

Peripheral Vision Annotation : 拡張現実感環境のための視線計測による 周辺視野領域情報提示手法

石黒 祥生^{1,2,a)} 暦本 純一^{3,4}

受付日 2011年6月26日, 採録日 2012年1月13日

概要: 人間の持つ視覚特性, 特に周辺視野と中心視野における特性の違いを利用し, 拡張現実感環境における歩行や作業などの行動を阻害することなく情報を提示することが可能な手法, “Peripheral Vision Annotation” を提案する. 拡張現実感技術を用いてユーザに仮想物体を提示する場合, 現実空間に重畳描画した仮想物体が視界を塞いでしまう場合がある. 注視点に近い中心視野領域は詳細な情報を得られることから, 歩行や作業などの動作中は重要である. そこで本論文では視線認識装置を用い拡張現実空間において, 注視点を塞がずユーザの行動を阻害しない表示手法を提案する. 視線方向を実時間で計測し, 注視位置から視野を中心視野と周辺視野に分割する. この2つの視覚特性の違いを利用し, 注視点を塞がず情報の概要をユーザに知らせ, 注視により詳細情報に切り替える. これによりユーザは作業を継続しながらも提示される情報の概要を把握することが可能になる.

キーワード: 眼球運動, モバイル拡張現実感, View Management 問題

Peripheral Vision Annotation: Noninterference Information Presentation Method by Using Gaze Information

YOSHIO ISHIGURO^{1,2,a)} JUN REKIMOTO^{3,4}

Received: June 26, 2011, Accepted: January 13, 2012

Abstract: Augmented-reality (AR) systems present information about a user's surrounding environment by overlaying it on the user's real-world view. However, such overlaid information tends to obscure a user's field of view and thus impedes a user's real world activities. This problem is especially critical when a user is wearing a head-mounted display. In this paper, we propose an information presentation mechanism for mobile AR systems by focusing on the user's gaze information and peripheral vision field. The gaze information is used to control the positions and the level-of-detail of the information overlaid on the user's field of view. We also propose a method for switching displayed information based on the difference in human visual perception between the peripheral and central visual fields. We develop a mobile AR system to test our proposed method consisting of a gaze-tracking system and a retinal imaging display.

Keywords: eye movement, mobile augmented reality, view management

¹ 東京大学大学院学際情報学府
Graduate School of Interdisciplinary Information Studies,
The University of Tokyo, Bunkyo, Tokyo 113-0033, Japan
² 日本学術振興会特別研究員 (DC1)
JSPS Research Fellow
³ 東京大学大学院情報学環
Interfaculty Initiative in Information Studies, The Univer-
sity of Tokyo, Meguro, Tokyo 153-8505, Japan
⁴ 株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所
Sony Computer Science Laboratories, Inc., Shinagawa,
Tokyo 141-0022, Japan

1. はじめに

人間は, その目で視界のすべてを平等に認識してはいない [1], [2], [3], [4]. 本研究では, この人間の視覚の持つ視野による認識能力の違いを利用し, 拡張現実感 (Augmented Reality; AR) または複合現実感 (Mixed Reality; MR) 環境において行動を阻害しない情報提示手法の検討を行う.

^{a)} ishiy@acm.org

人間の視界は注視点から網膜偏心度によって中心視野領域、周辺視野領域に分けられ、それぞれ得られる情報が異なる。注視点では、文字などの細かく複雑な情報を認識することができ、中心視野、周辺視野と偏心度が大きくなるにつれ、形状や色の知覚や、時間的な変化に対する反応など、異なる特徴があることが知られている。

また、視覚は人間の行動にとって重要な情報源であるため、視覚などの人間の感覚を拡張するARやMR技術の研究も活発に行われてきた。その結果、現実空間との幾何学的整合を図り、仮想物体を重畳描画することで、利用者があたかもそこにあるかのように仮想物体を認識することが可能になっている。このようなAR/MR技術を用いたユーザ支援システムでは、注釈情報などを実環境に重畳描画し、ユーザに提示する[5]。この場合、“どのように提示すればよいか”は想定する環境や用途によって異なる。これを“View Management問題”[24]といい、提示情報のレイアウトや選択の研究が行われている[6], [7], [8]。

これは、空間的整合性を厳密に考慮した、AR/MR型情報提示だけではなく、特に近年、屋外などのモバイル環境で実際にサービスとして提供されている、Layer[9]やWikitude[10]などでは、場所や空間に基づいた注釈情報があふれ、現実空間を塞いでしまうといったことが多く見られる。このような携帯情報端末などを用いたハンドヘルド型のAR/MRシステムはカメラにより得られた映像に情報を重畳描画し画面で見ると、いう方法を用いるため、行動を大きく阻害することは少ない。しかしながら、ヘッドマウントディスプレイ(Head Mounted Display; HMD)のような全視野を覆うようなディスプレイを用いたAR/MRシステムにおいては非常に大きな問題となる。

作業支援システムやナビゲーションシステムなどのモバイル環境でのAR/MRシステムの利用は手が自由に使えるほうがよいことから、HMDの利用が多く検討されているが、歩行などの行動中や手術や工作などの作業中などの状況を想定すると、一瞬でも視界を塞ぐことで、致命的な問題になりかねない。このような視界を塞ぐことにより問題が発生する環境を想定した情報提示手法は十分に検討されていない。その結果、注釈情報がHMDに表示されることで、死角ができるといった問題が発生する(図1)。今後、全視界に重畳描画可能で持ち運びが容易なHMDが開発されると、このような問題はますます重大になると考えられる。

そこでまず、本研究ではユーザは次のような環境にいることを想定する。

- ユーザはAR/MR技術を利用した作業支援を受けている。
- 歩行や運転、手術や工作のように、路面や足元の状況、あるいは手元の作業対象を隠すことで致命的な問題が発生する。

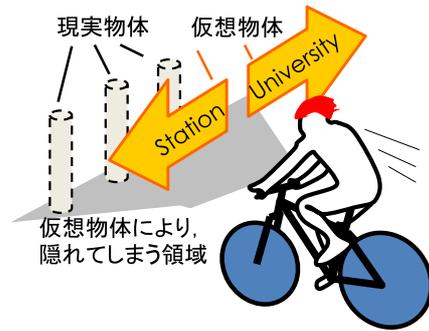


図1 注釈情報表示による死角の発生

Fig. 1 The overlaid information annotations may create blind spot in the user's visual field.

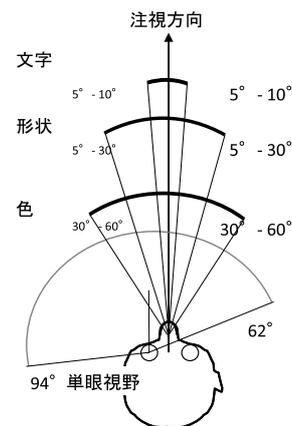


図2 視野角による認識能力の違い [12]

Fig. 2 The human recognizable angle difference for texts, shapes and color.

- ユーザは作業内容を継続する必要があるが、提示内容によっては中断する。

この環境において安全で便利なインタラクションを行うためには次の3つの要件を満たす必要があると考える。

- 仮想物体を提示することでユーザの行動(視界)を阻害しない。
- 提示されていることにユーザが気づくことができる情報提示。
- 提示された情報の重要度に応じた、行動の中断、あるいは継続の判断。
- フリーハンドでのインタラクション。

そこで、これまで積極的に利用されてこなかった視覚の特性(図2)、特に周辺視野領域に着目し、計測した視線情報を利用して情報提示領域を中心視野領域(Central Vision Field)、周辺視野領域(Peripheral Vision Field)に分けて提示する、“Peripheral Vision Annotation Method”を提案する。ユーザの行動を阻害しないことを最低条件とし、提示する情報の詳細度を、中心、周辺視野それぞれの領域で変化させて提示(図3)することで、詳細情報を得ることも可能な情報提示の実現を目指す。

本論文では、視覚に関する従来研究から本提案手法の妥

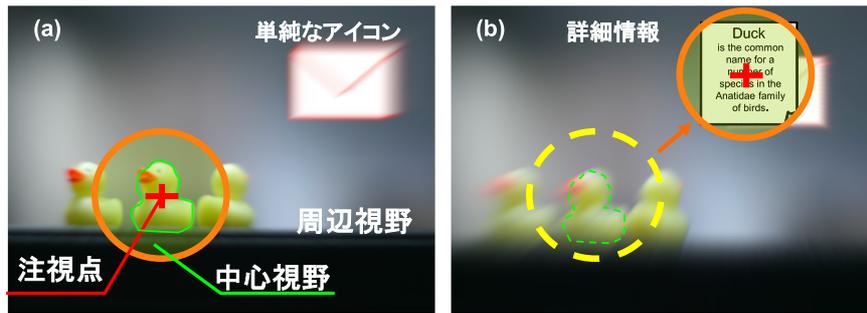


図 3 Peripheral Vision Annotation のインタラクション (イメージ図). (a) 提示情報の概要を周辺視野領域でとらえ, (b) 興味があれば注視することで詳細情報に切り替わる

Fig. 3 This illustrations shows our proposed “Peripheral Vision Annotation” method. (a) shows simple icon on the users peripheral vision area, (b) shows user gaze the icon unveil more detailed information needs.

当性を示し, 提案手法の実現に必要な視線認識装置とそれを用いた基礎的な実験を行った結果について報告する.

2. 関連研究

2.1 拡張現実環境における View Management 問題

AR/MR 型情報提示において情報を提示する場合, どこにどのように提示するかが大きな問題である. AR/MR 技術を用いた情報提示では, CG 映像を現実の光景に幾何学的な位置関係を考慮して重ね合わせることがよく行われており, この場合, 背景映像が遮蔽されることは大きな問題ではなく, 物体を認識してその輪郭を CG 映像によりハイライト表示するなどの提示は可能である. 一方, 操作方法などの注釈情報を現実物体に基づいて表示することも AR/MR 型情報提示において重要な提示方法の 1 つである. しかしながら, 単純に注釈情報を空間中に重畳描画する場合, 操作対象などを隠すことで問題が発生する. この View Management は AR/MR 型情報提示において問題となっており, さまざまな研究が行われている [22], [23], [24]. 提示する対象の環境の変化や, 視点の変化などに基づいて提示位置をリアルタイムで計算する必要があり, 難しい研究課題である [24].

この問題に対して, Leykin らは重畳描画する注釈情報の文字を読みやすくするためにパターン認識の手法を用いた [9]. これは, 物体表面の情報などの特徴を利用し, 読みやすさを改善する手法である. また, Bell らは情報を付加したい物体に対して注釈情報を離れた位置 (HMD の画面端) に提示し, それぞれの間をリーダーラインで結ぶという手法を提案した [6]. さらに岩倉らは背景色や, 注釈情報の大きさ, 移動順序などの条件を考慮し, 実時間処理と見やすい情報提示の実装を行った [24]. これまでのいくつかの AR/MR における View Management 手法では, 視点 (頭部) 位置に基づき, 実物体を隠してしまうという問題 [23] や, 注釈情報どうしが重なることで隠してしまうという問題 [22] などに対処しており, ユーザの注視位置は考慮され

てこなかった.

2.2 拡張現実感における視線情報の利用

Wiser らは, 人間が漫然と得ている情報を “Periphery” と呼び, 人間は情報を意識の中心にとどめるか漫然と “Periphery” として知覚するかということを使い分けることで, 情報過多の状況に対応していると考え, 状態を提示する手法として Calm Technology を提案した [13].

ユーザに提示する情報量をコントロールする手法として, Nakamura らは注釈情報の量をコントロールするために, 人間の眉間の様子を計測するという手法を提案している [7]. これは, 注視する際に, 人間は眉間の皮膚に皺がよる (顔をしかめる) という現象を利用し, その皺の様子によって, 表示する注釈情報の量をコントロールするという研究である. これらの手法は直感的で, フリーハンドで行うことが可能なため, モバイル環境において有効な手法であるといえる.

さらに, Julier らは領域に基づいた情報フィルタリング手法を提案している [14]. このアルゴリズムはユーザの状態と, 提示対象の物体の情報を動的に計測し, これらを用いて環境に合わせた提示を行う.

このように, 情報量の制御の研究により, 提示する情報を最適な 1 つまで減らすことは不可能ではないと考えられる. しかしながら, 提示する情報量を制御しても, たった 1 つの仮想物体が, 視界の最も重要な注視点を隠すということも考えられ, さらに検討が必要である.

そこで視線情報計測による注視点位置に基づいた情報提示を行う. 視線情報を用いるとハンズフリーでの操作が可能になるため, インタラクションに利用する研究もこれまでに数多く行われてきた. さらに近年では単純にポインティングだけでなく, Carpendale らは画面を視線に応じて, 魚眼レンズを通して見たように膨らませることで注目点を拡大し, 選択などの動作をしやすようにする, Pliable Display Technology (PDT) システム [15] を提案

するなど、注視位置に応じて情報を変化させる方法も多く検討されている。

しかしながら、視線情報のインタラクション利用にはつねに“Midas touch problem” [16]が発生する。これは見たものすべてを金に換える能力を手に入れたMidas王が金にしたくないものまで、見るだけで変わってしまうため困るという神話であり、視線を用いたポインティングなどのインタラクションにおいても、状況を把握するために画面などを一瞥すると、それがすべて入力動作になってしまうという問題があるため、そのままポインティングに利用することは難しい。過去の研究では、トリガとしてボタン入力を用いる手法や滞留時間を用いる手法などがあり、工夫が行われている [17]。

2.3 人間の視覚特性

Anstis は同心円状に文字を複数描画した場合、人間が文字を判読できる大きさは中心から遠ざかるにつれ大きくなり、それはほぼ一定に変化する [18]、という報告をしている。また、光量の変化には中心視野に対して、周辺視野のほうが反応が良いことなども分かっている [2]。このように、これまでの研究で人間の視覚、特に中心視野と周辺視野には次のような特徴がある。

- 中心視野のほうが解像度は高い [1]。
- 周辺視野のほうが明るさに敏感に反応する [2]。
- 周辺視野のほうが運動を知覚しうる最大速度が勝る [4]。
- 周辺視野における空間定位には誤差が含まれる [1]。

人間の視界における感覚特性はさらに細かく研究されているが、大別すると周辺視野は変化には敏感であるが、解像度や空間定位などの精度は低いといえる。

3. Peripheral Vision Annotation : 視線情報による提示情報制御の提案

本論文では、ユーザはAR/MR環境において、歩行や運転、作業など行っており、注釈情報によって注視を阻害すると重大な問題が発生するという環境を想定し、2.2節で述べた人間の視覚特性を利用し、行動を阻害しない情報提示手法を提案する。

3.1 周辺視野を活用した情報提示

全視界に対して情報を重畳描画可能な環境における、実作業を阻害しない情報提示を1章で述べた3つの要素を次のように満たすことで実現する。

1. ユーザの視界を阻害しない

従来手法では注視点上に情報を提示することで、注視対象を隠す可能性がある。この問題を解決するために注視点を計測する。情報提示システムが注視点の位置情報を用いることで、注視対象近傍（中心視野領域）に注釈情報を表示せず、周辺視野領域（Peripheral Vision）にのみ提示す

る、ということが可能になる。

2. ユーザが提示情報に確実に気づくことができる

しかし注視点を塞がないために周辺視野領域に注釈情報を表示すると、ユーザは提示されていることに気づかない可能性がある。そこで2.2節で述べた人間の視覚特性を利用する。周辺視野領域は、時間的変化に敏感であるため、背景に注釈情報を表示するという時間的変化や一時的に点滅させる、色を変化させるなど、周辺視野領域の視覚特性を活用することにより、提示された注釈情報を注視しなくても提示されたことに気づくことができる。しかし、たとえ気づいても内容を確認するために注釈情報を注視すると、本来注視したい位置（たとえば交通信号や路面など）から注視点が移動してしまい、行動を阻害する可能性がある。そこで、情報の詳細度を変化させる。周辺視野領域は、文字などの詳細な情報は得られないが、色や単純な形状は把握することができる。そこで、周辺視野領域では情報の詳細度を下げ、アイコンなどの単純形状を提示する。

気づくことでそれまでの作業などを安全に中断し、提示された情報を閲覧することもユーザが任意に判断することができる。また周辺視野で情報の概要が分かれば視線移動する前に判断することができると考えられる。

3. ハンズフリーインタラクション

人間の視覚特性から、提示されたアイコンなどの単純形状を理解し興味のない内容であれば無視をする。また興味のある情報であればそのアイコンを注視する。そうすることで、情報が詳細情報に自動的に切り替わる。この切替動作は注視のみで行うことができるため、トリガとなるボタンなどの操作は必要ない。また、詳細情報も、元々注視していた位置（交通信号や路面など）とは異なる場所（アイコンが表示されていた場所）に表示されるため、詳細情報に切り替わったあとも、元の注視位置を塞ぐことはない。

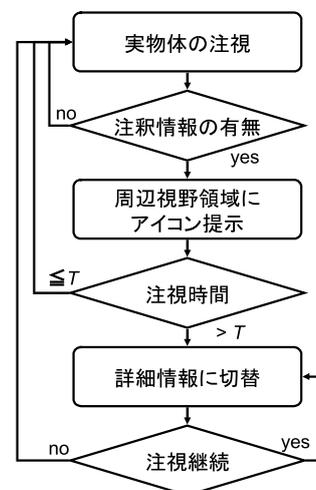


図 4 処理のフロー

Fig. 4 The flow chart of “Peripheral Vision Annotation” method.

これら3つの点から、本提案手法では次のように情報提示、切替えを行う(図4)。

1. 周辺視野領域に通知のための単純な形状のアイコンを提示
2. ユーザが提示したアイコンを注視した場合、詳細情報に切り替え

はじめは単純な形状を表示することでユーザに概要を伝え、それが必要な情報であればそのアイコンを注視することで、詳細な情報に切り替える。このように2段階での情報提示を行うことで、行動を阻害しない情報の提示を実現する。

4. 視線情報による提示情報制御評価実験

3章で述べた提案手法が実際に有用であるか、実験により確認する。これにより、周辺視野での情報提示が可能か、可能であれば、提示システム設計のための指針を得る。提案手法を実現するには、従来のAR/MR技術に加え、視線計測システムが必要である。そこで、まず実験に利用した視線計測装置について述べる。

4.1 注視位置情報取得のための視線計測システム

人間の注視位置を測定するために視線計測システムを作成した。視線計測装置そのものが行動を阻害しては意味がないため、小型軽量な構成の実現を目標とした。図5に示す視線計測装置は、暗瞳孔検出によるヘッドマウント型の視線方向検出装置である。2台のカメラを用いて、視線方向と視界の様子を同時に記録できる。赤外カメラを用いて暗瞳孔を検出し、もう1台の可視光カメラでユーザの視界方向を撮影する(図6)。多くの眼球運動計測システムで用いられるカメラによる計測方式である[17]。この2台のカメラの映像をPCに送り、処理、記録する。装着するメガネの重量は50g以下である

視線情報は眼球撮影用カメラの映像をもとにPCで処理される。サンプリングレートはカメラに依存し30Hzであるため、固視微動などの高速眼球運動は計測できないが、注視位置は計測することが可能である。

4.2 予備実験：視線認識装置性能評価

【目的】作成した小型の視線認識装置が中心視野、周辺視野を識別可能か評価する。

【方法】実際に装着し、平面上に配置された注視対象を注視する。その点を見ている際の可視光カメラ映像中の注視対象の位置と、計測による注視推定位置を約2秒間記録する。これを11点で行う。このシステムを装着した被験者はあらかじめ視線検出のためにカメラ間の位置関係と眼球の位置関係を決定するためのキャリブレーションを行う。

【結果】精度評価結果を図7に示す。キャリブレーションの状況によって精度が多少異なるため、この結果は一例である。可視光カメラは水平解像度720pixel、画角は約60度であるため、角度誤差は1pixelあたり平均約0.08度である。

【考察】一部ずれが大きい点は、暗瞳孔検出の際の瞼などの影響による。精度は他の装置に対して低いが[19]、今回の目的である中心視野領域、周辺視野領域を区別するには十分な精度であると考えられる。

4.3 実験：周辺視野提示の有用性検討

実際に提案手法によって注視点を塞がずに作業を継続させ、かつユーザが任意に注視情報を認識することができるか調べるために実験を行う。これまでのHMDの発展を考えると今後の研究開発によって、小型軽量で全視野に対して重畳描画が可能なHMDが登場すると想像できる。今回

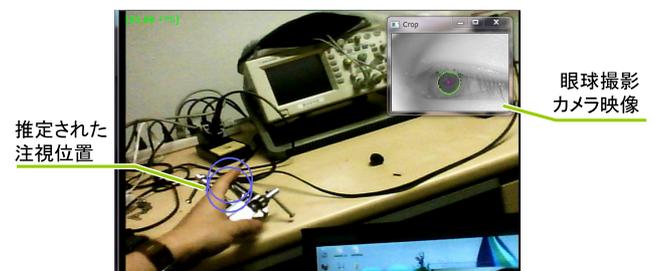


図6 視線認識装置を用いて注視位置を推定している様子
 Fig. 6 The result of eye gaze estimation by using our eye-tracker.



図5 常用可能性を考慮した視線認識装置。赤外カットフィルタにより反射する眼球の赤外映像を利用して視線方向を測定する

Fig. 5 Our Eye-tracker prototype. The infra-red camera captures reflected eye image by IR-cut filter and visible-light camera captures the environmental information.

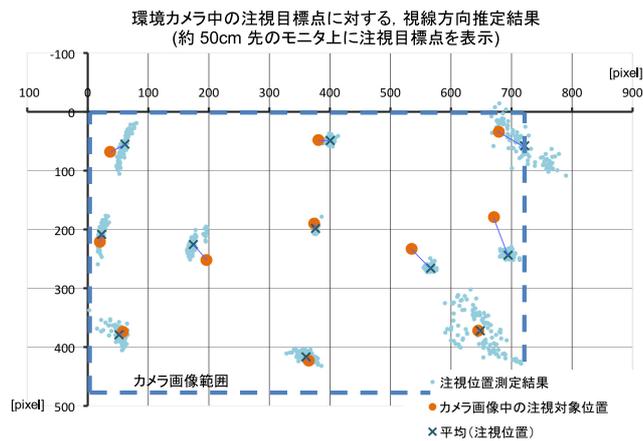


図 7 視線認識装置の注視点推定誤差の例。眼前約 50 cm の位置にある平面上の 11 点を注視。頭部拘束なし。各点は視線認識装置搭載可視光カメラ映像中での位置

Fig. 7 The accuracy of our eye-tracker. We conducted eye gaze estimation accuracy experimentally specifying 11 gaze target points on a plane 50 cm away from the participant. No head restraint applied.

は実験のために、全視界を覆う HMD の代わりとして、眼前に画面を配置した実験のためのシステムを構築した。

周辺視野領域における人間の知覚特性は過去の研究により多くが明らかになっているが [1], [3], [4], [12], 非常に複雑であるため、実際に任意の形状を周辺視野に表示し、被験者がそれを認識することができるか確認する。また、そのときの反応の様子から、表示切替えのための滞留時間などに関する知見を得ることで設計指針を立てる。実験では、アイコンの 1. 表示位置, 2. 表示内容についてそれぞれ検討を行う。

これが可能であれば、ユーザが周辺視野領域に表示された情報を無視し、作業を継続するか、注視することでさらに詳細の情報を得るかをフリーハンドで意図的に決定することができると考えられる。

4.4 実験環境

視界を覆うことが可能な HMD の代わりとして、被験者正面に置いた液晶画面を設置する (図 8)。装着した視線認識装置でつねに視界の様子 (注視位置に対する周辺視野領域) が計測できるため、被験者はあごを台に乗せるなどの頭部固定は行わない。被験者は椅子に座った状態で約 450 mm 離れた前額平行面上に配置した液晶画面を見る。表示画面は幅 520 mm であり被験者の視野のうち、おおよそ 60 度となる。この環境で、画面中央に 10 mm の注視対象 (0 から 3 までのランダムな数字) を表示する。そして、水平方向に 240 mm (28 度) 離れた位置に注視情報用アイコンを表示する。水平方向であるのは、人間の視界が垂直方向よりも水平方向に広いためである [12]。アイコンのサイズは Anstis の研究 [18] での網膜偏心度に対する文字 (ア

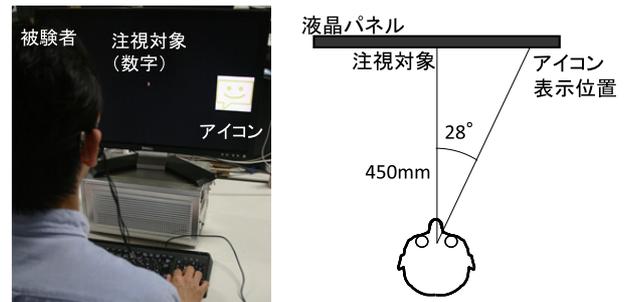


図 8 実験環境

Fig. 8 Experiment environment.

ルフアベット) の可読サイズの指標である、式 (1) を参考にした。

$$y = 0.046x - 0.031 \quad (1)$$

この式にあてはめると、30 度の場合、最低約 1.4 度で文字の判別が可能であるとされる。本研究の判別対象は文字ではないが単純形状であるため、十分余裕をみて注視点から見て約 6 度になるようにアイコンのサイズを決定した。なお x は偏心度、 y は可読文字サイズである。

4.5 実験 1: 表示位置が作業速度に及ぼす影響

3 章で述べた提案手法が、実際に注視点を塞がないことで作業を継続可能であり、かつユーザが任意に注視情報を認識することができるか調べる。

4.5.1 実験方法

4.4 節で述べた実験環境において、画面中央に 0 から 3 の数字をランダムに提示する。被験者にはタスクとして提示された数字を可能な限り早くキーボードで押させる。この作業を続けさせ、注視位置に対して 2 種類の位置にアイコンを表示する。1 つは約 28 度はなれた液晶画面上の周辺視野領域、もう 1 つは数字を表示している中心部に数字に重なるように表示する。このとき表示する記号を表 1 に示す。この 4 種類の記号を約 2 秒から 3 秒のランダムな間隔で提示し、3 秒間表示する。被験者はそれぞれの記号を「バツ」「マル」「サンカク」「シカク」で回答する。その間の視線の動き、押し間違い回数 (画面に表示された数字に対してキー入力を間違えた回数)、タスク処理時間 (数字が表示されてからキーを押すまでの時間) を記録する。また、比較のために画面上に 4 種類の記号を何も表示せず、タスクのみを行いこの際の処理速度の計測も行う。この表示なし、中心視野表示、周辺視野表示の 3 種類をそれぞれ被験者 1 人あたり 3 分間行う。

被験者は研究室に所属する学生および一般から 10 人 (20 代男性 8 人、女性 2 人) で行った。

4.5.2 実験結果

表 2 に表示なし、注視位置上に表示した場合、周辺視野領域に表示した場合の全被験者の平均タスク処理時間を示

表 1 被験者に提示した記号

Table 1 The icons that was used in this experiments.

	形状 1	形状 2	形状 3	形状 4
“単純形状” (実験 1, 2)				
“アイコン” (実験 2)				
“アルファベット” (実験 2)				などランダムに 生成した 3 文字

表 2 実験 1 結果. 表示なし, 中心視野表示, 周辺視野表示における処理時間変化

Table 2 Result of exp. 1. User reaction speed changes according to the display position.

	表示なし	中心視野	周辺視野
平均タスク処理時間 [sec]	0.56	0.89	0.60
標準偏差	0.030	0.072	0.046
押し間違い [%]	5.5 %	7.0 %	8.5 %
視線移動	0	0	23 (9.4%)

す. 表示された記号を見間違える被験者は 0 人であった. 注視点上に表示した場合は, 当然その間はタスク処理ができず処理時間が遅くなる. このため, 表示なしの場合, タスク 1 回に平均 0.89 秒かかっており, 何も表示しない場合の 0.56 秒に比べ 0.33 秒遅い. t 検定 (両側) を行ったところ, 有意水準 0.01 で有意差が認められた. 一方, 周辺視野に表示した場合, 表示なしに比べ, 平均処理時間が 0.04 秒遅くなった.

周辺視野に表示した際の全被験者の平均注視点移動回数は 2.3 回 (うち, 1 度も視線移動をしなかった被験者が 6 人), 注視点移動が発生した際にアイコンを注視し, タスクとして提示されている数字表示に視線が戻るまでの時間は平均 0.23 秒であった. また, 表示されている単純記号を回答し間違えることはなかった.

4.5.3 考察

周辺視野に表示した際, 全被験者の平均では, 2.3 回の注視点移動が発生した. しかしながら 6 人の被験者は視線移動を 1 度も行わなかった. 視線移動を多く行った被験者も 3 分間での注視点移動を見ると, 実験開始時から数回で注視点移動を行わなくなったことが分かった (図 9). なお, 図 9 に示す被験者の場合, 単純記号はおよそ 500 から 600 pixel の位置にあった. また 80 秒以降に発生している下向きの変化は瞬目によるノイズである. 全実験終了後に視線移動がなくなった点について質問したところ, 「特に意識はしなかったが, 慣れるとタスクに集中しながら, 形状を理解することができた」とのコメントがあった. 実験

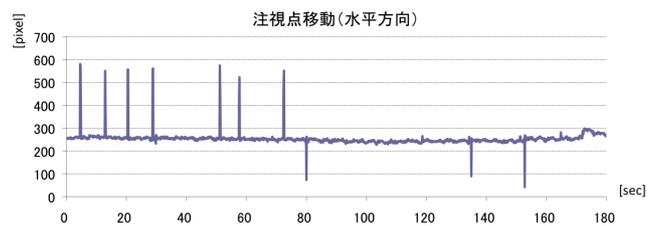


図 9 周辺視野表示におけるユーザの注視点移動の減少 (被験者 YM). 約 250 pixel から下向きの変化は瞬目によるノイズ

Fig. 9 Decrease number of gaze movements by peripheral vision display.

前の予想として “視線を移動して確認するほうが心理的な負荷が少ないのではないか”, とも考えられたが, 実際に行った結果, タスク処理に集中していると, 単純な形状では視線移動しなくなる傾向があることが分かった.

また, 図 9 から分かるように, 作業を行っている間, 注視点位置がほとんど変化していない (約 250 pixel の位置). これは, 頭部を移動 (回転) させていないことを示している. すべての被験者で同様の傾向が見られ, 単純な形状を確認するだけであれば, 頭部の移動すら必要ないことが分かった. これは, 形状判断のための注視点移動が非常に短い時間 (0.23 秒) で終わるためと考えられる.

一方で, 周辺視野領域に表示した際に何も表示しない場合に比べタスクの処理時間がタスク 1 回あたり 0.04 秒遅くなっている (有意水準 0.01 で有意差は認められず). これは, 周辺視野に表示した場合, タスクを大きく阻害しないものの形状の理解に一定の時間がかかることを示唆して

表 3 実験 2 結果. 周辺視野表示における表示内容による変化

Table 3 Result of exp. 2. User reaction speed changes according to the icon shape.

	単純記号(実験 1)	アイコン	文字列
平均タスク処理時間 [sec]	0.60	0.62	0.69
標準偏差	0.046	0.073	0.065
押し間違い [%]	8.5 %	9.1 %	7.8 %
視線移動 [回]	23 (9.4%)*	33 (13.3%)*	252 (102.8%)*
移動時間 [sec]	0.23	0.32	0.79

*: 括弧内は全情報提示回数に対する視線移動の割合

おり、表示する形状によっては作業速度に影響を及ぼすことが考えられる。そこで、実験 2 では、表示する形状の影響について調べる。

4.6 実験 2: 表示内容の複雑さが作業速度に及ぼす影響

実験 1 の結果から、「作業を継続しながら周辺視野に表示された内容を理解することができる」、ということが分かった。次に、周辺視野において情報を提示する場合、どの程度の情報であれば視線移動をとまわず（あるいは、ともなった場合でもタスク実行速度を低下させず）に認識することが可能か検討を行う。

4.6.1 実験方法

表 1 に示す 4 種類の記号に加え実際に携帯端末などで用いられるようなアイコンを 4 種類、さらにランダムに生成した 3 文字の文字列を提示しその内容を回答させる。それぞれの表示内容で各 3 分間実験を行った。色に関しては、人間の周辺視野の特性上、形状よりも識別が容易であることから、この実験では単色に限定した。

4.6.2 実験結果

表 3 に実験 1 で行った単純記号の実験結果とともにアイコン、3 文字のランダムな文字列を表示した際の平均タスク処理時間、タスクにおいて押し間違いが発生した割合、および視線移動回数と、視線移動が発生した際の平均移動時間（タスクから視線が外れ、表示を注視している時間）を示す。単純記号を表示した場合に対し、アイコンを表示した場合、平均 3.3 回の視線移動が発生しタスク処理時間が 0.02 秒遅く、文字列の場合、合計の情報提示回数より多い平均 25.2 回の視線移動が発生し 0.08 秒遅れた。t 検定（両側）を行ったところ、アイコンと単純記号では有意差は認められなかったが、単純記号と文字列の場合、有意水準 0.01 で有意差が認められた。

4.6.3 考察

実験 1 で行った単純形状よりも、複雑な形状（表 1, アイコン）を表示した場合に視線移動が多く発生した。被験者からは、「大体の形状は作業を行いながら確認できたが、アイコンの形状 1 と形状 2 が似ており、しっかり見ないと確認できなかった」とのコメントがあった。しかしながら、1 回あたりのタスク処理時間は 0.02 秒遅れたのみであり、有意差も認められなかった。一方で、文字列を表示した場

合、単純記号に対し 0.08 秒遅れた。また、視線移動もすべての表示で発生し、作業対象から周辺視野に提示された文字列を注視し、作業対象に戻るまで 1 回あたり平均 0.79 秒かかった。場合によっては、同じ表示を 2 回以上見直す場合もあり、複雑な情報が提示されると、被験者は視線を移動しなくてはならず、結果的に作業速度が低下することが分かった。このことから周辺視野にはじめから文字列のような詳細情報を表示した場合、それを確認するために、作業を阻害してしまうといえる。

4.7 議論

情報が提示されたことに確実に反応し、提示内容の判断はアイコンの形状によっては注視点を移動する必要があることが分かった。

また、周辺視野に提示した情報を確認するために視線移動が発生した場合でも、単純な情報であれば、平均 0.33 秒（最も長くかかった被験者で平均 0.49 秒）で注視位置が作業対象に戻っていることが分かった（実験 2）。このため、これ以上の時間表示内容を注視した場合は、提示されている情報を判断するのに必要な時間以上注視しているということが分かる。図 4 に示すようにこの 1 秒以下の短い滞留時間 T を利用し詳細情報に切り替えることで、Midas touch problem を防ぐことができる。

本提案手法は、頻繁な視線移動が発生する環境においてもユーザにとっては、注視位置に対してつねに相対的に固定された周辺視野領域に情報を提示されている。また周辺視野に単純な情報を提示している限り、作業自体の速度を有意に低下させないことも分かった（実験 1）。このため、周辺視野に提示された情報を注視し、詳細情報に切り替わったとしても元の作業対象は塞がない。また、周辺視野に表示されている情報も作業を阻害しないことから、不意な注視により、提示情報が切り替わっても問題になるとは考えにくい。また、このように一定時間以上注視されなくなった注視情報は表示を終了すればよく、表示情報の削除も注視情報を利用し行うことが可能である。

形状が類似しない、複雑になりすぎないなどの条件はあるが、詳細情報に切り替えるための数パターンのアイコン（重要度や、情報の属性など）を表示することでユーザが作業を中断しその情報を注視するか、作業を継続するかを作

業に負担をかけることなく判断することができることが分かった。

また、本提案手法はこれだけで万能な手法ではない。過去の View Management 問題に対する研究で提案されている各種手法 [24]、たとえば、背景に操作対象などの実物体がある場合は、その上に注釈情報を表示しない、などの手法と組み合わせることで、注釈情報が周辺視野領域で、実物体と重なってしまうことで、実物体を注視しているのか、注釈情報を注視しているのか、などの問題を防ぐことができると考えられる。

5. おわりに

本論文では、AR/MR システムにおいて、歩行などユーザの行動中（モバイル環境）における情報提示手法として、周辺視野領域を用いる Peripheral Vision Annotation method を提案した。また実験により、AR/MR において注視情報を View Management 問題に利用するための初歩的な知見を得た。初歩的ではあるが、周辺視野における提示情報の認識、その際の視線移動や、作業に与える影響など、一定の客観的事実を確認することができた。

さらなる発展としては、時間的な注視場所の遷移を利用することも考えられる。行動認識などと組み合わせ、ある行動における視線方向の移動頻度を計測し、その行動中によく注視される領域については、情報提示時に周辺視野領域であっても情報を提示しない、といった方法など、他の視覚特性やコンテキストを利用することも考えられる。また、本論文では、振動や音などのその他の刺激との併用は検討していないが、視覚以外の情報提示方法も行動を阻害しないように併用することも考えられる。

実験に用いた視線認識システムは、著者らの研究である将来的なモバイル環境でのユーザ支援としての利用 [11] を想定し、小型で軽量の構成を実現している。しかしながら 30 Hz とフレームレートが低く、固視微動などの高速眼球運動は計測できない。固視微動は集中度合いなど、より高次の人間の状態を計測できる [21] ということが分かってきていることから、提案手法を用いた際に固視微動がどのように変化するかを計測し、表示位置や方法に反映させるなどの応用が考えられる。また、これらを組み合わせ、実際に携帯情報端末を用いて、実生活の中で利用し、運転や歩行、調理などさまざまな環境で行動を阻害せずに情報を提示できるかを検討していく予定である。

謝辞 本研究は、特別研究員奨励費（課題番号 21-8596）「モバイル空間での利用に適した実世界指向インタフェースに関する研究」による。

参考文献

[1] 菅良辰二, 古賀一男, 中溝幸夫: 眼球運動の実験心理学, 名古屋大学出版会 (1993).

- [2] Xing, J. and Heeger, J.: D Center-surround interactions in foveal and peripheral vision, *Vision Research*, Vol.40, pp.3065-3072 (2000).
- [3] 高瀬正典, 岡嶋克典, 内川恵二: 周辺網膜における色光の明るさ, *光学*, Vol.20, No.7, pp.430-437 (1991).
- [4] 福田忠彦: 運動知覚における中心視と周辺視の機能差, *テレビジョン学会誌*, Vol.33, No.6, pp.479-484 (1979).
- [5] Rekimoto, J. and Nagao, K.: The World through the Computer: Computer Augmented Interaction with Real World Environments, *Proc. UIST'95*, pp.29-36 (2005).
- [6] Bell, B., Feiner, S. and Höllerer, T.: View management for virtual and augmented reality, *Proc. UIST'01*, pp.101-110, ACM Press (2001).
- [7] Nakamura, H. and Miyashita, H.: Control of augmented reality information volume by glabellar fader, *Proc. Augmented Human 2010*, pp.1-3, ACM Press (2010).
- [8] Leykin, A. and Tuceryan, M.: Automatic Determination of Text Readability over Textured Backgrounds for Augmented Reality Systems, *Proc. ISMAR 2004*, pp.224-230 (2004).
- [9] Layar Reality Browser, available from <http://www.layar.com/>.
- [10] Wikitude, available from <http://www.wikitude.org/>.
- [11] Ishiguro, Y., Mujibiya, A., Miyaki, T. and Rekimoto, J.: Aided eyes: Eye activity sensing for daily life, *Proc. Augmented Human 2010*, pp.1-7, ACM Press (2010).
- [12] 小松原明哲: ヒューマンエラー, 丸善 (2008).
- [13] Weiser, M. and Brown, J.S.: Designing calm technology, *PowerGrid Journal* (1996).
- [14] Julier, S.F. and Sestito, S.S.: Information Filtering for Mobile Augmented Reality, *Computer Graphics and Applications*, Vol.22, Issue 5, pp.3-11 (2002).
- [15] Carpendale, M.S.T., Sheelagh, M., Carpendale, T., Cowperthwaite, D.J. and Fracchia, F.D.: 3-Dimensional Pliable Surfaces: For the Effective Presentation of Visual Information, *Proc. UIST'95*, pp.217-226 (1995).
- [16] Jacob, R.J.K.: Eye movement-based human-computer interaction techniques: Toward non-command interfaces, *Advances in Human-Computer Interaction*, pp.151-190, Ablex Publishing Co. (1993).
- [17] 大野健彦: 視線インタフェースから視線コミュニケーションへ: 視線のある環境を目指して, 情報処理学会研究報告 HI, ヒューマンインタフェース研究会報告, Vol.2001, No.87, pp.171-178 (2001).
- [18] Anstis, S.M.: A chart demonstrating variations in acuity with retinal position, *Vision Research*, Vol.14, No.7, pp.589-592 (1974).
- [19] Shimizu, S. and Fujiiyoshi, H.: Acquisition of 3D gaze information from eyeball movements using inside-out camera, *Proc. Augmented Human 2011* (2010).
- [20] Mobile Spectacle-type Wearable Retinal Imaging, Display, available from <http://www.brother.com/en/news/2009/rid>.
- [21] Conde, S.M. and Macknik, S.L.: Windows on the mind, *Scientific American*, Vol.297, No.2, pp.56-63 (2007).
- [22] Azuma, R. and Furmanski, C.: Evaluating Label Placement for Augmented Reality View Management, *Proc. ISMAR '03*, IEEE Computer Society, Washington, DC, USA (2003).
- [23] Tenmoku, R., Kanbara, M. and Yokoya, N.: Intuitive Annotation of User-Viewed Objects for Wearable AR Systems, *Proc. ISWC '05*, pp.200-201, IEEE Computer Society, Washington, DC, USA (2005).
- [24] 岩倉寛幸, 松中正法, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行: モバイル複合現実感による災害時の設備復旧支援, 歴史都

市防災シンポジウム, B-3-2, pp.195-202 (2007).



石黒 祥生 (学生会員)

2005年豊田工業高等専門学校情報工学科卒業。2009年立命館大学大学院理工学研究科博士前期課程修了。現在、東京大学大学院学際情報学府博士課程在学中。複合現実感、実世界指向インタフェースの研究に従事。日本学術振興会特別研究員 (DC1)。ACM, 日本バーチャルリアリティ学会各会員。



暦本 純一 (正会員)

1986年東京工業大学情報科学科修士課程修了。1994年より株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所に勤務。2007年より東京大学大学院情報学環教授。理学博士。ヒューマンコンピュータインタラクション、特に実世界指向インタフェース、拡張現実感等に興味を持つ。1990年情報処理学会30周年記念論文賞, 1998年MMCAマルチメディアグランプリ技術賞, 1999年情報処理学会山下記念研究賞, 2003年日本文化デザイン賞, 2005年iF Communication Design Award, 2007年ACM SIGCHI Academy, 2008年日経BP技術賞等を受賞。