

位置依存情報配信システムのための空間ハイパーメディアの枠組み

平松 治彦[†] 角谷 和俊^{††} 上原 邦昭^{†††}

本論文では、位置依存情報配信システムのための空間ハイパーメディアの枠組みについて提案する。携帯電話や PDA などの携帯情報端末の普及により、位置情報を利用した位置依存情報配信システムが注目されている。位置依存情報配信システムにおいては、位置や時間により変化するコンテンツを管理する必要がある。提案する枠組みは、実空間の地理的関連性とは異なる基準により構築される論理空間上の位置情報に基づいた、動的リンク機構から構成され、位置に適したコンテンツの動的生成を可能にするものである。また、本枠組みにより、多様な位置依存情報配信システムを実現可能であることを示す。

A Spatial Hypermedia Framework for Position-aware Information Delivery Systems

HARUHIKO HIRAMATSU,[†] KAZUTOSHI SUMIYA^{††}
and KUNIAKI UEHARA^{†††}

We propose a spatial hypermedia framework for position-aware information delivery systems in this paper. Nowadays, position-aware information delivery systems are widely spreaded with the popularization of mobile information terminals such as cellular phones and PDAs. In position-aware information delivery systems, it is necessary to manage contents which are frequently updated according to the position and the time. Our proposed framework consists of a dynamic link mechanism which is based on not only the geographical position information of real space but also on the position information of logical space which is reconstructed by the various basis of contents, and enables dynamic generation of contents suitable for the position. Moreover, we describe that this framework can be realized various position-aware information delivery systems.

1. はじめに

携帯電話や PDA (Personal Digital Assistant) の高性能化と普及にともない、位置情報を用いた情報サービスが注目されている。この情報サービスを実現するシステムは、位置依存情報配信システムと呼ばれ、カーナビゲーションシステム¹⁾、ステーション²⁾など様々なサービスが提供されており、情報自身の更新やユーザからの要求により、その場所に適した情報を配信する。

位置依存情報配信システムで扱われる情報は、テキ

ストデータだけでなく、ハイパーテキストやハイパーメディアを含むことが可能であり、ハイパーメディアを含む複数のコンテンツが、リンク機構(ハイパーリンク)により相互に参照されている。このハイパーメディアを含むコンテンツを、本論文では空間ハイパーメディアと呼ぶ。

ハイパーリンクは、WWW で一般的に用いられているリンク元、リンク先があらかじめ設定された静的リンクと、計算や検索により、リンク元、リンク先が動的に設定される動的リンク^{3),4)}の 2 つに大きく分類される。位置依存情報配信システムでは、位置や時間により情報が頻繁に更新されるため、静的リンクではリンクが正しくない場合がある。リンク先の情報が更新や削除されているにもかかわらず、その情報に対してのリンクが存在する場合である。したがって、位置依存情報配信システムには動的リンクが有効であり、リンクの管理は位置、時間に応じたコンテンツを生成するために重要な機構である。

既存の位置依存情報配信システムは、通常、実空間

[†] 神戸大学大学院経営学研究科

Graduate School of Business Administration, Kobe University

^{††} 京都大学大学院情報学研究科社会情報学専攻

Department of Social Informatics, Graduate School of Informatics, Kyoto University

^{†††} 神戸大学大学院自然科学研究科

Graduate School of Science and Technology, Kobe University

上の地理的な距離や範囲などの地理的関連性を、位置に適した情報を提供するための基準としている。しかし、実空間の地理的関連性では、十分な情報を提供できない場合がある。たとえば「1時間以内に行くことのできるホテル情報」は、地理的な距離よりも、時間的な距離に基づいて提供されなければならない。新幹線で移動中のユーザにホテル情報を提供する場合を考えると、ユーザの現在位置から地理的に近いホテルの情報ではなく、新幹線の停車駅の近くにあるホテルの情報を提供する必要がある。このような場合、既存の情報配信システムでも、ユーザによる目的地の指定があれば、その周辺情報を提供することができる。しかし、ユーザによる位置指定が必要であるため、現在位置の情報から目的地の情報を、自動的に配信することができない。すなわち、既存の位置依存情報配信システムには以下の問題点がある。

- 実空間上の地理的関連性とは異なる基準を扱うことができない。
- 指定された位置ごとに個別に情報を提供しているため、現在位置にある情報から異なる位置にある情報を参照することができない。

したがって、ユーザの状況・要求や、対象とする情報によっては、実空間の地理的関連性とは異なる基準による位置情報を用いて、現在位置に適した情報を動的に生成する手法が必要である。

本論文では、位置依存情報配信システムに対する情報の関連、有効性を考慮し、リンク元、リンク先が動的に決定される位置依存動的リンク機構による空間ハイパーメディアの枠組みを提案する。提案する枠組みでは、コンテンツに付与した実空間上の地理情報を基準とした位置情報を、異なる基準により構築された仮想空間へと写像し、論理空間上の位置情報に基づく空間条件、時間条件によりリンクの有効条件を検証する。これにより、従来の位置依存情報配信システムにおける上述の問題点を解消し、

- 実空間上の地理的関連性に加え、意味的な関連性を扱う枠組み、
- 位置、時間に適したコンテンツの動的な生成、を可能とする位置依存情報配信システムを実現することができる。

以下、2章では本研究の動機とアプローチについて述べる。3章では伝播リンクの定義について説明し、4章では伝播リンクを用いた空間ハイパーメディアについて説明する。5章では提案した枠組みを用いたプロトタイプシステムについて述べ、6章で関連研究と本研究の立場について述べる。最後に7章で結論と

今後の課題について述べる。

2. 本研究の動機とアプローチ

2.1 コンテンツの位置情報

位置情報は、GPS⁵⁾、携帯電話の基地局⁶⁾やGIS(地理情報システム)などの基盤技術により容易に利用することができ、ユーザ、コンテンツに位置情報を付加することが可能である。

位置依存情報配信システムは、ユーザとコンテンツの位置情報を利用しており、ユーザはその場所に適した情報を、能動的に位置を指定することなく受信する。すなわち、既存の位置依存情報配信サービスは、コンテンツ間およびコンテンツとユーザは、その距離などの地理的な位置情報により関連を持つものとしている。

しかし、実空間上の地理的な位置情報では、ユーザ、コンテンツの関連性を表すことができない場合がある。たとえば、鉄道の駅にいるユーザが近くのレストラン情報を欲しい場合を考えてみる。地理的な位置情報を利用する既存の位置依存情報配信システムでは、地理的な距離の小さいレストラン情報が呈示されるが、駅から列車に乗ることによる時間的に近いレストラン情報は呈示されない。この場合、地理的な距離ではなく時間的な距離を基に情報を提供しなければならない。また、台風の影響の大きさに基づいて各地の気象情報を比較するなどのように、実空間の地理的な位置関係とは異なる位置関係が構築される場合がある。すなわち、ユーザからの要求、置かれている状況およびコンテンツの性質によっては、位置情報の基準を変更する必要がある。

したがって、情報がどのような基準によって空間中を伝播しているのか、いい換えるなら、異なる視点からの位置情報を扱うことのできる手法が必要である。

2.2 位置依存動的リンク

位置依存情報配信システムでは、リンクによりコンテンツが相互に参照され、ユーザはリンクをたどることで、容易に情報を取得することができる。しかし、リンクを選択したが、リンク先のコンテンツが正しくない場合がある。すなわち、リンク先の情報が削除されているにもかかわらずリンクのみが存在する場合や、その位置に適していない情報が呈示される場合である。リンク元とリンク先が正しく結合されていないリンクは、位置依存情報配信システムにおいて大きな問題となっている。

この問題を解決するためのリンク機構に、動的リンクがある。動的リンクは、検索や計算により、リンク元、リンク先を決定し、リンクを生成する機構である。

コンテンツの更新頻度が高い場合に、動的リンクが有効である。

これまでに我々は、コンテンツに時制を導入した時間依存動的リンク機構である Mille-feuille⁷⁾を提案している。Mille-feuille は、Dexter ハイパーテキスト参照モデル⁸⁾と同様にリンクとコンテンツを分離し、実行時にコンテンツの時制を使って動的にリンクが生成、更新、削除される動的リンク機構である。

位置依存情報配信システムでは、位置によりコンテンツが変更、更新される。そのため、時制だけでなく、あらゆる場所においてリンクを管理しなければならず、位置に応じてリンク元、リンク先を自動的に決定する位置依存動的リンク機構が必要とされている。

2.3 空間ハイパーメディアの枠組み

本論文で提案する空間ハイパーメディアの枠組みのためのアプローチは、

- 位置、時間によりリンク元、リンク先が変化する動的リンク機構、
- 実空間とは異なる基準を扱える仮想空間の構築、
- 仮想空間上の位置情報を利用したコンテンツの空間的な有効条件、

である。

本枠組みでは、コンテンツ、アンカーに付加した位置情報を、コンテンツの性質やユーザの要求に基づいて構築された仮想空間に写像し、仮想空間上の位置情報を利用してリンクを動的に生成する。実空間上の位置情報が写像される仮想空間を利用することにより、コンテンツの位置情報を異なる視点から扱うことが可能である。すなわち、この仮想空間上で生成されるリンクは、コンテンツ間のある属性に基づいた関連性を表している。本論文では、この動的リンクを伝播リンクと呼び、伝播リンクに対応して、実空間上で生成されるリンクが位置依存動的リンクである。

図1に提案する伝播リンクの概念図を示す。図1では、ある時間 t においてコンテンツ X, Y, Z が配信されている。なお、本論文では、コンテンツの位置情報を、参照するべき有効性を持った範囲を表す矩形として扱っている。

実空間上のユーザおよび各コンテンツの位置情報が、伝播リンクの定義中に記述された写像ルールに従い仮想空間へと写像されることにより、実空間とは異なる位置情報が得られる。仮想空間上におけるコンテンツ X, Y, Z の位置情報およびユーザの位置情報の関係が、空間に関する有効条件を満たすかどうか、また時間に関する有効条件を満たすかどうか検証する。図1に示す例では、コンテンツ X, Y の仮想空間上の位置

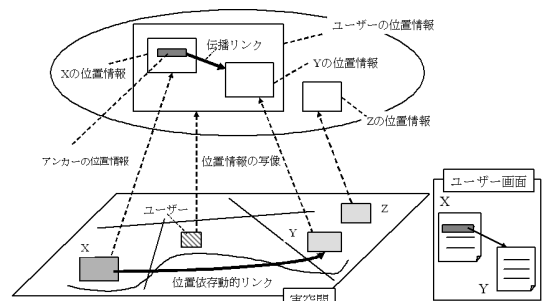


図1 伝播リンクの概念図

Fig.1 A concept of the propagation link.

関係が空間条件を満たし、コンテンツ Z は空間条件を満たさない場合である。この場合、コンテンツ X, Y 間に伝播リンクが生成される。同時に実空間上において位置依存動的リンクが生成されるため、クライアント上では、コンテンツ X 中のアンカーを選択すると、コンテンツ Y が呈示されることになる。

3. 伝播リンク

3.1 位置情報の扱い

コンテンツ、アンカーは、どこの情報であるのかを表す位置情報だけでなく、どこからどこまでが有効であるのかを表す有効範囲を持つ。有効範囲は、空間上の事象が発生した場所や、どこからどこまである状態が続いているのかという情報を表す領域である。このような有効範囲は、一般的に「神戸市内」「半径100メートル以内」などのように表される。本論文では、コンテンツ、アンカーの位置情報を、有効範囲を含んだ矩形領域として扱っている。したがって、コンテンツの位置情報は、コンテンツがアクセス可能であるか、または、アクセスされた場合に意味を持つ領域を表している。また、アンカーの位置情報は、アンカーがナビゲーションポイントとして機能する範囲を示すものであり、アンカーとコンテンツがともに有効である範囲において、アンカーはナビゲーションポイントとして有効となる。なお、これらのコンテンツとアンカーの位置情報は、独立して指定することが可能である。

図2に、コンテンツ、アンカーの位置情報の例を示す。コンテンツ“神戸の交通情報”の有効範囲と、アンカー“渋滞情報”の有効範囲を、それぞれ左下の頂点座標 (x_c, y_c) , (x_a, y_a) , 水平方向の幅 h_c, h_a , 垂直方向の幅 v_c, v_a で表される矩形領域で表したものを、本論文では位置情報としている。

この例では、コンテンツ“神戸の交通情報”は、

議論を簡単にするためであり、必ずしも矩形である必要はない。

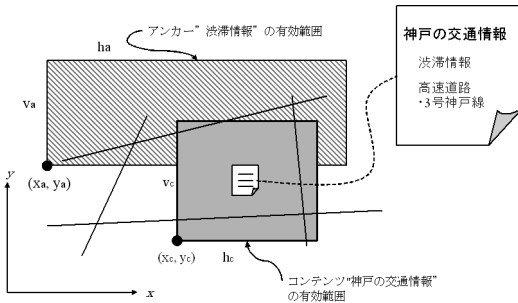


図2 アンカー、コンテンツの位置情報

Fig. 2 Position information of an anchor and a content.

$(x_c, y_c), (x_c + h_c, y_c), (x_c, y_c + v_c), (x_c + h_c, y_c + v_c)$ で囲まれた範囲においてアクセス可能であるか、アクセスした場合に意味を持つ。また、アンカー“渋滞情報”は、 $(x_a, y_a), (x_a + h_a, y_a), (x_a, y_a + v_a), (x_a + h_a, y_a + v_a)$ で囲まれた範囲でナビゲーションポイントとして機能し、この範囲外では、ナビゲーションポイントではなくなる。

一般的な位置依存情報配信システムでは、ユーザの現在位置を基準に一定の範囲内にある情報を、現在位置に適した情報として提供する。つまり、ユーザは、現在位置だけでなく、ユーザにとってコンテンツが意味を持つと判断される有効範囲を持つといえる。そこで、本論文では、コンテンツ、アンカーの位置情報と同様に、ユーザの位置情報を、有効範囲を含む矩形領域として扱っている。

3.2 実空間と論理空間

本論文で提案している伝播リンク機構では、実空間と論理空間の2つの空間を利用する。

- 実空間
位置情報を持つコンテンツがある現実の空間
- 論理空間
伝播リンクを生成する仮想空間の1つ

論理空間は、固定的な基準ではなく、必要に応じて決定される基準による位置情報を表した、リンクの実行時に生成される空間である。コンテンツ、アンカーの実空間上の位置情報は、論理空間へと写像され、論理空間上の位置情報を用いて、リンクの有効条件が評価される。したがって、伝播リンクは論理空間上で生成され、実空間上の対応するコンテンツ間に位置依存動的リンクが生成される。

3.3 コンテンツとアンカーの定義

提案する伝播リンクは動的リンクに基づくものであり、リンクとコンテンツは分離して管理されている。リンクの参照ポイントであるアンカーは、コンテンツ

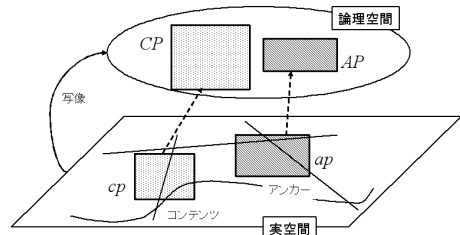


図3 実空間から論理空間への位置情報の写像

Fig. 3 Mapping of position information from real space to logical space.

表1 実空間と論理空間の位置情報

Table 1 Position information of real space and logical space.

		実空間	論理空間
ユーザ		p_{now}	P_{now}
リンク元	コンテンツ	cp_s	CP_s
	アンカー	ap_s	AP_s
リンク先	コンテンツ	cp_d	CP_d
	アンカー	ap_d	AP_d

に依存せず、動的に生成、削除が行われ、必要に応じてコンテンツ全体や、その一部がアンカーとなる。

コンテンツ c は次式で定義される。

$$c = (cid, cver, cp) \tag{1}$$

ここで、 cid はコンテンツの識別子、 $cver$ はコンテンツのバージョン番号を表し、 cp はコンテンツの実空間上の位置情報を表す。

アンカー a は次式で定義される。

$$a = (aid, aver, ap) \tag{2}$$

ここで、 aid はアンカーの識別子、 $aver$ はアンカーのバージョン番号、 ap は実空間上のアンカーの位置情報を表す。

また、図3に示すように、コンテンツ、アンカーの実空間上の位置情報は、論理空間へと写像される。コンテンツの論理空間上の位置情報 CP 、アンカーの論理空間上の位置情報 AP とすると、次式によりそれぞれの位置情報が実空間から論理空間へと写像される。

$$CP = Mapping(cp) \tag{3}$$

$$AP = Mapping(ap) \tag{4}$$

ここで、 $Mapping()$ は、3.5節で説明する写像ルール中に定義された写像を行う関数、またはルールである。

表1にユーザの現在位置、リンク元とリンク先のそれぞれのコンテンツとアンカーの、実空間と論理空間の位置情報を示す。

3.4 伝播リンクの定義

伝播リンク L は、アンカーを含むリンク元コンテンツ c_s 、リンク先コンテンツ c_d とすると、次式で定義される。

$$L = (c_s, c_d, R, S, T) \quad (5)$$

ここで、 $c_s = O(a_s)$ 、 $c_d = O(a_d)$ (a_s 、 a_d はそれぞれリンク元、リンク先のアンカー、 $O()$ はアンカーを含むコンテンツ)である。また、 R は位置情報の実空間から論理空間への写像ルールを表す。 S は論理空間上の伝播リンクの空間条件、 T は伝播リンクの時間条件を表す。

R 、 S 、 T の組合せによって、多様な種類の伝播リンクを作り出すことができる。

3.5 伝播リンクの写像ルール

実空間から論理空間へと位置情報を変換する写像ルール R は、位置情報の基準を変更するための1つ以上のルールを表す語句 r_n から構成されており、次式で定義される。

$$R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\} \quad (6)$$

r_n には、たとえば“所要時間”のような一般的に用いられる語句が記述され、これらを組み合わせることにより、様々な写像を行うことができる。

語句 r_n に対応する位置情報の変換ルールが、実行時に既設の写像ルールデータベースから呼び出され利用される。

コンテンツ間、コンテンツとユーザ間の位置関係は、どのような基準で判断するかで異なる様相を呈する。たとえば、空港間の地理的な距離を基準にした位置関係と、時間的な距離を基準にした位置関係は、異なる位置関係で表される。このような基準の変更を記述したものが、写像ルール R であり、実空間上の位置情報は、基準の変更された有効範囲とともに論理空間上に写像される。

写像ルールの設定によっては、実空間の位置情報をそのまま利用することもできるため、本枠組みを用いて既存の位置依存情報配信サービスを実現することができる。

3.6 伝播リンクの空間条件

伝播リンクの空間条件は、論理空間上の位置情報を用いて表される。説明のために、図4に示す2つの矩形 x 、 y の位置関係を判断する関数を $Overlaps$ 、 $Contains$ とする。 $Overlaps(x, y) = true$ の場合に、矩形 x 、 y は一部が重なっていることを示す。 $Contains(x, y) = true$ の場合は、矩形 x 、 y の一方が他方に含まれていることを示し、図4では y が x に含まれている。

まず、リンク元、リンク先のコンテンツ、アンカー

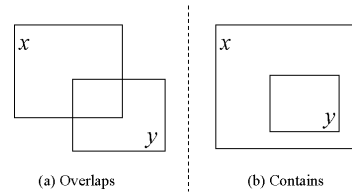


図4 矩形の位置関係

Fig. 4 Position relation between rectangles.

のすべてが、ユーザの現在位置において有効でなければならない。したがって、ユーザの論理空間上の現在位置 P_{now} と、リンク元のコンテンツの論理空間上の位置情報 CP_s の位置関係は、以下の式 (7)、(8) のどちらかを満たさなければならない。

$$Overlaps(P_{now}, CP_s) = true \quad (7)$$

$$Contains(P_{now}, CP_s) = true \quad (8)$$

ユーザの論理空間上の現在位置 P_{now} と、リンク先のコンテンツの論理空間上の位置情報 CP_d の位置関係は、以下の式 (9)、(10) のどちらかを満たさなければならない。

$$Overlaps(P_{now}, CP_d) = true \quad (9)$$

$$Contains(P_{now}, CP_d) = true \quad (10)$$

ユーザの論理空間上の現在位置 P_{now} と、リンク元のアンカーの論理空間上の位置情報 AP_s の位置関係は、以下の式 (11)、(12) のどちらかを満たさなければならない。

$$Overlaps(P_{now}, AP_s) = true \quad (11)$$

$$Contains(P_{now}, AP_s) = true \quad (12)$$

ユーザの論理空間上の現在位置 P_{now} と、リンク先のアンカーの論理空間上の位置情報 AP_d の位置関係は、以下の式 (13)、(14) のどちらかを満たさなければならない。

$$Overlaps(P_{now}, AP_d) = true \quad (13)$$

$$Contains(P_{now}, AP_d) = true \quad (14)$$

次に、コンテンツとアンカーは、リンク元とリンク先のそれぞれにおいて、論理空間上の位置情報が重なるか、一方が他方に含まれていなければならない。すなわち、コンテンツとアンカーの両方が同時に有効である場合にのみ、アンカーはナビゲーションポイントとして有効になる。たとえば、図2において、アンカー“渋滞情報”が有効であるには、コンテンツ“神戸の気象情報”が有効である場合にのみ、アンカーはナビゲーションポイントとして有効である。したがって、リンク元のコンテンツとアンカーのそれぞれの論理空間上の位置情報は、以下の式 (15)、(16) のどちらかを満たさなければならない。

$$Overlaps(CP_s, AP_s) = true \quad (15)$$

動的にルールを生成することも可能である。ルールの生成方式は本論文の議論の対象としていない。

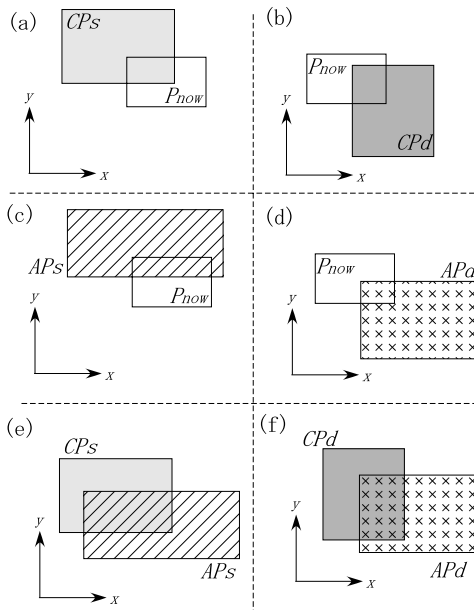


図5 空間に関する有効条件

Fig. 5 Spatial conditions of link validity.

$$\text{Contains}(CP_s, AP_s) = \text{true} \quad (16)$$

リンク先のコンテンツとアンカーのそれぞれの論理空間上の位置情報は、以下の式 (17), (18) のどちらかを満たさなければならない。

$$\text{Overlaps}(CP_d, AP_d) = \text{true} \quad (17)$$

$$\text{Contains}(CP_d, AP_d) = \text{true} \quad (18)$$

条件 (7), (9), (11), (13), (15), (17) を、図5に示す。

さらに、伝播リンクの定義中に記述される空間条件 S を満たさなければならない。空間条件 S は、コンテンツの論理空間上の位置情報に基づいた1つ以上の条件 s_n の組合せから構成されており、次式で定義される。

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\} \quad (19)$$

これらの条件を満たした場合に、リンクが有効となる。

以下に、空間条件 S の各条件 s_n の、論理空間上の2次元的な包含関係を用いた代表的な例を示す。

- $\text{Neighbors}(CP_s, CP_d)$

たとえば、行政区画のように論理空間上でリンク元、リンク先コンテンツの位置情報の境界線が接しているかどうかを評価する。

- $\text{Contains}(CP_s, CP_d)$

リンク元、リンク先のどちらか一方のコンテンツの位置情報が、もう一方に含まれているかどうかを評価する。行政区画でいえば、県と市の関係に相当する。

- $\text{Overlaps}(CP_s, CP_d)$

位置情報が、部分的に重なっているかどうかを評価する。

空間条件 S には、包含関係以外の条件を設定することもできる。たとえば、 $\text{Prefecture}(CP_s, CP_d)$ のように、リンク元とリンク先のコンテンツの論理空間上の位置情報が、どちらも行政区画の県を表しているというような条件や、一方のコンテンツの論理空間上の位置情報に関する条件を設定することができる。

上記の例を組み合わせた空間条件 S が以下の式で表されているとする。

$$S = \{\text{Neighbors}, \text{Prefecture}\} \quad (20)$$

この場合、リンクが有効であるためには、リンク元、リンク先のコンテンツが

$$\text{Neighbors}(CP_s, CP_d) = \text{true} \quad (21)$$

$$\text{Prefecture}(CP_s, CP_d) = \text{true} \quad (22)$$

の両方を同時に満たさなければならない。つまり、リンク元、リンク先コンテンツの位置情報が、境界線を接しており、かつ、県を表している場合にリンクが有効となる。

このように、空間的生成条件 S は様々に定義することが可能であり、また、複数の条件を組み合わせることで、目的、用途に応じたリンクを生成することが可能である。

3.7 伝播リンクの時間条件

伝播リンクが有効であるには、コンテンツ、アンカーの時間的有効性を考慮する必要がある。すなわち、現在時間 t_{now} において、コンテンツ、アンカーに意味があり、参照されるべき有効性を持つ場合にのみ、リンクを有効としなければならない。リンク元、リンク先コンテンツの有効時間をそれぞれ $[V_{S1}, V_{D1}]$, $[V_{S2}, V_{D2}]$ 、リンク元、リンク先のアンカーの有効時間を $[v_{s1}, v_{d1}]$, $[v_{s2}, v_{d2}]$ とすると、以下の条件 (23) から (26) を満たさなければならない。

$$\text{Max}(V_{S1}, V_{S2}) \leq t_{now} \leq \text{min}(V_{D1}, V_{D2}) \quad (23)$$

$$\text{Max}(v_{s1}, v_{s2}) \leq t_{now} \leq \text{min}(v_{d1}, v_{d2}) \quad (24)$$

$$\text{Max}(V_{S1}, v_{s1}) \leq t_{now} \leq \text{min}(V_{D1}, v_{d1}) \quad (25)$$

$$\text{Max}(V_{S2}, v_{s2}) \leq t_{now} \leq \text{min}(V_{D2}, v_{d2}) \quad (26)$$

動的リンクの時間的有効性については、アンカーおよびコンテンツに有効時間を付与し、有効時間を検証することで時間的矛盾のないリンクを生成する時間依存動的リンク機構 Mille-feuille において詳細に論じられている。

さらに、伝播リンクの定義中に記述される時間条件 T を満たす必要がある。時間条件 T は、現在時刻からの相対的なバージョンを表す rel と時間範囲 $range$

とすると、次式で表される．

$$T = \{rel, range\} \quad (27)$$

以下に、条件 rel の例を示す．

- *Newest*
最新バージョンのコンテンツを指定する．
- *Oldest*
最も古いバージョンのコンテンツを指定する．
- *Before(n)*
最新バージョンより、 n だけ古いバージョンのコンテンツを指定する．たとえば、*Before(1)* であれば、最新より 1 つ前のコンテンツの場合にリンクが有効となる．

たとえば、 $T = \{Newest, now\}$ であれば、現在時刻における最新バージョンのコンテンツの場合にリンクが有効となる．また、 $T = \{Newest, 20011202T15:30:00\}$ の場合は、2001 年 12 月 2 日 15 時 30 分の時点において最も新しいバージョンを指定していることを表す．

4. 伝播リンクによる空間ハイパーメディア

4.1 伝播リンクの制御

伝播リンクは、論理空間上におけるコンテンツ、アンカー、ユーザの位置情報が空間条件を満たし、かつコンテンツとアンカーが時間条件を満たしている場合に生成される．以下に伝播リンクの生成手順を示す．

- (1) ユーザのアクセスしたコンテンツに対応する伝播リンクの定義が参照される．
- (2) 定義中の写像ルール R に従い、ユーザ、アンカー、コンテンツの位置情報が論理空間に写像される．
- (3) 空間条件 S と時間条件 T を満たすコンテンツが探索され、条件を満たしたコンテンツ間に伝播リンクが生成される．
- (4) 実空間において、伝播リンクに対応する位置依存動的リンクが生成される．

コンテンツの更新には、時間的な更新と空間的な更新の 2 つがある．

- 時間的な更新
コンテンツの cid をもとにリンクが再評価される．つまり、新しいコンテンツは同じ cid を持つため、バージョン番号 $cver$ の異なるコンテンツについてリンクが有効か調べる．
- 空間的な更新
空間的な更新は、ユーザやコンテンツの位置情報が変化した場合に生じる．すなわち、ユーザが移動した場合である．この場合、新しい場所におい

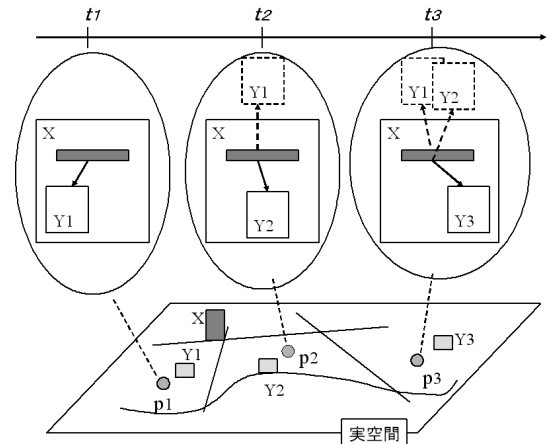


図 6 最新近傍リンクの例

Fig. 6 An example of newest-nearest link.

て、リンクの有効条件を満たすコンテンツが探索される．

空間条件 S 、時間条件 T のいずれか一方でも満足しない場合、伝播リンクは消滅する．

4.2 伝播リンクの例

写像ルール R 、空間条件 S 、時間条件 T の組合せにより、様々な種類の伝播リンクを実現することができる．例として、最新近傍リンクと連結リンクについて説明する．

4.2.1 最新近傍リンク

最新近傍リンクは、時間的に最も新しく、かつ実空間において地理的に近傍にあるコンテンツ間にリンクを生成する機構である．

最新近傍リンクの写像ルール R 、空間条件 S および時間条件 T は次のように表される．

$$R = \{ \text{地理的距離} \} \quad (28)$$

$$S = \{ \text{Contains}(CP_s, CP_d) = \text{true} \} \quad (29)$$

$$T = \{ \text{Newest, now} \} \quad (30)$$

つまり、実空間の位置情報をそのまま写像を行い、論理空間上の位置情報がリンク元、リンク先の一方が他方に含まれる関係にある、時間的に最も新しいバージョンのコンテンツに対してリンクを自動的に生成する．

図 6 は、コンテンツ X にアクセスするユーザの位置 p_1 から p_3 へと移動にあわせて、最新近傍リンクが生成される例を示している．なお、コンテンツ X は論理空間上において各位置 P_1, P_2, P_3 を含む位置情報を持つ．すなわち、ユーザの移動範囲においては有効であるとしている．

まず、実空間の位置 P_1 、時刻 t_1 において、リンク先コンテンツ Y_1 に最新近傍リンクが生成されている．

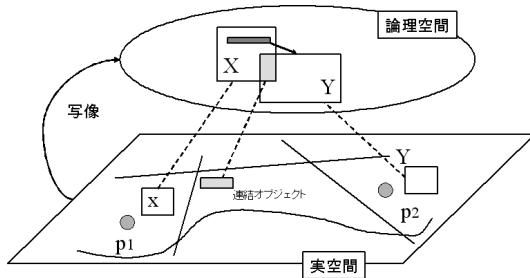


図 7 連結リンクの例

Fig. 7 An example of connection link.

次に、位置 P_2 へと移動すると時刻が t_2 になり、 Y_1 へのリンクが消滅し、位置 P_2 で配信されていたコンテンツ Y_2 への最新近傍リンクが生成される。同様に、位置 P_3 に移動すると、 Y_2 へのリンクが消滅し、位置 P_3 、時刻 t_3 における最も近くにある最新のコンテンツ Y_3 にリンクが生成されていることを示している。この例では、リンク先コンテンツが更新される例を示しているが、リンク元コンテンツが更新される場合も同様である。

このリンクにより、ユーザが移動先において、自身の近傍にある最新の情報を自動的に取得することが可能である。

ここで説明した最新近傍リンクの近傍の、新しい情報を配信する機能は、一般的な位置依存情報サービスであり、伝播リンクで既存の位置依存情報サービスが実現できることを表している。

4.2.2 連結リンク

連結リンクとは、ある場所を経由したコンテンツ間にリンクを生成する機構である。このリンクの写像ルール R 、空間条件 S および時間条件 T は次のように表される。

$$R = \{ \text{時間的距離} \} \quad (31)$$

$$S = \{ \text{Overlaps}(CP_s, CP_d) = \text{true} \} \quad (32)$$

$$T = \{ \text{Newest, now} \} \quad (33)$$

つまり、実空間の位置情報を時間的距離に基づく論理空間上の位置情報へ写像し、リンク元とリンク先のコンテンツの論理空間上の位置情報が、部分的に重なる関係となる、最新バージョンのコンテンツに対してリンクを自動的に生成する。

図 7 は、位置 p_1, p_2 にあるコンテンツ X, Y の位置情報が時間的距離に基づく写像により、論理空間上では相互に重なりを持つ。この関係は、空間条件 S を満たしているため、コンテンツ X, Y が最新バージョンである場合に、コンテンツ X, Y にリンクが生成される様子を示している。

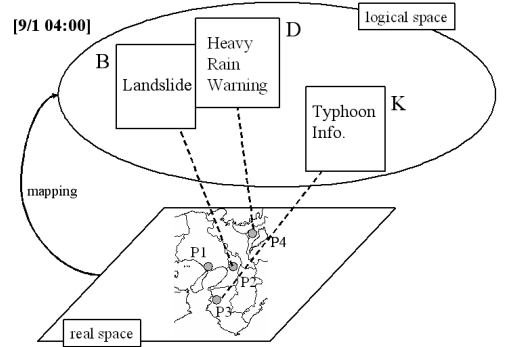
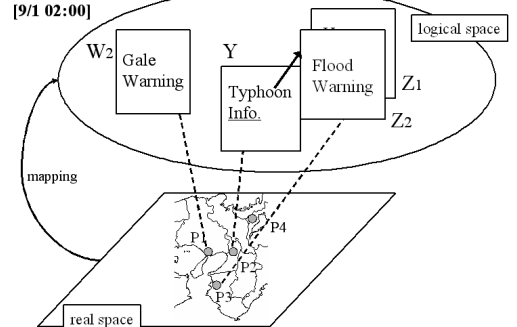
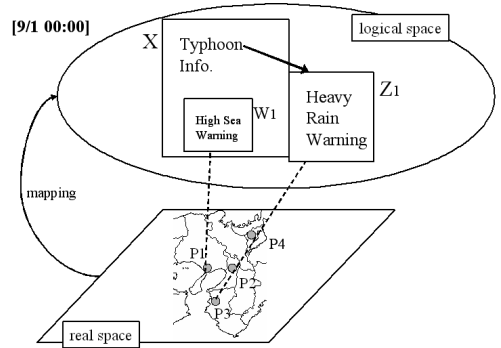


図 8 気象情報の配信例

Fig. 8 An example of weather information.

コンテンツ X, Y の論理空間上の位置情報が重なる部分に論理空間上の位置情報を持ち、実空間においては離れた 2 点間にあるコンテンツを接続するオブジェクトを、連結オブジェクトと呼び、たとえば駅や空港などがある。

連結リンクにより、実空間上の地理的な距離がユーザの近傍にないが、時間的には近くにあるコンテンツにリンクを生成することが可能であり、地理的な距離にとらわれない位置依存情報サービスが実現できる。たとえば、駅の近くにいる人が「ここから 1 時間以内に行けるホテル」を探している場合に、駅を経由して列車で 1 時間以内に到着するホテルを示すような場合に有効である。

4.3 伝播リンクによる位置依存情報配信の例

論理空間を利用することで、実空間では得られない関連を扱う位置依存情報配信システムを実現することができる。すなわち、伝播リンク機構により、地理的関連性のないコンテンツを相互に参照することが可能である。図8は、「台風の接近により、神戸、和歌山が勢力圏内に入り、和歌山において警報が発令される。その後、時間経過とともに台風が移動し、警報や注意報が各地で発令される」という状況を、神戸（位置 P_1 ）から大阪（位置 P_2 ）を経由して和歌山（位置 P_3 ）へのユーザの移動にあわせた時系列で示している。図中の矩形はコンテンツの位置情報であり、実線矢印はリンクを表している。

この例において、伝播リンクの定義の写像ルール R 、空間条件 S 、時間条件 T は次のように表される。

$$R = \{ \text{台風の影響} \}$$

$$S = \{ \text{Neighbor}(CP_s, CP_d) = \text{true} \}$$

$$T = \{ \text{Newest, now} \}$$

つまり、台風の勢力圏内かどうかを基準とした写像を行い、論理空間上で位置情報が隣接する最新コンテンツ間においてリンクが有効となる。

(1) [9/1 00:00 位置 P_1] の時点（上図）では、位置 P_1, P_3 が台風の勢力圏内であり、写像により論理空間上では、位置 P_1, P_3 の最新コンテンツ X, Z_1 の位置情報が隣接の関係になる。空間条件、時間条件を満たすことから、論理空間上でコンテンツ X におけるアンカー “Typhoon Info.” からコンテンツ Z_1 (Heavy Rain Warning) へ伝播リンクが生成される。また、位置 P_1 にはコンテンツ W_1 (High Sea Warning) があるが、論理空間上ではコンテンツ X の位置情報に含まれており、空間条件を満たさないため、リンクは生成されない。

(2) [9/1 02:00] の時点（中図）では、ユーザが位置 P_2 へと移動し、アンカ “Typhoon Info.” は、位置 P_2 のコンテンツ Y に表れる。リンク先のコンテンツ Z_1 は、新しいバージョンであるコンテンツ Z_2 (Flood Warning) に更新されている。コンテンツ Y とコンテンツ Z_2 の論理空間上の位置関係が空間条件を満たすため、伝播リンクが生成される。これは、リンク元とリンク先のコンテンツが同時に更新されていることを表している。位置 P_1 のコンテンツ W_1 もコンテンツ W_2 (Gale Warning) へと更新されているが、空間条件を満たさないためリンクは生成されない。

(3) [9/1 04:00] の時点（下図）では、ユーザはさらに位置 P_3 へと移動するが、位置 P_3 が台風の勢力圏を抜けたため、論理空間上でアンカー “Typhoon

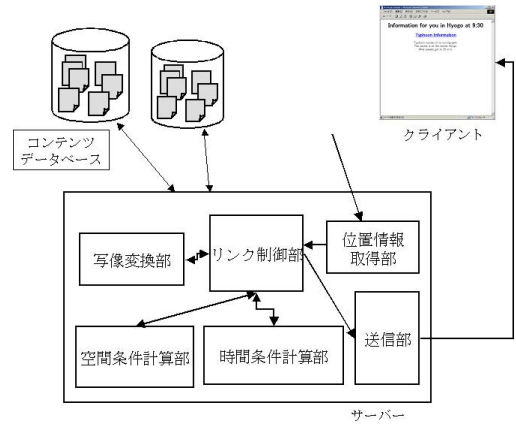


図9 システム構成図

Fig.9 System architecture of prototype system.

Info.” を含むコンテンツ K と空間条件を満たすコンテンツが存在しない。そのため、リンクが生成されず、アンカーが無効になっていることを示している。

このように、位置の変化にあわせて情報が変更される情報間のリンクに対して、情報の性質に応じた論理空間上の位置情報による有効条件を用いることで、地理的関連性のない位置にあるコンテンツの呈示を行うことが可能である。

5. プロトタイプシステムの設計と実装

5.1 プロトタイプシステムの構成

我々は、提案する伝播リンク機構のプロトタイプシステムを実装している。実装には、Java による Web アプリケーションを記述するメカニズムである Servlet および JSP (Java Server Page) を利用している⁹⁾。そのため、クライアントに一般的な Web ブラウザを利用することが可能である。なお、現在のバージョンでは位置情報は手動で設定している。

作成したプロトタイプシステムは、位置情報を取得する位置情報取得部、実空間から論理空間への写像を行う写像変換部、空間と時間の有効条件を計算する空間条件計算部、時間条件計算部、リンクの管理を行うリンク制御部およびコンテンツをクライアントに送信する送信部から構成されている。

図9にプロトタイプシステムの構成図を示す。

5.2 XML による伝播リンクの設計

本論文で提案する伝播リンクは、リンク定義とコンテンツを分離して扱っており、拡張可能なマークアップ言語 XML¹⁰⁾ の拡張リンク機構により実現できる。本プロトタイプシステムでは、Propagation.dtd コンテンツの拡張情報を定義している Propagation.dtd、

リンク元を含むファイル Contents.xml, 伝播リンクの拡張情報を記述したファイル links.dtd およびリンクに関する情報を記述したファイル links.xml の4つのファイルを用いている。以下に記述例を示す。

Propagation.dtd には, 識別子 *cid*, バージョン番号 *cver*, 位置情報 *cp* を拡張属性として追加している。以下にその記述例を示す。なお, 位置情報 *g* は矩形として扱っているため, 矩形の左下の頂点座標 (x, y) , 水平距離 h , 垂直距離 v からなるものとしている。

```
<!ELEMENT contentgroup (content*)>
<!ELEMENT content (cid,cver,cp)>
<!ATTLIST content  cid CDATA #REQUIRED
                   cver CDATA #IMPLIED>
<!ELEMENT cp (#PCDATA)>
<!ATTLIST cp  x CDATA #REQUIRED
              y CDATA #REQUIRED
              h CDATA #REQUIRED
              v CDATA #REQUIRED>
```

Contents.xml では, この拡張属性の値を設定する。各属性値は, コンテンツ作成者を含むシステムにより自動的に付与される。

```
<?xml version="1.0" encoding = "EUC-JP"?>
<!DOCTYPE contentgroup
        SYSTEM "file://propagation.dtd">
<contentgroup>
  <content cid="Typhoon21" cver="0">
    <g x="1" y="1.5" h="3" v="4.5">Kobe</g>
  </content>
</contentgroup>
```

links.dtd では, 伝播リンクに必要な写像ルール R , 空間条件 S , 時間条件 T に関する記述を行う。

```
<!ELEMENT linksgroup (link*)>
<!ELEMENT link (anchor,func*)>
<!ELEMENT anchor (#PCDATA)>
<!ELEMENT func (func?)>
<!ATTLIST func
          R CDATA #REQUIRED
          S CDATA #REQUIRED
          T CDATA #REQUIRED>
```

links.xml では, XML の拡張リンクによりリンクの記述を行う。

```
<?xml version="1.0">
<!DOCTYPE linksgroup
        SYSTEM "file://links.dtd">
<linksgroup>
<link cid="id1">
  <anchor>Typhoon21</anchor>
  <func R="Typhoon"
        S="Neighbor" T="Newest" />
</link>
```

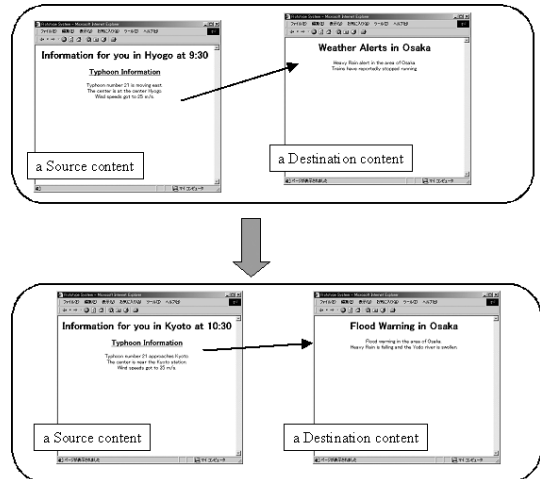


図 10 プロトタイプシステムの画面例

Fig. 10 Screen shots of our prototype system.

</linksgroup>

5.3 プロトタイプシステムの動作

構築したプロトタイプシステムの動作を以下に説明する。

- (1) ユーザがあるコンテンツ中のアンカーにアクセスすると, 位置情報取得部がユーザの位置情報を取得し, リンク制御部に送信する。
- (2) リンク制御部では, コンテンツデータベースから各コンテンツの拡張属性 (Contents.xml) を呼び出す。同時に, アンカーに対応するリンク定義 (links.xml) に記述されている写像ルールを写像変換部に送信する。
- (3) 写像変換部は, 拡張属性から位置情報を抽出し, 写像ルールに従って変換する。
- (4) 変換された位置情報はリンク制御部から空間条件計算部に送信され, 空間条件を検証し, 空間条件を満たすコンテンツの *cid* がリンク制御部に送られる。
- (5) 空間条件を満たすコンテンツの時間条件を, 時間条件計算部により検証し, 時間条件を満たしたコンテンツの *cid* がリンク制御部に送信され,
- (6) リンク制御部では, 最終的に得られた *cid* を持つコンテンツをコンテンツデータベースから読み出し, 送信部によりクライアントへ送信する。

図 10 に, 構築したプロトタイプシステムによる 4.3 節で説明した気象情報を配信するクライアントの画面例を示す。

6. 関連研究

位置依存情報配信システムの研究例には多くのものがある．代表的なものとして，SpaceTag^{11),12)}，Web空間と実空間とを地理的ジェネリックリンクにより拡張した拡張 Web 空間¹³⁾があげられる．

SpaceTag は，時空間上にオブジェクトを配置し，限定された時間，空間にいるユーザのみがオブジェクトにアクセス可能とする制約条件を取り入れることで位置依存サービスを実現している．しかし，空間の限定に実空間の地理情報を利用しているため，範囲外のユーザがサービスを受用できない．さらに，専用のコンテンツを作成するため，既存のコンテンツを容易に利用することができない．本研究で提案している伝播リンク機構は，位置情報の基準を変更することで，実空間の地理的な位置に制約を受けない．また，既存のコンテンツを容易に再利用することができる．

地理的ジェネリックリンクによる拡張 Web 空間は，実空間におけるオブジェクトの地理的關係を満たすように，ハイパーリンクで構成された Web 空間におけるオブジェクトのホームページを地理的ジェネリックリンクで拡張したものである．しかし，実空間上の地理的な位置情報に従った形で情報が存在しているとして扱っているため，コンテンツ間の地理的関連性がない場合にリンクを生成することができない．一方，伝播リンク機構では，位置情報を論理空間へ写像することにより，実空間の地理的関連性だけでなく，意味的な関連性を考慮したリンクを生成することができる．したがって，実空間上で地理的に関連性を持たないコンテンツ間にリンクを生成することも可能である．

すなわち，本研究で提案した伝播リンク機構を用いることで，写像ルール，空間条件，時間条件の組合せにより，様々な位置依存情報配信システムを構築することが可能である．

7. おわりに

本論文では，位置依存情報配信システムのための空間ハイパーメディアの枠組みについて述べ，そのコンテンツの管理機構として伝播リンク機構を提案した．伝播リンク機構により，空間ハイパーメディアにおけるリンクの動的な生成・更新による自動的なリンク制御機構を実現することができるため，位置により情報が変化する位置依存情報配信システムに適している．また，論理空間上の位置情報を利用することで，多様な要求，状況に応じたリンクを生成することができる．

さらに，写像ルール，空間条件，時間条件の組合せ

により様々な種類の伝播リンクを実現できることを示した．

今後の課題としては，構築したプロトタイプシステムへのすべての機能の実装と，実環境における実験による提案手法の有効性の確認があげられる．

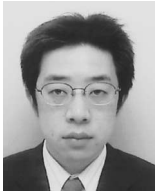
参考文献

- 1) 山崎敏夫：ナビゲーションシステム体系と今後の展開，人工知能学会誌，Vol.15, No.2, pp.226-233 (2000).
- 2) ステーション：http://www.j-phone-west.com/
- 3) Qian, Q., Tanizaki, M. and Tanaka, K.: Abstraction and Inheritance of HyperLinks in an Object-Oriented Hypertext Database System TextLink/Gen., *IEICE Trans. Information and Systems*, Vol.E78-D, No.11, pp.1343-1353 (1995).
- 4) Tanaka, K., Nishikawa, N., Hirayama, S. and Nanba, K.: Query Pairs As Hypertext Links, *Proc. IEEE 7th Data Engineering Conference*, pp.456-463 (1991).
- 5) 北條晴正：端末の測位方式とモバイル市場，情報処理学会誌，Vol.42, No.4, pp.354-357 (2001).
- 6) 太田 洋，北村敏和，鎌滝秀樹，明閑賢太郎：位置情報と携帯電話，情報処理学会誌，Vol.42, No.4, pp.358-361 (2001).
- 7) 角谷和俊，野田玲子，田中克巳：放送型ハイパーメディアのための時間依存リンク機構，電子情報通信学会論文誌，Vol.J82-D-I, No.1, pp.291-302 (1999).
- 8) Halasz, F. and Schwartz, M.: The dexter hypertext reference model, *Comm. ACM*, Vol.37, No.2, pp.30-39 (1994).
- 9) Java Technology: http://java.sun.com/
- 10) XML/SGML サロン：XML 完全解説，技術評論社 (1998).
- 11) Tarumi, H., Morishita, K., Nakao, M. and Kambayashi, Y.: Space Tag: An Overlaid Virtual System and its Applications, *Proc. ICMS99*, pp.207-212 (1999).
- 12) 森下 健，中尾恵，垂水浩幸，上林弥彦：空間限定オブジェクトシステム SpaceTag：プロトタイプシステムの設計と実装，情報処理学会論文誌，Vol.41, No.10, pp.2689-2697 (2000).
- 13) 平松 薫，石田 亨：地域情報サービスのための拡張 Web 空間，情報処理学会論文誌：データベース，Vol.41, No.SIG 6 (TOD 7), pp.81-90 (2000).

(平成 13 年 12 月 21 日受付)

(平成 14 年 3 月 19 日採録)

(担当編集委員 片岡 良治)



平松 治彦(正会員)

1994年神戸大学工学部計測工学科卒業。1996年神戸大学大学院自然科学研究科博士前期課程修了。1998年神戸大学大学院自然科学研究科博士後期課程中退。同年神戸大学総合情報処理センター助手。2000年神戸大学大学院経営学研究科助手、現在に至る。人工知能学会、システム制御情報学会、計測自動制御学会各会員。



角谷 和俊(正会員)

1988年神戸大学大学院工学研究科修士課程修了。同年松下電器産業株式会社入社。ソフトウェア開発環境、マルチメディアデータベース、データ放送の研究開発に従事。1998年神戸大学大学院自然科学研究科博士後期課程(情報メディア科学専攻)修了。1999年神戸大学都市安全研究センター都市情報システム研究分野講師、2000年同助教授。2001年京都大学大学院情報学研究科社会情報学専攻助教授、現在に至る。博士(工学)。情報処理学会データベースシステム研究会幹事。ACM, IEEE Computer Society, 映像情報メディア学会, 地理情報システム学会各会員。



上原 邦昭(正会員)

1978年大阪大学基礎工学部情報工学科卒業。1983年同大学大学院博士後期課程単位取得退学。大阪大学産業科学研究所助手、講師、神戸大学工学部情報知能工学科助教授、同大学都市安全研究センター教授を経て、同大学大学院自然科学研究科教授。情報知能工学科を兼任。1989年より1990年まで Oregon State University, Visiting Assistant Professor。1994年より1996年まで神戸大学総合情報処理センター副センター長。工学博士。人工知能、特に機械学習、マルチメディアデータベース、データマイニングの研究に従事。1990年度人工知能学会研究奨励賞受賞。人工知能学会、電子情報通信学会、計量国語学会、日本ソフトウェア科学会、AAAI各会員。