情報提供者によるユーザのナビゲーションを支援する 適応型ハイパーメディアシステム

非会員 土 方 嘉 徳 (日本アイ・ビー・エム(株))

非会員 吉 田 哲 也 (大 阪 大 学)

正 員 西 田 正 吾 (大 阪 大 学)

Adaptive Hypermedia System for Supporting Information Providers to Direct Users through Hyperspace

Yoshinori Hijikata, Non-member (IBM Research), Tetsuya Yoshida, Non-member, Shogo Nishida,
Member (Osaka University)

This paper introduces an adaptive hypermedia system that provides a means for information providers to direct their users through hyperspace. With our system, information providers are able to easily direct a user to his own personalized navigation path. Destination options are determined by hiding links and by applying rules that guarantees that a user is offered the best path for him. In order to reduce the effort in creating navigation rules, we simplified the format of these rules and offer a navigation support tool that verifies the navigation rules and reports any errors. This tool not only allows information providers to easily write navigation rules but also guarantees the adequacy of the navigation path.

キーワード: 適応型ハイパーメディア, ナビゲーション, リンク Hiding, ナビゲーション記述支援ツール

1. はじめに

WWW(World-Wide Web) が急速に普及し、日常の情報獲得のツールとして使用されるようになった。さらに、その利用形態はオンラインショッピング、Webを用いたマーケティング、教育など多様化する傾向にある⁽¹⁾。このような利用形態では、情報提供者がユーザを個々のユーザに応じて Web のハイパー空間 (ページとリンクから構築された空間) を確実にナビゲーションすることが求められることがある。例えば、教育分野でのユーザの学力や学習履歴に応じた教材提供や、子供などへの有害情報の規制、ユーザに応じたマーケティングキャンペーン (バナー広告の表示や商品の推薦) などを行いたい場合である。

このような情報提供者によるハイパー空間におけるユーザのナビゲーションは、適応型ハイパーメディアという形で研究が行われてきた⁽²⁾。適応型ハイパーメディアとは、一般のハイパーメディア⁽³⁾⁽⁴⁾ (WWWの基礎となる技術で、情報提示の単位となるノードとノード間を結ぶリンクにより構築されたハイパー空間を、ユーザが自由に移動しながら情報獲得することを可能にしたもの。) に、動的なユーザへの適応機能を追加したものである。ユーザへの適応は、様々なユーザに関する情報 (知識、目的、興味など) に基

づいて行われている。情報提供者によるナビゲーションを実現する適応型ハイパーメディアシステムでは、情報提供者がユーザのタイプに応じて、あらかじめナビゲーションの仕方を記述しておく方法を用いていることが多い。しかし、この方式には以下の問題があると考えられる。

- (1) ナビゲーションの制御方式を複雑にすれば木目細かな制御が可能であるが、情報提供者のナビゲーション記述の負荷が増える。
- (2) ナビゲーションはユーザに応じて動的に変化するため、様々なユーザに応じたナビゲーションの動作をあらかじめ予測することが難しい。

これらは、ユーザを確実にナビゲーションすることが要求される場合ほど問題になると考えられる。

本研究では、情報提供者がユーザをハイパー空間で確実にナビゲーションすることが要求される場合に、ナビゲーションの記述にかかる情報提供者の負荷と記述したナビゲーションにおける誤りが少なくてすむ適応型ハイパーメディアシステムの構築を目指す。そこで、以下のような仕組みと機能により、上記の問題を解決するシステムを提案する。

- (1) ナビゲーションの記述をシンプルにする。
- (2) 記述したナビゲーションに問題がないかどうかを検査するナビゲーション記述支援ツールを提供する。

従来の適応型ハイパーメディアシステムでは、上記の問題を考慮して、情報提供者によるナビゲーションの記述を支援する仕組みや機能を実現することには、あまり焦点が当てられてこなかった。

提案するシステムでは、ユーザの適応方式としてリンクのHidingを用いている。リンクのHidingは、ユーザのリンク選択の自由度を減らすことになるため、情報提供者の意図したリンクへユーザを確実に誘導できる効果が期待できるからである。また、ナビゲーションで利用するユーザに関する情報には、長期的な情報と短期的な情報の二種類を利用している。提案するシステムではナビゲーションの記述はシンプルな記述に限定するが、適応に必要なユーザに関する情報が長期的なものあるいは短期的なものだけに限られることから、情報提供者の実現できるナビゲーションのバリエーションが限定されることを防ぐためである。

本稿では、2節で適応型ハイパーメディアとその研究例について触れた後、3節で本システムで用いるナビゲーション手法について、4節でナビゲーション記述支援ツールについて説明する。5節でシステムの実装と実験による評価について述べる。最後に、6節でまとめを述べる。

2. 適応型ハイパーメディア

適応型ハイパーメディアとは、一般のハイパーメディアシステムにユーザへの適応機能を追加したものである。既存の適応型ハイパーメディアの研究の多くは、各ユーザごとにユーザモデルを構築し、それをユーザへの適応に利用している⁽²⁾。ユーザモデルとは、知識、目的、興味などのユーザに関する情報を表わしたものである。

〈2・1〉 適応の方式 適応の方式は、適応させる対象によって以下の2種類に分けられる⁽²⁾。

(1) content-level adaptation (adaptive presentation)

ノードの中に格納されているユーザに提示する内容をユーザモデルに従ってユーザに適応させる方式^{(6)~(8)(12)(20)}。

(2) link-level adaptation (adaptive navigation support)

ノードにつけられているリンクをユーザモデルに従ってユーザに適応させる方式。

本研究では、情報提供者がユーザをハイパー空間でナビゲーションすることを目的とするため、link-level adaptationを採用する。link-level adaptationには、リンクをどのように適応させるかにより、以下の4種類に分けられる⁽²⁾。

(1) Direct guidance

次に辿るべきリンクに説明をつけたり⁽⁹⁾、次に辿ることを推薦する付加的なリンク [Next Link] を動的につける⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁽¹³⁾ ことにより、ユーザにどのリンクを辿ればいいのかというガイダンスを与える方式。

(2) Adaptive ordering

ユーザに適している順にリンクをソートすること

により、情報をユーザに適している順に並べて見せる方式⁽⁹⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾。

(3) Hiding

リンクを見せなくすることにより、探索できるハイパー空間を制限する方式^{(11)(17)~(20)}。

(4) Adaptive annotation

リンクに付加的な装飾をつけることにより、ユーザがリンク先のノードをすでに訪れたかどうかや、リンク先のノードがユーザにお勧めかどうかといった、リンク先のノードについての簡単な説明を視覚的に見せる方式⁽¹¹⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁸⁾⁽²⁰⁾⁽²²⁾。

上記の4種類のlink-level adaptationのうち、direct guidance, adaptive ordering, adaptive annotationについては、情報提供者の推薦しないリンクも表示している。これは、情報提供者側には意図したナビゲーションにユーザが必ずしも従うとは限らない問題があるが、ユーザ側には情報提供者によるナビゲーション以外のリンクも選択できる自由度を与えることになる。このような特徴を生かした分野としては、以下の分野が挙げられる。

(1) 情報検索システム。

(2) 学習者の能動的な情報獲得に重点を置いた教育システム。

また、Hidingでは、情報提供者の推薦しないリンクは表示していない。これは、ユーザ側には情報提供者側によるナビゲーションに必ず従わざるを得ない制約や、ユーザのハイパー空間に対する誤ったメンタルモデルを形成する恐れがあるが⁽²⁾、情報提供者側には意図したナビゲーションに必ずユーザが従ってくれる利点がある。このような特徴を生かした分野としては、以下の分野が挙げられる。

(1) 企業研修に見られるような、情報提供者主導によりユーザが短時間に効率よく知識を得ることのできるような教育システム。

(2) ソフトウェアなどにおけるヘルプシステム (ユーザのスキルや操作状況に合わせたヘルプを表示する)。

(3) 一部子供などに見せたくない有害情報を含む情報提供システム。

これら4種類のlink-level adaptationは、その時々で使い分けまたは併用されるものであるが、本研究では特に情報提供者が確実にユーザをナビゲーションする場合を対象とするので、Hidingの技術を用いる。

また、これらの適応型ハイパーメディアシステムの中には、ルールベースによりユーザ適応を行っているものも多い⁽⁶⁾⁽⁸⁾⁽¹¹⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁸⁾⁽²⁰⁾。本研究では、情報提供者がユーザをナビゲーションするため、リンクをHidingするかどうかの決定をルールによって行なう。しかし、ルールを複雑にすれば目細かな適応を行うことが可能であるが、情報提供者のルールを記述する負荷が増加するというオーサリングの問題^{(20)~(22)}がある。そこで、本研究ではルールをシンプルな記述に限定する。

また、ナビゲーションはユーザに応じて動的にリンクをHidingすることにより行われるため、様々なユーザに応じたナビゲーションの動作を完全に予測することは難しい。これは、確実なナビゲーションが要求される場合には問題になる。そこで本研究では、ナビゲーション用のルール of 動作に問題がないかを検査し、情報提供者のナビゲーション記述を支援するツールも提供する。

〈2・2〉 ユーザモデル 適応型ハイパーメディアで用いられるユーザモデルには、知識や経験を表すためのOverlay modelやStereotype model, 興味を表すためのキーワードやトピックを使ったモデルなどがある⁽²⁾。

(1) Overlay model

概念にユーザの知識の度合いを付加して、これらを意味的にネットワーク化することにより、ユーザの知識を表現したモデルである^{(10)~(12)(16)}。ここで概念とは、トピック、知識の要素、オブジェクトなどとも呼ばれることがあるが、いずれもユーザの知識を表すための基本的な単位のことを指す。

(2) Stereotype model

分類にユーザの典型的なタイプを割り当てて、ユーザのその分類に対する知識や経験の程度を表現するモデルである⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾⁽²³⁾。例えば、分類としてUNIX, C言語を用意し、典型的なタイプとしてnovice-beginner-intermediate-expertの4つのタイプを用意した場合、あるユーザにUNIXはnovice, C言語はexpertのように典型的なタイプをそれぞれの分類に割り当てることで表現する。

(3) キーワードやトピックを使ったモデル

キーワードやトピックにユーザの興味の度合いを付加して、ベクトルや行列で表現したモデルである⁽⁹⁾⁽¹⁴⁾。興味の度合いは、ユーザにアンケートをして取得したり、閲覧したノードのテキストにおけるキーワードの出現頻度などから推定している。

本研究では、ユーザモデルに関して、以下のような点を考慮することにする。

- (1) 適用対象を限定することを防ぐために、知識、経験、興味など一つの特徴に特化して表現するモデルにはしない。
- (2) ナビゲーションをシンプルな記述に限定することから、モデルもシンプルな記述とする。
- (3) 人間の認知・記憶には長期記憶と短期記憶があること⁽⁵⁾や、一般にユーザモデルには長期的な情報と短期的な情報の両方が重要であることから⁽²³⁾、その両方をモデル化する。

そこで、本研究では長期的なユーザ情報をシンプルにモデル化するため、上記3種類のユーザモデルに共通する、属性と値からなるパラメータを導入することとする。また、短期的なユーザ情報のモデル化には、Webの世界でもよく使われる探索履歴を使うこととする。

図1 ハイパーメディアモデル

Fig. 1. Hypermedia model.

3. ナビゲーション方式

〈3・1〉 ハイパーメディアモデル 本システム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を表わし、この中にユーザに提示される情報が格納されている。ユーザは、実線の矢印で記したリンクを辿ることにより、ノード間を移動することができる。また、破線の矢印で記したユーザの辿るリンクとは逆方向のリンク⁽²⁴⁾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、4節に述べるナビゲーション記述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(〈3・2〉節参照)が定義されており、ノードによっては情報提供者が記述したナビゲーション用のルール(〈3・4〉節参照)が存在する。

〈3・2〉 クラス 各ノードには、記号によって表される(以下アルファベットで表わすことにする。)クラスという情報を付ける。クラスという概念を導入する理由は、オブジェクト指向におけるクラス概念に沿って、ナビゲーションにおける制御の性質や意味を汎化・特化させることで、情報提供者によるナビゲーション記述の負荷を低減することを目指すためである。そこで、クラスを用いてユーザモデル(〈3・3〉節で説明)とナビゲーション用のルール(〈3・4〉節で説明)の一部を記述する。情報提供者は、自由にクラスに意味付けを行い使用する。クラスの実例は(〈3・5〉節で触れるが、例えば以下のように意味付けすることができる。

- (1) あるノードの中に書かれている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。
- (2) 教育に用いる場合、ある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区別。
- (3) 情報提供者がいくつかのカテゴリの情報を提供しようとしている場合で、あるノードの中に書かれている内容のカテゴリの区別。

〈3・3〉 ユーザモデル 2節で説明したようにユーザモデルは長期的な情報と短期的な情報の二種類を含み、なるべくシンプルな形で表現する。本方式では、長期的な情報はある分野に関する興味の度合いや知識の程度などに相当すると考え、これをユーザパラメータとして表現する。短期的な情報はハイパー空間の探索履歴(情報を閲覧した順

序やリンク選択式の問題・アンケートに答えた結果)に相当すると考え、これをパスヒストリーとして表現する。

ユーザパラメータはある範囲(例えば0~100)の数値によって表現する。パラメータの数は複数で、それぞれのパラメータにIDを振って区別する。パラメータの値は、ユーザが本システムを使用する前に、あらかじめ設定しておく。例えば、ユーザにアンケートをして設定したり、教育での利用では通常紙で行なっている定期テストの結果によって設定する。本システムでは、このパラメータをシステムが自動で変更することはしないことにする。これは自動で構築したユーザモデルは、一般に信頼性に欠け⁽¹²⁾、本システムのような確実なナビゲーションをすることを目的にしているシステムには向かないからである。

パスヒストリーはユーザの辿ったパスの軌跡をノードにつけられたクラスの変遷として表現する。例えば、ユーザの辿ったパスに含まれるノードのクラスが、 $C \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow B \rightarrow A$ の順であれば、 $CABBA$ と表現する。

〈3・4〉 ルール 本システムでは、ユーザ適応方式としてリンクのHidingを用いる。リンクをHidingするかどうかの決定はルールによって行う。ルールは各ノード単位で定義され、以下の4種類のルールを提供する。

- (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

ここでパスヒストリーを利用するルールをパスルール、ユーザパラメータを利用するルールをユーザルールと呼ぶ。さらに、これらの中で、ノードルールと一般ルールという2種類のルールに分ける。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、そのノードでしか行わないようなHidingのルールを記述する際に使う。一般ルールとはハイパー空間のどのノードにも適用可能なルールで、頻繁に使用する決まったパターンのHidingを行うルールを記述する際に使う。

4種類のルールは以下のように記述される。いずれのルールも表示するリンクをリンク先のノードのIDまたはクラスによって記述する。ルール中で表示すると記述されているノード以外のノードへのリンクはHidingする。

- (1) ノードパスルール

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

- (2) 一般パスルール

$$C_{11} \cdots C_{1h} + \cdots + C_{m1} \cdots C_{mh} \\ = C_1^f, \cdots, C_n^f \quad \cdots (2)$$

- (3) ノードユーザルール

$$e_1 * P_i * e_2 : D_1, D_2, \cdots, D_n (3)$$

- (4) 一般ユーザルール

$$e_1 * P_i * e_2 : C_1^f, C_2^f, \cdots, C_n^f (4)$$

ここで、 C はクラス、 D は表示するノードのID、 C^f は表示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 は表示するノード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=、<、≤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)の一般パスルールにおいて、 $C_{m1} \cdots C_{mh}$ はパスヒストリーパターンで、ユーザの探索履歴のパターンを通過するノードのクラスの順列で記述している。つまり、このルールはユーザのパスヒストリーが“=”の左側にある“+”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、“=”の右側にある“,”で区切られたIDを持つノードまたはクラスであるノードへのリンクを表示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では、 $e_1 * P_i * e_2$ の式によって、ユーザパラメータ P_i を指定し、パラメータの範囲を指定している。つまり、このルールは“:”の左側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、“:”の右側にある“,”で区切られたIDを持つノードまたはクラスであるノードへのリンクを表示することを意味している。

上述の4種類のルールのうち2種類以上のルールを、1つのノードに定義している場合は、表示するリンクは各ルールの和を取る形で行う。つまり、パスルール、ユーザルールのいずれか一方でも、あるノードへのリンクを表示すると記述していれば、そのリンクは表示される。

〈3・5〉 ナビゲーション例 図2にパスルール及びユーザルールを用いたナビゲーションの例を示す。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。

- A: 問題を提供するノード
- B: 正しく解答した結果を表示するノード
- C: 間違って解答した結果を表示するノード
- D: 学力の低いユーザ向けの説明を行うノード
- E: 学力の高いユーザ向けの説明を行うノード

ユーザパラメータは、あらかじめテストを行うなどして得られた、ある教科に対する学力を示していることにする。

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。このルールで記述されている $ACA = 7$ は、ユーザのパスヒストリーにおいてノードのクラスが $A \rightarrow C \rightarrow A$ の順になるような探索をした場合、次はノード7へのリンクのみ表示することを示している。クラスの C はユーザが間違って解答したことを意味し、クラスの B はユーザが正しく解答したことを意味しているので、この順で探索することは、ノード0の問題を間違えて、ノード4の問題を正解したことになる。また同様に $ABA = 8$ は、ノード0の問題を正解してさらにノード4の問題も正解した場合、次はノード8へのリンクのみ表示することを意味している。つまり、これはハイパー空間で問題に解答

図2 ルール適用例

Fig. 2. An example of the rules.

した結果によって、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、このハイパー空間の任意のノードから利用可能な一般ユーザールール1を定義している。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表示し、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表示することを意味している。ユーザパラメータ1はある教科に対してのユーザの学力であるとしたので、このことはユーザの学力に応じて教材を提供することを意味している。

4. ナビゲーション記述支援ツール

〈4・1〉 目的 一般に、情報提供者がユーザをナビゲーションするような適応型ハイパーメディアシステムでは、情報提供者のナビゲーション記述の負荷が増えるため、オーサリングツールが重要である^{(20)~(22)}。そこで、本システムでは情報提供者のナビゲーションの記述を支援するナビゲーション記述支援ツールを提供し、その機能としてリンクのHidingの動作に問題がないかを事前に検出することに焦点を当てる。これにより、誤りの少ないナビゲーションを実現することと、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荷を軽減することを目指す。検出対象には、どのようなコンテンツでも起こりうり、かつナビゲーションにおける誤りと関係のある可能性が高い、以下の2つの現象を取り上げる。

(1) デッドエンド

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Hidingされ、どこにも行けなくなるといことが考えられる。この現象をデッドエンドと定義する。デッドエンドが発生すると、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。

(2) ループ

ナビゲーションによっては、ユーザがハイパー空間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に見られるように、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Hidingするため、情報提供者の想定していないループがハイパー空間に存在していたり、情報提供者の想定したループを実際に辿ろうとすると辿ることができなかつたり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。

〈4・2〉 デッドエンド検出 デッドエンド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。ここでは、あるノードにおいて、パスルールによりデッドエンドが発生するかどうか（発生する可能性があるかどうか）と、ユーザールールによりデッドエンドが発生するかどうかを検出する。

ただし本システムでは、4種類のルールのうち2種類以上を定義しているノードでは、リンクの表示をこれらのルールの和を取る形で行っている。このため、このようなノードでは、ある種類のルールにより発生するデッドエンドを検出しても、他の種類のルールによりリンクが表示され、デッドエンドにならない場合がある。そこで、ある種類のルールによりデッドエンドを検出した場合、他の種類のルールが定義されていないか検査する。定義されていなければデッドエンドを検出したこととし、定義されていればデッドエンドの可能性を検出したこととする。

〈4・2・1〉 パスルールによるデッドエンド検出 パスルールによるデッドエンドは、(i) ユーザの辿ったパスヒストリーパターンがパスルール中に記述されていない、または(ii) パスルール中でユーザの辿ったパスヒストリーパターンによって表示すると記述されているノードが現在のノードからのリンク先に存在しない場合に発生する。以下に、ある特定のノードにおいてパスルールによるデッドエンドが発生するかどうか、または発生する可能性があるかどうかを検出するアルゴリズムを示す。このアルゴリズムでは、デッドエンドを引き起こす要因となるパスも検出する。

パスルールによるデッドエンド検出アルゴリズム

- (1) デッドエンド検出を行うノードの指定：情報提供者により、デッドエンド検出を行うノードを指定する。
- (2) 表示リンクの検査：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、表示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)で検査した表示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（このリストを有効パスリストと呼ぶ。）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、(2・1)節で定義した逆方向のリンクを利用し、逆方向に深さ優先探索⁽²⁵⁾を行う（これを逆探索と呼ぶこととする）。
- (5) 逆探索パスの検査：現在の逆探索におけるパス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、これ以上深く逆探索を行うことを止めて(4)に戻り、一つ前のノードから別のリンクを使って逆探索を続ける。有効パスでなければ、(6)に進む。
- (6) デッドエンド可能性の検出：現在の逆探索における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あれば、この探索パスにおいてデッドエンドが発生する可能性があるかと判断し、(7)に進む。最大長でなければ、そのまま(4)に戻る。
- (7) デッドエンド（可能性）の決定：この探索パスのいずれかのノードにルールが定義されているかどうかを検査する。定義されていなければこの探索パスでデッドエンドが発生すると決定し、定義されていればこの探索パスでデッドエンドが発生する可能性があるかと決定する。その後、(4)に戻る。

このアルゴリズム適用の様子を図3に示す。図のハイパー空間中の斜線の入った円のノードにおいてデッドエンド検出を行う。斜線の入ったノード以外ではルールは定義されておらず、斜線の入ったノードでは図中のルールが適用されている。このうちパスヒストリーパターン AB, AA, ABA, CCA のみ表示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、デッドエンド検出を行う。この例では CCB のパスヒストリーパターンが有効パスでない。さらに、この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く、このパスの中にルールを定義したノードはないため、デッドエンドとして検出する。また、 CCA のパスヒストリーパターンは有効パスなので、こちらはデッドエンドにならない。

このアルゴリズムにより、情報提供者がハイパー空間中のパスルールによりデッドエンドが全く発生しないかどうかをチェックするには、ハイパー空間中でパスルールを定義しているノードをすべて指定して、デッドエンド検出を行うことで可能である。

4.2.2 ユーザルールによるデッドエンド ユーザルールによるデッドエンドは、(i) ユーザの持つユーザパラメータの値がユーザルール中に記述されているパラメータ範囲に入っていない、または(ii) ユーザルール中でユーザの持つユーザパラメータの値により表示すると記述され

図3 パスルールによるデッドエンドの検出例
Fig. 3. An example of deadend detection.

ているノードが現在のノードからのリンク先に存在しない場合に発生する。以下にユーザルールによるデッドエンド検出のアルゴリズムを示す。このアルゴリズムでは、デッドエンドを引き起こすかどうかに加えてデッドエンドを引き起こすルールも出力する。

ユーザルールによるデッドエンド検出アルゴリズム

- (1) デッドエンド検出を行うノードの指定：情報提供者によりデッドエンド検出を行うノードを指定する。
- (2) 表示ノードの検査：(1)で指定されたノードで定義されているユーザルールを調べ、表示されるべきノードが、指定されたノードからのリンク先に存在するかを検査する。存在しなければデッドエンドと判断し、存在すればデッドエンドにはならないと判断する。
- (3) パラメータ範囲の検査：(1)で指定されたノードに定義されてい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検査する。そのような範囲があれば、その範囲においてデッドエンドが発生すると判断する。

このアルゴリズムにより、情報提供者がハイパー空間中でユーザルールによりデッドエンドが全く発生しないかをチェックするには、ハイパー空間中でユーザルールを定義しているノードをすべて指定して、デッドエンド検出を行うことで可能である。

4.3 ループ検出 リンクのHidingの効果がなければループになるパスでも、リンクのHidingの効果があるためにループにならないことがある。あるパスがリンクのHidingの効果がある場合もループになるかどうかは、ユーザパラメータを設定し、ルールを適用しながらそのパスを辿ってみる必要がある。以下に、ある特定のノードからルールを適用しながら深さ優先探索することにより、ループ検出を行うアルゴリズムを示す。このアルゴリズムでは、ルー

ブの検出に加えてループのパスも出力する。

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：ノードに定義されているルールを適用してリンクのHidingを行い、表示されたリンクを表示リンクリスト（ルールの適用によりHidingされずに表示されたリンクを記憶しておくためのリスト）に登録する。
 - (3) 深さ優先探索：表示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) ループ検査：探索で得られた新しいノードIDと今までの探索におけるノードIDの履歴を比較し、同じIDのノードが履歴中にあれば、その間のパスがループになると判断する。
 - (5) 探索長検査：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。
- 上記アルゴリズムの(2)において、深さ優先探索中に到達したノードにおいてパスルールが適用されており、深さ優先探索のパスの長さがパスルールで記述されているパスパターンの長さより短い場合は、パスルールを適用することができない。このような場合は、ループになる可能性を発見するために、パスルールを適用せずにすべてのリンクを表示することとしている。

また、最大探索長は下記のことを考慮して情報提供者が指定することとしている。

- (1) 情報提供者の想定したループが辿ることができるかどうかをチェックする場合における、想定したループの長さ。
- (2) ループが存在するかどうかをチェックするのに、ある長さ以上のループは存在を許容するというような条件がある場合における、その条件のループの長さ。
- (3) 大量のループを含むハイパー空間でループのチェックをする場合において、システムの検出するループの個数が情報提供者によりそのパスを目で確認できる範囲内であるような最大探索長。（試行錯誤的に選ぶ。）

5. システムの実装と評価

〈5・1〉 **システムの実装** 前節までに提案した手法を、C++言語を用いて実装した。実装したシステムでは、定義できるクラスの種類を16、ルールで記述できるパス履歴の最大長を16とした。その他のパラメータ（ハイパーメディアのノードの数、リンクの数、ルールの数）には、制限はない。システムは、(i) デッドエンド検出とループ検出の機能を持つナビゲーション記述支援部、(ii) リンクのHidingを実現するハイパー空間探索管理部、(iii) ハイパー

図4 システム構造
Fig. 4. System structure.

メディアデータを読み込み、ノードとリンクで構成されるハイパー空間を作成するハイパー空間作成部、(iv) ウィンドウの表示を行うインタフェース部から構成される（図4参照）。ハイパー空間探索管理部は、さらにヒストリー管理部、ルール解析部、リンク操作部から構成される。これらは、Hidingの機能を実現するのに必要なモジュールである。ユーザとのインタラクションは、ノードの内容やシステムからのメッセージを表示するウィンドウを通じて行う。

〈5・2〉 **システムの動作例** 図5-(a)に本システムでユーザがハイパー空間を探索している時の表示例を示す。このように、ユーザはテキストベースで情報を閲覧し、リンク先の番号を入力することにより探索していく。図5-(b,c)に本システムのナビゲーション記述支援ツールの動作例を示す。図5-(b)はデッドエンドの検出例で、情報提供者が指定したノードにおいて、ユーザがそのノードにたどり着くパスヒストリーパターンのうちデッドエンドになるものをノードID及びクラスの遷移で表示している。図5-(c)はループの検出例で、情報提供者が指定したノードから出発して探索を行うことにより検出されたループのノードIDの遷移を表示している。

〈5・3〉 **評価の焦点** 本システムの評価は、以下の点に焦点を当てて行う。

- (1) システム全体の情報提供者による主観的評価
ルールをシンプルな形式にし、ナビゲーション記述支援ツールを提供した本システムが、情報提供者にどのような使い勝手であったのかを明らかにする。このため、数人の情報提供者に実際に使用してもらいシステム全体としての有効性に関する主観的評価を得る。
- (2) ナビゲーション記述支援ツールの定量的評価
ナビゲーション記述支援ツールが、情報提供者のナビゲーション記述の負荷軽減とナビゲーションの確実な動作を実現しているかどうかを明らかにする。このため、ナビゲーション記述支援ツールにより、情報提供者のナビゲーション記述時間と記述したナビ

(1)
情報処理技術者試験対策CAIシステム
1 システム開発分野
2 OS分野
3 ハードウェア分野
>1
(25)
システム開発分野
>n
(26)
問題1 システム開発を要求分析->要求定義->システム設計->プログラム設計->プログラミング->テスト->運用->保守というように、順にしたがって行う方法を何というか？
1 プロトタイプモデル
2 ユーザーモデル
3 ウォーターフォールモデル
>

(a) ユーザ探索例

デッドエンド検出モード
検出を行う対象ノードを指定してください>15
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エンドが発生します
3->6->9->10->11
C->A->B->A->C

(b) デッドエンド検出例

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>83
ユーザー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>5
以下のパスでループを検出しました
1->24->48->1

(c) ループ検出例

図5 画面例

Fig. 5. Output example from the system.

ゲーションにおける誤りの発生率を低減することができたかどうかを定量的に評価する。

〈5・4〉 評価の手法

〈5・4・1〉 システム全体の情報提供者による主観的評価

5人の情報提供者にコンテンツとそのコンテンツにおけるナビゲーションを記述してもらい、システムの有効性や問題点について主観的な意見をもらった。5人の情報提供者には、以下のようなデータを作成してもらった。

- (1) 情報提供者A：中学生理科の教育用コンテンツ
- (2) 情報提供者B：中学生英語の教育用コンテンツ
- (3) 情報提供者C：子供に悪影響のある内容を一部含むコンテンツ
- (4) 情報提供者D：売り手のプロモーションを行うオンラインショッピングのコンテンツ
- (5) 情報提供者E：ソフトウェアのオンラインマニュアルのコンテンツ

〈5・4・2〉 ナビゲーション記述支援ツールの定量的評価

10人の情報提供者を被験者として実験を行った。この被験者を二つのグループに分け、一つのグループ（グループA）はナビゲーション記述支援ツールを使わずにナビゲーションを記述してもらい、もう一つのグループ（グループB）はナビゲーション記述支援ツールを使ってナビゲーションを記述してもらった。ナビゲーションの記述時間と記述したナビゲーションでの誤りの発生率により、ナビゲーション記述支援ツールの効果を評価した。具体的な実験方法は、以下のようなものである。

- (1) 実験準備：実験者はあらかじめ、以下のように実験の準備をした。
 - (a) 実験で用いるコンテンツをハイパーメディアのデータとして用意しておく。
 - (b) ユーザパラメータの割り当て（どのパラメータをどのように使うか）を定義しておく。
 - (c) クラスの割り当て（どのクラスをどのように使うか）を決め、すべてのノードに定義しておく。
 - (d) 被験者に記述してもらうナビゲーションを、どのノードでどのように行うかを決めておく。
- (2) 実験の説明：被験者には、ナビゲーションの記述の仕方（グループBの被験者には、これとナビゲーション記述支援ツールの使い方）を教えて、簡単なナビゲーション記述の練習課題を行ってもらったことにより、システムに慣れてもらった。その後、実験の課題を説明した。実験中は、被験者の側に実験者がついて、実験者は被験者のルールの記述に関する質問以外は答えることにした。
- (3) 実験：被験者に(1)で用意したナビゲーション記述の課題を行ってもらい、すべてのナビゲーションを記述してもらった。実験中、実験者はその様子を観察し、記述にかかった時間を測定した。
- (4) 実験後の処理：実験後に、実験者は以下のように実験結果を出した。
 - (a) 被験者が記述したそれぞれのナビゲーションの動作を確認することにより、(i) 誤りがなにかどうか、(ii) デッドエンドになっていないか、(iii) ループを含むナビゲーションではループに誤りがなにかをチェックする。
 - (b) 以下の三つの指標を算出する。(i) 課題中で、記述したナビゲーションに誤りを含む課題の割合（エラー率）。(ii) 課題中で、記述したナビゲーションにデッドエンドを含む課題の割合（デッドエンド率）。(iii) ループを含むナビゲーションを記述する課題中で、記述したナビゲーションにループの誤りを含む課題の割合（ループエラー率）。
 - (c) 上記の三つの指標と記述時間から、ナビゲーション記述支援ツールの有効性を検証する。

今回の実験では、コンテンツとして通産省が行っている国家試験である情報処理技術者試験対策用の教育のコンテンツを用意した。実験用データの規模と、使用したユーザパラメータ、クラス、被験者への課題は付録に示す。

〈5・5〉 評価結果

〈5・5・1〉 システム全体の情報提供者による主観的評価
情報提供者から、以下のような意見を得ることができた。

- (1) ナビゲーションの記述がシンプルであるために、プログラミングのような知識を知らなくても簡単に記述できた。
- (2) ユーザに教材を選ばせる時に、学ぶ必要のない教材は表示しないことにより、ユーザの教材選択時の迷いを起こさないようにできた。
- (3) ループを含むナビゲーションを作成した時に、ループ中のすべてのパスが問題なく辿ることができるかをチェックする必要があった。この時、ループ検出機能でループ中のすべてのパスを表示させることにより、すべてのパスを辿ってみる必要がなかった。
- (4) デッドエンドが検出されたノードのナビゲーションのルールには、デッドエンドになること以外にも誤りがあることが多かった。

ここで、(1)は、ナビゲーションの記述をシンプルにしたことにより、プログラミングに抵抗のある情報提供者にも、このナビゲーションの記述を抵抗なく受け入れてもらえたことを示している。(2)は、リンクのHidingが、ユーザの迷いを無くし、ユーザを確実にナビゲーションしたことを示している。(3)は、ループ検出機能がループになるパスを表示することにより、情報提供者は想定したループを辿ることができるかどうかを一目で知ることができたことを示している。(4)で、デッドエンドが検出されたノードでデッドエンドになること以外にも誤りが含まれていたということは、これらのノードではデッドエンドが検出されなかったノードに比べて、ルールが複雑であったり、情報提供者が正しい加減にルールを記述したことが原因と思われる。

また、以下のような欠点や改善点も指摘された。

- (1) パスルールを細かく定義できる反面、ハイパー空間探索中にあるノードを通過すると簡単なフラグを立てるようなナビゲーションを行う場合にも、パスヒストリーをパスルールで表現しなければならない。
- (2) 長期的なユーザ情報であるユーザパラメータをハイパー空間探索中に変更したくても、変更できない。
- (3) あらかじめ目的に応じた一般ルールを用意してあると、一層ナビゲーション用のルールを記述する手間が省ける。
- (4) デッドエンドやループ以外にも細かなナビゲーション用のルールの動作（特定のパスを辿った時の表示されるリンクと表示されないリンクの組み合わせなど）をチェックをする必要があるが、それは情報提供者がユーザパラメータを設定して、実際にパスを辿ることによりシミュレーションしなければならない。

ここで、(1)や(2)を解決することはナビゲーションの記述に広がりを持たせる利点がある。(1)のフラグは、ユーザパラメータに一時的なフラグ用のパラメータとそれを更新するルールを用意することが一つの解決方法と考えられる。しかし、そのフラグが何を意味しているか、どのノードのルールで更新されるのかなどを、情報提供者が管理できる機能を追加する必要がある。(2)の長期的なユーザ情報であるユーザパラメータの変更は、ユーザモデルの信頼性の問題があるので、ハイパー空間探索中におけるルールにより安易に変更すべきではない。ただし、ハイパーメディアのコンテンツの内容がユーザパラメータを変更するのに十分洗練されたものであれば、ルールにより変更させても問題は少ないと思われる。この場合、システムはコンテンツの内容の洗練度合いまでチェックすることはできないので、コンテンツの内容とユーザパラメータを更新するためのルールの妥当性については、情報提供者が責任を持つ必要がある。本システムにも、情報提供者の責任を伴う形で、以上の様な仕組みを取り入れていくことを検討している。

(3)は、情報提供者がナビゲーション用のルールを記述する時の参考になると言う意味でも、必要なことである。本システムにも、ライブラリと言う形で提供していくことを検討している。(4)は、ナビゲーション用のルールの動作を検査する機能を、デッドエンド検出やループ検出以外にも用意することが解決となる。ただし、シミュレーションは、情報提供者が手動でも可能であるが、デッドエンド検出やループ検出は手動では困難なので、今回のシステムではここに焦点を当てたものととどめている。今後は、デッドエンド検出やループ検出以外の機能を導入しナビゲーション支援ツールの完成度を高めていくことを検討している。

〈5・5・2〉 ナビゲーション記述支援ツールの定量的評価
10人の被験者のうち、表1,2,3,4のユーザa-eがグループAに属し、ユーザf-jがグループBに属す。ナビゲーション記述に要した時間を表1に示す。分散分析により、ナビゲーション記述支援ツールの有無に有意差があるかどうかを調べたところ、5%水準で有意差は見られなかった。

表2に各被験者が課題を誤りなく達成できたかどうかとエラー率を、表3に各被験者が記述したナビゲーションにデッドエンドを含むかどうかとデッドエンド率を、表4に各被験者の記述したナビゲーションが課題5,6のループを誤りなく実現しているかどうかとループエラー率を示す。それぞれの表で、○は誤り、デッドエンド、ループの誤りがなかったことを示し、×はそれらがあったことを示す。今回の実験の課題は6つ（内ループを含む課題は2つ）であるため、エラー率、デッドエンド率、ループエラー率は、それぞれ離散的な数値になるが、ナビゲーション記述支援ツールの有効性を判断する指標とするため、この3つについても分散分析を行った。すると、エラー率、デッドエンド率、ループエラー率とも1%水準で有意差が見られた。

ナビゲーションの記述時間とエラー率の関係をグラフ化してみたところ、図6のようになった。また、記述時間とエ

表1 ナビゲーション記述時間

Table 1. Time for describing navigation.

ユーザ	時間(分)	ユーザ	時間(分)
a	59.8	f	58.4
b	43.2	g	69.2
c	61.3	h	45.7
d	52.5	i	50.0
e	52.5	j	71.4

ラー率について、グループAの相関係数は-0.67、グループBの相関係数は-0.89となった。標本数が少ないことを考えると高い負の相関があることを保証することはできないが、全体的にエラー率が低い方が、記述時間が長くなる傾向にあることが窺える。

上記の結果から、ナビゲーション記述支援ツールの有効性を検証する。エラー率、デッドエンド率、ループエラー率について有意差が見られたことと、ナビゲーション記述支援ツールを使った場合のそれぞれの値は低い値（課題中一つ誤りを含む程度）に抑えられたことから、ナビゲーション記述支援ツールが記述したナビゲーションの誤りを低減していることが検証された。

ナビゲーションの記述時間に関しては有意差は見られなかったが、これにはいくつかの要因が考えられる。グループBの被験者には、記述したナビゲーションのチェックをナビゲーション記述支援ツールにたよる傾向が見られた。しかし、ナビゲーション記述支援ツールを使うとデッドエンドやループの検出により、誤りがあるかどうか明らかに分かるので、被験者にはそれをなくすまでナビゲーションの訂正とチェックを繰り返すという作業が多く見られた。すなわち記述時間に関して、有意差が見られなかった要因として、(i) 記述時間には個人差があること、(ii) ナビゲーション記述支援ツールにより記述したナビゲーションのチェックに要する時間が減少したこと、(iii) ナビゲーションに誤りがなくなるまで訂正とチェックを繰り返すのに必要な時間があつたことが挙げられる。ただし、全体にエラー率が低い方が記述時間が長くなる傾向にあることや(図6)、ナビゲーション記述支援ツールを使う方がエラー率が低いことから、記述時間に関しても、ナビゲーション記述支援ツールの有効性が現れていると言える。このことから、ナビゲーション記述支援ツールが情報提供者のナビゲーション記述の負荷軽減に貢献していることも検証された。

〈5・6〉 考 察 本研究では、情報提供者によるユーザの確実なナビゲーションが要求される場合を対象とした、適応型ハイパーメディアシステムを構築した。本システムでは、適応方式にリンクのHidingを採用し、情報提供者の意図しないリンクをユーザが選択できないようにしたが、これにHidingの動作を検査するツールを提供することで、より確実にナビゲーションが可能となることが確認できた。

また、情報提供者がユーザに応じてナビゲーションを行うためのルールなどの記述に対する負荷という問題において、

表2 ナビゲーションの誤り

Table 2. Error in the navigation.

ユーザ	課題						エラー率(%)
	1	2	3	4	5	6	
a	○	○	○	○	×	○	17
b	○	○	○	○	×	×	33
c	○	×	○	○	×	○	33
d	○	×	○	○	×	○	33
e	○	○	○	○	×	○	17
f	○	○	○	○	○	○	0
g	○	○	○	○	○	○	0
h	○	○	○	○	×	○	17
i	○	×	○	○	○	○	17
j	○	○	○	○	○	○	0

表3 デッドエンド

Table 3. Deadend.

ユーザ	課題						デッドエンド率(%)
	1	2	3	4	5	6	
a	○	○	○	○	×	○	17
b	○	○	○	○	×	×	33
c	○	×	○	○	×	○	33
d	○	○	○	○	×	○	17
e	○	○	○	○	×	○	17
f	○	○	○	○	○	○	0
g	○	○	○	○	○	○	0
h	○	○	○	○	×	○	17
i	○	○	○	○	○	○	0
j	○	○	○	○	○	○	0

表4 ループの誤り

Table 4. Error in the loop.

ユーザ	課題		ループエラー率(%)
	1	2	
a	×	○	50
b	×	×	100
c	×	○	50
d	×	○	50
e	×	○	50
f	○	○	0
g	○	○	0
h	×	○	17
i	○	○	0
j	○	○	0

- (1) ナビゲーションのルールを記述する負荷
(2) 記述したナビゲーションの動作をチェックする負荷に焦点を当て、このような負荷の軽減に対しては、
(1) プログラミングの知識を必要としない、シンプルなナビゲーションの記述。
(2) ナビゲーションの誤りを自動で検出してくれる、ナビゲーション記述支援ツールの提供。

ということが有効であることが確認された。

情報提供者がユーザのナビゲーションを行うような一般のシステムにおいても、以上のような工夫が、ナビゲーションの誤りの低減とナビゲーション記述の負荷の軽減に有効であると考えられる。

図6 記述時間とエラー率
Fig. 6. Time for describing and error rate.

6. ま と め

本稿では、情報提供者がユーザをハイパー空間で確実にナビゲーションする場合に、ナビゲーション記述にかかる情報提供者の負荷と記述したナビゲーションに誤りの少ない適応型ハイパーメディアシステムを提案した。このシステムにおいては、情報提供者のナビゲーション記述の負荷を軽減するために、ナビゲーションの記述をシンプルな形式にした。また、確実なユーザのナビゲーションを行うために、適応はリンクのHidingにより行った。さらに、記述したナビゲーションにおけるリンクのHidingの動作に誤りがないかどうかを検査するナビゲーション記述支援ツールを提供し、より確実なユーザのナビゲーションと、情報提供者が記述したナビゲーションの動作確認に要する負荷の軽減を目指した。

提案したシステムは、5人の情報提供者に自由にコンテンツとナビゲーションを記述してもらい、主観的な意見を述べてもらうことで定性的な評価を行った。また、10人の情報提供者に同じ課題のナビゲーションを記述してもらい、記述に要した時間と記述したナビゲーションに誤りのある割合を測定することで、ナビゲーション記述支援ツールの効果を定量的に評価した。その結果、提案したシステムの、ナビゲーションの誤りの低減、ナビゲーション記述に対する負荷の軽減における有効性が検証された。

今後は、ナビゲーション記述支援ツールの機能を強化し、複数の情報提供者がデータを作成するオープンなハイパーメディアにおいて、確実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も検討して、研究を進めていく予定である。

(平成11年12月06日受付, 同12年2月25日再受付)

文 献

- (1) 柳澤安慶, 松本洋志: インターネット・バリューチェーンマーケティング (1998) SCC
- (2) P. L. Brusilovsky: Methods and Techniques of Adaptive

- Hypermedia, User Modeling and User-Adapted Interaction, Vol.6, No.2-3, pp.87-129,(1996)
- (3) J. Nielsen: HYPER Text & HYPER Media (1989) Academic Press
- (4) J. Conklin: Hypertext: An Introduction and Survey, Computer - Supported Cooperative Work, MORGAN KAUFMANN PUBLISHERS, pp.423-475,(1988)
- (5) S. K. Card, T. P. Moran, and A. Newell: The Psychology of Human-Computer Interaction (1983) Lawrence Erlbaum Associates
- (6) C. Boyle and A. O. Encarnacion: MetaDoc: An Adaptive Hypertext Reading System, User Modeling and User-Adapted Interaction, Vol.4, No.1, pp.1-19,(1994)
- (7) I. Beaumont: User Modeling in the Interactive Anatomy Tutoring System ANATOM-TUTOR, User Modeling and User-Adapted Interaction, Vol.4, No.1, pp.21-45,(1994)
- (8) P. L. Brusilovsky: Intelligent Tutor, Environment and Manual for Introductory Programming, Educational and Training Technology International, Vol.29, No.1, pp.26-34,(1992)
- (9) R. Armstrong, et al.: WebWatcher: A Learning Apprentice for the World Wide Web, AAAI Spring Symposium on Information Gathering from Heterogeneous, Distributed Environments, pp.6-12,(1995)
- (10) P. L. Brusilovsky and L. Pesin: ISIS-Tutor: An Adaptive Hypertext learning environment, Japanese-CIS Symposium on Knowledge-based Software Engineering, pp.83-87,(1994)
- (11) T. Perez, et al.: HyperTutor: From Hypermedia to Intelligent Adaptive Hypermedia, ED-MEDIA'95 - World Conference on Educational Multimedia and Hypermedia, pp.529-534,(1995)
- (12) F. de Rosis, B. De Carolis, and S. Pizzutillo: User Tailored Hypermedia Explanations, INTERCHI'93 Adjust Proceedings, pp.169-170,(1993)
- (13) A. Kushniruk and H. Wang: A Hypermedia-based Educational System with Knowledge-based Guidance, ED-MEDIA'94 - World Conference on Educational Multimedia and Hypermedia, pp.335-340,(1994)
- (14) C. Kaplan, J. Fenwick, and J. Chen: Adaptive Hypertext Navigation Based on User Goals and Context, User Modeling and User-Adapted Interaction, Vol.3, No.3, pp.193-220,(1993)
- (15) N. Mathe and J. Chen: A User-centered Approach to Adaptive Hypertext Based on an Information Relevance Model, 4-th International Conference on User Modeling, pp.107-114,(1994)
- (16) H. Hohl, et al.: Hypadapter: An Adaptive Hypertext System for Exploratory Learning and Programming, User Modeling and User-Adapted Interaction, Vol.6, No.2-3, pp.131-156,(1996)
- (17) J. Vassilleva: A Task-centered Approach for User Modeling in a Hypermedia Office Documentation System, User Modeling and User-Adapted Interaction, Vol.6, No.2-3, pp.185-224,(1996)
- (18) M. Gonschorek and C. Herzog: Using Hypertext for an Adaptive Helpsystem in an Intelligent Tutoring System, Proc. of AI-ED'95, 7th World Conference on Artificial Intelligence in Education, pp.274-281,(1995)
- (19) D. P. da Silva, R. V. Durm, E. Duval, and H. Olivie: Adaptive Navigational Facilities in Educational Hypermedia, Proc. of HyperText'98, pp.291,(1998)
- (20) P. De Bra, G. Houben and H. Wu: AHAM: A Dexter-based Reference Model for Adaptive Hypermedia, Proc. of HyperText'99, pp.147-156,(1999)
- (21) J. Rety: Structure Analysis for Hypertext with Conditional Linkage, Proc. of Hypertext'99, pp.135-136,(1999)
- (22) P. Brusilovsky, J. Eklund, and E. Schwarz: Web-based Education for All: A Tool for Development Adaptive Courseware, Computer Networks and ISDN Systems (Proc. of the 7th International World Wide Web Conference), Vol.30, pp.291-300,(1998)
- (23) E. Rich: Users Are Individuals: Individualizing User Models, International Journal of Man-Machine Studies, Vol.18, pp.199-214,(1983)
- (24) F. Kappe: Hyper-G: A Distributed Hypermedia System, Proc. of INET'93, pp.DCC1-DCC9,(1993)
- (25) A. V. Aho, J. E. Hopcroft, and J. D. Ullman: The Design and Analysis of Computer Algorithm (1974) Addison-Wesley, Reading, Mass

付 録

実験用データ

実験用データとして、ノードの数が103、リンクの数が177のデータ規模である情報処理技術者教育用の教材を制作した。この実験用データで用いたユーザパラメータを付表1に、クラスを付表2に、課題の内容と課題でルールを定義するノードの数、ルールの種類を付表3に示す。なお、付表3中のnu,gu,npはそれぞれ、ノードユーザルール、一般ユーザルール、ノードパスルールを表わす。

付表1 実験用ユーザパラメータ

app. Table 1. User parameter for experiment.

ユーザ パラメータ	用途
1	ネットワーク分野の興味の度合い
2	システム開発分野の興味の度合い
3	ハードウェア分野の興味の度合い
4	OS分野の興味の度合い
5	ネットワーク分野の知識の度合い
6	システム開発分野の知識の度合い
7	ハードウェア分野の知識の度合い
8	OS分野の知識の度合い

付表2 実験用クラス

app. Table 2. Class for experiment.

クラス	用途
A	問題提示ノード
B	正解メッセージ提示ノード
C	不正解メッセージ提示ノード
D	解説提示ノード
E	分野識別用（ネットワーク）
F	分野識別用（システム開発）
G	分野識別用（ハードウェア）
H	分野識別用（OS）

付表3 実験課題

app. Table 3. Task in experiment.

課題	課題内容	ノード数	ルール種類
1	4つの分野に対する興味の度合いから、興味の低い分野の教材へのリンクは表示しない。	1	gu
2	知識の度合いの高い人には先に問題を解かせ、その後で解答と解説を行う。知識の度合いの低い人には先に解説を行い、その後で問題を解かせて、解答を行う。	6	nu
3	問題を3問解答させて、その8つの解答結果により解説の内容を変える。	2	np
4	問題を基礎的なものから応用的なものまで順に5問解答させて、一番最初に間違った問題からもう一度解答させる。ただし、もう一度解答させるのは、一回のみとする。	1	np
5	ハードディスク、CPU、メモリの三つの分野の問題を順に解答させる。各分野で問題は二問出題し、一問でも間違えれば、同じ分野の問題を再度解答させる。両方正答すれば、次の分野の問題を選択させる。	3	np

土 方 嘉 徳（非会員） 1973年生。1996年3月大阪大学基礎工学部システム工学科卒業。1998年3月同大学大学院修士課程終了。同年4月日本アイ・ビー・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、メディア技術の研究に従事。情報処理学会、日本ソフトウェア科学会、ヒューマンインタフェース学会、IEEE各会員。

吉 田 哲 也（非会員） 1968年生。1991年3月東京大学工学部航空工学科卒業。1992年10月より一年間エジンバラ大学大学院留学。1994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。1997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。情報処理学会、人工知能学会、ヒューマンインタフェース学会各会員。

西 田 正 吾（正員） 1952年生。1974年3月東京大学工学部電子工学科卒業。1976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、1995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。1984-1985年MITメディアラボ客員研究員。1986年度、1993年度電気学会論文賞、1992年度電気学会著作賞、1995年度電気学会進歩賞受賞。情報処理学会、電子情報通信学会、ヒューマンインタフェース学会、IEEEほか会員。IEEE Fellow。