

ウェアラブル機器による リアルタイムセンシング技術

産業技術総合研究所知能システム研究部門

蔵田 武志 kurata@ieee.org

(株) 東芝 研究開発センターマルチメディアラボラトリー

鈴木 琢治 takuji1.suzuki@toshiba.co.jp

ユーザに負荷をかけずに、ユーザの周囲情報と内部情報を取得するウェアラブルセンシング技術を紹介する。さらに、これらを融合した分散リアルタイムネットワークでの新規サービスイメージについても触れる。

◆分散リアルタイムネットワークにおける ウェアラブルセンシング

近年、ネットワークを利用した新しい人間支援サービスが増えている。たとえば独居高齢者向けの緊急通報サービスは、独居高齢者がペンダント型の通報装置を身につけて生活し、心臓発作など緊急時にペンダントのボタンを押すことで救急隊員などに通報するサービスである。しかし、いざというときにユーザがボタンに手が届かない、苦しくて押せないなど、入力インターフェースの問題から対応が遅れてしまうことが多い。

このように、ネットワークを人間支援のために利用する場合、ユーザのニーズ発生からユーザの操作、入力までを含めたトータルなリアルタイム性の確保が重要である。そしてリアルタイム性の確保において、情報機器への入力や操作の時間が大きなボトルネックとなっている。

入力・操作によるボトルネックを最小限にするためには、ユーザの状況のリアルタイムセンシング技術が非常に有効である。さまざまなセンサを用いてネットワーク側がユーザの状況をリアルタイムに獲得、判断することにより、適応的なサービスを提供する。これによりユーザの負担を低減しつつサービスの質を確保することができると思われる。

ユーザの状況を把握するためのセンシング手法として

は、1つには環境側からユーザをモニタする方法がある。しかしコスト的に対応できる環境に限られ、日常生活におけるユーザ状況を常に獲得できる訳ではない。これに対し、いわゆるウェアラブルセンサとしてユーザ自身にセンサを装着し、常にユーザの状況をモニタする方法がコスト的に合理的である。

ユーザ状況を示す情報は周囲情報と内部情報に分けられる。周囲情報とは、周囲の環境の状況、対面している人などの情報である。これらは、たとえばウェアラブルビジョンにより映像から取得することができる¹⁾。一方、内部情報とはユーザの日常生活の行動、サービスに対する反応などの精神状況、健康状態等である。これらは上記の状況を反映する生体情報をウェアラブル生体センサで計測し、ここから取得することができる。

本稿では、ウェアラブルセンシングについて周囲情報と内部情報それぞれの観点で解説する。またこれらを融合したアプリケーション例について述べ、分散リアルタイムネットワーク上でのリアルタイムセンシング技術が実現することによる新しいサービスイメージの一例を紹介する。

◆ウェアラブルビジョンによるユーザの 周囲情報の獲得

《頭部装着型カメラによる対象の位置姿勢推定》

ウェアラブルビジョンにより得られる情報は、体のどの部分にどのようなカメラを装着するかにより大きく異なってくることが知られている²⁾。ここでは、まず、頭部装着型カメラを用いたユーザ周囲情報の獲得・利用に関する研究事例を紹介する。

頭部装着型カメラは、ユーザの頭部動作にカメラが追

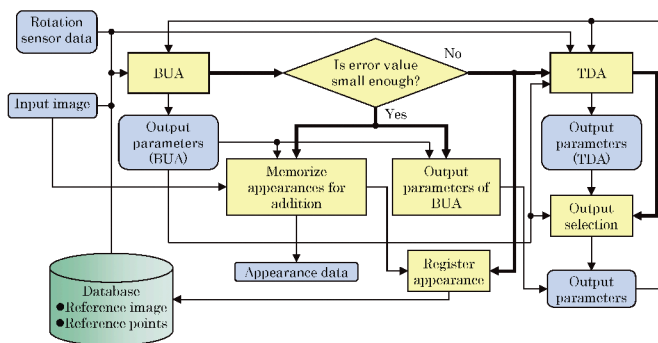


図-1 ボトムアップアプローチ（BUA）とトップダウンアプローチ（TDA）の統合処理の概要

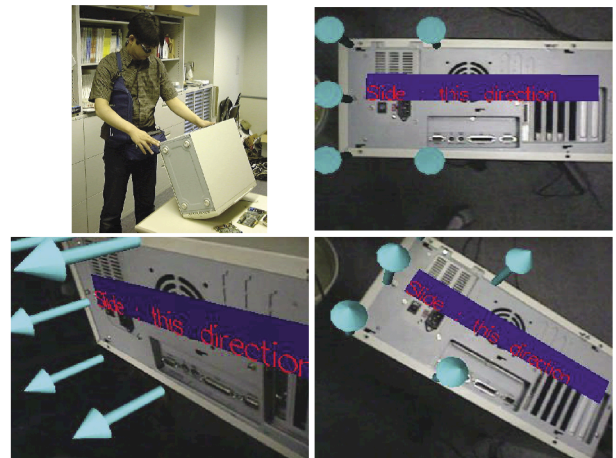


図-2 頭部着用型カメラを用いたウェアラブル拡張現実システムによる作業支援の例（PCケースの外枠を矢印の方向に引き出すように指示）

従するため、ユーザが注目している対象を自然と観測できるという利点を持つ。また、HMD（Head Mounted Display）やHWD（Head Worn Display）と呼ばれる頭部装着型ディスプレイに視差の小さい映像を表示することができるため、実世界の状況に応じて仮想世界の情報を提供し、実世界での活動を支援するウェアラブル拡張現実システムでしばしば用いられる³⁾。そのような拡張現実システムにおいて、作業支援のように作業内容を実物体の位置や向きに関連させて提示したい場合や、エンターテインメント分野などでは、特に、3次元情報を実時間で正確に位置合わせを行い提示する技術が重要となる。

実物体と仮想物体（注釈情報）の3次元的位置合わせに用いるセンサや方法は、各応用システムの要求に応じて適切に選択する必要がある。ここで紹介するコンピュータビジョン（CV）技術による位置合わせ手法⁴⁾は、原理的に環境や対象側に計測用デバイスを配置する必要がないことから、ウェアラブルシステムに適しているといえる。

マーカを利用する方法⁵⁾は安定しており実用性も高いが、実環境中のいたるところにマーカが配置される状況は不自然で応用を限定しかねない。そこで、自然特徴点を用いる手法が提案されているが、その多くは、ボトムアップアプローチ（BUA）とトップダウンアプローチ（TDA）の2種類に分類できる。どちらも、マーカの代わりとして、対象の画像（アピアランス）、対象画像座標系での基準点（位置合わせの基準となる対象画像上の点）の2次元座標、およびその基準点の物体座標系での3次元座標により構成される対象のモデルを用

いる。

ボトムアップアプローチでは、モデルと対応の付いている各局所画像特徴を個別に検出・追跡し、その結果に基づいてカメラと対象との相対的な位置姿勢を求める。そのため、少ない計算量で正確な解が得られ実時間処理向きといえる。しかし、ノイズや大きな動きに伴う基準点のアピアランス変化のために、画像の局所特徴を検出・追跡できない場合があり、また、一度失敗すると処理を復帰させることも困難である。

Condensation アルゴリズム⁶⁾に代表されるトップダウンアプローチは、多数の位置姿勢候補をサンプリングして各候補の尤もらしさを画像により評価し、対象の状態を離散的な確率密度分布で表現する。ボトムアップアプローチに比べて局所的なアピアランス変化の影響を受けにくい。実時間処理を実現するためには、サンプル生成の範囲や密度などに工夫し計算量を削減する必要がある。

図-1は、ボトムアップアプローチとトップダウンアプローチを相補的に組み合わせた例である。この手法ではまず、Least Median of Squares（LMedS）基準に基づくロバスト推定を用いて、特徴点追跡の結果から位置姿勢を推定する。得られた誤差が小さい場合はこのボトムアップアプローチによる推定値を出力し、誤差が大きい場合や追跡に失敗した場合にはサンプル生成範囲・密度を限定したトップダウンアプローチを適用する。このような枠組みにより、ボトムアップアプローチのみで位置

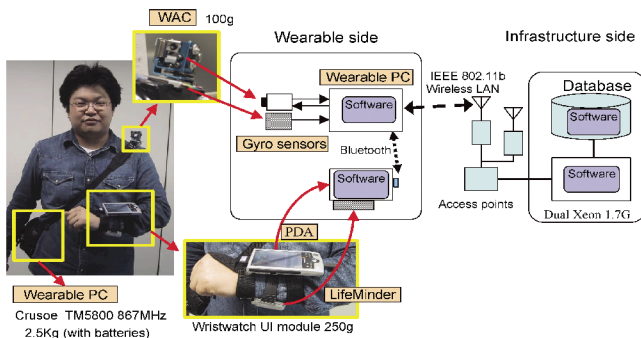


図-3 WAC と LifeMinder を備えた試作システム

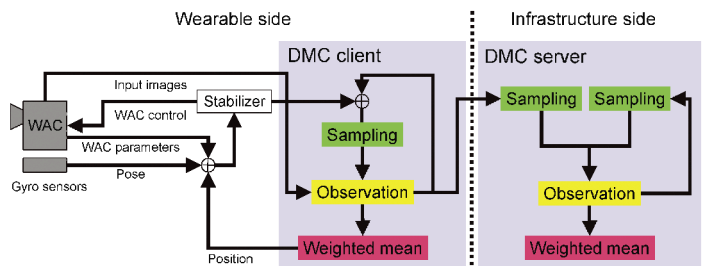


図-4 DMC 追跡法の概要

合せが済む場合は少ない計算量で処理ができ、トップダウンアプローチが続けられる間はCondensation アルゴリズムと同様の処理をして、ボトムアップアプローチを復帰させることができる。

頭部装着カメラの回転運動は、ユーザが装着しやすい回転角センサにより計測できる。得られた回転パラメータは、BUA での特徴点位置予測や、TDA でのサンプリング範囲限定に適用できるため、計算量を削減するのに有効である。また、入力画像と推定された位置姿勢を必要に応じてデータベースに自動登録すると、基準点周辺のアピアランス変化に対応した追跡範囲、すなわち推定可能な位置姿勢範囲の拡大が実現できる。図-2は、作業工程を対象物体上に3次元的に実時間で重畳しながら作業支援することを想定した実験例である。

《小型能動視覚による周囲の状況把握》

頭部着用型カメラは、ユーザの頭部動作に追従する利点があるが、周囲状況の把握に重要な情報を見逃すという欠点もある。そこで、画像認識や慣性センサの情報に基づいた自律制御が可能なウェアラブルアクティブカメラ（WAC（wearable active camera））を用いて、注目対象を頭部動作とは独立して安定に観測し、能動的に情報収集をするための研究が行われている^{2), 7)}。

図-3はWACを含む試作システムの例である。このWACは軽量かつ小型で、パン方向に約270°、チルト方向に約90°の範囲でカメラヘッドを回転させることができる。また、雲台の土台部分の回転角センサにより、ユーザの動作を計測することができる。WACは、ウェアラブルPCに画像やセンサデータを送り、ウェアラブルPCからの制御を受ける。

ユーザの周囲情報の中でも重要なものの1つに人物情報がある³⁾。この人物情報を長時間安定して獲得するには、先に述べたような理由から頭部装着型カメラよりもWACの方が適しているといえる。WACで対象人物を追跡し続けるためには、追跡結果を高速にフィードバックする必要がある。また、追跡結果に基づいて個人識別や過去の映像検索を行うためには、精度のよい追跡処理やデータベース検索をしなくてはならない。

WACを制御するウェアラブルPCは、小型化や省電力化のために十分な計算リソースを持つことができない。そのため、計算コストの高いCVのタスクは、ウェアラブルPCと環境側のビジョンサーバとで分散処理しなければならない。しかしながら、入力画像をサーバに転送し、サーバ上で人物の位置・姿勢推定などをする場合、無線ネットワークを経由した通信による遅延や、通信障害や基地局の切り換えによる通信不能は避けられない。

そのような状況でもWACによる人物追跡を可能にする方法として、分散モンテカルロ（DMC（Distributed Monte Carlo））追跡法⁷⁾を紹介する。DMC追跡法は、先に述べた対象の位置姿勢推定のTDAで用いたCondensation アルゴリズムを、ウェアラブルPCとサーバからなるヘテロな分散環境のために拡張した手法である（図-4）。ウェアラブルPC上では必要最小限の人物位置姿勢の候補（サンプル）により人物追跡を行うため、十分な精度ではないものの高速な追跡が可能である。一方サーバでは、ウェアラブルPCからの最新の追跡結果とサーバ上での直前の追跡結果に基づいたより多くのサンプルによって、詳細に人物位置姿勢を推定する。DMC追跡法は単なる並列化とは異なり、ウェアラブル

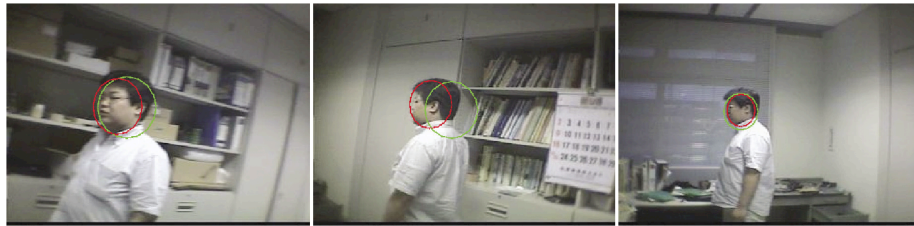


図-5 WAC による人物追跡の例

PC 単体でも追跡処理が完結するため、無線ネットワークの遅延や通信障害の影響を受けることなく WAC へのフィードバックを行うことができる。

人物追跡の例を図-5に示す。緑の楕円はウェアラブル PC のみによって推定された人物頭部、赤の楕円はサーバ上で最終的に得られた追跡結果である。

現在この DMC 追跡法は、ウェアラブル PC とサーバを用いた分散処理のために実装されている。将来的には、センサ組込みプロセッサとウェアラブル PC との間の分散処理にも応用することができるため、今後も有効な手法となると考えられる。

◆ウェアラブル生体センシングによる ユーザの内部情報の獲得

《ウェアラブル生体センシングの動向》

ユーザの内部情報としての、行動、動作、精神状況、健康状態などの情報は、さまざまな生理情報、動作情報などから取得できる。これらの計測技術は古くから生体計測技術として研究開発が行われてきている。従来の生体計測技術は、主に医療分野で精度を重視する検査用途を主眼に開発が進められてきた。よってリアルタイム性についてはあまり議論がなされてこなかった。また装置の大きさも検査用途であり、ユーザである患者が「ウェアラブル」に日常生活で使用できるような大きさではなかった。

一部では、運動状態把握のための歩数計、心臓病の診断のためのホルタ心電計など、特定用途向けのウェアラブル的なセンシングデバイスは広く使用されている。ただし、主にデータ蓄積型でのオフライン検査が目的となっている。しかし、最近ではオンライン型のホルタ心電計も検討されている。リアルタイムに取得した心電の波形解析を行い、不整脈などの異常を検知し、リアルタイムに通報するシステムである⁸⁾。



図-6 LifeMinder プロトタイプ構成

これに対し、健康管理など一般的な利用も含めた生体センシングを目的として、装着性を高めた指輪型の脈波センサが開発されている。指輪内部で脈波計測、信号処理を行い、リアルタイムに PC、PDA、携帯電話などにデータ送信が可能である⁹⁾。

一方、ユーザの内部情報をヒューマンインタフェースに利用する動きもある。Affective Computing として、たとえば皮膚電気反射 (GSR (Galvanic Skin Reflex)) を用いて、ユーザが驚いたときにウェアラブルカメラで対面画像を取得する、といった試み¹⁰⁾、あるいは脳波、脈拍などに基づきユーザの精神状況を取得し、これに対応して自分が興味を持った状況を抽出して記録する研究も行われている。

《ウェアラブル生体センシングの健康管理への応用》

生活習慣病などの増加に伴い、健康管理が注目を集めている。健康管理サービスでリアルタイムを必要とするのは、運動と食事の管理である。本節では、運動と食事の情報のリアルタイムな取得、管理を可能とする LifeMinder について紹介する¹¹⁾。

図-6 は試作したプロトタイプである。ユーザの状況

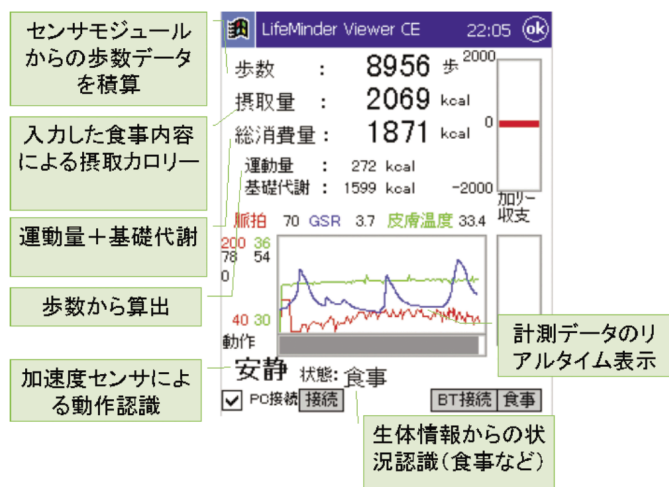


図-7 PDA 基本画面

を取得するためのさまざまなセンサと無線通信機能を内蔵した腕時計型のセンサモジュールと、データを無線で受信しリアルタイムに解析し健康管理に必要なアドバイス等のサービスを提供する携帯情報端末（PDA）とから構成される。

センサモジュールは腕時計型の本体とセンサをまとめた指先装着のセンサヘッドから構成される。センサヘッドは光電脈波、GSR および皮膚温の各センサを内蔵する。また本体には2軸の加速度センサを内蔵する。内蔵したCPUにて、脈波からの脈拍算出、加速度波形の平均値、周期などの特徴からの動作認識、歩数算出などの処理を行う。

またセンサモジュールにはBluetooth モジュールを内蔵し、計測、処理されたデータをリアルタイムにPDAに送信し、これに基づきさまざまな生活管理サービスを提供する。たとえば図-7のようにPDAの画面上でユーザが自身の現在の状況をリアルタイムに確認することができる。

本システムは、運動状況（安静、歩行、走行、PC作業など）、食事の開始などの高次なユーザ状況を認識し、PDAなど周囲の情報機器にBluetoothを介してリアルタイムに送信し、これに併せたサービスを提供することができる。

クラスタリング、ニューラルネットなどの手法を用いて腕の加速度データから動作の特徴抽出を行い、動作識別の検討を行った。その結果表-1に示すように特定被

		正解			
予測		PC	走る	立つ	歩く
	PC	99.9	0.0	0.0	0.0
	走る	0.0	93.8	0.0	0.0
	立つ	0.0	0.0	98.2	0.4
	歩く	0.1	6.2	1.8	99.6

表-1 ニューラルネットワークによる動作識別結果 (%)

験者のデータから90%以上の精度を得た。これを用い認識した動作状況にあわせ、たとえば運動後の安静時に運動内容を聞き取り運動内容の管理を行い、あるいは作業が長時間続く場合に休憩を促す、などのサービスが可能となる。

また、脈拍やGSR、手首の加速度などの変化から、特定被験者の限定したタスク下にて90%の精度で食事開始の認識が可能であることを確認した。これにより食事のタイミングに合わせたさまざまなサービスが提供できる。たとえば食事終了時をみはらかい、PDAよりユーザに対話式で食事内容の入力を促す。生活習慣病管理で重要な食事管理をユーザが意識しなくても正確に行うことができる。また、服薬指示や、食後血糖値などの計測指示などを表示し、ユーザが忘れるのを防止することができる。現在、食事開始だけでなく、食事終了の認識についても開発中である。

◆ユーザ周囲情報とユーザ内部情報の統合

最後に、LifeMinderで得たユーザ自身の状況を利用し、WACにより得られるユーザ周囲の状況から検索などを行う融合アプリケーションについて紹介する。

WACによるユーザ周囲の人物情報収集・検索機能とLifeMinder内蔵の加速度センサによるエピソード記憶想起支援の例を図-8に示す。ユーザは、図-1のようにPDAとLifeMinderからなる腕時計型ユーザインタフェース（UI）モジュールとWACを装着する。UIモジュールは、LifeMinder内蔵の2軸の加速度センサから得られる重力加速度の方向によってディスプレイ（PDA）の傾きを検出し、ユーザがディスプレイを見ようとする動作を検出することができる。システムは、その動作が検出された時点、つまりユーザが情報を見ようとした時点においてWACが追跡中の人物の顔画像をキーとして、サーバで過去の映像ログを検索する。

検索で得られた映像はそのインデックス情報とともに



謝辞 本研究は、文部科学省の科学技術振興調整費による「人間支援のための分散リアルタイムネットワーク基盤技術の研究研究」の一環として行われました。

- 1) <http://www.is.aist.go.jp/weavy/>
- 2) Mayol, W. W., Tordoff, B. and Murray, D. W.: Wearable Visual Robots. In Proc. 4nd ISWC2000, pp.95-102 (2000).



- (平成14年11月1日受付)