

歩行者事故危険予測のための歩行者の環境・状態の推定

Inference of pedestrian's environment and state to predict pedestrian traffic accident

筒井 英夫[†]
Hideo Tsutsui

大山 卓[†]
Takashi Ohyama

浜口 雅春[‡]
Masaharu Hamaguchi

小花 貞夫[†]
Sadao Obana

1. はじめに

近年、交通事故の削減に向け、高度道路交通システム（ITS）を利用した安全運転支援システムの開発が進められている。この安全運転支援システムには、従来からの赤外線センサやミリ波レーダ等を用いた自律検知型システムと、路車間通信や車車間通信を用いた通信利用型システム [1] がある。また、現在、交通事故死亡者の約 3 割を歩行者事故が占めることから、歩行者の安全な歩行を支援するための歩車間通信システムの検討もされている [2]。これは、歩行者と車両がお互いの位置等の情報を交換することにより、交通事故の可能性がある場合に歩行者及びドライバーに何らかの注意喚起をする、というシステムである。

この歩車間通信システムでは、歩道や車道に多数存在する歩行者の全てが、自身の位置情報を送信すると、通信トラフィックの輻輳が発生してしまい通信品質の低下を招くという問題がある。また、歩行者やドライバーへの間違っただけの注意喚起や不要な注意喚起は、システムの信頼性を低下させる問題もある。そのため、システムの信頼性を確保するために、交通事故の危険のない歩行者からの不要な送信を抑え、危険な歩行者と車両との通信を確実にするための通信制御技術が重要である。また、事故の可能性のある場合に歩行者やドライバーへの確に通知するために、歩行者が置かれた多様な環境や歩行者の行動状態を把握し、事故が起こる可能性を瞬時に予測する技術も重要である。

そこで、筆者らは、歩行者事故の危険予測の重要性に注目し、その実現可能性を評価するために、歩行者の所持する携帯端末への組み込みが進んでいる加速度センサや GPS ユニット等から得られる情報により、歩行者の環境や状態を推定する実験を行い、推定結果の正解率より歩行者事故の危険予測がどの程度可能か検証したので報告する。

2. 危険予測と環境・状態推定の方法

筆者らが想定する交通事故の危険予測の Step を図 1 に示す。危険予測は、大きく 3 つの Step からなる。環境・状態推定（Step1）では、歩行者が屋内等の安全な環境に存在するか判別する。これには、歩行者として危険ではない、階段昇降や自動車乗車中等の状態も含む。行動推定（Step2）では、危険の可能性のある環境に存在する歩行者がどのような行動をしているか推定する。危険可能性判定（Step3）では、歩行者の環境・状態、行動及び周辺車両の状態より、衝突の可能性があるか判定する。今回の実験及び分析では、環境・状態推定（Step1）を対象にしている。

環境・状態推定では、歩行者が日常的に所持している携帯電話を想定し、人の動作に関する情報を取得する加速度セ

ンサ、位置情報や速度情報を取得する GPS 受信機、気圧情報を取得する気圧センサを用い、従来の行動推定等の研究 [3] - [7] と同様に、データの平均、標準偏差、分散及びパワースペクトル等を演算し推定する。

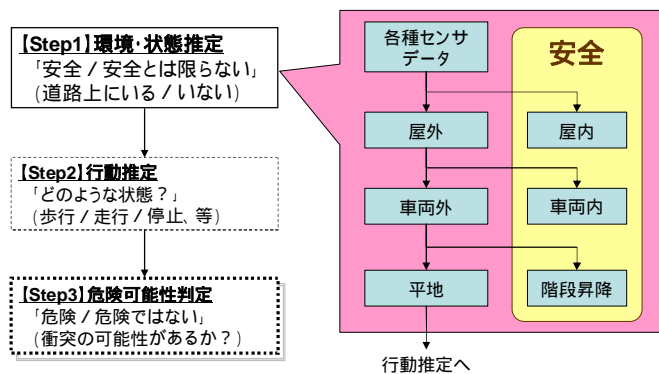


図 1 危険予測の Step

3. 環境・状態推定のための実験

3.1 実験方法

実験では、歩行者が交通事故に遭遇する危険がない（安全な）状態か、危険の可能性のある（安全とは限らない）状態かを判定するために、道路（車道あるいは歩道）上に存在するか否かを判定基準とした。この道路上に存在するか否かの判定は、次の 2 つの方法で行った。1 つ目は、歩行者が存在する環境を推定する。これは、歩行者が屋内に存在するか屋外に存在するかを判別し、屋内であれば車道や歩道上に存在しない（安全な状態）と判定するものである。2 つ目は、歩行者の状態を推定するもので、歩行者が階段昇降動作又は自動車乗車中であるかを判別し、屋外の歩行者が車道や歩道から離れている（安全な状態）か否かを判定するものである。

また、道路横断時等の交通事故は、歩行者と車両がお互いに認知しあう距離関係になってから数秒で衝突に至るので、危険予測を瞬時に行う必要がある。更に、通常歩行者が所持する携帯電話等の端末を想定しているため、各センサの人体への装着場所は 1 ヶ所に限定する必要もある。そのため、今回の実験では、実験装置を 1 ヶ所に装着し、環境・状態を 1 秒毎に推定した判定結果の正解率を評価した。

3.1.1 環境の推定

歩行者が存在する環境として、屋内（窓近傍 / 窓遠方 / 建物玄関口ビー / 立体駐車場）及び屋外（郊外道路 / 市街

[†]ATR 適応コミュニケーション研究所, ATR Adaptive Communications Research Laboratories

[‡]沖電気工業株式会社, Oki Electric Industry Co., Ltd.

地道路 / 大都市部道路) で測定した。図 2 は屋内実験 (窓近傍 / 窓遠方 / 建物玄関ロビー / 立体駐車場) の状況を、図 3 は屋外実験 (郊外道路 / 市街地道路 / 大都市部道路) の状況をそれぞれ示す。市街地道路及び大都市部道路は、2009 年に ITS 情報推進システム会議 運転支援通信システム専門委員会において、路車間通信及び車車間通信の実験が行われた東京の月島及び銀座を対象とした[8]。

環境の推定は、GPS 衛星からの受信信号強度 (ここでは GPS ユニット出力の SNR 値) を利用した。実験では、GPS ユニットとして図 4 の GN-84 (古野電気社製) を使用し、測定した SNR の平均及び標準偏差を算出し、環境を推定できるかを検証した。

実験は、1 秒毎に出力される GPS 測位データを 1 回の判定データとし、各環境において表 1 の試行回数でそれぞれの環境について評価した。また、推定にはサポートベクターマシンを利用し、環境毎にランダムに 20 回分のデータを選び、教師信号として判定しきい値を算出した。



a) 窓近傍、窓から 1m b) 窓遠方、窓から 6.5m



c) 建物玄関ロビー d) 立体駐車場

図 2 屋内実験



a) 郊外道路 b) 大都市部道路



c) 市街地道路

図 3 屋外実験



GN-84 (古野電気社製)

図 4 GPS 受信機

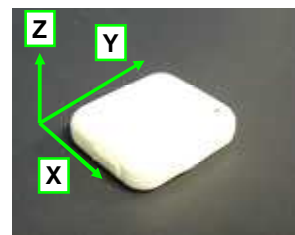
表 1 環境毎の試行回数

環境	試行回数
窓近傍	194,195
窓遠方	47,637
建物玄関ロビー	25,699
立体駐車場	6,664
郊外道路	12,153
市街地道路	19,876
大都市部道路	24,849

3.1.2 状態の推定

ここでは、歩行者が安全な状態である、乗り物乗車中及び階段昇降を対象とした。実験装置として使用した、3 軸加速度センサと気圧センサをそれぞれ 図 5 及び図 6 に示す。加速度センサは WAA-006 (ATR-Promotions 社製) を使用した。加速度センサのデータ収集条件を表 2 に示す。また、気圧センサは G-Trender1000 (Wintec 社製) を使用した。これらのセンサから得られたデータの平均、分散及びパワースペクトル等を算出し、歩行者の状態を推定できるかを検証した。図 7 に実験装置の人体への装着方法を示す。これは、携帯電話をズボンのポケットに入れているシーンを想定した。

実験は、被験者として大人 2 名にて実施した。各状態について、1 秒間のデータを用いて判定結果を出力し、表 3 の試行回数でそれぞれの状態について評価した。また、環境推定時と同様に、推定はサポートベクターマシンを用い、状態毎にランダムに選択した 20 回分のデータを教師信号として判定した。



WAA-006 (ATR-Promotions 社製)

図 5 加速度センサ



G-Trender1000 (Wintec 社製)

図 6 気圧センサ



図 7 加速度センサ装着例

表 2 加速度センサのデータ収集条件

サンプリング速度	3msec
測定ダイナミックレンジ	± 4G

表 3 状態毎の試行回数

歩行者の状態	試行回数
自動車乗車中	476
階段昇降	104

3.2 実験結果と考察

3.2.1 環境の推定

屋内（窓遠方）及び屋外（郊外道路）における SNR 値の測定結果（例）を図 8 に示す。また、屋外（市街地道路 / 大都市部道路）の測定結果（例）を図 9 に示す。ここで、発生確率は、1 回に複数個の衛星から受信した各電力に対する、SNR の平均及び標準偏差を用い、正規分布に当てはめてプロットしている。なお、図の横軸（SNR）は、ユニット出力をそのまま利用しているため、dB 等の単位はない。

図 8 より、屋内窓遠方では平均及び標準偏差はともに小さいことが分かる。これに対し郊外道路では、標準偏差は屋内窓遠方と同程度だが、平均が大きくなっている。この違いは、衛星からの電波の受信状況の違いによるものと考えられる。屋内窓遠方では、窓により空のほとんどが見えなくなってしまう。このため、ほとんどの衛星から直接波が受信できない。その結果、観測された受信電力のほとんどが低い値となるため、平均及び標準偏差が小さくなったと考えられる。これに対し、郊外道路では、上空が広く開けており、全ての衛星から直接波が受信できる。その結果、受信電力が高い値に偏るため、平均が大きくなったと考えられる。

次に図 9 より、市街地道路及び大都市部道路では、平均は屋内や郊外道路の平均の中間くらいの値となり、標準偏差は大きくなっていることが分かる。これは、直接波を受信できる衛星と、ビルや家屋等で遮蔽され直接波が受信できず反射波や回折波を受信してしまう衛星が混在するためである。

このように、環境毎に特徴が異なることから、歩行者が屋内に存在するか否かを推定する 1 つの目安とすることが可能であると考えられ、歩行者が安全か否か判定できる。

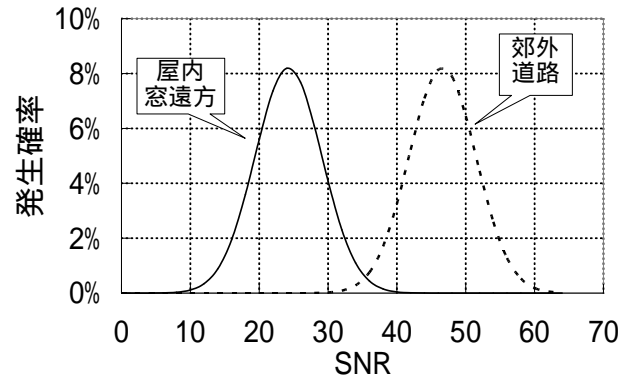


図 8 GPS 受信 SNR 測定結果の例
（屋内窓遠方 / 郊外道路）

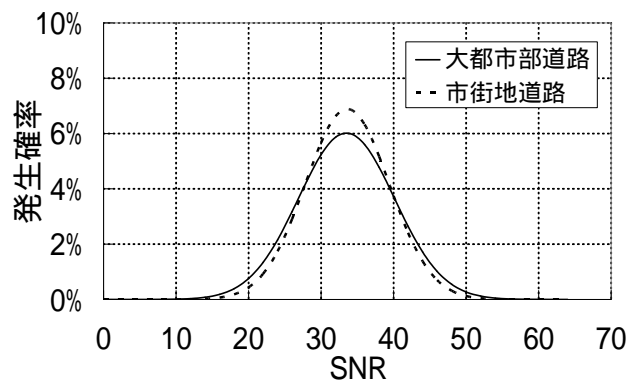


図 9 GPS 受信 SNR 測定結果の例
（市街地道路 / 大都市部道路）

実際に測定した SNR の平均及び標準偏差より、歩行者の環境を推定した結果を表 4 に示す。窓近傍及び建物玄関ロビーを除く環境においては、90%以上の高い正解率となっており、危険予測に十分利用できると思われる。これに対し、窓近傍や建物玄関ロビーでは、正解率が 80%程度まで低下しており、正解率の更なる改善が必要と考えられる。

表 4 屋内 / 屋外の正解率

識別内容		正解率	備考
屋内	窓近傍	80.5%	窓から約 1m
	窓遠方	97.1%	窓から約 6.5m
	建物玄関ロビー	82.9%	窓から約 1m
	立体駐車場	99.5%	
屋外	郊外道路	100%	
	市街地道路	92.9%	月島
	大都市部道路	95.9%	銀座

3.2.2 状態の推定

自動車乗車中を判別するために行った、加速度センサとGPS ユニットから出力される速度の測定結果を図 10～図 12に示す。図 10は、上段に自動車乗車中の重力方向の加速度データを、下段にGPS から得られた速度データを表している。図 11及び図 12は、それぞれ歩行時と走行時の重力方向の加速度データを表している。なお、今回の実験では、進行方向と左右方向の加速度も測定したが、有意義な特徴が得られなかったため、ここでは重力方向を利用した。

これらの結果より、人間自身が動く歩行や走行の動作の場合、重力方向の加速度の変化が大きく周期が短い、自動車乗車中等の人間自身がほとんど動かない状態では、加速度の変化は小さく周期が長いことが分かる。このため、これらの違いを利用して状態の推定が可能と考えられる。

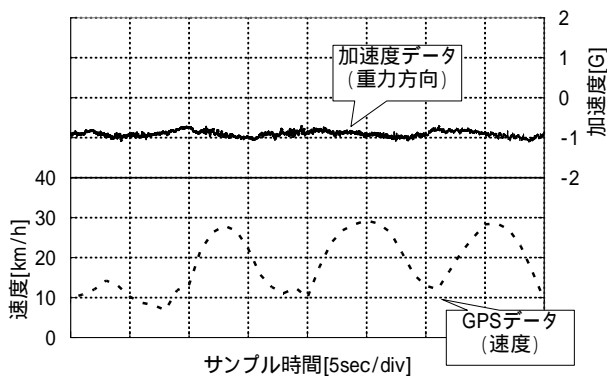


図 10 自動車乗車中の加速度とGPS 速度測定結果

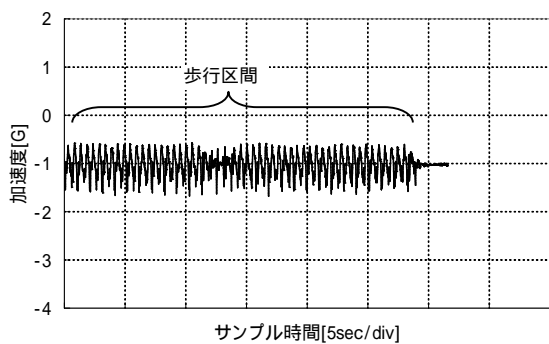


図 11 歩行時の加速度測定結果

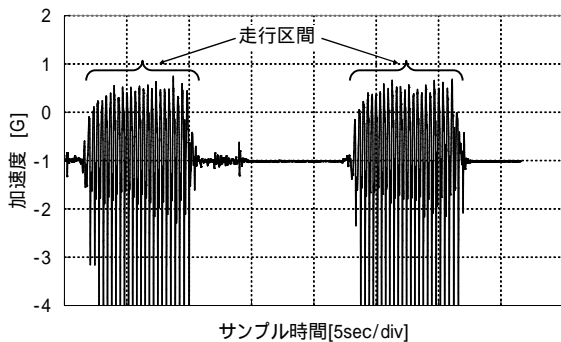


図 12 走行時の加速度測定結果

速度と加速度より、自動車乗車中か否かの判定を行った結果を表 5に示す。今回の測定では、93%の高い正解率が得られており、危険予測に十分利用できると思われる。

表 5 自動車乗車中の正解率

識別内容	正解率
自動車乗車中	93.0%

次に、歩行及び階段昇降を判別するために行った、加速度センサと気圧センサの測定結果を図 13に示す。図 13の上段は重力方向の加速度を、下段は気圧情報を元に計算した高度差を表す。また、歩行と階段上りのデータを比較しやすいように拡大し、時間的に重ねたものを図 14に示す。

図 13上段の加速度データより、階段下りの場合は、階段上りや平地歩行に比べ、大きな加速度の変動が観測できる。これは、階段を 1 段下りた時に発生する重力方向の衝撃によるものである。そのため、この変動量を利用することで、推定が可能であると考えられる。これに対し、階段上りの場合は、平地歩行時と同程度の変動となっており、変動量だけでは推定が困難と考えられる。しかし、図 14に示すように詳細に比較すると、歩行と階段上りでは変動幅は同程度であるが、1 周期内のデータの分布が異なる。そのため、変動量だけでなくデータの分布を表す分散値を用いることで推定が可能と考えられる。なお、今回の実験では、自動車乗車中の状態推定実験と同様に、進行方向と左右方向の加速度も測定したが、有意義な特徴が得られなかったため、ここでは重力方向を利用した。

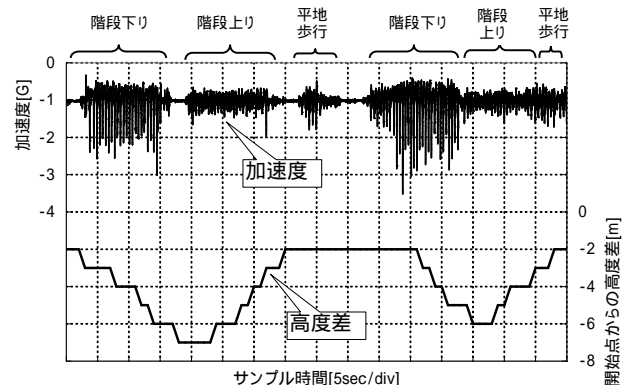


図 13 加速度センサと気圧センサの測定結果

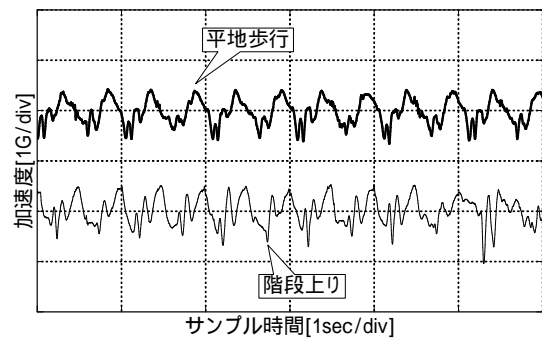


図 14 加速度センサの測定結果（歩行/階段上り）

加速度の変動量と分散を用いて平地歩行及び階段昇降を推定した結果を表 6 に示す。階段下り及び平地歩行では 90%以上の正解率となり、危険予測に十分利用できると思われる。これに対し、階段上りは 90%を下回っており、正解率の更なる改善が必要と考えられる。

表 6 加速度を用いた場合の階段昇降と歩行の正解率

識別内容	正解率
階段下り	97.7%
階段上り	86.0%
平地歩行	90.8%

次に、この階段上りの正解率を改善する目的で、加速度データと高度差を用いて推定した結果を表 7 に示す。表より、加速度の変動量及び加速度の分散に更に高度差を組み合わせて使用した場合、加速度のみを使用した場合に比べ、全ての状態で正解率が悪く改善には至らなかった。これは、使用した気圧センサの高度の分解能が 1m 程度であるのに対して、階段の段差が数 10cm と小さいため、1 秒では高度差を推定できなかったためである。

表 7 加速度と高度差を用いた場合の階段昇降と歩行の正解率

使用したデータの組合せ	加速度 変動量	加速度 分散
	高度差	高度差
階段下り	75.0%	70.5%
階段上り	64.0%	82.0%
平地歩行	76.3%	88.2%

4. まとめ

歩行者に装着した加速度センサ、気圧センサ及び GPS 受信機から得られた情報から、歩行者事故の危険予測に必要な、歩行者の環境・状態推定の可能性を評価した。その結果、歩行者が安全な環境である屋内か否かの推定では、屋内窓近傍や建物玄関ロビーでは、正解率が 90%を下回る場合もあったが、屋内窓遠方や立体駐車場と屋外の郊外道路、市街地道路及び大都市部道路で、1 秒毎に推定した場合において 90%以上の正解率を得た。また、歩行者が安全な状態か否かの推定では、階段上りで正解率が 90%を下回る場合もあったが、自動車乗車中及び階段下りで、1 秒毎に推定した場合に 90%以上の正解率を得た。これにより限定的ではあるが、1 秒間という短時間での環境・状態の推定結果が、危険予測に利用できる可能性があることを確認した。

今後は、対象とする環境や状態、被験者数や被験者種類を増やした場合について測定・評価を行い、環境・状態推定の可能性についてさらに検証する予定である。また、角速度センサや地磁気センサ等との併用による、環境・状態推定の正解率向上についても検討する。

参考文献

- [1] 国土交通省 先進安全自動車推進検討会, “第 4 期 先進安全自動車 (ASV) 推進計画 成果報告会”, 2011.
- [2] シャグダル・オユーンチメグ 他, “交通安全のための歩車間通信”, IEICE Technical Report, AN2011-18, pp.65-69, 2011.
- [3] 筒井英夫 他, “歩行者事故低減のための歩行者コンテキスト推定の基礎検討”, 2010 年 電子情報通信学会 基礎・境界ソサイエティ大会, pp. 164, A-17-18, 2010.
- [4] 田淵勝宏 他, “無線加速度センサを用いた人の日常行動識別におけるデータ収集条件の影響評価”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.12, pp.25-36, 2007.
- [5] 小川延宏 他, “HASC2010corpus を用いた被験者数と人間行動認識率の相関分析”, 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2011) シンポジウム論文集, pp.76-82, 2011.
- [6] 服部祐一 他, “行動情報共有システムにおける行動認識と可視化”, 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2011) シンポジウム論文集, pp.91-98, 2011.
- [7] 沼杏子 他, “歩行者の状態推定の軽量化に関する一検討”, 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2011) シンポジウム論文集, pp.308-314, 2011.
- [8] ITS 情報通信システム推進会議 運転支援通信システム専門委員会, “平成 21 年度運転支援通信システム専門委員会 方式検討タスクグループ活動報告”, 2010.