

安全管理のための指差し呼称動作の認識

Recognition of Pointing and Calling for Safety Management

岩崎 正裕[†]
Masahiro Iwasaki

藤波 香織[†]
Kaori Fujinami

1. 序論

安全衛生管理の徹底は労働現場において重要な課題である。一方、製造業の重大災害発生数は下げ止まりの状態からここ数年増加傾向にあるとの報告がなされている^[1]。その理由として労働者を取り巻く状況が大きく変わりつつあるということが考えられる。外国人労働者や派遣労働者の増加、新規採用の絞込みによる若手人材の不足、団塊世代の大量退職、さらには設備の自動化・省力化・集約化などが代表的な労働環境の変化である^[1]。以上のような変化は、労働者の熟練度の相対的な低下、体系的な教育の困難化、担当範囲の拡大・多能工化、一人作業の増加、危険情報の伝達・共有化の困難化などといった安全衛生水準の低下へとつながり、労働災害発生の可能性を高めている^[1]。

安全衛生管理の基本は設備による対策で、本質的安全設計方策や安全防護物の適用等の設備対策でリスクは大幅に低減する。しかし現場では設備対策などの方策が困難な場合や設備対策で排除しきれないリスクがあり、労働環境の変化による安全水準の低下もある中で人間の注意力を補完する手段が必要とされている。そしてその方法の一つとして多くの現場で採用されているのが一般に指差し確認と呼ばれる、指差し呼称である。

指差し呼称はもともと旧日本国有鉄道で創始された日本固有の安全確認法で、100年もの歴史を持つ。鉄道関係の従業員が信号確認時の基本動作として始めたものが他業種の職場でも採用され、現在では労働災害防止の一手法として定着している。

広く、そして長く使われてきた指差し呼称であるが、近年現場から「形式的な活動としては残っているがその効果に疑問を持っている」という意見が挙がっているとの報告がある^[2]。この原因として指差し呼称が正しい手順で行われていないことや、指差し呼称実施の定期評価が行われていないことなどが挙げられている^[2]。

本研究では、指差し呼称の正しさを評価する環境を構築するため、ウェアラブルセンサでリアルタイムに指差し呼称動作を認識する手法を提案する。このシステムを用いることで今までは困難であった指差し呼称実施の評価が遠隔で行えるため容易となり、指差し呼称の形骸化が改善されることが期待できる。本稿では、指差し呼称動作の手順の正しさや場所、実施時刻を確認できるプロトタイプシステムを提案する。また、開発したプロトタイプシステムを用いて仮想安全点検作業を行い、提案した手法の有用性について考察する。

2. 関連研究

ユビキタスコンピューティングに関する研究として、労働現場の安全衛生管理は、研究の余地を多く残している分野である。Kortuem, et al.の研究では、ウェアラブルコンピューティング技術を用いて労働者の工事機具使用状況を正確に把握することで、遠隔的な労働者の安全衛生管理を実現している^[3]。この研究より、労働者の遠隔的な安全管理が有効であることが示唆される。

また中尾らの研究では、農作業中の利用者に取り付けたセンサから、温度や湿度などの多様なデータを取得し、頭部に取り付けたヘッドマウントディスプレイで情報を掲示することで農作業支援を実現している^[4]。提案されているシステムは、農作業中に利用するシステムであるという観点から設計方針を定めている。提案システムも作業支援を目的とするものであるが、システムを設計する際に、作業に邪魔にならないように配慮する必要性とその実現方法についての一例が示されている。

3. 指差し呼称認識システム

提案システムの設計にあたって、実際に現場で利用される際に留意する点を考慮して設計を行った。また、提案システムの認識項目についても十分に検討を行った上で決定した。以降では、設計方針と認識項目という観点で提案システムの要件について述べる。

3.1. システム設計上の課題と方針

3.1.1. 導入容易性

システムの現場への導入を容易にするため、設備方策が少ないことが望ましい。例えば、各安全点検箇所における機材の設置は安全点検箇所の数に比例してコストが増える。また、新たな設備を設置することが通路の邪魔になり、危険水準が悪化する要因となることも考えられる。これについては設備方策が少ないウェアラブルコンピュータシステムを用いた実装により解決する。

3.1.2. 作業を邪魔しない取り付け位置

提案システムは労働災害発生の可能性のある場所で利用されることが想定され、装着物が利用者の動きを拘束せず、作業を邪魔しないことが重要である。よって、センサを取り付ける位置について十分に留意する必要がある。取り付け位置は、日常的でない作業を邪魔する可能性がある。例えば、日常的でない上腕を覆うような取り付け方法では、筋肉の隆起を邪魔することがあり、ユーザに圧迫感を持たせることがある。しかし、腕時計などの手首に取り付ける物は日常的に着けていても問題ないため作業を邪魔しない^[5]。このように取り付け位置の日常性を考慮することで解決する。

[†] 東京農工大学大学院工学府情報工学専攻
Department of Computer and Information Sciences,
Tokyo University of Agriculture and Technology

3.2. 認識項目

実際に指差し呼称を評価するためには様々な情報が必要であると考えられる。認識項目とは指差し呼称動作を評価するために必要な情報である。

指差し呼称動作は細かい複雑な動作の連続であるが、個々の動作にはそれぞれ効果があることが検証されている⁶⁾。それらは、以下の4点にまとめられる。

- (1) 注意の方向づけ：指差すことで注意を能動的に確認対象に向けるとともに、意識レベルをくつろいだ状態から明快な状態に引き上げる。
- (2) 多重確認の効果：目・耳・口・筋肉を使うことで確認の信頼性を高める。
- (3) 脳の覚醒：発声することや動作をすることで作業中の覚醒水準を高める。
- (4) 焦燥反応の防止：知覚と反応の間に指差し呼称を挟むことであわてて誤操作することを防ぐ。

これらの条件を踏まえて、効果を持たせる動作の有無を認識することが指差し呼称動作を評価する上で最低限必要であると考えた。まず、(1)の効果を生む動作が行われたかを判断するために、指差し方向の認識が必須である。次に(2)では視線、発声の有無、腕の振りを認識する必要がある。(3)では、発声の有無、腕の振りを認識しなくてはならず、(4)では腕の振りと呼称が正しい順に行われたかの認識が不可欠である。さらに、安全点検は正しい安全点検箇所で行う必要があるため、指差し呼称の実施場所も認識する必要がある。

以上をまとめると、提案システムでの認識項目は腕振り動作、視線と指差し方向、発声、実施場所である。また、実施回数や実施時刻、各動作が正しい順番で行われたか否かを確認するため、認識時の時刻を記録する必要がある。

3.3. システム概要

上述した要件を踏まえ、本研究では身体装着型センサから取得したデータを携帯端末で処理する、現場への導入が容易なウェアラブルシステムを実装した。以降ではシステムの構成と認識手法を説明する。

3.3.1. 提案システムの構成

提案する指差し呼称認識システムの構成を図1により説明する。提案するシステムは身体装着型センサを用いてデータを取得し、それらをスマートフォン端末に集約し、処理し、結果をスマートフォン端末内に保存する。

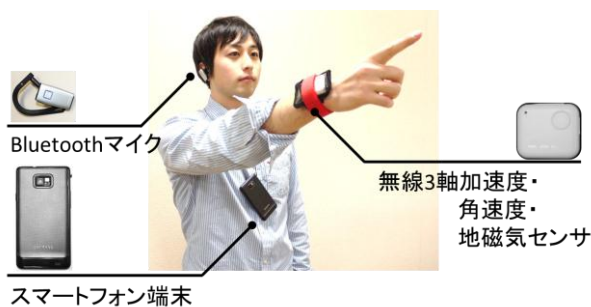


図1 提案システムの構成

Bluetooth マイクは、一般的にヘッドセットとして用いられる装着方法をとっており、無線3軸加速度・角速度・地磁気センサは腕時計と同様に腕に取り付けている。

Android 端末は首からネックストラップで提げており、どれも一般的な装着方法であるため、装着感を著しく損ねることはないと考えられる。3.2 節で挙げた認識項目については、マイクから発声、3 軸加速度・角速度センサから腕の振り、3 軸加速度・地磁気センサから視線と指差し方向を認識する。また、Android 端末に搭載されているカメラから得られる画像を利用して実施場所を認識する。本来は指差し呼称実施を評価する人が要求する情報のみを記録すればよいが、今回はプロトタイプシステムの提案のため、各認識結果について正誤を問わず動作種別とその実施順を記録する。

3.3.2. 腕振り動作の認識

指差し呼称動作内の腕振り動作は、3 軸加速度・角速度センサから取得したデータを使い、DTW (Dynamic Time Warping)^{7,8)}を用いたジェスチャ認識によって実現する。指差し呼称において腕振り動作は二つの動作に分けられる。まず、腕が身体の横にある状態から腕を振り上げ対象を指す動作を行い(図2の腕振り動作1)、その後、その位置から腕を耳の横まで振り上げて再度対象を指す(図2:腕振り動作2)。

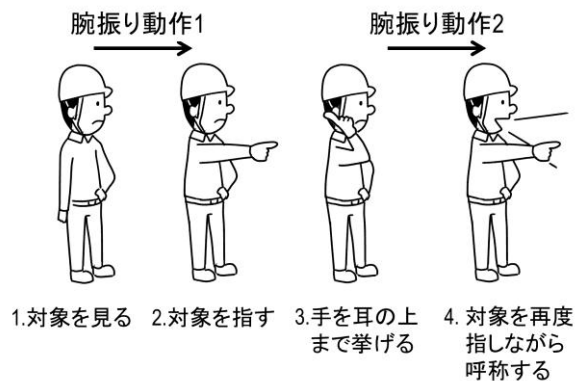


図2 指差し呼称の手順⁹⁾

これら二つの動作は腕の動きであり、1 種のジェスチャ動作と考えられる。そこで、ジェスチャ認識によって腕振り動作は認識する。また、二つの動作時のデータの時系列波形は図3のようになり、特に動作開始時の X 軸加速度、Y 軸加速度について二つの腕振り動作は異なった値を示す。

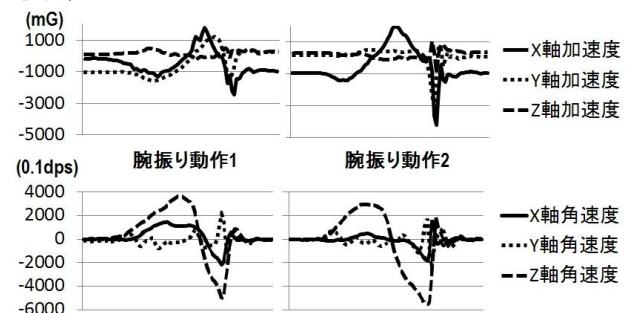


図3 腕振り動作の波形例
(上段：加速度波形，下段：角速度波形)

DTW の処理には手首に取り付けたセンサから得られる 3 軸加速度値・角速度値の 6 次元の値を 50Hz で取得する。加速度は-16000mG から 16000mG の範囲で、角速度は-2000dps から 2000dps の範囲の値を取得する。そして一連の認識処理毎に直前の 2000ms のウィンドウを設けて入力波形データとテンプレートデータを比較し DTW 距離を算出していく。十分な筋肉刺激を得るために、腕振り動作はきびきびと行う必要があり、また予備実験の結果より動作 1 回は必ず 2000ms 入ると考えられる。

DTW 距離を求める際に必要なテンプレートには、二つの動作に対し各 25 回分の学習データ群の中から他の学習データとの合計 DTW 距離が最少のデータを選ぶ。認識時には取得したデータとテンプレートの DTW 距離を求め、閾値判定により指差し動作の認識を実現する。閾値 T は式(1)を用いて決定する。 μ はテンプレートと他の学習データとの平均 DTW 距離、 γ は標準偏差である。さらに、 σ の値は実際に使用しながら再現率と適合率の釣り合いで調整する。

$$T = \mu + \sigma\gamma \quad (1)$$

3.3.3. 視線と指差し方向の認識

視線と指差し方向の認識は目と指先の相対的な位置関係によって求める。先行研究では、視線はヘッドバンド型^[10]や眼鏡型^[11]のアイトラッカなどの装置で認識されている。しかし、これらの手法は装着者の動作を制限することから本研究には適切でないと考えられる。そこで提案手法では手首に取り付けたセンサから得られる 3 軸加速度値・地磁気センサ値を利用した。

視点は“指す”動作によって指した対象に無意識に移動するといわれており^[6]、そのため視線と指差し方向は概ね一致すると考えられる。また、指差し方向は目と指先の延長線と概ね一致することが知られている^[12]。提案手法ではこれらの条件を利用して、視線と指差し方向は目と指先の位置関係によって求める。以上より、目と指先の関係を計測するために必要なデータは以下の四つに定めた。

- (1) 前腕部の水平方向姿勢 (ϕ_1) .
- (2) 前腕部の垂直方向姿勢 (ϕ_2) .
- (3) 指先と腕の支点の距離 (L) .
- (4) 腕の支点と目の距離 (d_1, d_2, d_3) .

図 4 と式(2)(3)にパラメータとそれらの関係を示す。まず、必要なデータのうち、(3)(4)である d_1, d_2, d_3, L を計

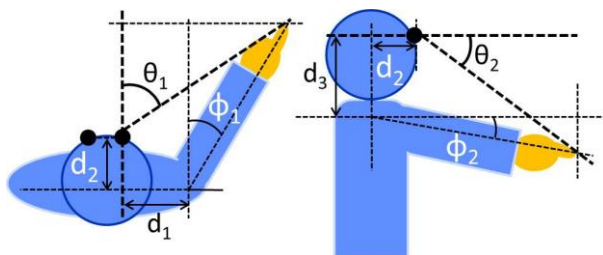


図 4 視線と指差し方向計測のためのパラメータ

$$\theta_1 = (L \sin \phi_1 \cos \phi_2 + d_1) / (L \cos \phi_1 \cos \phi_2 - d_2) \quad (2)$$

$$\theta_2 = (L \sin \phi_2 \cos \phi_1 + d_3) / (L \cos \phi_1 \cos \phi_2 + d_2) \quad (3)$$

測する。そして、計測時には加速度・地磁気センサを利用して(1)(2)である ϕ_1, ϕ_2 を求め、式(2)(3)を用いて身体の向きを軸とした視線の相対的角度を求める (θ_1, θ_2)。そして認識時には事前に登録しておいた各安全点検箇所における点検対象の方向と θ_1, θ_2 を比較し、最も近い対象を認識する。

3.3.4. 発声の認識

呼称時の発声が 3.2 節の(2)(3)の効果を生むためには意識した発声をする必要があり、日常会話時に自然に発生する際の音圧レベルである 60dB^[13]より大きな音量で行う必要がある。これを踏まえて、移動平均処理後のデータに対して、60dB を 0.5 秒間超えている場合に正しい発声と判断する。一定時間超えるまで認識しないことで、環境音の影響をなるべく排除する。

音量の取得は提案システムの利用が想定される環境での環境音は様々であり、また骨伝導マイクを使用することで環境音の影響を考慮する必要もなくなる。そのため、環境音は考慮せずマイクから得た波形データの振幅を用いた。音声データは耳に取り付けた Bluetooth マイクから、パルス符号変調(PCM)形式、16 ビットのサンプル解像度、一つのチャンネル、および 8000Hz のサンプリングレートを取得し、10ms 間隔で 10ms ウィンドウ内の入力値の二乗平均平方根値を算出する。そしてその値を dB 値に変換した結果を音量として利用する。

3.3.5. 実施場所の認識

実施場所の認識は 3.2 節で述べたように正しい点検箇所では指差し呼称が実施されたのかを評価するために必要な項目である。位置測定に関する先行研究では GPS を利用した手法がある^[14]。しかし、この手法の精度は労働現場において労働者がどこでどの方向に向いているかを知るには不十分である。また超音波を用いた手法^[15]は天井中にまたがった大規模かつ正確な設備の設置が必要である。加えて、RFID を用いた手法^[16]では労働者の身体の向きを認識することができない。

そこで、提案手法では設置が容易で指向性の高い 2 次元の人工マーカを利用した認識を行う。指差し呼称時にユーザは安全点検箇所に概ね正対することが考えられるため、身体装着カメラでマーカを認識させることで場所と身体方向の認識が可能である。人工マーカは OpenCV を利用した画像処理を独自に実装しマーカを認識する。

4. 評価実験

4.1. 腕振り動作認識の評価実験

4.1.1. 実験概要

二つの腕振り動作の認識精度に関する評価実験を行った。具体的には、正面を指す状態で取得したテンプレートを用いて、指差し対象のある方向と認識精度の関係性を把握することを目的として、各被験者から計測した DTW 距離の推移を検証した。被験者は 12 人 (男性 11 人、女性 1 人) の大学生で行った。また、いずれの被験者も利き腕が右腕であった。

はじめに、実験者が被験者に正しい指差し呼称を指導した。そして、被験者は提案システムを装着し、腕振り動作 1, 2 の学習データをそれぞれ 25 回分取得した。この学習データ数は Gillian, et al.^[7]の研究結果より、25 回で十分であると判断した。その学習データからテンプレートデータを取得し、テンプレートデータと学習時に得られた結果を用いて閾値設定を行い、37 方向 (図 5) に対して 1 回ずつ指差し動作を行った。また、図 5 の 37 方向はビニールテープを格子状になるよう結び合わせ、その結び目に数字を印刷した紙を貼りつけ実現した (図 6)。そして、被験者が直立した状態で目線の高さに 1~13 番の高さがくるよう実験器具の高さを調整し、7 番の正面に立ってもらった。図 5 における 1, 2 番や 12, 13 番, 14, 15 番や 24, 25 番などは正面の壁を越えてしまい他の対象と同様な設置が行えなかったため、対象は目測で行った。そのため、実験前に数回の練習を行った。

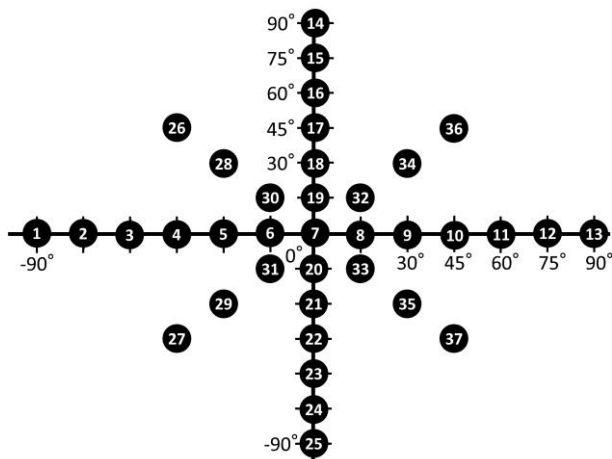


図 5 実験に用いた 37 方向

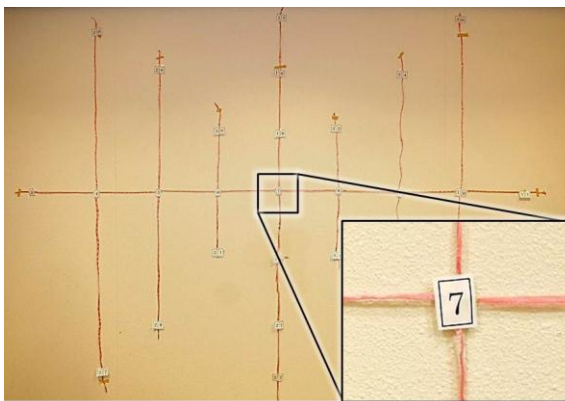


図 6 実験設備

4.1.2. 実験結果

腕振り動作について、式(1)の σ の値は DTW 距離のばらつきを意味し、他の動作を誤認識してしまわないようにできるだけ小さい値が望ましい。そこで腕振り動作の認識精度は取得した DTW 距離が閾値以下になる σ の最小の値で検証する。結果は図 7 のようになった。これらは全被験者の 37 方向ごとの σ の平均値を指した角度に対してプ

ロットしたものであり、精度が良い順に円形、四角形、三角形のマークでプロットされている。

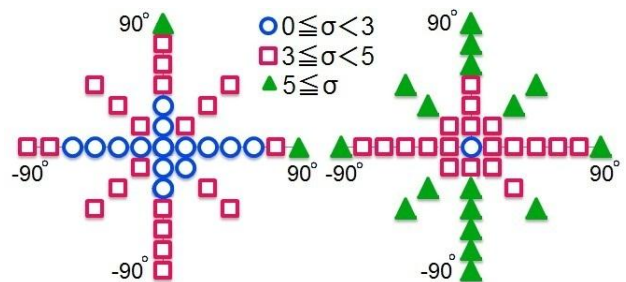


図 7 腕振り動作の認識精度
(左図：腕振り動作 1, 右図：腕振り動作 2)

4.1.3. 考察

図 7 より、腕振り動作 1 のほうが三角形のマークでプロットされた数が少ないことから、動作のばらつきが少ないことがわかる。また、図 7 の左図では円形のマークが、右図では四角形のマークが水平軸付近に多く分布している。これより、どちらの動作も水平方向に対してはそれほど影響を受けないが、垂直方向に対して大きく影響されることがわかる。水平方向における指差し方向の変化は、入力波形に対して Z 軸の加速度の増減と X 軸周りの角速度の増減を起こす。しかし、これらは他の軸の変化に対して小さいものである。垂直方向における指差し方向の変化は、腕を上げる位置は耳までのままだが、腕を下げる位置、止める位置が変わるため腕の動く距離が変わる。これにより、X 軸の加速度と Z 軸周りの角速度が大きく増減する。このことが、垂直方向に対して大きく影響される原因だと考えられる。

4.2. 視線と指差し方向認識の評価実験

4.2.1. 実験概要

視線と指差し方向認識の精度評価実験を行った。具体的には実際に指している方向と認識結果の差を把握することを目的として、計測値を用いて算出した式(2)(3)の結果を各 37 方向ごとで検証した。被験者は 4.1 節で述べた腕振り動作認識の評価実験時と同一の 12 名で実施した。まず、各被験者の式(2)(3)における指先と腕の支点の距離、腕の支点と目の距離 (d_1 , d_2 , d_3 , L) を計測システムへ入力する。その後、被験者に図 5 の 37 方向を指してもらった。この際も、4.1 節の実験と同様に図 6 の実験装置を用いて 37 方向 (図 5) を実現した。

4.2.2. 実験結果

視線と指差し方向の認識について、認識を行う前の目と指先の位置関係計測における誤差は、その後の認識を行うためにできるだけ小さい値が望ましい。図 8 の左図は θ_1 の、図 8 の右図は θ_2 の被験者全員の各 37 方向における誤差の平均値を精度が良い順に円形、四角形、三角形のマークでプロットしたものである。

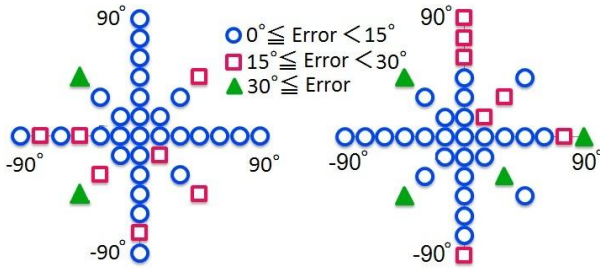


図 8 視線と指差し方向の認識精度
(左図：水平方向の誤差，右図：垂直方向の誤差)

4.2.3. 考察

図 8 より，四角形が合計 14 点，三角形が 6 点あるが，これらの値は斜め方向と軸の端側であることがわかる．加速度センサと地磁気センサによって計測している値は環境に合わせてキャリブレーションを行ったものであり，方向によって誤差のばらつきが増えることはなかった．そのため式(2)(3)において，加速度・地磁気センサを利用して求める前腕部の姿勢 (ϕ_1 , ϕ_2) についての誤差量は指す角度によって変化しない．しかし， θ_1 は縦軸付近で， θ_2 は横軸付近で誤差が少なく (図 8)， θ_1 は中心から左右に離れるほど， θ_2 は中心から上下に離れると誤差が大きくなる傾向がある．これは，軸から離れるほど式(2)(3)の計算内で誤差が与える影響が増えることが原因だと考えられる．このことと，斜め方向は両軸の誤差が合わさるため誤差量が多くなることから，図 8 の四角形と三角形のマーク位置の方向で誤差が多かった理由であると考えられる．また，誤差の値が 37 方向の間隔である 15 度を越えた場合でも，各点における値の大小が誤入れ替わることにはなかった．そのため，中心から離れている点検対象に対しては，誤差量を角度によって考慮することで精度の向上がはかれることが示唆された．

4.3. 指差し呼称動作認識システムの評価実験

4.3.1. 実験概要

最後に実際の安全点検を模して，全ての認識を連動させたシステムを用いて，正しい指差し呼称の認識精度を検証した (図 9)．被験者は 4.1 節，4.2 節の実験と同一であるため，腕振り動作認識や視線と指差し方向の認識に用いるデータはその際に取得したものを使用した．また，

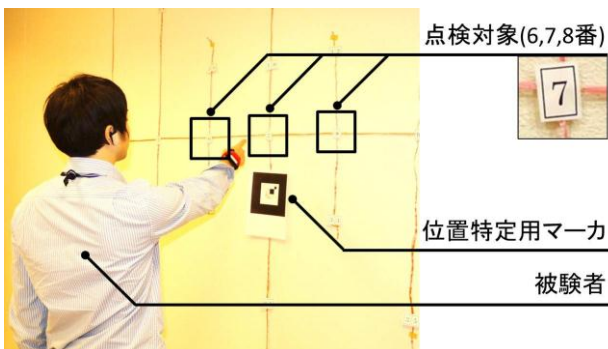


図 9 実験風景

4.1 節の実験結果を受けて，本実験での指差し呼称対象の方向においては σ の値は 5 を超えないことが考えられるため，腕振り動作認識に用いる閾値の σ は 5 とした．指差し呼称実施認識用のマークを正面に設置し，スイッチの点検を模して，4.1 節，4.2 節の結果から一連の認識の精度を確認するために確実性の高い方向である図 5 の 6 番，7 番，8 番に対して被験者は指差し呼称動作を行った．

4.3.2. 実験結果

提案システムの認識精度 (true-positive) は表 1 のとおりである．また，全ての認識が正しく行われ，一連の指差し呼称として認識する精度は 59.6%であった．さらに一連の動作として認識できなかった 40.4%の原因のうち 68.4%が一つの認識のみ検出できず，他の認識は正しく検出できていた．実施場所以外の認識については 74.1%から 89.8%にばらついており，特定の認識が著しく悪いわけではなかった．各動作の実施順序の認識結果は各認識が高い精度で行えないと信頼性がなくなるため，正しい指差し呼称の認識が容易でないことを示唆している．

表 1 認識精度

	腕振り動作	視線と指差し方向	発声	実施場所
認識精度	74.1%	89.8%	82.4%	100%

4.3.3. 考察

腕振り動作の認識については，認識精度は 74.1%であった．正しく分類されなかったデータは DTW 距離が閾値に達しなかったデータである．DTW 距離が閾値に達しないことは予備実験時と比較して DTW 距離にばらつきがあったことを意味している．この理由の一つとして，指差し呼称が普段行わない動作であり，動作にばらつきがあったことが原因と考えられる．学習データ取得から実験までにかかった時間は被験者ごとに異なっていて，被験者によっては学習データ取得の際の動作と実験時の動作が見た目でもわかるほど顕著に異なる場合があった．精度を上げるためには，閾値設定に用いる学習データの取得方法を工夫し，動作が安定した状態で学習データを収集することで正確なテンプレートデータ，標準偏差値を取得できることが示唆された．

発声の認識については，閾値の 60dB に達し続けられないことが多かった．これは，今回の実験では発声が短かったためであると考えられる．また，女性はしっかりと意識的に発声しても 60dB に届かないことがあり，個人や状況に合わせた閾値設定が必要であると考えられる．また，安全点検箇所ごとに呼称する内容は異なるので，その都度の発生継続時間を取得し照合することや，音声認識技術を用いることで認識精度が向上する可能性も示唆された．

実施場所の認識においては高い精度で認識を実現でき，人工マークを用いた認識手法が実施場所の認識として利用できることがわかった．しかし，正対していない状態でもカメラにマークが映り始めると認識するために，false-positive を検出しやすいこともわかった．今後は正対した状態のみで認識を行えるような手法を検討する必要がある．

実験方法については、本実験は想定される現場の一例を模した実験であり、また被験者も普段指差し呼称を行う機会が少ない学生であった。そのため、提案システムに対し、一般性や信頼性の高い実験結果を得るためには、現場の状況を再現する必要がある、そのためには詳細な調査が必要である。また、実際の現場で実験を行うことも、提案システムの有用性を検証するために重要なことである。

5. 課題と展望

提案システムを実際の現場に導入して使用するにあたっては解決すべき課題が存在する。その一つは認識精度の向上である。現在のシステムは実験環境における認識精度が 59.6%であったが、利用者が結果を信頼するためには、より高い認識精度を得ることが必要である。また本稿では、提案システムの利用が想定される現場は安全点検作業が行われる現場と広く設定した。しかし、利用現場によっては大きな音を出せないことも想定され、その際には呼称を省くなど利用現場にあった指差し呼称を行う必要がある。さらに、様々な利用者や利用現場への適用可否を認識精度の点から検証する必要がある。

また、提案システムはウェアラブルシステムであるため、必然的に電池で駆動している。そのため省電力化も解決しなくてはならない課題である。例えば各認識に対して条件分岐を設けて、安全点検箇所近づいたら各種動作の認識を始める、などの工夫で電力消費を低減させる必要である。さらにはセンシングの周波数に対しても、周波数の増減による認識精度の変化に対して検証する必要がある。

6. 結論

本稿では、労働環境の変化に伴い安全衛生水準が低下する労働現場で、安全点検支援を行うことを目的とし、指差し呼称の定期評価を容易にする指差し呼称動作認識システムを提案した。指差し呼称の認識は、腕振り動作、視線と指差し方向、発声、実施場所、の四つに分けて実現した。これらの認識には小型無線 (Bluetooth) 3軸加速度・角速度・地磁気センサ、Bluetooth マイク、Android 端末を用い、ウェアラブルコンピュータシステムとしてプロトタイプシステムを開発した。

実際の安全点検を模した実験では 59.6%の認識率で正しい指差し呼称動作を認識した。個々の認識では、腕振り動作を 74.1%、視線と指差し方向を 89.8%、発声を 82.4%、実施場所を 100.0%の認識率で検出できた。この結果より、現状で認識できる呼称対象や呼称業務は、各安全点検箇所が数 m 離れており、各点検対象が 30 度以上離れた位置にあり、高さが概ね目線の高さにあるものを点検する作業であり、この条件下では高い精度で認識が行えることが実験結果より示唆された。また、この成果は作業支援の研究分野において、新たな労働状況の認識手法の可能性を示した。また、ジェスチャ認識の研究分野に対しても、同様の動作であっても角度の変化によって認識精度が変わるという知見を示した。

今後は、実験結果から明らかになった認識精度の課題に対して、提案システムに用いた手法の誤認識の原因を検証するために詳細な精度評価実験を行い、また他の手

法も調査し、指差し呼称の認識に最適な認識手法を検討する。さらに、実際に利用される現場の環境やシステムの利用者について注意深く調査することで、実環境への適用性を向上していく。

参考文献

- [1] 厚生労働省, ITを活用した新しい安全衛生管理手法のすすめ方 [概要編], <http://www.mhlw.go.jp/new-info/kobetu/roudou/gyousei/anzen/dl/0810-1a.pdf>.
- [2] 増本清, 増本直樹, “職場の安全衛生 Q&A100 選—2007年問題対応!災害防止と職場の健康ノハウ集,” 2007.
- [3] G. Kortuem, et al., “Sensor Networks or Smart Artifacts? An Exploration of Organizational Issues of an Industrial Health and Safety Monitoring System,” In Proc. of UbiComp 2007, pp. 465-482, 2007.
- [4] 中尾太郎ほか, “ウェアラブル型ルールデータベースシステムを用いた農作業支援システム,” 情報処理学会全国大会論文集, pp. 211-214, 2003.
- [5] 山本哲也ほか, “ウェアラブルコンピューティングのための手足を使った状況依存コマンド入力手法,” ヒューマンコンピュータインタラクション研究会報告, pp. 17-23, 2009.
- [6] 芳賀繁, “指差しが眼球運動に及ぼす効果—指差呼称によるエラー防止効果のメカニズムの検証—,” 日本人間工学会第 48 回大会発表論文集, pp. 140-141, 2007.
- [7] N. Gillian, et al., “Recognition of multivariate temporal musical gestures using n-dimensional dynamic time warping,” In Proc. of NIME11, pp. 343-348, 2011.
- [8] J. Liua, et al., “uWave: Accelerometer-based personalized gesture recognition and its applications,” In Proc. of PerCom 2009, pp. 657-675, 2009.
- [9] Japan International Center for Occupational Safety and Health, “Concept of Zero-accident Total Participation Campaign,” <http://www.jniosh.go.jp/icpro/jicosh-old/english/zero-sai/eng/index.html>, 2012/04/17 アクセス.
- [10] G. Anders, “Pilots attention allocation during approach and landing eye- and head- tracking research in an A330 full flight simulator,” In Proc of AP 2001, 2001.
- [11] A. Bulling, et al., “It’s in your eyes: towards context-awareness and mobile HCI using wearable EOG goggles,” In Proc. of UbiComp 2008, pp. 84-93, 2008.
- [12] 橋本元信ほか, “指差し動作の解析による物体認識,” 電子情報通信学会技術研究報告, pp. 81-88, 2002.
- [13] 白石君男ほか, “日本語における会話音声の音圧レベル測定,” Audiology Japan, pp. 199-207, 2010.
- [14] J. Hightower, et al., “A survey and taxonomy of location systems for ubiquitous computing,” Computer, pp. 1-29, 2001.
- [15] A. Harter, et al., “The anatomy of a context-aware application,” In Proc. of MobiCom '99, pp. 59-68, 1999.
- [16] K. Fujinami, et al., ““Take me with you!”: A Case Study of Context-aware Application integrating Cyber and Physical Spaces,” In Proc. of SAC 2004, pp. 1607-1614, 2004.