

ウェアラブルコンピューティング環境における 周辺環境を考慮した装着型ディスプレイへの情報提示手法

中尾 誠幸¹ 寺田 努^{1,2} 塚本 昌彦¹

概要: 装着型ディスプレイ (HMD: Head Mounted Display) 装着時において, HMD を注視できる度合いは周囲の環境によって異なる. そこで本研究では, 周囲の環境に基づく注視可能時間の変化に応じて情報の提示方法を適宜変化させることで, 環境に応じた安全かつ低負荷な情報提示手法を提案する. そのために, まず視線計測装置を用いて HMD の注視状況およびそれに伴う眼精疲労を測定し, 周辺環境と注視時間や眼精疲労の関係を明らかにする. 次にその結果に基づいて情報提示手法を提案する.

キーワード: ウェアラブルコンピューティング, 装着型ディスプレイ, 視線計測, 眼精疲労, 情報提示

An Information Presentation Method for Wearable Displays Considering Surrounding Conditions in Wearable Computing Environments

MASAYUKI NAKAO¹ TSUTOMU TERADA^{1,2} MASAHIKO TSUKAMOTO¹

Abstract: In wearable computing environments, the time duration to gaze a Head Mounted Display (HMD) strongly depends on surrounding environmental context. We propose a method that enable users to acquire necessary information safely by changing the presentation method according to context. In this research, we clarify the relationship among surrounding contexts, the condition of gazing at HMD, and eye strain, by using an eye tracker device. Then, we design our method to change the presentation method based on the evaluation results.

Keywords: Wearable computing, Head Mounted Display, Gaze measurement, Eyestrain, Information presentation

1. はじめに

近年, コンピュータの小型化・高性能化に伴いコンピュータを常時身につけるウェアラブルコンピューティングが注目されている. ウェアラブルコンピューティング環境では常時情報を閲覧するために頭部装着型ディスプレイ (HMD: Head Mounted Display) に情報を提示することが多い. しかし, HMD を注視できる度合いは周囲の環境やユーザの行動によって異なる. 例えば, 静止時は HMD を

注視できるが, 人ごみを歩行する時は周囲に注意しながら HMD を閲覧しなければならないため, HMD に対する注視時間が短くなり十分な情報を得られないことがある. また, HMD は常時情報を閲覧できる反面, 見続けることによる眼精疲労も問題となりうる.

そこで本研究では, 周囲の環境に基づく注視可能時間の変化に応じて情報の提示方法を適宜変化させることで, 環境に応じた安全かつ低負荷な情報提示手法を提案する. そのために, まず視線計測装置を用いて HMD の注視状況およびそれに伴う眼精疲労を測定し, 周辺環境と注視時間や眼精疲労の関係を明らかにする. 次にその結果に基づいて情報提示手法を提案する.

¹ 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University
² 科学技術振興機構さきがけ
PRESTO, Japan Science and Technology Agency

HMD を装着して様々な環境における HMD の注視状況を測定した結果、人ごみや階段などでは、HMD を常に注視するのが困難な場合があることが確認できた。また、HMD の使用に伴う眼精疲労を測定することで、HMD 注視時だけでなく非注視時も疲労を伴い、HMD と周辺部の視線移動も疲労をもたらすことがわかった。これらの測定結果に基づき、HMD 上の提示内容を変化させる手法を提案し、実装した提案システムを実環境において使用することで評価した。評価結果から、HMD の注視が困難な環境において、情報を効率良く得られない手法があり、提示内容を変化させる必要があることがわかった。また、HMD 上に連続した注視が必要となるコンテンツを表示した場合、注視が困難な環境であっても注視率が高くなることがわかった。このことから、環境変化だけでなく、HMD への情報提示手法によって注視率が変化することがわかった。

本稿は以下のように構成されている。2 章で関連研究について記述し、3 章で予備実験について述べる。4 章では提案手法と実装について記述し、5 章で評価と考察を行い、最後に 6 章でまとめを行う。

2. 関連研究

情報提示に関する研究の分野では、HMD の表示方法を変化させ、それらを音声による提示と比較して最適な情報提示手法を評価する試み [1] がある。この研究において、視覚メディアの認識度と快適度はトレードオフの関係であり、静的な環境下においては音声による情報提示が最も適しているということがわかっている。視覚による情報提示と音声による情報提示をスムーズに切り替えることは難しいため、提示する情報を適宜変化させる本研究では HMD による視覚的な情報提示のみを用いるが、この研究における視覚的な情報提示部分に提案手法を適用することでより伝わりやすい情報提示が行えると考えられる。

HMD への情報提示を活用した研究も多数ある。イベントなどの司会進行を行う際、HMD に台本や指示などを表示してスムーズな司会進行を支援するシステム [2] や、HMD を用いて着ぐるみ装着者の支援を行うシステム [3] がある。着ぐるみ装着者の視界は制限されており、コミュニケーションを行うことが難しいが、このシステムを用いることで視界を拡張でき、スムーズなコミュニケーションを行える。

本研究における HMD への情報提示手法は周辺環境にあわせて変化させるが、田中らは広角カメラを用いて HMD の背景を評価し、HMD 上で情報の表示に適した領域を決定するアルゴリズムを提案している [4]。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取りにくいという問題があった。この研究では、HMD の背景にあわ

せて情報の表示に適した領域を決定することで、ユーザが情報を見逃しにくくなる。

他にも、身体動作に基づいて提示情報を切り替える AR システム [5] がある。この研究は、加速度センサを用いることによってユーザの身体動作をコンテキストとして利用し、それに基づいて適切に AR 上の情報提示を切り替えるものであるが、周辺環境を考慮した試みは行われていない。また、時間帯や天気、同伴者などユーザの周辺状況に応じて適切な情報を提示するシステム [6] が存在するが、このシステムは HMD を用いておらず、HMD の注視状況を考慮した上で情報提示を行っていない。

HMD 使用時の疲労に関する研究としては、単眼 HMD を長時間にわたって使用した際の負担の変動について VDT を対象条件として比較検討した研究 [7] や、単眼 HMD の視機能に及ぼす影響と眼精疲労の発現について、他のモバイル表示端末と比較検討を行った研究 [8] がある。

本研究では、最適な情報提示方法を決定するために視線を用いて調査を行なっているが、視線を用いた研究は多数存在する。ウェアラブルコンピューティング用のインタフェースとして触覚情報で視覚情報を補助する触覚デスクトップを提案している研究 [9] がある。この研究では、様々な環境下における HMD の注視状況を調査しており、その結果をもとに注視状況に合わせて情報提示を変化させる手法を提案している。しかし、この研究で行われた調査の範囲は狭く簡易なものであり、また眼精疲労を考慮していない。

3. 予備実験

周辺状況に応じた安全かつ低負荷な情報提示を実現するために、環境ごとの HMD 注視状況と HMD の使用に伴う眼精疲労を測定する。

3.1 HMD 注視状況の測定

周辺状況に応じた情報提示を実現するため、様々な環境下における HMD の注視状況を測定する。

3.1.1 視線の検出方法

HMD の注視状況を測定するために、本研究では株式会社ナックイメージテクノロジーのアイマークレコーダ EMR-9[13]を使用した。この装置は画像処理型の視線計測装置で、眼球撮影用の超小型カメラと外界撮影用の超小型カメラが一体となった構造となっており、視線の座標と被験者の視界に視線情報を重畳表示した動画を保存する。目に赤外線を照射し、カメラでその反射像と黒目の部分を検出することによって眼球の動きを追跡し、外界の映像と眼球の動きを合成して装着者の視線を観測することが可能である。実環境下での視線の動きを追跡する用途を想定して携帯性重視の設計が行われているため、ウェアラブル環境における注視状況取得に適している。

3.1.2 コンテンツの分類

HMD の注視状況は、表示されるコンテンツによって異なる可能性がある。本研究では、提示されるコンテンツを以下の3つに分類する。

- (1) **常時注視型コンテンツ**: 動画やテロップなど情報を得るために常時注視が必要なコンテンツである。操作なしに多くの情報を閲覧できるが、視線を外している間は情報が取得できない。
- (2) **能動操作型コンテンツ**: ウェブコンテンツやメール内容など、自分で読み進めるボタンを押すなどの操作を行わない限り、画面変化が起きないコンテンツである。情報の取得に操作が必要だが、視線を外しても復帰が容易である。
- (3) **アラート型コンテンツ**: 何かのイベント発生により提示されるコンテンツである。常時注視する必要はないが、アラート内容が緊急情報の場合など提示されていないかどうかを頻りにチェックする必要がある。

この3つのうち、情報を見落とす可能性がある(1)と(3)がどの程度周辺状況の影響を受けるかを調査する。

3.1.3 実験方法

様々な環境下における HMD の注視状況を測定し、分析する。HMD は島津製作所の DATA GLASS 3/A を用いる。

予備実験では、被験者に HMD の注視が必要なタスクを2種類行わせた。1つは、画面上をランダムに動くターゲットを図2に示すハンドヘルドマウスを用いてカーソルを追随させるタスク(タスク1: 図1(a))である。HMD の画面解像度は 800×600 ピクセルで、半径 50 ピクセルの黒い円状のターゲットを用いる。ターゲットの目標地点をランダムで4秒ごとに変更し、4秒かけて到達させる。タスク中はターゲットとカーソルの座標が常に記録される。このタスクを行うことによって、常時注視型コンテンツを HMD に提示している場合における注視状況を測定できる。もう1つは、画面にランダムな時間間隔で点滅表示されるアラートに、ボタンを押すことで反応させるタスク(タスク2: 図1(b))である。アラートが発生して3秒経つと反応失敗としてアラートは消える。アラートの表示時間間隔は平均到着率 $\lambda = 10$ のポアソン分布に従い、タスク中はアラートが発生した時刻と被験者がボタンを押した時刻が記録される。このタスクを行うことによってアラート型コンテンツを HMD に提示している場合における注視状況を計測できる。

被験者は20代の男子大学生4人で、図3に示すように HMD と視線計測装置を装着し、タスクを行う。場所は大学の屋外で、被験者は決められたルートでタスクを行いながら歩く。ルートは坂、階段、人ごみを含み、昼間に行った。

3.1.4 実験結果

HMD の注視率をまとめた表を表1に、平均注視時間を表2に、平均視線移動回数を表3に示す。なお、平均視線

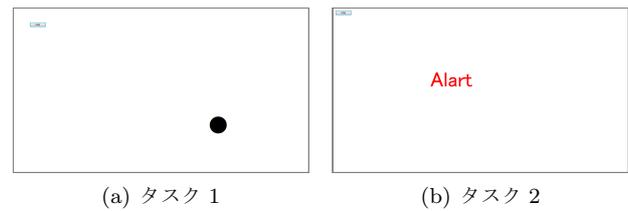


図1 注視状況の測定におけるタスク
 Fig. 1 Tasks in the measurements of the gaze.



図2 ハンドヘルドマウス
 Fig. 2 Handheld mouse.
 図3 装置の装着例
 Fig. 3 A snapshot of wearing equipment.

表1 HMD 注視率 (%)
 Table 1 Rate of gazing at HMD (%).

	静止	平地	坂	人ごみ	階段
タスク1	100	100	98.76	78.27	79.67
タスク2	100	76.86	89.81	64.77	64.60

表2 平均 HMD 注視時間 (秒)
 Table 2 Average time of gazing at HMD (sec).

	坂	人ごみ	階段
タスク1	10.82	3.79	2.37
タスク2	10.73	1.08	1.20

表3 平均視線移動回数 (回/分)
 Table 3 Average number of eye movement (times/min).

	坂	人ごみ	階段
タスク1	1.00	15.44	15.00
タスク2	13.33	20.67	24.67

移動回数における視線移動回数とは、HMD と周辺環境との注視の切り替わり回数を表す。

実験結果より、タスクや場面ごとにおける注視状況について考察する。なお、全ての場面でタスク1よりもタスク2のほうが注視率が低いが、これはタスク2が連続した注視を必要としないためである。まず、タスク1について述べる。このタスクではターゲットやカーソルをいったん見失うと、HMD 上に視線を戻した際にそれらを探す必要があるため、HMD 上から視線が外れていた時間以上のロスが発生する。そのため、全体的な注視時間が長い場合でも、頻りに視線移動を行なっている場合はターゲットにカーソルを追随できていなかった。

坂でタスク1を行った際の注視状況とタスクの継続判定

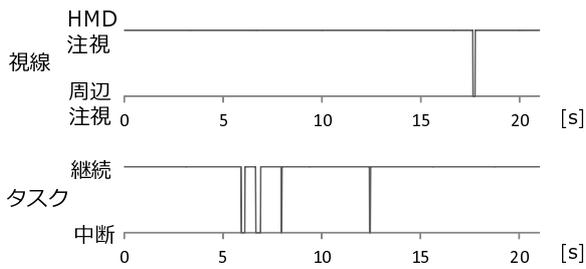


図 4 注視状況とタスク継続状況 (タスク 1-坂)
Fig. 4 Status of gazing and task (Task1-slope).

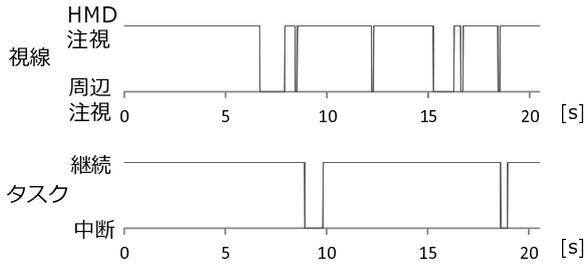


図 5 注視状況とタスク継続状況 (タスク 1-人ごみ)
Fig. 5 Status of gazing and task (Task1-crowds).

のグラフを図 4 に示す。タスクの継続判定は、カーソルとターゲットの中心との距離が 75 ピクセル以下の場合に継続とし、それ以上の場合には中断として行なっている。視線のグラフは HMD 注視時に上に推移し、非注視時に下に推移するように記述した。タスクのグラフはタスクの継続時に上に推移し、非継続時に下に推移する。静止中やまわりに障害物がなく見通しのよい道や坂を歩行している状況では、タスクを継続して行うことができた。

人ごみでタスク 1 を行った際の注視状況とタスクの継続判定のグラフを図 5 に示す。人ごみの中であっても前方に人がいなければ、多少注視が HMD から外れる場合があるがほぼ問題なくタスクを続けることができた。HMD を注視している場合も曖昧にはあるが周囲を把握できるためであると考えられる。しかし、前方の近距離に人がいる状況や扉から急に人が現れた状況では、しばしばタスクを継続して行えない場合があった。これは、HMD を注視している際に、前方に人がいることは把握できるが遠近感をつかむことが難しく、距離感覚をつかむために前方の人を注視する必要があったためであると考えられる。

また、階段などの足場が悪い状況においてもタスクの継続が困難な場面がみられた。階段でタスク 1 を行った際の注視状況とタスクの継続判定のグラフを図 6 に示す。HMD を注視している際は前方の視界を曖昧にしか得られないため、足元の詳細な情報を得ることができない。階段を躓かずに上るために階段の開始位置、1 段の高さ、幅、表面 (凹凸) などの情報を視覚から得る必要がある。そのため、階段の上り始めや上り終わり、下り始めや下り終わりにおいて、度々 HMD を注視できないことがあった。それ以外で

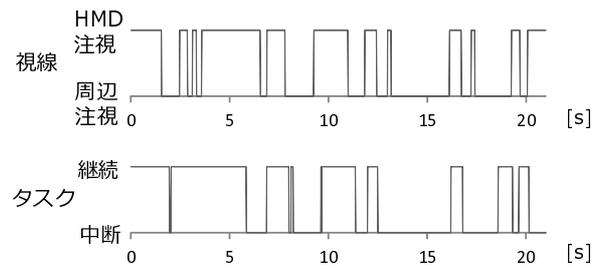


図 6 注視状況とタスク継続状況 (タスク 1-階段)
Fig. 6 Status of gazing and task (Task1-stairs).

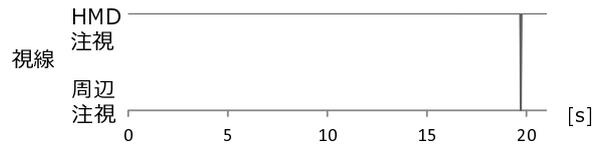


図 7 注視状況とタスク継続状況 (タスク 2-坂)
Fig. 7 Status of gazing and task (Task2-slope).

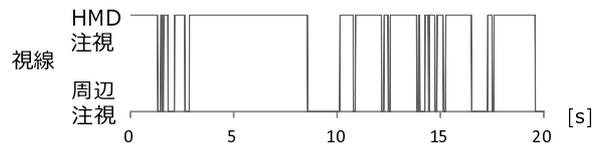


図 8 注視状況とタスク継続状況 (タスク 2-人ごみ)
Fig. 8 Status of gazing and task (Task2-crowds).

はタスクを継続して行っていた。理由として、時間経過によって階段の 1 段の高さや間隔などを体で覚えることができ、足元を注視する必要がなくなったためであると考えられる。

タスク 1 の実験より、人ごみや階段などでは HMD を連続して注視するのが困難であるため、連続した注視を必要とする情報提示は適しておらず、情報提示方法を変える必要があることがわかる。

次に、タスク 2 について述べる。坂、人ごみ、階段におけるタスク実行時の注視状況のグラフをそれぞれ図 7、図 8、図 9 に示す。また、タスクに対する平均反応時間を表 4 に示す。アラートは表示されて一定時間経つと消滅するが、あらゆる環境においてアラートに反応できており、見逃していることはなかった。静止中や周囲に障害物がなく見通しのよい道や坂を歩行している際はアラートに素早く反応できたが、人ごみの中や階段ではアラートへの反応が遅れる場面がみられた。反応が遅れた理由として、被験者の前に急に人が現れた際にその人を注視してしまったり、階段を登る際に足元を確認する必要があったためであると考えられる。しかし、遅れ度合いは大きくなく、全てのアラートに反応できているため、HMD を注視し続けることが困難な環境であってもアラートに反応できることがわかった。

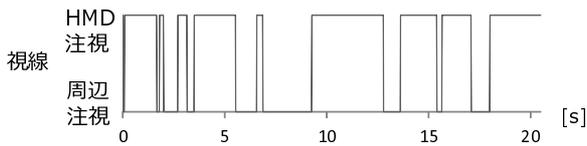


図 9 注視状況とタスク継続状況 (タスク 2-階段)
Fig. 9 Status of gazing and task (Task2-stairs).

表 4 タスク 2 における平均反応時間 (秒)

Table 4 Average of reaction time in Task2 (sec).

静止	平地	坂	人ごみ	階段
0.81	1.17	1.06	1.27	1.35

3.2 眼精疲労の測定

HMD は映像が近距離に表示されるため、注視の際に眼精疲労を引き起こす可能性がある。また、HMD のディスプレイは非常に明るいため、HMD を全く注視していない状況でも HMD からの光が眼精疲労を引き起こす可能性がある。さらに、HMD はあらゆる環境下で使用できるが常に注視できない場合、視線移動が激しくなり眼精疲労を引き起こす可能性がある。HMD の映像と周囲の障害物との焦点距離は大きく異なるため、視線の移動は目の調節機能にも負担を与える可能性がある。

3.2.1 眼精疲労の測定方法

眼精疲労の計測方法には、身体的疲労を測定する方法と精神的疲労を測定する方法の 2 つの方法が考えられる。身体的疲労は医療機器 [14] を用いて測定を行い、モニターを使った作業における疲労度合いを調べる方法 [15] がある。精神的疲労は鵜飼らによる質問 [16] や自覚症状調べ [17] などアンケートを用いて調べる方法がある。本研究では、アンケートを用いて精神的疲労を計測することで眼精疲労を計測する。鵜飼らの質問は、日本眼科医会の VDT 症候群診断基準の疲労に関する項目などを参考に、「眼精疲労」、「動揺病 (映像酔い)」、「目の表面の状態」に関する可能性がある項目をあわせて 28 項目選んだものである。自覚症状調べは、日本産業衛生学会産業疲労研究会によるものであり、ねむけとだるさ、注意集中の困難性、身体違和感の 3 因子の症状群に分類されており、各因子 10 項目ずつ 30 項目からなる。

3.2.2 実験方法

疲労を計測するため、HMD を装着した 4 名の被験者を椅子に座らせ、以下の 3 つの動作を異なる日に 3 分間ずつ行わせる。この際、HMD 上には一定間隔で図 1(b) に示すアラートの文字を表示する。被験者に対して、実験の前後で鵜飼らによる質問と自覚症状調べについてのアンケート調査を行った。

動作 1: 常に HMD 以外の周辺部を見て HMD を注視しない。

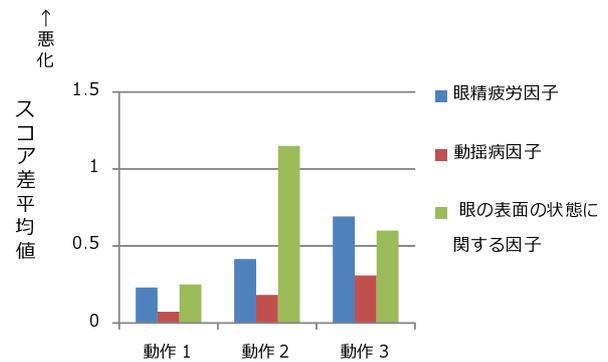


図 10 鵜飼らの質問の実験結果

Fig. 10 Experimental results of the questions from the Ukai.

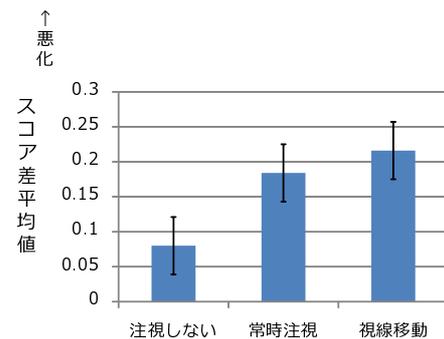


図 11 自覚症状調べの実験結果

Fig. 11 Experimental results of the examination of subjective symptoms.

動作 2: 常に HMD を注視し、視線移動を行わない。

動作 3: アラートが表示されていない場合は HMD 以外の周辺部を見て、アラートが表示された場合はアラートを注視する。

動作 1 では、HMD への表示が行われるが、それを注視せず周辺部を注視している際の疲労を計測でき、動作 2 では、HMD の注視に伴う疲労を計測することができる。動作 3 では、HMD と HMD 以外の周辺部との間の視線移動に伴う疲労を計測することができる。

鵜飼らの質問項目において、「まったくない」ならば 1 点、「非常にそう思う」ならば 7 点とした。自覚症状調べの項目においては「まったくあてはまらない」ならば 1 点、「非常によくあてはまる」ならば 5 点とした。各スコアについて有意水準の 5% の t 検定を行い、動作を行う前後の有意差を判定した。

3.2.3 実験結果

鵜飼らの質問項目を各因子にまとめて、実験前後でスコア差平均値を求めたものを図 10 に示し、自覚症状調べの各項目をまとめて、実験前後でスコア差平均値を求めたものを図 11 に示す。

動作 1 の結果について述べる。図 10 より、鵜飼らの質問の因子について t 検定を行ったが、実験前後で有意差は

みられなかった。質問項目のうち、「目が疲れている」の項目や、自覚症状調べの「目がかれる」の項目で悪化がみられたが、個別に t 検定を行った結果では有意差がなかった。動作 1 を行うことによる疲労は被験者によって大きく異なり、ほぼ悪化していない被験者がいた反面、多数の項目が悪化している被験者もいた。よって、HMD を使用しない場合は HMD の表示を行うべきでないといえる。

動作 2 の結果について述べる。図 10 より、鵜飼らの質問の「眼の表面に関する因子」と「動揺病因子」について t 検定を行ったところ、実験の前後で有意差がみられた (いずれも $p < 0.05$)。自覚症状調べの項目全体でも t 検定を行ったところ、有意差がみられた ($p < 0.01$)。項目別では、鵜飼らの質問項目の「目がちかちかする」の項目で有意差がみられた ($p < 0.05$)。自覚症状調べの「目がかれる」の項目では悪化が見られたが、有意差はみられなかった。これらの結果から、HMD を注視し続けると眼精疲労を引き起こすといえる。

動作 3 の結果について述べる。図 10 より、鵜飼らの質問の「眼精疲労因子」と「眼の表面に関する因子」で t 検定を行ったところ、有意差がみられた (眼精疲労因子: $p < 0.01$, 眼の表面に関する因子: $p < 0.05$)。また、自覚症状調べの項目全体で t 検定を行ったところ、有意差がみられた ($p < 0.05$)。項目別では、鵜飼らの質問項目の「目がちかちかする」の項目で有意差がみられた ($p < 0.05$)。自覚症状調べの「目がしょぼつく」「目がかわく」の項目では悪化がみられたが、有意差はみられなかった。よって、HMD と周辺部との視線移動は眼精疲労を引き起こすといえる。また図 10 より、視線移動は HMD を連続して注視する以上の眼精疲労を引き起こすことがわかる。

4. 適応的情報提示手法の設計と実装

注視状況と眼精疲労に関する予備実験の結果に基づいて、以下に挙げる 4 つの状況を考慮した安全かつ低負荷な HMD への情報提示手法を提案する。

状況 1: 連続した注視が可能である。

状況 2: HMD 以外の部分に注意を払う必要があり、連続した注視がやや困難である。

状況 3: 連続した注視が困難である。

状況 4: 全く注視できない。

本研究では、上記の各状況に対し、3 章でとりあげた 3 つのコンテンツを割り当てて情報提示を行う。以下、コンテンツの種類ごとの具体的な情報提示手法について述べる。

常時注視型コンテンツ

常時注視型コンテンツとして、テキストを一定速度で右から左にスクロールして表示させるテロップを用いる (図 12(a))。連続した注視を必要とするが、見逃した場合はテ

キストを巻き戻すことができる。

能動操作型コンテンツ

能動操作型コンテンツでは、以下の 3 つの情報提示手法を用いる。1 つめはテキストを一文のみ表示させ、入力を受け付けると次の行を表示させる手法である。これを「文送り」とする (図 12(b))。読むペースをユーザが決定できるため、見逃すことがない。2 つめはテキスト全文を小さな文字で表示させる。表示しきれない部分はスクロールさせることで表示させる。この情報提示手法を「全文表示 (小)」とする (図 12(c))。一度に多くのテキストを表示できるが、視線を外すと見ていた場所を見失う場合がある。3 つめはテキスト全文を大きな文字で表示させる。表示しきれない部分はスクロールさせることで表示させる。この情報提示手法を「全文表示 (大)」 (図 12(d))。一度に表示できるテキストの量は少ないが、視線を外しても見ていた場所を見失いにくい。

アラート型コンテンツ

アラート型コンテンツとして、アラートを画面右上に表示させる情報提示手法を用いる (図 12(e))。この手法は常時 HMD を注視する必要がない。また、アラート型コンテンツは、他の 4 つの情報提示手法と組み合わせて使用されると想定する。

4.1 提示手法の選択

状況 1 ではテロップとアラートを用いる。状況 2 では、文送りもしくは全文表示 (小)、全文表示 (大) とアラートを用いる。これにより、HMD 以外に視線を移しても大事な部分を見逃すことを避けられる。状況 3 では、視線移動が増えて眼精疲労が起こるため、アラートのみを用いる。状況 4 では、HMD の画面の光による眼精疲労を避けるため、画面を表示しない。

4.2 実装

これまでに得られた結果をもとに周辺環境を考慮した情報提示手法のプロトタイプシステムを実装した。使用した PC は lenovo 社の ThinkPad X220i (CPU: Core i3-2310M 2.1GHz × 2, メモリ: 4GB) で、HMD は島津製作所の DATA GLASS 3/A を用いた。入力デバイスは図 2 に示すハンドヘルドマウスを用いた。ソフトウェア部分は、Microsoft 社の Visual C # で構築した。

5. 評価実験

本章では、提案した適応的な情報提示手法を用いた場合の各環境における注視状況を測定することで、適応的な情報提示がうまく働いているかを評価する。ただし、本実験では自動的にシステムが状況を判断する機構は備えておら

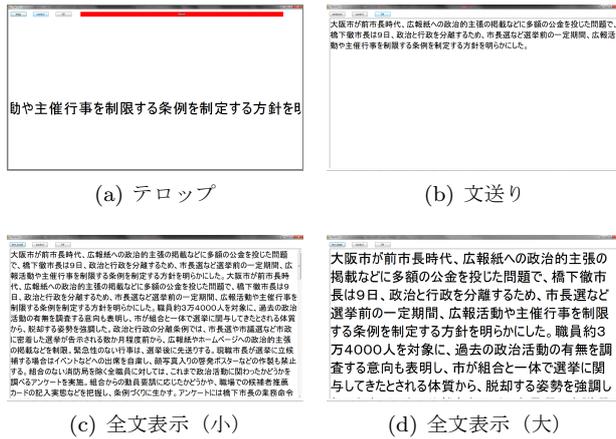


図 12 情報提示手法

Fig. 12 Information presentation method.

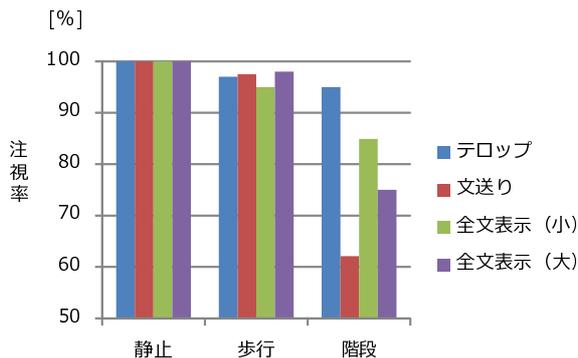


図 13 注視率

Fig. 13 Gaze rate.

ず、ユーザが周辺状況にあわせて情報提示を自主的に変化させることとした。

5.1 実験方法

被験者 2 人に提案システムを使用させ、静止、歩行、階段昇降の 3 つの動作をさせた。その際の HMD の注視率とテキストの既読文字数を測定することで、各動作における最適な情報提示手法を調べた。実験場所は屋内で、各情報提示は 1 分ずつ行った。

5.2 実験結果

注視率の結果のグラフを図 13、既読文字数の結果のグラフを図 14 に示す。

まず、静止時について述べる。注視率はすべての情報提示手法も 100 % であった。既読文字数の差は小さく、ほぼ

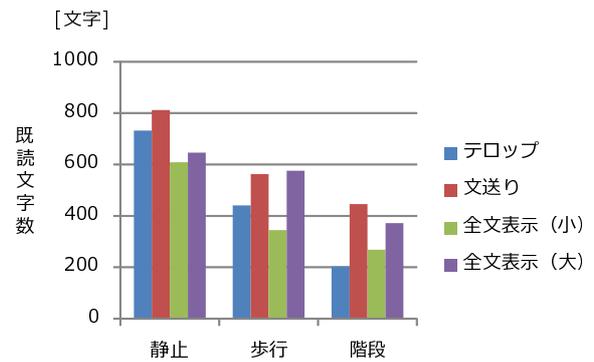


図 14 既読文字数

Fig. 14 Number of characters read.

等しいといえる。また、すべての情報提示手法でアラートに反応できていた。よって、静止時はすべての情報提示手法を使用できることを確認した。

次に、歩行時について述べる。歩行時は、周辺部を注視することがあるため、すべての情報提示手法の注視率は静止時と比較して同程度低下し、差は見られなかった。既読文字数もすべてにおいて静止時より低下し、特に、全文表示 (小) が大きく低下した。全文表示 (小) は文字が小さいため、周辺部を見た後に HMD を見た際、前に見ていた場所を見失ったためであると考えられる。また、すべての情報提示手法でアラートに反応できていた。したがって、歩行時は全文表示 (小) を使用すべきでないことがわかる。

次に、階段昇降時について述べる。文送り、全文表示 (小)、全文表示 (大) の注視率が歩行時より低下したが、テロップの注視率は低下しなかった。その理由として、テキストを読むために HMD を見続ける必要があったためであると考えられる。注視率は低下しなかったが、その分、周辺部を注視することができず危険であった。そのため、階段でテロップを提示すべきでないといえる。文送りの注視率が歩行時より大きく低下したが、既読文字数はあまり低下しなかった。したがって、周辺部を注視する余裕があり、かつ、HMD を効率良く注視できていたといえる。全文表示 (大) の既読文字数が歩行時より大きく低下し、全文表示 (小) とほぼ等しくなった。また、すべての情報提示手法でアラートに反応できていた。したがって、階段では文送りをを用いるべきであるとわかった。しかし、階段でテキストを読むことはできるが、非常に困難で危険であるという意見があった。また、文送り、全文表示 (小)、全文表示 (大) を行った際の被験者の視線移動は多く、眼精疲労が起る。眼精疲労の観点から考察すると、これらの情報提示手法を使用すべきでなく、アラートのみを表示させるべきである。

評価実験の結果より、4 章で述べた情報提示には修正が必要であることがわかる。具体的には、歩行時は状況 2 にあてはまるが、全文表示 (小) を使用すべきでないといわ

たため、文送りもしくは全文表示(大)の情報提示を使用する。また、階段は状況3にあてはまるため、アラートのみを表示させる。

6. まとめ

本研究では、ウェアラブルコンピューティング環境においてHMDの注視状況を環境ごとに測定し、また、HMDの使用に伴う眼精疲労を測定することで、周辺環境を考慮した装着型ディスプレイへの情報提示手法を提案した。予備実験において、注視状況の測定では、人ごみや階段などでHMDを常に注視するのが困難な場合があることが確認できた。HMDの使用に伴う疲労を測定することで、HMD注視時だけでなく非注視時も疲労を伴うことがわかった。また、HMDと周辺部の視線移動が眼精疲労をもたらすことがわかった。

予備実験をもとに、注視状況ごとに情報提示手法を提案し、そのシステムを実環境で用いることで、注視状況だけでなく、周辺環境を考慮した情報提示手法を提案した。

今後の課題として、さらに複数の環境において測定を行う必要がある。今回は坂、人ごみ、階段に限定して測定を行ったが、明るい場所と暗い場所の比較や、歩行時と走行時の比較など、他にも様々な場合が考えられるため、さらに多くの条件下で測定を行う予定である。また、今回は環境ごとにおける情報提示を提案したのみで、環境が変わる際の情報提示の切り替えをスムーズに出来るかを考慮しなかったため、今後、検討する予定である。眼精疲労の測定にアンケート調査を行ったが、より正確な測定のために医療機器を用いることを検討する。情報提示については、今回テキストのみで実験を行ったが、他のパターンの情報提示手法を提案し評価を行う。

謝辞 本研究の一部は、科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業(さきがけ)および文部科学省科学研究費補助金基盤研究(A)(20240009)によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 津村弘輔, 井上亮文, 加藤淳也, 住谷哲夫, 重野 寛, 岡田謙一: ウェアラブルコンピュータに適した最適な情報提示方法の評価, 情報処理学会研究報告, Vol. 2005, No. 49, pp. 13-18 (May 2005).
- [2] 岡田智成, 山本哲也, 寺田 努, 塚本昌彦: ウェアラブルMCシステム: 司会進行を支援するウェアラブルシステムの設計と実装, コンピュータソフトウェア, Vol. 28, No. 2, pp. 162-171 (May 2011).
- [3] 岡崎辰彦, 寺田 努, 塚本昌彦: 身体性を考慮した着ぐるみ装着者支援システム, 日本ソフトウェア科学会第19回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(WISS2011) 論文集, pp. 108-113 (Dec. 2011).
- [4] 田中宏平, 岸野泰恵, 宮前雅一, 寺田 努, 西尾章治郎: 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, 情報処理学会論文誌, Vol. 48, No. 4, pp. 1848-1858 (Apr. 2007).

- [5] 高田大輔, 小川剛史, 清川 清, 竹村治雄: 身体動作に基づき提示情報を切り替えるコンテキストウェアなウェアラブルARシステム, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 12, No. 1, pp. 47-56 (Feb. 2010).
- [6] 奥 健太, 中島伸介, 宮崎 純, 植村俊亮: 状況依存型ユーザ嗜好モデリングに基づくContext-Aware情報推薦システム, 情報処理学会論文誌. データベース, Vol. 48, No. SIG11(TOD34), pp. 162-176 (June 2007).
- [7] 戸上英憲, 佐藤教昭, 橋本正浩, 駒田裕之, 泉 博之, 神代雅晴, 坂下哲也: 単眼HMD長時間使用時における負担の変動, 日本人間工学会大会講演集, Vol. 42, pp. 364-365 (June 2006).
- [8] 岩崎常人, 田原昭彦: 単眼ヘッドマウント型ディスプレイの眼に対する影響, 日本人間工学会大会講演集, Vol. 42, pp. 132-133 (June 2006).
- [9] 沖野将司, 寺田 努, 塚本昌彦, 義久智樹: ユーザの状況を考慮した触覚情報によるウェアラブル入出力支援システム, 情報処理学会研究報告. UBI, Vol. 2008, No. 18, pp. 17-24 (Feb. 2008).
- [10] T. Jebara, B. Schiele, N. Oliver, and A. Pentland: DyPERS: Dynamic Personal Enhanced Reality System, *Proc. of the M.I.T. Media Lab. Perceptual Computing Section Technical Report*, No. 468 (May 1998).
- [11] 堀 泰浩, 吉高淳夫: 眼球運動に基づく動的フレームレートでの視覚情報の獲得, 情報処理学会研究報告, Vol. 2004, No.14, pp. 9-16 (Feb. 2004).
- [12] 久野悦章, 八木 透, 藤井一幸, 古賀一男, 内川嘉樹: EOGを用いた視線入力インタフェースの開発, 情報処理学会論文誌, Vol. 39, No. 5, pp. 1455-1462 (May 1998).
- [13] Eye Mark Recorder EMR-9, http://eyemark.jp/product/emr_9/index.html.
- [14] 株式会社ニデック 眼調節機能測定ソフトウェア AA-2, <http://www.nidek.co.jp/products/examination/aa-2.html>.
- [15] モニターを使った作業(VDT作業)と疲労度合いについて, <http://www.eizo.co.jp/products/tech/files/2008/WP08-001.pdf>.
- [16] 大野さちこ, 鶴飼一彦: Head Mounted Displayをゲームに使用して生じる動揺病の自覚評価, 映像情報メディア学会誌: 映像情報メディア, Vol. 54, No. 6, pp. 887-891 (June 2000).
- [17] 日本産業疲労研究会ホームページ, <http://square.umin.ac.jp/of>.