

光学式シースルー型 HMD のための 読みとりやすさを考慮した情報提示手法

田中宏平[†] 岸野泰恵[†] 宮前雅一^{††}
寺田努[†] 西尾章治郎[†]

ウェアラブルコンピューティング環境では、表示装置に光学式シースルー型 HMD (Head Mounted Display) を用いることが一般的である。光学式シースルー型 HMD を用いるとユーザの視界を遮ることなく情報を表示できるが、HMD の背景が明るすぎたり明暗が大きく変化したりしている場合に表示された情報が読みとりにくいという問題があった。そこで本稿では、光学式シースルー型 HMD のための情報の読みとりやすさを考慮した配置手法を提案する。提案手法では、カメラを用いて取得した HMD の背景を評価し、情報の表示に適した領域を決定する。情報の表示に適した領域がない場合、周辺画像から適した位置を決定し、ユーザにその方向を見るように指示を出す。これらの機能により、理想的な位置に情報を表示することが可能となり、ユーザが情報を見逃しにくくなる。

An Information Layout Method Considering Readability for an Optical See-through Head Mounted Display

KOHEI TANAKA,[†] YASUE KISHINO,[†] MASAKAZU MIYAMAE,^{††}
TSUTOMU TERADA[†] and SHOJIRO NISHIO[†]

In wearable computing environments, an optical see-through head mounted display (HMD) is one of most suited device for displaying information. Although an optical see-through HMD can display information without interfering with the user's view, it becomes very hard to recognize the displayed information in the case where the background of the HMD is too complicated or too bright. In this paper, we propose an object layout method for an optical see-through HMD considering its background. Our method determines the appropriate area for displaying objects by evaluating the background of HMD captured from a camera on the HMD. Moreover, if there is no suitable area for displaying objects, our method selects the appropriate area using the captured image around the user and instructs the user to watch the area. Using these functions, our method displays information to ideal areas and the user does not overlook the information easily.

1. はじめに

近年のコンピュータの小型化や軽量化により、コンピュータを常時装着して生活するウェアラブルコンピューティングが注目を集めている。ウェアラブルコンピューティング環境では、コンピュータや様々なセンサを身に着けることで、ユーザの状態に応じた情報の提供が可能となる。すでに工場などで作業をしながら情報を閲覧するシステム¹⁾や、観光案内のためのナ

ビゲーションシステム²⁾といった様々なシステムが構築されている。

このようなウェアラブルシステムでは、表示装置に HMD (Head Mounted Display) を用いることが一般的である。HMD とは眼鏡状の装着型ディスプレイであり、目の前につねに映像が投影されるため、ユーザはハンズフリーでいつでも情報を閲覧できる。なかでも光学式シースルー型 HMD を用いると、図 1 に示すように、ディスプレイが透過しユーザの視界を完全には妨げることなく情報を閲覧できる。

光学式シースルー型 HMD を利用したシステムでは、表示する情報が HMD の背景となる部分の状態によっては読みとりにくくなるという問題がある。たとえば図 2 は視界に情報を重畳させた状態を再現したイメージ図であるが、実際に HMD を利用する際にも

[†] 大阪大学大学院情報科学研究科

Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

^{††} 株式会社国際電気通信基礎技術研究所知識科学研究所

Advanced Telecommunications Research Institute International Knowledge Science Laboratories

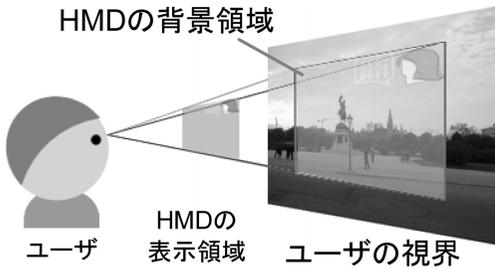


図 1 光学式シースルー型 HMD の仕組み

Fig. 1 The mechanism of an optical see-through HMD.

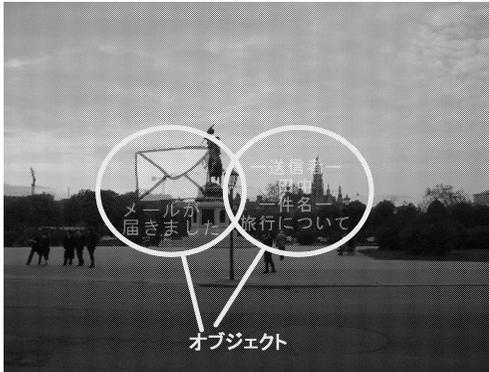


図 2 情報が読みとりにくい例

Fig. 2 An example of objects that are hard to read.

図に示すように、情報を背景の色や明暗が大きく変化する部分に表示すると読みとりにくくなる。そこで本稿では、装着型カメラで取得した HMD の背景となる部分画像から情報を読みとりやすい位置を測定し、読みとりやすい位置に情報を表示する際に、位置関係などの制約条件を考慮して配置する手法を提案する。

また、HMD の背景画像のみを考慮した場合、屋外で太陽の方向を向いたときなど HMD の背景全体が明るく、どの位置に情報を表示しても読みとりにくい場合がある。そこで提案手法では、HMD のどの位置に情報を表示しても読みとりにくい場合には、読みとりやすくなる方向をユーザに提示し、ユーザの視界を変更させることで情報を読みとりやすい位置に提示する。

以下、2 章で想定環境について述べ、3 章でオブジェクト配置手法の説明をする。4 章では情報の読みとりやすい方向の提示手法を説明し、5 章で行った実験について詳細に述べる。6 章で実装について述べ、7 章で考察を行う。最後に 8 章でまとめを行う。

2. 想定環境

本章では、本研究で想定する環境について述べる。以降では、図 2 に示すように HMD に表示する文字や画像などの情報の 1 つ 1 つをオブジェクトと呼ぶ。

想定するウェアラブルコンピューティング環境では、ユーザはカメラ付きの光学式シースルー型 HMD を身に着けており、ナビゲーションや地域の情報配信サービス、ニュース速報などのサービスが提供されているものとする。このようなアプリケーションでは一般的な AR (拡張現実感) システムのように現実空間のものに精度良くオブジェクトを重ね合わせて表示する必要のあるものは少なく、ユーザが必要とする情報を確実に通知することが重要である。したがって情報を表示する場合、その表示位置よりもユーザが容易に情報を得られることが重要となる。提案手法は、このような重ね合わせの位置精度を重要とせず情報を次々と表示するようなアプリケーションで利用することを想定している。

現在カメラが付いている小型の光学式シースルー型 HMD は市販されていないが、実際にごみ処理プラントの保守システムでは独自のカメラ付き HMD が使用されている¹²⁾。また、ユーザの視界や関連する情報を記録し続けるシステム³⁾ や実空間に配置されたマーカから情報を取得する⁴⁾ といった研究が行われており、これらのシステムではユーザの視野を取得するカメラと HMD を同時に装着することが考えられる。さらに、カメラの小型化、低価格化が進んでおり、将来的にはカメラ付き HMD が市販され、用いられるようになると思われる。

3. 関連研究

背景の状態によって表示するオブジェクトが読みとりにくくなるという問題を解決するためには、本研究で示す手法の他にもいくつかの方法が考えられる。

これまでにビデオ式シースルー型 HMD を用いたウェアラブルシステムは多くあり、これらのシステムでは背景が透過しないためオブジェクトが読みとりにくくなりやすい。しかし、ビデオシースルー型 HMD を用いると、故障時に大きな表示遅延や画面のフリーズが発生し、ユーザがそれに気づかずに事故につながるといった可能性があり、屋外利用は危険である。またカメラから取得したビデオ画像を HMD 投射するため少なからず遅延が生じ、いわゆる 3D 酔いの状態に陥りやすいという日常使用での問題が発生する。HMD を用いた AR の研究などでは使用の容易さからビデオ式シースルー型 HMD を用いた応用例がよくあるが、多くの場合、故障や 3D 酔いといった問題は考慮しておらず、日常利用には光学式を用いることが必須であるといえる。実際に光学式シースルー型 HMD はすでに工場などで常時装着し使用している実例^{8),12)} が報

告されているが、ビデオシースルー型 HMD を業務や日常生活に利用している例はほとんどない。

次に画面に非透過領域を作り、そこに文字や画像を表示することでオブジェクトの読みとりにくさを回避する方法が考えられる。これまでに画素単位で背景を透過するかどうかを決定できる HMD が提案されている⁵⁾。しかし、現在この HMD は大規模な装置が必要であり、ウェアラブルコンピューティング環境では使用できない。また、本研究で用いた島津製作所の DataGlass2/A では、視界を遮蔽する領域は視界の上部にある HMD の筐体と眼鏡のフレーム程度の縁だけと非常に小さいため、非透過領域を増やすと、足元が見にくくなる、視界が狭くなるなどの不安要素が大きくなる。アプリケーションによっては、地図や写真画像、複数の情報の同時提示を考慮する必要があるため、汎用的な HMD の利用を考えた場合、透過領域を利用して情報を提示する必要がある。

これまでに AR の分野で画像の上にアノテーションを重ねる際に背景となる部分の明暗を考慮してアノテーションの位置を決める研究⁶⁾や映画などの字幕を表示する際に白い字幕の背景をどの程度の透明度で黒く塗りつぶすと十分に読みとりやすくなるかを決定する手法¹⁰⁾が提案がされている。これらの手法は背面の透過しないディスプレイを対象としており、本研究の対象とする光学式シースルー型 HMD に特有の表示物が背景を完全に遮蔽できない点を考慮していない。表示物で背景を遮蔽できる場合は、背景の明るさによる影響は少なく、背面が透過するディスプレイでは背景が明るい場合に読みとりにくくなる。

一方で、音声を利用するウェアラブルシステムの研究も数多く行われている。i-Shadow では、テキストデータを合成音声を用いて読み上げ、HMD などの携帯ディスプレイにリンク部分を表示することにより、豊かな情報を音声で伝達している¹¹⁾。ニュースや講義を音声で提示する NewsComm では、ユーザの趣向に応じた音声データをネットワーク上から自動で取得し提示する⁷⁾。また、音声データにハイパーリンク機能を加えて閲覧する SoundWeb というシステムもある¹³⁾。このシステムでは、ハイパーリンク部分に他の音を重ねることで関連情報の存在を知覚させ、リンクをたどることを実現している。

しかし、音声は HMD への提示のように情報がその場に残るといったことがないため、聞き流してしまったり、地図を使った道案内など継続的な情報提示を要求するアプリケーションに向かない。また、音量が小さければ音声情報は聞き取りにくく、周囲がうるさければ

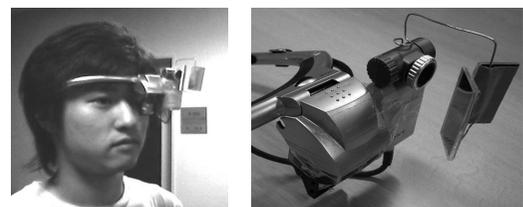
利用が困難となり、逆に音量が大きければ周囲の音を聞くことが困難になる、といったように利用環境が制限されるという特徴もある。さらに、音声情報では情報の選択、詳細情報の提示といった操作が困難であることから、本研究では汎用的なウェアラブルシステムでは HMD を利用して情報提示を行うことを基本とした。

4. オブジェクト配置手法

本章では、光学式シースルー型 HMD 上に情報を配置する際に背景を考慮して配置を決定するための手法について述べる。提案手法では、図 3 に示すようにユーザの視界以外の領域を取得するために鏡を使用する。鏡はカメラの光軸に対して左右対称に約 45 度に設置し、ユーザの真右と真左がカメラの撮影領域に含まれるようにした。

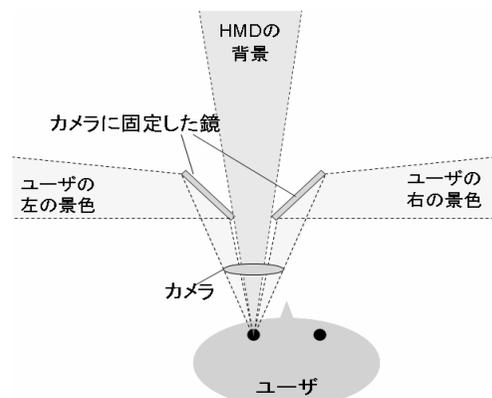
ユーザの視界以外の領域を撮影するには、全方位カメラや魚眼レンズの使用も可能であり、歪み補正を行うことで同様のシステムを実現できる。提案手法では、歪み補正をしなくてよい点、およびユーザの目に近い位置にカメラを設置できる点から鏡を用いてユーザの視界以外の領域を取得した。

提案手法では、まず HMD の背景となる領域の画像



(a) 装着の様子

(b) 鏡を付けた様子



(c) 鏡を付けたカメラ HMD の仕組み

図 3 鏡を付けたカメラ HMD

Fig. 3 A HMD with camera attached mirror.

から表示に適した領域を求め、次にオブジェクトの持つ固有の制約を考慮したうえで配置を行う。HMDの背景とは、図1に示すように、ユーザがHMDの透過領域を通して見る、視界の部分領域である。以下、それぞれについて詳細に述べる。

4.1 表示するオブジェクトの色の影響

提案手法では、表示するオブジェクトの色は考慮していない。これは光学式シースルー型HMDでは、非透過のHMDと異なり、表示しているオブジェクトが背景を完全に遮蔽できず、表示しているオブジェクトとその周囲の背景の色関係より、表示するオブジェクトに重なる背景の影響、特に光の強さによるものが大きく、オブジェクトの色自体は視認性にほとんど影響しないためである。そこで、オブジェクトの読みとりやすさに関してHMDに表示するオブジェクトの色とHMDの背景となる視界の部分領域の色に関係がないことを実験により確認した。非透過ディスプレイの分野で文字の視認性は、文字の背景色と文字の色との明度差が大きいほど良いことから¹⁰⁾、明度の等しい7色の文字と単色のアイコンを用いて読みとりやすさを評価した。

実験では、光学式シースルー型HMD上の16分割したスロットそれぞれに文字とアイコンによるオブジェクトを表示し、文字とアイコンの色を評価ごとにHSV色空間でV(明度)の等しい7色(RGB色空間各1バイトで表記したときの、0xFFFFFFFF, 0xFFFFC1, 0xFFD3FF, 0x4DFFFF, 0xFF78FF, 0x4BFF1C, 0xFFD01C)を切り替えた。ユーザは各スロットに表示された文字とアイコンの読みとりやすさを3段階で評価し、評価結果と評価時のユーザの視界を記録した。各色によって背景の条件が変わらないようにするため、ユーザは7色1組の実験中は頭を動かさないようにして評価を行った。実験は3人の被験者で行い、7色1組の実験データを計56組得た。

実験データを用いて、表示するオブジェクトの色の影響を調べた。特定の2色について、ある色で読みとりやすいと評価された位置が別の色で読みとりにくいと評価されるように評価が入れ替わる場合を不一致、評価結果が同じ場合に一致とし、すべての色の組合せについての一致率、不一致率を求めた。その結果、不一致率は0.36%、一致率は80.0%となり、背景が表示しているオブジェクトと似たような色の際に読みとりが困難になるなどオブジェクトの色による読みとりやすさの差は認められなかった。

4.2 表示に適した領域の決定

提案手法では、まずHMDに固定したカメラから

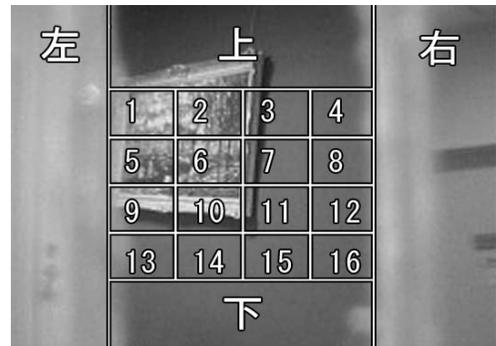


図4 画像分割の例

Fig. 4 An example of division images.

HMDの背景となる領域の画像を取得し、画像特性を求める。この画像特性を用いて、オブジェクトの視認性に及ぼす影響度を求める。

4.2.1 画像の取得

HMDに固定したカメラから画像を取得し、図4に示すように、HMDの背景となる部分は16個のスロットに、それ以外の領域は、左右上下の4方向に分割する。左右の領域は鏡に反射した画像である。HMDの表示領域は、実験で用いたHMD(解像度SVGA)に表示して十分に読みとれる文字の大きさ約20ptで、ニュース速報などのトピック、全角で約20文字程度を表示する際に必要な領域を計算した結果から、提案手法では16個の領域に分割した。

4.2.2 画像特性の計算

HMDをよく利用しているユーザ3人から、HMDの視認性に関するヒアリングを行ったところ、光が強くまぶしいところや、背景が複雑になっている位置ではオブジェクトを読みとりやすく、視認性が低いという意見が得られた。そこで、RGB, YCbCr, HSVの3つの色空間における各色の階調値の平均と分散を画像特性とし、視認性に与える影響度を画像特性の組合せで表現することにした。なお用いた階調値の計算は、すべて0~1に正規化した後、平均と分散を求めた。ただし、YCbCrはRGBから線形変換で算出できるため、分散値のみを利用する。ここで使用する3つの色空間について説明する。

- RGB

赤(Red), 緑(Green), 青(Blue)の光の3原色ですべての色を表現するという色空間である。コンピュータのディスプレイはRGBを用いて表示しているため、コンピュータで最もよく利用される色空間である。

- YCbCr

輝度(Y)と色差(Cb, Cr)で、TV放送やJPEG

画像などで用いられている色空間である．この色空間は人間の眼の特性をよく真似ており，輝度 (Y) は人の目が一番明るさを感じる緑を主分とする．色差 (Cb, Cr) はそれぞれ，青の輝度との差，赤の輝度との差から求まる値である．

● HSV

色相 (Hue), 彩度 (Saturation), 明度 (Value) の3つの変数で表現する色空間である．色相 (H) は赤, 黄, 緑, 青, 紫などの色合いをリング状で表現したもので, 赤を基準に 0~360 度で表現する．彩度 (S) は鮮やかさを示し, 明度 (V) は色の明るさを示す．

4.3 視認性に及ぼす影響度の計算

前節であげた画像特性について, 視認性に影響を及ぼす比率は異なると仮定し, 次のような式で視認性に及ぼす影響度を求める．平均が小さいほど, 光が弱く, 分散が小さいほど, 背景が複雑でなく視認性が高いことから, この影響度が小さいものほど, オブジェクトの表示に適しているスロットとなる．

$$S_i = \sum_X (a^X A_i^X + v^X V_i^X) \quad (1)$$

(i = 1, 2...16)
(X = R, G, ...)

S_i はスロット i において背景が視認性に与える影響度であり, a^X および v^X は各画像特性における重み付けの係数である． A^X は X の画像特性の平均, V^X は X の画像特性の分散である．

式 (1) で用いる係数はユーザによる評価実験によって求めた．まず, ユーザによるオブジェクトの視認性の評価実験を行い, その結果をもとに式で使用する項を選択し, 最後に係数を決定した．

$$S_i = 0.6A_i^R + 0.9A_i^G + 4A_i^B + 40V_i^Y + 200V_i^S \quad (2)$$

(i = 1, 2...16)

実験の詳細については 6 章で述べる．

4.4 オブジェクトの制約を考慮した配置

キャラクタがナビゲーションを行うようなアプリケーションでは, キャラクタのオブジェクトと吹き出しのオブジェクトは隣接している必要がある．本研究では, このオブジェクトどうしの位置に関する制約をオブジェクト間の関係と呼ぶ．また, 風船のようなオブジェクトは HMD の上側に表示したいなどの要求がある．このオブジェクト間の関係と表示位置の要求を実現するために, オブジェクトごとに配置に関する制約条件を設定する．

```
<xsd:element name="object">
  <xsd:complexType>
    <xsd:sequence>
      <xsd:element ref="content"/>
      <xsd:element ref="relation" maxOccurs="unbounded"/>
      <xsd:element ref="layout" maxOccurs="unbounded"/>
    </xsd:sequence>
    <xsd:attribute name="ID" type="xsd:string" use="required" />
    <xsd:attribute name="importance" use="option" default="3" />
  </xsd:complexType>
</xsd:element>
```

図 5 XML スキーマ (一部)
Fig. 5 A part of XML schema.

表 1 実装した要素と属性

Table 1 Implemented elements and attributes.

要素	属性
object	ID, 重要度 {1 ~ 5}
content	種類 { 吹出し, イメージ, テキスト }, ソースファイル名
relation	種類 { 隣接, 追従, 等価 }, 対象オブジェクト ID
location	種類 { 上部, 下部, 左半分, 右半分, 中心 }

4.4.1 適切な表示に必要な制約条件

オブジェクトを表示する際には, オブジェクト作成者の意図やオブジェクトどうしの関連性などを考慮して配置を決める必要がある．オブジェクトを表示する際に考慮すべき制約としては, オブジェクト間の関係, コンテンツ制作者の意図する表示位置, 重要度, オブジェクトの表示後の移動, オブジェクトの色や形状, オブジェクトの色や形状の変化の自由度, オブジェクトの種類, ユーザの状態などが考えられる．本研究では, この中でもオブジェクト間の関係, コンテンツ制作者の意図する表示位置, 重要度が基本となる制約条件と考え, これらについてのみ実装を行った．

4.4.2 制約条件に基づく配置パターン

制約条件は, 1 つのオブジェクトに対して 1 つの XML (Extensible Markup Language) ファイルで記述する．定義した XML スキーマの一部 (object 要素の定義部分) を図 5 に示す．XML ファイルには 1 つの object 要素があり, その子要素に 1 つのオブジェクトの内容を示す content 要素, 他のオブジェクトとの関係を記述する 0 個以上の relation 要素, 表示位置の制約を記述する 0 個以上の location 要素の 3 種類の要素を持つ．各要素について表 1 に示す属性を記述できるよう実装を行った．

スキーマに基づいて XML を記述した例を図 6 に示す．図 6 は, ID が B で重要度が 3 である吹き出しのオブジェクトで, ID が A のオブジェクトの右か下に

```
<?xml version="1.0"?>
<object ID="B" importance="3">
  <content type="balloon">
    メールを受信しました.
  </content>
  <relation type="follow" objID="A" />
  <location type="right" />
</object>
```

図 6 XML の記述例

Fig. 6 An example of XML description.

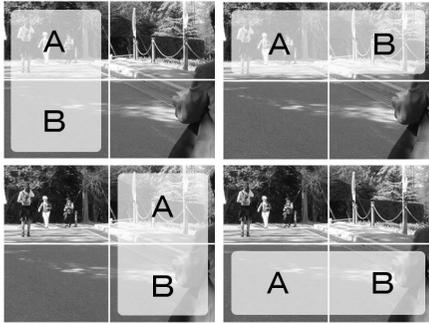


図 7 すべての配置パターン

Fig. 7 All patterns of object layouts.

隣接するという制約条件の記述例である。

オブジェクトの表示要求を受けると、表示するオブジェクトに対する制約条件を記述した XML ファイルをすべて読み込み、制約条件を満たすすべての配置パターンを求める。たとえば図 6 の制約条件を持つ B は、A の右か下に隣接するという制約と右半分に表示という制約を持っており、スロットが 4 分割である場合には、図 7 に示す配置パターンが考えられる。

4.4.3 制約条件に基づいた配置の決定

前節で求めたスロットごとの視認性に与える影響度 S_i を用いて、配置全体の影響度 E を制約条件に応じたすべての配置の組合せについて計算する。影響度 E は、以下の式を用いて算出する。

$$E = \sum_{id} I_{id} \times S_i \times P \quad (3)$$

I は表示するオブジェクトの重要度を示し、値が大きいほど、優先的に視認性の高いスロットに配置される。 S_i は式 (2) で算出するスロット i における視認性への影響度である。さらに表示位置の変更が頻繁に起こるとオブジェクトが読みとりにくくなるため、移動コスト P をかける。この移動コスト P は、前に表示されている位置と同じ位置に配置するとき小さくする。この式から計算される配置全体の視認性への影響度が最も小さくなる配置パターンに決定し、パターン

に従ってオブジェクトを表示する。

5. ユーザへの視界変更通知

前章の手法を用いるだけでは情報を表示しようとしても、背景全体が見えにくく、HMD 上のどの位置に配置しても読みとりにくい場合がある。たとえば、夕方の屋外で夕日の方向を向いていれば、HMD の背景全体が明るくなってしまい、どの位置に表示しても読みとりに困難になる。しかし、このような状況であってもユーザが地面を向いたり、夕日以外の方向を向けば情報を容易に読みとれる。そこで、ユーザの視界外の領域の画像を用いることで、情報の読みとりやすい方向をユーザに通知する。

提案手法では、前章の手法によって求めた配置の読みとりやすさを判断し、読みとりにくい場合は HMD の背景外の領域におけるオブジェクトの読みとりやすさと比較し、情報の読みとりやすい向きをユーザへ提示する。

以下、その手順について詳細に述べる。

5.1 求めた配置の読みとりやすさの判断

前章で求めたオブジェクト配置の中に、閾値 T より大きな視認性への影響度を持つスロットがある場合、HMD の背景でない上下左右の領域の視認性への影響度と比較し、後者の方が低い場合にはユーザに読みとりやすくなる方向を提示する。閾値 T は 6 章で述べる実験により求めた。

5.2 HMD の背景外の領域との比較

オブジェクトを配置する予定のスロットの視認性及ばす影響度 S_i と HMD の視界外の上下左右のうち最も読みとりやすい領域の視認性及ばす影響度 S_d について、以下の 3 つの比較を行うことでユーザに向きの変更を通知するべきかを決定する。

条件 1 $S_d + P < \min(S_i)$

条件 2 $S_d + P < \sum_i S_i / n$

条件 3 $S_d + P < \max(S_i)$

i はオブジェクトを配置する予定のスロット番号を表し、 n 個の要素がある。 d は上下左右のうちのいずれかである。また、ユーザが向きを頻繁に変えるのは苦痛であると考えられるので向き変更コスト P を S_d に加える。向き変更コスト P は、値を様々に変え使用した結果、頻繁な視界変更を抑えられ、読みとりにくいときに変更を指示できた $P = 2$ に決定した。

条件 1 を満たす場合、表示する予定のスロットの中で最も読みとりやすい位置より、HMD の視界外の方が読みとりやすく視認性の改善度合いが大きいことが見込める。逆に、条件 3 のみを満たす場合、表示予定

のスロットの中で最も読みとりにくい部分よりは改善が見込める。同様に条件 2 を満たす場合は、表示予定のスロットの平均的な読みとりやすさよりは改善が見込める。

これらの場合分けにより、ユーザの現在見ている HMD の背景からそれ以外の領域にユーザの視界が変化したときの改善見込みの度合いが定まる。条件 1 を満たせば改善度は大きく、条件 2 なら中程度、条件 3 なら改善度は小さいとなる。この改善度合いに応じて、ユーザに知らせる通知レベルを決定し通知を行う。たとえば「右を向いたほうがよく見えます」のような音声通知を行う場合、通知レベルが高いほど音量を大きくする。

6. パラメータの決定

本章では、4 章で述べた式 (2) の決定および 5 章で述べた閾値 T の導出について述べる。

まず、背景となる画像のどの画像特性がオブジェクトの視認性に影響を及ぼすかを調べ、背景となる領域の画像が視認性に及ぼす影響度を求める式 (2) を求めた。さらに、式 (2) を用いて求める影響度から、ユーザが読みとりにくいと判断する閾値 T を求めた。カメラの仕様を表 2 に示す。

6.1 ユーザによるオブジェクトの視認性の評価

シースルー型 HMD を装着したユーザによる評価実験を行い、どのような背景に文字やアイコンを表示すると読みとりにくいかを調査した。

実験では、被験者は光学式シースルー型 HMD を装着し HMD 越しに実際の視界を見ながら、シースルー型 HMD 上の 16 個のスロットそれぞれに表示された文字とアイコンのオブジェクトを「読みとりやすい」()、「読みとりにくい」(×)、「どちらでもない」(印なし)の 3 段階で評価し、その結果と同時にユーザがそのとき見ていた HMD 越しに見える視界を付属のカメラを用いて記録した。

実験は HMD の装着に慣れた研究チームのメンバ 3 人で行い、屋内、屋外、昼、夜など様々な環境で計 47 シーンについて実験を行い、そのときのユーザの視界

表 2 PCGA-VC2 の仕様
Table 2 Specification of PCGA-VC2.

CCD	1/6 型 35 万画素 CCD
最低被写体照度	20 ルクス
ホワイトバランス	オート
シャッタースピード	オート
焦点距離	f=2.8 mm
F ナンバー	F2.8
画像サイズ	320 × 240

を撮った画像 47 枚とその評価データを得た。

6.2 視認性に影響を与える可能性の高い画像特性の抽出

4.2.2 項であげた 3 つの色空間の階調値の平均と分散について、ユーザによるオブジェクトの視認性の評価の結果ごとに分類し、各群の中央値に有意な差があるかどうかを Kruskal-Wallis 検定を用いて検定した。この検定法は母集団の分布に依存しないノンパラメトリックな検定方法である。さらに 3 群間で有意差の認められたものはシェッフェの方法を用いてすべての 2 群間での有意差を求める多重検定を行った。検定の結果を表 3 および表 4 に示す。ここで検定の有意水準 α を 1% としユーザによるオブジェクトの視認性の評価結果の違いに有意差があるかどうかの検定を行った。その結果から有意差が認められた要素をオブジェクトの視認性に影響を及ぼす画像特性であるとした。ほとんどの画像特性で有意差があったが、HSV の H の平均と分散には有意差が認められなかったため、式 (1) から除いた。

6.3 画像特性の比率となる係数の決定

次に各スロットのオブジェクトの視認性に及ぼす影響度を求める式を決定する。視認性への影響度とは、背景の画像特性がオブジェクトの視認性にどの程度の影響を及ぼすかを数値化した値である。前節の結果から影響があると予想される画像特性を、式 (1) にあて

表 3 平均の Kruskal-Wallis 検定
Table 3 Kruskal-Wallis test about the average.

要素	p 値	vs.	vs. ×	vs. ×
R	$p < 0.0001$	$p < 0.01$	$p < 0.01$	$p < 0.01$
G	$p < 0.0001$	$p < 0.01$	$p < 0.01$	$p < 0.01$
B	$p < 0.0001$	$p < 0.01$	$p < 0.01$	$p < 0.01$
H	$p < 0.0001$	$p < 0.01$	なし	なし
S	$p < 0.0001$	$p < 0.01$	$p < 0.01$	$p < 0.01$
V	$p < 0.0001$	$p < 0.01$	$p < 0.01$	$p < 0.01$

: ユーザが「読みとりやすい」と評価したスロット

×: ユーザが「読みとりにくい」と評価したスロット

: ユーザが「どちらでもない」と評価したスロット

表 4 分散の Kruskal-Wallis 検定
Table 4 Kruskal-Wallis test about the variance.

要素	p 値	vs.	vs. ×	vs. ×
R	$p < 0.01$	$p < 0.01$	$p < 0.01$	なし
G	$p < 0.01$	$p < 0.01$	$p < 0.01$	なし
B	$p < 0.01$	$p < 0.01$	$p < 0.01$	なし
Y	$p < 0.01$	$p < 0.01$	$p < 0.01$	なし
Cb	$p < 0.01$	$p < 0.01$	$p < 0.01$	なし
Cr	$p < 0.01$	$p < 0.01$	$p < 0.01$	なし
H	$p = 0.0376$	なし	なし	なし
S	$p < 0.01$	$p < 0.01$	$p < 0.01$	$p < 0.01$
V	$p < 0.01$	$p < 0.01$	$p < 0.01$	なし

はめ、ユーザによる評価の結果に最もよく適合する重みづけ係数 a^X , v^Y を決定する。

視認性に及ぼす影響度を求める式の各画像特性 X の平均の係数 a^X を 0 および 2^j ($j = 1, 2, \dots, 4$) に、分散の係数 v^X を 0 および $2^j \times 10$ ($j = 1, 2, \dots, 4$) に変化させ係数のすべての組合せについて総当りで影響度を算出した。さらに、使用した係数は離散値であるため、求まった係数付近で細かな変化をさせ、適合度が最も高くなる最適な係数の組合せを選択した。結果は式 (2) に示したとおりである。

ユーザによるオブジェクトの視認性評価の結果とコンピュータの出力する視認性に及ぼす影響度の適合度は次のように求めた。ユーザによるオブジェクトの視認性の評価実験では、視認性を 3 段階に分類している。一方、視認性に及ぼす影響を求める式は連続の値が出力する。そこで、ユーザの評価実験で「読みとりやすい」と判断されたスロットの視認性への影響度の平均と「読みとりにくい」と判断されたスロットの視認性への影響度の平均の差を評価点とし、ユーザの評価実験で得られたすべての画像について計算した。たとえば、1 枚の画像に図 8 のような評価がつけられている場合、計算式は以下の式ようになる。

$$H = \frac{S_5 + S_6 + S_7}{3} - \frac{S_{13} + S_{14} + S_{15} + S_{16}}{4}$$

H は評価点を示し、式の分母は前の項から順に、視認性が悪いと判断されたスロットの数、良いと判断されたスロットの数である。 S_i はスロット i における視認性への影響度である。評価点が大きいほど、読みとりやすいものとそうでないものがよく分離していると考え、適合度が高いとした。

6.4 再現率

決定した係数の組合せの有効性を検証するため、再現率を求めた。再現率は、得られた視認性への影響度の値を大津の閾値判別法を用いて「読みとりやすい」

「読みとりにくい」の 2 つに分類し、ユーザによる評価実験で分類された「読みとりやすい」スロット「読みとりにくい」スロットがどれだけの割合で正確に分類されているかで求めた。

結果は 85.68% となり、視認性への影響度が式 (2) により正しく求められていることが分かる。

6.5 視認性が悪くなる閾値 T の算出

6.1 節で得た画像データの各スロットに対して、視認性への影響度を式 (2) を用いて算出した。閾値 T をユーザが読みとりにくいと評価したスロットとそうでないスロットを分類できるような値に設定すれば、閾値 T を用いて HMD 上に表示したオブジェクトが読みとりにくいかを判断できる。そこで、読みとりにくいと分類されるスロットの 95% が、閾値 T より大きな影響度を持つように T を設定する。

ユーザによる評価の結果より、 $T = 4.0977$ が求まった。

7. 実装

提案手法のプロトタイプを実装した。実装は、Panasonic Let's Note CF-T1RWA2S, Mobile Pentium III 866 MHz, メモリ 504 MB で行い、Microsoft Visual Studio .NET Visual C#.NET を用いてプログラミングを行った。

また、図 3 に示すカメラ付き HMD としては、島津製作所の DataGlass2/A に SONY 社の VAIO CAMERA PCGA-VC2 を固定し、カメラの前に鏡を取り付けることで製作した。

実際にプロトタイプを用いて配置を行った例を示す。背景のみを考慮して配置を行った場合、図 9 に示す配置になり、メールの内容はメール受信の絵に追従するという制約条件も考慮して配置を行うと図 10 に示すように配置が行われる。

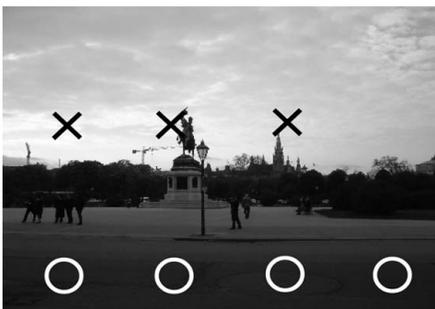


図 8 ユーザ評価の例

Fig. 8 An example of user's evaluation.



図 9 背景のみ考慮して配置した例

Fig. 9 An example of object layout considering only background image.

表 5 オブジェクトの数によるフレームレート
Table 5 Flame rate each number of objects.

オブジェクトの数	0	1	2	3	4	5
配置パターンの数	-	${}_{16}P_1$	${}_{16}P_2$	${}_{16}P_3$	${}_{16}P_4$	${}_{16}P_5$
フレームレート (fps)	18.823	18.534	17.943	14.64	5.345	0.664



図 10 背景と制約条件を考慮して配置した例
Fig. 10 An example of object layout considering background image and relations among objects.

7.1 システムの実行速度

プログラムの実行速度を調べるためにフレームレートを測定した。結果は表 5 に示す。オブジェクト配置変更が頻繁に行われると視認性が悪くなることから、2fps で動かすことを想定した場合、オブジェクトが 4 つ以下であれば十分な速度で計算できることが分かった。

また、画像更新遅延（カメラで撮った画像がコンピュータに到達する遅延）は測定していないが、プロトタイプではオブジェクトを滑らかに移動させているため素早い視界移動にオブジェクトの移動が追従できず、その影響を知覚できなかったため問題ないと判断した。

7.2 評価実験

システムの有用性を示すための評価実験を行った。実験に用いたアプリケーションは、数分に 1 回ニュース速報を表示するというもので、被験者が表示された情報を読み終えると腰に装着したボタンをクリックすることで、情報の提示から被験者が情報を読み終えるまでの反応時間を測定した。

実験は HMD を初めて装着する被験者 5 人で行い、1 人あたり平均 1 時間半の実験を行った。ニュースは実験前にアサヒコム⁹⁾ の RSS ニュースのヘッドラインからテキストを 23pt の HGP 創英角ゴシック UB フォントで表示する吹き出し付きのオブジェクトを作成し、キャラクターと一緒に提示した。表示したニュースの一例を図 11 に示す。

被験者には通常どおり生活するように指示し、アプ



図 11 表示メッセージの例
Fig. 11 An example of displaying message.

表 6 反応速度
Table 6 The reaction latency.

被験者	提案手法 (秒)	ランダム位置 (秒)
A	46.767	23.364
B	16.192	24.151
C	11.735	12.641
D	6.567	5.574
E	2.610	31.390

表 7 提示回数と反応回数
Table 7 The number of messages and reactions.

被験者	提案手法	ランダム位置
	(反応回数/提示回数)	(反応回数/提示回数)
A	1 / 2	1 / 3
B	3 / 3	3 / 4
C	4 / 8	2 / 9
D	3 / 4	4 / 4
E	3 / 3	1 / 4

リケーションに意識が集中しないように十分長い間隔（平均 10 分に 1 回のポアソン分布）をあけてニュースを提示した。提示の際には提案手法およびランダムに位置を決定し表示後位置が移動しない比較手法をランダムに決定し、1 分間表示した。また被験者には、実験方法に関する説明をただけで、提案手法と比較手法に関する説明は行わなかった。

7.2.1 実験結果

上記で述べたとおり、実験は日常生活中で行うため十分なオブジェクト表示間隔をとる必要があり、結果として得られたデータは 1 人あたり数個と十分な信頼性を持つだけのデータを得ることはできていない。詳細な実験および状況に応じた提案手法の有効性の変化についてはあらゆる状況変化を考慮する必要があるため今後の課題とするが、表 6 および表 7 に示す被験者の反応速度をもとに提案手法の有効性について考察する。反応速度は、ニュースが表示されている 1 分間に被験者の入力があったものに対して計算した。

表 6 に示す反応速度は被験者によってばらつきがあるものの、提案手法が平均 12 秒、比較手法が平均 15 秒であり、提案手法の方が平均反応時間が短い結果となった。実験結果にばらつきが大きいのは、試行回数がそれほど多くなく、ニュースが表示された状況がそのときどきによって大きく異なるためであるといえる。たとえば、被験者 A に提示された 2 回はともに屋外の明るい場所で HMD のどこに表示しても読みとれない状況であった。

表 7 は、ニュースの表示されている 1 分間に被験者の入力があった回数を示す。全体的に大きな差はないが、被験者 C, E は、提案手法の方が高い確率で反応できており、提案手法が有効に機能していると考えられる。

評価実験では、視界変更通知は行っていないが、5 章で述べた視界変更通知を行う閾値を超えて HMD の領域全体が見えにくいと判断された状態でのユーザの反応回数は、提案手法で 2/6 回、比較手法で 1/7 回とどちらの提示方法でも非常に少ない。このような状況では音声や振動などのアクチュエータを用いて情報の存在をユーザに知らせることが有効である。数行のテキストのような短い情報であれば、音声でそのまま提示することも可能であるが、視覚的に伝えるべき情報に関しては視界変更通知を行うことで情報の存在をユーザが知覚できるようになると考えられる。

8. 考 察

8.1 ユーザの状況に応じた提示

実際にウェアラブルコンピューティング環境で提案手法を使用することを考えた場合、ユーザが作業中であるときなど向きを変更できない状況も考えられる。さらに、向きを変更できる方向が限られる場合もある。そのような場合に、向けない方向を排除してユーザに提示する必要がある。

また、周囲がうるさいときには音声で通知せずに、振動で向きを伝えることや、HMD をフラッシュさせ向きを伝えるなどの手法をとるなど、ユーザの状態に応じて提示する手法を選択する必要がある。

8.2 表示するオブジェクトの色や形状の変化

本手法ではオブジェクトの表示後、色や形状を変化させていない。一般のシースルーでないディスプレイの場合、色や形状を変化させ視認性を高くする手法がとられるが、シースルー型のディスプレイは背景による影響を完全に遮蔽できないという特徴を持つため、色を変化させるだけではやはり読みとれず、大きさを変化させるだけでは一部が読みとれないままである。

しかし暗いところなど背景による影響が少ない状態では、一般のディスプレイと同様に色や形状の変化で視認性が改善される可能性がある。この場合テキストに対しては、視認性に応じてフォントサイズを変更する、文中で最も重要なところだけを表示するといった方法が考えられる。画像に対しては、拡大することが考えられる。

これらを実現するには、制約条件にオブジェクトの最大の拡大率や、文がすべて表示できないときの代替テキストなどを記述する必要がある。

8.3 オブジェクトの移動

本手法では、オブジェクトがあまりに頻繁に移動すると背景に対して視認性の高い位置であってもかえって読みとりにくくなるため、オブジェクトを現在表示しているスロットと同じスロットに表示する際に配置全体の影響度を低くすることで移動を抑えている。

しかし、ユーザがテキストを読んでいる最中に移動したり、瞬時に移動すると以前から表示されているオブジェクトが新しいオブジェクトかを区別できずに混乱を招く。そこでオブジェクトを移動する場合には、滑らかに移動することで解決する。そこで、オブジェクトの移動方法や表示後オブジェクトを動かさない時間についても記述できるようにしたいと考えている。

8.4 HMD の表示領域分割の影響

提案手法ではオブジェクトの読みとりやすさを考慮し 16 個の領域に分割したが、本来はオブジェクトの位置を柔軟に決められるよう、より詳細に分割することが望ましいと考えられる。詳細に分割し複数のスロットにまたがる 1 つのオブジェクトを許すことで、スロットにこだわらない柔軟な位置変更ができる。その場合、配置制約の記述と計算コストが問題となるが、適切な表示位置決定手法および視界変更通知については、現在と同様の議論が行えるため、有効性は変わらないと考えられる。

9. ま と め

本研究では、カメラを用いた光学式シースルー型 HMD における情報提示手法を実現した。提案手法では HMD の背景画像からユーザにとってオブジェクトの読みとりやすい配置に決定する。どの位置に配置しても読みとりにくい場合には、ユーザの周囲画像と比較し、改善が見込めるときは視界を変更する通知を行う。さらに本研究では、提案手法に基づいたプロトタイプシステムの実装を行い動作確認および考察を行った。

今後は、全方位カメラや魚眼レンズ、複数のカメラ

を用いたシステムとの比較を行い、通知方法までを考慮した手法の提案および評価を行う予定である。

謝辞 本研究の一部は、文部科学省 21 世紀 COE プログラム「ネットワーク共生環境を築く情報技術の創出」の研究助成によるものである。ここに記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) Augmented Vision for Automotive MRO. <http://www.microvision.com/>
- 2) Kanbara, M., et al.: Nara Palace Site Navigator: A Wearable Tour Guide System Based on Augmented Reality, *Proc. 3rd CREST/ISWC Workshop on Advanced Computing and Communicating Techniques for Wearable Information Playing*, pp.7-14 (2004).
- 3) Kawamura, T., Fukuhara, T., Takeda, H., Kono, Y. and Kidode, M.: Ubiquitous Memories: Wearable Interface for Computational Augmentation of Human Memory based on Real World Object, *Proc. 4th Int'l Conf. on Cognitive Science (ICCS2003)*, pp.273-278 (2003).
- 4) Kishino, Y., Tsukamoto, M., Sakane, Y. and Nishio, S.: Realizing a Visual Marker Using LEDs for Wearable Computing Environment, *Proc. Int'l Workshop on Smart Appliances and Wearable Computing (IWSAWC2003)*, pp.314-319 (2003).
- 5) Kiyokawa, K., Ohno, H. and Kurata, Y.: An Optical See-through Display for Mutual Occlusion with Real-time Stereo Vision System, *Elsevier Computer & Graphics, Special Issue on "Mixed Realities - Beyond Conventions."*
- 6) Leykin, A. and Tuceryan, M.: Automatic determination of text readability over textured backgrounds for augmented reality systems, *Proc. 3rd IEEE and ACM Int'l Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR2004)*, pp.224-230 (2004).
- 7) Roy, D.K. and Schmandt, C.: NewsComm: a hand-held interface for interactive access to structured audio, *Proc. CHI '96 on Human Factors in Computing Systems*, pp.173-180 (1996).
- 8) Business Leaders Square コピキタスビジネストレンド 情報と人をつなぐインターフェース. <http://www.blwisdom.com/btrend/06/2.html>
- 9) アサヒコム. <http://www3.asahi.com/rss/>
- 10) 清水亮一, 星野孝総, 亀井且有: 字幕付き映像における視認性向上のための字幕表示システムの提案, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2004 講演会論文集 (2004).
- 11) 惣田一幸, 角谷和俊, 上原邦昭: 携帯情報端末における音声を用いた Web ナビゲーション, 電子

子情報通信学会データ工学ワークショップ論文集 (2001).

- 12) 地域環境共生地中式廃棄物ガス化溶融機械システムの開発に関するフィージビリティスタディ報告書. <http://www.ena.or.jp/GEC/report/>
- 13) 庄司 武, 中村聡史, 塚本昌彦, 西尾章治郎: ウェアラブル環境における音声データのハイパーリンク型ナビゲーションシステム, 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.5 (2003).

(平成 18 年 4 月 28 日受付)

(平成 19 年 1 月 9 日採録)



田中 宏平

2005 年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科情報システム工学科目卒業。現在、同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻博士前期課程に在籍。ウェアラブルコンピューティングに興味を持つ。



岸野 泰恵 (学生会員)

2002 年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科情報システム工学科目卒業。2004 年同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻博士前期課程修了。現在、同専攻博士後期課程に在籍。ユビキタスコンピューティング、ヒューマンインタフェースに興味を持つ。



宮前 雅一

2001 年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科情報システム工学科目卒業。2003 年同大学院工学研究科情報システム工学専攻博士前期課程修了。2006 年同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻博士後期課程修了。情報科学博士。同年(株)国際電気通信基礎技術研究所知識科学研究所研究員、現在に至る。ウェアラブルコンピューティングの研究に従事。



寺田 努 (正会員)

1977年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。1999年同大学院工学研究科博士前期課程修了。2000年同大学院工学研究科博士後期課程退学。同年より大阪大学サイバーメ

ディアセンター助手。2005年より同講師。現在に至る。2002年より同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助手、2005年より同講師を併任。2004年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事、2005年より同機構事務局長を兼務。工学博士。アクティブデータベース、ウェアラブルコンピューティング、ユビキタスコンピューティングの研究に従事。IEEE、電子情報通信学会、日本データベース学会の各会員。



西尾章治郎 (正会員)

1975年京都大学工学部数理工学科学卒業。1980年同大学院工学研究科博士後期課程修了。工学博士。京都大学工学部助手、大阪大学基礎工

学部および情報処理教育センター助教授、大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻教授を経て、2002年より大阪大学大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻教授となり、現在に至る。2000年より大阪大学サイバーメディアセンター長、その後2003年より大阪大学大学院情報科学研究科長を併任。この間、カナダ・ウォータールー大学、ビクトリア大学客員。データベース、マルチメディアシステムの研究に従事。現在、Data & Knowledge Engineering等の論文誌編集委員。本会理事を歴任。電子情報通信学会フェローを含め、ACM、IEEE等8学会の各会員。