

マイクロ波ドップラーセンサを用いた ジェスチャー認識システムの提案

窪田裕介[†] 金田重郎[†] 芳賀博英[†]

「手振り」等のジェスチャーによって、家庭電化製品を制御(例えば、電源 ON-OFF)できれば、ユーザ利便性の高い、完全ハンズフリーの制御手法を実現できる。ジェスチャー検出手法としては、既にビデオカメラを用いた方法がある。しかし、カメラを用いると、暗闇では利用できず、ベッドルームなどではプライバシーが問題となる。赤外線レーダーを用いたシステムも提案されているが高価である。家庭内利用を考えた場合、安価なデバイスでの実現が前提となる。そこで、本稿では、マイクロ波ドップラーセンサを用いたジェスチャー検出手法を提案する。具体的には、「手振り」をドップラー信号の周期性から検出する。また、「手振り」の方向を、周波数特性を用いて判断する。これにより、被制御機器の台数・場所、及び操作者の位置に依存することなく、リアルタイムに機器を制御可能である。照明器具 2 台にそれぞれセンサを接続したプロトタイプを開発した。動作時間は 2 秒であり、正しくジェスチャーを検出したもの 82%、センサを誤認識したもの 3%、規定時間内に検出できなかったもの 15%であった。検出できなかったケースは機器の操作上の実害はない。

A Gesture Recognition Approach by using Microwave Doppler Sensors

Yusuke Kubota[†] Shigeo Kaneda[†] Hirohide Haga[†]

If electric home appliances can be controlled by means of hand gestures, the complete hands-free interface is quite user-friendly. The some conventional gesture detection approaches have already studied. These studies employ a video camera or infrared radar. A video camera has, however, severe problems: some kind of lighting system is required and the camera has danger of invading the privacy. Also, infrared radar is quite expensive. To solve these problems, this paper proposes a new multiple appliance control method by using microwave Doppler sensors that can distinguish hand gesture and other actions, and the recognition does not depend on the number and the place of the home electric appliances and the user's location in the room. A prototype system having two lighting equipments was developed. The gesture is detected within 2 seconds in real-time operation. Total 200 gestures were evaluated. The 85% of the gestures are correctly detected and the 3% are incorrectly miss-detected as the gesture for the other equipment. Remaining 15% of the gestures produce no action. This no-action does not result in a bad substantial influence of equipment control after the misdetection.

1. はじめに

情報技術の進化により、我々は、多くのコンピュータ制御の家電製品に取り囲まれて生活している。これら機器は、機器の操作パネルにより操作するか、リモコンによって操作する必要がある。しかし、リモコンには、1) 操作のためにリモコン自体を手取る必要があり煩わしい、2) 複数台数の機器が同一室内ある場合に、それぞれの機器毎にリモコンを準備する必要がある、といった問題点がある。一方、機器自体の操作パネルを用いるためには、その機器のところまで人間が移動する必要がある。ユーザの利便性向上の視点からする限り、この状況は望ましいものとは言い難い。

このような課題を解決するひとつのアプローチは、ユビキタスコンピューティングの本質でもある「コンピュータを意識せずに扱える」ことをコンセプトとし、「手振り」などのジェスチャーを機器の制御に用いることである。ジェスチャーの認識手法としては、既に、カメラを使った手法[1]、モバイル装着型デバイス[2]を利用した手法等、種々の手法が提案されている。しかし、カメラ等の撮影型デバイスは、家庭内におけるサービスにはプライバシーの点で使いづらく、照明が必要なため、夜間の暗闇では利用できない。モバイル装着型デバイスを使ったものだと、着脱に負担がかかり、便利さよりも手数が掛かることへのストレスが懸念される。これら、既存の手法では、人に「やさしい」インタフェースとはいえない。

上記の問題点を解決するために、本稿では、マイクロ波ドップラーセンサを利用したジェスチャー認識手法を提案する。本提案手法は、ジェスチャーによって生じるマイクロ波ドップラー信号の周波数特性と周期性を利用する。これにより、「完全ハンズフリー」で、暗闇でも使用可能なジェスチャー認識手法を実現する。更に、マイクロ波ドップラーセンサは、安価に入手できるメリットもある。

本稿で検出可能としているジェスチャーは 2 種類ある。ひとつは手のひらを前後に振るジェスチャーである。日常感覚からするとやや不自然なジェスチャーであるが、ドップラー信号の S/N 比の点から優れている。更に、目標とする機器の方向に手を振ることで、周波数特性からどの機器を制御しているのかを識別する。これによって、操作者は部屋のどこにいても、特定の機器を指定できる。また、手のひらを丸く振り舞わずジェスチャーも検出可能とした。このジェスチャーでは方向は指定できない。しかし高速に手が移動するので、別コマンドとして利用できる。

以下、2 章は本研究の背景や目的、ドップラーセンサの特徴について述べる。3 章では提案手法について述べ、4 章ではこの手法の有効性を検証するためのプロトタイプシステムの詳細を述べる。5 章では評価結果を述べ、6 章はまとめである。

[†] 同志社大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Doshisha University

2. 背景と目的

2.1 背景

「コンピュータを意識せずに使う」にはユーザインタフェースの担う役割が大きい。本稿では、手振りなどの「ジェスチャー」に焦点をあてる。キーボードではなく、人間のジェスチャーをそのままコンピュータが認識できれば、それが何より人間にとって「やさしい」インタフェースとなると思われるからである。

従来のジェスチャー認識研究としては、カメラ等から映像を取り入れ、画像処理を施してジェスチャーを認識する方法[1]や、ユーザ側がセンシングデバイスを身に付け、そのデータを解析してジェスチャーを認識する方法[2]などがある。前者では、カメラ映像が必要なため、寝室・浴室などのプライバシー性の高い部屋には設置不可能である。また、照明も必要であり、暗闇では利用できない。後者では、ユーザ側がデバイスを着脱する手間がかかり、常時使用されるには至らないと思われる。即ち、従来の研究では家庭内における「プライバシー性」と、何も身に付けずに済む「ハンズフリー」を共に満たす手法はないといえる。家庭内におけるユーザインタフェースとしては、これらの2つの性質とともに、コストが安いことが必要である。

そこで、これら要件をすべて満たすセンサデバイスとして、本稿では、マイクロ波ドップラーセンサに着目する。1) カメラとは異なり、寝室や風呂場でも設置可能、2) 測定対象の人間は特別なデバイスを身につける必要がないのでハンズフリー性を満足、3) 半導体技術の進歩によって安価（数千円程度）で入手可能、などの特徴を有するからである。

2.2 目的

そこで本稿では、マイクロ波ドップラーセンサからの信号の周波数特性とその周期性を利用して、ユーザが手を振る回数と方向を取得する手法を提案する。人間がユビキタスインタフェースとして利用することを考えると、人間が行う「合図」として、「手を振る」ことが、最も自然な動きと考えられるからである。その「手振り」の回数と向きを識別し、その組み合わせにより、家庭内インタフェースとして照明のON/OFF切り替え・照度調節や、TVの電源・CH切替えなどの家庭内における様々な家電制御、また非常事態時の緊急信号発令システムなどのサービス実現を最終的な目標とする。

本稿では、その第一段階として、人の場所を部屋の中で制限せず、ジェスチャーは2種類認識可能であり、リアルタイムで照明を制御可能とするシステムを作成した。図1のような2種類のジェスチャーを認識対象として設定した。図1左側は「縦振り」、右側は「速く回す」ジェスチャーである。「縦振り」はセンサに向かって掌を向けて押し出す動作である。「速く回す」は手首を中心にして回転させる動作である。これらは



図1 ジェスチャーの種類

手の移動速度が異なり、ドップラー周波数の差として識別可能である。但し、「速く回す」場合には、運動方向が分からない。そのため部屋の全ての照明のON/OFFなどの全体制御に適している。

2.3 マイクロ波ドップラーセンサ

本センサは、自身から発射される送信周波数と、人や物体が動いた時に生じる反射波の周波数の差を検出し、ドップラー信号として出力する。今回利用したセンサの搬送波周波数は24.15[GHz]のマイクロ波であり、マイクロ波による効果から以下の2つの利点を持つ。

- (a) 建材やガラス、プラスチックを透過する。外観上有利である。
- (b) 電波のため空間の照度や温度に影響されない。暗闇でも利用できる。

上記(a)の理由から壁の裏や柱の中、天井裏などの建物の外観を損なわずにユーザの視界から隠れた場所へ設置できる。さらに(b)の理由から季節や昼夜時間に関わらず安定した精度が得られる。特に、夜の暗闇の中でもその効果が安定して得られるというのが大きなメリットである。尚、出力ドップラー信号の周波数は物体の速度と比例関係にある。その関係を(1)式に示しておく。

$$\left[\begin{array}{l} f_d : \text{ドップラー周波数 [Hz]} \\ f_0 : \text{送信波 24.15 [GHz]} \\ V : \text{動体の速度 [m/sec]} \\ C : 3.0 \times 10^8 \text{ [m/sec]} \end{array} \right] \text{とした時} \quad f_d = \frac{2f_0 \times V}{C} \text{ [Hz]} \quad \dots (1)$$

(1)式から、ある程度一定の速度で動く物体であれば、一定の周波数を持った出力信号が得られる。この場合は、手を振る時の「掌」とセンサとの間の距離の変化が速度となる。また振幅が大きいセンサの方向に向けて、手が前後に往復運動していることになる。(1)式の周波数特性と手振りの特徴を利用してジェスチャーを識別する。

3. 提案手法

3.1 システム構成

本提案のシステムのサービスイメージは2章で述べたように、家庭内において家電機器を制御するためにジェスチャーをユーザインタフェースとして用いることにある。本稿ではリビングルームを想定し、部屋に設置したドップラーセンサにより移動体を検知し、その出力信号から「ジェスチャー」の情報を抽出する。その抽出された信号から、「ジェスチャー」の種類、回数、向きを識別し、その情報を家電に伝え、ジェスチャーのパターンによってそれに従った機器制御を行う(図2参照)。利用者が制御したい機器に向かってジェスチャーを行うと、その動作を機器に取り付けたセンサが検知する。そしてそこから得られた信号データを処理することによってジェスチャーの種類や回数などを判定し、その結果に応じて機器を制御する。

なお、後述のプロトタイプシステムでは、2個のセンサを部屋内に設置した。その設置例を図3に示す。これは部屋内であればどこからでも意図する機器を制御可能であることを目的としているためである。ただし、後述するように、センサ間の挟み各角さえ一定以上あれば、原理的には、操作される機器は何台あっても良い。ただし、操作者から見て、180度反対側にある場合には、識別はできない。

3.2 「縦振り」ジェスチャーの採用

当初ジェスチャーの利用候補として2章で述べた縦振りの他に、水平方向に手を振る横振りを想定していた。操作対象となる機器とその直角方向の2か所に設置することで、縦振りと横振りを区別することを目的としていた。しかし横振りの手の動きは前方のセンサに対して水平であり、前方のセンサから送信されるマイクロ波には干渉せず、ドップラー効果も起こり得ない振り方のはずであるにも関わらず、実際には大きなドップラー信号が正面のセンサにも、真横のセンサにも発生している(図4参照)。

これは身体と手の位置関係を見ると、手は身体の胸の前を行き来する振り方のため、1)胸に当たって反射する波と2)手に当たって反射する波の2つが発生すると考えられる。つまり手を振ることによってこの2種類の波が交互に検出されることとなり、ドップラー効果を生み出していると考えられる。

横振りは前方のセンサにも反応してしまうため、後述のジェスチャーが指定している目標センサの特定が難しくなる。しかし、「縦振り」はそういったことがなく、振っている方向と、それと直角方向の信号が大きく異なるものとなる。このため、縦振りを利用することにより、ジェスチャー先センサを判別させることが可能である。この「縦振り」の利用は、本提案方式の大きな「みそ」となっている。

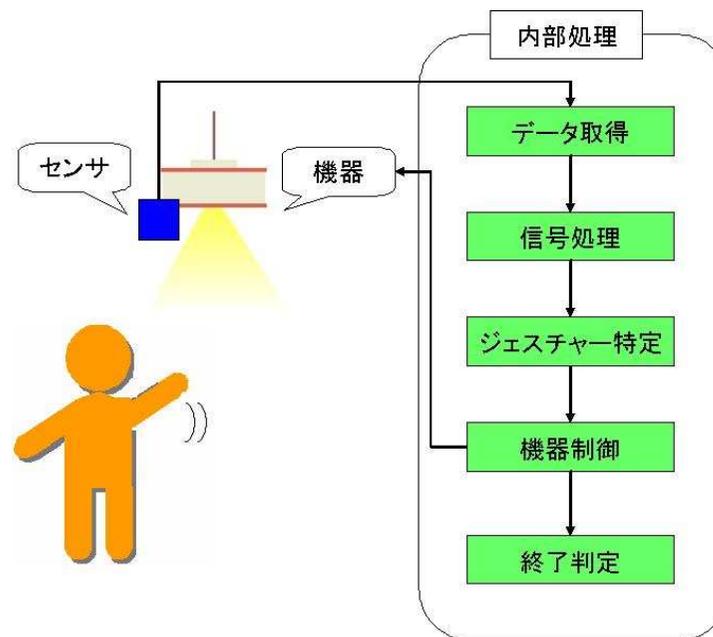


図2 システム全体イメージ

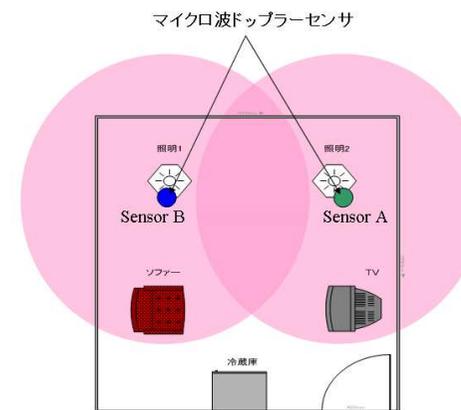


図3 センサ設置例

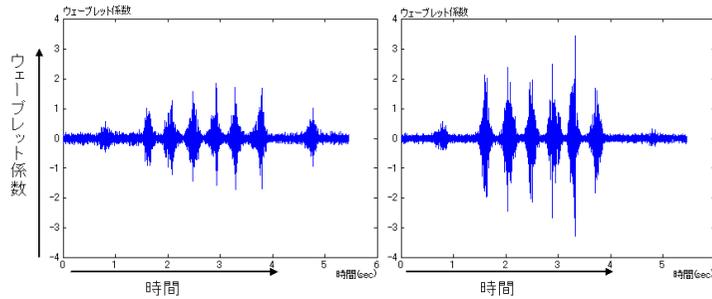


図 4 横振りセンサデータ (左: 前方のセンサデータ 右: 横方向のセンサデータ)

3.3 検出手法

本提案手法では、次のプロセスでジェスチャー認識を行う。

- STEP1: 得られた信号から静止状態であるかどうかを判定する。
- STEP2: STEP1 から一定時間静止状態が続いていればジェスチャー受付状態とする。
- STEP3: ジェスチャー受付状態の際に信号入力があればジェスチャーであるかの判定を開始する。
- STEP4: 各信号をそれぞれフーリエ変換する。
- STEP5: STEP4 からそれぞれピーク周波数を検出する。
- STEP6: STEP5 の最大値を出力したセンサに向かってジェスチャーを行ったとする。
- STEP7: STEP6 のセンサから得たデータから最も高い周波数, 信号の極大値を数えて回数を検出する。
- STEP8: STEP7 が各ジェスチャー設定した範囲内か調べ, 範囲内であればその種類のジェスチャー, 範囲外であればジェスチャーでないとする。

3.4 状態遷移 (STEP1, 2, 3)

本提案システムでは、システム運用中の各時点にそれぞれ状態を持たせることで、ジェスチャー入力のタイミングを限定する。これにより入力タイミング以外に誤ってジェスチャーを受理することを防ぐ。STEP1より現在入力されている信号が静止状態のものなのか否かを判定することが可能である。STEP2において、この静止状態が一定期間続く様であればジェスチャー受付状態へと遷移される。そしてSTEP3でジェスチャー受付状態である際に得られる信号が静止状態のものであれば、状態はジェスチャー受付状態を維持し続け、静止状態でない信号を得た場合はその信号がジェスチャー

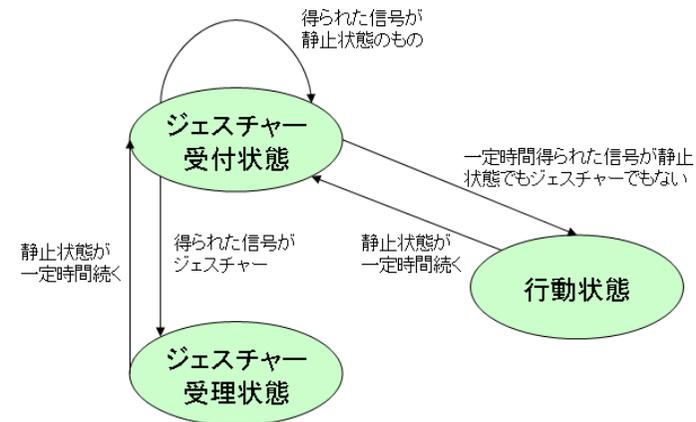


図 5 状態遷移図

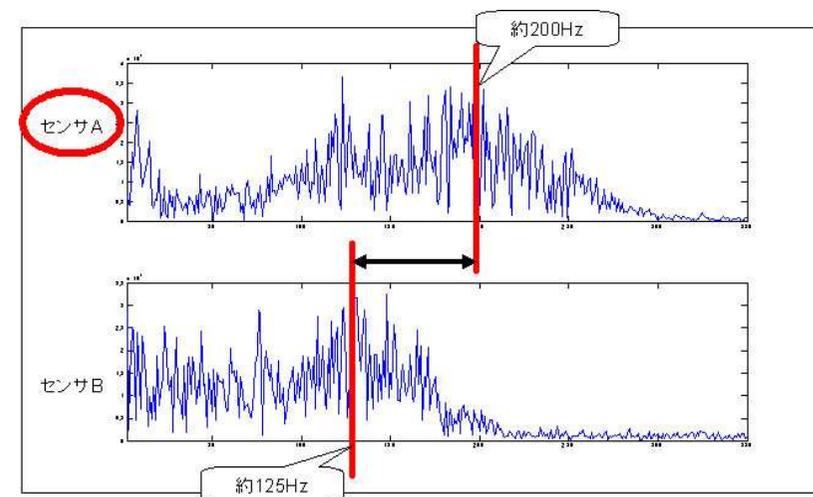


図 6 センサ判定例

であるかどうかの判定に移る。そしてその後の処理の結果から得られた信号がジェスチャーであった場合はジェスチャー受理状態へと遷移を行い、仮にジェスチャーではなかった場合はジェスチャー受付状態を継続するが、その後もジェスチャー以外の信号の入力が続いた場合は行動状態へと遷移する。ジェスチャー受理状態または行動

状態の際に静止状態の信号が続けば再びジェスチャー受付状態へと遷移する。この各状態の遷移を纏めたものが図5である。

3.5 ジェスチャー先センサの判定(STEP4,5,6)

STEP4, STEP5では、「縦振り」ジェスチャーに対して、ジェスチャーが振られている方向を、ドップラー信号の周波数特性で判別する。これは、ドップラー信号の強度は、操作者の位置とセンサとの距離に依存して変化するのであまり情報量がないのに対して、周波数分布は、強度に関わりなく、性質を保存しているからである。具体的には、ピーク周波数が最も高い周波数を示すセンサを特定することによって、場所に依存せずジェスチャーの方向性認識を可能とする。図6は実際に行った判定例である。図6のセンサAのピーク周波数は約200Hzである。センサBのピーク周波数は約125Hzである。この場合、よりピーク周波数の大きい方はセンサAである。従って、センサAに向かってジェスチャーを行ったと判定できる。

どの位置でも特定のセンサに向かってジェスチャーをすれば、当該センサのドップラー周波数が最大となる。図7の様に、センサAにジェスチャーをした場合、センサAのドップラー周波数はジェスチャーの速度がそのまま反映される。センサAから角度 θ の位置にあるセンサBのドップラー効果は $\cos\theta$ 倍した大きさである。 $\cos\theta$ は1以下なのでセンサAのドップラー周波数の方が大きい。なので、 θ が0か π 以外の位置にセンサがいくつあってもセンサAのドップラー周波数が最も大きくなる。

「縦振り」の場合、掌の周波数となるピーク（振幅が最大となる）周波数によって方向を判定する。掌の面積は他の部位より大きい。また、振幅は面積に比例する。従って、掌の振幅は最も大きくなる。「速く回す」場合、その後の処理を行うデータの決定のため、同じ処理をする。これにより、ジェスチャーが指示しているセンサを判定できる。具体的には、センサを機器に直接設置し、機器に向かってジェスチャーをさせると、ユーザは制御する機器の選択が容易になる。

3.6 ジェスチャー種類判定(STEP7,8)

STEP7, STEP8では最も高い周波数の比較により、「速く回す」の最も速い指先の周波数であるか判定する。「縦振り」では困難な速さを指先で実現している。数人にジェスチャーをしてもらった結果、「縦振り」と「速く回す」の最も速い周波数の境界は350Hzであった。図8の通り、350Hz未満であれば「縦振り」、350Hz以上であれば「速く回す」である。

ジェスチャーは周期的な動作のため、その動作の回数はジェスチャー認識のための重要な情報となる。処理手順はまず、最も速い周波数付近を逆フーリエ変換する。次に極大値の個数を数える。極大値の個数の半分がジェスチャーの回数となる。

図9のようにジェスチャーの波形は、周波数の極大値の方が振幅の極大値よりも間

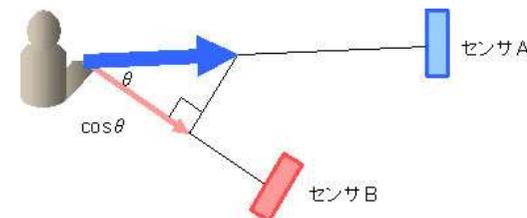


図7 ドップラー効果の大きさ

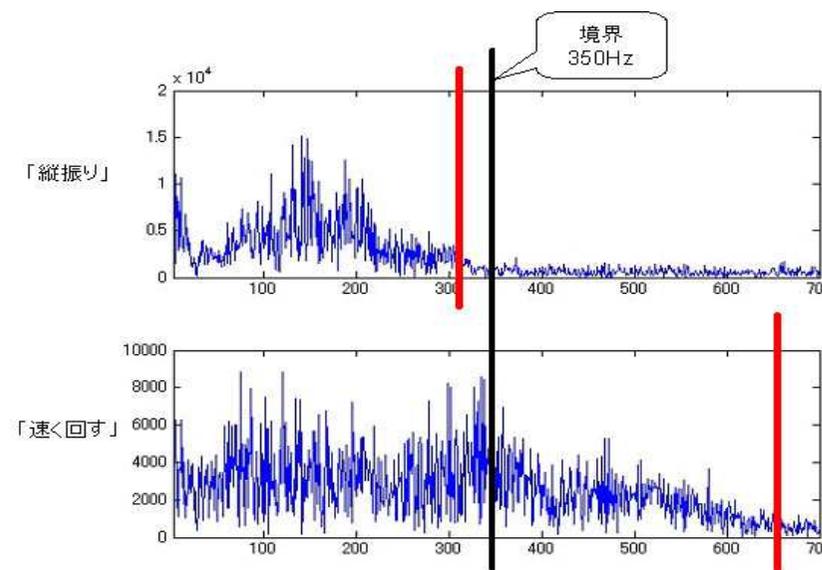


図8 「縦振り」、「速く回す」の最も速い周波数例

隔が広い。ジェスチャーの動作開始時点から周波数も振幅も上昇していく。手が真ん中の時に最も速くなるので、周波数が最大となる。この時、振幅は手がもっと近づいていくので、上昇を続ける。振幅は手が前に来て一度止まる寸前が最大となる。この時、周波数はほぼ0になる。そして、止まった瞬間に振幅、周波数共に0となる。その後、逆の動作を行うので信号も逆になった状態で出力される。

この波形にノイズが加わると振幅の極大値の部分に周波数より1つの波になってしまう可能性がある。周波数、振幅が0の部分にはほぼ一瞬であり、「速く回す」場合は手が横に動いている部分である。そのため、周波数、振幅が正確に0にならない可能性がある。すると、振幅の極大値同士が繋がって1つの波になってしまう。より正確に極大値を検出するため、最も速い周波数付近を逆フーリエ変換する。この方法により振幅が高く、周波数が低い部分はカットされる。そのため、図9の中央の周波数が低く振幅が大きい部分もカットされる。逆フーリエ変換後の波形の極大値は周波数の極大値に近づいていく。

逆フーリエ変換後の波形の振幅値をスムージングし、極大値の個数を数える。図10にスムージング後の波形を示す。本稿ではスムージングに単純移動平均を用いている。極大値の個数を数える時、極大値の振幅値と極大値同士の時間差を条件に加える。ジェスチャーは一定の動作を繰り返すため全ての極大値の振幅値は近い値をとり、それらの時間差は一定範囲内になるはずである。つまり、図10において、 Δt と極大値の振幅/最大値の振幅である Δd の値が一定範囲内になるはずである。そこで、(2)式、(3)式、(4)式のように振幅値と時間差に関する条件を設ける。

$$0.4 \leq \Delta d / \max(\Delta d) \quad (2)$$

・「縦振り」
 $0.1 \leq \Delta t \leq 0.5 \quad (3)$

・「速く回す」
 $0.05 \leq \Delta t \leq 0.2 \quad (4)$

以上の結果を用いてピーク周波数、最も速い周波数、回数が各ジェスチャーの種類設定した範囲内であればその種類のジェスチャーとする。範囲外であればジェスチャーをしていないと判定する。「縦振り」、「速く回す」それぞれ(5)式、(6)式に設定する。これらは実験によるジェスチャーの出力結果から決定した。

・「縦振り」
 $100 \leq \text{ピーク周波数} \leq 250(\text{Hz})$
 $210 \leq \text{最速周波数} \leq 300(\text{Hz}) \quad (5)$

・「速く回す」
 $0.5 \leq \text{回数} / 1 \text{ 回分の窓} \leq 2.5(\text{回})$
 $100 \leq \text{ピーク周波数} \leq 400(\text{Hz})$
 $300 \leq \text{最速周波数} \leq 650(\text{Hz}) \quad (6)$
 $2 \leq \text{回数} / 1 \text{ 回分の窓} \leq 5(\text{回})$

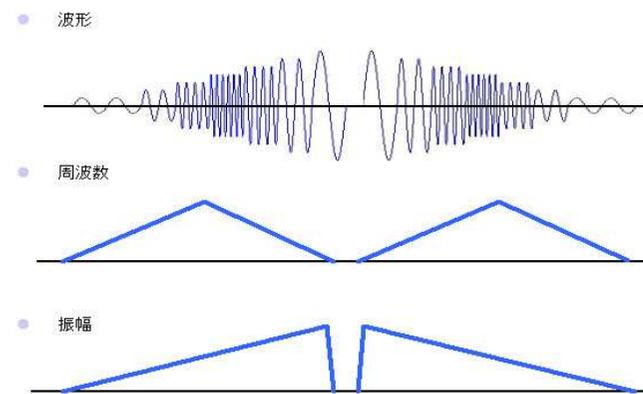


図9 ジェスチャーの予想波形

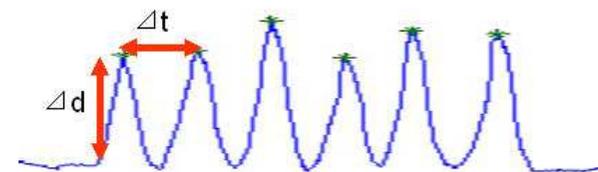


図10 スムージング後

4. 評価実験

4.1 実験1：他の行動との識別

本手法による、他の行動との判別の懸賞のため次の実験を行った。

- ・ センサは家庭の一室を模した実験室の角の柱に2箇所設置
- ・ 自由行動を20人が5分、延べ100分実施

センサを部屋の角に2箇所つけているので部屋中の範囲をカバー出来る。よって部屋中のどこでも自由な場所で行動を制限しないという普段の生活に近い環境を作り出すことで、普段の生活の中の行動がジェスチャーと誤認識されないかどうかを検証する実験を行っている。これを1人あたり5分間の実験を20人に実行してもらっており、合計100分間実験を行った。その結果は表1の通りである。

表 1 他の行動との誤認識回数

誤認識した回数	1 回
誤認識した人数	1 人
時間当たりの誤認識回数	1 回/100 分 (0.6 回/1 時間)

4.2 実験 2：ジェスチャーの認識率と認識時間

本手法によるジェスチャー認識の有効性の検証のため以下の環境で実験を行った。

- ・ センサは家庭の一室を模した実験室の角の柱に 2 箇所設置（実験 1 と同様）。
- ・ 1 人当たりそれぞれのセンサに対して「縦振り」5 回ずつ、任意のセンサに対して「速く回す」を 5 回、延べ 15 回ジェスチャーをしてもらう
- ・ これを 20 人に行ってもらう（15 回×20 人=300 回）
- ・ 1 回のジェスチャー毎にジェスチャーを行い始めてから認識されるまでの時間を計測する

実験の結果は表 2, 表 3 の通りである。

表 2 ジェスチャー認識回数と認識率

	センサ A に向けて縦振り	センサ B に向けて縦振り	縦振り合計	速く回す
正しく認識	80 回	85 回	165 回	64 回
異なるセンサが認識	3 回	3 回	6 回	—
異なるジェスチャーとして認識	0 回	0 回	0 回	31 回
認識されなかった	17 回	12 回	29 回	5 回
合計回数	100 回	100 回	200 回	100 回
認識率	80%	85%	82.5%	64%

表 3 ジェスチャー認識時間

	センサ A に向けて縦振り	センサ B に向けて縦振り	縦振り合計	速く回す
認識時間	2.08 秒	2.11 秒	2.10 秒	2.27 秒

4.3 アンケート

上記の実験 1 及び実験 2 の終了後に無記名のアンケートに回答してもらった。アンケートの全文は付録に記載している。

20 人に実施したアンケートの結果は以下の通りである。

質問 1) 認識精度はどうでしたか？	1) 正しく認識する：16 人	2) あまり認識が良くない：4 人
	3) 全然認識しない：0 人	
質問 2) 認識までにかかる時間はどうでしたか？	1) 早い：8 人	2) 普通：10 人
	3) 遅い：2 人	
質問 3) 本システムは現在の家庭などで使われているスイッチ式やリモコン式の物と比べて使い易いと感じましたか？	1) 本システムの方が使い易い：2 人	2) スイッチ式やリモコン式の方が使い易い：3 人
	3) スイッチ式よりは使い易い：14 人	4) リモコン式よりは使い易い：1 人
質問 4) 本システムを家庭などで実際に使用してみたいと思いますか？	1) はい：13 人	2) いいえ：7 人

5. 考察

他の動作との誤認識は 20 人に実験してもらった結果 100 分間に 1 回、1 時間当たりに換算すると 0.6 回であり、この結果は状態遷移を用いずに検出を行う手法で同様の実験を行った場合の 1 時間に 14 回という誤認識の回数を大きく減少させることが出来ており、誤認識率という点で見た場合に、状態遷移を用いたことで、精度が大幅に向上したと言える。状態遷移を用いない場合には、ジェスチャー以外の行動である歩行が、手の動きが周期的であり、縦振りを誤認識しやすいという問題点があった。一定時間静止状態があった後にジェスチャー受付状態に遷移する、という処理を変更したため、ジェスチャー受付状態であればどの様な行動をしてもジェスチャーとして認識されることはない。なお、評価実験で 1 回だけ誤認識が起こっているのは、一定時間の静止状態からジェスチャー受付状態になっている際にジェスチャーと似た動きをされたためである。システムの性質上静止状態の後に何らかの行動をするという流れを作られると今回発生した 1 回のように、誤認識が発生する可能性は上昇する。しかし利用者に対しての行動を一切制限加えなかった状態での実験で 100 分間に 1 回しかこの状況は発生しなかったという結果から、状態遷移を用いない場合に比べて非常に使いやすくなっていると考えられる。

またジェスチャーの認識率に関しては、「縦振り」の認識率が 82.5%、「速く回す」

の認識率が 64% という結果であった。しかしこれは表 5.2 を見てもらえば分かる様に今回「縦振り」が認識失敗した場合の大半はこの受付状態が終了したことによる時間切れによるものである。この時間切れの場合を除いて単純にジェスチャーの認識率として計算を行うと、「縦振り」の認識率は 96.5%、「速く回す」の認識率は 67.4% という結果となり、縦振りに関しては 100% に近い精度が得られることが分かった。また認識時間の観点から見た場合においては、本手法では「縦振り」の認識時間は平均 2.10 秒、「速く回す」の認識時間は 2.27 秒という結果となっており、どちらもおよそ 2 秒程度で認識されることが分かった。

しかしながら「速く回す」の認識が失敗したケースは、「縦振り」と認識されてしまった場合が大半であり、これは「縦振り」と「速く回す」のピーク周波数における認識の境界が「縦振り」を認識する最高速度の直後に「速く回す」を認識する最低速度があるために、「速く回す」ジェスチャーを行う速度が足りない場合に「縦振り」と認識してしまう可能性があるためである。「縦振り」の認識率を維持しつつ、「速く回す」の誤認識を減らすことが今後の課題であると考えられる。また認識時間とは別に、認識後機器の制御を行うまでに制御指示から制御実行が完了するまでのタイムラグが発生する。この時間に関しては今回検証を行ってはいないが、家庭等で実用する際にはこれを縮めることも重要な課題となると考えられる。

今回ジェスチャーの認識精度、認識時間を計測する実験の他に、実際に本システムを利用した被験者にアンケートによる評価を取っている。その結果を考察すると認識精度は 8 割の満足度を得られているが、認識時間に関しては普通または遅いとの回答が 6 割と予想していたよりも厳しい結果が出ている。実際に家庭で使ってもらうことを想定すると、今以上に認識時間を短縮する必要がある。また本システムと既存の照明制御の手法を比較してもらった結果、本システムの方が使い易いという回答は少なくまだまだ人に使い易いシステムとは言い難い。今回アンケートに回答してもらった中では、その場から移動しなくても操作出来ることや、リモコンを探したりしなくて良いなどハンズフリーな点は良いと評価されていたものの、やはり認識率や認識時間の面でまだ使い辛いという意見が多かった。特に「速く回す」ジェスチャーの方は疲れるという意見もあり、ジェスチャーそのものに対しても使い易い方法を考えなければならない。

6. おわりに

本稿では、ドップラーセンサを用いることでジェスチャー認識により機器の数と場所、人の場所に依存せずリアルタイムで機器を制御するシステムの提案を行い、実装した。また実装したシステムに対して認識精度や認識時間を計測する実験を行い、縦

振りでの認識率 82.5%、認識時間 2.10 秒、速く回すで認識率 64%、認識時間 2.27 秒という結果を得た。ただし、認識できなかったケースの大半は、数秒経過してもジェスチャーを認識できなかった無検出であり、縦振りのみに限定すれば、認識率は 96.5% となる。

本システムを使用したユーザにアンケートを取った結果、リモコンとの優劣は微妙であったが、少なくとも、壁スイッチよりは使ってみたいとの希望が圧倒的に多かった。また、家庭でも使いたいかとの質問に対しては、約 3 分の 2 の利用者が使いたいとの回答を示している。今回のシステムでは、同期検波に 90 度異なる位相のキャリアを用いる 2 波型マイクロ波ドップラーセンサは利用していない。しかし、二波型のセンサによって、腕が前に進んでいるのか、後ろに進んでいるのかも分かるようになる。今度は、更に、マイクロ波ドップラーセンサの機能を強化して、検出精度の向上を図ってゆきたい。

参考文献

- 1) 平川康史, 中島達夫 「Wizard-of-Oz 法に基づいたジェスチャー認識システムの研究」
<http://dspace.wul.waseda.ac.jp/dspace/>
- 2) 塚田浩二, 安村通晃: Ubi-Finger: モバイル指向ジェスチャー入力デバイスの研究, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.12, pp. 3675-3684 (2002).
- 3) 黒川智仁, 桑秀行, 芳賀博英, 金田重郎: ドップラーセンサを用いたジェスチャー認識手法の提案, 情報処理学会・第 70 回全国大会, 2ZD-4, pp. 4-223,4~224 (2008).
- 4) 古畑貴志, 窪田裕介, 金田重郎, 芳賀博英: ドップラーセンサを用いた複数機器の制御手法, 情報処理学会・第 71 回全国大会, 6X-2, pp. 4-129~4-130 (2009)
- 5) 岡村慎一郎, 斎藤啓介, 河合武宏 「マイクロ波測距技術の開発」, OMRON TECHNICS, Vol44, No1, pp37-41
- 6) 松野達夫 「24GHz マイクロ波ドップラーモジュールの応用」, 電波航法研究会 平成 16 年度第 4 回研究会
- 7) 福本雅明, 外村佳伸 「指釦: 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, pp.389-398 (1999).
- 8) 関根理敏, 前野蔵人, 野崎正典, 「マイクロ波ドップラーセンサを用いたセンサ非装着型行動・状態認識」, 情報処理学会研究報告, Vol.2009-UBI-24 No.10.
- 9) 日本国特許, 公開特許公報, オムロン株式会社. 侵入者検知装置, 侵入者威嚇装置. および車両用侵入者威嚇装置. 特開 2005-259065
- 10) 日本国特許, 公開特許公報, 松下電工株式会社. スイッチ. 特開 2002-164774
- 11) 日本国特許, 公開特許公報, オプテックス株式会社. 物体検出装置. 特開平 7-37176
- 12) 日本国特許, 公開特許公報, 新明和工業株式会社. 駐車場内人体検知装置. 特開平 9-228679