

モバイルコンピューティング環境における 状況とユーザ操作間の依存関係の視覚化

中田浩志† 吉高淳夫‡ 平川正人‡ 市川忠男‡

†広島大学大学院工学研究科

‡広島大学工学部

〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1

{nakata, yoshi, hirakawa, ichikawa}@isl.hiroshima-u.ac.jp

モバイルコンピューティング環境では、ユーザが行う操作とそれが行われたときの状況の間には依存関係が存在することが多い。本研究ではこの点に注目し、ユーザ操作が行われたときの状況（時間、場所）とユーザ操作間の依存関係に基づいて、状況に応じたユーザ操作の支援を行う方法を提案する。状況と関連付けて記録された操作履歴を用いて状況とユーザ操作間の関係を視覚的に表現することにより、ユーザはそれらの間の依存関係や周期性を容易に認識することができる。また、状況とユーザ操作間の依存度を求め、現在ユーザのおかれている状況で行われる操作を予測、提示することによって、現実世界での状況に応じたユーザ操作の支援が可能となる。

Visualization of Dependency between Situation and User Activity in Mobile Computing

Hiroshi Nakata † Atsuo Yoshitaka ‡ Masahito Hirakawa ‡ Tadao Ichikawa ‡

† Graduate School of Hiroshima University

‡ Faculty of Engineering,

The University of Hiroshima

1-4-1, Kagamiyama, Higashihiroshima, Hiroshima, 739-8527

In a mobile computing environment, the user activity often relates with the situation (time and location) where it occurred. In this paper, we propose the system to assist the user activity based on the situation. The system always monitors the user activity and records its association with the situation as the user's history data for visualizing the dependency between the situation and the user activity. This helps users to understand the dependency and periodicity of activity occurrence. Moreover, the system calculates the degree of dependency between the situation and the user activity and predicts the user activity on the basis of his/her present situation.

1 はじめに

モバイルコンピューティング環境の充実に伴い、コンピュータを常に携帯することが可能となり、時間、場所を選ばずに利用することができるようになった。従来のデスクトップコンピュータ環境では、コンピュータが設置されている環境へユーザが移動し、そこで利用していた。一方、モバイルコンピューティング環境では、ユーザが実際に作業を行いたい環境でコンピュータが使われる。このようにモバイルコンピューティング環境では、コンピュータはさまざまな状況下で利用される。

ここで、ユーザのおかれている状況とそのとき行われるユーザ操作の間の関連に注目する。デスクトップコンピュータ環境ではコンピュータを利用する際のユーザの状況はほぼ一定となる。これに対してモバイルコンピューティング環境では、状況を選ばずに利用することができるため、コンピュータを利用する際のユーザの状況はさまざまである。人の実世界での作業は、そのときの状況に依存することが多い。それぞれの操作は、その状況で行われなければならない必然性がある行われる。つまり、作業と状況の間には依存関係が存在する。モバイルコンピューティング環境の場合には、デスクトップコンピュータ環境のときのようにユーザがコンピュータに歩みよるのではなく、逆に実世界で活動するユーザを中心にコンピュータが利用される。コンピュータがその時点の状況を把握することができれば、状況に応じた適切なユーザ支援が可能になる。

本研究では、このモバイルコンピューティング環境における状況とユーザ操作間の依存関係に注目し、ユーザ操作とそのときの状況の関連を管理する。過去の操作履歴から状況とユーザ操作間の依存関係を調べ、履歴の中に隠されている状況とユーザ操作間の関連を発見し、その結果をユーザに視覚的に提示する。また、現在の状況とユーザ操作の依存度から、現在の状況でユーザが行うと思われる操作をシステムが予測し、提示することによって、状況に応じたユーザ操作の支援を行う。

2 関連研究

人間が日常的に直面するさまざまな状況を認識して、その状況において有益な情報を提供して人間を支援するようなインタフェースは実世界指向インタフェース(real-world-oriented interface)と呼ばれ[1]、多くの研究がなされている。[2]ではGPSを用いてユーザの実世界での位置を認識し、その状況(すなわち場所)に応じた情報をユーザに提示するシステムが提案されている。[3],[4]ではGPSの代わりに実世界のオブジェクトにカラーコードやセンサをつけることによって、ユーザの状況を認識する手法を提案している。なお、これらのシステムでは、ある状況において一般的に必要なとされる情報を提供している。そのような応用においては、状況に対して情報を直接関連付けて準備しておくことができる。しかしながらユーザが日常的に利用するような個人的な情報は生成や削除等が頻繁に行われるため、前もって全ての情報を状況に関連付けておくことはできない。

情報が利用された状況に基づいて情報を組織化、視覚化しようとする研究には[5]がある。そこでは過去の経験をたどるには時間を利用するべきであるという考えのもとに、ファイルを作成時間順に並べて表示している。時間を利用して情報を視覚的に表現する点では本研究と類似しているが、[5]では時間の持つ周期性や場所状況、情報どうしの関連は考慮されていない。

[6][7]ではモバイルコンピューティング環境での状況を基にした個人情報管理が提案されており、情報を利用した状況をキーとして情報を検索することができるが、状況と情報を結び付けるルールはあらかじめ記述されている。

3 システム構成

本研究で提案するシステムの構成を図1に示す。ユーザはコンピュータを用いてさまざまな処理を行うが、その際、システムはユーザとアプリケーションとの間で行われる操作を常に監視しており、それらを操作履歴として記録する。それと

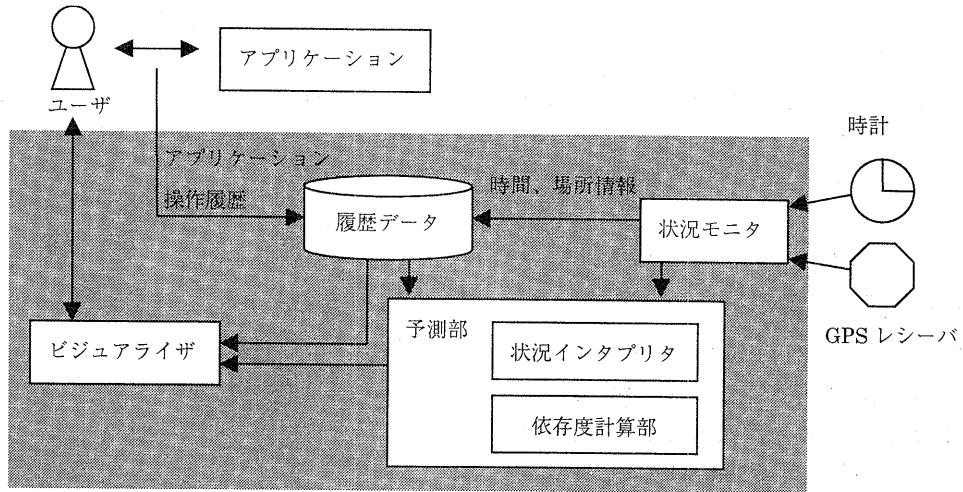


図1 システム構成

同時に、システムはユーザが現在おかれている状況（時刻、場所）を常に監視しており、行われた操作とそのときの状況とを関連付けて記録する。なお、時刻情報はコンピュータ内蔵時計を用いて、場所情報はコンピュータに接続されたGPS (Global Positioning System) レシーバを用いてシステムが自動的に獲得する。

こうして記録されたユーザ操作履歴を状況に基づいて表示することにより、ユーザが両者間の依存関係や周期性などといった活動規則を見つけ出す手助けをする。その際に、ユーザは注目する状況に応じて表示を変えることができ、さまざまな観点からユーザ操作の整理を可能とする。また、ユーザ操作履歴から状況とユーザ操作間の依存度をシステム側で計算することもできる。現在の状況と各操作との依存度を抽出する機能を提供し、その依存度を基に現在の状況でユーザが行う操作を予測する。

4 状況とユーザ操作

システムは、状況とユーザ操作間の関連を基に今後のユーザ操作を支援する。本章では状況とユーザ操作について定義し、それらの関連を知るために記録される操作履歴について説明する。

4.1 状況

状況とは、ユーザを取り囲む周辺環境の状態を

指し、ユーザの操作に影響を与える。状況は一つの要素によって決まるものではなく、時間、場所、温度、明るさ、天気、周囲の人など、複数の要素の組み合わせによって構成されるものである。このように状況を構成する要素を状況要素と呼ぶこととする。つまり、状況 S は

$$S = (s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_n)$$

s_i : 状況要素 ($1 \leq i \leq n$)

と表すことができる。さまざまな状況要素の中から、本研究では時間と場所の2つの状況要素にのみ注目して状況をとらえる。この場合、状況 S は次のように表される。

$$S = (s_{time}, s_{location})$$

ここで s_{time} は時間に関する状況要素(年月日、曜日、時分秒)であり、 $s_{location}$ は場所に関する状況要素(緯度、経度)である。

また、状況 S_a, S_b において $S_a = S_b$ とは、 S_a, S_b の持つ全ての要素について値が等しいことを意味する。ただし要素に値を持たせると、状況の等しさを評価する際にその要素は考慮されない。

4.2 ユーザ操作

ユーザはコンピュータを使ってさまざまな操作を行う。本研究ではその操作 A を以下のように記述する。

$$A=(app, ope, filename)$$

ここで *app* はユーザが利用するアプリケーション (ワープロ、表計算、WWW ブラウザなど) であり、*ope* は *app* 上でユーザが行う処理 (ファイルのオープン、クローズ、セーブなど)、*filename* は *ope* の対象となるファイル名である。

4.3 操作履歴の記録

現在および未来での状況とユーザ操作間の関連を予測するには、過去における両者の関連を調べることが有効である。そこで、過去における状況とユーザ操作の間の関連を知るために、実際にユーザが過去に行った操作と、そのときの状況を関連付けた操作履歴を作成する。ユーザが履歴記録の対象となる操作を行うと、システムはそのときの状況と操作内容を操作履歴として記録する。つまり、操作履歴 H は以下のように状況とユーザ操作の組 h_i の列である。

$$H=(h_1, h_2, \dots, h_p, \dots, h_m)$$

$$h_i=(S_i, A_i) \quad \text{状況 } S_i \text{ と操作 } A_i \text{ の組み合わせ}$$

記録の対象となる操作は

- ・アプリケーションの起動、終了
- ・ファイルのオープン、セーブ、クローズとする。

5 依存関係の評価

5.1 状況の解釈

4章で状況について述べたが、コンピュータと人では状況の認識水準が異なる。[7]ではこの差を考慮し状況を3段階に分けて考えている(図2)。

レベル0:

最も基本的なレベル。状況はセンサから獲得した生の物理データとして認識され、特に解釈は行われない。

レベル1:

レベル1では、レベル0の出力がシステムの持つ知識とユーザ操作履歴を用いて解釈され

る。

レベル2:

レベル2では、レベル1の出力とユーザが現在おかれている状況を用いて、さらに高次の解釈がなされる。

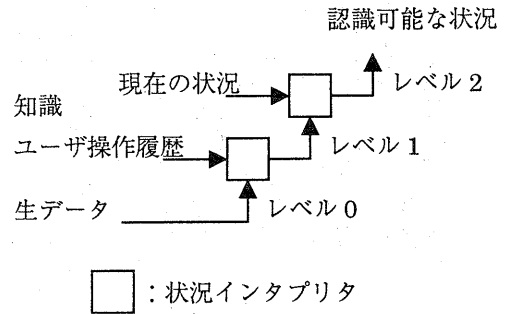


図2 状況の解釈

例として、次の状況について解釈を行う。

時間：午前10時30分

場所：北緯34度23分、統計134度33分

これはGPSレシーバと時計から得られた生のデータであり、レベル0の状況である。この状況は状況インタプリタによって、例えば次のように解釈され、レベル1の状況が得られる。

時間：朝

場所：広島大学

さらに、この状況と現在の状況を用いることによってレベル2の状況を得ることができる。現在の時間を15時30分、場所を広島大学とすると、次のような解釈が与えられる。

時間：5時間前

場所：現在地

ユーザによる状況の認識はレベル1もしくは2であるが、GPSレシーバや時計といったハードウェア装置から得られる場所情報、時間情報はレベル0の状況である。これでは状況をユーザと同じ水準でとらえるには不十分であり、レベル0からレベル1,2への解釈が必要となる。

5.1.1 場所状況の解釈

レベル 0 の場所状況をレベル 1, 2 に解釈するために、緯度・経度を地名に結びつける知識をシステムに蓄えておく。知識として

area: 領域。左上と右下の座標を記録

name: 場所名

を組み合わせる。目的の場所が必ずしも矩形をしているとは限らないが、その場合は目的の場所を複数の異なる大きさの矩形に分割し、それぞれに同じ名前を登録することによって対応する。

5.1.2 時間状況の解釈

時間にはさまざまな解釈がなされる。しかも、ある操作は週単位、また別の操作は日単位というように場面場面で解釈が異なるため、前もって時間を特定の状況と関連付けておくことはできない。そこで、ユーザの操作履歴の時間状況をレベル 0 からレベル 1, 2 に解釈するために、操作が行われる時間周期を場面ごとに評価する必要がある。

本研究ではユーザの操作履歴をデジタル信号とみなし、その基本周期を求めることによってユーザ操作の周期を得る。以下にその手順を示す。

まず、ユーザの操作履歴をデジタル信号 $x(t)$ ととらえる。操作 A の履歴に対する $x(t)$ は以下のようにして求められる。

$$x(t) = \begin{cases} 1: \text{時刻 } t \text{ で操作 } A \text{ が行われた} \\ 0: \text{時刻 } t \text{ で操作 } A \text{ が行われなかった} \end{cases}$$

こうして得られた $x(t)$ の基本周期を求める。デジタル信号から基本周期を求める方法はいくつか存在するが、ここでは自己相関関数を用いた手法を利用する。 $x(t)$ の自己相関関数 $r_{xx}(k)$ とは、元の信号 $x(t)$ とそれを時間 k だけずらした信号 $x(t+k)$ との間の相関を調べるもので、以下の式で定義される。

$$r_{xx}(k) = \frac{1}{N\sigma_x^2} \sum_{p=0}^{N-1} \{x(p) - \bar{x}\} \{x(p+k) - \bar{x}\}$$

N : サンプル数

σ_x : x の標準偏差

\bar{x} : x の平均値

自己相関関数 $r_{xx}(k)$ は $k=0$ のとき最大値 1 をとり、また信号 $x(t)$ が M サンプルごとの周期関数となるときには、 $k=nM(n=1, 2, 3, \dots)$ で極大となる[8]。この自己相関関数 $r_{xx}(k)$ が極大となる k を求めることによって、信号 $x(t)$ の時間周期を得ることができる。

5.2 依存度

5.1 節に説明した状況の解釈の後に、状況とユーザ操作の間の依存関係を表す依存度を計算する。

状況 S と操作 A の間の依存度 $D(S, A)$ とは、ユーザが状況 S にいるときに操作 A を行う確率で決まり、以下の式で定義する。

$$D(S, A) = \frac{NSA(S, A)}{NS(S)}$$

$$NS(S) = \sum_i F(i, S)$$

$$F(i, S) = \begin{cases} 1: S_{i-1} \neq S \text{ かつ } S_i = S \\ 0: \text{それ以外} \end{cases}$$

$$J_i = \max(j) \{j | 0 < j < i, S_j = S, A_j = A\}$$

$$L(i, S) = \begin{cases} 0: S_k = S \ (J_i \leq k \leq i) \\ 1: \text{それ以外} \end{cases}$$

$$NSA(S, A) = \sum_i G(i, S, A)$$

$$G(i, S, A) = \begin{cases} 1: S_i = S \text{ かつ } A_i = A \text{ かつ } L(i, S) = 1 \\ 0: \text{それ以外} \end{cases}$$

ここで $NS(S)$ はこれまでにユーザが状況 S の下にいた回数を表し、 $NSA(S, A)$ は状況 S で操作 A が行われた回数を表す。ただし一回の状況 S 滞り期間中に操作 A が複数回行われても、それは一回と数える。

つまり、 $D(S, A)$ は状況とユーザ操作間の関連の強さを表し、値が大きいくほど状況 S と操作 A の間の関連が強いことを意味する。

依存度 $D(S, A)$ は各状況要素および状況要素の

組み合わせごとに求めることができ、それらをまとめて状況 S と操作 A の間の依存関係の総合的な評価値 $EV(S, A)$ とする。本研究では状況要素として時間と場所を用いているので、 $EV(S, A)$ は次式のように求まる。

$$EV(S, A) = w_1 D(s_{time}, A) + w_2 D(s_{location}, A) + w_3 D(S, A)$$

ここで w_i は各状況要素をどのくらい重要視するかを決めるための重みであり、ユーザによって異なる。

システムは現在の状況と各操作間の依存度を求め、その評価値を求める。評価値が高いということは、現在の状況でその操作を行う確率が高いことを意味する。そこで評価値の高いものから順にユーザに提示することにより、状況に適したユーザ操作の支援を行うことができる。

6 依存関係の視覚化

6.1 基本概念

システムによる状況解釈にあたっては必ずしも満足のいく答えが得られるとは限らない。そこでユーザとのインタラクションを通して状況を認識させることができるようにしている。具体的には、視覚化のために三次元空間を用意し、その中にユーザの操作履歴に相当するキューブを配置する。このキューブを履歴アイコンと呼ぶ。履歴アイコンの色は履歴に含まれるアプリケーションの種類によって決まり、その空間内での位置は、その履歴が記録されたときの状況を基に、注目する状況要素ごとに決められた履歴アイコン配置ルールにしたがって決まる。

6.2 時間に関する視覚化

スパイラルビュー

時間は人の行動に大きな影響を与えている状況要素である。また、時間は年月日、週、時分などといった周期性を持つという特徴があり、実世界での人の行動もこの周期に影響を受ける。本システムでは周期性を容易に判別できるような視覚化手法としてスパイラルビューを提案する。

時間は一次元で考えることができる。時間を一本の帯と考えると、その帯上に任意の時間を割り当てることができる。履歴として操作が記録されている時間に相当する帯上に履歴アイコンを配置する。時間的に近い状況で行われた操作に相当する履歴アイコンは近くに配置され、ある時間間隔で周期的に行われた操作に相当する履歴アイコンは一定の間隔を空けて配置される。

このようにして作成された時間状況に基づいた履歴の帯をらせん状に巻き、それをスパイラルと呼ぶ。そこでは、一定時間間隔で行われた操作の周期とスパイラルの周期が一致する場合、スパイラルの軸と平行な直線上に当該する履歴アイコンが並ぶ。これによりユーザは操作履歴の持つ時間周期性を一目で理解することができる。スパイラルビューの例を図3に示す。

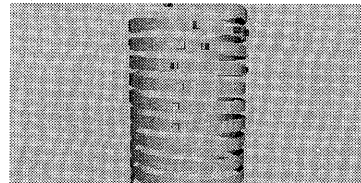


図3 スパイラルビュー

視点の変更

ユーザはスパイラルを自由に回転、ズーム、スライドさせることで、スパイラルの見たい部分を見ることができる。また、時間周期に相当するスパイラルの半径を好みの大きさに変更することにより、望みの時間周期に基づいたスパイラルを得ることができる。

操作間の依存関係

ユーザが注目したい操作を指定することによって、その操作に相当する履歴アイコンを、時間周期の有無にかかわらずスパイラルの軸と平行な直線上に並べることができる。これにより一周ごとにスパイラルの半径は異なり、時間の周期性は見えなくなる。その代わりに、並べられた履歴アイコンの付近には、指定された操作が行われた近隣時間で行われた操作に相当する履歴アイコンが表示され、他の操作との時間関係を見ることができる。図4に例を示す。

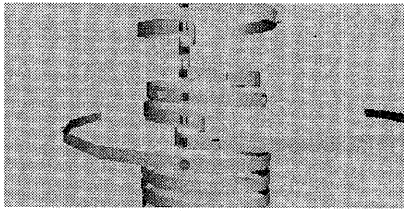


図4 特定の操作に注目したスパイラルビュー

フィルタリング

コンピュータの利用回数が増えれば増えるほど履歴の量は大量になり、それらを一度に表示すると関係のない履歴の混雑の中に本当に注目したい履歴が隠れてしまい、必要な関連を見つけることができない。そこでユーザはアプリケーションの種類や時間帯などを表示条件として指定し、スパイラル上に表示する履歴を制限することができる。

状況依存操作の表示

5章で述べた状況と操作の依存度を利用して、状況に強く依存している操作、すなわち依存度の高い操作をスパイラル上に表示する。

操作が依存している時間周期を5章で述べた方法によって獲得できれば、その周期と同じ周期を持つスパイラルの半径を求めることができる。ここで得られた半径を持つスパイラルをシステムが自動的に生成することによって、その操作が依存している状況に応じたスパイラルを提供することができる。さらに、今後その周期にしたがってその操作が行われたときに記録されるであろう履歴アイコンをスパイラルの未来部分に表示する。この予測値を観測することによって、ユーザはシステムによる予測の正しさを判断することができる。

6.3 場所に関する視覚化

マップビュー

モバイルコンピューティング環境において、場所の変化はユーザ活動に大きな影響を与える。これを視覚的に表現するためにマップビューを提案する。

マップビュー内には一枚の地図が表示されており、ユーザの活動履歴はこの地図上に視覚化される。具体的には、履歴として操作が記録されている場

所に相当する地図上に履歴アイコンを配置する。また空間的な移動軌跡が線で描かれる。これについては後で説明するように3つの表示モードを用意している。

視点の変更

ユーザは地図を自由に回転、ズーム、スライドさせることで、地図の見たい部分を見ることができ。また、システムはコンピュータ操作の有無にかかわらず常に場所情報を獲得しているため、それらの点を地図上で結んでいくことによってユーザの移動軌跡を表示することができる。

また、地図が描かれている平面の法線ベクトルを単位ベクトルとするz軸を利用し、3種類の表示モードを用意する。

平面モード：

全ての履歴アイコン、移動軌跡は地図平面上に描かれる。(図5)

場所周期モード：

ある地点Pを出発し、次にPを訪問するまでの移動軌跡、履歴アイコンを一つの平面上に表示する。Pを訪問すると、次の履歴からは前の履歴より一段高い平面に表示する。(図6)

時間モード：

z軸を時間軸とみなし、ある時間周期に基づいて履歴アイコンおよび移動軌跡を表示する。

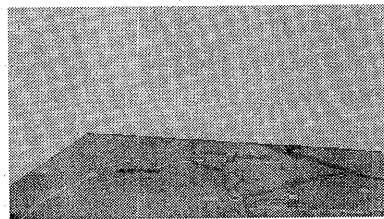


図5 マップビュー (平面モード)

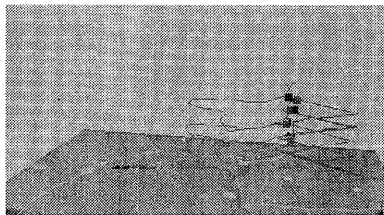


図6 マップビュー (場所周期モード)

フィルタリング

地図上でユーザが注目したい場所、領域を指定することによって、指定された場所と関連のない履歴アイコンをマップ上から取りくることができる。これによりユーザは特定の場所とユーザ操作の依存関係に注目した視覚化を行うことができる。

状況依存操作の表示

5章の方法によって得られた、依存度の高い操作が依存している場所 P に注目した場所周期モードのマップビューをシステムが自動的に生成し、今後その周期にしたがってその操作が行われたときに記録されるであろう履歴アイコンを未来部分に表示する。これを観測することによって、ユーザはシステムによる予測の正しさを判断することができる。

なお、スパイラルビューおよびマップビューで行われた処理（フィルタリングなど）は独立に働くのではなく、一方で行われた処理が他方にも反映される。一方への処理をもう一方へも適用し、両者を連携させることによって、それぞれに表示される履歴アイコンを常に一致させ、時間、場所単独でなく両方を組み合わせた状況との依存関係も容易に視覚化することができる。

7 おわりに

本研究ではモバイルコンピューティング環境における状況とユーザ操作間の関係を視覚化し、またそれらの間の依存度を求めることによってこれからユーザが行う操作を予測し、状況に応じてユーザを支援するシステムを提案した。

今後の課題として、より優れた状況の解釈方法および依存度の計算方法の考察、時間、場所以外の状況要素の利用などがあげられる。

謝辞

システム開発に協力頂いた K. P. Hewagamage 氏、三浦冬樹氏、安部信好氏をはじめとする情報システム研究室の皆様へ感謝する。

参考文献

- [1] 長尾 確, "実世界指向インタフェースの技術と動向", システム/制御/情報, Vol. 40, No. 9, pp. 1-8, 1996.
- [2] 長尾 確, 暦本 純一 他, "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, 近代科学社, pp. 39-48, 1995.
- [3] Jun Rekimoto and Katashi Nagao, "The World through the Computer: Computer Augmented Interaction with Real World Environments", Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '95), ACM Press, pp. 29-36, 1995.
- [4] Bill N. Schilit, Norman Adams and Roy Want, "Context-Aware Computing Applications", Proceedings of the USENIX Symposium on Mobile and Location-Independent Computing, USENIX Association Press, pp. 41-52, 1993.
- [5] Eric Freeman, David Gelernter, "Life-streams: A Storage Model for Personal Data", ACM SigMOD Bulletin, Vol. 25, No. 1, pp. 80-86, 1995.
- [6] 水本誠一, 吉高淳夫, 平川正人, 市川忠男, "状況認識に基づくファイル管理方法の提案", 情報処理学会ヒューマンインタフェース研究会, 70-7, pp. 47-54, 1997.
- [7] Masahito Hirakawa, Priyantha Hewagamage and Tadao Ichikawa, "Situation-dependent Browser to Explore the Information Space", Proceedings 1998 IEEE Symposium on Visual Languages, pp. 108-115, 1998.
- [8] 宮川 洋 他, "デジタル信号処理", 電子通信学会, 1975