

盲児のための VR による基礎歩行支援システムの構築

金沢大学 ○関龍太朗, ◎下村有子, 浅川直紀, 高杉敬吾

要旨

視覚障害児は1人で歩けるようになるため歩行訓練を行う。しかし、歩行訓練士の不足や、盲学校教員の減少により、十分な訓練時間を確保できないという問題がある。そこで仮想現実の利用を考え、仮想現実の中で作成した地図を歩行することで歩行訓練が行えるシステムの構築を行った。システムを利用した実験を晴眼者に行った結果、本システムを用いて音情報を用いたメンタルマップの形成が可能であることが分かった。

1. はじめに

歩行訓練とは、視覚障害児（以下盲児という）が一人で歩行を行うために必要な能力を獲得するための訓練である。ここで、必要な能力とは、音の動きや反響音の認知能力、音の識別・定位能力、メンタルマップ（頭の中にイメージとして作られた地図）の形成能力、白杖の使い方などが挙げられる。具体的には、壁伝いに歩く、廊下を音を頼りに歩く、建物の中で歩いた方向や距離などからメンタルマップを形成するなどの訓練が実際に行われている¹⁾²⁾が、訓練は多くの危険を伴い、多くの援助者が必要となる。しかし、歩行訓練士の数が不足していること³⁾や、盲学校教員の減少が進んでいること⁴⁾から、盲児が歩行能力育成に充てられる時間は少なくなっている。そこで Virtual reality (VR: 仮想現実) 技術の利用を考える。しかし、VR 技術の視覚情報への依存度は大きく、盲児の歩行訓練には適していない。本研究ではこのような問題を解決し、立体音響を用いて周囲の音が再現された地図上を疑似的に歩行することにより歩行訓練を実現するシステムを構築することを目的とする。

2. システム概要

本システムは VR 空間に作成された直進と右左折のみの簡単な地図上を歩行し、メンタルマップ形成の訓練を行うためのものである。初めから立って歩行訓練を行うと盲児が怖がるため、椅子に座り足踏みすることで歩行訓練を行う。また、自由な方向に歩いて歩行訓練を行うことが理想的であるが、実際の訓練でも 90° に曲がる練習を行うこと²⁾から進める方向を 90° ごとに区切ってシステムの構築を行った。

本システムでは VR システムの基本構成要素である入力システム、シミュレーションシステム、出力システムを図1のように構成し、完成したシステムを図2に示す。入力システムは、歩行型 VR デバイス (KAT VR 社 KAT loco S) を身体の向きの取得に、マイクロスイッチ (オムロン社 V-155-1A5) を足踏みの判定に使用する。マイクロスイッチと PC の Bluetooth 通信にはマイコン (M5Stack 社 M5Stack Gray) を用いて行った。シミュレーションシステムは、ゲームエンジン (Unity Technology 社 Unity) を利用し、VR 空間上の地図の作成、入力に対応するように VR 空間での使用者の移動の反映などを行った。また、周囲の音を立体音響で再現するため立体音響 SDK (Google 社 ResonanceAudio) を利用して、音源との距離による減衰や音の指向性などを再現した。出力システムは、音情報のみを用いて周囲の環境を表現するためヘッドホン (AudioTechnica 社 ATH-AD500X) を利用する。

3. 音源定位

音源定位とは、音情報をもとに音源の位置を特定することができる能力のことである。

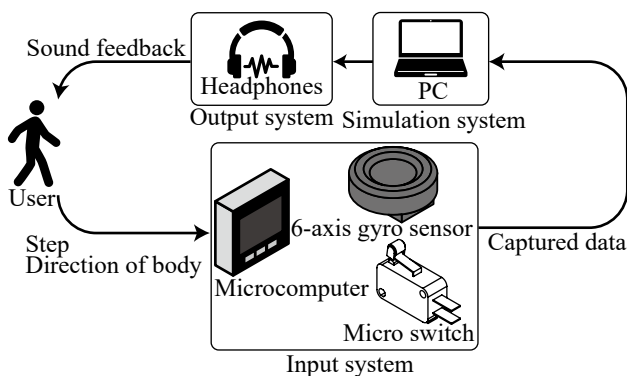


Fig.1 System overview

3.1 両耳間時間差と両耳間音圧差⁵⁾

水平方向で音源定位を行う際は、両耳間時間差 (ITD) と両耳間音圧差 (ILD) を利用している。

ITD とは、右耳と音源までと左耳と音源までの距離の違いから両耳に音が届くまでに生じる時間差のこと (図 3(a)) であり、低周波数の音を定位するときに主に用いられている。

ILD とは、音が頭部で遮断されるために、両耳に届く音の強度に生じる差のこと (図 3(b)) であり、高周波数の音を定位するときに主に用いられている。

3.2 頭部伝達関数⁵⁾

前後および上下方向で音源定位をする際は、頭部伝達関数 (HRTF) に存在するノッチを利用している。

HRTF とは、音が鼓膜に届くまでの音源と頭部の相対位置及び、頭部形状、特に耳介形状と頭部の前後非対称性による周波数特性の変化を伝達関数の形で表したものである。HRTF は音源の位置による関数であり、音源がある位置にあるときの HRTF はその位置からのインパルス応答を両耳で測定し周波数軸上で表現することで得られる。HRTF には 4kHz から 10kHz 付近にノッチが存在し、音源位置の変化にともなうノッチの位置の移動を検知することによって音源定位を行う。

3.3 頭部運動による情報の利用

ITD や ILD, HRTF のノッチの移動だけでなく、頭部運動によって得られる情報の利用も行っている。頭部運動を行うと、両耳への入力情報に能動的な変化をもたらす、頭部静止時に比べて音源定位精度が向上する⁶⁾。また、VR システムを利用した場合でも、頭部運動を行うことで、静的な HRTF のみを用いる場合と比べて音源定位精度が向上する⁷⁾。



Fig.2 The completed system.

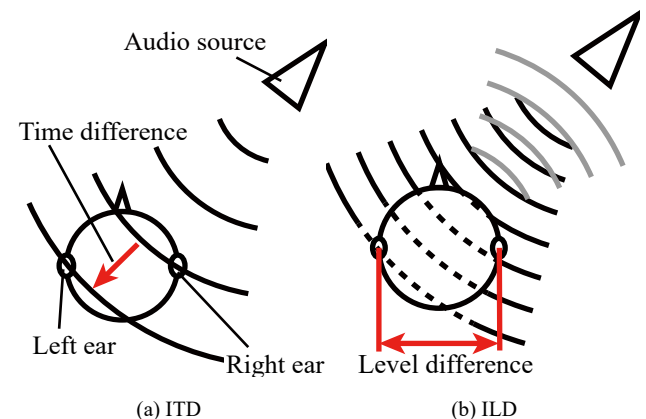


Fig.3 ITD and ILD

4. 評価実験

4.1 実験概要 本システムを利用して歩行訓練を行うことでメンタルマップの形成が行えるかの評価実験を行った。実験の様子を図4に示す。被験者に対して口頭で道順のみを伝え、VR空間に作製した地図で歩行訓練を行う。実際に視覚障害者の方には歩数を数えながら歩行を行っている方もいることから、交差点の間の歩数を数えてもらい、進行方向と歩数からなるメンタルマップを作成してもらい、被験者がメンタルマップの形成ができたと判断するまで訓練を行った後、紙面上に地図を書いてもらい、その正答率から評価を行った。訓練の途中で道順がわからなくなった場合は、道順の確認を行うことができ、道を間違えた場合はスタート地点に戻り訓練を再開するものとした。

4.2 実験1(環境音なしでの訓練) 実験1では、実際に行われている壁を触りながら歩行し、壁がなくなったところで曲がる訓練²⁾を想定し、曲がる場所をポイントで指定して歩行訓練を行うことでメンタルマップの作成が行われるかを評価する。すべての交差点で曲がるルート(図5(a))と、交差点のうち1つで直進するルート(図5(b))の計2ルートで訓練をおこなった。20代の晴眼者10名に目隠しをして被験者とした。評価は、進行方向は正解で1点、距離は正解で2点、1歩差の場合1点、2歩差以上の場合0点として合計14点満点で行った。

4.3 実験2(環境音ありでの訓練) 実験2では、曲がる場所を環境音の音源との距離による音の強弱から指定することができるかを評価する。この実験では、音の減衰や音源の方向が重要になるため、音源の定位感をあげるために進む方向である椅子の向きと、被験者の頭の方を別で取得し、歩きながら首を振ることで音源の位置を定位しやすいうようにした。また、使用したルートを図6に示す。20代の晴眼者8名に目隠しをして被験者とした。評価は、進行方向は正解で1点、距離は正解で2点、1歩差の場合2点、2歩差の場合1点、3歩差以上の場合0点、音源位置は正解で1点として合計24点満点で行った。

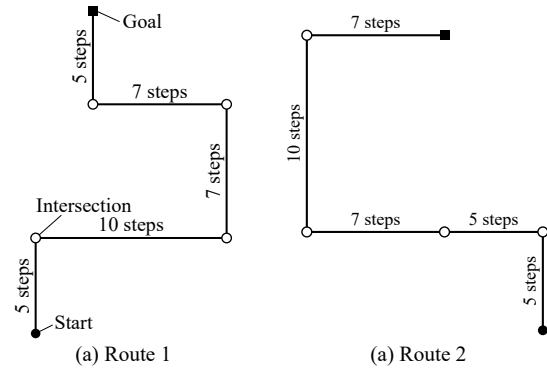


Fig.5 Routes used in experiment 1

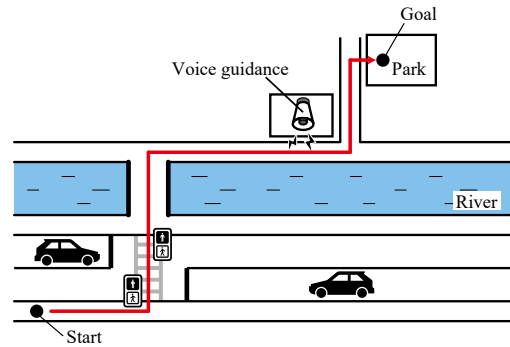


Fig.6 Map used in experiment 2

5. 結果及び考察

5.1 実験1 実験1の結果を表1に示す。2つのルートのどちらも合計の正答率が9割を超えている。このことから、本システムを使用して、曲がる場所をポイントで指定した歩行訓練を行うことで、ほぼ正確なメンタルマップの作成が可能であると考えられる。

5.2 実験2 実験2の結果を表2に示す。合計の正解率は9割を下回った。しかし、進行方向と音源位置の得点率はどちらも9割を超えているため、メンタルマップの概形の作成はできていると考える。このことから、本システムで利用した仮想現実内での音の減衰による位置の定位が可能であると考えられる。

6. おわりに

本研究では、VRシステムを用いて盲児の歩行訓練で利用可能なシステムの検討を行い、その有効性について評価実験により検証を行い、以下の結論を得た。

- (1) 構築したシステムを使用し、曲がる場所をポイントで与えて歩行訓練を行うことでメンタルマップを形成することができた。
- (2) 仮想現実上で再現した音の減衰により自分の位置の定位を行うことができた。

今後は、その場で歩行をすることでVR空間での歩行が可能となるVRトレッドミルを用いてより現実に近い形での歩行訓練が行えるようなシステムの構築を行う。



Fig.4 Scene of the experiment

Table 1 Result of experiment 1

Subjects	Turn at every intersection			Go straight at one intersection		
	Direction	Distance	Total	Direction	Distance	Total
A	4	10	14	4	10	14
B	4	10	14	3	8	11
C	4	7	11	4	9	13
D	4	10	14	4	4	8
E	3	8	11	4	10	14
F	4	10	14	4	10	14
G	4	10	14	4	10	14
H	4	10	14	4	10	14
I	4	7	11	4	7	11
J	4	10	14	4	10	14
Average	3.90	9.20	13.10	3.90	8.80	12.70
Score rate	97.50	92.00	93.57	97.50	88.00	90.71

Table 2 Result of experiment 2

Subjects	Direction	Distance	Sound position	Total
A	4	12	5	21
B	4	15	5	24
C	4	7	5	16
D	4	12	4	20
E	4	15	5	24
F	4	15	4	23
G	4	8	5	17
H	4	15	4	23
Average	4.00	12.38	4.63	21.00
Score rate	100.00	82.50	92.50	87.50

参考文献

- 1) 山本利和, 視覚リハビリテーション, 73 (2011) 5.
- 2) 牟田口辰己, 広島大学大学院教育学研究科附属特別支援教育実践センター研究紀要, 7 (2009) 49.
- 3) 首藤祥智雄 他, 広島大学大学院教育学研究科附属特別支援教育実践センター研究紀要, 9 (2011) 1.
- 4) 文科省 特別支援教育資料, https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/tokubetu/1343888.htm, 2021.11.29 アクセス.
- 5) 岩谷幸雄, 日本音響学会誌, 73, 3 (2017) 173.
- 6) 本多明生 他, 日本音響学会誌, 76, 1 (2020) 61.
- 7) 川浦淳一 他, 日本音響学会誌, 45, 10 (1989) 756.