

January 5, 1999
RT0294
Human-Computer Interaction 9 pages

Research Report

A Dynamic Linkage Method for Hypermedia and Its Data Design Support Tool

Yoshinori Hijikata, Tetsuya Yoshida, Shogo Nishida

IBM Research, Tokyo Research Laboratory
IBM Japan, Ltd.
1623-14 Shimotsuruma, Yamato
Kanagawa 242-8502, Japan



Research Division
Almaden - Austin - Beijing - Haifa - India - T. J. Watson - Tokyo - Zurich

Limited Distribution Notice

This report has been submitted for publication outside of IBM and will be probably copyrighted if accepted. It has been issued as a Research Report for early dissemination of its contents. In view of the expected transfer of copyright to an outside publisher, its distribution outside IBM prior to publication should be limited to peer communications and specific requests. After outside publication, requests should be filled only by reprints or copies of the article legally obtained (for example, by payment of royalties).

ハイパーメディアにおける動的リンク方式と データ設計支援ツール

土方 嘉徳^{*1*2} 吉田 哲也^{*2} 西田 正吾^{*2}

A Dynamic Linkage Method for Hypermedia and Its Data Design Support Tool

Yoshinori Hijikata^{*1*2} Tetsuya Yoshida^{*2} Shogo Nishida^{*2}

Abstract – This paper introduces an adaptive method for hypermedia navigation. It is intended to support information providers, giving their users a better navigation. It adapts the navigation to the user based on his or her characteristics and behavior. The adaptation is conducted using rules defined by the information provider. This means the navigation is more precise than any other adaptive hypermedia system. It is achieved by making links visible or invisible dynamically. We also propose a data design support tool that supports the information provider to construct hypermedia data. We designed a prototype and conducted some experiments for evaluation.

Keywords : adaptive hypermedia, rule base, user model, navigation, design support

1. はじめに

近年, WWW(World Wide Web)^[1]が急速に普及し, 日常の情報検索ツールとして使用されるようになった. これには, WWWが情報提供者側にはお互いにリンクを張ることができる自由度を, 情報獲得者側(以下ユーザー)には任意にリンクを選択することができる自由度を持たせたことが大きな原因になっている. しかしその反面, ページをリンクでつないだネットワーク構造が大規模になり, さらにネットワーク構造の多くが情報提供者側の立場や都合で構築されているため複雑・煩雑化しているといった問題がある.

このような問題に対して, ユーザ適応型のWWWあるいはWWWのガイドツアーというものがある. ユーザ適応型のWWWは, このような情報提供者側の立場や都合で構築された情報を, ユーザサイドからユーザーに適応させてやるものである. 現在の個人適応は, 大きく分けると次の二通りに分けられる^[2].

1. Cognitive Filtering: WWWのリンク構造やページのドキュメントの内容とユーザーの特性から個人適応を行うものであり, 代表的なものとして, Letizia^[3], WebWatcher^[4], WBI^[5], InterBook^[6]などがある. これらは, ユーザの探索したページのドキュメントやキーワード検索などからユーザーの情報に対するニーズを推定してリンクの推薦を行う, ユーザの

探索のパターンからリンクをたどる回数を減らすショートカットリンクを生成する, 教育用でユーザーに適した教材を推薦するという形で個人適応を行っている.

2. Social Filtering: 多数のユーザーの情報に対する嗜好を比較しグループ化することによって個人適応を行うものであり, 代表的なものとして, ページのアクセスパターンからリンクの推薦を行うもの^[7]や, ユーザの入力したアンケートなどを統計的に処理して, リンクやコンテンツの推薦を行うもの^[8]などがある.

また, WWWのガイドツアーはページを事前に準備した順序でたどれるようにしたものであり, Walden's Paths^[9], Footsteps^[10], Ariadne^[11]などがある. ガイドはリンクを強調して見せたり, WWWのネットワークの木構造を見せることによって行っている.

ところが, 現在WWWの利用形態は情報検索のみならず, オンラインバンキング, Webを用いたマーケティング, 教育など多様化している. これらの特徴としては, 情報提供者は状況やユーザーに応じて正確さを保証された厳密なナビゲーションを必要とすることが挙げられる. ここで言う厳密なナビゲーションとは, あるユーザーにはあるページの後には必ずこのページを表示するということや, あるユーザーにはこのページは絶対に見せないといったことである. 厳密なナビゲーションは, 教育分野でのユーザーの特性や挙動に応じた教材提供や, 子供などへの有害情報の規制, ユーザに応じた事務手続きなどに利用できる.

しかし, 上述のようなユーザー適応型のWWWは, ユー

*1: 現在, 日本アイ・ピー・エム(株) 東京基礎研究所

*2: 大阪大学大学院 基礎工学研究科

*1: Currently with IBM Research, Tokyo Research Laboratory

*2: Graduate School of Engineering Science, Osaka University

表1 本手法と既存の手法との対比
Table 1 Comparison between existing method and proposed method.

	従来手法	本手法
適応方式	ユーザ側において、ユーザの嗜好を推定して適応。	情報提供者が定めた範囲内での適応。
情報提供者	自分の立場と都合により、またはユーザのことを考えて情報提供。	ユーザのことを考えて情報提供。ユーザをナビゲーション。
ユーザ	適応ツールの結果から、情報やリンクを自由に選択して情報獲得。	情報提供者の提供するナビゲーションに従って情報獲得。
ナビゲーション	情報やリンクの推薦。	リンクを可視化不可視化して、厳密にナビゲーション。

ユーザ側においてユーザの嗜好などを推定してWWWを適応することを主眼においているが、厳密なナビゲーションや情報提供者によるユーザに応じたナビゲーションにはあまり考察されていなかった。また、ガイドツアーのシステムにおいては、ユーザへの適応が考慮されていない、あるいは厳密なナビゲーションを行っていないのが現状である。

そこで、本稿ではWWWの基礎技術であるハイパーメディア^{[12], [13]}において、情報提供者の定めた範囲内でのユーザ適応型のナビゲーション手法を提案する。これは、情報提供者がユーザの特性や挙動に応じたナビゲーションを行うためのルールを定義することにより、厳密なナビゲーションの実現を可能とする方式である。この厳密なナビゲーションを保証するために、ナビゲーションはリンクを可視化不可視化することにより行う。このようにリンクをユーザに完全に見せるか見せないかは、ユーザの現在の場所からのネットワークの見え方を変えてやることになる。提案するこのような方式を可視化不可視化方式と呼び、表1に既存の適応型WWWと本手法の違いを示す。さらに、情報提供者がルールを含めたハイパーメディアのデータを設計するのを支援するデータ設計支援ツールも提案する。これは、誤りのないルールを生成することと情報提供者のナビゲーションをルールで記述する労力を軽減することを目的として、事前にルールとリンクの可視化不可視化の動作に問題がないかを検出する機能に焦点を当てたものである。

2. 節では情報提供者がユーザをナビゲーションする可視化不可視化方式について、3. 節ではデータ設計支援ツールについて述べる。4. 節では可視化不可視化方式とデータ設計支援ツールのプロトタイプの実装およびその評価について述べる。5. 節では本稿のまとめと、今後の課題について述べる。

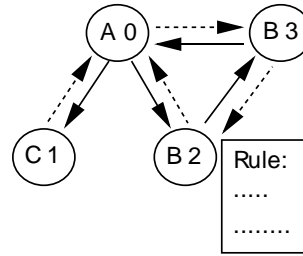


図1 ハイパーメディアモデル
Fig.1 Hypermedia model.

2. 可視化不可視化方式

2.1 ハイパーメディアモデル

本方式の扱うハイパーメディアモデルを図1に示す。図中の円がハイパーメディアのノードに相当し、この中にユーザに提示される情報そのものが格納されている。さらに、実線の矢印で記したリンクでノード間をユーザが移動することができる。また、破線の矢印で記した実際のリンクに対する逆方向のリンク^[14]も定義する。これは、実線のリンクと違いユーザは辿ることはできないが、3節に述べるデータ設計支援ツールの機能を実現するのに必要なリンクである。また、各ノードには数値で表わされるノード固有のIDと、アルファベットで表わされるクラスが定義してあり、ノードによっては情報提供者がつけたナビゲーション用のルールが存在する。

2.2 クラス

ユーザの特性とハイパーメディアにおける挙動のモデル化とリンクの可視化不可視化のために、各ノードにクラスというメタ情報を付ける。クラスは1つの記号によって表わすこととし(以下アルファベットで表わすことにする)、これによってユーザモデルと可視化不可視化用のルールの一部を表現する。クラスはそのノードのハイパーメディアネットワーク内でのナビゲーションにおける役割やそこに含まれる情報の内容によって定義される。ここで言うノードのナビゲーションにおける役割とは、そのノードの内容は初心者には見せるが上級者には見せないといった区別や、教育に用いる場合にはそのノードが解説を行っているのか、問題を出題しているのかということに相当する。また、情報の内容によって定義されたクラスは、情報提供者がいくつかの種類の情報を提供しようとしている場合の、種類の区別を表わすものである。クラスの実例は2.5節で触れる。

2.3 ユーザモデル

本方式は、ユーザの特性とハイパーメディア探索の挙動からユーザをナビゲーションするため、この2つの情報をモデル化する必要がある。このモデル化した情報をユーザモデルと呼ぶ。本方式ではユーザの特性という大局的または長期にわたり変化の少ない情報と、ユーザの

挙動というハイパーメディア探索中に得られる局所的または短期的な情報の2種類に焦点を当てる。前者はある分野に関する興味度や能力に相当し、ユーザパラメータ情報として表現する。後者はハイパーメディアの閲覧履歴やリンク選択式の問題やアンケートなどの回答結果に相当し、パスヒストリー情報として表現する。ユーザパラメータ情報とはユーザのある分野における長期的な特性をある範囲(例えば0~100)の数値によって表現したものである。パラメータの数は必要に応じて複数用いることができ、それぞれのパラメータにIDを振って区別する。パスヒストリー情報とはユーザの辿ったパスの軌跡をノードのクラスの変遷として表現したものである。

2.4 ナビゲーションルール

本稿ではルールを用いて可視化・不可視化するリンクを決定する。ルールは各ノード単位で定義される。ここではパスヒストリー情報を利用するルールをパスルール、ユーザパラメータ情報を利用するルールをユーザルールと呼び、さらにそれらをノードルールと一般ルールの2つに分ける。つまり、可視化不可視化には次の4種類のルールを用いる。

1. ノードパスルール
2. 一般パスルール
3. ノードユーザルール
4. 一般ユーザルール

ノードルールとは特定のノードのみに適用されるルールである。そのノードでしか行わないような可視化不可視化のルールを記述する際に使う。一般ルールとはハイパーメディアのネットワーク内のすべてのノードに適用可能なルールであり、頻繁に使用する決まったリンク制御のパターンに使用するものである。4種類のルールは以下のように記述される。

1. ノードパスルール

$$C_{11} \cdots C_{1h} + \cdots + C_{m1} \cdots C_{mh} = D_1, \dots, D_n$$

2. 一般パスルール

$$C_{11} \cdots C_{1h} + \cdots + C_{m1} \cdots C_{mh} = C_1^f, \dots, C_n^f$$

3. ノードユーザルール

$$e_1 * P_i * e_2 : D_1, D_2, \dots, D_n$$

4. 一般ユーザルール

$$e_1 * P_i * e_2 : C_1^f, C_2^f, \dots, C_n^f$$

ここで、 C はクラス、 D は可視化するノードのID、 C^f は可視化するノードのクラス、 h は参照するヒストリー数、 m はパスのパターンの数、 n は可視化するノードIDやクラスの数、 P_i はユーザパラメータID、 e はしきい値を表現する。*は=、<、 \leq の3つの演算子のうちの1つが入る。

1.のノードパスルールと2.の一般パスルールの式において、 $C_{11} \cdots C_{1h}$ は、パスヒストリーパターンで、ユーザの探索のパターンを探索で通過するノードのクラスの順列で記述されている。つまり、このルールはユーザのパスヒストリーが=の左にある+で区切られたパスヒストリーパターンのうち1つでも一致するものがあれば、=の右の”,”で区切られたIDを持つノードまたはクラスを持つノードを可視化することを意味している。

3.のノードユーザルールと4.の一般ユーザルールの式では、 $e_1 * P_i * e_2$ によって、ユーザパラメータの特定と、パラメータの範囲を指定している。つまり、この式は:の左の式で指定されたユーザのユーザパラメータが式で指定された範囲内にある場合は:の右の”,”で区切られたIDを持つノードまたはクラスを持つノードを可視化することを意味している。

上述の4種類のルールのうち複数が1つのノードに重なって定義されている場合は、リンクの可視化を各ルールの和を取る形で行う。また、ルール中に可視化すると記述されているリンク以外は不可視化する。

ルールの構文は極めてシンプルであるが、このルールを用いる利点としては、本方式の目的である厳密なナビゲーションが可能であることと、一般ルールのように任意のノードから利用可能な汎用的なナビゲーションを定義できる点である。さらに、この一般ルールの使用は、ネットワーク全体のナビゲーションの仕方を変更する際に、その変更を容易にするという利点も挙げられる。

2.5 ナビゲーション例

図2にパスルールを用いたナビゲーション例を示す。この図において、円はノードを表わし、矢印がリンクを表わす。また、円の中の左側のアルファベットがクラスを表わし、右側の数字がノード固有のIDを表わす。クラスは教育での利用を想定し、次のように定義している。なお、説明用のノードは2種類用意している。

- A: 問題を提供するノード
- B: 正しく回答した結果を表示するノード
- C: 間違って回答した結果を表示するノード
- D: 説明用のノード (Type 1)
- E: 説明用のノード (Type 2)

ノードIDが5のノードにこのノードでのみ利用可能なノードパスルールが定義してある。このルールのACA=7は、ユーザのパスヒストリーにおいてノードのクラスがA C Aの順になるような探索した場合はノード5において次はノード7へのリンクのみ可視化することを示している。これは、クラスのCはユーザが間違って回答したことを意味し、クラスのBはユーザが正しく回答したことを意味しているのので、ノード0の問題を間違えて、ノード4の問題を正解した場合になる。またABA=8は同様にノード0の問題を正解して、さらにノード4の

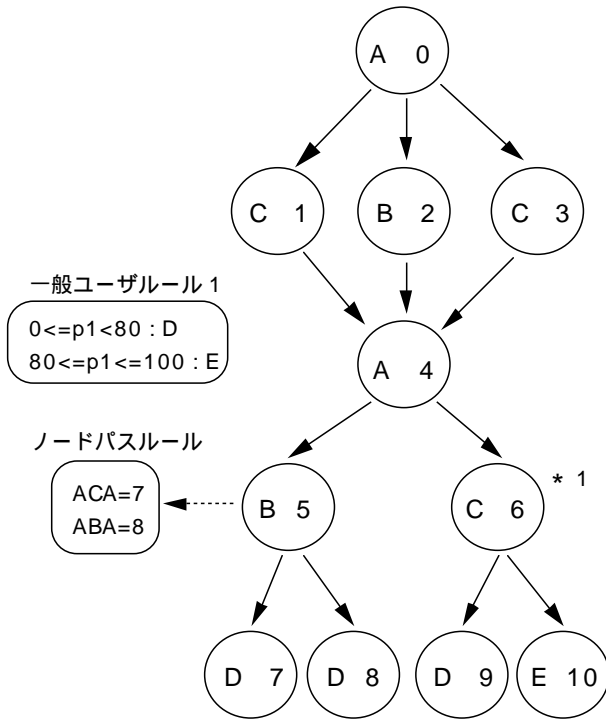


図2 ルール適用例
Fig. 2 Rule Example.

問題も正解した場合、ノード8のみ可視化することを意味している。つまり、これはハイパーメディアネットワーク内で回答した問題の結果によって、次に提示する教材を変更していることを意味している。

また、ノードIDが6のノードにこのハイパーメディアネットワークの任意のノードから利用可能な一般ユーザールール1が定義されてある。一般ユーザールール1では、ユーザパラメータ1が0以上80未満の場合はクラスがDであるようなノードへのリンクを可視化し、ユーザパラメータ1が80以上100以下である場合は、クラスがEであるようなノードへのリンクを可視化することを意味している。これは、ユーザパラメータ1がある教科に対してのそのユーザの成績であるとすれば、その成績に応じて教材を提供することを意味している。

3. データ設計支援ツール

3.1 目的

2. 節で述べたリンクの可視化不可視化方式の特徴は、情報提供者の設定した範囲内で情報獲得者の特性や挙動に適應した情報を提供することにある。この特徴を十分に生かして情報提供者がナビゲーションのためのルールを定義することを支援するために、本稿ではデータ設計支援ツールもあわせて提案する。ここではルールとリンクの可視化不可視化の動作に問題がないかを事前に検出する機能に焦点を当て、誤りのないナビゲーションを実現すること、および情報提供者がナビゲーションをルールで記述する際の負担を軽減することを支援することを

目指す。これは、提案した手法ではリンクが動的に可視化・不可視化されるために、ハイパーメディアにおけるナビゲーションの動作をあらかじめ情報提供者が予測することが非常に困難になると考えられるためである。ここでは以下の2つの現象が問題になると考えられる。

- デッドロック: 情報提供者のルールの設定の仕方によっては、ユーザがそのルールを定義したノードに到達した際にルールの適用により全てのリンクが不可視化され、どこにも行けなくなる考えられる。この現象をデッドロックと定義する。デッドロックが発生すると、ハイパーメディアにおけるユーザの探索が強制的にストップさせられることとなり、ユーザの情報取得の障害となることがある。
- ループ: ナビゲーションによっては、ユーザがネットワーク探索中に以前通ったノードを再度通ることがある。この現象をループと定義する。ループ自体はWWWに見られるようなインデックスのページへ戻るリンクなどにより効果的に用いることができる。しかし、本方式ではリンクを動的に可視化不可視化するため、情報提供者の想定していないループが発生したり、情報提供者の想定したループが実際に辿るとリンクの不可視化のためにループになっていないということが考えられる。これは、ユーザのナビゲーションに大きな問題となる。

ここでは上記の2つの現象の自動検出に焦点を当てて、情報提供者のデータ設計支援を目指す。

3.2 デッドロック検出

デッドロックにはパスルールによって起きる場合と、ユーザールールによって起きる場合の2通りがある。

3.2.1 パスルールによるデッドロック検出

パスルールによるデッドロック検出においては、デッドロックを引き起こす可能性のあるパスも出力する点が特徴であり、情報提供者がパスのパターンを見ることによってルールを訂正するのに有効となる。以下にパスルールによるデッドロック検出の手順を示す。

パスルールによるデッドロック検出アルゴリズム

1. デッドロック検出を行うノードの指定: 情報提供者により、デッドロック検出を行うノードを指定する。
2. 可視化リンクの検査: 検出を行うノードに定義されたルールとそのノードの持つリンク先のノードを調べ、ルール中に定義されたパスヒストリーパターンに対し、可視化すべきリンクが存在するかを検査する。
3. 有効パスの登録: 2.で検査された可視化するリンクが存在するパスヒストリーパターンは、有効パスと定義し、そのパスの長さごとにリストの形で有効パスを登録していく。

4. 逆探索：1.で指定されたノードからそこに記述されるリンクの方向とは逆方向に深さ優先探索^[15]を行う(これを逆探索と呼ぶこととする)。この逆探索には2.1節で定義した逆方向のリンクを利用する。
5. 逆探索パスの検査：現在の探索の長さで有効パスリストを参照し、逆探索のパスが有効パスであるかどうかを検査する。有効パスであれば、この時点でこれ以上深く逆探索を行うことを止め、1つ上のノードに戻って4.に戻る。有効パスでなければ、6.に進む。
6. デッドロック検出：現在の探索長が有効パスリストに登録されているパスの最大長であれば、この探索パスにおいてデッドロックが発生すると判断し、4.に戻る。最大長でなければ、4.に戻る。

アルゴリズム中の5において、逆探索のパスが有効パスとなった時点でそれ以上の逆探索を行っていない。これは、有効パスになったパスについてさらに逆探索を行っても、それで新たに追加されるパスはルールの適用の際には参照されないため無駄になるためである。また、アルゴリズム中の6において、逆探索のパスの長さが有効パスリストに登録されているパスの最大長に等しい時のみ、それをデッドロックと判断している。これは、現在の逆探索のパスの長さが有効パスリストに登録されているパスの最大長でない場合、さらに探索を進めると、探索したパスが有効パスとして有効パスリストに登録されている可能性があるためである。

このアルゴリズム適用の様子を図3に示す。図のネットワーク中の斜線の入った円のノードにおいてデッドロック検出を行う。このノードでは図中のルールが適用されているが、このうちパスパターンAB,AA,ABA,ACCのみ可視化するリンクが存在する。これらは、パスの長さに応じて有効パスとして登録される。そして、検出を行うノードから逆探索を行い、デッドロック検出を行う。この例ではBCCのパスパターンは有効パスでなく、かつパスの長さが有効パスリストに登録されたパスの最大長に等しいので、デッドロックとなる。また、ACCのパスパターンは有効パスなので、こちらはデッドロックにならない。このように、デッドロックの有無を自動で検出し、さらにデッドロックを引き起こすパスパターンを検出することによって、情報提供者によるネットワークのリンク構造の修正やルールの修正を支援することが可能である。

3.2.2 ユーザルールによるデッドロック

ユーザルールによるデッドロック検出においては、デッドロックを引き起こすルールも出力する点が特徴であり、情報提供者がデッドロックを引き起こすルールを特定するのに有効である。以下にユーザルールによるデッドロック検出の手順を示す。

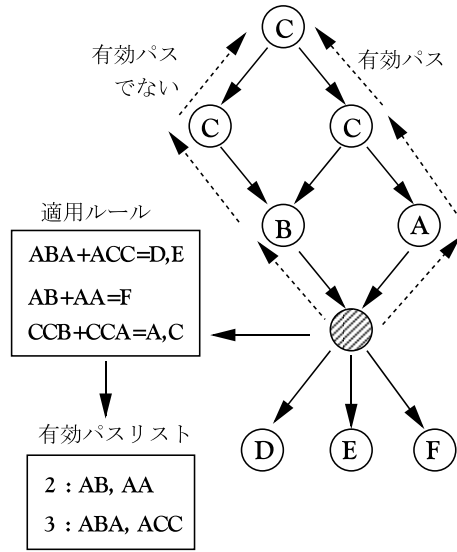


図3 有効パスリスト例
Fig. 3 An example of effective path list.

ユーザルールによるデッドロック検出アルゴリズム

1. デッドロック検出を行うノードの指定：情報提供者によりデッドロック検出を行うノードを指定する。
2. 可視化ノードのチェック：1.で指定されたノードに記述されるユーザルールを適用することで可視化されるべきノードが実際に次のノードとして存在するかをチェックする。存在しなければデッドロックと判断し、存在すればデッドロックにはならないと判断する。
3. パラメータ範囲のチェック：1.で指定されたノードに記述されるユーザルール中のユーザパラメータにおいて、定義されていない範囲がないかをチェックする。そのような範囲あれば、その範囲においてデッドロックが発生すると判断する。

アルゴリズム中の3.では、ルールで定義されていないユーザパラメータの範囲においてデッドロックが発生すると判断している。これは、そのユーザパラメータの値の範囲ではルールがないことに等しいため、この範囲ではデッドロックを起こすためである。

3.3 ループ検出

ループ検出においては、ループのパスも出力する点が特徴である。これは、情報提供者がループのパスを確認しそれが問題になるのかどうかの判断する際と、それからネットワーク構造の修正やルールの修正をする際に有効となる。また、想定したループが存在するかどうかを確認する際にも有効である。以下にループ検出の手順を示す。

ループ検出アルゴリズム

1. ループ検出開始ノード・最大探索長指定：情報提供者により、ループ検出のための深さ優先探索を開始

するノード，および深さ優先探索の最大探索長を指定する．

2. ルール適用：1. で指定されたノードに記述されているルールを適用してリンクの可視化不可視化を行い，可視化されたリンクを可視化リンクリストに登録する．
3. 深さ優先探索：可視化リンクリスト中のリンクを用いて，1ステップ分深さ優先探索を進める．
4. ループチェック：探索で得られた新しいノードIDとループ検出用パス履歴中のノードIDを比較し，同じIDのものがあれば，その間のパスがループになると判断する．
5. パス履歴更新：探索で得られた新しいノードIDをループ検出用パス履歴に登録する．
6. 探索長チェック：現在の深さ優先探索の探索長が1. で指定した最大探索長であれば，1つ前のノードに移動し，3. に戻る．最大探索長でなければ，2. に戻る．

アルゴリズム中の2. において可視化リンクリストというものを使用している．これは，ルールの適用により可視化されたリンクを登録し，これを順番に探索するようにしたものである．これを利用する理由は，ルールの適用により不可視化リンクが出現した場合には，それ以降は辿ることができないため，さらに深く探索を行う必要がなくなるためである．

4. プロトタイプの実装と評価

4.1 プロトタイプ

2. 節述べたリンクの可視化不可視化方式および3. 節で述べたデッドロック検出とループ検出方式を実現するプロトタイプをC++言語を用いて実装した．プロトタイプにおいては，最大ノード数，最大リンク数，最大ルール数はいずれも無制限，最大クラス数が16，最大パス履歴長が16としている．システムは，デッドロック検出とループ検出の機能を持つデータ設計支援部，履歴管理部，ルール解析部，リンク操作部から構成され，またリンクの可視化不可視化を実現するネットワーク探索管理部，ハイパーメディアデータを読み込みネットワークを作成するネットワーク作成部，ウィンドウの表示を行うインタフェース部を備えている（図4参照）．ユーザーとのインタラクションは，ノードの情報やシステムからのメッセージを表示するウィンドウとネットワークの構造を表示するウィンドウを通じて行う．

4.2 可視化不可視化方式の評価

情報処理教育用の問題出題形式の教材を対象とし，データ通信とシステム開発の2つの分野を取り扱ったものをデータとして実装したプロトタイプシステムにおける可視化不可視化方式の動作確認を行った．データとし

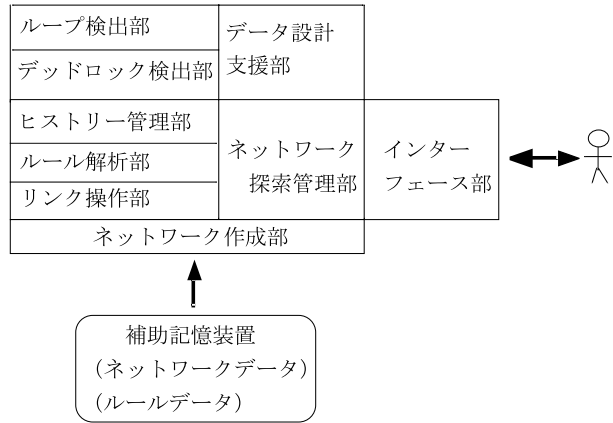


図4 システムアーキテクチャ
Fig. 4 System Architecture.

てはノード数46，リンク数58，クラス数6，ルール数4，ルール中の最大パス履歴長5，ユーザパラメータ数4のものを使用した．また，情報処理を学習している20名のユーザにあらかじめデータ通信，システム開発に対する各自の興味と成績を0-100の数値で記述してもらい，それをユーザパラメータとして設定して利用してもらうことで使用に関する意見を聞いた．

実験では以下のクラスおよびルールを使用した．

クラス

- クラスA：問題提示ノード
- クラスB：正解メッセージ提示ノード
- クラスC：不正解メッセージ提示ノード
- クラスD：解説提示ノード
- クラスE：分野識別用（データ通信）
- クラスF：分野識別用（システム開発）

ナビゲーションルール

- ルール1：ノードパスルールで，3択の3つの問題に答えたその8種類の回答パターンに応じた問題提供を行うルール．
- ルール2：ルール1と同様の内容のルール．
- ルール3：一般ユーザルールで，ユーザの興味により2つの分野から教材を選択するルール．
- ルール4：一般ユーザルールで，ユーザの能力により2つの分野から教材を選択するルール．

ここではまずルール3を一般ユーザルールとして使用してユーザに教材を参照してもらい，その後一般ユーザルールをルール4に変更して同様に教材を参照してもらう実験を行った．

動作例として図5に教材選択の一例を挙げる．これは，あるユーザに対するユーザパラメータが表2のように設定されていた場合の適応例である．この図はルール4を用いた場合であるが，このユーザの苦手なシステム開発が教材として選択されたことを示している．ルール3

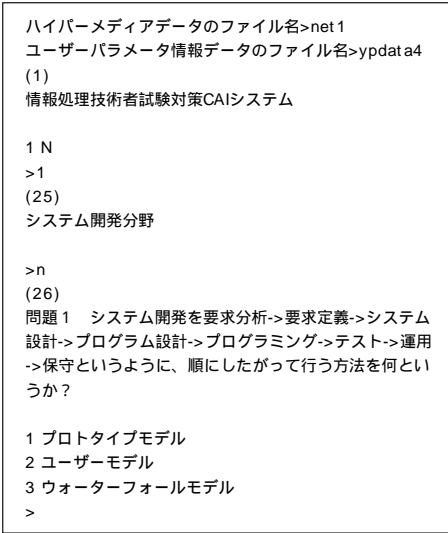


図5 実験におけるユーザ適応例

Fig.5 An example of adaptation in experiment.

表2 ユーザパラメータ設定例

Table 2 An example of user parameter.

分野	興味	成績
データ通信	80	60
システム開発	30	40

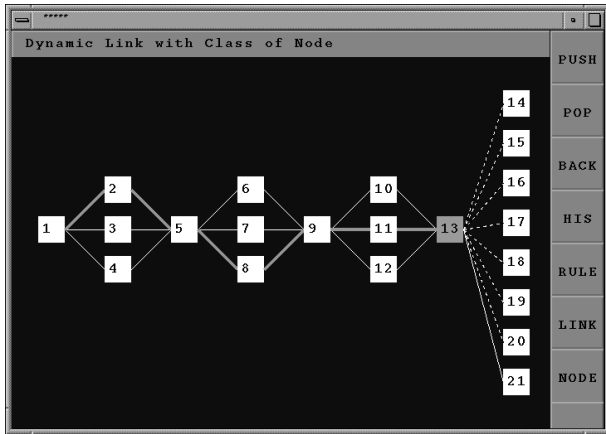


図6 可視化不可視化動作例

Fig.6 An example of dynamic linkage.

を用いた場合はこのユーザの興味のあるデータ通信が選択されることになる。この後このユーザが問題を回答していった結果を図6に示す。この図より解答パターンに合った教材が1つだけ選択されていることが分かる。

この実験を通じて、2.節で定義した可視化不可視化方式がユーザに適応して動作することが確認できた。一方、誤ったルールを設定したり誤ったクラスを定義すると、デッドロックのような現象を引き起こしたり厳密なナビゲーションが実現されない現象が見られ、提案するシステムを使用する情報提供者へのデータ設計支援の必要性も確認された。

4.3 データ設計支援ツールの評価

4名の被験者に情報提供者の立場に立ってもらい、本ツールを利用してノード数100、リンク数400程度のシナリオを作成してもらい、ツールの有効性や問題点について主観的に評価してもらった。

4.3.1 動作例

図4のシステムがデッドロックの存在する可能性のある全てのノードの検出、デッドロックを引き起こす可能性のある全てのパスの表示、およびデッドロックを引き起こすルールの表示機能を実現していることを確認した。図7にルールの表示例を示す。なお、デッドロックの検出時間については、一例としてルール長が12の場合においてはデッドロックの可能性となるパスは 5.54×10^5 程存在したが、これらは3.02秒で全て検出できた¹。

ループ検出モード
 検出を行う対象ノードを指定してください>1
 ユーザルールを適用しますか。
 しない:0 する:1 >0
 検出ループ最大長>6
 以下のパスでループを検出しました
 1->2->6->8->1
 以下のパスでループを検出しました
 2->6->8->1->2

デッドロック検出モード
 検出を行う対象ノードを指定してください>13
 検出を行う対象ルールを指定してください
 1 ノードパスルール 2 一般パスルール
 3 ノードユーザールール 4 一般ユーザールール
 >1
 次のパスにおいてデッドロックが発生します
 2->5->8->9->10
 B->A->B->A->C
 次のパスにおいてデッドロックが発生します
 3->5->6->9->11
 C->A->C->A->B

デッドロック検出モード
 検出を行う対象ノードを指定してください>71
 検出を行う対象ルールを指定してください
 1 ノードパスルール 2 一般パスルール
 3 ノードユーザールール 4 一般ユーザールール
 >4
 次のルールによりデッドロックが発生します
 50<p1<=75:B
 次のルールによりデッドロックが発生します
 75<p2<=100:B

図7 デッドロックを引き起こすパスとループ、ループとなるパスの検出例

Fig.7 An example of deadlock path, deadlock rule, and loop path detection.

また、指定された条件下での全ループの検出とそのパスの表示機能の実現を確認した。たとえばルール長が12の場合においてはループとなるパスは 8.23×10^2 程存在

1: これらの実験はPowerPC601-60MHzで行った。

したが、これらは1.03秒で全て検出できた。

4.3.2 実験からの評価

実際に図4のプロトタイプを実装して情報提供者のデータ設計支援に対する実験を行った結果、以下のような利点が確認できた。

- デッドロック・ループ検出の自動化：ルールのみで記述して思い通りのユーザ適応型ハイパーメディアを設計するのは必ずしも容易ではなく、シミュレーションによる動作確認が必要である。
- 検出されたデッドロック・ループにおけるパスの表示機能：図4におけるインターフェース部を通じてデッドロックやループをもたらずパスを表示することにより、情報提供者は自身が定義したルールがハイパーメディアにおけるナビゲーションに対してどのような結果をもたらずかを直観的に理解することが可能となり、ルールの修正や追加・削除といったデータ設計支援における負担が軽減される。
- 検出時間：検出時間の長さはデータ設計時における情報提供者の認知的負荷にも影響を及ぼすため、重要な評価指標となる。一般にルールで参照するパスの長さやループの長さの増大に伴って検出時間も増大するが、提案するシステムは許容範囲内の時間（10秒程度と想定している）で検出が可能である。不十分な点としては、以下の点が挙げられる。
- 2節でのルールおよび3節での検出メカニズムはノード単位で定義されているため、インターフェース部でネットワークの全体像を提示してはいるものの、グローバルな制御メカニズムを提供する必要がある。

5. おわりに

本稿では、適応型ハイパーメディアの一手法として、情報提供者による厳密なナビゲーションを支援するリンクの可視化不可視化方式を提案した。また、情報提供者によるデータ設計を支援するデータ設計支援ツールとして、デッドロック検出機能とループ検出機能に焦点を当てて、可視化不可視化方式に特有なルールやユーザモデルを利用した検出方式を提案した。上記の手法を実装するプロトタイプにおいて実験を行い、情報提供者によるユーザに応じたナビゲーションが可能であること、厳密なナビゲーションが提供できることを確認した。また、データ設計支援ツールにおいてもデッドロックの検出とデッドロックを引き起こすパスやループの表示、ループの検出とループとなるパスの表示を確認し、これらがデータの修正などに有効であることを示した。

今後は、厳密なナビゲーションを保証するための、アクセス権やリンクの作成権といったセキュリティ機能に関して、研究を進めていく予定である。

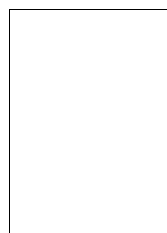
参考文献

- [1] Berners-Lee, T., et al.: The World-Wide Web, Communications of the ACM, vol.37, No.8, pp.76-82,(1994)
- [2] 森田, 速水: 情報フィルタリングシステム, 情報処理学会学会誌, vol.37, No.8, pp.751-758,(1996)
- [3] Lieberman, H.: Letizia: An agent that assists web browsing, Proc. of International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp. 924-929,(1995)
- [4] Joachims, T., Freitag, D., and Mitchell, T.: Web-Watcher: A Tour Guide for the World Wide Web, Proceedings of IJCAI97, pp. 770-775,(1997)
- [5] Barrett, R., Maglio, P., and Kellem, D.: How to Personalize the Web, Proc. of CHI'97, pp.75-82,(1997)
- [6] Brusilovsky, P., Eklund, J., and Schwarz, E.: Web-based education for all: a tool for development adaptive courseware, Computer Networks and ISDN Systems, 30, pp.291-300,(1998)
- [7] Yan, T., et al.: From User Access Patterns to Dynamic Hypertext Linking, Computer Networks and ISDN Systems, 28, pp. 1007-1014,(1996)
- [8] Shardanand, U., and Maes, P.: Social Information Filtering: Algorithm for Automating 'Word of Mouth', Proc. of CHI'95, Mosaic of Creativity, pp. 210-217, pp.75-82,(1995)
- [9] Furuta, R., et al.: Hypertext paths and the World Wide Web: experience with Walden's Paths, Proc. of Hypertext'97, pp. 167-176,(1997)
- [10] Nicol, D., Smeaton, C., and Slater, A.F.: Footsteps: trailblazing the Web, Computer Networks and ISDN Systems, 27, pp.879-885,(1995)
- [11] Juhne, J. et al.: Ariadne: a Java-based guided tour system for the World Wide Web, Computer Networks and ISDN Systems, 30, pp. 131-139, (1998)
- [12] Nielsen, J.: HYPER Text & HYPER Media, Academic Press,(1989)
- [13] Conklin, J.: Hypertext: An Introduction and Survey, Computer - Supported Cooperative Work, MORGAN KAUFMANN PUBLISHERS, pp. 423-475,(1988)
- [14] Kappe, F.: Hyper-G: A Distributed Hypermedia System, Proc. of INET'93, pp. DCC1-DCC9,(1993)
- [15] Aho, A.V., Hopcroft, J.E., and Ullman, J.D.: The Design and Analysis of Computer Algorithm, Addison-Wesley, Reading, Mass,(1974)

(1998年12月22日受付, 1999年1月15日再受付)

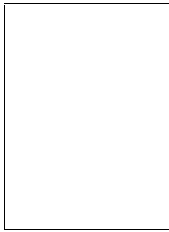
著者紹介

土方 嘉徳 (正会員)



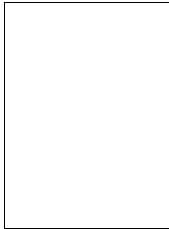
昭和48年6月10日生。平成8年3月大阪大学基礎工学部システム工学科卒業。平成10年3月同大学大学院修士課程終了。同年4月日本アイ・ピー・エム(株)東京基礎研究所入所。ヒューマンインタフェース技術の研究に従事。

吉田 哲也 (正会員)



昭和43年8月27日生。平成3年3月東京大学工学部航空工学科卒業。平成4年10月より一年間エジンバラ大学大学院留学。平成6年8月より一年間カリフォルニア大学バークレー学校交換留学。平成9年3月東京大学大学院博士課程修了。同年4月大阪大学助手。知識処理技術，ヒューマンコミュニケーション技術の研究に従事。工学博士。

西田 正吾 (正会員)



昭和27年1月5日生。昭和49年3月東京大学工学部電子工学科卒業。昭和51年3月同大学大学院修士課程修了。同年4月三菱電機(株)入社。同社中央研究所システム基礎研究部研究員，グループマネージャーを経て，平成7年4月，大阪大学基礎工学部システム工学科教授。現在，大阪大学大学院基礎工学研究科システム人間系専攻教授。システム技術，ヒューマンインタフェース技術，メディア技術の研究に従事。工学博士。昭和59-60年MITメディアラボ客員研究員。昭和61年度，平成5年度電気学会論文賞，平成4年度電気学会著作賞，平成7年度電気学会進歩賞受賞。電気学会，電子情報通信学会，IEEEほか会員。IEEE Fellow。