

Web リンクの巡行に基づく動的なリンク活性化とアクセス管理

清 光 英 成[†] 田 中 克 己^{††}

Web の閲覧者をページ作成者の意図に基づいて誘導できるハイパーテキストシステムを構築するため、閲覧者の過去に巡行したリンク履歴によってその閲覧者のリンク巡行権限を動的に変化させる枠組みを提案する。そのため、閲覧者の過去の巡行履歴に基づいて次にアクセス可能になるリンクをページ作成者自身が設定できるリンク活性化式を導入する。リンク活性化式は、閲覧者がすでに巡行したリンク集合と巡行可能になるリンクの依存関係をルール形式で記述したものである。さらに、リンク活性化式の集合の妥当性と冗長性を議論する。また、ページ作成者の意図に反したリンク巡行を行った閲覧者に対して、ページ作成者の意図に沿ったリンク巡行に誘導するためのリンク情報補完機構を提案する。これは、閲覧者のリンク巡行履歴とリンク活性化式集合から巡行されるべきリンクを求めて、閲覧者に必要な巡行を促すものである。

Dynamic Link Activation and Access Management Based on Web Link Navigation

HIDENARI KIYOMITSU[†] and KATSUMI TANAKA^{††}

In this paper, we propose the idea of activating links based on user's link navigation. The major objective of the proposed methodology is to reflect Web-links author(creator)'s intention over the web documents and its link structure. The navigability of each Web-link is variable according to links a user took to reach the Web-page. If a user takes a link navigation which is intended by the author, the system will provide activated links to further pages. In order to realize the proposed dynamic access management for Web-links, first we will introduce the syntax and semantics of "link activation statements", which are usually defined by the author. Then, we discuss about the validity and redundancy of a set of link activation statements. Also, we will show a methodology to complement the link information when a user's link navigation was against the link activation statements defined by the author.

1. はじめに

Web のページ作成者はハイパーテキストの柔軟なリンク機構を用いてページ間の関連付けを容易に実現できる。たとえば、教育用の Web では、初回の講義ページの内容を前提にして 2 回目以降の講義ページが作成され、初回から 2 回目の講義ページへリンクが張られる。このようなアプリケーションでは、それまでの講義ページを理解していることを前提にして、次回以降の講義ページが理解できるように作成されるという特徴を持っている。そのため、閲覧者は初回から順にリンクを巡行しなければ、第 2 回目以降の講義ページの内容を理解しにくい。つまり、ページ作成者の意図どおりにリンクを巡行しなければ、情報が十分に伝

わらないだけでなく誤解を生じる可能性が大きいという問題がある。このため、ページ作成者の意図したリンク巡行を閲覧者に対してある程度強制する機構が必要であると考えられる。たとえば、1 回目の講義ページを見ていなければ、2 回目以降の講義ページへのリンク巡行は許さないとといったものが考えられる。また逆に、作成者の意図したリンク巡行に従った閲覧者にはある種の特典を与えるという機構も Web の商業利用では重要である。

著者らはこのような問題に対して、Web 文書の意味的なまとまりを作成者があらかじめ定義できる情報単位の概念を導入し、閲覧者の巡行履歴に応じて、特定のリンクを動的に巡行可能にするリンク機構を提案してきた^{3)~5)}。本論文では、これまでの研究を整理発表させ、

- 現在のページ内のリンクを巡行可能かどうかを、その閲覧者が過去にどのリンクを巡行したかによって制御する「リンク活性化式」を提案し、

[†] 神戸大学国際文化学部

Faculty of Cross-Cultural Studies, Kobe University

^{††} 京都大学大学院情報学研究科

School of Informatics, Kyoto University

- 提案するリンク活性化式の構文と意味論を明確に定義し、
- リンク活性化式集合の妥当性と非冗長性を形式的に議論するとともに、AND/OR グラフを用いた妥当性判定法を示し、
- リンク情報補完の概念と実現方式を提案する。

2. 動機と関連研究

2.1 本研究の動機

WWW 上のページに関するアクセス権限については一般的に以下のような性質がある。

- 閲覧者がページの URL を知っていればリンクの有無にかかわらずアクセス可能
- 閲覧者は設定されているリンクを巡行すれば無条件にリンク先ページへアクセス可能
- 各ページの内容や設定されたリンクは過去にどのようなリンク巡行をしたかにかかわらず不変

ある作成者が作成した一連の Web ページに対して、閲覧者がトップページに最初にアクセスすればページ作成者の設定したリンクに誘導されてリンクを巡行するかもしれない。しかし、閲覧者が Web 検索の結果やブックマーク、他のページ作成者が設定したリンクなどを用いてページ作成者のページにアクセスすることが考えられるので、どのページからアクセスするかは不定である。したがって、ページ作成者がリンク構造の根のページから葉のページまでリンク巡行することを意図してリンクを設定しても、閲覧者がそのようにリンク巡行してくれるとは限らず、現状ではこれを期待する以外に方法がない。

さらに、ページ作成者の意図どおりに閲覧者がリンク巡行しても、閲覧者にメリットがないことも一因として考えられる。そこで、ページ作成者の意図どおりにリンク巡行した閲覧者に対して、巡行できるリンクが増えるようなしくみをページ作成者が容易に設定できると有用と考えられる。たとえば、図 1 のように、リンク l_1 またはリンク l_2 を巡行した閲覧者だけに特典ページへのリンク l_3 の巡行を可能にするということができると有用である。

以上のような動機から本論文では、閲覧者が過去に巡行したリンクの集合に依存して、新たなリンクの巡行権限が生まれるようにするために、リンク活性化式に基づくアクセス権管理方式を提案する。

ここで、ページの閲覧に対するアクセス権管理ではなくリンクに対するアクセス権管理を議論するのは、閲覧者が URL やブックマークを用いてページにアク

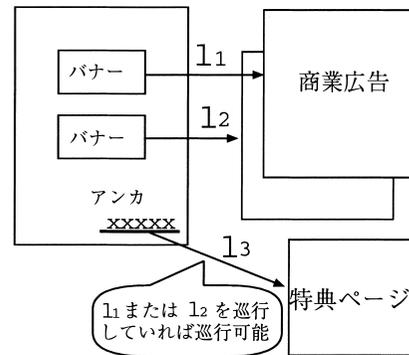


図 1 バナー広告の例

Fig. 1 An example of advertising banner.

セスすることではなく、ページ中に現れるリンクのアンカをクリックすることの意味を重視しているからである。たとえば、バナーをクリックして商業広告ページを閲覧して戻ってきた閲覧者と、商業広告ページを URL で直接アクセスした閲覧者は、ページ閲覧に対するアクセス権管理では区別されないからである。

2.2 関連研究と本研究の位置付け

閲覧者のリンク巡行制御を扱ったものとして、Stotts ら⁷⁾や Réty⁶⁾の研究がある。特に、Réty はリンクをページ対ととらえ、閲覧者のページ閲覧履歴に基づいたページ間の移動制御機構を提案している。この移動制御機構では、ページ作成者が PROLOG ベースの論理言語を用いて一階論理上の述語を定義することで、条件付きリンクを実現している。我々のアプローチも基本的な部分はこのような論理に従っているが、本論文とこれらの研究の相違点は以下のとおりである。

● リンクを主体としたアクセス権管理

リンクの巡行権限を与える条件をリンク集合によって記述するため、同一のページ対に複数のリンクを設定した場合の区別ができる。たとえば、図 2 のように、閲覧者がリンク l_1 を巡行すれば、リンク l_3 を巡行できる権限を与え、リンク l_1, l_2 をともに巡行していれば、リンク l_4 を巡行できる権限を与える。これは、ページ対をリンクととらえて、ページ閲覧順序によってページ間の移動を制御する方式では区別できない。

● リンクの追加・削除とは独立なアクセス管理

Stotts らや Réty は、ハイパーテキスト文書集合全体を 1 つのオートマトンとして表現している。我々のアプローチは Web ページの作成者が設定した各リンクに対してそのリンクを巡行するための条件を記述する。そのため、リンク巡行のための条件の追加・削除はリンク活性化式を記述した後

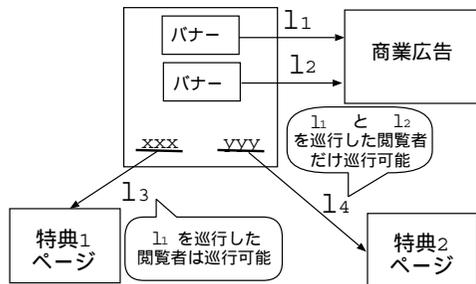


図2 ページ対をリンクととらえる方式との差異
Fig.2 Difference from the page-pair approach.

に自由に行えるが、Stottsらや Réty のアプローチは、オートマトン全体の変更を必要とする。

● リンク情報の自動補完

我々は、ページ作成者の意図を表現するだけでなく、ページ作成者の意図に反するリンク巡行を行った閲覧者を、ページ作者の意図するリンク巡行に誘導するためのリンク情報の補完機構を提案する。一方、Stottsらや Réty はリンク情報の補完を議論していない。

3. リンク活性化式

リンク活性化式は、リンク集合と巡行権限を与えるリンクとの依存関係を記号 \Rightarrow を用いて記述したものである。

[リンク活性化式の構文]

$L = \{l_1, l_2, \dots, l_n\}$ をリンク集合、 l を巡行権限を与えるリンクとして、リンク活性化式 r の構文を

$$r : L \Rightarrow l$$

とする。ただし、 $L \subseteq \mathcal{L}$ 、 $l \notin L$ かつ、 $l \in \mathcal{L}(a)$ とする。ここで、 \mathcal{L} は、WWW 全体に作成されているすべてのリンクの集合、 $\mathcal{L}(a)$ は、あるページ作成者 a の作成したすべてのページの集合に現れるすべてのリンクの集合を表す。

[リンク活性化の意味]

リンク活性化式 $r : L \Rightarrow l$ は、ある閲覧者 u のある時刻 t の時点での巡行済リンク集合 $L_{navi}(u, t)$ に対して、

$$L \subseteq L_{navi}(u, t)$$

が成立すれば、リンク l を閲覧者 u が巡行できるということを意味する。

リンク活性化式の特例として、左辺が空集合のリンク活性化式

$$r : \{\} \Rightarrow l$$

がある。これは、閲覧者が過去に巡行したリンクとは無関係にリンク l の巡行権限が与えられるということ

を表している。

上に述べたリンク活性化式の構文のただし書きは、 L, l の範囲を制限しているが、これは以下の理由による。

● $L \subseteq \mathcal{L}$

リンク活性化式の L 中のリンクはすべて WWW 上に存在しなければならない。しかし L は、リンク活性化式を定義するページ作成者 a の設定したすべてのリンクを元とする集合 $\mathcal{L}(a)$ に限定されないものとする。これは、ページ作成者以外が設定した特定のリンクを閲覧者が巡行していることや、そのようなリンクを巡行してページ作成者のページにアクセスしたことを、ページ作者の意図するリンク巡行として記述できるようにするという理由による。

● $l \notin L$

リンク活性化式の L が右辺の l を含んでいてはならない。リンク l を巡行するために過去にリンク l を巡行していなければならないという矛盾した状況を避けるためである。

● $l \in \mathcal{L}(a)$

リンク活性化式の右辺の l は、リンク活性化式を定義するページ作成者 a の設定したすべてのリンクを元とする集合 $\mathcal{L}(a)$ に含まれていなければならない。リンク活性化式はリンク巡行の権限を閲覧者に与えるかどうかを決定するための記述であるため、ページ作成者 a がリンクを設定できる範囲に限定している。

次に、2章で述べた動機や目的をリンク活性化式で実現する方法を説明する。

i) 作成者の意図に反してアクセスした場合に、以降のリンク巡行を制限する場合

図3でページ作成者が作成したページを斜線長方形で表している。また、ページ作者が設定したリンクを l_1, l_2 とし、定義したリンク活性化式を

$$r : \{l_1\} \Rightarrow l_2$$

とする。リンク l_1 を巡行した閲覧者はリンク l_2 を巡行できるが、リンク l_1 を巡行していない閲覧者はリンク l_2 を巡行できない。これにより、たとえば、リンク l_3 を巡行して第2回講義ページにアクセスしてもリンク l_1 を巡行していなければ、リンク l_2 を巡行できる権限を与えない。

ii) 作成者の意図どおりにリンク巡行を行った閲覧者に特典を与える場合

図4でページ作成者が作成したページを斜線長方形で表している。また、ページ作成者が設定し

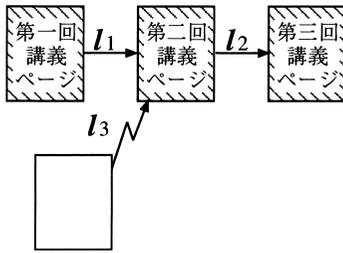


図3 リンク巡行を制限する例

Fig. 3 Example of restricting user's link navigation.

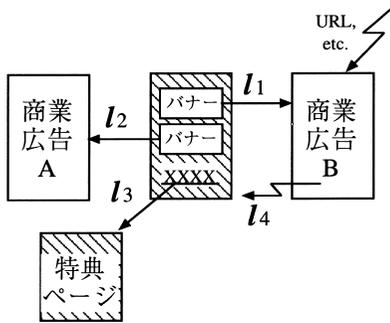


図4 特典を与える例

Fig. 4 Giving some incentives to obedient users.

たリンクを l_1, l_2, l_3 とし, 定義したリンク活性化式を

$$r_1 : \{l_1\} \Rightarrow l_3, r_2 : \{l_2\} \Rightarrow l_3$$

とする. リンク l_1 または l_2 を巡行した閲覧者はリンク l_3 を巡行できる. 一方, リンク l_1, l_2 のいずれも巡行していない閲覧者には, リンク l_3 の巡行権限は与えない. これにより, パナーをクリックして商業広告 A または商業広告 B にアクセスした利用者にもリンク l_3 の巡行権限を与えることができる.

このように, ページ作成者の意図どおりにリンク巡行を行った閲覧者に対して巡行できるリンクを増やすことで, ページ作成者の意図に反したリンク巡行を行った閲覧者との差別化を実現できる.

4. リンク活性化式集合の妥当性

ページ作成者が, 複数のリンク活性化式を矛盾なく定義するために, 本章ではリンク活性化式集合の妥当性を定義するとともに, AND/OR グラフを用いた妥当性判定法を示す.

4.1 AND/OR グラフによる表現

リンク活性化式集合は AND/OR グラフで表現することができ, その構造を視覚的にとらえることができる.

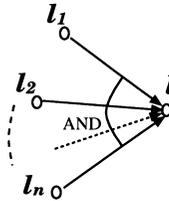


図5 枝間の AND 関係

Fig. 5 AND relationships between edges.

[リンク活性化式集合の AND/OR グラフ表現]

リンク活性化式集合 $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ の AND/OR グラフ表現を

$$G(R) = (V, E), \quad E = \{E_1, E_2, \dots, E_n\}$$

とする. ただし,

$$E_i \cap E_j = \phi(i, j \in \{1, 2, \dots, n\})$$

でなくてもよいとする. ここで,

- V は節点集合であり, 各節点はリンク活性化式集合 R 中に現れるリンクに対応する. すなわち,

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$$

- E_i はリンク活性化式 r_i の枝集合表現であり,

$$E_i = \{e_{i_1}, e_{i_2}, \dots, e_{i_{c(r_i)}}\}$$

(ただし, $c(r_i)$ は r_i の左辺のリンクの数)

- $e_{ij} (1 \leq j \leq c(r_i))$ はリンク活性化式 r_i を

$$\{v_{i_1}, v_{i_2}, \dots, v_{i_{c(i)}}\} \Rightarrow v_{il}$$

としたとき, r_i 中の左辺の各リンクを始点, 右辺のリンクを終点とした有向枝

$$e_{ij} = (v_{ij}, v_{il})$$

である.

AND/OR グラフ中の各有向枝間の関係を次のように定義する.

[枝の間の AND 関係]

リンク活性化式 $\{l_1, l_2, \dots, l_m\} \Rightarrow l$ を図 5 のように AND/OR グラフ表現する. 1 つのリンク活性化式は, 閲覧者が左辺のリンクをすべて巡行済であるとき, 右辺のリンクが巡行可能となるリンク間の関連を表現している. そのため, リンク活性化式の左辺の各リンクを巡行済であるかどうかの AND 論理演算の結果が右辺のリンクを巡行可能とするかどうかの解に対応する. 本論文では, 各親ノード $l_i (i \in \{1, 2, \dots, m\})$ から子ノード l への有向枝 (l_i, l) を AND 枝, $\{(l_1, l), (l_2, l), \dots, (l_m, l)\}$ を AND 枝集合と呼ぶ. 1 つの AND 枝集合が 1 つのリンク活性化式を表現する.

[AND 枝集合間の OR 関係]

リンク活性化式集合 R 内の同一の右辺を持つリンク活性化式をそれぞれ $r_1 : \{l_1, l_2, l_3\} \Rightarrow l, r_2 :$

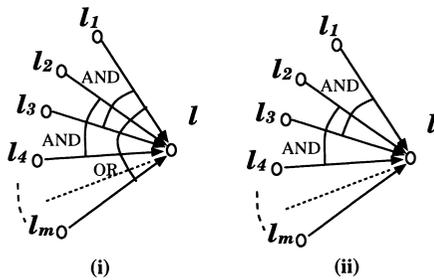


図 6 AND 枝集合間の OR 関係と略記表現

Fig. 6 OR relationships between AND edge sets and their omitted representation.

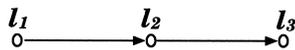


図 7 リンク活性化式間の推移的關係

Fig. 7 Transitions of the link navigation rights.

$\{l_2, l_3, l_4\} \Rightarrow l, \dots, r_n : \{l_m\} \Rightarrow l$ とすると、リンク活性化式集合 $R_l = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ を図 6 (i) のように表現する。リンク活性化式の左辺のリンクが 1 つだけの場合は、AND 枝を 1 つだけ持つ AND 枝集合ととらえる。閲覧者が AND 枝集合の親ノードのリンクをすべて巡回済であるような AND 枝集合が少なくとも 1 つあれば、子ノードのリンクが巡回可能となることを意味する。図 6 (ii) は、図 6 (i) に明記された AND 枝集合間の OR 関係を略記した表現である。本論文では、特に断らない限り AND 枝集合間の OR 関係を略記して表現する。

[AND 枝集合間の推移的關係]

リンク活性化式集合 $R = \{r_1, r_2\}$ を

$$r_1 : \{l_1\} \Rightarrow l_2, \quad r_2 : \{l_2\} \Rightarrow l_3$$

とすると、図 7 のように表現する。リンク活性化式の定義から、リンク l_3 はリンク l_2 を巡回済であれば巡回可能となるが、リンク l_2 が巡回可能となるためにはリンク l_1 を巡回済でなければならない。つまり、リンク l_3 を巡回可能とするためには、リンク l_1, l_2 をともに巡回済でなければならない。これは、リンク活性化式を仮に $r_3 : \{l_1, l_2\} \Rightarrow l_3$ と定義した場合と同じである。リンク活性化式集合 R とリンク活性化式 r_3 の意味的な差異は、リンク l_2 の巡回にリンク l_1 の巡回が必要かどうかである。

リンク活性化式集合 $R = \{r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6\}$ を

$$\begin{aligned} r_1 : \{l_1\} &\Rightarrow l_2, & r_2 : \{l_3, l_4\} &\Rightarrow l_5 \\ r_3 : \{l_2, l_5\} &\Rightarrow l_7, & r_4 : \{l_6\} &\Rightarrow l_7 \\ r_5 : \{l_7\} &\Rightarrow l_9, & r_6 : \{l_8\} &\Rightarrow l_9 \end{aligned}$$

r_3 はリンク l_1 を巡回した後にリンク l_2 を巡回すれば、リンク l_3 を巡回可能とするという意味ではない。

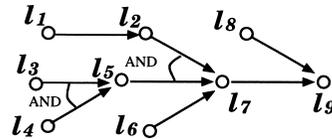


図 8 リンク活性化式集合の AND/OR グラフ表現

Fig. 8 AND/OR graph representation of a link activation statements set.

として、AND/OR グラフ表現すると図 8 のようになる。図 8 中の l_7 は $\{(l_2, l_7), (l_5, l_7)\}$ からなる AND 枝集合と $\{(l_6, l_7)\}$ からなる AND 枝集合の子ノードとなっている。AND 枝集合 $\{(l_2, l_7), (l_5, l_7)\}$ と $\{(l_6, l_7)\}$ との間には OR の関係があり、このどちらかの AND 枝集合のすべての親ノードのリンクを巡回していれば、子ノードのリンク l_7 が巡回可能となることを意味する。また、図 7 の例と同様に、リンク l_2 を巡回可能とするためには親ノードのリンク l_1 を巡回済で、リンク l_5 を巡回可能とするためには親ノードのリンク l_3, l_4 をともに巡回済でなければならないことも示している。 $\{\} \Rightarrow l$ のようなリンク活性化式 ($\{\} \Rightarrow l_1$ など) は、入次数 0 のノードとして表現される。

4.2 リンク活性化式集合の妥当性判定

ページ作成者が記述するリンク活性化式によって、一度も巡回できないリンクが存在することがある。たとえば、リンク活性化式集合 $R = \{r_1, r_2\}$ を $r_1 : \{l_i\} \Rightarrow l_j, r_2 : \{l_j\} \Rightarrow l_i$ とすると、リンク l_j を巡回するためにはリンク l_i の巡回が必要で、リンク l_i を巡回するためにはリンク l_j の巡回が必要である。そのため、リンク l_i, l_j はつねに巡回可能にならないリンクである。このようなリンク活性化式集合 R は、直観的にも妥当なものではない。そこで、リンク活性化式集合 R の妥当性を次のように定義する。

[リンク活性化式集合の妥当性]

ページ作成者が与えたリンク活性化式集合を

$$R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\} (1 \leq n)$$

とする。 R 中の各リンク活性化式の右辺に現れるリンクすべてからなる集合を

$$R_{right} = \{l_1, l_2, \dots, l_j, \dots, l_k\} (1 \leq j \leq k, k \leq n)$$

とする。いま、 R_{right} 内のリンク l_j を右辺として持つリンク活性化式集合を $r_{j1}, r_{j2}, \dots, r_{jm} (m \leq n)$ とすると、 $SAT(R, l_j)$ を、リンク l_j がリンク活性化式集合 R において巡回可能となるための巡回済リンク集合候補すべてからなる集合族と定義する。そこで、与えられた「リンク活性化式集合 R が妥当である」とは、各 $l_j (j \in \{1, \dots, k\})$ に対して、 $L_j \in SAT(R, l_j)$ で、 $l_j \notin L_j$ であるような巡回済リンク集合候補 L_j

が少なくとも1つ存在することである。

ここで、リンク l_j が巡回可能となるための巡回済リンク集合候補とは、リンク l_j を右辺として持つ各リンク活性化式の左辺を意味するのではないことに注意を要する。SAT(R, l_j) は、与えられたリンク活性化式集合 R のもとでリンク l_j が実際に巡回可能となるような、リンク集合の候補をすべて列挙するものである。たとえば、リンク活性化式集合 $R = \{r_1, r_2\}$

$$r_1 : \{l_1\} \Rightarrow l_2, \quad r_2 : \{l_2\} \Rightarrow l_3$$

が与えられた場合、リンク l_3 を巡回可能にする巡回済リンク集合候補は、要素として l_1, l_2 をともに含むリンク集合となる。

議論を簡単にするために、すべてのリンクをリンク活性化式集合中に現れるリンクに限れば、

$$SAT(\{r_1\}, l_2) = \{\{l_1\}, \{l_1, l_2\}\}$$

$$SAT(\{r_2\}, l_3) = \{\{l_2\}, \{l_2, l_3\}\}$$

$$SAT(\{r_1, r_2\}, l_3) = \{\{l_1, l_2\}, \{l_1, l_2, l_3\}\}$$

となる。直観的には、SAT($\{r_1, r_2\}, l_3$) は、リンク活性化式 r_1, r_2 間に推移的關係があるため、リンク活性化式集合 $\{r_1, r_2\}$ の AND/OR グラフ表現における、 l_3 を基点とした逆向き推移閉包に対応する。また、巡回済リンク集合候補は、リンク活性化式の右辺のリンクを含んでいてもよいことにも注意を要する。リンク活性化式の定義では、左辺のリンク集合は右辺のリンクを含まない形で定義したが、巡回済リンク集合候補には、その制限はつけていない。これは、たとえば、 $R = \{\{l_1\} \Rightarrow l_2, \{l_2\} \Rightarrow l_1\}$ が与えられた場合、SAT(R, l_2) = $\{l_1, l_2\}$ となることを意味する。閲覧者がリンク l_1, l_2 をともに巡回済であれば、この時点でリンク l_2 が巡回可能となるという解釈を行うわけである。

一方、 R の妥当性に関しては、上記の例の場合、リンク l_2 を巡回できるためには l_1 を巡回していなければならず、さらに、 l_1 を巡回できるためには l_2 自身を巡回していなければならぬため、実際には l_2 の巡回は不可能である。この例では、SAT(R, l_2) = $\{\{l_1, l_2\}\}$ となり、要素として l_2 を含んでいる巡回済リンク集合候補しか存在しないため、 R は妥当ではないとされる。

4.3 AND/OR グラフの簡略化による妥当性判定

以下にまず、 R の妥当性判定を AND/OR グラフを用いて行う方法を示す。

[入力] リンク活性化式集合 R

[手順]

【1】 R の AND/OR グラフ表現 $G(R) = (V, E)$ を求める。

【2】 $G(R)$ に対して、以下の手順で簡略化を行う。

[2-1] 入次数0のノード u が存在し、 u を親ノードとする AND 枝集合 E_i が存在するならば、すべての E_i に対して

- 1) u が E_i の唯一の親ノードであれば、 E_i の子ノード v を子ノードとするすべての AND 枝集合の集合を $E(v)$ とし、

$$E = E - E(v)$$

- 2) u が E_i の唯一の親ノードでないならば、 E_i の子ノードを v とし、

$$E_i = E_i - (u, v)$$

$G(R) = (V - u, E)$ として【2】を行う。

[2-2] 入次数0のノード u が存在し、 u を親ノードとする AND 枝集合が存在しないならば、

$$G(R) = (V - u, E)$$

として【2】を行う。

[2-3] 入次数0のノードが存在しない

- 1) $G(R) = \phi$ ならば「リンク活性化式集合 R は妥当である」を出力して終了。
- 2) $G(R) \neq \phi$ かつ、手順の開始点として選ばれていない入次数0のノード n が存在するならば、 n を開始点として手順をやり直す。
- 3) $G(R) \neq \phi$ かつ、開始点として選ばれていない入次数0のノード n が存在しないならば「リンク活性化式集合 R は妥当でない」を出力して終了。

上記手順は、手順の開始点を AND/OR グラフ $G(R)$ 上の入次数0のノードとし、いずれのノードからか手順を開始して、 $G(R) = \phi$ となれば「 R は妥当なリンク活性化式集合である」を返し、いずれのノードを開始点としても $G(R) \neq \phi$ となれば「 R は妥当なリンク活性化式集合でない」を返す。

図9、図10は上記の手順を適用して、リンク活性化式集合の AND/OR グラフ表現を簡略化した例である。

図9は、リンク活性化式集合 $R = \{r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6\}$ を

$$r_1 : \{l_1, l_2\} \Rightarrow l_3, \quad r_2 : \{l_3\} \Rightarrow l_4, \quad r_3 : \{l_3\} \Rightarrow l_5,$$

$$r_4 : \{l_4\} \Rightarrow l_6, \quad r_5 : \{l_5\} \Rightarrow l_6, \quad r_6 : \{l_7, l_8\} \Rightarrow l_3$$

とした例である。入次数0のノードは l_1, l_2, l_7, l_8 であり、図9は、 l_1 から簡略化手順を以下のように適用した例である。

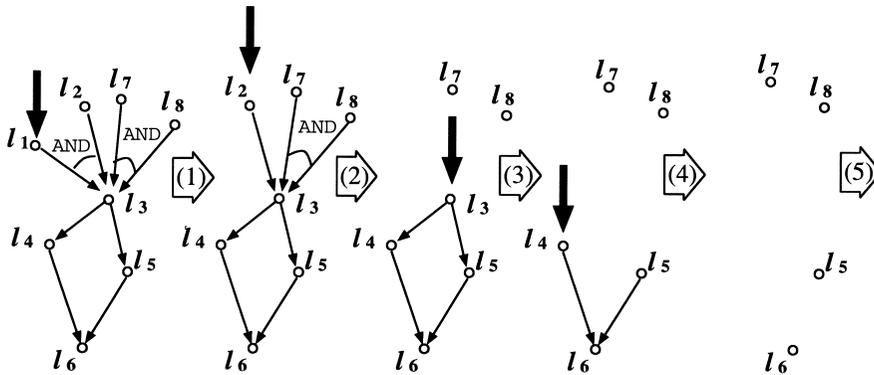


図9 妥当性判定のための手順の適用例 1
Fig. 9 An example of the validity decision 1.

- (1) l_1 は、AND 枝集合 $\{(l_1, l_3), (l_2, l_3)\}$ の唯一の親ノードではないので手順 [2-1] 2) を適用し、AND 枝 (l_1, l_3) を AND 枝集合 $\{(l_1, l_3), (l_2, l_3)\}$ から削除する。また、 l_1 を親ノードとする AND 枝集合がほかがないので、 l_1 を $G(R)$ から削除する。
- (2) l_2 は、AND 枝集合 $\{(l_2, l_3)\}$ の唯一の親ノードであるので、手順 [2-1] 1) を適用し、 l_3 を子ノードとするすべての AND 枝集合を $G(R)$ から削除する。また、 l_2 を親ノードとする AND 枝集合がほかがないので、 l_2 を $G(R)$ から削除する。
- (3) l_3 は、AND 枝集合 $\{(l_3, l_4)\}$ の唯一の親ノードであるので、手順 [2-1] 1) を適用し、 l_4 を子ノードとするすべての AND 枝集合を $G(R)$ から削除する。また、 l_3 は、AND 枝集合 $\{(l_3, l_5)\}$ の唯一の親ノードであるので、手順 [2-1] 1) を適用し、 l_5 を子ノードとするすべての AND 枝集合を $G(R)$ から削除する。 l_3 を親ノードとする AND 枝集合がほかがないので、 l_3 を $G(R)$ から削除する。
- (4) l_4 は、AND 枝集合 $\{(l_4, l_5)\}$ の唯一の親ノードであるので、手順 [2-1] 1) を適用し、 l_5 を子ノードとするすべての AND 枝集合を $G(R)$ から削除する。また、 l_4 を親ノードとする AND 枝集合がほかがないので、 l_4 を $G(R)$ から削除する。
- (5) 入次数 0 のノード l_5, l_6, l_7, l_8 を親ノードとする AND 枝集合が $G(R)$ に存在しないので、手順 [2-2] を適用し、 l_5, l_6, l_7, l_8 をそれぞれ $G(R)$ から削除する。

これにより、 $G(R) = \phi$ となるので、リンク活性化式集合 R は妥当である。

図 10 は妥当でないリンク活性化式集合の例である。リンク活性化式集合 $R = \{r_1, r_2, r_3, r_4, r_5\}$ を

$$r_1 : \{l_1\} \Rightarrow l_2, r_2 : \{l_2, l_6\} \Rightarrow l_3, \\ r_3 : \{l_3\} \Rightarrow l_4, r_4 : \{l_4\} \Rightarrow l_5, r_5 : \{l_5\} \Rightarrow l_6$$

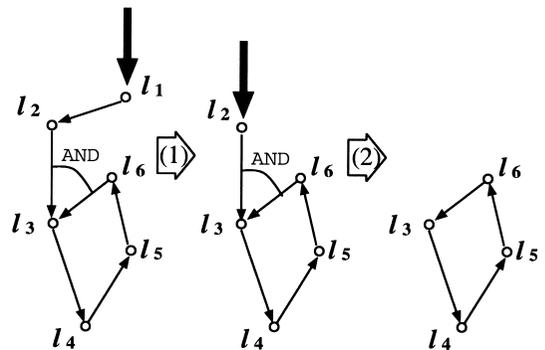


図 10 妥当性判定のための手順の適用例 2
Fig. 10 An example of the validity decision 2.

として、AND/OR グラフを簡略化している。入次数 0 のノードは l_1 のみであるので、図 10 は、 l_1 から簡略化手順を以下のように適用している。

- (1) l_1 は、AND 枝集合 $\{(l_1, l_2)\}$ の唯一の親ノードであるので、手順 [2-1] 1) を適用し、 l_2 を子ノードとするすべての AND 枝集合を $G(R)$ から削除する。また、 l_1 を親ノードとする AND 枝集合がほかがないので、 l_1 を $G(R)$ から削除する。
- (2) l_2 は、AND 枝集合 $\{(l_2, l_3), (l_6, l_3)\}$ の唯一の親ノードではないので手順 [2-1] 2) を適用し、AND 枝 (l_2, l_3) を AND 枝集合 $\{(l_2, l_3), (l_6, l_3)\}$ から削除する。また、 l_1 を親ノードとする AND 枝集合がほかがないので、 l_2 を $G(R)$ から削除する。

これにより、 $G(R)$ に入次数 0 のノードが存在せず、 $G(R) \neq \phi$ かつ開始点となる入次数 0 ノードが l_1 しかないので、リンク活性化式集合 R は妥当でない。

図 10 に示した妥当でないリンク活性化式集合の例は、AND/OR グラフ表現をすると、サイクルを含むものであった。リンク活性化式集合 R が妥当であるか否かは、対応する AND/OR グラフがサイクルを含

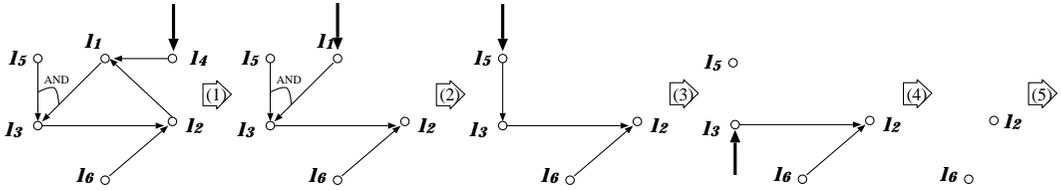


図 11 妥当なリンク活性化式集合で AND/OR グラフにサイクルを持つ例

Fig. 11 An example of a valid set of link activation statements with a cycle.

むかどうかに関連はあるが、サイクルがないことが必ずしも R の妥当性の必要十分条件にはならないことに注意を要する。

例として、図 11 のような AND/OR グラフ表現でサイクルを持つリンク活性化式集合 $R = \{r_1, r_2, r_3, r_4, r_5\}$

$$\begin{aligned} r_1: \{l_1, l_5\} &\Rightarrow l_3 \\ r_2: \{l_2\} &\Rightarrow l_1 \\ r_3: \{l_3\} &\Rightarrow l_2 \\ r_4: \{l_4\} &\Rightarrow l_1 \\ r_5: \{l_6\} &\Rightarrow l_2 \end{aligned}$$

に妥当性判定のための手順を適用する。入次数 0 のノードは l_4, l_5, l_6 であり、図 11 は l_4 から簡略化手順を以下のように適用している。

- (1) l_4 は、AND 枝集合 $\{(l_4, l_1)\}$ の唯一の親ノードであるので、手順 [2-1] 1) を適用し、 l_1 を子ノードとするすべての AND 枝集合を $G(R)$ から削除する。また、 l_4 を親ノードとする AND 枝集合がほかにないので、 l_3 を $G(R)$ から削除する。
- (2) l_1 は、AND 枝集合 $\{(l_1, l_3), (l_5, l_3)\}$ の唯一の親ノードではないので手順 [2-1] 2) を適用し、AND 枝 (l_1, l_3) を AND 枝集合 $\{(l_1, l_3), (l_5, l_3)\}$ から削除する。また、 l_1 を親ノードとする AND 枝集合がほかにないので、 l_1 を $G(R)$ から削除する。
- (3) l_5 は、AND 枝集合 $\{(l_5, l_3)\}$ の唯一の親ノードであるので、手順 [2-1] 1) を適用し、 l_3 を子ノードとするすべての AND 枝集合を $G(R)$ から削除する。また、 l_5 を親ノードとする AND 枝集合がほかにないので、 l_5 を $G(R)$ から削除する。
- (4) l_3 は、AND 枝集合 $\{(l_3, l_2)\}$ の唯一の親ノードであるので、手順 [2-1] 1) を適用し、 l_2 を子ノードとするすべての AND 枝集合を $G(R)$ から削除する。また、 l_3 を親ノードとする AND 枝集合がほかにないので、 l_3 を $G(R)$ から削除する。
- (5) 入次数 0 のノード l_2, l_6 を親ノードとする AND 枝集合が $G(R)$ に存在しないので、手順 [2-2] を適用し、 l_2, l_6 をそれぞれ $G(R)$ から削除する。

これにより、 $G(R) = \phi$ となるので、リンク活性化式集合 R は妥当である。

5. リンク活性化式集合の冗長性

リンク活性化式集合 $R = \{r_1, r_2\}$ を

$$\begin{aligned} r_1: \{l_i, l_j\} &\Rightarrow l_k \\ r_2: \{l_j\} &\Rightarrow l_k \end{aligned}$$

としたとき、リンク活性化式 r_1 は、閲覧者がリンク l_i とリンク l_j をともに巡回済であるときにリンク l_k を巡回可能とする。ところが、リンク活性化式 r_2 は、閲覧者がリンク l_j を巡回済であれば、リンク l_i が巡回済かどうかにかかわらずリンク l_k を巡回可能とする。つまり、 R のリンク l_k が巡回可能となる巡回済リンク集合候補は $\{r_2\}$ のリンク l_k が巡回可能となる巡回済リンク集合候補と等価であることが分かる。このとき、リンク活性化集合 R を冗長なリンク活性化式集合と呼ぶ。

形式的には、リンク活性化式集合の冗長性は次のように定義できる。

[リンク活性化式集合の冗長性]

リンク活性化式集合 $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ が冗長

||

同一の右辺 l を持つ $r_i, r_j (i \neq j, r_i \in R, r_j \in R)$ が存在して、かつ $SAT(R, l) = SAT(R - \{r_i\}, l)$ が成立

図 12 (i) は、上記の R を AND/OR グラフで表現したものである。すべてのリンクの集合を $L = \{l_i, l_j, l_k\}$ とすると、 L 中でリンク l_k を巡回可能とする巡回済リンク集合候補は

$$SAT(R, l_k) = \{\{l_j\}, \{l_i, l_j\}, \{l_i, l_j, l_k\}\}$$

となる。図 12 (ii) は、リンク活性化式集合 $R - \{r_1\}$ を AND/OR グラフで表現した例である。 L 中でリンク l_k を巡回可能とする巡回済リンク集合候補は、

$$SAT(R - \{r_1\}, l_k) = \{\{l_j\}, \{l_i, l_j\}, \{l_i, l_j, l_k\}\}$$

となり、 $SAT(R, l_k) = SAT(R - \{r_1\}, l_k)$ である。

6. リンク活性化式を用いたリンク情報補完

本論文で提案したリンク活性化式を用いてリンク巡

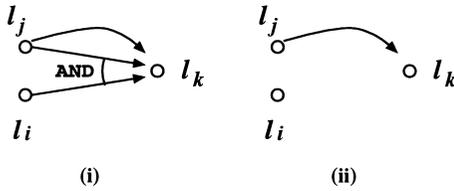


図 12 冗長なリンク活性化式集合の例

Fig. 12 An example of a redundant set of link activation statements.

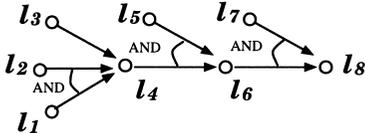


図 13 リンク活性化式集合 R の AND/OR グラフ表現

Fig. 13 AND/OR graph representation of a link activation statements set R .

行権限を制御すると、閲覧者がページ作成者の意図に反するリンク巡行を行おうとしたとき、巡行しようとしているリンクには巡行権限がないと判断され、そのリンクを巡行できないことになる。このような場合に、リンク l が巡行可能になるために閲覧者が巡行すべきリンク集合を求め、これを閲覧者に提示する機能があれば有用である。このような機能を本論文ではリンク活性化式を用いたリンク情報補完機能と呼ぶ。直観的には、リンク情報補完は、閲覧者が巡行しようとするリンクを l_i 、閲覧者 u がこの時点で巡行済のリンク集合を $L_{navi}(u)$ とすると、リンク活性化式集合の AND/OR グラフにおいて、リンク l_i を基点とした逆向き推移閉包と $L_{navi}(u)$ との差を求めることで実現できる。ここでは、まず、リンク情報補完を例で説明する。

リンク活性化式集合 $R = \{r_1, r_2, r_3, r_4\}$ を

$$r_1 : \{l_1, l_2\} \Rightarrow l_4, \quad r_2 : \{l_3\} \Rightarrow l_4,$$

$$r_3 : \{l_4, l_5\} \Rightarrow l_6, \quad r_4 : \{l_6, l_7\} \Rightarrow l_8$$

とすると図 13 に示されるような AND/OR グラフで表現できる。閲覧者が、リンク l_8 を巡行可能となるためには、図 13 を枝の間に OR 関係を持たない図 14 または、図 15 に示した部分グラフ中の l_8 以外のすべてのリンクを巡行済でなければならない。すなわち、図 14、図 15 に対応するリンク活性化式集合を求めると、

$$r_1 : \{l_1, l_2\} \Rightarrow l_4$$

$$r_3 : \{l_4, l_5\} \Rightarrow l_6$$

$$r_4 : \{l_6, l_7\} \Rightarrow l_8$$

または、

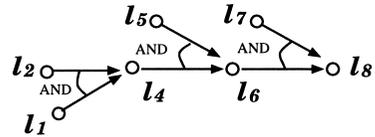


図 14 枝の間に OR 関係を持たない図 13 の部分グラフ 1

Fig. 14 A subgraph of Fig. 13 without OR relationships 1.

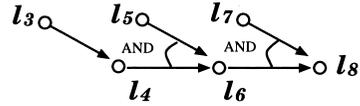


図 15 枝の間に OR 関係を持たない図 13 の部分グラフ 2

Fig. 15 A subgraph of Fig. 13 without OR relationships 2.

$$r_2 : \{l_3\} \Rightarrow l_4$$

$$r_3 : \{l_4, l_5\} \Rightarrow l_6$$

$$r_4 : \{l_6, l_7\} \Rightarrow l_8$$

となる。そこで、図 14 または図 15 において、ノード l_8 を基点として、逆向きに到達可能なノードをすべて求めればよい。これが、 l_8 を基点とした逆向きの推移閉包に対応する。図 14、図 15 の l_8 を基点とした逆向き推移閉包を C_1, C_2 とすると、

$$C_1 = \{l_1, l_2, l_4, l_5, l_7\}, \quad C_2 = \{l_3, l_4, l_5, l_7\}$$

となる。閲覧者 u がこの時点までに巡行したリンクの集合を $L_{navi}(u) = \{l_1, l_7\}$ とすれば、補完するリンク集合は $\{l_2, l_4, l_5, \}$ と $\{l_3, l_4, l_5\}$ となる。本論文では、補完するリンク集合の各候補を補完候補用リンク集合と呼ぶ。

一般的な補完候補用リンク集合を求める手順は、以下のとおりである。

[入力] 妥当なリンク活性化式集合 R 、閲覧者 u の巡行済リンク集合 $L_{navi}(u)$ 、閲覧者 u が巡行しようとしているリンク l

[出力] リンク l が巡行可能になるために巡行すべきリンク集合の候補

[手順]

【1】リンク活性化式集合 R の AND/OR グラフ表現 G を求める。

【2】グラフ G を重複を許して部分グラフ $G_1, G_2, \dots, G_m (1 \leq m)$ に分割する。

ただし、各 $G_i (i \in \{1, 2, \dots, m\})$ は

* AND 枝集合間に OR 関係がない

* $G_i \not\subseteq G_j (1 \leq j \leq m, j \neq i)$

* 少なくとも 1 つ、 G に含まれる入次数 0 のノードを含む

で、 $G_1 \cup G_2 \cup \dots \cup G_m = G$ となるものと

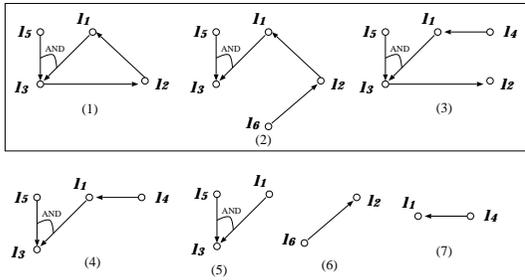


図 16 図 11 を枝の間に OR 関係を持たない部分グラフに分割した例

Fig. 16 Devising the graph of Fig. 11 into a subgraph without OR relationships.

する。

【3】 $G_1, G_2, \dots, G_m (1 \leq m)$ の各グラフ G_i に対して、4.3 節で示した妥当性判定手順を適用する

[3-1] 部分グラフ G_i が妥当な場合、ノード l からの逆向き推移閉包を求める（これを $\text{closure}(G_i, l)$ と記す）。

[3-2] 部分グラフ G_i が妥当でない場合、 $\text{closure}(G_i, l) = \phi$

【4】各 $i (i \in \{1, 2, \dots, m\})$ に対して、

$$\text{closure}(G_i, l) - L_{navi}(u)$$

を結果として出力する。

リンク活性化式集合の AND/OR グラフ表現にサイクルを持つ図 11 の例に手順【2】を適用して枝の間に OR 関係を持たない部分グラフへの分割を図 16 に示す。図 16 (4) は (3) の、(5) は (1), (2), (3) の、(6) は (2) の、(7) は (3) のそれぞれ部分グラフとなっているので、手順【3】を行うのは図 11 の (1), (2), (3) のみである。(1) は妥当でないので、手順 [3-2] を適用する。(2), (3) は妥当であるので、手順 [3-1] を適用する。この例でリンク l_3 を巡行可能とするために巡行すべきリンク集合の候補は、図 11 の (2) における l_3 を基点とする逆向き推移閉包 $\{l_1, l_2, l_5, l_6\}$ と、図 11 (3) における l_3 を基点とする逆向き推移閉包 $\{l_1, l_4, l_5\}$ である。

7. 議 論

7.1 補完候補用リンク集合の表示方法

リンク情報の補完機構は、あるリンク l を巡行するために閲覧者が巡行しているべきリンク集合を発見するために導入したが、一般に補完候補用リンク集合は

複数存在することが考えられる。そのため、どの補完候補用リンク集合を閲覧者に提示するか、あるいはすべて提示するのかが問題となる。直観的には、リンクの数が最も少ない補完候補用リンク集合を提示することが考えられるが、たとえば、教育や、契約などのアプリケーションでは、すべての補完候補用リンク集合を提示することが閲覧者やページ作者にとって安全と考えられる場合がある。また、リンク l が複数のリンク活性化式集合中のリンク活性化式の右側のリンクとなっている場合も想定する必要がある。

さらに、補完候補用リンク集合を求めることによって得られたリンク集合を提示するには、リンクの巡行権限とともに、リンクアンカーの表示を動的に扱う必要がある。そのため我々は、閲覧者のリンク巡行に基づいたページ内容の動的再構成の研究を進めている^{1),2)}。それは、閲覧者のリンク巡行履歴・ページ閲覧履歴やその集約を条件としてページの体裁やリンクの表示・非表示を動的に変化させる試みである。

たとえば、最近 1 週間以内にトップページにアクセスした閲覧者には「はじめにお読みください」というリンクアンカーを表示せず、そうでない閲覧者には表示して、ページ中のその他のリンクアンカーを隠蔽する機構をページ作者が宣言的に記述できるようにしている。さらに、アクセスされる時間や場所などの時空間情報に基づいてページ内容やスタイルを変化させる枠組みも検討している。

7.2 未巡行リンク集合の導入

リンク活性化式を拡張して、リンク巡行の権限が、巡行しているべきリンク集合だけでなく、巡行してはならないリンク集合にも依存するようになれば表現力が高まる。

巡行しているべきリンク集合を L_{pos} 、巡行してはならないリンク集合を L_{neg} と表し、リンク活性化式 r を

$$r : L_{pos}, L_{neg} \Rightarrow l$$

のように拡張することが考えられる。これは、

1. L_{pos} 中のすべてのリンクを閲覧者 u がこの時点で巡行していて、
2. L_{neg} 中のリンクを閲覧者 u がこの時点で 1 つも巡行していないならば、

リンク l を閲覧者 u が巡行できるという意味である。

たとえば、リンク活性化式集合 $R = \{r_1, r_2\}$ を

$$r_1 : \{\}, \{l_1\} \Rightarrow l_2$$

$$r_2 : \{\}, \{l_2\} \Rightarrow l_1$$

とする。これは、閲覧者がリンク l_1 を巡行していなければ、リンク l_2 を巡行するための権限を与え、リ

(1)~(7) 以外にも分割によってできる部分グラフはあるが、(1)~(3) の部分グラフとなるため図示していない。

リンク l_2 を巡行していなければ、リンク l_1 を巡行するための権限を与えることを意味する。つまり、リンク巡行権限の排他的論理和表現が可能になる。

このように、未巡行リンク集合を導入してリンク活性化式を拡張すれば、表現力は高まるが、リンク活性化式集合の妥当性やリンク情報補完機構の議論が複雑になると考えられる。

8. 本研究の今後の課題と展開

本論文は、閲覧者をページ作成者の意図どおりにリンク巡行させるために、

- ページ作成者が閲覧者のリンク巡行を誘導できるリンク活性化式を導入し、
- その構文と意味論を明確に定義し、
- 閲覧者が一度も巡行できないリンクが存在しないという意味でのリンク活性化式集合の妥当性を考察し、
- ページ作者の意図に反するリンク巡行を行った閲覧者を、ページ作者の意図に沿ったリンク巡行に誘導するリンク情報の補完機構を提案

した。

今後の課題として、

- XML 環境でのリンク活性化式の実装
- 未巡行リンク集合を考慮してリンク活性化式を拡張した場合のリンク活性化式集合の妥当性と非冗長性の解明
- リンク活性化式を拡張して表示するページ内容を動的に再構成する枠組の考察

があげられる。特に XML による実装は、HTML に対して自由度の高いリンク記述が可能であるため、火急の課題である。未巡行リンク集合を考慮したリンク活性化式の拡張問題は、妥当性判定やリンク情報補完がより複雑になることが予想されるが、表現能力を飛躍的に高める可能性があるため、今後の課題としている。

謝辞 本研究をすすめるにあたり、多くのご意見と助言をいただいた本学工学部ならびに自然科学研究科田中研究室の皆様深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 清光英成, 竹内淳記, 田中克己: アクセス履歴と利用者の位置に基づくコンテンツの再構成, 情報処理学会研究報告, Vol.2000, No.3, pp.17-24 (2000).
- 2) 清光英成, 竹内淳記, 田中克己: 閲覧履歴に依存した Web コンテンツの動的生成方式, DEWS2000 論文集 CD-ROM (2000).

- 3) 清光英成, 田中克己: Web グラフにおける意味的情報単位の状況依存リンク, 情報処理学会研究報告, Vol.99, No.39, pp.41-48 (1999).
- 4) 清光英成, 田中克己: Web コンテンツの巡行経路に基づくアクセス管理, 情報処理学会研究報告, Vol.40, No.99, pp.85-90 (1999).
- 5) Kiyomitsu, H. and Tanaka, K.: Navigation-Dependent Web-Views: Changing Web Pages and Link Structures By User Navigation History, *Proc. ICSC '99*, Vol.LNCS-1749, pp.421-426 (1999).
- 6) Réty, J.-H.: Structure Analysis for Hypertext with Conditional Linkage, *Proc. Hypertext '99*, pp.135-136 (1989).
- 7) Stotts, D. and Cabarrus, C.R.: Hyperdocuments Automata: Verification on Trace-Based Browsing Properties by Model Checking, *ACM Trans. Information Systems*, Vol.16, No.1, pp.1-30 (1992).

(平成 12 年 9 月 20 日受付)

(平成 13 年 1 月 25 日採録)

(担当編集委員 掛下 哲郎)



清光 英成 (正会員)

1994 年図書館情報大学図書館情報学部卒業。1996 年同大学大学院図書館情報学研究科図書館情報学専攻修士課程修了。1998 年奈良先端科学技术大学院大学情報科学研究科博士後期課程中退。同年神戸大学経済学部助手。2001 年同大学国際文化学部講師, 現在に至る。データベースシステム研究, Web 情報システム研究, Web データの個別化・環境適応研究に従事。IEEE Computer Society, ACM 各会員。



田中 克己 (正会員)

1974 年京都大学工学部情報工学科卒業。1976 年同大学大学院修士課程修了。1979 年神戸大学教養部助手, 1986 年同大学工学部助教授。1994 年同大学工学部教授 (情報知能工学科), 1995 年同大学大学院自然科学研究科専任教授 (情報メディア学専攻)。2001 年京都大学大学院情報学研究科教授, 現在に至る。工学博士。主にデータベースの研究に従事。人工知能学会, 日本ソフトウェア科学会, IEEE Computer Society, ACM 等会員。