

FIT2010 Kobe University

## ライフログのためのウェアラブルセンシング



**寺田 努**



神戸大学大学院工学研究科 准教授  
NPO法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構 理事

Kobe University

## ウェアラブルコンピューティング

- 情報機器を服のように「着て」利用する
  - 人間の能力をコンピュータで増強する！
  - 体に装着したコンピュータを常時利用する
    - ディスプレイは目の前に
    - 入力装置は手のそばに
    - 本体は目立たないところに

**ポイント**

- ▶ 常時ON：いつでもどこでも使える
- ▶ 生活密着：ユーザの日常生活をサポート
- ▶ ハンズフリー：両手で別のことをしながら利用できる

**適用領域**

- ・ 軍事用：陸軍、空軍の情報収集・交換
- ・ 業務用：営業、消防・警察、ファーストフード、コンビニ、警備・介護
- ・ 民生用：情報提示、記憶補助・情報記録、コミュニケーション、暇つぶし（エンタテインメント）、教育

Kobe University


## ライフログを実現するためのセンシング技術とは？

- あらゆる要素を統合的に考える必要がある
  - **アプリケーション**
    - ・ 日常のささいな事柄がターゲットになる？
  - **インタフェース**
    - ・ 身につけるデバイスが多様に？
    - ・ 利用シーンが多様に？
  - **センシング・理解**
    - ・ 高精度、高信頼性、低消費電力
  - **プログラミングモデル**
    - ・ その場プログラミング？
  - **OS/ミドルウェア**
    - ・ ウェアラブル特有のデペンダビリティ
  - **ハードウェア**

Kobe University

## 実現したいこと


- ・ サービスを容易に記述できるプログラミングモデル
- ・ システム稼働中の動的なアプリケーション交換・共存
  - イベント駆動型ルールエンジンの開発
- ・ コンテキストのその場定義機能
  - コンテキストツールの開発
- ・ ハードウェアの抽象化、故障対応
  - 中間デバイス・データ補完技術の確立



Kobe University

## Wearable Toolkitプロジェクト

- ウェアラブルシステムをプログラマ/エンドユーザが容易に開発するためのエンジン+ツール群 (<http://wearable-toolkit.com>にて配布中)
  - 今日はエンドユーザ向けの利用方法を主に解説



Wearable Toolkit

ECAルールを誰でも書けるように

実現したい機能を組み込むために

Contextツール
GUIルールエディタ
Hardware抽象化ツール
プラグイン開発ツール

テキスト規則ルールエディタ

柔軟型ルールエンジン

Kobe University

## イベント駆動型ルールエンジンの開発

**イベント駆動型ルールエンジンの開発**

- ▶ イベント・コンディション・アクションの3つを1組にしたECAルールで動作を記述する
- ▶ プラグインを用いてシステムの機能を自由に拡張・カスタマイズできる
- ▶ アクティブデータベース技術の活用（異常動作検出・セキュリティの確保）

**Event** → 発生する事象


**Condition** → 実行条件

**Action** → 実行する動作

E: ユーザが移動  
C: 店舗Aの側にいる  
A: 商品情報を表示

シンプルなルールの組合せで  
複雑なサービスを提供

ある事象 (Event) が起こり、  
ある条件 (Condition) を満たせば、  
ある操作 (Action) を行う。



ECAルール

ルールエンジン

プラグイン

GPS
地磁気センサ
カメラ

E.C.Aルールを用いたアプリケーション開発

数十個のプラグイン（数百個のイベント・アクション）を実装済み

<p>状況依存のイベント処理</p> <p>E: メール到着 C: ユーザーがPC操作中でない A: メール読み上げ</p> <pre> DEFINE OnReceiveEMail WHEN MAIL_RECEIVE IF ?SYSIS_USER_IDLE THEN DO   SOUND_OUT(NEW.CONTENT)           </pre> <p>多様なデバイスへの対応</p> <p>E: ネットワーク状況の変化 C: 屋内ネットワークに接続 A: GPSの電源OFF</p> <p>E: ネットワーク状況の変化 C: 屋内ネットワークに接続 A: GPSの電源OFF</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>システム情報プラグイン</td><td>ユーザーのPC使用状況取得</td></tr> <tr><td>マルチメディアプラグイン</td><td>動画・音声の再生</td></tr> <tr><td>GPSプラグイン</td><td>GPSによる移動検出</td></tr> <tr><td>地磁気センサプラグイン</td><td>向いている方向の変化の検出</td></tr> <tr><td>シリアル通信プラグイン</td><td>シリアルポートでデータを送受信</td></tr> <tr><td>カメラプラグイン</td><td>カメラによる動画・静止画の撮影</td></tr> <tr><td>ネットワークプラグイン</td><td>ネットワークへのデータを送受信</td></tr> <tr><td>メールプラグイン</td><td>メールの送受信</td></tr> <tr><td>ブラウザプラグイン</td><td>ウェブブラウザの制御</td></tr> <tr><td>デバッグプラグイン</td><td>デバッグ機能の付加</td></tr> <tr><td>地図ビュープラグイン</td><td>地図の表示・制御</td></tr> <tr><td>データベースプラグイン</td><td>アクティブDBの機能を提供</td></tr> <tr><td>Skypeプラグイン</td><td>Skypeの制御</td></tr> </table>	システム情報プラグイン	ユーザーのPC使用状況取得	マルチメディアプラグイン	動画・音声の再生	GPSプラグイン	GPSによる移動検出	地磁気センサプラグイン	向いている方向の変化の検出	シリアル通信プラグイン	シリアルポートでデータを送受信	カメラプラグイン	カメラによる動画・静止画の撮影	ネットワークプラグイン	ネットワークへのデータを送受信	メールプラグイン	メールの送受信	ブラウザプラグイン	ウェブブラウザの制御	デバッグプラグイン	デバッグ機能の付加	地図ビュープラグイン	地図の表示・制御	データベースプラグイン	アクティブDBの機能を提供	Skypeプラグイン	Skypeの制御
システム情報プラグイン	ユーザーのPC使用状況取得																										
マルチメディアプラグイン	動画・音声の再生																										
GPSプラグイン	GPSによる移動検出																										
地磁気センサプラグイン	向いている方向の変化の検出																										
シリアル通信プラグイン	シリアルポートでデータを送受信																										
カメラプラグイン	カメラによる動画・静止画の撮影																										
ネットワークプラグイン	ネットワークへのデータを送受信																										
メールプラグイン	メールの送受信																										
ブラウザプラグイン	ウェブブラウザの制御																										
デバッグプラグイン	デバッグ機能の付加																										
地図ビュープラグイン	地図の表示・制御																										
データベースプラグイン	アクティブDBの機能を提供																										
Skypeプラグイン	Skypeの制御																										

コンテキスト定義の難しさ

- その場プログラミングをするには、その場で新たなコンテキストを定義することが必要
- コンテキスト=なんらかの状況
  - 「歩行中」「自転車に乗っている」「起きている」「メール着信」「ある時点から10分後」...
  - 単一または複数のセンサの特徴量で表現されることが多い。
    - 「現在地が自宅」=GPSから得られた緯度経度の現在瞬間値があらかじめ登録されている自宅の緯度経度と一定値以上近いこと。
    - センサの選択、特徴量の選択、が難しい!

状況を認識する手順は？

コンテキスト定義ツール（コンテキストプラグイン）

- コンテキスト定義、認識のためのツール
  - 半自動的なコンテキスト定義（特徴量やウィンドウサイズ、認識アルゴリズムの自動決定）
  - 認識したコンテキストをルールエンジンのイベントとして出力

T. Terada and M. Miyamae: Toward Achieving On-Site Programming, Proc. of the 13th IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC '09), pp. 1-8 (Sep. 2009).

特徴量の選択とパラメータの設定

- 利用者の状況の推測
  - 変化が少ない状態
    - 例: 「立っている」
    - 特徴量: 平均などを利用
  - 変化が多い状態
    - 例: 「腕をまわす」
    - 特徴量: DPマッチングなどを利用

適切な組合せの選択

- 質問回答インターフェース
  - 専門的でない質問内容と回答の選択肢
  - 入力値や回答に応じた動的な質問選択
  - 平均4回

Kobe University

### プラットフォームを用いて構築したアプリケーション例 (1/2)

- 鈴鹿8耐レースサポートシステム**
  - バイクレースの監督・ピットクルーを支援
  - タイヤ交換など激しく動きながらもレースに勝つための情報を閲覧可能
  - 2003年~2005年の3年間にわたる運用実験
- 障害者向け万博ナビゲーションシステム**
  - 装着デバイスの構成に応じて動的に提示コンテンツを変更
  - HMDを使わない→視覚障害→音声コンテンツ
  - ヘッドフォンを使わない→聴覚障害→手話ビデオ
  - 2004年に万博記念公園にて運用実験
- 農作業支援システム**
  - 常時記録・参照により、異常の見発見や助言を行う
  - 手袋を付け替えることでセンサデバイスを交換できる
  - 2002年に農業情報ネットワークにてショー展示
- 司会・ライブサポートシステム**
  - イベント司会者・役者に台本を提示
  - ミュージシャンがライブで歌詞を閲覧
  - 数々のイベント司会およびプロミュージシャンによる実利用

Kobe University

### プラットフォームを用いて構築したアプリケーション例 (2/2)

- 野外学習システム**
  - カメラ、チャットの機能を用いて野外学習を支援
  - インテックW&G、富山大学との共同プロジェクト
  - 平成14年に中学生・高校生による実証実験
- イベント駆動型メールシステム**
  - ユーザの状況に応じたメールの通知方法変更
  - コマンドメールによる自動処理
  - メールベースのP2Pシステム
- 状況依存型BGMプレイヤー**
  - ユーザの状況に応じたBGM再生
  - スケジュールに応じたBGMによる気分の盛り上げ
  - テンガ制御によりユーザをコントロール
- 日常会話支援システム**
  - 会話に関連する情報をHMDに提示することで会話を支援
  - 会話音声からリアルタイムにウェブページを検索
  - 会話音声からPC内の関連情報をリアルタイム検索

Kobe University

### 常時使える行動認識機構の実現に向けた取り組み

- ・ **快適性:** デレイのないジェスチャ認識
- ・ **常時利用性:** 可変サンプリングによる低消費電力化, センサの動的選択による低消費電力化
- ・ **耐故障性:** 故障検出および補完機構
- ・ **多様性:** 行動の自己相関を用いた認識機構, 行動間制約記述
- ・ **疲労性:** 疲労耐性を考慮した認識機構
- ・ **正確性:** ノイズ耐性を考慮した認識機構
- ・ **直観性:** 言葉とジェスチャの関連性調査
- ・ **導入容易性:** 他人の特徴量が利用できる認識機構

・ **楽しさ:** 日常で行動認識に基づく入力を行う際の新たな指針?

[参考] 寺田 努, "Quick-draw Gesture Recognizer: 快適なジェスチャ操作環境の構築," ユビキタス・ウェアラブルワークショップ2009論文集 (Nov. 2009).

Kobe University

### 快適性: デレイのない動作認識

- ・ **ダンスによるJust-timeジェスチャ入力のための動作認識手法**

音の組み合わせによっては、音を途中で変更しても違和感がない

2段階で認識を行い、出力音を変更できる

出力音の調整

2段階で認識を行うことで出力タイミングと認識率を兼ね備えた認識が可能

[参考] M. Fujimoto, N. Fujita, Y. Takegawa, T. Terada, and M. Tsukamoto: A Motion Recognition Method for a Wearable Dancing Musical Instrument," 13th IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC '09).

Kobe University

### 行動間の制約記述に基づく認識の高度化

- ・ **WearableDJシステム**
  - ジェスチャ間の関係性を活用したジェスチャへの機能割当て機構
  - 認識率・未認識率・誤認識率・識別率等の閾値によるジェスチャ推薦

[参考] Y. Tomibayashi, Y. Takegawa, T. Terada, M. Tsukamoto: Wearable DJ System: a New Motion-Controlled DJ System, the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology 2009 (ACE 2009).

Kobe University

### 入力における多様性の確保(1)

- ・ **状況依存ジェスチャ入力システム**
  - 状況に応じて使える身体部位が異なることを利用したジェスチャ入力

歩いているとき 足だけ

選択: 自動 決定: 右足 戻る: 左足

左手 右手

選択: 左手 決定: 右足 戻る: 左足 選択: 右手 決定: 右足 戻る: 左足

両手

選択: 左手 決定: 右手 戻る: 左足

- ・ 左手が使える: 左手を内側外側に素早くひねる。
- ・ 右手が使える: 右手を内側外側に素早くひねる。
- ・ 右手が使えない: 右足を後ろに上げる。
- ・ 左手が使えない: 左足を後ろに上げる。

自動選択: どちらの足を後ろに上げる

Kobe University

### 入力における多様性の確保(2)

- Xangle
  - 2つの加速度センサを両手の角度にマッピングし、交点をポイントとするウェアラブル向けポインティング

(a) Operation by right sensor      (b) Operation by left sensor

[参考] Y. Tokoro, T. Terada, and M. Tsukamoto: A Pointing Method Using Two Accelerometers for Wearable Computing, Proc. of the 24th Annual ACM Symposium on Applied Computing (SAC 2009).

Kobe University

### 出力デバイスの多様性への対応

- 出力デバイスをミドルウェアで自動選択する枠組みの提案

提示情報      アプリケーション

提示情報の分類      提案機構

ユーザ状況 周辺環境      影響度の算出      提示装置評価モジュール      提示装置の決定      フィルタの適用

状況取得      提示装置の列挙

認識アルゴリズム      OS      センサ      センサ      カメラ      スピーカ      振動子      HMD

Kobe University

### 出力デバイスの多様性への対応

ニュース記事

画像      音      通知

画像化フィルタ      音声化フィルタ      通知化フィルタ

リサイズフィルタ      スピーカ      音声化フィルタ      スピーカ

×600

光学式HMD      2倍化フィルタ      Wii U Mon

Kobe University

### 多様性: 認識できる行動の組合せや多様化

姿勢	運動	ジェスチャ
◆ 「立つ」や「寝る」などの静止状態	◆ 「歩く」や「走る」などの動作状態	◆ 「携帯電話を出す」などの1回限りの動作
横になっている時の波形	歩行時の波形	腕を回した時の波形
<b>認識方法</b> 高速処理のため過去数秒間の <b>特徴量</b> を利用 平均値: 体の向き, 分散値: 運動の大きさが分かる 動き方に関する情報は欠落する。		<b>認識方法</b> ジェスチャ部分の <b>波形</b> を利用 詳細な動き方が分かる
<b>問題点と解決方法</b> ・従来研究では「姿勢+運動」か「ジェスチャ」のどちらかしか対象としていない。 ・従来研究では「一旦静止する」や「ボタンを押す」など <b>ジェスチャ開始点を明示している</b> 。 しかし、日常生活ではいずれも、いつでも起こりうる。 →行動を分類して認識を行うことで、1つのシステムで3種類の行動を高精度で認識		

Kobe University

### 多様性: 認識できる行動の組合せや多様化

運動中のジェスチャの検出がカギ

- 姿勢であるか否かの判断は容易
- 運動中のジェスチャを検出
- 運動中の波形の繰り返しに着目 → 自己相関関数を利用

$$R_{xx}(\tau) = \sum_{t=0}^{N-1} x_t x_{t-\tau}$$

自己相関を計算      ピークが出現

自己相関を計算      ピークは出現しない

歩行中の「投げる」動作の波形

**認識フロー**

入力 → 変動検出フェーズ (平均値からの乖離で動作の有無を判断) → 変動あり → 繰り返し検出フェーズ (自己相関から動作の繰り返しを判断) → 繰り返しなし

	特徴量のみ	波形のみ	提案手法
運動 (歩行)	96%	84%	95%
運動中のジェスチャ	6.3%	87%	96%

「姿勢」を認識      「運動」を認識      「ジェスチャ」を認識

Kobe University

### 常時性: 低消費電力化に向けて(1)

- サンプリングレートの動的制御と補充による低消費電力化
- ウィンドウコピー, アップサンプリング, ベアデータベースなど補充手法を提案

正常モード      補充モード

センサ1      時間      現在の他のデータ

直近のデータ      補充値予測      コンテキスト認識

正確な結果を取得

センシング値      補充値

周波数を平均1/2にすることで認識精度の低下は3%, 稼働時間1.2倍  
周波数を平均1/100にすることで認識精度の低下は12%, 稼働時間3倍

### 常時性: 低消費電力化に向けて(2)

意図的にセンサの電源を切り、データ補完する

**高精度モード**

全てのセンサをON  
高精度を追求

データ補完は行わない

**省電力モード①**

一部のセンサをOFF  
消費電力を削減

データ補完

**省電力モード②**

さらにセンサをOFF  
消費電力をより削減

データ補完

1つのシステムで「消費電力」と「認識精度」のバランスを自由に選択可能  
補完したデータでは若干認識精度が低下する。

- 行動の遷移確率を考慮して精度を改善
- 類似した行動を統合して精度を改善

行動	補完	補完を制限
歩く・立つ	歩く、走る、階段昇降、立つ	歩く、走る、階段昇降、立つ
階段昇降	歩く、自転車、階段昇降、立つ	歩く、自転車、階段昇降、立つ
自転車	歩く、走る、膝立ち、座る、立つ	歩く、走る、膝立ち、座る、立つ
膝立ち	歩く、走る、膝立ち、座る、立つ	歩く、走る、膝立ち、座る、立つ
座る	歩く、走る、膝立ち、座る、立つ	歩く、走る、膝立ち、座る、立つ

消費カロリーを計測 医師が運動を禁止  
歩く 立つ・・・ 普通 歩く 立つ・・・  
走る 自転車 激しい 走る 自転車

詳細に認識 運動が否かだけ認識

[参考] K. Murao, T. Terada, Y. Takegawa, and S. Nishio: A Context-Aware System that Changes Sensor Combinations Considering Energy Consumption, 6th International Conference on Pervasive Computing (Pervasive 2008)

### 常時性: 低消費電力化に向けて(2)

#### 各センサ組合せにおける行動の認識精度

センサを5個→3個にすると消費電力を20%削減できる  
適当な値で補完すると認識精度は26%も低下  
提案手法で補完すると認識精度は0.3%低下

認識精度改善手法による効果

- 遷移し難い行動を認識対象から外すことで**平均3.99% (最大11.79%) 改善**
- 9種類の行動を3種類にまとめることで**平均4.74%改善**

### 常時性: デバイスレベルでの低消費電力化に向けて(1)

ピーク値を用いた行動認識手法

Conventional method: Sensors' tasks → Main computer's tasks

Proposal: Sensors' tasks → Main computer's tasks

Hardware components: Light sensors, Tilt sensors, Accelerometer, Mini USB connect, Micro SD slot

[参考] K. Murao, K.V. Laerhoven, T. Terada, and S. Nishio: A Method for Context Awareness using Peak Values of Sensors, International Symposium on Ubiquitous Computing Systems (UCS 2009)

### 常時性: デバイスレベルでの低消費電力化に向けて(1)

日常生活の加速度データにおいて、データ量を97%削減  
認識精度の低下は1%以下

### 常時性: デバイスレベルでの低消費電力化に向けて(2)

MoCoMi-Chip

- 認識処理系をチップ内に含んだ加速度センサチップ (オリジナル開発)
- ルールベースで動作。記述を柔軟に変更可能
- 電波法による技術適合を取得
- データ送信量削減による低消費電力化
- 無線加速度センサで最小クラス (20mm×20mm)

項目	値	単位
動作電源消費電力	7500	100
動作電源消費電力	620	0.2
動作電源消費電力	280	0.76
動作電源消費電力	270	0.20
動作電源消費電力	680	0.34
動作電源消費電力	180	0.34
動作電源消費電力	180	2.1
動作電源消費電力	430	0.58
動作電源消費電力	200	0.22
動作電源消費電力	200	2.28
動作電源消費電力	240	0.32

[参考] 児玉賢治, 藤田直生ほか: センサノードのための加速度データに基づくルール型動作制御方式, 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 11, pp. 3732-3742 (Nov. 2008).

### 新たなハードウェアを用いた状況認識

五感チップによる状況識別

- 光チップ, 音チップ, 振動チップ, においチップ, 味チップ
- におい状況認識

視覚 聴覚 触覚 嗅覚 味覚

### 汎用的なジェスチャを知るための実験

言葉での教示がジェスチャ認識精度に与える影響を評価

ページを拡大して見やすくする  
Web ページを横向きに表示する  
iPad touch を横に回転させます。自動的にページの向きが調整され、画面の横幅に合わせて表示されます。

ジェスチャ	具体度：小	具体度：中	具体度：大
1	手を振る	左右に手を振る	パイプのように手を振る
2	手を傾ける	手前に手を傾ける	飲み物を飲むように手を傾ける
3	手を傾ける	左に手を傾ける	飲み物を注ぐように手を傾ける
4	前に手を動かす	手を前に押し出す	ドアを開けるように手を押し出す
5	手前に手を動かす	手を手前に引く	手を手前に引く
6	手を回す	前後に手を回す	リールを巻くように手を回す
7	手を回す	左右に手を回す	輪廻のガラガラをするように手を回す

### ディペンダブルなウェアラブルシステム(1)

一部故障時の性能 (平均 40% 程度) を 40% 程度改善 (認識精度 80% 程度)  
状況認識精度を 95% に保ったまま消費電力を 3割削減

技術的ポイント

- ハードウェアレベルでの装着デバイス取捨選択による消費電力削減手法の確立

波及効果

- システムの稼働時間および信頼性を高く保つことによるウェアラブルの利用推進

【参考】K. Murao, T. Terada, et al: CLAD: a Sensor Management Device for Wearable Computing, Proc. of 7th International Workshop on Smart Appliances and Wearable Computing (IWSAWC 2007).

### ディペンダブルなウェアラブルシステム(2)

【従来のウィンドウシステムの懸念点】

- ユーザープロセスの安定性がウィンドウシステムの安定性に強く依存する。
- リアルタイム性 / 応答性 / 信頼性が非常に低い。
- ウィンドウはウェアラブルで最良ではない。

【従来のデバイス制御手法の問題点】

- デバイスから取得したデータの処理がユーザープロセスで行われる。通常は利点であるが、リソースの減少が生じたときにユーザープロセスではデータの転送が止まる。
- 入力デバイスと出力デバイスの接続を、ユーザーが決める必要がある。これも通常は利点であるが、ハードウェアの故障などの緊急時に必要な応答性 / 信頼性が低い。

【インタラクション管理システム】

- ウィンドウに替わる。ウェアラブルならではの情報提示方法。入力方法を管理するミドルウェアとして実装する。
- ユーザープロセスの動作と、インタフェースを完全に分離した形で実装することで、プロセスの安定性、応答性を向上する。

【データフロー制御システム(DFC)】

- DMAの機構を利用して、デバイス間、デバイス・メモリ間で直接データを転送する方法を提供する。
- 転送方法、転送データフォーマット変換などをルールに基づいて決定し、指示する。
- 転送は必要に応じて、ソフトウェア又はハードウェアで行う。

【データコンバータ】

- DFCで直接転送されたデータをデバイスに適した形に変換するデバイスおよびソフトウェア。データ転送の実行も行う。

### ディペンダブルなウェアラブルシステム(2)

### まとめ

ライフログのためのウェアラブルセンシングを行うための要素技術について

- ハードウェア/ソフトウェアにまたがる複合的なシステムについての研究が大事
- イベント駆動型ルールによるプログラミングモデル
- ハードウェア/ソフトウェア運動型の状況認識技術
- ウェアラブルコンピューティング向けアプリケーション/インタフェース
- 実際にフィールドで使ってみることが大事
- 連絡先: tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp

**Wearable changes the relationship between Computers and People**