ウェアラブルコンピュータの現状と産業分野への応用

産業技術総合研究所 知能システム研究部門 興 梶 正 克

The Present State of Wearable Computer and its Industrial Applications

Masakatsu Kourogi

National Institute of Advanced Industrial Science and
Technology (AIST), Intelligent Systems Institute

The term “Wearable computing” is now widespread in general thanks to the media presence.

In this paper, I define the term of “Wearable computer” and discuss its crucial components, which are displays, input interfaces and sensing devices and technologies. As one of sensing technologies, overview of a personal positioning method proposed by the authors is described. Lastly, the potential applications to industry are described.

分類：V₁ 計装・制御システム一般，Y₀ その他

1. ウェアラブルコンピュータ

近年，ウェアラブルコンピュータという用語が論文中の学術用語としてのみならず，新聞や雑誌の記事などのメディアにも登場するようになった（図1）。この用語は，直訳すれば，着用可能な計算機という意味になるが，これは何を指しているのでしょうか。

1.1 用語の定義

一般的な認識はさておき，学術的には，「常時動作する着用（もしくは携帯）可能な計算機」として定義するのが妥当だと思われる¹²⁾。したがって，持ち運んでいる間は動作していないラップトップ型コンピュータやPDAなどはウェアラブルコンピュータとは言えない。一方で，携帯電話などは常に動作しており，また携帯されていることから，ウェアラブルコンピュータの一種であると見なすことができる。健康器具の一

つである歩数計もその常時動作性・着用性からウェアラブルコンピュータの一種であると見ることができ，また前述の携帯電話との親和性も高い。

1.2 計算機を着用・常時動作させることの意義

さて，ここでウェアラブルコンピュータの実用的な側面を考えてみる。すなわち計算機を着用し，常時動作させることの利点はどこにあるだろうか？ PDAやラップトップ型コンピュータにはできなくて，ウェアラブルコンピュータにできることとは何であろうか？

最も重要な点は，常時動作していることによって，利用者の状態（寝ているのか，起きているのか，歩いているのか，読書しているのか，など）を逐一認識し，その結果に基づいて利用者の指示を仰ぐことなく，能動的（アクティブ）に動作することが可能となることである。

図 1 ウェアラブルコンピュータユーザの外観例

例えば、家を出発するときに、郵便物を出すことを計算機に入力したとする。すると、郵便ポストを通過したときに、利用者はそのことを忘れていても、ウェアラブルコンピュータが「郵便物が出さなくてよいのですか?」とアシストしてくれる、という具合である。このように、ウェアラブルコンピュータは日常生活をより豊かに生産的なものとする上で、大きな可能性を持っている。

1.3 ウェアラブルコンピュータを構成する要素技術

ウェアラブルコンピュータを構成するためには、単に計算機を身に着けるだけでは十分ではない。重要な構成要素として、ディスプレイ、入出力インタフェース、センシング技術の3つが挙げられる。以下、各構成要素について述べ、特に筆者らが研究を進めているセンシング技術の一つであるパーソナルポジショニングについて述べる。

1.4 拡張現実感 (Augmented Reality)

拡張現実感とは、実世界に対する人間の感覚及び知覚 (例えば視覚) を計算機の能力を借りてより強化する技術の総称である。例えば、工場に配置された配電盤を見て各部品が何に対応しているか、ウェアラブルディスプレイ上に重畳表示することで、利用者の能力を増強することができる。この技術はその性質上、ウェアラブルコンピュータとの親和性が高いと考えられる。文献³⁾は、拡張現実感に関するサーベイに詳しい。

2. ディスプレイ

ウェアラブルコンピュータのディスプレイは、その用途に応じて、大きく二つに分類される。まず、1) 常時すばやく見ることができるものと、2) 必要に応じて取り出して見れば十分なものに分かれる。後者は基本的には PDA や携帯電話、または腕時計のような表示装置で十分であるが、前者は利用者の頭部もしくは

その付近に常時装着されている必要があり、装置には特別な工夫が必要である。後者の応用例は実時間性を要求しない情報提示などであり、頭部への装着は必ずしも必要ではない。

2.1 透過型ディスプレイ

これは、実際に物理的に見えている投影像の上にディスプレイ装置の映像を重畳表示する装置である。視界を遮らないという長所がある反面、重畳される映像及び視界が比較的暗くなるという短所がある。また、前述の拡張現実感のような応用例においては、実世界の物体に計算機が生成した CG などを重畳表示する場合、わずかな位置ずれであっても人間の視覚には感知されてしまうため、計算機側には低遅延で高速な処理が必要となる。

2.2 映像投影型ディスプレイ

これは、ディスプレイ装置の映像のみを利用者が観るタイプのもので、フルフェイスタイプと、それ以外に分類される。フルフェイスタイプの映像投影型ウェアラブルディスプレイにおいては、利用者の視界すべてを生成するため、実世界における物理的な運動と映像の変化との不整合は、乗物酔い (motion sickness) のような症状を引き起こすことがあり、運用には注意が必要である。ところで、前述の拡張現実感のような応用例に対しては、計算機側の負荷は小さい。ディスプレイに出力する映像上で、物体と CG との位置合わせさえ正しければよいからである。

2.3 現在入手可能なウェアラブルディスプレイ

現時点で商用ベースで入手可能な製品は、主として、米国の MicroOptical 社⁴⁾が製造しているもの、国内では島津製作所⁵⁾の製作している Data Glass シリーズが有名である。他にもパーソナルユース向けの映像観賞装置としてのウェアラブルディスプレイは存在する。

3. 入力インタフェース

ウェアラブルコンピュータを有効に活用するためには、人間にとって使いやすい入力インタフェースが欠かせない⁶⁾。ウェアラブルコンピュータへの入力を実現するインタフェースはその性質上、手または指で容易に操作可能なものでなくてはならない。

3.1 デバイスタイプの入力インタフェース

現在利用可能な入力インタフェースとしては、親指と人差指で操作するハンディトラックボールや、米国の Handkey⁷⁾の製品であり、文字入力とマウスのポインティング等が可能な Twiddler が有名である。また、研究・試作段階ではあるが、NTT ドコモの福本らが開発した指装着型のタッピングデバイス⁸⁾が有名であ

る。

3.2 仮想タイプの入力インタフェース

利用者視点の映像を撮影するカメラが装着されていることを前提とすると、そのカメラの前で手指をかざして動かすことでポインティング、クリックングを実現するハンドジェスチャ入力インタフェースを実現することが可能となる⁹⁾。カメラを装着することが必須な応用例においては、非常に有効な入力インタフェースの一つであると考えられる。

4. センシング技術

ウェアラブルコンピュータが有効に活用できるためには、利用者の外界と内部（すなわち利用者の状態）をセンシングできる必要がある。

4.1 物理量のセンシング技術

最もシンプルでかつ重要なセンシング対象は利用者の位置・方位を表す物理量であろう。このセンシング技術には大きく分けて二つある。インフラ側に超音波または磁場などを発生または受信する装置があるタイプであり、インフラ装置の適用範囲でしか動作しない。しかし、精度は一定範囲に保証されており、安定した動作が期待できる。狭い範囲で十分な精度の位置・姿勢を取得する応用例（拡張現実感など）とはうまく融合する。もう一つは自律型の慣性センサ群による技術である。非常に高精度な角速度センサ（例えば光ファイバジャイロセンサ）と加速度センサを組み合わせ、装置（Inertial Measurement Unit：IMUと呼ばれる）の現在の位置・姿勢を取得する技術である。航空機や潜水艦などにはすでに配備されており、実用化されている。しかしながら、小型化、低価格化は進まず、ウェアラブルコンピュータ向けの用途には不向きである。以下の章では、筆者らが提案するウェアラブルコンピュータ向けの位置・方位取得手法の概要を述べる。

4.2 その他のセンシング技術

利用者の生体センサ情報（発汗量や心拍数、脳波）などを捉えることは、利用者の状態を知る上で非常に有効な技術となろう。利用者が現在食事をしているのか、歩いているのか、階段を昇っているのか、など、生体信号から取得することができる可能性がある。また、特定の化学物質（気体）を検出するセンサは、生命を脅かす危険性のある物質の検出など、危険な作業現場においては不可欠なものであろう。

5. パーソナルポジショニング

筆者らは、利用者視点の映像を撮影するカメラと頭部装着型慣性センサ、頭部装着型ディスプレイ、腰部

装着型歩行動作検出・計測センサに基づいてパーソナルポジショニングを実現し、その応用例として拡張現実システムを構築した。

5.1 ビジョン（画像）に基づくパーソナルポジショニング

筆者らは、1999年よりウェアラブルなビジュアルインタフェースの研究に取り組んできた¹⁰⁾。その過程において、パノラマ画像群を情報源に用いた位置・方位取得および注釈提示手法（パノラマベーストアノテーション）を提案した¹¹⁾¹²⁾。この手法は、ウェアラブルコンピュータの利用者を想定していて、その利用者視点の入力画像と事前に撮影された画像群（撮影位置・方位は既知）を情報源として用いている。その概要を図2に示す。

5.2 歩行動作検出・計測に基づくパーソナルポジショニング

次に、筆者らは、人間（歩行者）の移動量を歩行動作検出・計測に基づいて推測するアプローチを導入した。すなわち、人間が歩行によって移動するときに現われる物理的なパターンを検出し、これに基づいて基準位置・方位からの相対移動量を推定する（一種のdead-reckoningである）アプローチである。人間の歩行動作は重心位置の鉛直方向及び進行方向の加速度変化の典型的なパターンとして現われる。

図3に典型的な加速度成分（鉛直方向・進行方向）のパターンの一つを示す。このパターン検出を腰部に装着されたセンサ群（加速度・角速度・磁気センサ）を用いて処理する。同時に、利用者の進行方向を角速度の積算と地磁気を捕捉する磁気センサをカルマンフ

図2 パノラマベーストアノテーション

イルタの枠組で統合することによって推定することで、利用者の進行方向をロバストに取得する¹³⁾。また、これらのセンサ群を用いて歩行速度の推定、階段の昇降、エレベータ昇降の動作検出も可能とした¹⁴⁾。

相対移動量をビジョンとは独立して検出することが

図 3 典型的な加速度成分 (鉛直・進行方向) パターン

図 4 パーソナルポジショニングに基づく拡張現実システムの出力画像

可能となったため、入力画像は常にパノラマ画像群と位置合わせする必要はなくなり、計算コストは大幅に削減された。また、本手法¹⁴⁾は 30 m の歩行移動距離につき 1 m 程度の誤差累積しか生じないため、必要となる画像群 (パノラマ画像である必要はない) は 1/100 程度に削減できる。このため、本パーソナルポジショニングシステムでは、ウェアラブル PC 単体で動作させることが可能となった。

図 4 にパーソナルポジショニングシステムに基づいた、拡張現実感の応用例 (実画像上への注釈提示) による出力画像の一例を示す。

6. 産業分野への応用

現時点で最も有効にウェアラブルコンピュータの技術が生かせるのは、まず第一に大規模な産業の末端現場の第一線であろう。例えば、航空機や電力プラントといった大規模な装置においては、その作業・メンテナンス・点検には同様に大規模な作業手順書等のマニュアル・ドキュメント類が必要となる。このような現場に、ウェアラブルコンピュータを導入することによって、電子化されたマニュアル・ドキュメント類を臨機応変に即座に呼び出し、参照することができれば、作業に要する時間と労力を大幅に削減できると期待される。ボーイングや米国ホンダなどではすでに一部の作業工程にこれらの技術を導入しているという。

特に前述のパーソナルポジショニングシステムなどを用いて、利用者 (作業員) の現在位置・方位が分かっていることで、計算機は作業員がどのプラントにいてどの装置を見ているのかを認識し、作業に必要なオンラインドキュメントの候補一覧などを提示することが可能となる。情報提示には頭部装着型のウェアラブルディスプレイを用いることでハンズフリーな作業が可能となり、生産性の向上を見込むことができる。

また、作業等に関するエキスパートが中枢センターにおり、複数の (エキスパートではない) 作業員が遠隔地にいるような状況においても、各作業員の現在位置・方位を把握できていることで、それぞれに適切な指示を出すことが可能となる。作業員への指示方法の一例として、肩に装着型のレーザポインタ付ウェアラブルアクティブカメラ (WACL)¹⁵⁾を用いることができる。指示内容を音声とレーザポインタで伝達することで、音声コミュニケーションのみの場合と比べ、表現力あるコミュニケーションが実現できると期待される。

参考文献

- 1) S. Mann: "An Historical Account of the Wear-

- Comp and WearCam Invention Developed for Applications in Personal Imaging,” in Proc. of ISWC '97, 1997, p 66-73
- 2) 映像情報メディア学会誌, 小特集「ウェアラブルコンピュータ」 Vol. 57, No. 3, 2003
 - 3) R.Azuma: “A survey of augmented reality” in Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Vol. 6, No. 4, 1997, p 355-385
 - 4) MicroOptical 社: <http://www.microopticalcorp.com/>
 - 5) 島津製作所: <http://www.shimadzu.co.jp/hmd/>
 - 6) 福本雅郎 “24 時間ニュウリョクデキマスカ?”, 理学会誌 Vol. 41, No. 2, pp. 123-126, 2000
 - 7) Handkey 社: <http://www.handkey.com/>
 - 8) 福本雅郎, 外村佳伸: 手首装着型コマンド入力機構, 情報処理学会論文誌, Vol. 40, No. 2, 1999, p 389-398
 - 9) Takeshi Kurata, Takekazu Kato, Masakatsu Kourogi, Jung Keechul, Ken Endo: “A Functionally-Distributed Hand Tracking Method for Wearable Visual Interfaces and Its Applications” in Proc. of IAPR Workshop on Machine Vision Applications (MVA 2002), 2002, p 84-89
 - 10) Weavy: Wearable Visual Interfaces, <http://www.is.aist.go.jp/weavy/>
 - 11) 興梶正克, 蔵田武志, 坂上勝彦, 村岡洋一: “パノラマ画像群を位置合わせに用いたライブ映像上への注釈提示とその実時間システム”, 信学論 (D-II) Vol. J 84-D-II, No. 10, 2001, p 2293-2301
 - 12) 興梶正克, 蔵田武志, 坂上勝彦: “ウェアラブル拡張現実システムのための利用者のビューベースト位置・方位取得手法”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 vol. 7, No. 2, 2002, p 139-150
 - 13) Masakatsu Kourogi and Takeshi Kurata: “A method of personal positioning based on sensor data fusion of wearable camera and self-contained sensors” in Proc. IEEE Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI 2003), 2003, p 287-292
 - 14) Masakatsu Kourogi and Takeshi Kurata: “Personal Positioning based on Walking Locomotion Analysis with Self-Contained Sensors and a Wearable Camera” in Proc. Int' Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2003), 2003, p 103-112
 - 15) 酒田信親, 加藤丈和, 興梶正克, 葛岡英明, 蔵田武志: “レーザ搭載型ウェアラブルアクティブカメラによる遠隔コミュニケーション支援”, 信学技報・第 12 回複合現実感研究会, PRMU 2002-172, 2003, p 19-24