

自動車メタファを用いた 歩行者行動の可視化システムの設計と実装

佐々木 裕昭^{†1} 寺田 努^{†1,†2} 塚本 昌彦^{†1}

人通りの多い場所においては、歩行者どうしの接触などの事故がしばしばみられる。これは、歩行者が他者の行動を事前に知ることが困難であることが原因の1つだと考えられる。一方、自動車は各車両が自身の行動をランプの点灯などの形で事前に周囲に提示することで安全でスムーズな交通を実現している。そこで本研究では、身に付けたLEDなどのデバイスでウインカなどの自動車の情報提示機能を実現することで、歩行者が周囲に自身の情報を提示するシステムを提案する。また、その直観性や視認性を評価するため、提案システムを実環境で使用した評価実験を行い、提案システムの有用性を確認した。

Design and Implementation of a System for Visualizing Human Behaviors using Car Metaphor

HIROAKI SASAKI,^{†1} TSUTOMU TERADA^{†1,†2}
and MASAHIKO TSUKAMOTO^{†1}

At crowded places, there are many accidents such as bump between walkers. One of reasons for these troubles is that it is difficult for each people to predict the behaviors of other people. On the other hand, cars communicate with other cars implicitly by presenting their contexts using equipments such as brake lamp. In this paper, we propose a system for visualizing user context for surrounding people by information presentation methods based on those in cars, such as wearing LEDs for realizing brake lamp. Evaluation results using our prototype system confirmed that our method transmitted user context visually intuitive.

^{†1} 神戸大学
Kobe University

^{†2} 科学技術振興機構さきがけ

1. はじめに

繁華街などの人通りの多い場所では、歩行者どうしの接触などの事故がしばしばみられる。例えば、歩行時に急に立ち止まると、後続の歩行者と接触する場合がある。また、一定方向への人の流れを横切るのは難しく、他者と接触してしまう場合がある。さらに、比較的人通りの少ない場合でも、互いの進行方向を遮ってしまい、スムーズに他者とすれ違うことができない場合がある。これらの問題は、各歩行者が他者の行動の意図を事前に知ることが困難であることが原因の一つだと考えられる。

一方、自動車や電車などの交通機関は、各車両が自身の情報をランプの点灯や警笛の鳴動などの形で周囲に提示することで、安全でスムーズな交通を実現している。特に自動車は、交通量が多いにもかかわらず管制室のような交通を管理する機関が存在しないため、自身の行動を頻りに周囲の自動車や歩行者に提示しており、多くの人がある提示内容を理解できる。したがって、この自動車における情報提示のメカニズムを用いて、歩行者が自身の行動を可視化すれば、他者はその意味を直観的に理解でき、接触などの事故を防ぐことができると考えられる。そこで本稿では、自動車間で行われている情報提示のメカニズムを歩行者に取り入れることで、歩行者の行動を可視化するシステムを提案する。

本稿は以下のように構成されている。2章では関連研究について述べ、3章ではシステムの設計について説明する。4章ではシステムの実装について述べ、5章で評価と考察を行う。最後に6章で本論文のまとめを述べる。

2. 関連研究

本研究で提案するシステムは歩行者の行動を可視化して周囲に提示する。これまでも、人の行動の可視化に関する研究は盛んに行われている。例えば文献¹⁾では他者の環境活動などの行動を可視化して行動を促進するシステムが提案されている。このシステムは、ユーザが装着したセンサなどの情報機器から得られる情報をもとにユーザの行動を認識し、各ユーザの行動データをネットワークを通じて集計する。集計したデータのうち、近隣に在住するユーザなど、環境の近い他者のデータをWebサイトなどを通じてユーザに提示する。これによって互いに協力し合っている、または競い合っているという実感をユーザに与え、各ユーザの行動を促進する。これは、他者の行動などの簡単に取得できない情報を可視化す

PRESTO, Japan Science and Technology Agency

る取り組みであり、本研究の目指す歩行者の行動をリアルタイムに可視化する研究は、筆者らの知る限り存在していない。

また、自転車運転手の行動可視化手法として、Sprocket²⁾ というアプリケーションがある。Sprocket は iPad 用のアプリケーションで、図??のように iPad を専用のホルダで背中に装着した状態で使用する。提示内容は、iPad 内部の加速度センサから得られるデータにもとづき決定し、自転車の状態に合わせて右折、左折、直進、減速の 4 種類の情報を、矢印や指差しなどのイラストの形で iPad の画面に提示する。しかし、イラストが示す意味はアプリケーション独自のもので、周囲の人が直観的には理解できないと考えられる。また、Sprocket ではユーザが行動を起こし始めるまでは情報提示を行わないため、このアプリケーションを歩行者に適用しても、1 章で述べた歩行者における問題点を解決できないと考えられる。

3. システム設計

本研究では、歩行者が自身の行動を可視化し、事前に周囲に提示することで、安全でスムーズな歩行の実現を目指す。本章ではまず、提案システムがユーザの行動をどのような方法で可視化し、周囲に提示するかについて説明し、次に可視化する情報をどのように取得、決定するかについて述べる。最後に、提案システムの構成について説明する。

3.1 情報可視化手法

提案システムでは、周囲の歩行者が確認できる方法で情報を提示する必要があるため、身に付けた LED などのデバイスを用いて、ユーザの行動を可視化する。また、提示された情報を周囲の歩行者が直観的に理解できる必要がある。そこで、提案システムでは自動車における情報提示機能を模写し、ユーザの行動を可視化する。自動車は、ウインカの点滅やブレーキランプの点灯により「左折する」や「停止する」などの情報を提示している。自動車における情報提示の例を表 1 に示す。このような自動車における情報提示のメカニズムは、多くの人が一般的に目にし、直観的に理解できると考えられる。したがって、このメカニズムを歩行者に適応させることで、周囲に直観的に情報を提示できると考えられる。例えば、「左折する」という情報を、衣服の左部に取り付けた LED の点滅によって周囲に提示することで、他の歩行者が直観的にその意味を理解できると考えられる。

3.2 可視化情報の取得

提案システムで可視化する情報が実際のユーザの行動と異なると、接触などの事故につながると考えられるため、可視化の基になる情報は正確に取得する必要がある。一方、提案シ

表 1 自動車の情報提示手法とその意味
 Table 1 Information presenting methods for cars.

提示手法	意味
ブレーキランプ	減速、停止
ウインカ	右左折、進路変更、路肩に停止
ハザードランプ	停車、危険な状態の提示、感謝の意思
バックランプ	後退
パッシング	警告、進路を譲る意思
クラクション	警告
スマールランプ・ヘッドランプ	自車の存在の提示
車両接近通報音	自車の存在の提示

ステムは歩行者が街中などの一般的な環境で利用することを想定しているため、可視化情報の決定にユーザの大きな体の動きや複雑な操作が必要な方法はユーザへの負荷が大きく、実用的でないと考えられる。したがって、提案システムでは、原則として身に付けた加速度センサなどを用いてユーザの行動を認識することにより、可視化する情報を決定する。加速度センサなどの小型デバイスの利用は、ユーザの生活の邪魔になりにくいことからウェアラブルコンピューティング環境では一般的であり、加速度データなどを用いてユーザの行動を認識する手法が盛んに提案されている³⁾⁴⁾⁵⁾。このような行動認識手法を用いて、ユーザの行動を自動で認識することにより、システムはユーザに負荷をかけずに可視化する情報を取得できる。

ただし、「左折する」などユーザが未来に行う行動を加速度センサなどを用いて事前に取得することは困難である。また、他の歩行者に危険を知らせる場合などは、ユーザが直接システムを操作する必要がある。そのため、このようなシステムが自動で取得できない情報については、ユーザがボタン操作などの簡単な入力を行うこととする。

3.3 システム構成

提案する歩行者行動可視化システムの構成を図 1 に示す。システムは入力部、出力部および制御部から構成される。入力部では、ユーザの行動を自動で認識するためのセンサや、周囲に提示する情報をユーザが直接制御できるデバイスを用いる。出力部では、入力部からの入力に基づき、LED やスピーカを用いてユーザの行動を可視化する。また、頭部装着型ディスプレイ (HMD: Head Mounted Display) などを用いてユーザ自身にも周囲に提示している情報を把握させることで、システムを円滑に操作できる。その他に、背後の映像をカメラで撮影してユーザに提示することで、背後の状況を確認できる。制御部では入力部から

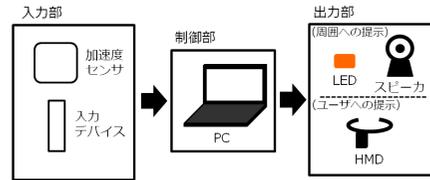


図 1 システム構成
Fig.1 System configuration.



図 2 プロトタイプシステムの装着例
Fig.2 A snapshot of a user wearing a prototype.

取得したセンサデータなどを解析し、出力部を制御する。

3.4 システムの機能

提案システムの機能を以下に述べる。

- ブレーキランプ: 「減速」「停止」という意思を提示する。
- ウィンカ: 「右左折」「進路変更」「路肩に寄って停止」という意思を提示する。
- ハザード: 「停止中」「感謝」という意思を提示する。
- ヘッドライト: 自身の存在を周囲に知らせる。点滅させると、他の歩行者の注意を喚起する。
- 走行音: 自身の存在や歩行速度を提示する。また、エンジン音が鳴る事によって、ドライブしているような楽しさを感じることができる。
- クラクション: 他の歩行者の注意を喚起し、自身の存在を知らせる。
- バックカメラ・バックセンサ: 後方の状況を確認する。

4. 実装

本稿で提案する歩行者情報可視化システムのプロトタイプを実装した。システムを装着している様子を図 2 に示す。プロトタイプシステムは入力部、制御部、出力部、システム使用者の情報提示部に分けられており、以下で詳しく説明する。

4.1 入力部

Wii リモコンと制御用 PC を Bluetooth で接続し、ボタン入力システムを操作する。ま

た、ユーザの歩行状態を認識するため、左右の足首に装着した 3 軸加速度センサで加速度を取得し、制御部に送信する。

4.2 制御部

入力部から送られたデータを腰に装着した小型 PC で処理し、提示機器を制御する。ユーザの歩行状態については、得られた加速度のデータをリアルタイムに解析することで認識する。具体的には、一歩にかかる時間の変化や後方方向への加速度により、ユーザが減速しているかどうかを検知する。また、加速度の分散値により歩行速度を取得する。

4.3 出力部

制御部からの提示要求に応じて、身に付けた LED やスピーカーを用いて周囲にユーザの情報を提示する。プロトタイプシステムにおいて、実装した機能とその示す意味を以下に示す。

- ブレーキランプ: 入力デバイスのボタンが押下されるか、センサが減速、停止を検知すると、体の後方に装着した赤色の LED を点灯させる。
- ウィンカ: 入力デバイスのボタンが押下されると、体の前後に装着した左右それぞれの黄色の LED を点滅させる。
- ハザード: 入力デバイスのボタンが押下されると、体の後方に装着した左右の黄色の LED を同時に点滅させる。
- ヘッドライト: 入力デバイスのボタンが押下されると、体の前方に装着した白色 LED を点灯させる。
- 走行音: 制御部で取得した歩行速度に応じて自動車の走る音をスピーカーから再生する。
- クラクション: 入力デバイスのボタンが押下されると、スピーカーから注意を喚起する音を鳴らす。

実装した機能の提示例を図 3 に示す。なお、今回実装したプロトタイプシステムでは衣服に LED などのデバイスを装着したが、帽子やアクセサリ、カバンなどに装着することも可能である。

4.4 ユーザへの情報提示部

プロトタイプシステムでは、ユーザに対する情報提示デバイスとして HMD を使い、システムの動作を確認できるようにしている。これにより、直接目視できない LED などの動作も容易に確認することができる。また今回のプロトタイプシステムでは、背面に後方の安全確認用のカメラや、接近センサを装着し、HMD 上の画面に、後方カメラの映像を表示することで、歩行者の後方部の状況を確認できる。HMD に表示する動作確認画面のスクリーンショットを図 4 に示し、説明する。なお、図中の丸印内の数値は以下の箇条書きの番号に



図 3 実装した機能の提示例

Fig. 3 Presentation examples of the prototype.

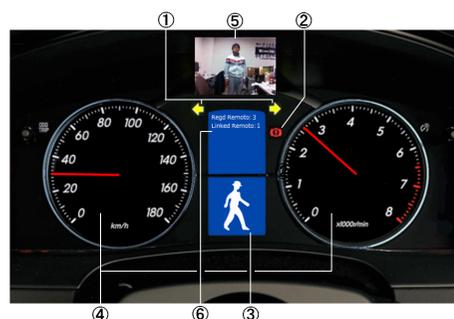


図 4 動作確認画面

Fig. 4 A snapshot of information window.

対応している。

- (1) ウィンカやハザードランプが点滅すると、それに合わせてインジゲータが点滅する。
- (2) ブレーキランプが点灯すると、それに合わせてインジゲータが点灯する。
- (3) 歩行や走行状態を感知すると、それに合わせたイラストを表示する。
- (4) 歩行速度に比例して、スピードメータやタコメータの針が回転する。
- (5) バックカメラ機能が ON のときに、背後の映像を表示する。
- (6) Wii リモコンなどのデバイスの接続状況を表示する。

なお、ソフトウェアの開発は Microsoft VisualC# 2008 にて行った。また、加速度センサとして、ワイヤレステクノロジー社の小型無線ハイブリッドセンサ WAA-006 を用いた。行動可視化デバイスとして高輝度 LED を用い、それらの制御用マイコンには Gainer を用いた。システム使用者への情報提示装置としては、島津製作所製単眼 HMD DataGlass3/A を使用した。後方の安全確認用のカメラにはマイクロソフト社の Web カメラ LifeCam ShowRLA-00007 を使用し、接近センサとしてシャープ社の測距センサユニット GP2D12 を使用した。

5. 評価実験

提案手法の有用性を評価するため、実環境における提案システム装着者の行動を予測する実験と、他の行動可視化手法との比較実験を行った。



図 5 動画 2 のスクリーンショット

Fig. 5 Screenshots of the video No.2.



図 6 動画 3 のスクリーンショット

Fig. 6 Screenshots of the video No.3.

表 2 各動画の内容

Table 2 The content for each video.

番号	場面	提示内容	カメラの撮影視点	正答例
1	商店街を歩く。	ブレーキランプを点灯	後方から追従	減速する。
2	商店街を歩く。	左側のウィンカを点滅	後方から追従	左折する。
3	商店街を歩く。	右側のウィンカを点滅	前方からすれ違い	右折する。
4	エレベータから出る。	左側のウィンカを点滅	エレベータの正面	左に避けてすれ違う。
5	商店街を歩く。	ハザードランプを点滅	後方から接近	停止している。

5.1 実環境における提案システムの有用性の評価

提案システムを実環境で使用した場合の有用性を評価するため、繁華街でプロトタイプシステムを実際に使用している様子をビデオカメラで撮影し、撮影した動画を被験者に鑑賞させ、アンケート評価を行った。被験者は 21~24 歳の男性 16 人である。

評価の対象となる動画は、人通りの多い商店街やエレベータで撮影した 5 種類を用いた。そのうち、2 番と 3 番の動画のスクリーンショットをそれぞれ図 5 と図 6 に示す。動画中では、システム使用者が自らの次の行動をランプの点灯や点滅で提示する。動画はシステム使用者が次の行動を開始する直前で終了する。各動画の内容と正答例を表 2 に示す。

これらの動画を無作為な順番で被験者に提示し、被験者は、ランプの点灯や点滅をもとに、システム使用者の次の行動を予測して回答する。再生回数は 1 回のみとし、意図や行動

表 3 実環境での実験における評価結果

Table 3 The evaluation result for experiments in actual environments.

正答人数 (16 人中)	誤答例
14	左に曲がる．すれ違った．
16	-
4	わからない．知り合いを見つけて合図． 撮影者から見て右側に寄ろうとしている．
14	目の前に人が現れたから挨拶した．
15	わからない．

の推測が不可能であった場合、その旨を記入するよう求めた。回答の正誤は、表中の正答例におおよそ沿ったものであれば正答とし、明らかに違う動作を示すものであれば誤答とした。例えば、動画 4 の回答では、「左に避けようとしている」や「左方向に行こうとしている」は正答とし、「あいさつをしている」は誤答とする。

各動画に対する正答人数と誤答例を表 3 に示す。動画 3 以外の 4 つの動画に対しては、正答人数が 16 人中 14 人以上であり、提案システムを使用した意思表示が十分に伝わっているといえる。ただし、動画 3 では正答人数が 16 人中 4 人と低くなった。この理由として、動画 3 では多くの人が歩いている流れの中からシステム装着者が現れており、装着者の登場からカメラ撮影者とすれ違うまでの、動画中でウインカを点滅させて可視化を行っている時間が十分ではなかったためであると考えられる。したがって、情報提示を見られる時間が短かすぎる場合は、提案システムを用いても意図が伝わらない場合があることがわかる。

動画 3 では上記の理由から正答人数は少なくなったが、全体を通して、実環境における提案システムを用いた意思表示は有効であると確認できた。

5.2 他の行動可視化手法との比較評価

提案システムは車における情報表現に基づいて情報提示を行っている。これは、一般の人々は屋外で車の情報提示を見ることになれており、車の提示方法を模写することで早く正確に情報を伝えられると考えたためである。そこで、提案システムの行動可視化手法の有用性を評価するために、他の方法で行動を可視化した場合との比較を行った。比較対象として、周囲の歩行者が直観的に理解できるように、図形による行動可視化手法と文字による行動可視化手法を用意し、行動可視化なしの場合を含めて 4 種類の手法で比較した。図形および文字による行動可視化には体の前後に身に付けた小型のディスプレイを使用した。図 7 にそれぞれの行動可視化手法のシステム表示画面を示し、ユーザが小型ディスプレイを装着した様子を図 8 に示す。



図 7 比較用システムの表示画面例

Fig. 7 Presentation examples of the system for comparative experiments.

図 8 比較用システムの装着例

Fig. 8 A snapshot of a user using a comparative method.

4 種類の行動可視化手法に対して、左折する場面と立ち止まっている場面の 2 種類の状況について動作の完了までビデオカメラで撮影し、撮影した動画を被験者に観賞させ、アンケート評価を行った。被験者は 21~24 歳の男性 16 人である。動画のスクリーンショットを図 9, 10 に示す。被験者は行動可視化の見やすさと意味の理解のしやすさを、それぞれ 5 段階で評価し、見やすさ、理解しやすさの評価が高ければ 5 点、低ければ 1 点とした。ただし、行動可視化なしの場合は情報の表示を行っていないため、表示の見やすさは調査していない。

アンケートにおける、各手法の平均評価点数を表 4 に示す。行動可視化なしについては、表の「提示無し」の項目から、2 つの場面の両方で意味の理解しやすさの評価が低く、歩行者の行動の意図が伝わりにくいことがわかる。

次に図形による行動可視化手法について考えると、表より、表示の見やすさでは提案システムに次いで評価が高い。しかし、左折の場面では意味を正確に伝達できているが、立ち止まっている場面ではそれができていないことがわかる。これは、図形による提示は見やすいが、手のイラストは相手への指示の意味を持つ場合があり、正確な意味を伝えることが難しいためであると考えられる。また、他のイラストを用いても歩行者の行動を一意で意図するのは難しいといえる。

次に文字による行動可視化手法について考えると、表より、意味の理解のしやすさの評価が最も高い。しかし、表示の見やすさの評価が低いことがわかる。これは、文字による提示



図 9 左折する場面
Fig.9 A scene of left turn.

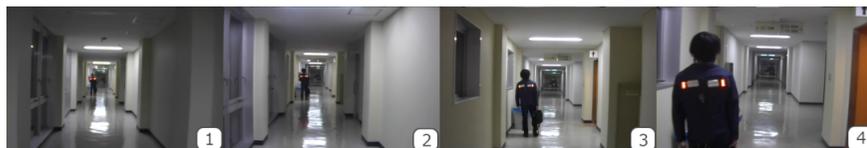


図 10 立ち止まっている場面
Fig.10 A scene of stand still.

表 4 各手法の平均評価点数
Table 4 Average score for each method.

	左折時		静止時	
	意味の理解しやすさ	表示の見やすさ	意味の理解しやすさ	表示の見やすさ
提示無し	2.1(点)		1.6	
図形	4.1	4.4	2.1	4.1
文字	4.9	2.1	4.7	2.1
提案システム	4.4	4.8	4.1	4.9

は装着者の行動の予告や状態をそのまま文字情報で提示するため、正確な意思の伝達ができるが、他の手法と比べて視認性が低いためであると考えられる。

最後に提案システムによる行動可視化手法について考える。表より、意味の理解のしやすさは文字による手法に次いで評価が高く、5点とした被験者が最も多かった。また、表示の見やすさの評価が最も高いことがわかる。これは、自動車における情報提示手法を用いた意思伝達が理解しやすく、また、ランプの点滅の視認性が高いためであると考えられる。

したがって、提案システムを用いることで、意味の理解のしやすさと表示の見やすさの両方を満たした行動の可視化が可能であり、他の手法に対する優位性が確認できた。

6. おわりに

本研究では、歩行者どうしの接触などの事故を防ぎ、安全でスムーズな歩行を実現するた

め、自動車における情報提示手法を活用した歩行者行動可視化システムを提案した。実装したプロトタイプシステムでは、自動車におけるウインカやブレーキランプなどの機能を、歩行者が身に付けた情報提示デバイスで実現することで、「左折する」「停止する」などの歩行者の行動を可視化し、安全でスムーズな歩行を実現する。評価実験により、他の情報提示手法に対する優位性が確認でき、また、繁華街のような人通りの多い実環境であっても使用可能なことがわかった。

今後の課題として、提案システムを複数人で同時に使用する状況を考慮する必要がある。例えば、システム装着者どうしが同じ方向へ進行する意思を示した場合の優先度など、新たな検討課題が加わると思われる。検討の際には、実際の自動車の交通ルールや、事故の事例を参考とする予定である。加えて、追加の評価を行い、改良を重ねることで提案システムの有用性を高めることを目指す。今回行った評価は、システム使用時の様子を鑑賞する内容であったが、今後は被験者に実際にシステムを使用させ、システムの有効性、操作性、使用感などの評価を行う予定である。

参 考 文 献

- 1) 田仲理恵, Tessa-Karina, T., 小西 琢, 板谷聡子, 土井伸一, 山田敬嗣: 他者行動の可視化による行動促進メカニズムの提案, *Proc. of the 23rd Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence (JSAI2009)*, pp.1-4, (2009).
- 2) Sprocket, available from (<http://www.maya.com/sprocket/>.)
- 3) Murao, K., Terada, T. and Nishio, S.: Toward Construction of Wearable Sensing Environments, *Wireless Sensor Network Technologies for Information Explosion Era (Book Series: Studies in Computational Intelligence)*, Springer-Verlag, Vol. 278, pp. 207-230, 2010.
- 4) Nakajima, Y., Murao, K., Terada, T. and Tsukamoto, M.: A Method for Energy Saving on Context-aware System by Sampling Control and Data Complement, *Proc. of the 14th IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC2010)*, pp. 129-132, (2009).
- 5) Krause, A., Ihmig, M., and Rankin, E.: Trading off Prediction Accuracy and Power Consumption for Context-aware Wearable Computing. *Proc. of the 10th IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC2005)*, pp. 20-26, (2005).