード集合などをまとめて移動することができる。

領域によるノードの選択及び移動は、マウスドラッグによって矩形領域を作り、その矩形領域をドラッグ&ドロップすることで行う。その際、矩形領域は灰色に着色され、領域内にあるノードは紫色にハイライトされる。領域のドラッグ中、領域内にあるノードは矩形領域との相対位置を保持したまま移動する(図 6)。

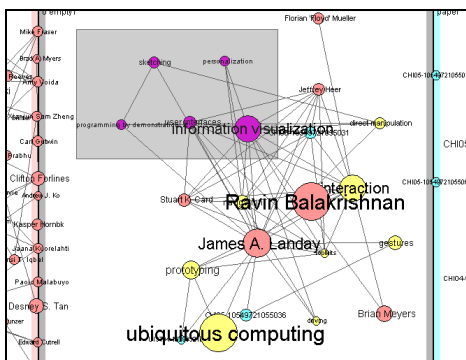


図 6 矩形選択によるノードの移動

文献サーベイにおける情報探索において、探索のきっかけを得ることは重要である。また、探索のきっかけがわかっている場合、それをネットワークの中から発見することも重要である。本ツールでは、探索のきっかけの獲得と発見の2つの点から情報探索を支援する機能を搭載している。

「著名な研究者」や「注目されている研究トピック」などが探索のきっかけになることは多い。本ツールでは、論文の被引用数やキーワードの出現頻度などを書誌情報の「注目度」とし、ノードの大きさに割り当てている。このことにより、多く引用された論文やその著者、多くの論文が使っているキーワードなどを発見しやすくなる。

自分が興味を持っている論文や研究トピックが探索のきっかけになることは多い。本ツールはユーザが探したいノードを検索するためのキーワード検索機能を搭載している。

操作パネルのテキストボックスにキーワードを入力して「検索」ボタンを押すと、ラベルにキーワードを含むノードが青色にハイライトされる(図 7)。

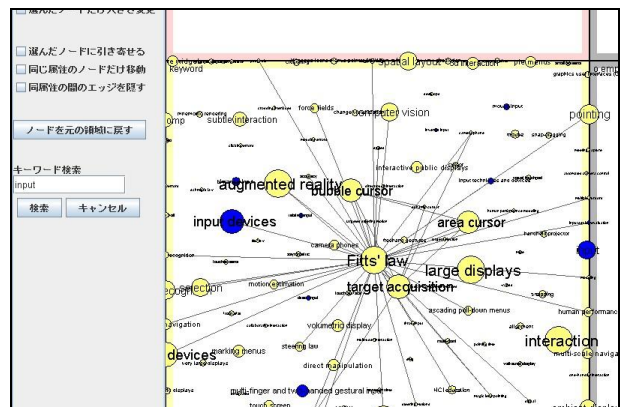


図 7 キーワード検索

## 5.4. 実装

図 8 は本ツールを利用するためのシステム構成である。システムは論文データを収集、解析するためのコンポーネントとインタフェースコンポーネントからなる。

論文データ収集・解析コンポーネントは Perl 5.10.0 を用いて実装した。このコンポーネントは、論文情報 Web サイトから Web ページを取得し、論文情報データベースに格納する。次に、収集した Web ページの中から論文の書誌情報を抽出し、関係情報データベースに格納する。

インタフェースコンポーネントは Java™ 6.0(Java™ Platform, Standard Edition 6 Development

Kit 2)を用いて実装した。このコンポーネントは関係情報データベースからデータを読み込み、ユーザにネットワークビューを提供する。ユーザはネットワークビューを操作し、インタフェースからフィードバックを得る。コンポーネントが読み込むデータの形式は GraphML[5]<sup>2</sup>とした。

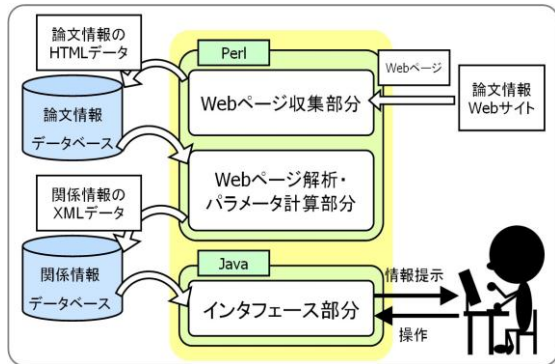


図 8 システム構成

## 6. 評価実験と考察

本研究で構築した操作体系及びツールの有用性を評価するために被験者実験を行った。被験者はコンピュータサイエンスを専攻する大学生及び大学院生 6 名である。被験者には、研究分野のサーベイをする場面を想定したタスクをこなしてもらう。その後、各機能についてタスクを行う上での有用性や使用感についてアンケート調査を行う。

### 6.1. 手順

まず、STANICOV の使用目的と使い方について 10 分程度で説明する。次に、被験者に STANICOV を実際に使ってもらい、STANICOV の操作に慣れてもらう。試用の時間は各被験者に任せた。その後、ヒューマンインタフェースの研究分野のサーベイを模したタスクに対し、STANICOV を使って調べ、答えてもらう。タスクは指定された情報を調べるものが 2 つと自由に情報を調べるタスクが 1 つである。なお、データとしてヒューマンインタフェースに関する 2 つの国際会議 CHI<sup>3</sup>と UIST<sup>4</sup>の 5 年分のデータを抜粋して用いた。

全タスク終了後、以下の項目についてアンケー

ト調査を行う。回答はそれぞれ 5 段階評価と自由記述によって行ってもらう。

- 指定された情報を調べるタスクについて、十分に調査できたと感じるか？
- 自由に情報を調べるタスクについて、有益な情報を得ることはできたか？
- ノードを動かしてネットワークを作るといふ操作は有用であったか？
- 領域をノード属性ごとに分割して配置するというレイアウトは有用であったか？
- ばねモデルによるネットワークの自動描画は有用であったか？

### 6.2. 結果

表 2 は各項目に対するそれぞれの被験者(A~F)の回答をまとめたものである。

タスクの達成度については、指定された情報を調べるタスクで平均 4.33、自由に情報を調べるタスクで平均 4.50 と概ね高い評価を得た。また、ツールの特徴であるノードのレイアウトと操作体系についても、領域分割によるレイアウトの有用性で平均 4.66、ノード移動によるネットワーク構築で平均 4.00 と概ね評価は高かった。ただ、ノード移動によるネットワーク構築の有用性については一部評価が低かった。ばねモデルによるレイアウトについてはそれほど評価が高くなかった。

### 6.3. 考察

「ノード属性ごとに領域を分割して配置すること」や「ノードを移動することによってネットワークを構築すること」の有用性についてはそれぞれ平均 4.0、平均 4.66 と高い評価を得た。また、各タスクの達成度はいずれも 4 以上と高い評価を得た。このことから、本ツールの特徴である「ノード属性によるノード配置領域の分割」と「ノード移動によるネットワーク構築」は文献サーベイに有用であり、サーベイに関するタスクを十分に達成できるものであると言える。

被験者 D が「ノード移動によるネットワーク構築の有用性」に対して「やや低い」と回答している。また、被験者 D は「単一ノードの移動と隣接ノードの移動の切り替えが煩わしく感じた」とコメントしている。本ツールでは単一ノードの移動をノードのドラッグ&ドロップによって行い、隣接ノードの移動をノードのクリックによる

<sup>2</sup> グラフ構造を XML で記述する拡張形式

<sup>3</sup> <http://www.chi2009.org/>

<sup>4</sup> <http://www.acm.org/uist/uist2009/>



表 2 実験結果

評価項目	A	B	C	D	E	F	平均
指定された情報を調べるタスクの達成度	5	5	4	3	5	4	4.33
自由に情報を調べるタスクの達成度	5	4	5	4	4	5	4.50
ノードを属性ごとに分けて表示することの有用性	5	4	4	5	5	5	4.66
ノードを動かしてネットワークを構築することの有用性	5	4	4	2	4	5	4.00
ばねモデルによる自動レイアウトの有用性	4	2	4	4	3	4	3.50

選択の後、ノードをドラッグ&ドロップすることによって行った。被験者 D が挙げた問題はノードの移動モードの切り替えにノードのクリックが必要であったことが原因であると考えられる。ノード移動機能のマウス操作への割り当てについては改善の余地がある。

被験者がタスク実行中にばねモデルによる自動レイアウトを止め、ノードの属性や大きさなどによってその配置を分けて手動でレイアウトを行っている場面が見られた。このことから、探索者は構築したネットワークを自分なりに意味を持たせてレイアウトしたいという欲求があるのではないかと考えられる。ネットワークを探索者自らがレイアウトすることで、ネットワークが表す情報が整理され、情報を得やすくなる可能性がある。

## 7. 関連研究

ネットワークのノードが属性を持つことを考慮してその把握支援を行っている研究として、Batagelj による Pajek [1] や Auber らによる Tulip[2]、Wattenberg による PivotGraph[3]、Shneiderman らによる NVSS[4] などが挙げられる。これらはいずれもノードの属性に従ってノード配置を行っているという点で本研究と関連がある。これら研究はネットワークの概観把握の支援を目的としてネットワークを一覧できるように可視化を行っているのに対し、本研究ではネットワーク探索を支援するためのインタラクションを導入することで、文献サーベイにおける情報探索をより効果的に支援できる。

## 8. まとめ

本研究では、論文データに含まれる有益な知識の獲得を支援することを目的とし、探索者が得たい情報に応じてインタラクティブにネットワークビューを構築することを提案した。提案を実現

するために、情報探索において把握すべき関係情報を分析した上で書誌情報ネットワークを分類し、探索者がネットワークビューを構築するための操作を体系化した。その上で体系化した操作を搭載した文献サーベイ支援ツール「STANICOV」を開発した。STANICOV ではネットワーク可視化領域がノードの属性によって分割されており、分割したフィールド間でノードを移動させることによってネットワークを構築することができる。また、ネットワークをスムーズに構築するために、移動するノードに関連するノードを共に移動するなどの補助機能を搭載している。評価実験により、インタラクティブなネットワークの構築及びそのための操作体系は文献サーベイに有用であることが示された。

## 参考文献

- [1] Vladimir Batagelj, Andrej Mrvar, "Pajek - Program for Large Network Analysis", Journal of Connections, Vol. 21, pp. 47-57, 1998
- [2] David Auber, "Tulip - A Huge Graphs Visualization Framework", Graph Drawing Softwares, Mathematics and Visualization, pp. 105-126, Springer-Verlag, 2003
- [3] Martin Wattenberg. "Visual Exploration of Multivariate Graphs", Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems, pp. 811-819, 2006
- [4] Ben Shneiderman, Senior Member, IEEE, Aleks Aris, "Network Visualization by Semantic Substrates", IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol.12, No.5, pp. 733-740, 2006
- [5] U.Brandes, M.Eiglsperger, I.Herman, M.Himsolt, M.Scott, "GraphML Progress Report", Proceedings of Symposium on Graph Drawing 2001 pp. 501-512, 2001
- [6] Peter Eades, "A Heuristic for Graph Drawing," Congressus Numerantium, 42, pp.149-160, 1984