

装着デバイス間の直接通信によるウェアラブル コンピューティングの信頼性確保手法について

寺田 努^{†1,†2} 柳沢 豊^{†3} 塚本 昌彦^{†1}
武田 誠二^{†1} 岸野 泰恵^{†3} 須山 敬之^{†3}

ウェアラブルコンピューティングを医療や航空などの分野で用いる場合、物理的なデバイス故障やシステムハングアップによる情報提示の中断が深刻な問題を引き起こす可能性がある。そこで本研究では、ハングアップ等のトラブル時に入出力デバイスをバイパスすることで情報提示を継続する枠組みを提案する。提案方式は、認知度が高くなるように情報変換を行う機構を備えるため、トラブル時でも途切れなく情報提示を継続できる。

On Achieving Dependability for Wearable Computing by Device Bypassing

TSUTOMU TERADA,^{†1,†2} YUTAKA YANAGISAWA,^{†3}
MASAHIKO TSUKAMOTO,^{†1} SEIJI TAKEDA,^{†1}
YASUE KISHINO^{†3} and TAKAYUKI SUYAMA^{†3}

On using wearable computing for medical care and aviation safety, halts of information presentation by hardware/software troubles lead to serious problems. We propose a mechanism that continues information presentation by I/O device bypassing. Our method selects appropriate data converters considering recognizability to present information that is easily understandable to users.

†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

†3 NTT コミュニケーション科学基礎研究所

NTT Communication Science Laboratories

1. はじめに

コンピュータの小型化・高性能化に伴い、コンピュータを装着して常時情報支援を受けるウェアラブルコンピューティングに注目が集まっている。ウェアラブルコンピューティングでは各種の生体情報を取得するセンサや装着型情報提示デバイスを用いることで、ハンズフリーで安全かつ便利に情報支援を受けられる。このような特徴をもつため、ウェアラブルコンピューティングは医療現場や救助活動、軍事活動、建設現場などクリティカルな分野を含めた様々な応用が期待されており、ビジネスとしても大きな可能性を秘めている。

一方、ウェアラブルコンピューティングは従来のコンピューティングスタイルと異なり、多様な装着機器の組合せへの対応の必要性、物理的な故障の多さといった特徴がある。例えば、図1に示す手術支援システムでは、内視鏡手術で医者がHMDを装着し、患者体内のカメラ映像やセンサ情報を閲覧している¹⁾が、ディスプレイの故障やシステムのハングアップによる数十秒間の表示停止が医療事故など致命的な結果につながる可能性がある。つまり、ウェアラブルコンピュータには機器の故障時を含めて(1)そのとき利用可能な機器の組合せに応じて作業環境の状態を途切れなく提示すること、(2)ユーザやセンサからの入力に対し、即応性・確実性の高い制御を行うこと、が必須要件となる。従来のデスクトップコンピューティングでは、このような信頼性の確保を行うにあたっては冗長化や多重化といった手法が用いられてきたが、機器を装着するウェアラブルコンピューティング環境では、複数の機器装着は重量や配線の問題から従来手法のデメリットが大きい。

筆者らの研究グループでは、これらの問題点に対処するため、システムハングアップなどのトラブル時に入出力デバイスを自動的にバイパスし、簡易なフィルタを用いて情報提示を継続する枠組みに関する取り組みを行っている。本稿では、その概要およびデータ変換技術について述べる。以下、2章では関連研究について述べ、3章で提案手法について詳しく説明する。4章において本研究を考察し、最後に5章で本稿をまとめる。

2. 関連研究

ウェアラブルコンピューティング向けプラットフォームに関する研究は盛んに行われている。MIThril²⁾は、装着した多数のセンサなどのデバイスや、機械学習による状況認識システムを統合している。Wearable Toolkit³⁾では、イベント駆動型ルールを用いて、センサ状態の変化などをトリガとしたアプリケーションを実行でき、プラグインを作成することでさまざまなデバイスに対応できる。これらのプラットフォームでは、どちらも他種類のデバイ



図 1 内視鏡手術支援システムの利用シーン

スを利用できる機構であり容易にアプリケーション開発が行えるが、システムトラブル時の対処については考慮されておらず、そもそも提示デバイスの選択的利用を想定していない。

また、ウェアラブルコンピューティングのための情報提示に関する研究も数多く行われているが、ほとんどは特定のアプリケーションと情報提示デバイスを想定したものである。ActiveBelt⁴⁾ はユーザの腰回りに装着した 8 個のバイブレータが振動することで、ユーザに方向を伝達する装置である。Haptic Radar⁵⁾ は、赤外線センサとバイブレータを用いた危険回避システムである。赤外線センサで物体の接近を検知し、検知方向のバイブレータを振動させることでユーザに危険を通知する。これらのシステムでは、特定のアプリケーションに対して入出力デバイスが固定されており、柔軟な変化やシステムトラブル時の情報提示継続については考慮されていない。

さらに、さまざまな入出力デバイスを想定しているマルチモーダルインタフェースに関する研究も盛んに行われている。しかし、多くのマルチモーダルインタフェースに関する研究では、提示デバイスに汎用的なものは少なく、視覚提示と振動提示に限ったもの⁶⁾ など、特定のデバイスや特定の研究領域をターゲットとしているものがほとんどである。提示デバイスに汎用的な研究としては、WWHT モデルを利用したフレームワーク⁷⁾ がある。この研究では、アプリケーションに依存しない汎用的なミドルウェアの開発を行っており、提示情報の整理の仕方においては本研究と類似している。また、同様の研究として、マルチモーダルアプリケーション作成プロセスの手順を示す研究⁸⁾ もある。この研究は、アプリケーション開発の手間を軽減するものではなく、開発時の注意点を示すガイドラインのようなも

のである。これらの研究は、本研究における情報提示デバイスの選択機構の参考になるが、いずれも障害時の情報提示継続を行うことは考慮されていない。

コンピュータの信頼性を高める手法としては、ハードディスクにおける RAID (Redundant Arrays of Inexpensive Disks) が挙げられる。これは基本的に予備のハードディスクを活用してデータの耐故障性を高めるものである。このような多重化による信頼性向上は、ウェアラブルコンピューティング環境のようにデバイスの大きさや重さに制約がある環境では利用しづらい。ウェアラブルコンピューティング環境の信頼性に関する研究としては、CLAD (Cross-Linkage for Assembled Devices) がある⁹⁾。CLAD はウェアラブルセンサの故障を考慮したセンサ管理デバイスであり、ウェアラブルセンサの故障時にあたかもセンサが生存しているかのような情報を擬似的に生成してコンピュータに通知することで、センサ故障時もシステムが稼働するようにするシステムである。しかし、CLAD はセンサの故障対策のみを考えているため、PC や PC 上のアプリケーションに障害が起こった場合に対処できない。

3. デバイス間バイパスによる信頼性確保

提案する信頼性確保の機構は、OS レベルでの実現またはミドルウェアレベルでの実現の両方が考えられる。どちらの場合においても機構の動作としては大きく変わらないため、本稿では特に区別せずに扱う。まず、図 2 に従来のシステムにおける情報入力から出力への流れ (図左) および提案システムを用いた場合の流れ (図右) を示す。従来のコンピュータでは、センサや入力デバイスからの入力をデバイスドライバが処理してユーザプログラムに渡し、ユーザプログラムは出力内容を同じくデバイスドライバを経由して出力デバイスに提示する。この場合、入出力デバイスの故障、PC の故障、OS やユーザプログラムのハングアップのいずれが起こっても情報を提示できない。一方、提案システムは通常、従来システムと同様にセンサや入力デバイスからの入力をユーザプログラムが処理するが、システムハングアップ時には、あらかじめ定められた入力デバイスと出力デバイスが直接有線/無線で接続され、情報の提示が継続される。このような機構を実現するために、提案システムには従来システムと比べて主に以下の 2 つの要素が追加されている。

データフロー制御システム: 提案機構を実現するためには、システムダウン時にどのデバイスとどのデバイスを接続し、どのようなデータ変換を行って提示するかをあらかじめシステム通常稼働時に定義しておく必要があるが、適切なデバイス接続やデータ変換は接続デバイスの状態 (種類、稼働状態、破損状態、情報精度等) や、PC やユーザがおかれている

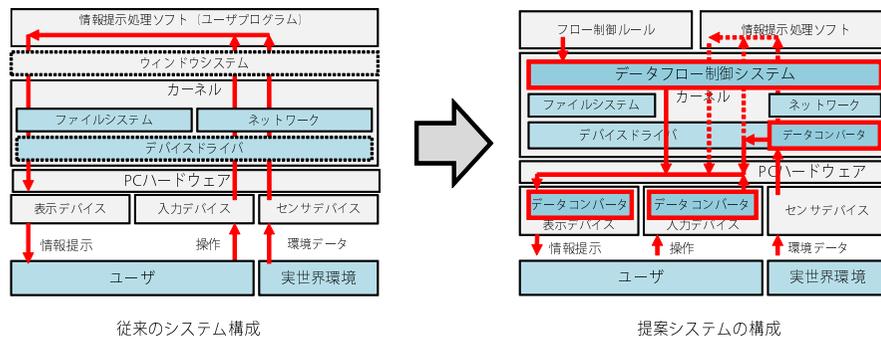


図 2 提案システムと従来システムの違い

状況(実行プロセス, サービス内容, ユーザの現在の行動等)によって変化する. そのため, データフロー制御システムはこれらの情報を統合的に判断し, システムダウン時の処理をあらかじめデータコンバータとして用意し, 入出力デバイスに配置しておく.

データコンバータ: データフロー制御システムによってデータ変換方式等を決定しても, システム異常時にその挙動を実現するためには入出力デバイスが自律的に動作しなければならない. したがって, 入出力デバイスはシステム通常稼働時に動的にデータコンバータを取得し, システム異常時に自律的に実行できる枠組みが必要となる. そこで, 本研究では入出力デバイスにそれぞれ独自のマイコンをもたせ, データ変換等の処理を行わせる. また, データコンバータはスクリプトや中間言語などで表し, 入出力デバイス上のマイコンにはこれらのスクリプトや中間言語のランタイムを稼働させる.

システム障害時の挙動を図 3 に示す. 入出力デバイス故障時は, 図中央に示すようにデータフロー制御システムがデバイスの異常を検知し, 残ったデバイスの中で表示に適したものを選択して出力する. また, 同時に OS 異常時のために入出力デバイスに配置するデータコンバータを現状に合わせて再配置する. ソフトウェアや OS がハングアップした場合は, 図右に示すように入出力デバイス間が直接接続され, データコンバータによって適切にユーザに情報を提示する. 以下, それぞれの機構の詳細について述べる.

3.1 データフロー制御システム

データフロー制御システムは, 複数の入出力デバイスが存在した際に, どの情報をどの提示デバイスに割り当てるか, またどのようなデータ変換が必要かを管理する機構である.

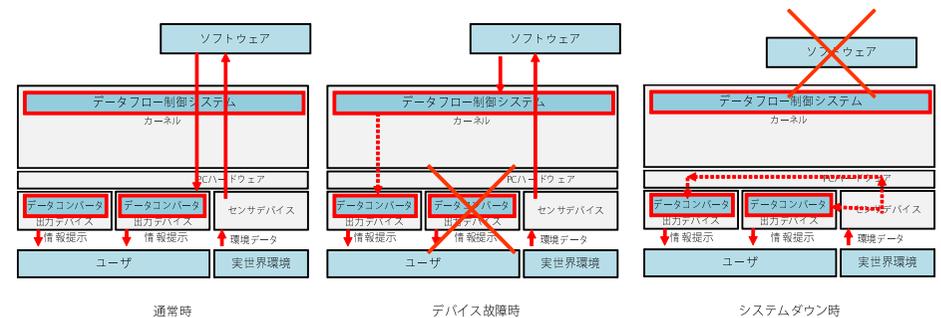


図 3 障害時のデータ処理

情報をユーザに伝えるためにあらゆる情報がすべての提示デバイスに出力されればユーザにとって鬱陶しい情報提示となってしまいう可能性がある. また, 周辺環境やユーザの行動などにより, 提示デバイスによっては情報の閲覧が困難になる可能性がある. 例えば, バイクレースのピットクルー支援アプリケーション¹⁰⁾では, 音声出力は周囲のエンジン音などのノイズによって聞き取りづらくなる. また, 観光地案内システム等を屋外で使っている際, 日中など明るい場所や歩行中などの状況では腕時計型ディスプレイに表示される情報は読みづらい. データフロー制御システムは, 利用すべき情報提示デバイスの組合せおよびデータ変換を行うフィルタを状況に合わせて決定する機構であり, システムダウン時のためにあらかじめフィルタの集合であるデータコンバータを入出力デバイスに配置する.

筆者らの既存研究である文献¹¹⁾をもとに設計したデータフロー制御システムの構成図を図 4 に示す. システムは提示すべき情報やデバイスの接続状況を表示装置評価モジュールに渡し, 表示装置評価モジュールが提示装置を適切に情報変換して出力デバイスにデータを送る一方, システムダウン時のために入出力デバイスの組合せ情報とデータコンバータを適宜入出力デバイスに送信する. データコンバータは以下の手順で決定される.

- Step1: 提示情報の情報取得 アプリケーションが提示する情報の性質を表すメタデータを取得する.
- Step2: 利用できるデバイスの列挙と状況取得 装置の物理的障害や接続されたセンサから, ユーザ状況や周辺環境, システム状況を取得する.
- Step3: 提示デバイスの影響度の算出と組合せの決定 これまでの結果を用いて, 提示デバ

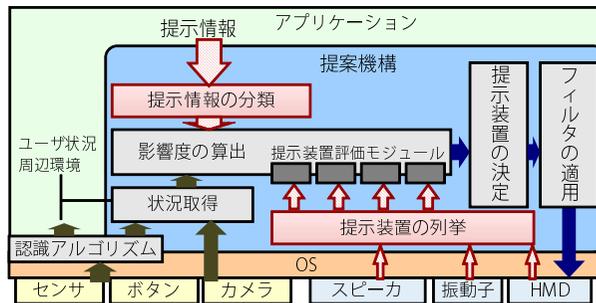


図4 データフロー制御システムの構成図

イスに適する情報への変形手段を導出し、状況や提示情報に適する変形手段を決定する。変形手段とは、情報の形式を変換するフィルタの組合せで表現される。

以下、各ステップの処理について述べる。

提示情報の情報取得

センサから得られた値などの情報をどのようにユーザに提示すべきかは、アプリケーションの目的に依存する。例えば心拍センサの値は、ジョギング時の健康管理システムでは運動効率のよい一定範囲内に入っているかがわかることが大事であり、手術における患者の心拍モニタリングシステムでは心拍の変化が重要になる。そこで提案機構では、提示情報のメタデータとして情報の種類、情報の性質、情報の提示制約をアプリケーションがあらかじめ定義するものとし、データコンバータの構築を行う際にはこの情報を活用することとする。

情報の種類とは数値や文字などのデータ形式を表し、情報の提示制約は提示デバイス制約や提示方法制約を表す。現在は、利用したいデバイス、禁止するデバイス、利用したいフィルタ、禁止するフィルタを直接指定する。情報の性質は、緊急性（ユーザに早く伝達する必要があるか）、機密性（他人に知られてはいけない情報か）、有効性（ユーザに意味がある情報か）、持続性（情報の有効期限はどのくらいか）を指定する。これらの性質は、以後の提示デバイスを選択するステップで、それらの性質を満たすような変換や提示を行うために定義する。例えば、緊急性の高い情報は、緊急にユーザに伝えられる提示デバイスで提示する、機密な情報は他人に知られないデバイスを用いて提示する。

利用できるデバイスの列挙と状況取得

提案機構では、ウェアラブルコンピューティング環境で用いられるあらゆる提示デバイス

表1 提示デバイスの例

装置名	提示方法	提示情報の種類 (瞬時値, 連続値)
LED	明るさの程度, 点滅パターン	程度, 時系列程度データ
7セグメントディスプレイ	数字	数値, 時系列数値データ
ドットマトリクスディスプレイ	画像	画像, 動画
HMD	画像	画像, 動画
腕時計型ディスプレイ	画像	画像, 動画
スピーカ	音	程度, 音
パイブレータ	振動の程度, 振動パターン	2値データ, 時系列2値データ
温冷覚提示	熱さの程度	程度, -
香りディスプレイ	香りの程度, 種類	程度, -

を想定しているが、すべての提示デバイスがどのような情報でも提示できるわけではない。そこで本ステップで、接続中の提示デバイスの列挙、およびその入力として利用できる情報の種類と提示デバイスの制限を取得する。表1は、提示デバイスとその提示情報の種類の関係例を示す。各提示デバイスは、提示情報の種類に示す情報の種類であれば提示可能である。たとえばLEDは程度のデータを入力として光の階調を出力として点灯でき、HMDは画像や動画を入力および出力できる。

各提示デバイスは、提示可能な情報に対して情報の粒度や表示のサンプリングレートといった制限をもつ。ある提示デバイスに対して、情報が提示可能な情報の種類とその制限を満たすことで、その提示デバイスで提示可能であることが分かる。例えば、800×600ピクセルの情報を提示できる腕時計型ディスプレイには大きなサイズの画像はそのままでは提示できないため、提示可能なサイズにまでリサイズを行う必要がある。

次に、実際に情報が提示可能なデバイスを抽出する。具体的には、あらかじめ定義している、情報の種類を変換するフィルタを組み合わせ用い、提示情報を提示デバイスに適合する種類に変換できるかを判断する。本研究では、表2に示すような情報変換フィルタを考えている。例えば、テキスト情報にText to Imageフィルタを適用することで、画像提示デバイスで提示可能となる。このように生成したフィルタの組合せがデータコンバータとなる。データコンバータの例を図5に示す。また、適するフィルタが存在しない場合は情報が提示できない。例えば、テキストをモールス信号のような時系列2値情報に変換するText to TimeSeriesBinaryフィルタを定義していれば、LEDのような2値情報を提示できるデバイスでテキスト情報を提示可能であるが、そのようなフィルタがなければ、テキスト情報は2値情報を提示するデバイスでは提示できない。

表 2 情報変形フィルタの例

フィルタ名	入力情報	出力情報
Text to Image	テキスト	画像
Text to Voice	テキスト	音
Time to Text	テキスト	テキスト
Direction to Text	方向	テキスト
Number to Text	数字	テキスト
Text to Notification	テキスト	通知
Notification to Boolean	通知	2 値
Notification to Sound	通知	音
Notification to Image	通知	画像
Number to Degree	数字	程度
Changing volume	音	音
Grayscale	画像	画像
Resizing image	画像	画像
Changing image position	画像	画像
Summarizing Text	テキスト	テキスト

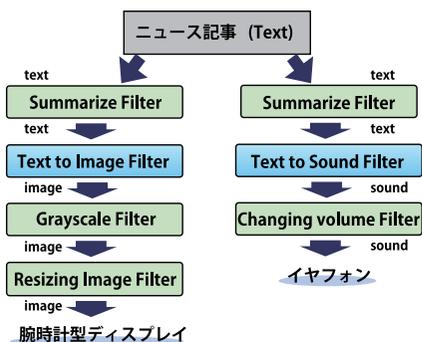


図 5 情報変形フィルタ適用の例

提示デバイスの影響度の算出と組合せの決定

提案機構では、各提示デバイスを用いる際に認知に影響するユーザ状況や周辺環境を接続されたセンサ等から取得する。例えば、光学式シースルー型 HMD は HMD の背景が明るい場合には情報が読み取れず¹²⁾、人込みや階段の歩行中には HMD を注視できない¹³⁾ といった特徴が先行研究で明らかであるため、光学式シースルー型 HMD に対しては、その影響度を算出するために必要な特徴量である HMD の背景となる視界領域の画素の階調値、ユーザ周辺の混雑度合い、ユーザが階段を歩行中かどうかを取得することになる。またス

ピーカに対しては、周囲の音がうるさいと情報が取得できない、会話中であると聞き逃すことがあるという先行研究¹⁴⁾ から、周辺音の音量や会話状況を取得する必要がある。本研究では状況の取得方法については具体的には言及せず、状況認識部を通じてあらかじめ定義したユーザの認知に影響する状況・環境の特徴量が取得できているものとする。

これらの情報を用いることでデータコンバータを評価できる。具体的には、生成した複数のデータコンバータを変換コスト、および各提示デバイスごとに定義している評価モジュールを用いて取得した状況や環境に応じた認知コストに基づいて評価し、もっともコストが小さいデータコンバータを、ユーザにもっとも適切に通知が行える方法として採用する。ここで、変換コストとは情報を変換する際に発生する情報の質に対する影響度を指す。例えば、テキスト要約フィルタを用いることで情報が欠損するため、変換コストは大きな値となる。また、提示要求時に提示制約が与えられている場合は、アプリケーション制作者が意図しない変換を行う場合にも大きな値となる。本研究では、簡単のため各変換フィルタごとに初期値として変換コストを定数で定め、制約に反する変換を行う際には変換コストを大きな値とするだけの機能とした。

認知コストは、ユーザの状況や周辺環境が与える認知への影響度であり、各提示デバイスごとに定義している提示装置評価モジュールを用いて算出する。例えば、光学式シースルー型 HMD に提示された情報の読み取りやすさには、HMD の背景領域とユーザの注視状況が影響することがわかっており、式 1 により求められる HMD の背景が提示情報の視認性に与える影響度が閾値 $T_d = 4.09$ を超えたときに提示情報が読み取れないことが分かっている¹²⁾。なお式中の A^R, A^G, A^B は RGB 色空間の各色の階調値の平均を示し、 V^Y, V^S は、YCbCr 色空間の輝度 Y の階調値、HSV 色空間の彩度 S の階調値の分散を示す。

$$S = 0.6A^R + 0.9A^G + 4A^B + 40V^Y + 200V^S \quad (1)$$

このようにして算出した変換コストおよび認知コストの和をデータコンバータの評価値として算出する。例えば、図 5 で示したデータコンバータの例においては、イヤフォンに提示するフィルタパスの影響度は、「Summarize Filter」「Text to Sound Filter」「Changing volume Filter」の変換コスト、およびイヤフォンの評価モジュールによって算出できる認知コストの和を影響度として算出する。同様に、腕時計型ディスプレイについても影響度を算出する。

3.2 データコンバータと入出力デバイス

前節で述べたように、提案するデータフローを実現するためには、入出力デバイスが直接通信し、フィルタによってデータの変換が自動的に行われる必要がある。この仕組みを実

現するためには、システム通常稼働時(入出力デバイスが直接通信を行っていない状態)にフィルタのプログラムをなんらかの手段で入出力デバイスに配置すること、および入出力デバイスがシステムダウンを検出すること、さらにはシステムダウン時に直接通信に切り替えてデータ表示を継続すること、が必要となる。本研究では、これらの機能を実現するために以下の2つのアプローチを試みた。

集中管理方式: PC と入出力デバイス間にデバイスマネージャを配置し、PC の生存確認および入出力デバイス間の直接通信の指示を行わせる。フィルタは各入出力デバイスが備えるが、データ通信をすべてデバイスマネージャ経由で行うことで、フィルタ処理もデバイスマネージャに一元化することが可能である。この方式を採用することで、既存の入出力デバイスを大きく変更することなく提案機構が利用できるが、PC と同時にデバイスマネージャがダウンした場合には情報提示が継続できない。

完全分散方式: PC と入出力デバイスは直接通信し、PC の生存確認や PC ダウン時の通信相手の切り替え、フィルタによるデータ変換もすべて入出力デバイス上で実現する。中間デバイスが存在しないためシステムのディペンダビリティは高くなるが、入出力デバイスにフィルタ処理を十分に行うだけの処理能力が必要となる。また、それぞれのデバイスが PC の生存確認を行うためシステム全体の通信量が大きくなる。

筆者らは完全分散方式を実装した例として、Cilix と呼ぶ仮想マシンを搭載したデバイスを用いたシステムを実現しており、文献¹⁵⁾ に詳しく述べているため詳細は省略する。以下、集中管理方式で提案方式を実装した例について述べる。図6に示すデバイスマネージャは、米国 Atmel 社の ATmega88 を2個使用し、開発環境である AVR Studio 4.16 上で C 言語を用いて実装した。プロセッサは、PC のモニタリングと入出力デバイスのマネージメントをそれぞれ担当し、SPI(Serial Peripheral Interface) による通信している。PC とデバイスマネージャは PC からの USB 信号をインタフェース IC により UART(Universal Asynchronous Receiver Transmitter) 信号に変換することで通信し、通信速度は 38.4kbps とした。また、デバイスマネージャは入出力デバイスと UART で通信し、通信速度は 38.4kbps とした。

入出力デバイスとしては、ボリューム、加速度センサ、7セグメントLED、ブザー、振動モータを作成した。それぞれのデバイスは ATmega88 を1つ搭載しており、デバイスマネージャからのプロファイル要求およびデータ要求に対応する。データ要求では、PC が動作している場合にはデバイスマネージャ経由で PC へデータを送信し、PC が停止している場合には出力デバイスへデータを送信する。閾値フィルタを含めたいくつかのフィルタを実



図6 デバイスマネージャのプロトタイプ

装しているが、動的なデータコンバータの配布には対応していない。システムは初期化の際に、PC 停止時にどのフィルタを有効にするかをデバイスマネージャに書き込んでおく。

4. 考 察

4.1 応 用 例

提案システムを用いて情報提示の信頼性が確保できる例を、航空と医療分野における想定シナリオを用いて説明する。

航空分野での想定シナリオ

Step 1: 民間旅客機において、パイロットがレーダや機体に備え付けられているセンサからの計測データをコックピットに備え付けられているコンピュータにより HUD を通じて目視で確認しながら操縦している。また、着陸時であれば HUD 上の視界に重畳して滑走路へのガイドを表示している。

Step 2: 突然機器にトラブルが発生しコンピュータが停止してしまう。コンピュータが再起動するまでの間、パイロットがレーダや機体の状態データを把握できなくなり、大変な危険を生じる。着陸時であれば HUD 上に表示されているガイドが突然消えるため危険度はさらに高まる。

Step 3: 本研究で提案したシステムを運用していると、LED やブザーなどの出力デバイスによってパイロットへ HUD に表示していた情報の一部を提示でき、危機的な状態を免れる。パイロットは入出力デバイスとフィルタの組合せを予め設定しているため、個人の嗜好

に合わせた情報提示が可能である。また、失速や着陸のための誘導電波の受信不良など、特定のトラブルに対してブザーを鳴らすといったフィルタを用いることで、トラブルに対処しやすくなる。

Step 4: 数十秒後、コンピュータが再起動することによって HUD による情報提示が再開される。以降は通常通りコンピュータ支援による操縦を続けられる。

医療分野での想定シナリオ

Step 1: 医療現場において、医者が医療機器から送信される患者のバイタルサインや心電図の情報を HMD に表示しながら手術を行っている。

Step 2: コンピュータが正常に動作している状態では順調に手術は進んでいたが、突然コンピュータが停止してしまい患者の状態を把握できなくなってしまう。一刻も早く患者の状態を知る必要があり、数十秒の情報遮断が患者の生命に影響する。

Step 3: 本研究で提案したシステムを運用していると、コンピュータ停止と同時に LED やブザーなどの出力デバイスによって医者に患者のバイタルサインなどの情報を提示できるので、危機的な状況を免れることができる。また、心肺停止や失神など手術にとって重要なイベントを検知するフィルタを用いることで、トラブルに迅速に対処できる。

Step 4: 数十秒後、コンピュータを再起動することによって、HMD を用いた通常の手術に戻る。

このように、提案手法を用いることでさまざまなトラブル時において情報提示が継続できることがわかる。

4.2 評価

提案機構で新規に着目している提示デバイスを選択的に利用することの有効性を簡単なテキスト情報を提示するアプリケーションを用いて評価した。被験者は、提示デバイスとして光学式シースルー型 HMD (島津製作所, DataGlass2/A) とスピーカを接続したウェアラブルコンピュータ (Sony, VGN-UX90PS) を装着し、提案機構の影響度から最も適するデバイスを選択する方法 (Best Device)、影響度が最も高く、提示に不適切なデバイスを選択する方法 (Worst Device)、および常にすべてのデバイスで提示する方法 (All Device) の 3 種類の手法で決定されたデバイスに提示された情報を読み取る。またこれら 2 種類の提示方法は、被験者に分らないように情報を提示する際にランダムで選択する。実験では、「Click 2 times!」といった 2, 3 単語で構成されたテキスト情報を図 7 に示すような図や、音声を用いて平均到着率 1 分のポアソン分布の間隔で提示する。音声や HMD を通じてメッセー



図 7 HMD に提示した情報の一例

ジが提示されると、被験者は腰に装着したボタンを用いて反応する。大学生 7 名を被験者とし、さまざまなユーザ状況における反応回数及び反応時間を測定した。

表 3 は、被験者が正しく返答した回数を示す。表から、提示に適するデバイスに提示する方法は不適切なデバイスに提示するものと比較して、高い割合で応答できていることが分かる。またすべてのデバイスに提示する場合と比較した場合は、同程度かやや劣る割合となった。ただし、すべてのデバイスに提示する場合と比較して、適するデバイスに提示する方法は少ない提示デバイスで情報を提示しているため、ユーザを困惑させたりユーザを不快させることは少ないと考えられる。また表 4 は、情報提示からユーザが反応するまでの平均時間を示している。表から、反応時間は提示に適するデバイスに提示した場合も、適さないデバイスに提示した場合も大きな差は見られない。一方で、すべてのデバイスへの提示では、比較的早く反応できている。これは、音の提示はユーザに積極的に提示を行えるためユーザは早く気付くことができるが、ディスプレイでの提示はユーザの注視が必要であるため判断が遅れるからであると考えられる。つまり反応速度に関しては、デバイスそのものの特性が影響しているものと考えられる。実験では、提示情報に緊急性を求めていないためこのような結果となったが、緊急性を高く設定した情報を入力することで、提案機構ではディスプレイでの提示に影響度が高く算出され、音での提示が選択されやすくなる。

評価結果から、すべての装置で提示する場合と比較して、提案手法は少ない提示デバイスで同等の気づきやすさを実現でき、その点で有用であると言える。特にウェアラブルコンピューティング環境では、ユーザは情報を受ける機会が多く、毎回すべての提示デバイスを用いて提示が行われると、ユーザにとって不快であると考えられるため、提示するデバイスを減らすことは重要であるといえる。

5. おわりに

本研究では、ウェアラブルコンピューティングの信頼性を高めるために、入出力デバイスをバイパスすることによる情報提示手法を提案した。提案手法は、入力デバイスと出力デバイス間でデータを直接やりとりするため、ウェアラブルコンピュータ上のアプリケーション

表 3 反応回数

ユーザ状況	Best Device	Worst Device	All Device
静止時	16/16	9/10	18/18
人の少ない場所の歩行	22/24	10/15	21/21
階段の上り	17/18	8/14	18/18
階段の下り	17/20	6/15	21/22

表中の数字は (反応回数 / 提示回数) である.

表 4 反応時間

ユーザ状況	Best Device	Worst Device	All Device
静止時	1.41 秒	2.02 秒	1.62 秒
人の少ない場所の歩行	2.04 秒	2.15 秒	1.51 秒
階段の上り	2.42 秒	1.85 秒	1.92 秒
階段の下り	1.95 秒	2.21 秒	1.90 秒

ンや OS 自体がハングアップしていても情報提示を継続できる。また、情報の形式変換を行うフィルタを評価する手法を提案し、ユーザにより情報の内容が伝わるフィルタの組合せを自動決定する機構を実現した。予備的な評価により、情報提示においてフィルタが適切に選択されることを確認した。

今後の課題としては、多数のフィルタを実装して実環境において運用することが挙げられる。また、現状ではシステム稼働時の状況でデータコンバータが確定されるため、システムダウン後の状況の変化にフィルタが追従できない。今後は起こりうる状況変化に対応したフィルタセットをあらかじめ入出力デバイスに格納しておき、システムダウン時でも状況に応じてデータコンバータを選択的に利用できる枠組みを提案する予定である。

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) 五味雄一, 森田圭紀, 寺田 努, 東 健, 塚本昌彦, “内視鏡手術における HMD 利用に関する一考察,” 情報処理学会研究報告 (2008-HCI-130), pp. 75–81 (Nov. 2008) .
- 2) MIThril Project, <http://www.media.mit.edu/wearables/mithril/>.
- 3) 寺田 努, 宮前雅一, 山下雅史, “Wearable Toolkit: その場プログラミング環境実現のためのイベント駆動型ルール処理エンジンおよび関連ツール,” 情報処理学会論文誌, Vol. 50, No. 6, pp. 1587–1597 (June 2009) .

- 4) Tsukada, K., and Yasumura, M., “ActiveBelt: Belt-Type Wearable Tactile Display for Directional Navigation,” *Proc. of International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp 2004)*, pp. 384–399 (Sep. 2004).
- 5) Cassinelli, A., Rynolds, C., and Ishikawa, M., “Augmenting spatial awareness with haptic radar,” *Proc. of International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2006)*, pp. 60–64 (Oct. 2006).
- 6) Harders, M., and Szekely, G., “Enhancing human-computer interaction in medical segmentation,” *Proc. of the IEEE*, Vol. 91, No. 9, pp. 1430–1442 (Sep. 2003).
- 7) Rousseau, C., Bellik, Y., Vernier, F., and Bazalgette, D., “A framework for the intelligent multimodal presentation of information,” *Signal Process*, Vol. 86, No. 12, pp. 3696–3713 (June 2006).
- 8) Duarte, C. and Carriço, L., “A conceptual framework for developing adaptive multimodal applications,” *Proc. of International conference on Intelligent user interfaces (IUI 2006)*, pp. 132–139 (Jan. 2006).
- 9) 村尾和哉, 竹川佳成, 寺田 努, 西尾章治郎, “ウェアラブルコンピューティングのためのセンサ管理デバイスの設計と実装,” 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 9, pp. 3327–3339 (Sep. 2008).
- 10) Terada, T., Miyamae, M., Kishino, Y., Fukuda, T., and Tsukamoto, M., “An Event-Driven Wearable Systems for Supporting Pit-Crew and Audiences on Motorbike Races,” *iiWAS2008 Special issue in Journal of Mobile Multimedia (JMM)*, Vol. 5, No. 2, pp. 140–157 (June 2009).
- 11) 田中宏平, 寺田 努, 西尾章治郎, “ウェアラブルコンピューティングのためのユーザ状況を考慮した知覚影響度に基づく情報提示手法,” 情報処理学会シンポジウムシリーズ マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2008) 論文集, pp. 1479–1486 (July 2008) .
- 12) 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. 1847–1858 (Apr. 2007) .
- 13) 沖野将司, 寺田 努, 塚本昌彦, 義久智樹, “情報爆発社会のための装着型ディスプレイの注視状況に基づく情報提示手法,” 第 70 回情報処理学会全国大会講演論文集, Vol. 5, pp. 3–4 (Mar. 2008) .
- 14) 矢高真一, 田中宏平, 寺田 努, 塚本昌彦, 西尾章治郎, “ウェアラブルコンピューティングのための状況依存音声情報提示手法,” 情報処理学会論文誌, Vol. 51, No. 12, pp. 2384–2395 (Dec. 2010) .
- 15) 武田誠二, 岸野泰恵, 柳沢 豊, 須山敬之, 寺田 努, 塚本昌彦, “ウェアラブルコンピューティングのディペンダビリティを確保する情報変換機構をもつ装着型入出力デバイスの設計と実装,” 情報処理学会研究報告, Vol. 2011-UBI-32, No. 10 (Nov. 2011, to appear) .