

氏名	吉田 健吾
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博甲第864号
学位授与の日付	平成19年3月22日
学位授与の要件	課程博士(学位規則第4条第1項)
学位授与の題目	視覚障害者を対象とした歩行支援システムに関する研究
論文審査委員(主査)	木村 春彦(自然科学研究科・教授)
論文審査委員(副主査)	村本 健一郎(自然科学研究科・教授), 山根 智(自然科学研究科・教授), 船田 哲男(自然科学研究科・教授), 南保 英孝(自然科学研究科・講師)

ABSTRACT

Walk at will brings healing of mind. Based on this idea, we have developed walk support systems for visually impaired. Although every barrier free policies are improving the walk environment of visually impaired, many restriction still exists on present form. To reduce these restrictions, we have tried to develop the walk support system.

We designed a model of the system, which can exchange its part easily. The system can exchange its part of a function to adopt one's individual disabilities. This dissertation presents the proposed obstacle detection subsystem. The subsystem is according to the proposed model. Moreover, this dissertation shows effectiveness and reliability of the proposed system with the experimental results.

Next, we tried to support straight walk. Straight walk is very important factor to walk at will. If he/she can straight between two intended points, it means that he/she can walk any course as he/she wants. In this research, we try not to use such large-scale infrastructures to satisfy these conditions. Also, we propose to use walker's habits. The system recognizes walk characteristics, and applies them to realize straight walk support. We show effectiveness and reliability of the proposed system with the experimental results.

背景

視覚障害者は、先天性・後天性を含めて日本全国に約30万人存在している。視覚障害は障害の中でも重篤な部類とされていることもあり、視覚障害者の生活支援には様々な方面から多大な関心が寄せられている。視覚障害者の生活には、様々な点で解決すべき課題が山積している。歩行はその一例である。国が行った統計によると、視覚障害者の単独外出率は、他の障害を持つ場合と比べ低いことが分かっている。これは、介助者との共同外出が多いことを示す。また高齢者が多いことも視覚障害者の特徴である。聴覚障害や筋力低下などを併有する場合も多い。この様に、自力で動けない・動きにくいことは、当人にとって大きなストレスになると考えられる。このような状況の中で実用されている支援システムとして、白杖と盲導犬があげられる。しかし、白杖は習得期間が長い点が問題となる。また盲導犬の場合、生物であるが故に生ずる様々な問題は、普及を妨げる大きな要因の1つとなっている。また、統計から視覚障害者は高齢者が多くを占めることがわかっている。そのため、視覚障害と重複して他の障害を得る場合も多々見られる。加えて、一般的に言われる視覚障害は視力障害を指すが、その他にも視野障害、色覚障害が存在する。これらの症状は、高齢になるに従い劇症化する傾向が見られる。これら千差万別の状態に対応できる歩行支援手段が求められている。

このような状況を改善するため、視覚障害者の歩行を支援するための様々な研究が行われている。しかしこれらの既存研究は、未だいくつかの課題を解決できていない。例えば、殆どの既存研究では白杖・盲導犬との併用を考慮していない。現状、道路交通法第14条第1項に、「目が見えない者（目が見えない者に準ずる者を含む。以下同じ。）は、道路を通行するときは、政令で定めるつえを携え、又は政令で定める盲導犬を連れていなければならない」と定められているため、白杖または盲導犬と併用できないシステムは、広く使用するにあたって実質的な効力を持ちにくい。またいくつかのシステムでは、大規模なインフラを構築した上で歩行支援を行うことを提案している。インフラの整備によってシステムの安全性・安定性を確保することは、非常に有望かつ有効な手法であるが、時間的なリソースや公的基準の作成などの副次的課題を発生させてしまう。これら既存のシステムが取り扱う課題は、最終的には(1) どの様に外部情報を入手するか、(2) 得た情報をどう判断するか、(3) 判断内容を使用者にどう伝達するか等の3点に収束する。本論文では、法律上の問題やインフラに頼らない新たな歩行支援システムについて、(1) どの様に外部情報を入手するか、(2) 得た情報をどう判断するか、の点において議論する。

モデル

視覚障害者の歩行支援システムを提案するにあたって、システムがどのような物理的・論理的構成を持つのかをモデル化した。まず、システムの目的は歩行の安全性を確保することである。それ以外の機能、例えばGPSを用いたナビゲーション機能などは当システムでは扱わない。歩行の安全性を満たすため、次のようにシステムを分割した。

1. センサ
2. 信号生成器
3. 信号伝達器

ここでセンサは、外部情報の効率的な入手を目的とする。言わば、システムの「目」である。有る程度の知的処理を行い、注目すべき危険を察知する機能を備える。次に信号生成器は、得た外部情報を判断し、危険を使用者に伝達するための信号を生成する。生成の頻度や方法は、知的な処理が求められる。最後に信号伝達器は、生成された危険信号を実際に使用者へ伝達する。障害に応じた情報の伝達は、この部分で成される。

障害物の検知

まず、外部情報の取得について検討した。言わばシステムの「目」に相当する機能である。この機能では、障害物との距離を測定することで、障害物の移動速度、移動方向を得るのが目的となる。この

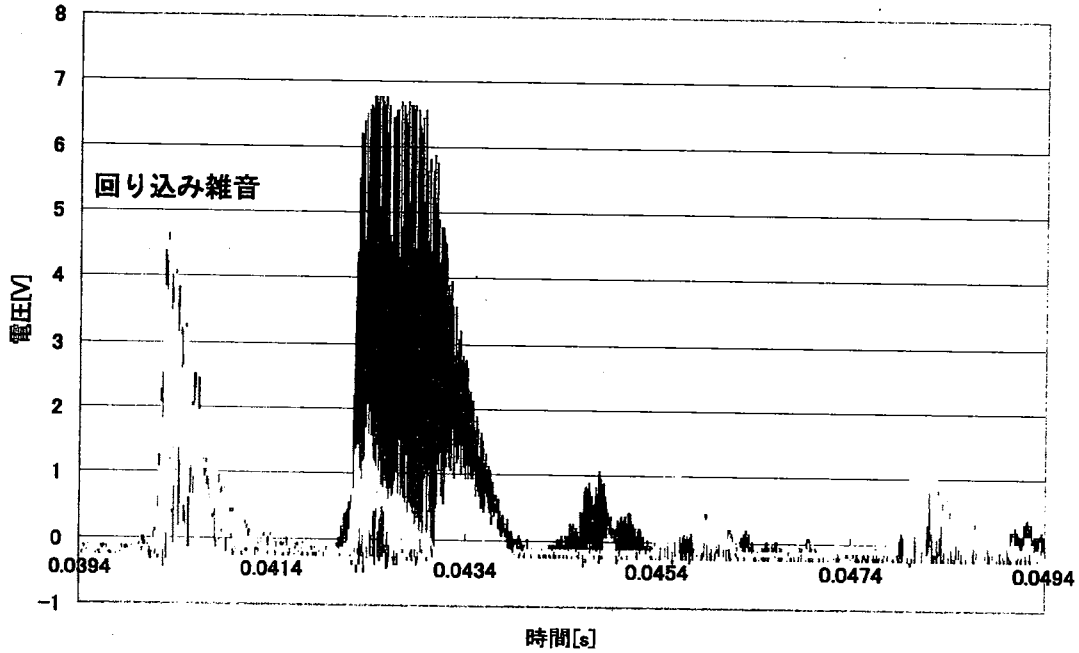


図1

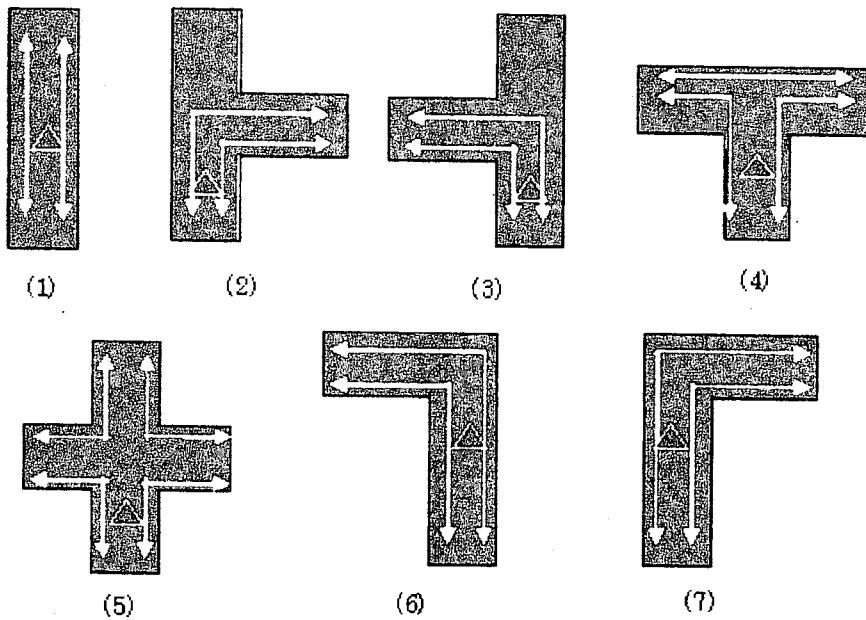


図2

目的を実現するためには、観測対象の同定が重要になる。環境の急激な変化により、先ほど測定した障害物と今測定した障害物が異なってしまう可能性があるからである。本論文では、安価な超音波センサを用いて物体の同定を指向した。既存の手法による物体同定手法は、静止している物体にのみ有効なものであった。そこで本論文では、現在利用していない情報である反射波の振幅・波形を利用することで、動いている物体でも同定できるようにすることを提案する。提案手法の有効性を検証するため、超音波センサによる反射波波形・振幅が対象物の距離および形状で大きく異なることを調べた。距離と形状で波形及び振幅が著しく変化するならば、測定した障害物のIDとして波形・振幅を利用することが可能になるからである。実験の結果、波形・振幅は大きく異なり、対象物のID足り得ることが分かった(図1)。この結果をもとに、実際に人間を障害物に見立て、障害物が移動する場合のオ

プロジェクト同定を試みた。実験手順は以下の通りである。

1. センサを観測点に固定する
2. 被験者に決められた経路で歩いてもらう (屋内, 34 パターン, 図2)

この手順を用いてデータを連続的に取得し、対象物からの反射波から同じ対象を観測していることを確認できるかを調べた。ここで同定には、次の方式を用いた。

- (1) 得られた反射波の包絡線を得る
- (2) 単位時間後、次の反射を観測。同様に包絡線を生成
- (3) 1の包絡線データと比較。次の式を用いる

$$D = V(t-1) - V(t)$$
$$d = \sum_n^N (D_n)^2$$
$$d \leq T \text{ ならば } V(t-1) \simeq V(t)$$

t : 単位計測時間
$V(\tau) = (V_1, V_2, \dots, V_N)$: 時間 τ での包絡線データ
$D = (D_1, D_2, \dots, D_N)$: 二乗誤差
N : 包絡線データ数
T : マッチングしきい値

ここで被験者の経路は図2のように定めた。この様に、被験者はセンサに対し、(1) 接近、(2) 離反、(3) 通過の3つに分類される経路を取る。その結果、オブジェクトの同定は100%可能であった。しかし、移動方向については限定的にしか判別できなかった。具体的には接近と離脱、通過の判別は出来るが、左右のどちらから来たかが分からないままであった。

今後の課題として、この障害物の移動方向判別の改善がある。現状では左右の別が判断できないため、正確な移動方向を取得できていない。これは歩行支援システムの安全性を確保する上で問題となるので、センサの数を増やすなどして左右の別を判断できるようにすることが重要であると思われる。

直進歩行の支援

以上の様に障害物を検知した場合、何らかの方法を以て回避を行う必要がある。ここで回避を行うためには、随意の歩行が前提となる。そこで本論文では、随意歩行の前提となる直進歩行の支援を検討した。複雑な歩行軌跡も、単純化すれば直進と方向転換の繰り返しである。従って歩行者が意図したポイント間を直進可能ならば、随意に歩く道が開ける。しかし直進歩行は視覚障害があるだけで困難を極める。その上、老化による筋力低下などで左右の脚力が均衡を保てなくなってしまった場合、直進歩行は更に難しくなる。また視覚障害者は健常者に比べ、視覚による周囲状況の確認が難しい。従って聴覚でとらえられる音や風の流れ等の微妙な変化も重要な情報として利用している。このため常時、システム利用者に対して情報を伝達し続けるシステムでは、視覚障害者にとっては周囲状況の認識への負担となる可能性がある。

そこで本研究では、システム利用者の直進すべき方向に対して左右に許容範囲を作成し、許容範囲を出た場合にのみシステム利用者に警告音を伝達する予備的なシステムを作成した。ここで許容範囲が大きい場合、警告音の発生回数は少なくなると考えられるが、同時にシステム利用者の歩行軌跡は理想的な直進歩行の軌跡とはかけ離れて行くことが予想される。逆に許容範囲が小さい場合、警告音の発生回数は増える一方、システム利用者の歩行軌跡は理想的な直進歩行に近づいて行くと考えられる。

この点を実証するため、予備的なシステムを作成した。予備的なシステムは、Point Research社製のGyroDRMを用い、使用者の位置を取得する。GyroDRMは、装着者の移動方向と移動量を得ることが出来るセンサである。また、使用者にはイヤホンとPCを装着して貰い、イヤホンから音声で警告を与える。システムの動作手順としては、理想的な軌跡の左右に許容範囲線を設け、その範囲を超えた場合、超えた側のイヤホンから警告音を鳴らすことで理想的な歩行を支援する。この予備的なシステムを使い、晴眼者6名に目隠しして直進歩行をして貰ったところ、各被験者で歩行軌跡の左右どちらかへ

	右最大ズレ	左最大ズレ	平均位置	総警告音
予備的手法の平均	82.54cm	59.48cm	25.12cm	4.7回
提案手法を用いた実験時の平均	76.24cm	39.5cm	18.34cm	3.5回

表1

の偏りが見られた。また許容範囲を超えた場合に、どのような軌跡を辿り許容範囲内部に復帰するかにおいて、各被験者で明確な違いが見られた。例として、急な角度で許容範囲内部に復帰する場合や、緩やかなカーブを描いて復帰する場合などが挙げられる。

これらの特徴から、本論文では、許容範囲を用いてシステム利用者を直進歩行させると同時に、使用者の特徴を利用する以下の3手法を提案した。

1. 特徴データの利用
2. 逸脱状況の認識
3. 特性による許容範囲の動的変更

これらは、利用者の特性を考慮し許容範囲を小さくすること(特徴データの利用)や、状況に応じて警告音の種類や出し方を変更すること(逸脱状況の認識、特性による許容範囲の動的変更)で、過度の情報伝達をせずにシステム利用者の左右へのずれを小さくすることを目的とする。これらの手法を、実験を通じ、予備的な手法を比較した(表1)。表1より、各被験者の平均位置は、より中心に近づいている。手法1の特徴データを利用し、被験者の特性認識(手法3)を行ったことで、より左右にずれにくくなったものと思われる。また警告音の発生回数は、逸脱状況の認識(手法2)回数の増加と共に減少した。従って、提案手法は予備システムに対し、特徴データの利用部と動的な許容範囲変更部を付加すること左右のズレを小さくするために効果を持つものと考えられる。

今後の課題として、実験歩行距離を伸ばし提案手法の再検証を行うことや、既存の歩行支援方法との比較、GPSなどの地図的ナビゲーションシステムとの連動、音以外の伝達方法の考慮が挙げられる。

学位論文審査結果の要旨

平成19年1月30日に第1回学位論文審査委員会を開催、2月1日に口頭発表、その後第2回審査委員会を開催し、慎重審議の結果、以下の通り判定した。なお、口頭発表における質疑を最終試験に代えるものとした。

視覚障害者の歩行を支援するための様々な研究が行なわれているが、未だに十分な支援システムは誕生していない。本論文では、安価な超音波センサを用いて新たな歩行支援システムを提案した。従来の超音波センサを用いた歩行支援システムでは、静止物体を対象にしていたが、ここでは反射波の振幅・波形を利用することで、動いている物体でも同定できるようにした。また、障害物の接近、離脱、通過の判別も可能である。更に、許容範囲を定めた効率の良い直進歩行支援システムを実現した。これは、利用者の特性を考慮して許容範囲を狭めるものであり、許容範囲を出たときには警告音が出る。また、状況に応じて警告音の種類を変えることで、少ない情報の伝達で利用者の左右へのずれを小さくする方法を提案した。

以上の研究成果は、視覚障害者の歩行支援に大きく貢献するものであり、本論文は博士(工学)に値するものと判定した。