

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 24 日現在

機関番号：14501  
 研究種目：基盤研究(A)  
 研究期間：2008～2012  
 課題番号：20240009  
 研究課題名(和文) ウェアラブルコンピューティングの安全性を確保するディペンダブルOS技術の確立  
 研究課題名(英文) Establishment of Dependable OS Technologies to Guarantee the Safety of Wearable Computing  
 研究代表者  
 寺田 努 (TERADA TSUTOMU)  
 神戸大学・大学院工学研究科・准教授  
 研究者番号：70324861

研究成果の概要(和文)：ウェアラブルコンピューティングを手術時や災害時などに実践的に利用するためにはハングアップなどの不慮のトラブル時にも情報提示を継続することが必要である。そのため、システムダウン時に周辺デバイスが動的に結合し、PC本体無しでも提示を継続する仕組みを実現した。提案手法では状況認識技術を用いて、システムダウン時に現在の入出力デバイスの組合せから人間の認知特性を考慮した最適な組合せを決定する機構をもつ。

研究成果の概要(英文)：In order to use wearable computing system practically, the system needs to continue information presentation even when accidental problems happen such as hungup of the main computer. We propose a mechanism that maintains information presentation in such situations by I/O device bypassing. In our method, I/O devices directly communicate with other devices if a system failure happens. The proposed method selects appropriate data converters by considering recognizability in order to present information that is easily understandable to users.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	7,800,000	2,340,000	10,140,000
2009年度	8,000,000	2,400,000	10,400,000
2010年度	7,200,000	2,160,000	9,360,000
2011年度	8,000,000	2,400,000	10,400,000
2012年度	6,800,000	2,040,000	8,840,000
総計	37,800,000	11,340,000	49,140,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：モバイルシステム

1. 研究開始当初の背景
- |                     |  |
|---------------------|--|
| 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対 |
|---------------------|--|

する注目が高まっている。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、軍事行動、建設現場などクリティカルな分野を含めたさまざま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。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。例えば医療現場で装着型ディスプレイを用いて患者の心拍数を閲覧している場合、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ることなく提示すること、(2)ユーザからの入力に対し、即応性・確実性の高い制御を行うこと、が必須要件となる。

## 2. 研究の目的

これまでの OS やミドルウェアでは入出力デバイスの信頼性を保証する機構が存在しておらず、これらの要件が満たせていなかった。これに対し、研究代表者の寺田は平成 18 年度下期 IPA 未踏ソフトウェア事業「ウェアラブルコンピューティングのためのイベント駆動型ミドルウェア開発」や、科学研究費補助金特定領域研究「五感を活用した情報フィルタリング・提示機構」に採択され、ウェアラブルシステムにおける多様な入出力機器を処理するための機構に関する研究開発および現場でのシステム運用において高い評価を受けており、ウェアラブルシステムに関する高度な知見を有している。これらの取り組みを通し、即応性・確実性の高い入出力制御を行うためにはアプリケーションレベルではなく OS・ハードウェアレベルでの処理が必要であるという着想に至った。そこで本研究では(1) 入出力デバイス間のデータフロー制御技術、(2) 入出力デバイス間のデータ変換技術、(3) ウェアラブルコンピューティングのためのインタラクション管理技術、の 3 点を要素技術とする、ウェアラブルコンピューティング標準プラットフォームとなる OS の構築を目的とする。従来の OS と提案する OS のアーキテクチャの相違を右上図に示す。

## 3. 研究の方法

提案するウェアラブルコンピューティン

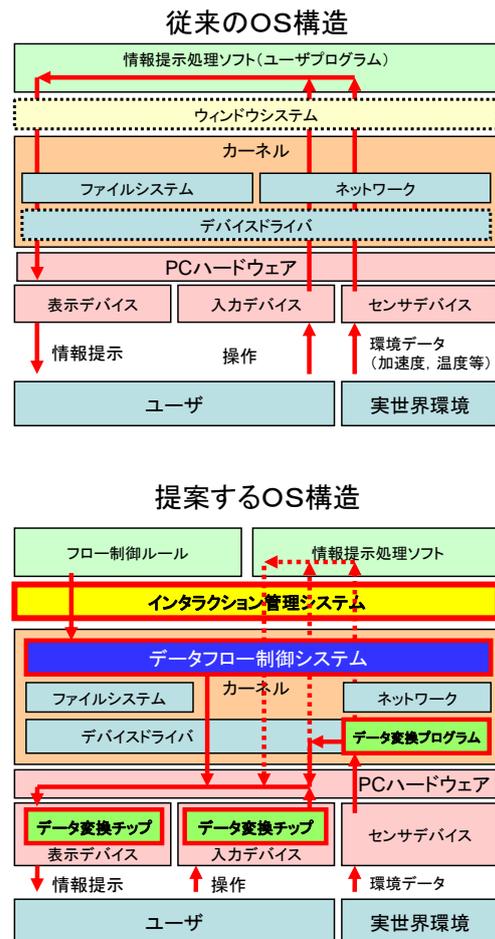


図 1 従来 OS と提案 OS の違い

グのための OS は、(1) 入出力デバイス間のデータフロー制御技術、(2) 入出力デバイス間のデータ変換技術、(3) インタラクション管理技術、の 3 つの部分から構成される。

### (1) 入出力デバイス間のデータフロー制御技術

デバイス間でデータを直接転送する仕組みであるダイレクト・メモリ・アクセス技術をベースに、装着したセンサ等の入力デバイスから得られた時系列データを、ディスプレイや音声再生機器などの出力デバイスへハードウェアレベルで直接転送する機構を、イベント駆動型ルールを用いて制御する。この技術を用いることで、従来ユーザプロセスで処理していたデータ処理および出力処理をハードウェアに直接行わせることが可能となり、他のアプリケーションの負荷の影響を受けずに即応性の高い入出力処理が可能となる。また、たとえ OS ソフトウェアがダウンした状態になっても、データの配送はハードウェアレベルで行われるため、最低限の情報提示を継続できる。このデータフロー制御

技術は、研究代表者らがこれまでに提案したイベント駆動型ルール of 整合性を理論的に保証する枠組みを拡張して用いることで、安全・確実に動作する。

#### (2) 入出力デバイス間のデータ変換技術

データフロー制御システムからの指示に従って、入出力デバイス間で取り扱うデータのフォーマットをコンバートするハードウェアおよびソフトウェアを構築する。ハードウェアレベルでのデータ転送を行う場合、出力デバイスの特性に合わせてデータを変換する必要がある。このため図1に示すように入出力デバイス自体にハードウェアレベルでデータ変換を行うチップを搭載する必要がある。この実装法を用いることで、カーネルの動作停止時にも情報提示は継続される。ソフトウェアレベルでの実装であれば、デバイスドライバにおいてデータ変換を実行し、OSが稼働している限りは安定したデータ提示が実現できる。

#### (3) ウェアラブルコンピューティングのためのインタラクション管理技術

多様な情報提示機器および入力機器での情報提示方法や入力方法を管理する技術である。ウェアラブルコンピューティングの特徴を考慮すると、従来OSのウィンドウベースのGUIでは適切にデバイスを組み合わせた高度なインタラクションが実現できない。そこで、提案する機構ではアプリケーションが適切に複数の入力機器からのデータを受け、利用可能な出力機器を組み合わせて柔軟な出力を行う機構を提供する。

これらの技術を統合したOSを構築することで、従来考慮されていなかった要件でありながらウェアラブルコンピューティングには必須である、情報の取得、人間への提示、伝達経路の保証という機構をもつディペンダブルなシステムが実現できる。

### 4. 研究成果

上記(1)~(3)の項目に対し、下記に示す成果を挙げた。また、それらを統合したシステムを実装し、研究を完了した。

#### (1) DependableOS 実現のための入出力デバイス向けマイクロ OS の開発

PC ハングアップ時に入出力デバイスを接続し、センサ値処理や情報提示を担う小型実行環境である Cilix を構築した。また、Cilix を実行できるデバイスのプロトタイプを作成した(図2)。この Cilix は、Microsoft の .Net Framework を用いてアプリケーション開発可能な小型 OS であり、Visual Studio など高度な開発環境を用いてセンサデバイスの開発が行える。また、動的にデバイス内の



図2 Cilix デバイス

プログラムを更新することが可能であり、提

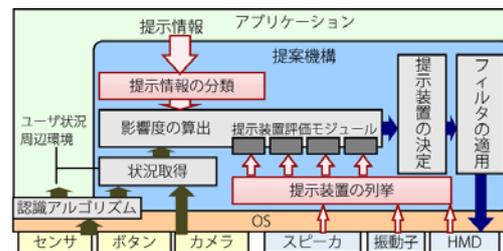


図3 データ変換機構の構成



図4 装着型プロジェクタの評価

案機構においてのデータ変換モジュールを状況に応じて入出力デバイスに動的に配信できる。

#### (2) 入出力デバイス間のデータ変換機構の実現

現在の PC に対する周辺状況、デバイス接続状況、現在稼働中のソフトウェアの状況などに応じて、もし今 PC がダウンしたらどのようなデバイスを直結すれば情報提示が継続できるかを計算し、その変換プログラムを生成して入出力デバイスに配布する機構を実装した。モジュール構成を図3に示す。このモジュールは、現在の状況をもとに各出力デバイスの適切さを評価する関数の集合からなる。これらの関数を作成して組み込むことで、あらゆる入出力デバイスに対応可能なシステムが構築できる。

#### (3) 情報提示デバイスの影響度計算方法の提案と調査研究

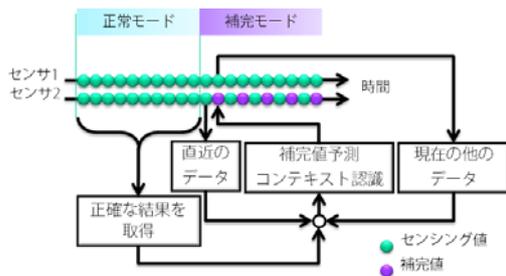


図5 データ補完技術

上記(2)で示した評価関数を作成するために、情報提示方法とユーザの認知との関係を多数調査した。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、

$$S = 0.6A^2 + 0.9A^3 + 4A^4 + 40V^2 + 200V^3$$

で表現される(Aは平均、Vは分散、右肩の文字は色空間RGB、YCCのY、HSVのSの値を示す)。また、歩行中と階段昇降中など状況の違いに応じてディスプレイの注視度合いが変わることを示した研究や、音声情報は一般にその提示音量に比例した認知度が得られるが会話中は音量設定は影響しないことを示した研究、図4に示すように装着型プロジェクタの装着位置や提示方法が視認性にどう影響を与えるかを示した研究、センサの装着が動作認識精度と装着性にどのような影響を与えるかを調べた研究、など、提示デバイスごとに周辺状況と認知度の関係を明らかにした。

#### (4) 低消費電力なシステムプラットフォームの開発

入出力デバイスを細かく制御できるようになることで、長期的に利用可能な安全性の高いシステムが構築できる。具体的には、装着センサの電源を制御し、OFFにしたセンサの値を補完することで低消費電力化を実現する手法および、センサのサンプリング周波数を可変にし、足りないデータを補完することによる低消費電力化を実現する技術を実現した。前者は、事前にセンシングデータのデータベースを構築し、装着しているセンサのうちONのセンサから得られた値と最も距離が近いサンプルをデータベースから検索する。検索したサンプルのOFFにしたセンサに該当する値で補完することでデータは完全なものとなり、認識システム側からセンサはすべて稼働中に見えるため追加の変更を必要とせず高精度で認識できる。後者はこの補完技術の周波数を低下させて用いるものである(図5)。この成果はユビキタス分野やウェアラブル分野の最難関会議の一つであるPervasiveおよびISWCに採択されてお高く評価された。

#### (5) 行動認識アルゴリズムの開発

提案機構において重要となるのは、データフローを決定するために必要な状況認識技術である。本研究では、ガスセンサを用いて普通ではとれない状況を取得する方式や、独自デバイスを用いて超低消費電力で特定の動作を取得する研究、複合的な動作をシンプルな動作に分割して個別に認識する手法、動作の先読みを行う手法など、これまで行われてこなかった認識技術を多数開発し、ISWC等のトップカンファレンスにおいて発表してきた。また、ジェスチャ動作の社会性といったこれまで考慮されていなかった評価基準を新たに導入した。

#### (6) 応用システムの開発

これらの認識系技術を実践的に利用し、提案する機構が必要であることを確認した。具体的には、文字入力支援、ダンスパフォーマンス支援、インタラクティブステージパフォーマンス、司会進行支援システム、ナビゲーションシステム、楽器演奏支援システム、健康管理システム、ジョギング支援システムなどを実際に構築・利用した。また、アプリケーション開発のためのプラットフォームとして、Wearable Toolkitと呼ぶ行動認識プラットフォームを開発し、一般公開している。これは提案するWearableOSにおける動作認識部分として活用されている。同様の技術を活用し、ナビゲーションプラットフォームや、体感ゲーム開発プラットフォームも構築して実際に利用している。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計32件)

- (1) 寺田 努: コンテンツの再利用性を考慮したナビゲーションシステムの開発と実運用, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 14, No. 2, pp. 111-120 (2012), 査読有
- (2) 太田脩平, 寺田 努, 塚本昌彦: 投影映像の視認性を考慮した装着型プロジェクタの装着位置評価, 情報処理学会論文誌, Vol. 53, No. 7, pp. 1924-1937 (2012), 査読有
- (3) 寺田 努: ウェアラブルセンサを用いた行動認識技術の現状と課題, 日本ソフトウェア科学会論文誌, Vol. 28, No. 2, pp. 43-54 (2011), 査読有
- (4) 中島悠貴, 村尾和哉, 寺田 努, 塚本昌彦: サンプリング制御とデータ補完による行動認識システムの省電力化手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 52, No. 8, pp.

- 2455-2466 (2011), 査読有
- (5) 藤本 実, 藤田直生, 寺田 努, 塚本昌彦: Lighting Choreographer: ウェアラブル LED パフォーマンスシステムの設計と実装, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 16, No. 3, pp. 517-525 (2011), 査読有
  - (6) 村尾和哉, K. V. Laerhoven, 寺田 努, 西尾章治郎: センサのピーク値を用いた状況認識手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 51, No. 3, pp. 1068-1077 (2010), 査読有
  - (7) 田中宏平, 岸野泰恵, 寺田 努ほか: 装着型センサを用いた体感型ゲーム制作支援フレームワーク, 情報処理学会論文誌, Vol. 51, No. 11, pp. 2055-2065 (2010), 査読有
  - (8) 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 (2010), 査読有
  - (9) 村尾和哉, 寺田 努ほか: ウェアラブルコンピューティングのための消費電力を考慮したコンテキストウェアシステムの構築, 情報処理学会論文誌, Vol. 50, No. 5, pp. 1456-1466 (2009), 査読有
  - (10) 寺田 努ほか: 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 (2009), 査読有
  - (11) T. Terada, M. Miyamae, Y. Kishino, T. Fukuda, and M. Tsukamoto: An Event-Driven Wearable Systems for Supporting Pit-Crew and Audiences on Motorbike Races, Journal of Mobile Multimedia, Vol. 5, No. 2, pp. 140-157 (2009), 査読有
  - (12) 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 (2008), 査読有

[学会発表] (計 209 件)

- (1) H. Sasaki, T. Terada, and M. Tsukamoto: A System for Visualizing Human Behavior based on Car Metaphors, Augmented Human Conference 2013, pp. 221-228 (2013. 3. 7), シュツットガルト, ドイツ
- (2) T. Okazaki, T. Terada, and M. Tsukamoto: A System for Supporting Performers in Stuffed Suits, International Conference on Advances

- in Computer Entertainment Technology 2012, pp. 85-100 (2012. 11. 3), カトマンズ, ネパール
- (3) T. Terada, Y. Yanagisawa, M. Tsukamoto, S. Takeda, Y. Kishino, and T. Suyama: A Dependable Wearable System by Device Bypassing, 10th International Conference on Pervasive Computing, Demo Paper, pp. 1-4 (2012. 6. 18), ニューカッスル, イギリス
  - (4) Y. Yanagisawa, Y. Kishino, T. Suyama, T. Terada, and M. Tsukamoto: Very Small CIL Virtual Machine for Wireless Sensor Devices, 17th International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems (2012. 3. 3), ロンドン, イギリス
  - (5) K. Murao and T. Terada: Evaluating Effect of Concreteness in Instructions for Gesture Recognition, 15th International Symposium on Wearable Computers, pp. 121-122 (2011. 6. 12), サンフランシスコ, アメリカ
  - (6) T. Terada and M. Miyamae: Toward Achieving On-Site Programming, 13th IEEE International Symposium on Wearable Computers, pp. 1-8 (2009. 9. 4), リンツ, オーストリア

[図書] (計 3 件)

- (1) 寺田 努: ウェアラブルコンピューティングに基づく健康管理システム, パーソナル・ヘルスケア, 第 3 編, 第 3 章, pp. 1-10, 株式会社エヌ・ティー・エス (2013)
- (2) T. Terada: A Rule-based I/O Control Device for Constructing Ubiquitous Computing Environment, pp. 1-12, Handbook on Mobile Ad Hoc and Pervasive Communications, CRC Press (2012)
- (3) K. Murao, T. Terada, and S. Nishio: Toward Construction of Wearable Sensing Environments, Wireless Sensor Network Technologies for Information Explosion Era, Springer-Verlag, Vol. 278, pp. 207-230 (2010)

[その他]

研究代表者ホームページ:

<http://ubi.eedept.kobe-u.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

寺田 努 (TERADA TSUTOMU)

神戸大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：70324861

(2) 研究分担者

塚本 昌彦 (TSUKAMOTO MASAHIKO)

神戸大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：60273588

柳沢 豊 (YANAGISAWA YUTAKA)

NTT コミュニケーション科学基礎研究所・

協創情報研究部・研究員

研究者番号：60396124

須山 敬之 (SUYAMA TAKAYUKI)

NTT コミュニケーション科学基礎研究所・

協創情報研究部・主幹研究員

研究者番号：80396134

宮前(岸野) 泰恵 (MIYAMAE YASUE)

NTT コミュニケーション科学基礎研究所・

協創情報研究部・社員

研究者番号：20466410