

UbiquitousLinks:

実世界環境に埋め込まれたハイパーメディアリンク

綾塚 祐二[†] 暦本 純一[‡] 松岡 聡^{*}

[†] 東京大学大学院
理学系研究科情報科学専攻

[‡] ソニーコンピュータサイエンス研究所

^{*} 東京大学大学院
工学系研究科情報工学専攻

要旨

ハードウェア技術の進歩は高機能な計算機を携帯可能にし、ユーザと現実世界の間に常に計算機が介在することが可能になってきている。一方、計算機上の世界では World Wide Web が普及し、多種多様な情報をユーザが手軽に得ることができる。これらの情報は現実世界のオブジェクトに関するものも多いが、その関連性は現実世界のオブジェクトからは自明ではない。本研究では現実世界のオブジェクトと WWW の世界との連携をとることを目的とするハイパーメディアシステムを提案する。具体的には、携帯型の計算機と、現実世界のオブジェクト群に添付された ID を用い、現実世界のオブジェクトから WWW 上の情報へ繋がるリンクを構築する。

UbiquitousLinks:

Hypermedia Links Embedded in the Real World

Yuji AYATSUKA[†], Jun REKIMOTO[‡], Satoshi MATSUOKA^{*}

[†]Dept. of Information Science
Graduate School of Science
University of Tokyo

[‡]Sony Computer Science
Laboratory

^{*}Dept. of Information Engineering
Graduate School of Technology
University of Tokyo

Abstract

Progress of hardware technology makes computers portable, and they become able to mediate between users and the real world. On the other hand, World Wide Web (WWW) becomes widely available. Although information related with objects in the real world exists on many WWW sites, these relations are unclear. This paper proposes a hypermedia system to link the real world objects with information on the WWW. We use IDs attached on the real world objects and a portable computer connected to the Internet via wireless networks. This combination makes it possible to retrieve information on the WWW from real world objects.

1 実世界と WWW とのリンク

ハードウェア技術の進歩、特に小型化によって携帯して使用することを前提とした計算機が現れ、その性能は向上してきている。この携帯型の計算機の性能向上はユーザが計算機を使う機会を増やし、計算機がユーザと実世界の間に常に入り込む可能性を生み出している。我々は、現実世界の案内を行うような、ユーザが持ち歩ける計算機を開発しようとしている。

現実世界の案内を行うためには、様々な物(オブジェクト)や場所に関する情報を用意する必要がある。特定の場所だけでなく、広範囲で使えるようなものを実現するためには膨大なデータベースが必要となり、それを如何に構築するかが問題となってくる。

一方、計算機上の世界ではここ 1, 2 年で World Wide Web (WWW, Web) が驚くべき速さで普及してきている。WWW の世界には様々な人々によって作られた様々な情報が存在し、関連する情報へのリンクがハイパーテキストの形で張られている。このリンクを辿ることにより、ユーザはさまざまな情報を気軽に効率良くアクセスすることができる。

WWW の世界に存在する情報には現実世界のオブジェクトに関する情報も数多く存在する。例えば、あるアーティストの CD に対して、その CD 自体の情報やアーティストの情報が存在する。

しかし、その現実世界のオブジェクトに関する WWW 上の情報を見るためには、ユーザはどこかでその情報の所在地 (URL, Uniform Resource Locator) を入手する必要がある。現状では、その URL は本などの計算機以外の媒体から写してくる¹、または WWW 上の検索システムを使うことなどにより得ているため、状況に応じた適切な情報をその場で見るようなことは難しい。すなわち、現実世界のオブジェクトから WWW の世界の関連する情報へのリンクはかなり弱いものとなっている。

本研究では、現実世界のオブジェクトから WWW の世界への情報のリンク構築すること (図 1) を考え、携帯型の計算機をその仲介とする試作システ

¹最近では製品自体に URL が記されている例もある

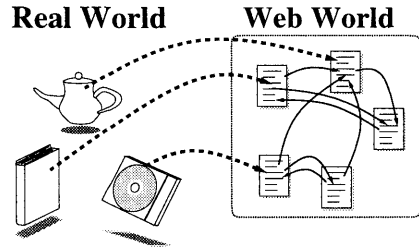


図 1: 現実世界から WWW の世界へのリンク

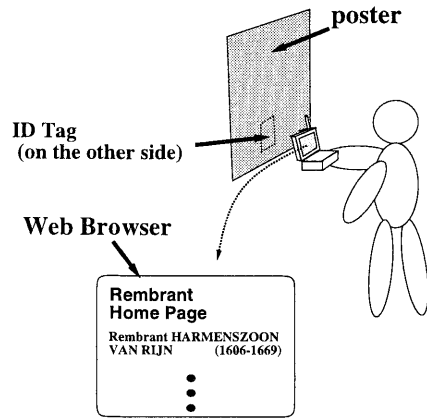


図 2: UbiquitousLinks

ム (UbiquitousLinks) を構築した。この試作システムは、携帯型の計算機を実世界のオブジェクトに近付けるとそれに関する WWW 上の情報を見ることができる、というインターフェースを持つ (図 2)。WWW 上の情報はハイパーテキストの上のリンクを張られた部分 (特定の単語、絵など) をマウスなどでクリックすることにより辿る、という一般に広く用いられているインターフェースに準えたものである。

このようなシステムを考える際に問題となるのは、“計算機が如何にしてオブジェクトを認識するか”ということである。今回の試作システムでは、製品毎に固有の ID を持つ小さなタグを実世界のオブジェクトに張り付け、その認識装置を携帯型の計算機に取り付けることにより、その認識を行っている。また、計算機が“現在、(この計算機を持った)ユーザは何処にいるのか”ということを認識するために、赤外線 LED による ID も用いている。

以下の節では、この試作システムの構成、機能、使用例などについて述べる。

2 ハードウェア構成

UbiquitousLinks のシステムは、実世界に取り付けられる ID 群 (タグ ID 及び赤外線 ID) と、それらを認識し、ネットワークを介して WWW にアクセスし情報を表示する携帯端末 Roc (Real Object Clicker) から成る (図 3)。この節では、これら UbiquitousLinks を構成する機器について説明する。

2.1 タグ ID 及びその読み取り装置

今回使用したタグ ID は INDALA 社の製品で、タグはコイルと 5mm 角ほどの IC から構成されておりバッテリー等は必要とせず読み取り装置の発する磁界の動きを起電力とする。読み取り装置は電波として受信した ID をシリアル回線 (RS-232C) で計算機へと送る。ID は 32bit 長で、タグ毎に工場出荷時に設定され、同じ ID を持つ製品は存在しない。

読み取り距離はタグの大きさ及び読み取り装置の発する磁界の強さにおおよそ比例して変わる²。金属板などで間を隔てると読み取り能力はかなり落ちるが、紙などで隔てる分にはなんら影響はない。今回用いたタグは直径 2cm ほどの碁石状のものと 5.5cm×8.6cm のカード型のもので、読み取り装置は 2cm×3cm×20cm ほどの棒状のものである。この構成で、今回行なった実験環境下では 3cm ~ 6cm ほどの距離で読み取ることができる。

2.2 赤外線 ID 及びその読み取り装置

赤外線 ID は一般の赤外線リモコン用の IC を用いて、一定間隔で 6bit 長の ID を発信するように設定したものをを用いた。4cm 四方の基板上に実装されている。読み取り装置ではこの ID は文字列に変換され、ID タグ読み取り装置からの ID と合わせて携帯端末へとシリアル回線で送信される。

赤外線 ID の有効距離は、直線距離で 5 ~ 7m である。壁などで反射するので必ずしも赤外線発光部が直接見えている必要はなく、小さな部屋であれば一つ、大きな部屋であればいくつかの発信機

²磁界、及び電波を用いているので、ディスプレイや携帯端末自身もノイズ源となり、そのようなものそばでは幾分距離は短くなる

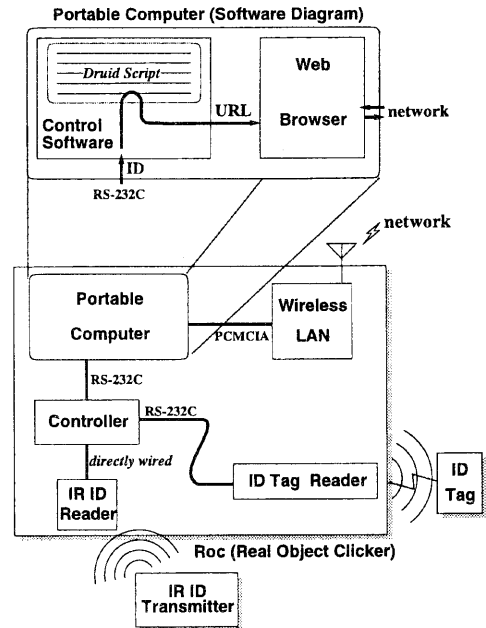


図 3: UbiquitousLinks のハードウェア構成

を、部屋の目立たないところへ設置しておけば部屋の認識を行うことができる。

2.3 Roc の構成

携帯端末の本体には IBM 社の PC110 を使用した。これに拡張ボックスを取り付け ID を読むためのシリアルポートに繋ぎ、PCMCIA の無線 LAN カードを用いネットワークへと接続している。

現在のところ、携帯端末の脇に ID タグ読み取り装置のセンサ部と赤外線受光部を取り付け、ID タグ読み取り装置の制御部と赤外線 ID の認識部及びそれらの電源 (単三電池 8 本) をウェストポーチに収納している。従ってやや大きめではあるが Roc は完全に持ち歩くことができる。図 4 は手に持つ部分の側面概観である。この部分の総重量は約 1.3kg である。

3 ソフトウェア構成

Roc 上で動いているソフトウェアは WWW ブラウザと、ID を読み WWW ブラウザを制御するアプリケーションから成る。WWW ブラウザには

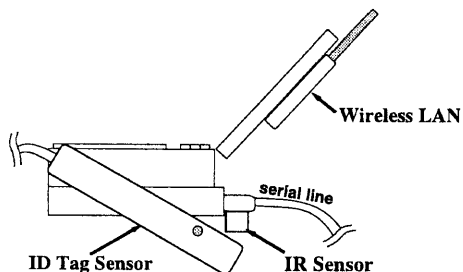


図 4: Roc (手に持つ部分) の側面概観

Netscape 社の Netscape Navigator を使用した。この節では制御アプリケーション、そしてその動作を規定するスクリプト Druid (Description of Rules for Ubiquitous ID) について解説する。

3.1 制御アプリケーション

制御アプリケーションの機能は基本的にシリアルポートから ID を読み、それを関連付けられた URL に変換しそれを WWW ブラウザに伝える、ということである。この変換のためのデータベースは本来ネットワーク経由でアクセスすべき性質のものであるが、今回の試作システムでは携帯端末自身が保持している。

データベースはスクリプトの形になっていて、制御アプリケーションは状態遷移機械として働く。このことにより、ID から URL への対応は単純な一対一のマッピングだけではなく、同じ ID を読んでも状況に応じて適切な URL への変換ができるようになっている。この点に関しては 5 節で詳しく議論する。

シリアルポートから読み込まれる ID は、タグ ID と赤外線 ID とで区別して扱われる。赤外線 ID を読んだ場合は、それは現在ユーザのいる場所を表すものとして、ID を読めない状態が一定時間続くか、違う ID を読むまで、状態の一部として保存する。タグ ID を読んだ場合は、その保存されている赤外線 ID と合わせて URL への変換の処理が行われる。

3.2 Druid

データベースを記述するために用いるスクリプト Druid では、コメント行・空行でない各行が一

つの規則を表す。図 5 が記述例である。各行の構成は次の通りである。

タグ ID; 赤外線 ID; 条件; 遷移; URL

タグ ID 及び赤外線 ID の項は数字の並びで表現される。条件及び遷移の項には変数を用いた式が、カンマ (“,”) で区切って並べられる。これらの項の詳細については後述する。URL の項には通常の URL がそのまま記述されるが、その前にアスタリスク (“*”) を付けることにより、同じ URL が連続して送られる際にもキャッシュを用いずに強制的に再読み込みをすることを指定できる。

各項とも省略する (空白にしておく) ことが可能である (ただし、タグ ID の項と赤外線 ID の項を一つの行で同時に省略することはできない)。タグ ID の項を省略した場合には、指定された赤外線 ID が認識された瞬間に規則が適用される。赤外線 ID の項が省略された場合には、指定されたタグ ID を読んだときには、保存されている赤外線 ID の種類に係わらず規則が適用される。条件の項の省略は規則適用にあたって ID 以外の条件はないことを意味する。遷移の項の省略は、その規則の適用によって内部状態に変化は起こらないことを意味する。URL の省略は、ID の認識によってユーザに提示する情報は変化させずに内部状態の変化だけを引き起こす場合に用いられる。

規則はスクリプトに記述された順に探索され、最初にタグ ID、赤外線 ID、条件の各項を満たしたものが適用される。一回の ID の読み込みにおいて適用される規則は一つのみであり、連鎖的に規則が適用されることはない。

条件の項と遷移の項 条件の項には、前述の通りカンマで区切られた条件式を並べることができる。条件式は変数名、比較子、定数によって構成される。変数名は英数字を用いた任意長の文字列である。比較子としては現在のところ =, >, <, != が用意されている。

条件の項はカンマで区切られた条件式の真偽値の論理積をその真偽値とし、それが真のときのみその規則は適用される。論理和を条件としたいときには、規則を複数の規則に分けることで実現する。すなわち、複雑な条件も積和標準形に直すこ

```

; 000101; tick_count > 2; $no=1; http://www.csl.sony.co.jp/clickmap/index.html
000000126235971; ; $jpn = 0, $t = 1; $no = 0; http://www.u-tokyo.ac.jp/
000000126235971; ; $jpn = 1; $no = 0; http://www.u-tokyo.ac.jp/index-j.html
100000000505781; ; $no = 5; $no++, $goch=1; *http://camus/goch.cgi
000000126304380; 000001; ; ; http://www.csl.sony.co.jp/person/rekimoto.j.html

```

図 5: Druid による記述の例

とにより Druid のスクリプト中に表現することが可能である。

スクリプト中に現れる変数は、スクリプトが制御アプリケーションに読み込まれるとき、すなわち制御アプリケーションの起動時に 0 に初期化される。変数に代入できる値、及び定数に記述できる値は現在のところ整数のみである。スクリプト中に現れる変数以外に、システム定義変数としてその場所にいる時間を計る (すなわち同じ赤外線 ID を連続して認識した回数を数える) 変数 tick_count も用意されている。

遷移の項にも、前述の通りカンマで区切られた式を並べることができる。各式は変数名と演算子、定数から成る。演算子には現在のところ、右辺に代入すべき定数を取る代入演算子 = と単項演算子 ++, --, ! (それぞれインクリメント、デクリメント、反転³) がある。カンマで区切られた式は、左から順に全て評価される。

4 適用例

我々は UbiquitousLinks を研究所内にいくつかのシチュエーションに見立て実際に使用してみた。このデモンストレーションは 1996 年 5 月 30, 31 日のソニーコンピュータサイエンス研究所の一般公開に於いても行われた。

4.1 CD ショップ

CD の売場では通常 CD のパッケージを客が勝手に開けることはできない。パッケージの外から見ることでできる情報は限られており、例えば客の目的とする曲はその CD 中に含まれているものであるかどうかを判別することも必ずしも可能ではない。我々は CD のライナーノーツの間にカード型の ID タグを挟み込み、それをレコード会社の

³変数の値が 0 であれば 1 に、0 以外ならば 0 にする

用意しているその CD のホームページへとリンクした。Roc を CD に近付ける、もしくは CD を手にとって Roc へ近付けるとそのホームページを見ることができる。

さらに、ある CD を認識した後、そのまま大きなディスプレイやスピーカを備えた端末の前へ行くと、そちらの画面に同じ情報を大きく表示し、さらにサンプルの音楽を流すことができる。これは、端末に大きめのタグを付設しており、Roc がこれに近付いたことを認識し、要求を端末に向けて送ることで実現している。Roc にとっては端末も単に ID の付いたオブジェクトであり、データベースにより、そのオブジェクトを認識した際には現在表示しているものに関連した要求をネットワーク上の特定の名前の計算機に送っているに過ぎない。

4.2 美術館・博物館ほか

今回使用したのは本物の絵ではなくポスターであるが、その裏にカード型のタグを取り付けておいた。すると傍目には ID タグの存在は意識されず Roc をポスターに近付けるだけでその絵の作家の説明が現れる。絵の側に説明が掲示されているのに対する利点は、多言語にも容易に対応できる (その場に何か国語も掲示するには広いスペースが必要になる)、映像や音声も活用できる、他の説明との連携がとり易い、などである。恐竜の骨格模型 (タグは足元) に近付けると、Roc 上には復元像が現れ、そのまま Roc を据え置き型の端末のところへ持って行くと CD の例の場合と同じようにして、詳しい解説がそちらのディスプレイに現れ、音声による解説が行われる。また、廊下へ出てしばらく立ち止まると赤外線 ID によりそのことを認識し、建物の地図の画面へと切り替わるようになっていく。廊下へ出てすぐに切替えることも可能であるが、ユーザが行くべき場所を理解してい

る場合には余計な情報を表示することなしにもとの画面を保持したまま移動できるようこのような設定になっている。

ネームプレートに ID タグを取り付け、それを Roc に認識させるとその人のホームページが現れる、という例もある。この場合、Roc の事前の状態⁴に応じて日本語のホームページと英語のホームページとを切替えられる。

4.3 使用感

実際に使用してみて感じることはまず速度の面である。ごく近隣に存在する、あるいはキャッシュされている WWW 情報を表示する場合には特に問題はないが、遠隔地へのアクセスは時間が掛かる。現在のネットワークではこの時間が人間の行動の速さにはついていけず、オブジェクトを認識してから WWW のページが表示されるまでしばらく間が空くことがある。

重さに関しては、現在の Roc は片手で持ち続けるには多少重たいが、オブジェクトに近付けて認識を行うという動作には何ら不自由はなさそうである。ただしこの点に関しては個人差が大きいと思われる。Roc をオブジェクトに近付ける動作に関しては、ID タグセンサ部を PC 本体に対してやや斜め下向きに付けることによって (図 4 参照) 行い易くなっていると思われる。今後小型化を進める際にもセンサ類の位置は気をつけなければならないだろう。

5 議論

この節では UbiquitousLinks の活用のための方向性をユーザインタフェース部分と、それ以外の部分のソフトウェアとハードウェアに分けて検討する。

5.1 ユーザインタフェース

UbiquitousLinks では実世界のオブジェクトにユーザが明示的に Roc を近付けることにより、そのオブジェクトに関する情報を表示する。このインタフェースはユーザにとって分かり易くかつ

⁴ 今回のデモンストレーションでは特定の ID を認識させることにより状態を設定している

簡単である。さらに、明示的であるために、Roc に表示されている情報がなぜそこに現れているのか、何を説明するものなのかということもユーザにとって理解しやすい。

この後者の性質は実世界で人間の補助を行うためには重要である。ユーザにとって有用な情報が提示されたとしても、それが何の情報であるかをユーザが理解できなければ意味をなさないのである。

赤外線 ID はユーザが意識せずとも認識されるが、これも“ある部屋に入る”といった明示的なユーザの行動に伴って認識されるため、それによって画面が切り替わったとしてもユーザにとって理解は難くない。“どの部屋にいるか”という情報が暗黙の状態を示すものとして用いられる場合も、揭示されている情報は何らかの ID の認識をきっかけにして切り替わるので、ユーザが混乱することは少ないであろう。

逆に考えると、ユーザの明示的な行動は Roc に対する命令を与えるための入力手段であると捉えることもできる。4 節での大きなディスプレイを持つ端末へ近付く、という動作はそちらへ表示しろ、という命令であると見做せる。同様にして例えば何らかの書類を認識してその後に電話へ近付けば、その書類をファックスで送れ、という命令である、と見做すことができる。

5.2 ソフトウェア

既に述べてきたように、UbiquitousLinks では現実世界のオブジェクトから WWW の世界への一対一の単純なマッピングだけではなく、Roc の内部状態に応じた様々なマッピングを行うことができる。Roc の内部状態は、ユーザの置かれている各種の状態 (= 文脈) を表していると考えられる。例えば、ユーザがどの部屋にいるか、ということも文脈の一つであるし、ユーザがどのオブジェクトに関する情報を見たか、ということも文脈の一つである。

我々は、この文脈を活用することにより、より適切な情報をユーザに提示することができると考えている。前節で紹介したような、表示する言語を切替えるといったことや、他の大きな計算機に近付いたときにそちらでもっと詳しい情報を提示

してもらったりという機能は、簡単な活用の例である。他の例としては、過去にそのユーザが見たものからユーザの興味の対象を大雑把に推測することも考えられる。これは複数の実世界オブジェクトが近接していて Roc がそれらを短時間の内に連続して認識した場合に、“何を提示すべきか”を選択する基準などとして用いることができる。さらに進めて、ユーザの必要としそうな情報を予め転送しておくということも考えられる。これが可能になれば、4 節で述べた WWW の情報の転送の遅さという欠点を補うことができる。

我々は UbiquitousLinks を単に既存の WWW 上の情報を活用するだけでなく、美術館のガイドシステムなどとしてさらに応用することも考えている。事前に、あるいはガイド中に動的にユーザの好みの情報を得ることにより、ユーザが特に興味を持つものに関してより詳しい解説を提供したり、まだ訪れていないセクションでユーザの興味のありそうなところを示したりすることが可能である。

これらの応用に際しては、Roc 上ではユーザの状況をより的確に把握するデータベースが動いていなければならない。現在の Druid の機能でもかなりのことは実現可能であるが、記述の容易さ、保守性などを考えると、より適切な記述方法へ改良する必要があるだろう。

現在は Druid で記述されたデータベースは Roc 内部に存在する。しかし、実際に一般のユーザが利用する場合にはこれもネットワーク経由でグローバルなものへアクセスするようにしなければ使用範囲が大幅に限られてしまうことになる。グローバルなデータベースはただ一つに統合されている必要はない。ユーザの都合に合わせたデータベースを使用すればよいし、またより大きなデータベースの一部を、ローカルなデータベース、さらに個人的なデータベースで置き換えることも考えられる。Druid の改良に当たっては、このような違う場所に存在する複数のデータベースに跨って適切な動作がなされるように留意しなければならない。

5.3 ハードウェア

現在のシステムでは実世界のオブジェクトの認識の為に ID タグを用いているが、既に広く用いられている“実世界オブジェクトに取り付けられた ID”としては、様々な商品に印刷されているバーコードがある。タグ ID は見えない部分に取り付けることができるがバーコードは見える位置にある程度の大きさで印刷されていなければならない、バーコードは現在のところ商品の種類毎に割り当てられていて“個体”識別には使えない、などの違いはあるが両者は本質的に同じものである。それ故、バーコードも認識可能にして、それと URL とのマッピングを同様に行うことも考えられる。

バーコードを認識するためには当然バーコードリーダーが必要となる。現在のシステムにさらにバーコードリーダーを追加すると、適切な大きさの携帯端末とすることがさらに難しくなる。タグ ID の代わりに全てバーコードを利用することも考えられるがそれは次のような点であり好ましくないと考える。まず ID の数を増やすとコードが印刷される領域が増えてしまうこと、そしてオブジェクトによってはバーコードをユーザの視界に入れたくない場合も考えられるということなどである。

次に、システムを屋外で使用することを考える。現在はネットワークへ接続するためには無線 LAN を用いているが、その有効範囲はビルの 1 フロア程である。また、赤外線 ID は屋外では太陽光が強力なノイズとなるために有効範囲がかなり狭まってしまう。

ネットワークに関しては、携帯電話や PHS (Personal Handyphone System) を介して接続することが可能である。ただし現在のところ通信速度や通信の安定性という点で画像などの大きなデータを表示させるためには不十分である。また、位置の認識のためには屋外では GPS を用いることができる。誤差は幾らかあるが、“どの建物の前にいるか”というようなことはおおよそ把握可能である⁵。これらの技術は屋外での使用を前提としたシステム、WalkNavi[5]などで用いられている。

このような技術を用いれば UbiquitousLinks を屋外で用いることも可能である。しかし、そこ

⁵DGPS (Differential GPS) を用いるとさらに良い精度で位置を特定することが可能である

にはこの節の前半で述べたのと同様に、機能を増やすと携帯化が難しくなる、という問題が存在する。これから先の技術の進歩によりこの問題は解決されていくものと思われるが、我々は当面は応用場を屋内などに制限したシステムとして発展させることを考えている。

6 関連研究

本研究は NaviCam[3] の流れの上にあるものである。NaviCam はカメラを備え画像上のカラーコードを認識することによりユーザの着目しているオブジェクトを認識し、簡単な情報を表示していた。携帯端末はケーブルにより机上のワークステーションへと繋がっており完全な携帯は不可能であった。

Chameleon[1] は、携帯端末の位置と向きを座標と角度として認識するデバイスを用いるシステムである。このデバイスはまだ広範囲で位置を把握できるものではないが、[4] では壁に貼られた大きな地図に近付くとその付近の情報がより詳しく、さらに近付くとさらに限定された地域や都市の情報が表示されるというアプリケーションが紹介されている。このシステムもまたケーブルによりワークステーションへ接続されているため、携帯はできない。

Cyberguide[2] は赤外線 ID と携帯情報端末 (Apple 社の Newton) を用いた室内のガイドシステムである。赤外線 ID によりユーザの位置と向いている方向を把握し、地図の上に表示しナビゲーションを行う。ナビゲーションのための情報はあらかじめ内蔵されており、またその場所の詳しい案内を表示するためにはペンによる入力を要する。

7 まとめ

本稿では、携帯型の計算機を現実世界のオブジェクトから WWW の世界の情報へのリンクを構築するシステム、UbiquitousLinks について述べた。UbiquitousLinks は実世界のオブジェクトに ID タグを埋め込み、携帯端末 (Roc) をオブジェクトに近付けることによってそれに関する WWW 上の情報を見ることができるとい

インタフェースを持つ。オブジェクトから表示すべき情報へのマッピングはスクリプトとして記述され、状態遷移を表現することも可能であり、ユーザのその時点での状態を考慮した情報を提示することができる。Roc は赤外線 ID の認識装置も備え、屋内での部屋単位程度の粒度のユーザの位置認識も行う。

今後は、過去に認識した ID などからユーザの興味の対象なども認識し、そうして得られるより高度な文脈を活用してより適切な情報提示を行えるようにする予定である。

謝辞

コントローラ部分の基板を小さくまとめ、電子工作の大部分を手伝ってくれた西村克信氏、そして赤外線 ID 発信機の基板を提供してくれた山本純氏に深い感謝の意を表します。

参考文献

- [1] G. W. Fitsmaurice, S. Zhai, and M. H. Chignell. Virtual reality for palmtop computers. *ACM Transactions on Information Systems*, Vol. 11, No. 3, pp. 197–218, July 1993.
- [2] S. Long, D. Aust, G. Abowd, and C. Atkeson. Cyberguide: Prototyping context-aware mobile applications. In *CHI'96 Conference Companion*, pp. 293–294, 1996.
- [3] J. Rekimoto and K. Nagao. The world through the computer: Computer augmented interaction with real world environments. In *UIST '95*, pp. 29–36, November 1995.
- [4] P. Wellner, W. Mackay, and R. Gold. Computer augmented environments: Back to the real world. *Communications of the ACM*, Vol. 36, No. 7, July 1993.
- [5] 長尾 隆, 暦本 純一, 伊藤 純一郎, 早川 由紀, 八木 正紀, 安村 通見. ウォークナビ: ロケーションウェアなインタラクティブ情報案内システム. インタラクティブシステムとソフトウェア III 日本ソフトウェア科学会 WISS'95, pp. 39–48. 日本ソフトウェア科学会, 近代科学社, November 1995.