

スマートフォン使用時の不注意による 事故防止システムの提案

名坂康平[†] 加藤岳久^{††} 西垣正勝^{††}

近年、スマートフォンの利用者は急激に増加している。スマートフォンは様々な情報にリアルタイムでアクセスできるが、その便利さの一方で、利用者のマナーの悪さが原因となった事件や事故も多発しており、特に歩きながらの操作といったユーザの不注意によって発生する事故が問題となっている。本稿では、この“ながら歩き”に着目し、事故の原因となりうる状況でのスマートフォンの利用を検出し、利用を強制的に停止させることで事故を未然に防ぐシステムを提案する。

A System to Avoid Accidents While Careless Use of Smartphone

Kohei Nasaka[†] Takehisa Kato^{††} Masakatsu Nishigaki^{††}

Recently, the number of smartphone users is increasing rapidly. Smartphone is very useful because it can always access to the Internet and get various contents. On the other hand, however, user's careless behavior has begun to emerge as a social issue; especially, many users have caused an accident from not paying attention to using their smartphones while they are walking along the streets. In this paper, we propose a system to detect "using smartphones while walking" and then stop the smartphone use to avoid any accident happens..

1. はじめに

近年、スマートフォンの利用者が急激に増加している[1]。スマートフォンが普及し始めた理由としては、パソコンのように様々なアプリケーションをインストールすることが可能であり、ユーザの好みに合ったカスタマイズが可能であることや、通信網の発達により様々な情報をリアルタイムで発信・収集可能になったことなど、従来の携帯電話に比べて機能性、利便性、サービスがより向上しているためであると考えられる。

しかしながら、ユーザのスマートフォンへの依存度が高まる中、利用者のマナーの悪さが原因となった事件や事故も多発している。携帯電話の時代から、車両運転中の通話や操作が原因の事故が発生しており、道路交通法が改正され運転中の（ハンズフリー通話を除く）通話が法律でも禁止されるようになった[2]。スマートフォンでは、タッチスクリーン型の入力インターフェイスが主流であり、かつ、利便性確保のために片手だけでもスマートフォンを操作することが可能となっているため、携帯電話と比べて画面を注視する時間がより増加し、危険性が高くなっている。特に最近では“ながら歩き”が原因で周囲の人間との接触、列車に接触、ホームから線路に落ちるなど、スマートフォン使用時のユーザの不注意による事故が問題となっている[3]。列車との接触やホームへの転落は死亡につながるケースもあるため、対策が必要とされている。

本稿では、このような事故を防ぐためにスマートフォン利用時のながら歩きをリアルタイムで検出する手法を提案する。スマートフォン利用者のながら歩きを検出することで、ユーザに注意を促すことや、スマートフォンの利用を強制的に停止させることが可能となり、事故を未然に防ぐセーフティシステムを構築することが可能となる。

2. 関連研究

スマートフォン利用者のながら歩きを検出し、事故を防ぐためには、ながら歩きとそれ以外の状態をリアルタイムで識別する必要がある。ユーザが使用している端末の移動状況を検出する技術に関する研究開発は多数存在し、その多くのものが加速度センサを用いる方法と、カメラから得られる画像を用いる方法に大別される。

加速度センサを用いる方法としては、典型的な実装例として歩数計がある。歩数計は加速度計から得られるデータを解析し、閾値以上の加速度が検出された場合に歩行していると判断する。単純な閾値判定だけでは歩行時以外にも加速度がかかった場合に歩行状態であると判定されてしまい誤検出が発生してしまう。誤検出を防ぐために、

[†] 静岡大学大学院 情報学研究科
Information Processing Society of Japan

^{††} 静岡大学創造科学技術大学院
Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

閾値以上の加速度が一定時間間隔で一定数以上連続で検出された場合に歩行状態であると判断する、などの工夫がなされている。これらの加速度の大きさや継続時間等に関する閾値の条件を緩くすると、歩行の検出漏れが少なくなるが、誤検出が多くなり、逆に条件を厳しくすると、誤検出は少なくなるが、検出漏れが多くなる。

検出精度を高めるための方法としては、加速度データの統計値や周波数特性を特徴量とするアプローチが一般的に用いられている[a]。池谷らの方式[5]では、加速度データから算出した各種統計量を特徴量とし、ニューラルネットワークを用いて移動状況の推定を行っている。しかし、統計量を算出する際に過去一定時間のデータが必要であるため、検出には 20 秒程度の遅延が発生する。小林ら[6]は、加速度センサ、マイク、GPSを複合的に用いて、各種データのパワースペクトル（周波数特性）を解析することにより移動状態を推定する方式を提案しており、「歩行／走行／その他」の 3 状態の識別であれば 100%に近い推定精度が得られている。しかし、周波数変換の際に過去一定時間のデータが必要であるため、検出には 1 回あたり 30 秒を要する。

以上のように、加速度を用いた歩行検出は通常、計算量と精度がトレードオフの関係となっており、ながら歩きをリアルタイムで検出しようと思った場合は、その精度をいかに確保するかが問題となる。特に、スマートフォン利用者がながら歩きをしている状況においては、ユーザはスマートフォンを手を持って（多くの場合は、片手だけで）画面を見ながら操作していることが多い。歩行時の身体の揺れに合わせてスマートフォンが揺れてしまうと、画面も見にくく操作もしづらいため、ユーザは無意識的にスマートフォンの揺れを腕で吸収しながら歩く。このため、加速度を利用してながら歩きを検出するには、加速度の大きさに対する閾値を緩く設定する必要がある。しかし、その場合は、例えば電車やバスに乗車している最中の車両の揺れなどによって、歩行していない場合も歩行状態であると誤判定されてしまう傾向が強くなっていく。よって、加速度を利用した方法だけでは、ながら歩きをリアルタイムに（検知漏れと誤検知の両者の観点から）精度良く検出するには限界があると考えられる。

一方、画像を用いた方法としては、広く用いられている技術の一つにオプティカルフロー推定法と呼ばれる手法が存在する[7]。これは動物体解析手法の一つであり、動画における各フレーム画像中の輝度値が類似している画素を抽出し、その情報から動きを解析して速度ベクトルを求め、物体の運動を推定する。歩行時には、画像は一定方向に一定速度（歩行速度）で移動を続けると考えられるため、スマートフォンに備わっているカメラによって常に外部の画像を撮影し続け（例えば、カメラのプレビュー機能を常にオンにしておく）、その動画画像に対してオプティカルフロー推定法を適用

a) その他のアプローチとしては、例えば倉沢ら[4]が、ユーザがスマートフォン（加速度センサ）をどこに所持しているかに応じて、採用する移動検知アルゴリズムを変更する方法を提案している。しかし、ポケットやカバンの中など、歩行時に比較的大きな加速度が観測される場所にスマートフォンを所持する場合を仮定しており、ながら歩きの検知にそのまま応用することは難しいと考えられる。

することによって、スマートフォンの移動方向[b]と移動量を検出できる。

ただし、ユーザが静止状態でスマートフォンを使用している状況であっても、ユーザがスマートフォンの位置や傾きを動かしてしまうと、カメラ画像がスマートフォンの移動方向の逆向きに流れることになる。よって、場合によっては歩行の誤検知が発生する。このため、オプティカルフロー推定法による移動検出においては、ユーザ自身が移動してカメラ画像が流れたのか、（ユーザの絶対位置は移動していないが）スマートフォンを持っている手が動いてカメラ画像が流れたのかを切り分けることが必要となる。しかし、画像処理を複雑にすると、歩行検出の計算量が増加することになる。以上より、画像を用いた歩行検出においても、リアルタイム性と精度がトレードオフとなる。

3. 提案方式

本研究の目的は、スマートフォン利用者のながら歩きをリアルタイムで精度良く検出することにある。しかし前章で述べたように、既存技術においては、リアルタイム性と精度をある程度両立した歩行検出が実現されていない。かつ、ながら歩きの検出は通常の歩行検出よりも難しいタスクである。本稿では、一つ一つのアルゴリズムは軽量であるが精度は十分でない歩行検知技術を併用することによって、リアルタイム性を担保しつつ、ながら歩きの検出精度を高める方式を提案する。

3.1 ながら歩きの定義および検知システムの仕様

本研究では、ながら歩きとは「スマートフォンを手を持ち、その画面を見ながら歩く」とことと定義する。スマートフォンの揺れが大きいと、ユーザが画面の内容を認識しにくいいため、ユーザは無意識的にスマートフォンの揺れを腕で吸収しながら歩く。よって、ながら歩きを行っている際にはスマートフォン自体の揺れは比較的小さいものとなる。

本研究では、スマートフォン自身が自律的にユーザのながら歩きを検出するシステムの実現を目指す。すなわち、スマートフォンに搭載されている各種センサのみを利用して、ながら歩きを検出する。しかし、ユーザがスマートフォンを手を持って通常の状態では操作している状況において、ユーザがどこを注視しているのか（ユーザの視線検出）をスマートフォン側のセンサだけで検出することは一般的に難しい。この点に配慮し、本研究におけるながら歩きの定義を「画面が ON になった状態のスマートフォンを手を持ちながら歩く」という形に変更する。

画面が ON になっているからといってユーザが画面を注視しているとは限らないが、逆に、ユーザが画面を注視している際には画面は間違いなく ON になっている。また、

b) スマートフォンの傾きセンサを用いて、ユーザが端末をどういう向きで利用しているかを検出してやれば、端末の移動方向に関する情報をユーザの移動方向に関する情報へと変換できる

例えば「ながら歩きを検出した際には、危険防止のために画面を OFF とする」というセーフティシステムを実装した場合、ユーザが画面を注視していない際に誤検出が発生して画面が OFF になったとしても、ユーザは（画面を見ていないわけであるので）それに気付くことはなく、利便性は低下しない。以上より、ユーザの画面注視のチェックを画面が ON になっていることの検査によって代用することは妥当であると考えている。

3.2 加速度による歩行検出と画像による歩行検出の併用

本稿では、一つ一つのアルゴリズムは軽量であるが精度は十分でない歩行検知技術を併用することによって、リアルタイム性を担保しつつ、ながら歩きの検出精度を高めるというアプローチを採用する。具体的には、2章で述べた歩数計測アルゴリズム（歩数計における歩行検出アルゴリズム）とオプティカルフロー推定法の併用を試みる。

歩数計測アルゴリズムは、加速度の大きさだけを利用しており、歩行検出のためのデータ解析が比較的簡素であるとともに、（加速度の統計量や周波数特性を使用していないため）データ処理の速度も比較的高速である。しかし、ながら歩きの検出に対応するために、加速度の大きさに対する閾値条件を緩くせざるを得ず、誤検知が発生しやすくなるという問題があった。典型的には、ユーザが電車やバスの中でスマートフォンを利用している際の誤検知が頻出すると考えられる。

オプティカルフロー推定法における歩行検出アルゴリズムは、主に勾配法とブロックマッチング法に大別される[7]。勾配法は対応点検索を行う必要がなく計算量は少ないが、輝度値が急激に変化するところでは誤検知が大きいことや、雑音に弱いという欠点がある。ブロックマッチング法は、輝度値の急激に変化する所でもフロー検出の誤差が少なく、雑音にも強いものの、全探索を行うので計算量が膨大となる。リアルタイム性を考慮した場合、計算量の少ない勾配法の採用が適切であるが、上述のように検知精度が問題となる。具体的には、ユーザ自身が移動してカメラ画像が流れたのか、（ユーザの絶対位置は移動していないが）スマートフォンを持っている手が動いてカメラ画像が流れたのかを切り分けることが難しい。

ここで、歩数計測アルゴリズムとオプティカルフロー推定法がお互いの欠点を補完しあう関係にあることに注目する。歩数計測アルゴリズムでは、乗車中のスマートフォン利用の際の誤検知が問題となるが、スマートフォン利用者はバスや電車に乗っている間は基本的には座席等に留まっているので、（ユーザが端末を持った手を横方向に動かすことによって、ユーザの正面方向に対して垂直の方向にカメラ画像が流れることはあるが）ユーザの正面の方向（歩行方向）にカメラ画像が流れることは少なく、オプティカルフロー推定法においては誤検知が発生しにくいと期待される。一方、オプティカルフロー推定法では、「ユーザが実際に移動してカメラ画像が流れたのか、ユーザは静止しているが端末を持っている手が動いてカメラ画像が流れたのか」の切り

分けが難しいが、ユーザが静止している場合は基本的に加速度が観測されることはないため、加速度による歩行検出を併用してやることによってユーザが実際に動いたのか否かある程度見極めることができると期待される。

以上より本稿では、歩数計測に用いられている加速度ベースの歩行検出アルゴリズムと勾配法によるオプティカルフロー推定法ベースの歩行検出アルゴリズムの併用によって、リアルタイム性を確保した上である程度の認証精度を有するながら歩き検出を実現していく。ただし、3.1節で述べたように、今回は画面の ON/OFF によってユーザが画面を注視しているか否かの検出を行うため、実際には、「加速度ベースの歩行検出アルゴリズムによって歩行が検知された」、「オプティカルフロー推定法ベースの歩行検出アルゴリズムによって歩行が検知された」、「画面が ON である」の3つの結果の AND 照合によって、スマートフォン利用者のながら歩きが検出されることになる。

具体的な歩数計のアルゴリズムは2章で述べたとおりである。スマートフォンには3軸加速度センサがと傾きセンサが搭載されているため、これらの情報を更に用いてやれば、重力加速度、端末の鉛直方向の加速度、水平方向の加速度の算出が可能である。勾配法を用いたオプティカルフロー推定アルゴリズムは、数多くの既存研究の中から、今回は Lucas-Kanade 法[7]を採用した。

4. 基礎実験

3章で述べたアルゴリズムによってながら歩きを検出するアプリケーションを Android で実装し、5人の被験者に対し、検知実験、誤検知実験を行った。加速度による歩行検出部では、加速度の大きさの閾値を $1.2m/s^2$ 、振動間隔を 750 ミリ秒以内に設定し、連続して5歩以上が検出されたときに歩行があったと判断する。画像による歩行検出部では、スマートフォンのプレビュー機能のカメラ画像に対し、オプティカルフローを計測する点を等間隔に 100 箇所用意し、その 100 箇所のうちフローが検出された点の移動方向と移動量の平均値を算出し、歩行方向への画面の推移が 1500 ミリ秒以上検出され続けた場合に歩行を行ったと判断する。なお、加速度のサンプリングレートは約 50Hz、動画像のサンプリングレートは約 10Hz、動画像のサイズは 640*480 である。また、今回はオプティカルフローの計測には OpenCV[8]を用いて実装を行った。

4.1 検知実験

検知実験では、被験者に実際にながら歩きをしてもらい、何歩で歩行が検出されたか確認した。オプティカルフローによる検出では、カメラ画像として取得される路面によって精度が異なると考えられるため、図1のような輝度値の差が大きい場所と図2のような輝度値の差が小さい場所で検知実験を行った。



図 1 輝度値の差が大きい路面



図 2 輝度値の差が小さい路面

表 1 輝度値の差が大きい路面での実験結果

被験者	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均
A	9	E	12	5	3	7.25
B	5	5	E	10	7	6.75
C	6	7	6	6	6	6.2
D	6	4	6	4	5	5
E	5	7	8	9	3	6.4

表 2 輝度値の差が小さい路面での実験結果

被験者	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均
A	E	E	E	E	E	E
B	E	E	E	E	E	E
C	E	E	E	18	13	15.5
D	12	13	E	14	5	11
E	13	17	17	E	E	15.67

表 1 が輝度値の差が大きい路面での実験結果であり、表 2 が輝度値の差が小さい路面での実験結果である。表中の数字は「被験者がながら歩きを始めてから何歩で、ながら歩きが実際に検知された」の歩数を示し、E は 20 歩以上歩いても検知されなかったことを表す。表 1 より、輝度値の差が大きい路面では 9 割程度の精度で歩行が検出できていることがわかる。検出されるまでの歩数も 6 歩程度であり、リアルタイムでながら歩きの検出がある程度実現できているといえる。

しかし、表 2 より、輝度値の差が小さい路面ではながら歩きがほとんど検出されていないことが分かる。ながら歩きが検出された場合でも、検出されるまでに平均で 14 歩程度と時間がかかってしまっている。

4.2 誤検知実験

誤検出実験では、まず、被験者に室内で椅子に座った状態でスマートフォンを 5 分間使用してもらった。図 3 は、その際の実験結果である。

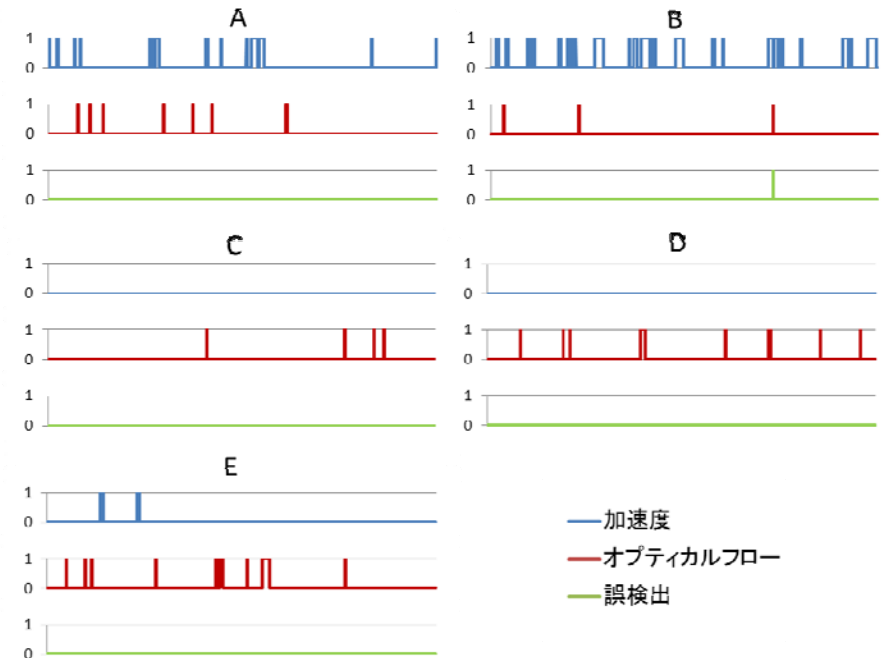


図 3 誤検知実験（室内、着席）

誤検知が発生したのは、被験者 B のみであった。また、3.2 節に記した予想とは異なり、被験者 A, B については室内で着席している状態であったにも関わらず、加速度センサによって歩行が検出された。

次に、被験者にバスに乗車してもらい、立った状態、および、座った状態でそれぞれスマートフォンを 5 分間使用してもらった。図 4 は起立状態の実験結果、図 5 は着席状態の実験結果である。

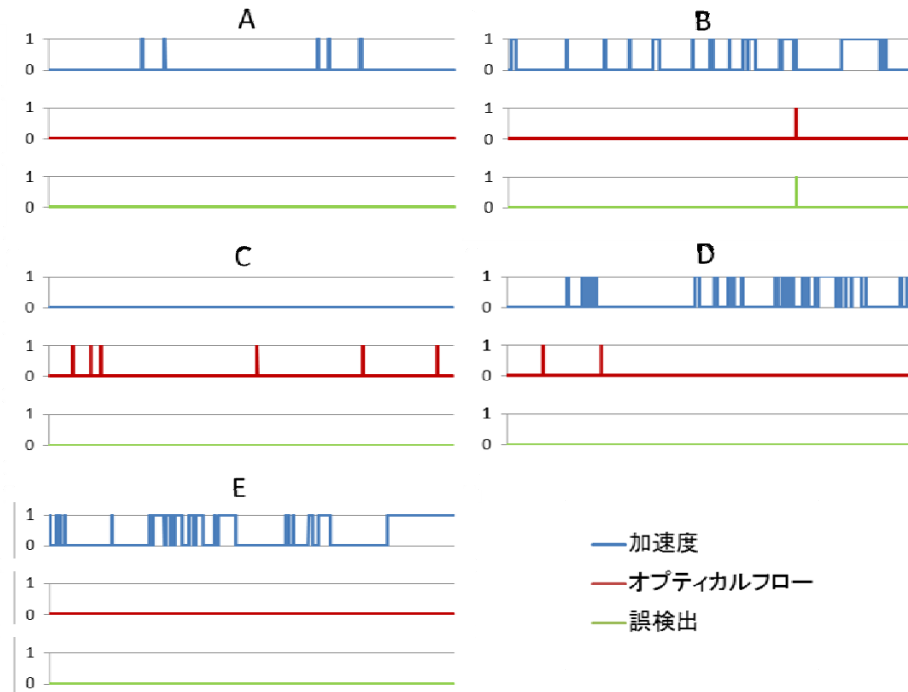


図 4 誤検知実験 (バス, 起立)

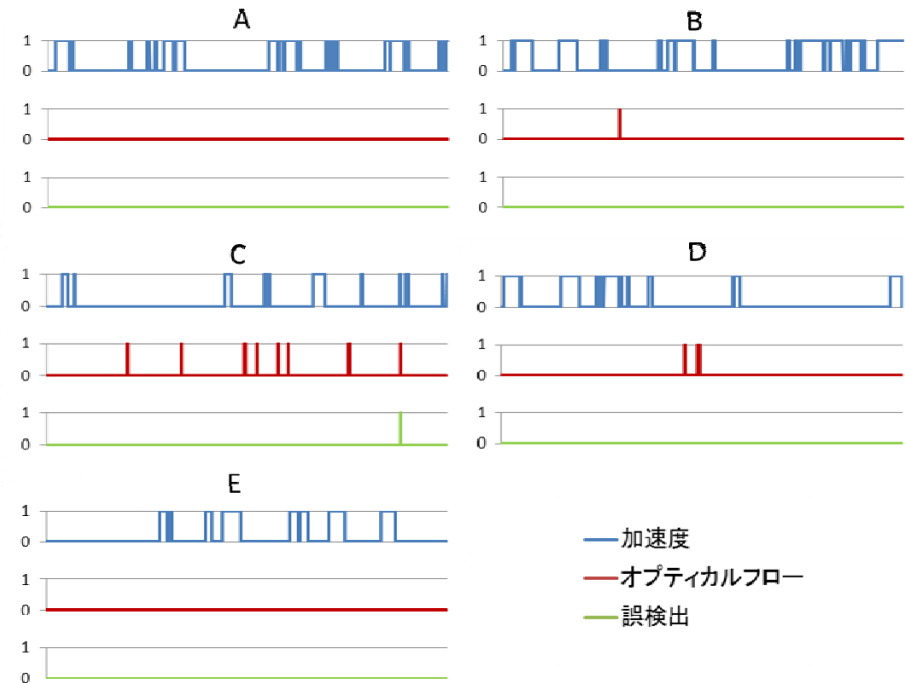


図 5 誤検知実験 (バス, 着席)

被験者 B, C で 1 度ずつ誤検知が発生した。また、3.2 節に記した予想とは異なり、被験者 C については被験者が実際には歩行方向に移動していないにも関わらず、オプティカルフローで頻繁に誤検知が発生していることがわかる。

5. 考察と課題

5.1 輝度値の差が小さい路面での歩行検出

輝度値の差が小さい路面の場合、オプティカルフローが正確に検出されず、歩行検出の精度が極端に下がってしまうことが分かった。今回は路面にて実験を行ったが、同様にオプティカルフローが正確に検出されない状況として、模様のない床や通路に加え、夜間で明かりがない場所などが考えられる。

今回は基礎実験であったため、カメラ画像をそのまま利用して歩行検出を行ったが、

今後は適切な前処理を施すことなどによって精度を改善できる可能性がある。ただし、前処理を組み込むことによってリアルタイム性が失われてしまうことのないよう、本研究の主旨の沿った形で精度の改善を行っていく必要がある。

5.2 室内着席時の歩数計測アルゴリズムにおける誤検出

ユーザによっては、室内で着席してスマートフォンを利用している際にも歩行時のような加速度が観測された。誤検出が発生した被験者に対し、誤検出が発生した際の特徴を伺ったところ、スマートフォンを持ち直した際に誤検出が発生していたことが分かった。誤検出が発生した被験者2名は両者とも自分自身のスマートフォンを所持しており、今回の実験の際に使用した端末が自身の端末とは違っていたために、手に持っている際に違和感が生じ、頻繁にスマートフォンを持ち直したとのことであった。

5.3 乗車時におけるオプティカルフローの誤検出

ユーザによっては、バスの乗車時にもオプティカルフローが誤検出された。誤検出が発生した状況を調査したところ、「影」の移動が誤検出を引き起こしていたことが判明した。被験者 B, C, D は晴天時の14時から17時にかけて実験を行ったが、車外の建物と建物の間から車窓に太陽が差し込み、車内に影が差す。この影はバスの移動に合わせて移動するため、これがフローの誤検出につながったと考えられる。

この問題の解決には、影を除去する画像処理をフロー検知の前処理として導入することが有効であると考えられる。影の除去に関する研究は多数存在し[10][11][12]、それらの方式を取り入れることによって、影による影響を取り除くことが可能であると考えられる。ただし、前処理を組み込むことによってリアルタイム性が失われてしまうことのないよう、本研究の主旨の沿った形で採用する影除去アルゴリズムを選択する必要がある。

5.4 その他の課題

本方式では加速度センサによる歩行検知とオプティカルフローによる歩行検知のAND照合によってながら歩きの検出を行っているため、両者の歩行検知が働かなければながら歩行を検出することができない。加速度センサによる歩行検出ができない状況としては、ユーザが(加速度センサに検知されないほど)ゆっくり歩いたり、振動を与えないように歩く場合は挙げられるが、これは実際の利用ケースではほとんど起こりえないと考えられる。一方、オプティカルフローによる歩行検出については、カメラを指などで隠すことによって簡単に検出ができなくなってしまう。このため、今後はさらに別の方式を組み合わせることによって精度の向上を目指したい。

6. まとめ

本稿では、歩数計に用いられている加速度ベースの歩行検知アルゴリズムと勾配法

によるオプティカルフローベースの歩行検知アルゴリズムを組み合わせることにより、スマートフォン利用者のながら歩きをリアルタイムに、かつ、精度良く検出するための一方式を提案した。実験により、特定の状況下では検出精度が下がってしまうことや誤検出の可能性があることが分かった。今後はリアルタイム性を損なわない方法で、ながら歩きの検出制度を更に向上させる方法を検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 「2011年度 携帯電話の利用実態調査」を実施, <http://www.ciaj.or.jp/jp/pressrelease/pressrelease2011/2011/07/27/7236/>
- 2) 道路交通法, <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S35/S35HO105.html>
- 3) 駅ホーム“ながら歩き”で死傷事故増加, <http://www.news24.jp/articles/2011/12/05/07195796.html>
- 4) 倉沢 央, 川原 圭博, 森川 博之, 青山 友紀: センサ装着場所を考慮した3軸加速度センサを用いた姿勢推定手法, 情報処理学会研究報告. UBI, [ユビキタスコンピューティングシステム] 2006(54), pp.15-22.(2006)
- 5) 池谷 直樹, 菊池 匡晃, 長 健太, 服部 正典: 3軸加速度センサを用いた移動状況推定方式, 電子情報通信学会技術研究報告. USN, ユビキタス・センサネットワーク 108(138), pp. 75-80, (2008).
- 6) 小林 亜令, 岩本 健嗣, 西山 智.: 釈迦: 携帯電話を用いたユーザ移動状態推定・共有方式, 電子情報通信学会技術研究報告. MoMuC, モバイルマルチメディア通信 108(44), pp.115-120, (2008).
- 7) デジタル画像処理編集委員会, デジタル画像処理, CG-ARTS 協会, (2006)
- 8) B.Lucas and T.Kanade, "An iterative image registration technique with an application to stereo vision," In Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp.674-679, (1981)
- 9) OpenCV, <http://opencv.jp/>
- 10) 森田 順也, 岩井 儀雄, 谷内田 正彦, 室内における背景画像の推定と影の除去, 情報処理学会論文誌. コンピュータビジョンとイメージメディア 44(SIG_9(CVIM_7)), pp.105-114, 2003
- 11) 田中 達也, 島田 敬士, 有田 大作, 谷口 倫一郎, ノンパラメトリックな動的背景・影モデルに基づいた映像からの物体抽出, 情報処理学会研究報告. CVIM, [コンピュータビジョンとイメージメディア] 2007(42), pp.105-112, (2007)
- 12) 田中 宙夫, 鎌田 卓治, 森江 隆, 光源の色情報を用いた影検出・除去, 情報科学技術フォーラム講演論文集 8(3), pp.151-152, (2009)