

距離画像センサを用いた安全“歩きスマホ”支援システムの検討

児玉 翔^{1,a)} 榎堀 優^{1,b)} 間瀬 健二^{1,c)}

概要：歩行時にスマートフォンを操作していたために起こる事故、いわゆる“歩きスマホ”の事故が増加している。また、“歩きスマホ”が危険であると認識しているにもかかわらず、止めることが出来ない人が存在することも実態調査によって確認されている。“歩きスマホ”を行いながらも周囲の危険情報を認識するシステムを提案することで、歩行事故を減少させることも一つの解法と考えられる。そこで本論文では、“歩きスマホ”時にどのような状況が危険か把握するための事前調査を行い、得られた結果を基に近接物体の距離や方向に加え、周囲の歩行者との相対速度や追従判定を危険度に考慮した歩行支援システムを構築し、システムによる補助の有無について衝突率を比較検証した。加えて、通知の適切性についてアンケート調査を実施した。衝突率は、システム補助なしの13.3%、近接物体との距離情報のみを用いた既存手法の8.9%に比べ、提案手法は2.2%と低い事が判明した。また、提案手法の方が危険度通知が適切であるとのアンケート結果も得られた。これらの結果から提案手法が危険度通知において有効であることが示唆された。

Examination of Safe-Walking Support System for “Texting While Walking” Using a Time-of-Flight Range Image Sensor

KODAMA SHO^{1,a)} ENOKIBORI YU^{1,b)} MASE KENJI^{1,c)}

1. はじめに

近年、歩行時にスマートフォンを操作していたために起こる事故、いわゆる“歩きスマホ”の事故が増加している。“歩きスマホ”を行っている時は視野が狭くなり、周囲の状況への認知への影響が生じて接触事故の危険性が高まると言われている。この問題に対して携帯電話各社や鉄道各社が中心となって“歩きスマホ”を出来る限り控えるように呼びかけている。

MMD 研究所によって行われた実態調査 [1] では、“歩きスマホ”をした事がある人のうち約 20%が「歩きスマホが原因でけがをした事がある。」と回答しており、“歩きスマホ”が「危ない」または「やや危ない」と答えた人が全体の 87.7%にのぼる。一方で、“歩きスマホ”を「日常的」ま

たは「時々」行う人の割合は 32.3%にのぼる。このように、“歩きスマホ”が危険であると認識しているにもかかわらず、やめることが出来ない人が存在している。これは“歩きスマホ”の利便性や必要性の裏返しであり、根絶は難しいものであると考えられる。従って“歩きスマホ”中に周囲の危険情報を通知することは、“歩きスマホ”の事故を減らす解法の一つと考えられる。

そこで我々は、システムが周囲の状況を把握してユーザーに危険度を通知する安全“歩きスマホ”システムを開発した。本論文では、“歩きスマホ”に関する事前調査に基づく危険度算出手法について説明した後、システムの構成および既存手法との比較実験について述べる。

2. 関連研究

Wang ら [2] は歩行時の周辺情報を認識して注意喚起を行うために携帯電話の背面カメラを利用し、取得された周囲の画像データから移動車両などの予め学習された危険を検出した。Klaus ら [3] はスマートフォン操作中に歩行者が

¹ 名古屋大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science, Nagoya University

a) kodama@cmc.ss.is.nagoya-u.ac.jp

b) enokibori@is.nagoya-u.ac.jp

c) mase@nagoya-u.jp

転倒することを防ぐためにスマートフォンの背面カメラを利用して足下の障害物や段差などを認識，追跡し歩行経路上に接近した時に警告を行った．Enら [4] はスマートフォン操作中に歩行者が段差やプラットホームなどから落下することを防ぐためにスマートフォンのカメラを用いて，撮影画像からカラーヒストグラムを作成し，これを用いて障害物の存在しない床面を歩行可能領域として選定した．

また，歩行支援システムの先行研究には，ステレオカメラや LRF (Laser Range Finder) などといった様々なセンサを用いて開発が行われている．嶋岡ら [5] はステレオカメラを用いて移動可能領域の検知を行った．後藤ら [6] は LRF を用いて歩行者の足下の障害物や段差を検知し，音で注意喚起をするシステムを構築した．

周囲の歩行者への衝突に焦点を当てた研究には Juanら [7] による CrashAlert がある．この研究では，Kinect を用いて前方の映像を画面上部に移し出し，近接するオブジェクトの位置にマーキングする事によって障害物の方向を提示している．

上記の研究では単に周囲の障害物の位置のみから危険度を算出している．しかし，後述する事前実験のアンケート結果によれば，ユーザとの相対速度が小さければ，近くにある物体でも危険度は低く提示する方が好ましいことが分かっている．また，前方を同一方向へ動く物体の後ろに追従すると危険度が下がるという周囲の状況による重み付けも望まれていることが分かった．そこで本研究では，オブジェクトの位置に加え，相対速度を用い，より周囲の状況に合わせた危険度通知を行う．

3. 事前実験

3.1 実験概要

“歩きスマホ”支援システム構築に先駆け，歩行時における危険なシチュエーションを把握するための事前実験を行った．4人の被験者に予め決められたルートで“歩きスマホ”を行ってもらい，危険とを感じる場面についてアンケート調査を行った．実施場所は名古屋駅及びその周辺である．端末は各自が使い慣れたスマートフォンを用い，実験中のスマートフォン操作では各自がウェブサイトの閲覧やアプリケーションの使用を自由に行ってもらった．ルートは地下鉄東山線中改札口を起点として金の時計台横を通過し，エスカ地下街までの全長約 500 メートルとした．実験に際して，被験者の追従を行い安全に配慮した．

アンケートは自由記述式と Visual Analog Scale (VAS) [8] の複合で行った．VAS は図 1 に示すような，想定しうる最悪の場合と最高の場合を両端にするように教示した 100 mm の線を用いるアンケート方法である．各被験者には主観で最も当てはまると思った位置をマークしてもらい，左端からマークされた位置までをミリメートル単位で計測したものを評価値とする手法である．

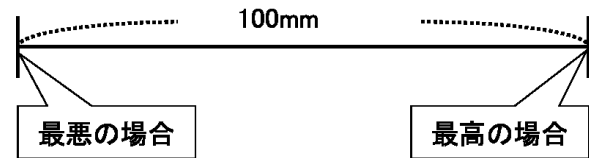


図 1 Visual Analog Scale

表 1 VAS アンケート結果

被験者	アンケート項目	
	(1)	(2)
A	0.66	0.49
B	0.95	0.52
C	0.53	0.53
D	0.63	0.39
平均	0.69	0.48
標準偏差	0.16	0.06

(1) 他の人の後ろについて歩いている時は通常の“歩きスマホ”より安全に行いやすいか

(2) 壁際を歩いている時は通常の“歩きスマホ”より安全に行いやすいか

自由記述式では“歩きスマホ”を行ったときに危険と感じた点と“歩きスマホ”を支援するシステムとして欲しい機能を記述してもらった．VAS では，他の人の後ろについて歩いている時と壁際を歩いている時に安全に“歩きスマホ”を行いやすいかについて回答してもらった．

3.2 実験結果

自由記述式のうち“歩きスマホ”を行ったときに危険と感じた点では，4人全員が周囲の歩行者との衝突への危険性を指摘した．被験者 A は，前方歩行者が突然停止したときに衝突の危険性があると指摘した．被験者 B は，周囲に歩行者が多く存在している状況下で衝突の危険が存在すると指摘した．被験者 C は，斜め前方や横方向から現れる歩行者が危険と指摘した．被験者 D は，前方の低速で歩行している歩行者へ追突の危険性があると指摘した．また，被験者 A と B は下り階段が危険であると指摘した．被験者 A は，曲がり角で他の歩行者と出会い頭で衝突する危険性を指摘した．被験者 D は，画面集中時に壁に衝突する恐れが存在したと指摘した．“歩きスマホ”を支援するシステムとして欲しい機能では，被験者 A,B,C は危険な場所を通知する機能，被験者 B と D は階段の検知機能が欲しいと答えた．

VAS のアンケート結果を表 1 に示す．項目 (1) 平均値は 0.69 ± 0.16 ，項目 (2) の平均値は 0.48 ± 0.06 となった．

3.3 考察

今回の実験で被験者全員が周囲の歩行者との衝突のリスクを指摘した．また，走っている人や急に動き出した人が危険である事や危険な場所や方向を通知する機能が必要との意見が得られた．“歩きスマホ”時には目線が下の方へ

向いて前方への視野が狭くなっている状態、加えて集中時における周囲の状況認識力が低下している状態が多い事によると考えられる。上記の状態では、周囲の歩行者が接近した時に視野外から突然視野に近接物体が現れ、危険と感じる場合が多かったためと考えられる。また、“歩きスマホ”システムとして欲しい機能としては危険な場所の通知や階段の検知などが挙げられた。これは、周囲の歩行者との衝突や転倒のリスクに対応するためによるものと考えられる。

VAS のアンケートの結果では、項目「他の人の後ろについて歩いている時は通常の“歩きスマホ”より安全に行いやすいか」に関して全被験者の平均値が 0.69 と中央より高い数値が出た。これは前方の歩行者が前からくる別の歩行者に対する盾の役割を果たすことによって衝突のリスクを低減していることによると考えられる。一方、項目「壁際を歩いている時は通常の“歩きスマホ”より安全に行いやすいか」に関して、全被験者の平均値は 0.48 とほぼ中央値であった。壁際は、一方だけに注意を払っていれば良く、比較的安全に歩行できると考えた。しかし、曲がり角や改札付近も壁際に含まれるため、実際には安全とは言えない結果になったと考えられる。

4. システムの構成

4.1 システム概要

システム概要図を図 2 に示す。本システムでは、前章でのアンケート結果を元に、衝突リスクに対応するため、ユーザの周囲へ接近する障害物の危険度と方向をスマートフォン上部にある危険度表示領域に表示する。危険度表示にはユーザから近接物体までの距離及びその相対速度を用い、その危険度に従って、青（安全）から赤（危険）まで変化し、ユーザと近接物体の方向に従って危険度表示領域の変色箇所が変化する。また、本システムは既存のスマートフォンの機能を損なわない事を条件とし、他のアプリケーション動作時にも危険度の通知するため、通知方法にはオーバーレイ方式を採用する。

4.2 危険度の算出

事前実験では、“歩きスマホ”を行っている際、相対速度が低い物体は危険度が低いことが指摘された。また、他の人の後ろを追従しているときの方が、何も意識していない場合に比べて歩行しやすい事がアンケート結果から判明した。これらの意見を元に、本研究では、危険度の算出にあたりユーザと近接物体までの距離情報に加え、近接物体との相対速度及び近接物体の追従判定を用いた危険度判定方法を採用した。

危険度の算出は、距離情報を用いて近接物体のユーザとの距離が近いほど高い危険度を設定する。加えて、算出された危険度に対して相対速度を用いて、ユーザとの相対速

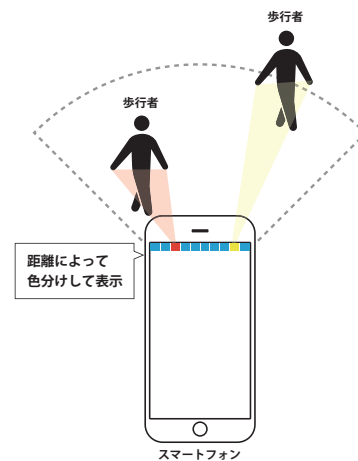


図 2 システム概要図



図 3 CamBoard pico flexx (下) と Xperia Z5 premium (上) の外観

度が大きいほど危険であると重み付けする機能を付加した。同様に、追従判定を行い、追従していると判定された場合には安全であると重み付けする機能を加えた。

5. システム実装

5.1 距離画像センサによる周辺状況把握

本システムでは、衝突の危険がある障害物までの距離を求める必要があるため、障害物までの距離を測定できる距離画像センサのうち小型で軽量の CamBoard pico flexx を用いた。センサの外観を図 3 に、詳細なスペックを表 2 に示す。本機は最大 4.0 m 先まで測定できる距離画像センサである。歩行時の平均速度は 1.32 m/s である [9] ことから互いに接近する歩行者の場合であっても少なくとも衝突 1 秒前までに警告を出せるため、センサの精度としては十分だと考えられる。

5.2 3次元点群データの2次元距離画像データへの変換

本節では、歩行者の周囲の危険度算出をする前処理として 3次元点群データから 2次元距離画像データへの変換方法について説明する。変換には点群データを 2次元平面に射影する方法を用いた。射影するスクリーンはカメラの前方

表 2 CamBoard pico flexx 性能表

項目	性能
外寸	68 × 17 × 7.25[mm]
測定範囲	0.1 ~ 4.0[m]
距離画像センサ	IRS1145C Infineon(R)
フレームレート	5-45[fps] (3D frames)
1 フレーム取得時間	4.8-30[ms]
消費電力	300[mW]
解像度	224 × 171[px]
視野角	62 ° × 45 °
深さ分解能	1.0-2.0[% of distance]

6 m に設定しスクリーンの中心を原点 $(x, y, z) = (0, 0, 6.0)$ とし、大きさは縦横ともに 6 m とした。その後、式 1 - 3 を用いて点群データ (x, y, z) からスクリーン上に射影された点 (x', y', z') への変換を行った。

$$x' = \frac{x}{z} \times 6.0 \quad (1)$$

$$y' = \frac{y}{z} \times 6.0 \quad (2)$$

$$z' = 6.0 \quad (3)$$

5.3 近接物体までの距離算出

距離画像データをもとに近接物体までの距離を算出する。歩行者からの方向別の危険度を算出するため画像データを図 4 のように縦方向に 10 分割し、分割された各領域の中の最近接物体までの距離を算出した。得られた各部分領域から床面及び天井の影響を排除するため、上部及び下部の各 1/6 を取り除いた。ノイズによる影響を排除するため、残った領域に格納されている距離値をソートし、上位 90% 地点のデータを距離値として採用した。

5.4 近接物体とユーザの相対速度算出

近接物体の相対速度算出には前節で算出した距離値の時間差分を用いた。現フレームで得られた各部分領域に格納された距離値と 1 フレーム前に得られた距離値の差分を算出する。近接物体の左右方向への変動に対応するため、差分の算出には現フレーム各領域に対して、1 フレーム前の該当領域及びその左右の領域と差分を算出し、一番差分が小さい物を採用した。得られた差分をフレーム間の時間差で割ることによって近接物体とユーザの相対速度とした。

5.5 危険度の判定と表示

危険度の判定は、分割された各領域毎に図 5 に示す手順で行った。まず、近接物体の距離情報に基づいて仮危険度を算出する。仮危険度は、6 m 先の地点の危険度を 0 とおき、物体が近づく毎に危険度を増やす。次に、近接物体とユーザの相対速度を用いて重み付けする。算出された相対

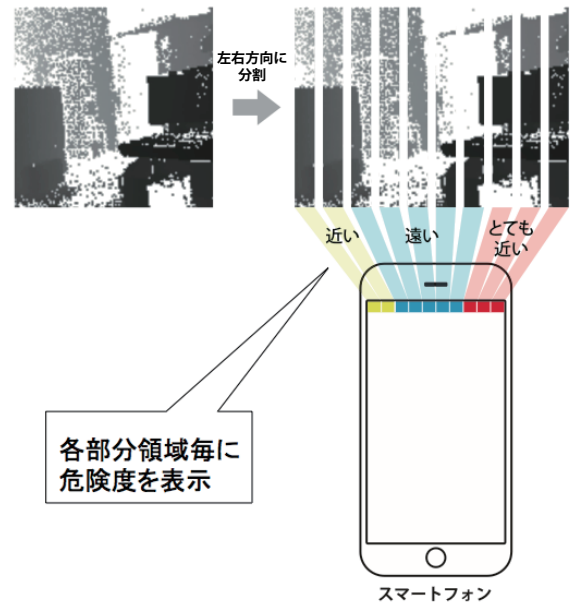


図 4 距離画像データの分割

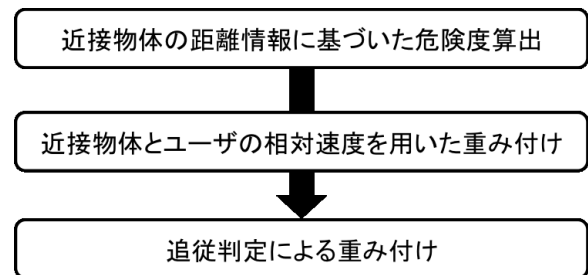


図 5 危険度算出手順

表 3 近接物体の距離情報に基づいた危険度算出

相対速度 [m/s]	危険度
2.0 ~	仮危険度 × 2
1.0 ~ 2.0	仮危険度 × 1
~ 1.0	仮危険度 × 0.5

速度に応じて、表 3 に示すように危険度を算出する。歩行者の平均歩行速度が 1.32 m/s であるため、平均速度より遅い 1 m/s を歩行速度が遅い歩行者とした。相対速度 1 m/s 未満がユーザと同じ方向へ進んでいる物体であるという意味を持つので危険度は仮危険度の 0.5 倍、相対速度 2 m/s 以上はユーザに接近する方向に進んでいる物体であるという意味を持つので 2 倍とした。

最後に、追従判定による重み付けを行う。ユーザと 3.0 m 以内の位置に存在する近接物体のうち、ユーザとの相対速度が 1 m/s 未満である場合、その物体を追従していると判定し、危険度を 0 に更新する。ただし、追従時の衝突を防ぐため、追従している物体とユーザとの距離が 1 m 未満となった場合この処理は行わないものとした。上記の方法で算出された危険度に応じて対応する色に変換し、スマートフォン上の危険度表示領域に表示した。

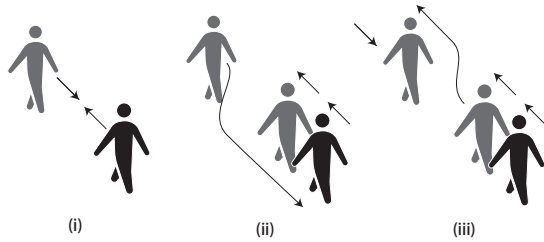


図 6 実験で用いた 3 状況



図 7 「ふつうのもぐらたたき」ゲーム画像



図 8 実験風景

6. システム評価実験

6.1 実験内容

本システムの危険度通知手法を評価するために、名古屋大学東山キャンパス内で実験を行った。事前実験に参加した 4 人の被験者の中の 3 人に実際にシステムを利用しながら「歩きスマホ」を行ってもらい、「システムによる補助なし」「既存手法 [7] である距離情報からの危険度算出方式」「提案手法である距離情報と近接物体の相対速度による危険度算出方式」「距離情報と相対速度情報に加え追従判定の重み付けを行う方式」の 4 方式の衝突率を比較検証した。加えて、通知の適切性についてアンケート調査を実施した。

実験には、Xperia Z5 Premium を用い、各方式毎に図 6 に示す「正面から歩行者が接近する場合」「他の歩行者を追従している時に正面から接近する別の歩行者が回避行動を行った場合」「正面から接近する別の歩行者に対して、追従している歩行者が回避行動を行った場合」の 3 つの状況に分けて順に各状況毎に 5 回ずつ試行したあと通知方式の変更を行った。被験者には図 7 に示すモグラ叩きゲーム^{*1}を行ってもらい、出来るだけ多くの点数を取れるようにしながら、自然に歩いてもらうようにした。衝突には肩が触れた場合を含む被験者のあらゆる接触を衝突としてカウントした。実験風景を図 8 に示す。

アンケートでは 2 章での事前実験で行った VAS と同様の方式で行い、各方式、シチュエーションに対して危険度通知が適切と思ったか一番当てはまる位置に印を付けてもらった。また、今回の実験に関して感じたことについて自由記述式で答えてもらった。

6.2 実験結果

実験時における衝突回数と衝突率を表 4 に示す。危険度通知の適切性に関するアンケート結果を図 9 に示す。各方式と状況毎に被験者間の平均をとったものを表 5 に示す。また、自由記述式のアンケートから、距離に加えて相対速度を危険度判定に用いた場合では、正面から接近する人が危険と判定され、追従を行っている人が危険と判定されず、

^{*1} ふつうのもぐらたたき: <https://play.google.com/store/apps/details?id=jp.baibai.fmogura&hl=ja>

表 4 衝突回数

	(1)	(2)	(3)	(4)
衝突回数	6	4	3	1
衝突率	13.3%	8.9%	6.7%	2.2%

(1) システムなし, (2) 距離, (3) 距離+相対速度, (4) 距離+相対速度+追従判定

表 5 異なる状況における各方式の結果

状況	実施方式			
	(1)	(2)	(3)	(4)
(i) 追従を行わない	-	0.66	0.66	0.60
(ii) 正面から来た人が回避行動	-	0.24	0.43	0.43
(iii) 追従される人が回避行動	-	0.27	0.37	0.35

(1) システムなし, (2) 距離, (3) 距離+相対速度,

(4) 距離+相対速度+追従判定

危険の把握が容易であるとの意見が得られた。一方で、距離のみで危険度を判定した方が危険の把握が容易であるとの意見も得られた。また、通知速度が遅いことや追従されている歩行者が斜め移動を行ったときへの対応が頼りない等の問題点も指摘された。

6.3 考察

表 4 の通り、システム補助無しの場合に 13.3% であった衝突率はシステム利用時は全て 10% 以下となり、「歩きスマホ」を行っている時にシステム補助を行う事によって歩行時における衝突率が減少することが示された。また、既存手法である距離情報による危険度算出方式に比べ、提案手法である距離情報と近接物体の相対速度による危険度算出方式および距離情報と相対速度情報に加え、追従判定の重み付けを行う方式の方が衝突率が低下する事が判明した。これは、既存手法に比べ距離情報だけでなく相対速度情報や周囲の状況判断を行う事によって、より複雑な状況でも適切な危険度通知が出来るようになったためと考える。

一方で、提案手法よりも既存手法の方が単純でわかりやすいとの意見もあった。これは今回の実験設定が単純であった為、距離情報のみの通知がわかりやすい場合があったものと考えられる。

通知速度が遅いと感じる意見に関しては、センサで取得

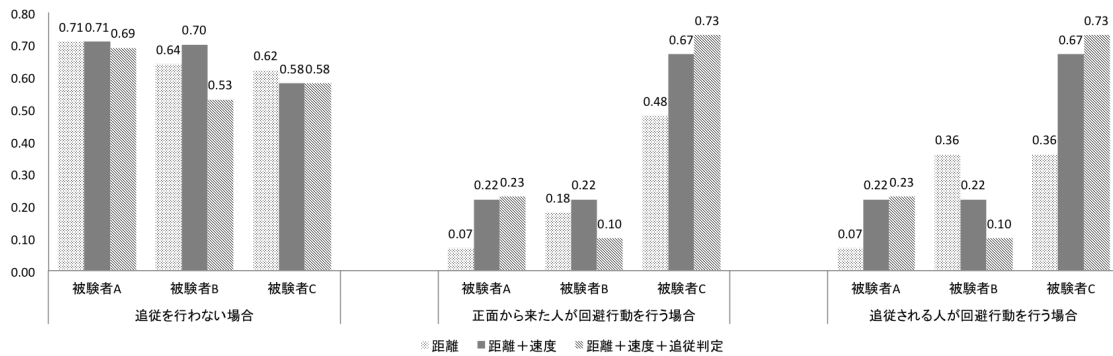


図 9 実験結果

してくるデータの更新頻度による影響が大きいと考えられる。今回の実装では、取得できる距離を優先するため1秒間で5回の頻度でデータ取得を行った。そのため、1秒間あたりの危険度更新も5回となり、危険度表示が滑らかでないと感じられ、結果として通知速度が遅いと感じられたと考えられる。

追従されている歩行者の斜め移動への対応が頼りないという意見に関しては、相対速度を算出する際、各領域の隣接する領域への移動しか対応していない為、追従されている人などの近い状態に存在する歩行者が横への移動を試みた場合、フレーム間で隣接する領域を超えて移動し、危険度判定に誤りが生じていたためと考えられる。

7. おわりに

本研究では、“歩きスマホ”を支援するシステムの構築を目的として、実際にシステムが運用されると想定される環境で歩行時におけるスマートフォン操作に関する危険性の調査を行い、近接物体の距離や方向に加え、周囲の歩行者との相対速度や追従判定を危険度に考慮したシステムを構築した。

調査結果では、走っている人や急に動き出した人が危険であることや、危険な場所や方向を通知する機能が欲しいとの意見が得られ、急激に接近する周囲の歩行者の方向を通知する機能がシステムに必要であることがわかった。

既存手法との比較実験では、「システムによる補助なし」「既存手法である距離情報からの危険度算出方式」「提案手法である距離情報と近接物体の相対速度による危険度算出方式」「距離情報と相対速度情報に加え追従判定の重み付けを行う方式」の4方式の衝突率を比較検証した。加えて、通知の適切性についてアンケート調査を実施した。衝突率はシステム補助なしの場合13.3%、既存手法では8.9%であった。一方、相対速度を用いた提案手法では6.7%、追従判定による重み付けを併用した提案手法では2.2%と提案手法の方が低く、改善できた事が判明した。また、提案手法の方が危険度通知が適切であるとのアンケート結果も得られ、これらの結果から提案手法が危険度通知において有

効であることが示唆された。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 26280074 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] MMD 研究所. 2015 年歩きスマホに関する実態調査. https://mmdlabo.jp/investigation/detail_1504.html.
- [2] Tianyu Wang, Giuseppe Cardone, Antonio Corradi, Lorenzo Torresani, and Andrew T Campbell. Walksafe: a pedestrian safety app for mobile phone users who walk and talk while crossing roads. In *Proceedings of the Twelfth Workshop on Mobile Computing Systems & Applications*, p. 5. ACM, 2012.
- [3] Klaus-Tycho Foerster, Alex Gross, Nino Hail, Jara Uitto, and Roger Wattenhofer. Spareeye: enhancing the safety of inattentively blind smartphone users. In *Proceedings of the 13th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*, pp. 68–72. ACM, 2014.
- [4] En Peng, Patrick Peursum, Ling Li, and Svetha Venkatesh. A smartphone-based obstacle sensor for the visually impaired. In *Ubiquitous Intelligence and Computing*, pp. 590–604. Springer, 2010.
- [5] 嶋岡直也, 塩山忠義. 領域分割を用いた3次元移動可能領域の検知. 電子情報通信学会技術研究報告. PRMU, パターン認識・メディア理解, Vol. 102, No. 554, pp. 97–102, 2003.
- [6] 後藤伸也, 渡邊謙太郎, 戸田英樹, ゲンツイチャピ. 視覚障害者のための lrf を用いた障害物・段差検出機能を持った歩行支援システム. 電子情報通信学会技術研究報告. MBE, ME とバイオサイバネティクス, Vol. 111, No. 57, pp. 35–38, 2011.
- [7] Juan David Hincapié-Ramos and Pourang Irani. Crashalert: enhancing peripheral alertness for eyes-busy mobile interaction while walking. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 3385–3388. ACM, 2013.
- [8] Nicola Crichton. Visual analogue scale (vas). *J Clin Nurs*, 2001.
- [9] 松本直司, 清田真也, 伊藤美穂. 街路空間特性と歩行速度の関係. 日本建築学会計画系論文集, Vol. 74, No. 640, pp. 1371–1377, 2009.