

## 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

武田 誠<sup>†1</sup> 岸野 泰恵<sup>†2</sup> 柳 沢 豊<sup>†2</sup>  
須山 敬之<sup>†2</sup> 寺田 努<sup>†1,†3</sup> 塚本 昌彦<sup>†1</sup>

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身につけて利用するウェアラブルコンピューティングへの注目が高まっている。ウェアラブルコンピューティング環境では、体にコンピュータやセンサを身につけるため軽量化されたシステムが望ましく、ディペンダビリティの確保のために機器の多重化や冗長化を行うことは難しい。そこで、筆者らの研究グループでは、コンピュータがシステム障害により動作しなくなると、末端のセンサや表示機器が自律的に直接通信し、情報提示を継続することでディペンダビリティを確保する手法を提案した。本研究では提案手法を実現するための入出力デバイスおよび情報表示機構の設計と実装を行った。

### Wearable Input/Output Devices that Have Transmission Function for Achieving Dependability on Wearable Computing

SEIJI TAKEDA,<sup>†1</sup> YASUE KISHINO,<sup>†2</sup> YUTAKA YANAGISAWA,<sup>†2</sup>  
TAKAYUKI SUYAMA,<sup>†2</sup> TSUTOMU TERADA<sup>†1,†3</sup>  
and MASAHICO TSUKAMOTO<sup>†1</sup>

Recently, wearable computing attracts a great deal of attention, because of the technical advancement of miniaturization in computers. In wearable computing environments, since a user wearing a computer and sensors, multiplexing and duplication for keep are not suitable dependability. Therefore, we propose a method that keeps dependability by directly bypassing input/output devices. In this paper, we describe the design and implementation of input/output devices and software mechanism for our framework.

### 1. はじめに

近年マイクロエレクトロニクス技術の発展に伴い、コンピュータの小型化・高性能化が進んでいる。なかでもコンピュータを装着し、常時情報支援が受けられるウェアラブルコンピューティングに対する注目が高まっており、様々なアプリケーションが提案されている<sup>1)2)</sup>。これらの成果は、ユーザがウェアラブルコンピュータを使用する際の快適な環境を提供し、ウェアラブルコンピューティングの普及に貢献してきた。ウェアラブルコンピューティングはハンズフリーで安全かつ便利に情報支援を得られることから、救助活動、軍事行動、航空現場、建設現場<sup>3)</sup>や医療現場<sup>4)</sup>などのクリティカルな職業現場を含むさまざまな現場でも応用が期待されている。ウェアラブルコンピューティングではPC及び入出力デバイスなどを体に装着して使用するため、屋内での利用でも、振動や衝撃などのリスクが据え置き型コンピュータより高い。特に屋外では、天候や気温などの自然条件も伴うため、コンピュータの利用環境としては過酷な環境である。これらのことから、ウェアラブルコンピューティングの信頼性を高めることが必要不可欠である。

従来のコンピュータの信頼性を高める手法としては、RAID (Redundant Arrays of Inexpensive Disk)<sup>5)</sup>やChipkill<sup>6)</sup>といった機器の多重化や冗長化を行う手法が一般的である。しかし、ウェアラブルコンピューティング環境では、ユーザは体にホストPCやセンサ、頭部装着形ディスプレイ (HMD: Head Mounted Display) などの表示機器を身につけるため、軽量化されたシステムが望ましく、機器の多重化や冗長化によるディペンダビリティの確保は制約が多い。

そこで筆者らの研究グループでは、ホストPCがシステム障害により動作しなくなると、自動的に末端のセンサや表示機器が直接通信を行い、情報提示を継続することでディペンダビリティを確保する手法を提案している<sup>7)</sup>。本稿では筆者等の研究グループで開発した仮想マシンCilixを搭載したデバイスを用い、提案手法を実現する入出力デバイスの実装を行う。また、出力デバイスとしてLEDや振動素子などのディスプレイに比べて表現能力が低いデバイスが繋がっていた場合には、情報表示が困難であったり、ユーザが提示の意味を理

†1 神戸大学大学院工学研究科  
Graduate School of Engineering, Kobe University  
†2 NTT コミュニケーション科学基礎研究所  
NTT Communication Science Laboratories  
†3 科学技術振興機構さがけ  
PRESTO, Japan Science and Technology Agency

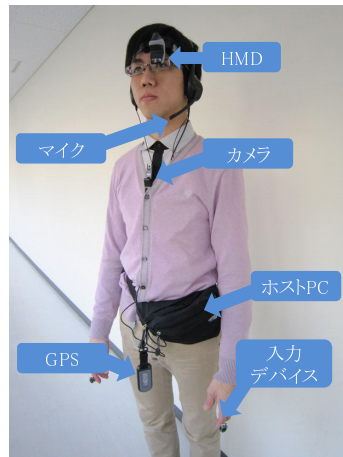


図1 典型的なウェアラブルコンピューティング

解できないことがある。そのため、データを出力デバイスに合わせて変換する情報変換機構を実装し、様々な入出力デバイスに柔軟に対応できる仕組みを構築した。さらに、これらの機能を活用した2つのアプリケーションを実装し、動作を確認した。

本稿は以下のように構成されている。2章では想定環境について説明する。3章ではシステム設計、4章では実装について述べ、最後に5章でまとめを述べる。

## 2. 想定環境

提案システムの想定環境では、ユーザが図1のように体にホストPCと複数の入出力デバイスを身に付け、ホストPCとそれぞれのデバイスが無線で通信を行う。想定環境ではユーザはホストPC上で動作するアプリケーションによる情報をHMDなどの出力デバイスから取得している。

想定するアプリケーションの例として、ナビゲーションと健康管理を考える。ナビゲーションでは、ユーザはHMDに表示された周辺の地図、目的地までの距離と自分の向いている方向を取得している。これにより、ユーザは道に迷わずに目的地へ向かうことが可能となる。健康管理アプリケーションではユーザはジョギング時等にHMDに表示された自分の心拍と不快指数を閲覧し、これにより熱中症や脱水症状を未然に防ぐことができる。

これらのアプリケーションは便利だが、アプリケーション利用中にトラブルでコンピュー

タがダウンしてしまった場合に、ナビゲーションアプリ利用時には、情報が得られない事で、どの方向に進めば良いのかが分からなくなり道に迷ってしまう。また健康管理アプリケーション利用時には、自分のバイタルサインを把握できず、熱中症や脱水症状に陥ってしまう。これらの問題はユーザがホストPCからデータを受け取る事ができなくなってしまったため起こる問題である。したがって、ユーザはホストPCがダウンした場合でもユーザが情報を受けられるようにすることでこれらの問題を解決できる

## 3. システム設計

1章で述べたように、ウェアラブルコンピューティング環境においてコンピュータのディペンダビリティを確保する手法として機器の多重化や冗長化を行う手法が一般的である。これらの手法は、機器の多重化や冗長性を用いることは難しいそこで筆者らの研究グループでは、コンピュータがシステム障害により動作しなくなると自動的に末端のセンサや表示機器が直接通信を行い、情報提示を継続することでディペンダビリティを確保する手法を提案している。本稿では、提案手法を実現するための無線入出力デバイスを設計する。また、入出力デバイスの変更への柔軟な対応ができるソフトウェアの開発、そして、様々な入力デバイスで出力する場合にも情報提示が続けられるようにデータを変換する情報変換機構を設計する。これにより様々な種類のデバイスの利用時にもシステムが対応でき、ホストPCにシステム障害が起こった場合にも情報提示を継続できる。

実現するシステムにおける通常時とシステム障害時のそれぞれの場合のデータ処理から出力までのフローを図2に示す。図に示すように、ホストPCのシステム障害時にはそれぞれの入出力デバイスがホストPCを介さず直接通信を行い、ユーザへの情報提示を継続する。なお、図2中のフィルタとはデータを出力デバイスに合わせて変換するソフトウェアであり、詳細については後で述べる。

### 3.1 ホストPCの障害検出

図2(b)に示すように、本研究で実装するデバイスはコンピュータのシステム障害時にコンピュータを介さずにデバイス同士で直接通信を行いユーザへの情報提示を継続する。またコンピュータの復帰後には通常時の動作に戻る。これらの動作を行うために各デバイスには、コンピュータのシステム障害の検知とコンピュータのシステム復帰の検知が必要となり、これらの要件を満たすようにコンピュータと入出力デバイスを設計する。なお図3は処理フローの説明図である。本研究ではデバイス間の通信にブロードキャストを用いることを想定している。

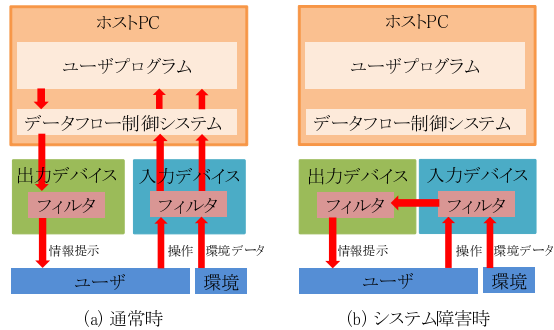


図 2 通常時とシステム障害時のデータフロー

まずコンピュータのシステム障害の検知のために、図に示すように、コンピュータは入力デバイスからのデータ受信時に送信元へ応答を返す。入力デバイスはコンピュータからの応答の有無によってコンピュータのシステム障害を検知できる。なお、無線通信ではパケットロスなどの可能性があるため、一定回数再送してもコンピュータから応答が返ってこない場合にコンピュータに障害が発生していると判断する。障害発生時には、入力デバイスがコンピュータを介さず直接データ出力デバイスに送るモードに切り替わる。

コンピュータはコンピュータに送られたデータのみでなく、デバイスに直接送られたデータの両方を受信できるため、そのデータに対して応答を返すことで入力デバイスにホスト PC の復帰を伝えられる。入力デバイスはこのホスト PC からの応答を受け取るとコンピュータが復帰したと判断し、入出力デバイスはコンピュータを介して情報提示を行うモードへ戻る。

3.2 フィルタの設計

出力デバイスには有機 EL ディスプレイのようにグラフ、画像、図形や文字などの様々な形式でデータを出力できるデバイスがある一方で、LED や振動素子のように単一の階調表現しか出力できない表現能力の低いデバイスもある。もし解像度の高い、あるいは複雑なデータを LED で加工せず使用した場合、そもそも表示が行えないか、表示できてもユーザがデータの意味を正しく理解できなくなる可能性がある。これを防ぐために、それぞれの出力デバイスに応じてデータを適切な形式に変換するためにフィルタを用いる。

フィルタは出力デバイスが情報表示し易い形式にデータを変換するためにデバイス上に実装されているソフトウェアであり、入出力デバイスが直接通信を行っている場合にはデー

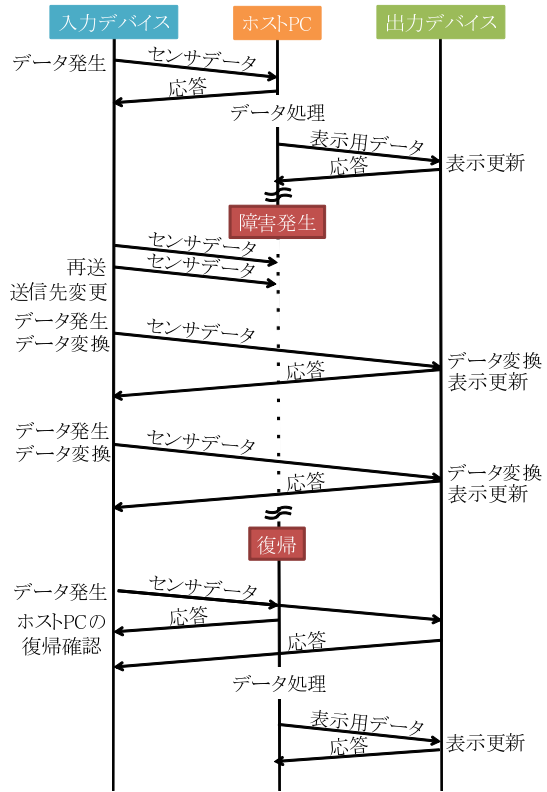


図 3 障害の検出とデータ通信の自動切り替えの処理フロー

タを送受信する度に使用される。例えば、データ値が一定値以上であれば ON、それ以外は OFF といったように出力デバイスの表示からユーザが値の意味を理解できるデータ型に変換する。また表現能力が高いデバイスが接続されている場合も、GPS を利用し目的地までの距離を有機 EL ディスプレイで表示したい時には、デバイスでの目的地座標の記憶、現在地座標と目的地の座標から距離を計算、数値の表示といった複雑な処理を行う必要がある。この場合にはそれぞれの処理を行うフィルタを組み合わせることで機能を実現できる。このような仕組みにすることで、機能の変更をする場合にプログラム全てを作り直す必要はなく、フィルタの組み合わせパターンを変更するだけでよい。

フィルタは入力デバイスと出力デバイスにそれぞれ配置できるため、データ表示時に特有の処理は出力デバイスに、データ入力時によく行う処理は入力デバイスにと柔軟にフィルタを配置できる。なおフィルタはホスト PC が正常に動作している時に無線で各デバイスに配布される。

各デバイスに配布するフィルタの種類やシステム障害時に各データを表示するデバイスの決定には、利用しているアプリケーションの種類、利用している入出力デバイスや利用者の現在の状況といった多くの要素が関係しており、先行研究<sup>8)9)</sup>などを利用することで配布するフィルタを自動で決めることを考えている。

配布の例として、心拍数やユーザの姿勢を利用した健康管理システムを利用している際には、心拍は姿勢に比べて重要度が高いため、有機 EL ディスプレイに心拍のデータ 1 分間あたりの心拍数に変換するフィルタとグラフを描画するフィルタを配布し、1 分間の心拍数を数値で、心拍の状況を有機 EL ディスプレイグラフで表示する。逆に姿勢のデータは詳細な数値よりも現在の姿勢の善し悪しのみが分かればよいので、加速度センサに加速度を姿勢に変換するフィルタを送り、LED には体に負担がかかる姿勢の時に LED を点灯させるフィルタを配布する。これにより、万が一ホスト PC に障害が起きた場合にも、心拍については 1 分間の心拍数や心拍の状況といった詳細なデータ、姿勢については姿勢の善し悪しのデータを得ることができる。また、もしユーザが姿勢の方に優先度を付けた場合には、姿勢の詳細が分かり、心拍は生命が危険な時かそうでないかを知ればよいので、加速度センサに加速度を姿勢に変換するフィルタを送り、有機 EL ディスプレイに現在の姿勢の様子を描画する画像描画フィルタを配布する。また、心拍センサには心拍のデータ 1 分間あたりの心拍数に変換するフィルタ、LED にはデータ値が一定値以下、もしくは一定値異常の時に LED を点灯するフィルタを配布する。これにより、万が一ホスト PC に障害が起きた場合にも、姿勢についての詳細な情報や生命が危険かそうでないかの情報を得られる。このようにフィルタという概念を用いることでユーザからの優先度の変更にも簡単に対応できる。これはユーザが置かれている状況の変化や利用しているアプリケーションやユーザが身に付けているデバイスの変更についても同様に対応できる。

このようにデータに対してフィルタを適用する事で様々なデバイスでの出力が可能となる。これは今回の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場合に限って言えるのではなく、一般的に通常のコンピューティング環境においても言えることである。よってこのフィルタという考え方は他の場面に置いて利用が可能であると考えられる。

表 1 TWE-001 のスペック

クロック周波数 (Hz)	32M
ROM (バイト)	128K
RAM (バイト)	128K
不揮発メモリ	FLASH 4Mbit
無線規格	IEEE802.15.4

### 3.3 デバイス構成の変更

ウェアラブルコンピューティング環境では、ホスト PC のみでなく出力デバイスにも障害が発生する可能性もある。そのため出力デバイスもホスト PC や出力デバイスに応答を送る仕組みとなっており、出力デバイスの障害の検知も行える。ホスト PC が出力デバイスの障害を検知した場合には、ホスト PC は周囲で動作している入出力デバイスの種類や利用しているアプリケーションなどの要素から統合的に判断し、重要な情報をユーザに提示できるように自動でフィルタを再配布する。再配布を行う事で出力デバイスに障害が起きた後にホスト PC に障害が起きた場合にも情報提示を継続できる。

## 4. 実 装

### 4.1 ハードウェア

提案システムを実装した。入出力デバイスには筆者らの研究グループで開発した Cilix<sup>10)</sup> を搭載したデバイス (図 4) を用いた。デバイスに搭載した Cilix は.NET で利用されている中間言語が解釈できるため複数の言語でフィルタの実装が可能である。デバイスは IEEE802.15.4 通信モジュールである 32bit の RISC CPU, TWE-001 を搭載している。デバイスの主なスペックを表 1 に示す。また入出力形式として、I2C, シリアル通信, デジタル入力, アナログ入出力に対応しており、これらを利用して三軸加速度センサ, 照度センサ, 温度センサ, 湿度センサを搭載している。また、上記のデバイス以外にも様々な入出力デバイスを外部コネクタ経由で追加で利用できる。なおデバイスはリチウムイオン電池で駆動する。

入力デバイスは GPS, 呼吸センサ, 心拍センサ, 湿度センサ, 温度センサ, 三軸加速度センサ, 方位センサ, 照度センサの八種類, 出力デバイスは LED, 振動素子, ブザー, 有機 EL ディスプレイの四種類を実装した。実装した心拍センサと呼吸センサの外見を図 5 と図 6 に表す。

### 4.2 データパケット

送信パケットと応答パケットのそれぞれのパケットフォーマット図を図 7 に示す。各デバ



図 4 Cilix を搭載したデバイス

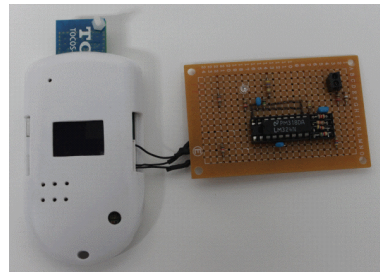


図 5 心拍センサ

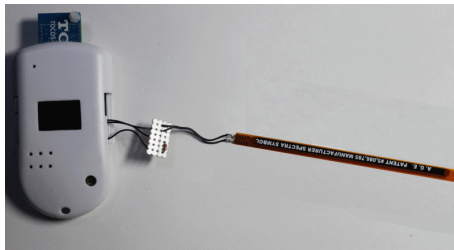


図 6 呼吸センサ

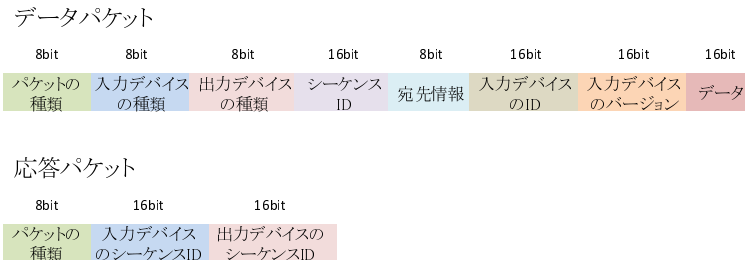


図 7 パケットフォーマット

このデータパケット中には入力デバイスが取得した値のほかに、出力用のデータパケットであることを表す情報、入力デバイスの種類を表す入力デバイス情報、周囲に複数のデバイスが存在する場合に受信側が混信しないようにするための送信元のデバイス ID、受信デバイスがデータの欠落や重複がないかを認識するためのシーケンス ID、ホスト PC に送って

いるデータか、出力デバイスに直接送っているデータなのかを示した宛先情報が含まれており、これらの情報を用いて受信デバイスは自分宛のデータかどうかを判断する。

またデータを受信に対する応答パケットには応答パケットであることを表す情報、データの受信元のデバイス ID 及び送信元のデバイス ID が含まれている。

#### 4.3 ホスト PC のシステム障害の検知と通信の切り替え

3.1 節で述べたようにそれぞれの入力デバイスはホスト PC からの応答が返ってこなかった時にホスト PC にシステム障害が起きたと認識し、送信先を変更する。今回の実装では、入力デバイスはそれぞれ決まった時間間隔でデータを送信しており、一度ホスト PC にデータを送って応答が無かった場合には、データの衝突などによるパケットロスの可能性を想定し、0.1 から 0.2 秒の間のランダムな間隔で 2 回の再送を行う。この処理を一定時間あけて 3 度繰り返し、連続して送信に失敗した場合には入力デバイスはホスト PC に障害が起きたと判断し、PC を介さず直接データ出力デバイスに送るモードに切り替わる。出力デバイスはデータを受け取った場合にはあらかじめ指定された方法で出力を行う。これによりホスト PC のシステム障害を認識してから出力デバイスで出力を行うまでの時間のロスのごく短い。

#### 4.4 フィルタの実装

Cilix 上のフィルタは Microsoft Visual C# を用いて実装した。今回作成したフィルタの一覧とそれらのフィルタの使用例を表 2 にまとめる。今回利用したハードウェアは実装したフィルタの必要とする CPU の処理速度やメモリなどのスペックを十分に稼働するメモリ使用量および CPU 使用量であることを確認している。

これらのフィルタは使用例に示すように単体で利用することもできるが、複数のフィルタを組合わせて使うと複雑な処理も可能となる。例として、出力デバイスとして LED が繋がっていた場合に、加速度の値から姿勢を認識し、体に負担のかかる姿勢をしている場合に警告を出すアプリケーションを利用している時の処理フローは、図 8 に示すように、入力デバイスでは、加速度センサの値は変動が大きいため、まず移動平均フィルタを利用し、データの変動を小さくする。そして次に移動平均を行ったデータ値に対して姿勢認識フィルタを用いることでユーザの姿勢を 5 段階で認識する。認識したデータを出力デバイスに送り、出力デバイスでは二値化フィルタを用いて、認識した姿勢が体に負担の大きい時のみ LED を点灯させる。このように、ある程度簡単な処理を行うフィルタを複数実装し、それらを組み合わせることで複雑かつ、そのデバイスに合わせた出力が可能となる。

#### 4.5 入出力デバイス制御ソフトウェア

ホスト PC 上のソフトウェアとして、入出力デバイスのフィルタの書き換え及びデータの

表 2 フィルター一覧

フィルタ名	機能	使用例	入力値	出力値
二値化フィルタ	データを二値化する	LED に出力する時	整数	0~1
移動平均フィルタ	データの移動平均を算出	データの変動が大きい センサを利用する時		整数
姿勢認識フィルタ	加速度の値を姿勢に変換	姿勢を認識する時		1~5
FFT フィルタ	データの FFT を算出	加速度センサで 行動認識を行う時		整数
時間積分フィルタ	データの 時間積分を算出	加速度から 速度を認識する時		整数
不快指数計算フィルタ	温度と湿度から 不快指数を算出	不快指数を算出する時		整数
グラフ描画フィルタ	有機 EL パネルに グラフを描画	データの推移を グラフで描画する時		グラフ
文字表示フィルタ	有機 EL に文字を描画	データを文字で描画する時		ASCII コード
方位変換フィルタ	方位センサの値を 方位に変換	方位を取得する時		ASCII コード
相対方向算出フィルタ	目的地との 相対的な方向を算出	目的地との相 対方向を取得する時		ASCII コード
距離計算フィルタ	目的地までの 距離を算出	目的地までの 距離を取得する時		整数
差分フィルタ	現在の値と 直前の値の差分を算出	直前との差分を求める時		1~3
データ記憶フィルタ	ユーザが入力したデータを 記憶しておく	ユーザが入力した 閾値を記憶するある時		整数

送受信が行え、かつシステム障害を仮想で実行する機能を有したデバイス管理ソフトウェアを実装した。今回のソフトウェアでは自動でフィルタの書き換えを行うことはできず、それぞれのデバイスに対して手動で書き換えを行う。

#### 4.6 アプリケーション

提案システムを利用したアプリケーション例として、以下の二つのアプリケーションを実装した。以下、それぞれのアプリケーションについて詳細を説明する。

##### ナビゲーションシステム

通常時、このアプリケーションは図9に示すようにGPSと方位センサの二つの値を元に、インターネット経由で取得した現在地周辺の地図とユーザの向いている方向をHMDの画面上に表示する。ホストPCに障害が発生した場合には、有機ELディスプレイに目的地までの距離の数値と目的地との相対的な方向の文字を表示する。このとき、GPS及び方位セン

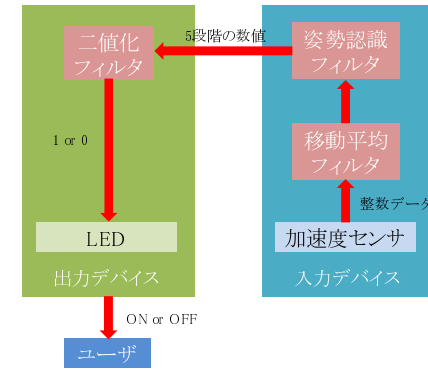


図 8 フィルタの利用例

表 3 ナビゲーションシステムにおける通常時とシステム障害時の情報提示の変化

必要な情報	通常時の 情報提示方法	システム障害時の 情報提示方法
現在地	地図を画像で表示、座標を数値で提示	座標を数値で提示
周辺の情報	建物等の注釈の付いた地図を画像で提示	不可
ルート案内	ルートが記入された地図を提示、 音声案内で提示	不可
地図	地図を画像で提示	不可
ユーザの向き	方位を文字で提示、方位角を数値で提示	方位を文字で提示、方位角を数値で提示
目的地の方向	方位を文字で提示、方位角を数値で提示	方位を文字で提示、方位角を数値で提示
目的地との相対方向	方位を文字で提示、方位角を数値で提示	方位を文字で提示、方位角を数値で提示

サは平均化フィルタを利用し、生データの変動を小さくして有機ELディスプレイにデータを送っている。有機ELディスプレイはデータ記憶フィルタをもっており、目的地の緯度と経度を覚えており、GPSからデータを受け取った場合には距離計算フィルタを用いて現在地から目的地までの距離を計算する。また、方位センサからデータを受け取った場合には相対方位算出フィルタを用いてユーザから見た相対的な目的地の方向を算出する。そしてこれらの計算を行った後に、文字表示フィルタを用いて有機ELパネルに距離の数値と相対方向を図10に示すように表示する。このような変換によりユーザは目的地までの距離と相対的な方位を有機ELディスプレイから取得できる。このように、ホストPCに障害が起きた場合にも情報表示が継続されることを確認した。このアプリケーションにおける通常時の提示



図 9 ナビゲーションシステム

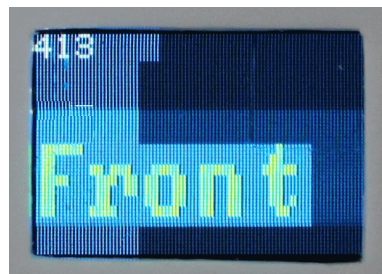


図 10 有機 EL ディスプレイでの進むべき方向の提示

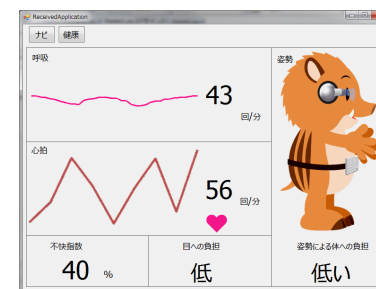


図 11 健康管理システム

表 4 健康管理システムにおける通常時とシステム障害時の情報提示の変化

必要な情報	通常時の情報提示方法	システム障害時の情報提示方法
心拍数	心拍数の推移をグラフで提示、心拍数を数値で提示	心拍数の推移をグラフで表示、心拍数を数値で表示
心拍の変化	上昇/下降等の状況を文字で提示	上昇/下降等の状況を文字で表示、LED の点灯パターンで表示
呼吸数	心拍数の推移をグラフで提示、心拍数を数値で提示	心拍数の推移をグラフで表示、心拍数を数値で表示
呼吸の変化	上昇/下降等の状況を文字で提示	上昇/下降等の状況を文字で表示、LED の点灯パターンで表示、振動素子の振動パターンで提示
姿勢の善し悪し	現在の自分の姿勢図を提示	LED の点灯パターンで提示、振動素子の振動パターンで提示
不快指数	不快指数を数値で提示	不快指数を数値で提示
目への負担の有無	負担度を数値で提示	LED の点灯パターンで提示、振動素子の振動パターンで提示
総合的な健康の善し悪し	良/悪を文字で提示	不可
過去の履歴との比較	データの変化などを数値や図で提示	不可

内容とシステム障害時の情報提示内容を表 3 にまとめる。

### 健康管理システム

このアプリケーションは通常時、呼吸センサ、心拍センサ、加速度センサ、温度センサ、湿度センサ、照度センサの 6 つのセンサの値をもとに、呼吸数や心拍数の推移のグラフ、ユーザの姿勢、不快指数、目への負担の度合いを図 11 に示すように HMD に表示する。ホスト

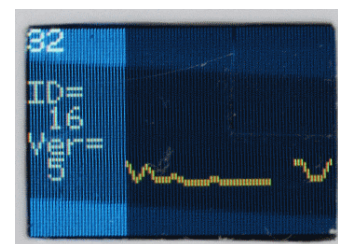


図 12 有機 EL ディスプレイによる心拍の推移の提示



図 13 LED による不快指数の提示

PC に障害が発生した場合には、呼吸センサと心拍センサはデータをそのまま有機 EL ディスプレイに送り、有機 EL ディスプレイは文字表示フィルタ及びグラフ描画フィルタを利用して呼吸数と心拍の状況のグラフを腕に装着した有機 EL ディスプレイに図 12 に示すように描画する。加速度センサは移動平均フィルタを使い生データの移動平均データを振動素子に送信し、振動素子は姿勢認識フィルタ及び二値化フィルタを利用し、ユーザの姿勢が適切でない時に腰につけた振動子を振動させる。LED は不快指数計算フィルタと二値化フィルタを利用し、温度センサと湿度センサの値を元に不快指数の数値に応じて腕に装着した赤、黄、青のそれぞれの LED を図 13 に示すように点灯させる。また照度センサも二値化フィルタを利用し、周囲の照度から目への負担の大きさを同じく腕に装着した赤、黄、青のそれぞれの LED を点灯させる。このような変換によりユーザは呼吸数の推移と心拍の推移を有機 EL ディスプレイから、姿勢の善し悪しを振動センサから、そして不快指数及び目への負担の大きさを三色の LED により三段階表示で取得でき、ホスト PC に障害が起きた場合にも情報表示が継続されることを確認した。健康管理システムにおける通常時の提示方法とシステム障害時の可能な情報提示方法を表 4 にまとめる。

このように、実際にアプリケーションを実装した結果から提案する情報変換機構をもつデバイスをを用いることで、システム障害時にも必要な情報を取得できることがわかる。

## 5. 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、ホスト PC にシステム障害が発生した場合に末端のデバイス間で直接通信を行うことで、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を行った。これらのデバイスを用いることでホスト PC にシステム障害が起きた場合でもユーザが情報提示を受けられる事を確認した。今後は、さまざまなシナリオを想定したアプリケーションを実装し、実際に使用することでフィルタの種類を拡充を検討するとともに、ホスト PC が自動的に適切なフィルタを入出力デバイスに配布する機構を実現する予定である。また今後は身に付けている出力デバイスでは表現能力に限界がある場合や出力デバイスが動作しなくなった時には、町中のディスプレイといった周辺環境利用し、情報提示を行う機構の構築もしたいと考える。

## 謝 辞

本研究の一部は、科学研究補助金基盤 (A)(20240009) の支援によるものである。ここに記して謝意を表す。

## 参 考 文 献

- 1) P. Mistry and P. Maes: "SixthSense: A Wearable Gestural Interface," *Proc. of the 2th SSIG-GRAPH Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques in Asia (SIGGRAPH ASIA)*, pp. 1 (Aug. 2009).
- 2) M. Bachlin, K. Forster, and G. Troster: "SwimMaster: a wearable assistant for swimmer," *Proc. of the 11th International Conference on Ubiquitous Computing (Ubicomp)*, pp. 215–224 (Oct. 2009).
- 3) 野間春生, 土川 仁, 桑原教彰, 木暮 潔: "E-Nightingale プロジェクト: ヒヤリ・ハット防止を目的とした看護業務のための知識共有システム ((特集) 体験の記録・利用とその意義)," *システム/制御/情報: システム制御情報学会誌*, Vol. 50, No. 1, pp. 17–21 (Jan. 2006).
- 4) H. Song, T. Grossman, G. Fitzmaurice, F. Guimbretiere, A. Khan, and R. Attar: "PenLight: Combining a Mobile Projector and a Digital Pen for Dynamic Visual Overlay," *Proc. of the 27th International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI2009)*, pp. 109–116 (Apr. 2009).

- 5) D. Patterson, G. Gibson, and R. Katz: "A Case for Redundant Arrays of Inexpensive Disks (RAID)," *Proc. of the International Conference on Management of Data (SIGMOD)*, pp. 109–116 (Jun. 1988).
- 6) T. Dell: "A White Paper on the Benefits of Chipkill-Correct ECC for PC Server Main Memory," *IBM Microelectronics Division*, pp. 1–23 (Nov. 1997).
- 7) 寺田 努, 柳沢 豊, 塚本昌彦, 武田誠二, 岸野泰恵, 須山敬之: "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," 情報処理学会研究報告, *Vol. 2011-UBI-32, No. 10* (Nov. 2011, toappear).
- 8) 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 (ユーザインタフェースとインタラクティブシステム)," *情報処理学会論文誌*, Vol. 48, No. 4, pp. 1847–1858 (Apr. 2007).
- 9) 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. 9, pp. 2384–2395 (Dec. 2010).
- 10) 岸野泰恵, 柳沢 豊, 田中 聡, 寺田 努, 塚本昌彦, 須山敬之: "小型無線デバイスのための CLI 仮想マシン," 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 (*DICOMO2009*) 論文集, pp. 893–900 (Jul. 2009).