

## ■8 群 (情報入出力・記憶装置と電源) - 1 編 (センシングとインタラクション)

---

### 3 章 ウェアラブルデバイスによる入出力

#### 【本章の構成】

本章では以下について解説する.

3-1 腕時計型デバイス

3-2 ヘッドマウントディスプレイ

## ■8群-1編-3章

### 3-1 腕時計型デバイス

(執筆者：前川卓也) [2018年3月 受領]

手首に装着する腕時計型デバイスは、従来から利用されてきた腕時計と同様に装着できるため、比較的我々の日常生活に受け入れられやすいウェアラブルデバイスと言える。実際に Apple Watch<sup>1)</sup>や Android Wear<sup>2)</sup> デバイスが普及しつつあり、スマートフォンを鞆やポケットの中に収納しているような状況においても情報の入出力を可能とする装置として利用されている。

#### 3-1-1 入力装置としての腕時計型デバイス

上述した通り、スマートフォンなどのデバイスが利用しづらい状況において、スマートウォッチなどの腕時計型デバイスは容易で簡易な情報入力を提供する。腕時計型デバイスによる入力には、明示的な入力と暗黙的な入力がある。暗黙的な入力とは端末に搭載されたセンサデバイスにより自動的に情報が入力されることであり、常に身に付けることを想定しているウェアラブル端末により可能な入力方式と言える。

##### (1) 明示的な入力

スマートウォッチなどの腕時計型デバイスへの主な明示的な入力方式としては、(1)タッチディスプレイによる入力、(2)音声による入力、(3)ジェスチャによる入力がある。タッチディスプレイによる入力が最も一般的な入力方法であるが、ディスプレイサイズの制約や静止時以外で利用しづらいといった点から、ジェスチャや音声による入力も、常に身に付けることを前提とした端末への入力方式としては有効である。また、タッチディスプレイが一般的ではなかった頃は、ホイール型の装置などを用いた入力に関しても検討されていた<sup>3)</sup>。

タッチディスプレイによる入力では、これまでにアイコンの選択やテキスト入力などが検討されてきた<sup>4)5)</sup>が、アイコンの選択程度までが現実的であり、現在のスマートウォッチでもテキスト入力は研究段階のものを除いてほぼ行われていない。現在ではスマートウォッチにペアリングされたスマートフォンを携帯していることを前提としているため、小さなスマートウォッチのディスプレイで時間を要するテキスト入力を行う機械は少ない。

一方、スマートフォンを取り出すことが難しい状況では、音声やジェスチャによる入力がある。音声認識を用いたテキスト入力は、豊富な情報量を腕時計型デバイスに入力可能である。一方で、雑音が大きいときは認識性能が下がる問題や、公共的な場では利用しづらいといった問題がある。音声認識は、一般的に計算リソースが豊富なクラウドサーバで行われることが多いが、音声認識リクエストの増加に伴い、認識をローカル端末上のみで行う手法の開発も行われている<sup>6)</sup>。

ジェスチャによる情報入力も、近年のスマートウォッチではサポートされている。例えば、手首のひねりのジェスチャによりページ送りをする機能などが実装されている。このような機能は、腕時計型デバイスを装着していない手が塞がっているときに利用できる点や、音声入力に比べて人の目を気にする必要がない点が利点である。しかし、音声入力に比べて入力できる情報量が少ないことが、ジェスチャによる入力がまだ一般的に利用されていない理由の一つであると考えられる。ジェスチャによる入力は、タッチディスプレイによる入力と比べて入力できる情報量が大きく変わらないため、ジェスチャ入力がより一般的に利用されるためには、欠

点の克服やより利点を活かすことのできる応用が必要となるだろう。

ジェスチャ認識は、加速度やジャイロセンサを用いて行われることが多いが、その手順について簡単に説明したい。多くの手法では、(1)ジェスチャ区間検出、(2)ジェスチャ分類の手順でジェスチャ認識が行われる。

- (1) ジェスチャ区間検出の手順では多くの場合、加速度データから動きの大きさを表す値を各時刻ごとに計算して、その値が閾値より大きい区間（セグメント）を抽出する。文献7)では、運動中の区間（例えばランニング中）がすべて抽出されてしまうことを防ぐため、閾値を適応的に決定している。文献8)では、ジェスチャとそれ以外の区間を教師あり学習により分類している。この処理はすべての時系列データをスキャンするため、高速に行われる必要がある。また、ジェスチャ区間検出は腕時計型デバイス上で行われ、計算コストの大きいジェスチャ分類は腕時計型デバイスとペアリングしているスマートフォン上などで行われることを想定している研究が多い。腕時計型デバイスからスマートフォンへのセンサデータ転送に要する消費電力を低減するため、区間の誤検出を抑える必要がある。
- (2) ジェスチャ分類の手順では、あらかじめ用意されたジェスチャのテンプレートと区間内の信号とを比較する。テンプレートとの比較には、伸縮を許容したマッチング方法である、Dynamic Time Warping (DTW) や、系列データの認識に用いられる隠れマルコフモデル (Hidden Markov Model : HMM) などが用いられることが多い<sup>8)9)</sup>。DTW や HMM の認識において、計算量を削減してリアルタイムな認識を行うため、ビームサーチなどの枝刈りが用いられることも多い<sup>10)</sup>。より高速な認識を行うため、抽出された区間から特徴抽出を行った後、分類分析によりジェスチャの分類を行う手法も存在する<sup>11)</sup>。この手順は後述する行動認識手法とほぼ同様であるため、ここでは詳細な説明は行わない。

## (2) 暗黙的な入力

近年のスマートウォッチは、加速度やジャイロセンサだけでなく、脈拍計などのバイタルセンサを搭載しているものも多い。スマートウォッチなどのウェアラブルデバイスの特徴の一つは、24時間中装着が可能なことであり、例えば脈拍計により走行・歩行運動中の心拍を常時記録できる。また、加速度やジャイロセンサにより、日々の運動量（歩行、走行時間など）が記録され、健康管理アプリケーションなどに利用されている。また、このようなセンサを用いて睡眠レベルの計測・推定を行うことができるアプリケーションも登場している。

現在は、一般的には加速度センサやジャイロセンサは、運動量の推定などにしか用いられていないが、高度な行動認識を腕時計型デバイスを用いて行う研究は多く存在する<sup>12)</sup>。手首に装着されたデバイスを前提としているため、多くの研究では手の動きを伴う「歩く」、「走る」、「調理」や「歯磨き」などの行動を対象にしている。また、文献13)では、上述したジェスチャも行動と同じ枠組みで認識しようと試みている。ジェスチャ認識システムと行動認識システムを統合することで、消費電力の削減を目指している。

ここで、行動の認識の手順について簡単に説明する（図1・1）。多くの手法では、(1)特徴抽出、(2)行動分類の手順で行動認識が行われる。

(1) 特徴抽出では、図1・1に示すようにスライディング時間窓を想定し、各時間窓内の時系列センサデータから特徴抽出をするものが多い<sup>14)</sup>。抽出される特徴は主に、時間領域の特徴と周波数領域の特徴がある。時間領域の特徴は、例えば平均や標準偏差、最大値や最小値などの

一般的な統計的指標である。周波数領域の特徴としては、各周波数成分の振幅や支配的周波数などが用いられる。また、3軸の加速度やジャイロセンサを用いることが一般的であるため、任意の2軸のデータの相関なども用いられることがある（相関は特に身体の複数の部位にセンサが添付されている際に有効である）。更に近年では、研究者によって設計された特徴ではなく、深層学習により特徴抽出なしで行動分類を行う手法も研究されている。詳細については以降で説明する。

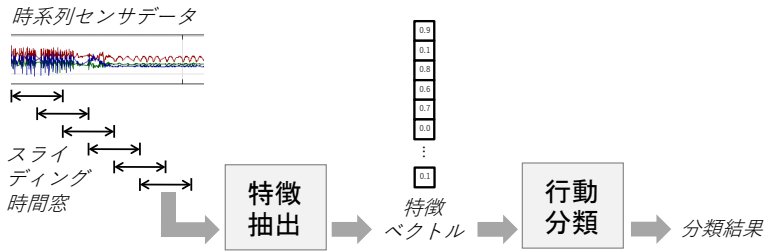


図1-1 行動認識の処理の手順

(2) 行動分類では、上述のようにして時間窓ごとに抽出された特徴を連結して特徴ベクトルとし、その特徴ベクトルを分類器を用いて行動クラスに分類する。分類器には、SVM (Support Vector Machine) やランダムフォレスト、決定木など一般的なものが多い。また、行動の時系列性を考慮して、HMM などの系列モデルが用いられることもある。上述した通り、特徴抽出なしに深層学習によりセンサデータから直接的に分類を行う研究もある<sup>15)</sup>。系列データを扱う RNN (Recurrent Neural Network) の一種である LSTM (Long Short-Term Memory) や、3軸データを畳み込んで特徴抽出を行う畳み込み層と LSTM 層からなるネットワークなどが分類に用いられている。

### 3-1-2 出力装置としての腕時計型デバイス

一般的なスマートウォッチには、出力装置として液晶ディスプレイとバイブレーション機能が搭載されている。近年はスピーカも搭載している製品も多く販売されており、電話としての利用も可能となった。ディスプレイサイズの制限はあるものの、液晶ディスプレイの出力用途はメールの内容や検索結果、地図（ナビゲーション）など、スマートフォンで利用されているものと同様のものであることも多い。ただし、ディスプレイサイズの制約上、表示される情報は限定的なものとなる（メールの場合は文頭のみなど）。また、手首に装着することを前提としているため、バイブレーションによる通知は効果的であり、移動中などでもメール受信や着信の通知などを見落とすことが少ない。一方、カバンの中に収納されたスマートフォンの場合は通知に気付かないことが多い。

#### ■参考文献

- 1) <https://www.apple.com/jp/watch/>
- 2) [https://www.android.com/intl/ja\\_jp/wear/](https://www.android.com/intl/ja_jp/wear/)
- 3) M.T. Raghunath and C. Narayanaswami : “User interfaces for applications on a wrist watch,” Pers. Ubiquitous Comput., vol.6, no.1, pp.17-30, 2002.

- 4) J. Hong, S. Heo, P. Isokoski, and G. Lee : “SplitBoard: A Simple Split Soft Keyboard for Wristwatch-sized Touch Screens,” in CHI’15, pp.1233-1236, 2015.
- 5) K. Plaumann, M. Muller, and E. Rukzio : “CircularSelection: optimizing list selection for smartwatches,” in 2016 ACM International Symposium on Wearable Computers, pp.128-135, 2016.
- 6) I. McGraw, et al. : “Personalized Speech recognition on mobile devices,” in ICASSP 2016, pp.5955-5959, 2016.
- 7) T. Park and J. Lee : “E-Gesture: A Collaborative Architecture for Energy-efficient Gesture Recognition with Hand-worn Sensor and Mobile Devices,” in the 9th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, pp.260-273, 2011.
- 8) G. Raffa, J. Lee, L. Nachman, and J. Song : “Don't slow me down: Bringing energy efficiency to continuous gesture recognition,” in International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2010), pp.1-8, 2010.
- 9) J. Liu, L. Zhong, J. Wickramasuriya, and V. Vasudevan : “uWave: Accelerometer-based personalized gesture recognition and its applications,” *Pervasive Mob. Comput.*, vol.5, no.6, pp.657-675, 2009.
- 10) C. Amma, M. Georgi, and T. Schultz : “Airwriting: A wearable handwriting recognition system,” *Pers. Ubiquitous Comput.*, vol.18, no.1, pp.191-203, 2014.
- 11) G. Laput, R. Xiao, and C. Harrison : “ViBand: High-Fidelity Bio-Acoustic Sensing Using Commodity Smartwatch Accelerometers,” in the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology (UIST’16), pp.321-333, 2016.
- 12) T. Maekawa, et al. : “Object-based activity recognition with heterogeneous sensors on wrist,” in International Conference on Pervasive Computing (Pervasive 2010), pp.246-264, 2010.
- 13) J. Korpela, et al. : “An energy-aware method for the joint recognition of activities and gestures using wearable sensors,” in 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers (ISWC’15), pp.101-108, 2015.
- 14) L. Bao and S.S. Intille : “Activity Recognition from user-annotated acceleration data,” in PERSVASIVE 2004, pp.1-17, 2004.
- 15) F.J. Ordóñez and D. Roggen : “Deep convolutional and LSTM recurrent neural networks for multimodal wearable activity recognition,” *Sensors*, vol.16, no.1, 2016.

## ■8 群-1 編-3 章

### 3-2 ヘッドマウントディスプレイ

(執筆者：村尾和哉) [2017年4月 受領]

#### 3-2-1 概要

ヘッドマウントディスプレイ (HMD: Head-Mounted Display) とは頭部装着型のディスプレイである。眼鏡やゴーグル、帽子、ヘルメットなどにディスプレイを搭載し、頭部に装着して装着者の視界に情報提示するデバイスを総称してヘッドマウントディスプレイと呼ぶ。VR ゴーグルや AR グラス、スマートグラスなどと呼ばれる場合もある。

ヘッドマウントディスプレイは、ユーザの場所や頭部の向きを問わず、ハンズフリーで常時視界に情報を提示するため、映画鑑賞やゲーム、業務支援などの幅広い分野で応用されている。また、各種センサを搭載することで周辺状況や頭部の動き、視線、まばたき、脈波、呼吸、血流、発汗などの情報を取得できるため、それらの情報を活用したサービスの研究開発も盛んである。頭部には視覚以外にも聴覚、触覚、味覚、嗅覚の器官があるため、それらの器官への情報提示もヘッドマウントディスプレイひとつで実現できる可能性がある。

その一方で、常時視界に情報提示することによる眼精疲労、頭部にデバイスを装着し続けることによる肉体的疲労の問題がある。特に、13 歳未満の両眼ヘッドマウントディスプレイの使用は立体視の形成に影響を及ぼし、斜視になるリスクがあることが報告されている。また、片眼ヘッドマウントディスプレイで情報提示を行う場合、左右の目で異なる情報を見るため、どちらか片方の視野のみが知覚され、時間が過ぎると左右の知覚が入れ替わる現象である両眼視野闘争が発生する。

ヘッドマウントディスプレイと似た映像提示装置として、自動車や航空機の操縦席の視線上部や下部に設置された透過性のある板に情報提示する装置であるヘッドアップディスプレイ (HUD: Head-Up Display) があるが、人間が装着するものではないためヘッドマウントディスプレイとは区別される。

#### 3-2-2 歴史

ヘッドマウントディスプレイの歴史は、McCullum が立体映像装置の特許を取得した 1945 年に遡る。その後、1960 年には Heilig が立体映像 HMD の特許を取得した。実際に動作するデバイスとしては、1961 年に Philco Corporation が頭部野動きに応じた映像を表示するヘルメット Headsight を開発した。これが世界最初の HMD の発明である。

1968 年にはコンピュータ科学者の Ivan Sutherland が計算機による最初の VR・AR システム Sword of Damocles を発明した。これは BOOM (Binocular Omni Orientation Monitor) と呼ばれる技術を利用し、コンピュータと立体鏡でワイヤーフレームキューブを表示するディスプレイである。システムは大掛かりであり、天井に固定されたポールにユーザの頭が固定されている。ディスプレイは両目をトラッキングし、360 度旋回でき、頭部の向きや位置もトラッキングでき、現在の VR の基礎となるものである。情報提示部は透過型で部屋を見渡せるため、最初の AR ディスプレイとしても知られている。

持ち運び可能な HMD としては、マサチューセッツ工科大学 (MIT) の Steve Mann が 1981 年

に、コンピュータをスチール製リュックに入れ、カメラのビューファインダ CRT をディスプレイとし、バッテリーを搭載し、テキスト入力とテキスト表示が可能な EyeTap を発明した。その後、現在に至るまで、様々な技術、形状、構造、用途の HMD やハンズフリーの入力インタフェースが登場している。

### 3-2-3 形状

ヘッドマウントディスプレイの種類は、大きくは表示部が透過（シースルー）型と非透過（非シースルー）型に分けられる。また、表示部を片目で見える単眼と両目で見える両眼にも分けられ、更に、表示部外の領域に背景が見える開放型と背景が見えないように覆う遮蔽型（没入型）に分けられる。

#### (1) 透過型

透過型ヘッドマウントディスプレイでは、表示された映像と背景が重なって見ることができ、透過型の特徴は周囲の状況が分かるため、装着しながら移動でき、日常生活や作業支援、スポーツでの利用が想定される。図 2・1 に示すように、透過型には映像表示部に透過性があり背景が直接見える光学シースルータイプと、カメラで視界の映像を撮影して表示する情報と重ね合わせて提示するビデオシースルータイプがある。

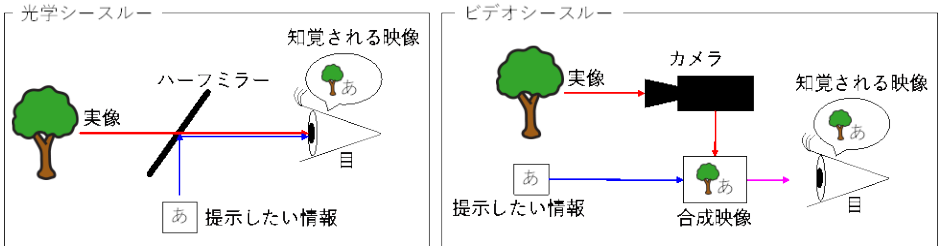


図 2・1 透過型ヘッドマウントディスプレイの原理

単眼、両眼それぞれ様々な製品が発売されており、単眼では Recon 社の Jet、ウェストユニティス社の Info Linker があり、既存のメガネにアタッチメントとして装着できるものもある。両眼では EPSON 社の MOVERIO、Google 社の Google Glass、Microsoft 社の HoloLens (図 2・2) があり、メガネと同じように装着して使用するものが多い。これらの製品はすべて光学シースルーである。ビデオシースルーの製品は少なく、Vuzix 社の Wrap 1200 DXAR (販売終了) がある。透過型ヘッドマウントディスプレイは、そもそもディスプレイ部が透過しているため、外界開放や遮蔽という概念は基本的に存在しない。



図 2・2 透過型ヘッドマウントディスプレイ

## (2) 非透過型

非透過型ヘッドマウントディスプレイでは表示部に透過性がなく背景が隠されて見えない。

図 2・3 に示すように、計算機で作成された外界とは関係ない映像が提示されて知覚される。

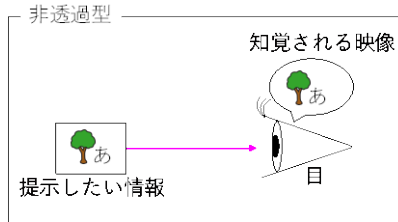


図 2・3 非透過型ヘッドマウントディスプレイの原理

片眼の場合、表示部が遮蔽型であると左右の目で見える情報が異なるため両眼視野闘争が発生する。片眼で表示部が開放型（小型）であると、透過型と大きな差はない。製品としては Vuzix 社の M 100（図 2・4）がある。両眼で開放型の場合、情報提示部外の上下の部分に外の様子を見ることができ、移動時の映画鑑賞などの用途がある。両眼で遮蔽型の場合、高い没入感が得られるため、ゲームや VR での用途に現在大きな注目を集めている。Oculus 社の Rift をはじめとして数多くの製品が発売されている。また、紙の箱にスマートフォンを取り付けることでヘッドマウントディスプレイを作成するキットである Google Cardboard やハコスコが数千円程度で発売されており、手軽に没入感のあるコンテンツを楽しめる。ただし、遮蔽型は周囲の様子が見えないため、装着したまま活動する用途には向かない。



図 2・4 非透過型両眼遮蔽型ヘッドマウントディスプレイ

### 3-2-4 投影方式

ヘッドマウントディスプレイの映像を目に投影する方式は、没入型と透過型で異なる。没入型の場合は背景を遮蔽してよいいため、目の前にディスプレイを配置して、レンズを介して映像を投影するシンプルな構造である。一方、透過型の場合は背景と映像の両方を見せるため、目の前にディスプレイを配置できない。透過型ヘッドマウントディスプレイの映像投影方式は大きく分けて網膜投影方式、虚像投影方式の 2 種類がある。

網膜投影方式は、図 2・5 に示すように、レンズ、ピンホールを介して、水晶体の中心を通過して網膜に投影する。光源からの光が瞳孔の中心で収束してから網膜上に投影されるため、水晶体の厚みに関係なく網膜上で結像する。このような見え方をマックスウェル視と呼び、目の水



晶体の調節機能を使用していないため、被写界深度を深くとることができる。つまり、背景にピントを合わせつつも投影した映像がピンぼけすることなく見える。また、水晶体乱視や屈折矯正困難者、水晶体摘出者も見ることができるという特徴がある。その反面、光を瞳孔の中心を通るように投影しなければならないため、眼球の動きに追従するために網膜走査や複数光源が必要となるなど、コストがかかる。

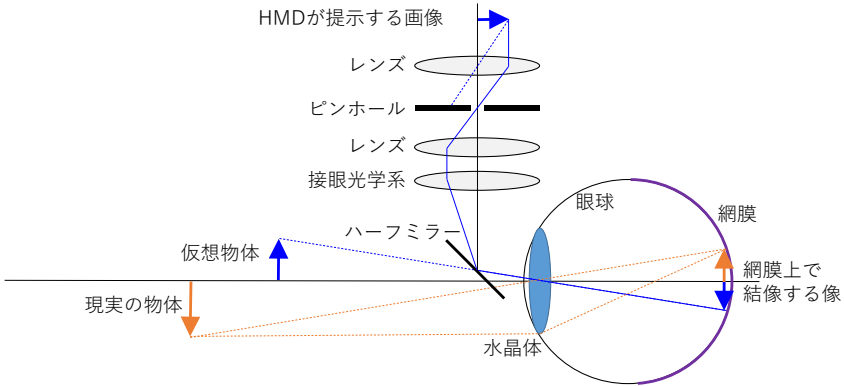


図 2・5 網膜投影方式

虚像投影方式は、図 2・6 に示すように、小型のプロジェクタやディスプレイとハーフミラーを用いて虚像を目に投影する。電車内から車窓を眺める際に、ガラスが車内を反射して虚像が見えつつ、ガラスは透過するため外の風景と重畳して見える現象と同じである。背景に焦点が合っている状態では HMD が提示する情報は網膜上で結像しないためピンぼけとなる。また、ハーフミラーの反射率により画像が暗くなるデメリットはあるが、網膜走査は必要なく網膜投影方式と比較して安価である。

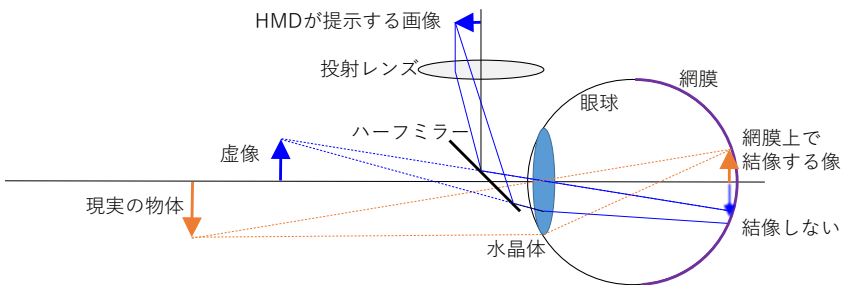


図 2・6 虚像投影方式

このほかに、瞳孔の直径よりも薄い映像表示部を目の前に置く瞳分割方式がある。表示部の先にある外界の光が表示部と瞳孔の隙間から瞳孔に入るため、表示部で隠れている背景も見えることができる。ハーフミラーを利用しないため小型軽量化が可能である。ただし、視野角が狭いため瞳に対する表示部の位置合わせが難しいという問題がある。