

複合音の送受信によるシニアカーと自転車の接近検知 および接近方角検出手法

阿部 太一†

平川 豊‡

† 芝浦工業大学大学院理工学研究科

‡ 芝浦工業大学工学部情報工学科

1. 研究背景

日本の高齢化率は年々増加しており、今後も高齢化は進行すると予測されている。それに伴い、高齢者の日々の生活を支援するシニアカーの利用者も増加することが予想される。しかし、シニアカーの交通事故は毎年 200 件前後発生しており[1]、利用者の増加とともに交通事故件数も増加すると考えられる。また、全交通事故に占める自転車関連事故の構成比は約 20%前後で横ばい傾向が続いている[2]と同時に、対歩行者、対自転車の自転車事故の発生件数は減少があまり見られないことから、歩行者と自動車、および道路交通法上歩行者として扱われるシニアカーと自転車との交通事故は今後も多数発生することが予想される。

本研究では、高齢者が多い生活道路での使用を想定して、シニアカーユーザと自転車ユーザが持つスマートフォンを用いて接近を検知する手法を検討する。

2. 関連研究

歩行者と自転車との接近検知手法としては、GPS 情報と Bluetooth 通信を用いた手法が検討されている[3]。これは自身のスマートフォンと近接するスマートフォンとを Bluetooth で接続し、それぞれの GPS 情報から計算されたユーザ間の距離が閾値より小さければ両者のスマートフォンに警告するシステムである。

この研究では Bluetooth の電波強度が Class1 (通信距離約 100m) であるスマートフォンを使用し、ユーザ間の距離が 30m 以下になった時点で警告することにより、100%の確率で衝突が回避できることを示している。しかし、スマートフォンに搭載されている Bluetooth の電波強度はほとんどが Class2 (通信距離約 10m) であり、衝突回避はほぼ不可能である。また、Bluetooth 通信にはお互いの端末を認証するペアリングが必要であることから、歩行者や自転車の接近検知には適さない。

3. 提案手法

3.1 手法概要

本研究で提案する手法は、ユーザの所有するスマートフォンを用いて 2 つの周波数の複合音を送受信することにより接近検知および接近方角検出を行う。

本手法のシステム構成を図 1 に示す。ユーザが使用するアプリ内で予め交差点の位置情報を登録しておく。シニアカーユーザのスマートフォンで現在の位置情報を取得する。その履歴から交差点に対する接近方角を検出し、その方角に割り当てられた 2 つの周波数の複合音を送信する。自転車ユーザはハンドル部分にスマートフォンを設置し、録音と同時にリアルタイム解析を行う。接近検知および接近方角検出をしたらユーザに警告する。

3.2 使用する音の周波数

音の周波数について一般的には 20kHz 以上が非可聴音とされているが、16kHz 以上は聞き取りにくい。また、スピーカやマイクの特長により 21kHz 以上はほかの周波数に比べて振幅が小さい傾

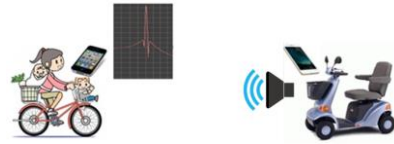


図 1 システム構成

向にある。そこで本手法では 16.5kHz~20.0kHz の周波数帯を表 1 のように 0.7kHz 毎に 6 つに分け、2 音の複合音の組み合わせを図 2 のように 8 方角に割り当てる。この周波数帯を用いることでユーザに音を感知させることなく通信できる。シニアカー側が交差点に対して北から接近する場合は $(a_0 + b_0)$ の複合音を、西から接近する場合は $(a_1 + b_2)$ の複合音を送信することで、自転車側は接近検知と同時に接近方角の検出が可能となる。

表 1 使用する音の周波数 [kHz]

	a_0	a_1	b_0	b_1	b_2	b_3
周波数	16.5	17.2	17.9	18.6	19.3	20.0

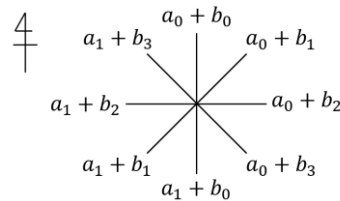


図 2 接近方角と周波数

また、本研究では接近しながら音波の送受信を行うため、ドップラー効果を考慮する。したがって、周波数 f kHz の音波を検知する際に $f \sim f + 0.5$ kHz の周波数帯に接近検知アルゴリズムを適用する。

3.3 接近検知アルゴリズム

自転車側は録音と同時にリアルタイム解析として約 0.093 秒ごとの録音データフレームについて高速フーリエ変換 (FFT) を行って周波数スペクトルを求め、レベル表現したのち、接近判定を行う。FFT に用いたサンプリングレートは 44.1kHz、データ長は 4096 である。ここで本研究では、接近検知手法について 3 つの手法を提案する。

手法 1. 閾値設定

本手法では録音データから検出される信号音レベルが一定の閾値を超えたら接近を検知したと判断して警告する。

手法 2. 周辺周波数帯との差による検出

本研究の音の送受信において 17.0~17.2kHz, 17.7~17.9kHz, 18.4~18.6kHz, 19.1~19.3kHz, 19.8~20.0kHz, 20.5~20.7kHz の周波数帯は使用されていない。そこで本手法ではこれらの周波数帯の平均雑音レベルを算出し、差分レベル (信号音レベル - 平均雑音レベル) が一定値以上となれば接近を検知したと判断し、警告する。

手法 3-1. 履歴を用いた検出 (2/3)

本手法では過去 3 フレームのうち 2 回検出していたら警告する。各フレームでの検出は手法 2 と同様に行う。

手法 3-2. 履歴を用いた検出 (3/5)

本手法では過去 5 フレームのうち 3 回検出していたら警告する。各フレームでの検出は手法 2 と同様に行う。

Detecting Approach and the Direction for Mobility Scooters and Bicycles Using Complex Sounds

†Taichi Abe, ‡Yutaka Hirakawa

†Electrical Engineering and Computer Science, Shibaura Institute of Technology, Tokyo, Japan

‡Computer Science and Engineering, Shibaura Institute of Technology, Tokyo, Japan

4. 評価実験

4.1 警告距離に関する評価

大通りの交差点で本実験用データの録音を行った。交差点は道が広く音が反響しにくい環境である。また曲がり角にはコンクリートの壁が建てられており、見通しが悪いうえに音が通り抜ける可能性は低い。衝突が予想される位置から一方に5m離れた地点にスピーカを設置し、他方で20m地点から5m地点まで0.5m毎に停止して、各方向に割り当てる8通りの複合音について録音を行った。これを2回行い、それぞれデータ1、データ2とした。

本評価では送受信した複合音と異なる複合音を検出した場合を誤検知と定義する。誤検知率が高いとユーザに必要以上の確認行動を促すことになるが、誤検知率0となるように閾値や差分レベルを設定すると、検出すべき周波数さえも検知漏れしてしまう危険性がある。そこで各接近検知アルゴリズムを適用し、誤検知率が0.05未満となるような閾値(手法1)および差分レベル(手法2, 3-1, 3-2)を求めた。結果を表2に示す。

表2 誤検知率が0.05未満となる閾値および差

	手法1 (閾値)	手法2 (差分レベル)	手法3-1 (差分レベル)	手法3-2 (差分レベル)
データ1	-93 dB	12 dB	12 dB	11 dB
データ2	-91 dB	12 dB	11 dB	11 dB

誤検知率が0.05未満となるそれぞれの閾値および差分レベルについて、距離と検知率の関係をグラフにした。データ1を用いた手法2における複合音($a_0 + b_0$)の例を図3に示す。これと矩形関数との平均二乗誤差が最小となるような矩形の境界を求め、これを警告距離とした。各データ、各手法から求められる8方向の警告距離から算出した平均警告距離を図4に示す。

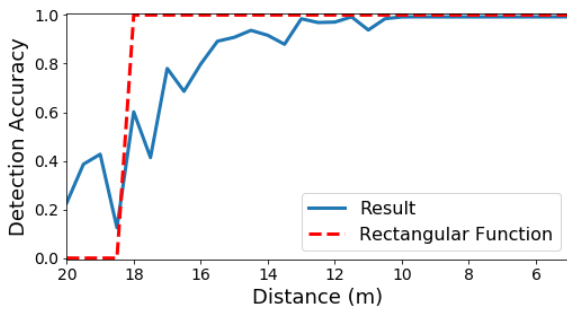


図3 手法2の距離と検知率の関係

平均警告距離 (m)	手法			
	手法1	手法2	手法3-1	手法3-2
データ1	14.75	17.44	17.44	17.94
データ2	13.56	16.31	17.56	17.56

図4 各データ、各手法における平均警告距離

手法1に比べ、手法2, 3-1, 3-2の警告距離が大きくなった。差分レベルを用いることで、一時的な環境雑音等に追随し、十分な警告距離が得られたと考えられる。

4.2 検知精度に関する評価

4.1と同様の環境で本実験用データの録音を行った。衝突が予想される位置から一方に5m離れた地点にスピーカを設置し、他方で20m地点から5m地点までの15mを1.5m/sで接近しながら録音を行った。送受信した複合音は($a_0 + b_0$)と($a_1 + b_1$)の2通りで、

それぞれ2回ずつ計4回録音した。

本評価では、以下のように定義する。

- ・誤検知：送受信した複合音と異なる複合音の検知
- ・検知ぶれ：送受信した複合音が一旦検知されたのち、非検知(検知漏れ)となること
- ・検知状態で安定する距離：のちに一度も非検知(検知漏れ)が発生しないような、送受信した複合音の検知距離

接近検知システムにおいて、誤検知や検知ぶれが多いとユーザの不必要な回避行動を促し、ユーザにとって利用しにくいシステムとなりうる。そこで各データについて差分レベルを12dBに設定し、誤検知回数と検知ぶれ回数、検知状態で安定する距離を算出した。複合音($a_0 + b_0$)の例を図5に示す。

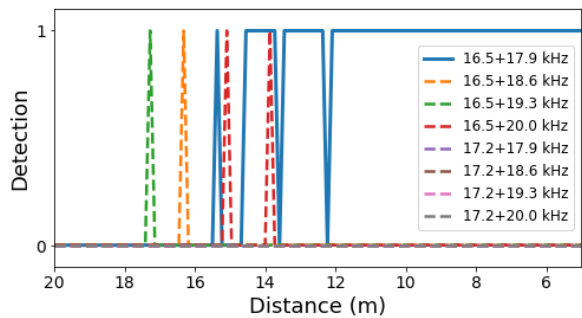


図5 距離と検知・非検知の関係

図5では誤検知が4回、検知ぶれが3回発生しており、12.09m地点から検知状態で安定している。4つのデータから得られた平均値を表3に示す。

表3 検知精度

	手法2	手法3-1	手法3-2
誤検知回数(回)	5.25	1.25	0
検知ぶれ回数(回)	5.75	1.25	1.25
安定する距離(m)	12.38	13.52	13.38

手法2に比べ、手法3-1, 3-2の誤検知や検知ぶれが少なくなつた。履歴を用いることで、環境雑音等に起因するフレーム単体での突発的な誤検知や検知ぶれを防ぐことができたと考えられる。また、手法3-1, 3-2では誤検知や検知ぶれを減らしつつ、検知状態で安定する距離を十分に確保できたことから、検知の精度においてもユーザ視点においても有効な手法であるといえる。

5. まとめと今後の課題

本研究では人間の耳に聴こえにくい複合音の送受信によるシニアカーと自転車の接近検知および接近方向検知手法を提案した。差分レベルを用いることで警告距離が向上した。また履歴を用いることで、高い検知精度を保ちながらユーザにとって認識しやすい接近検知が可能になることを示した。

今後の課題として、GPS情報を用いた接近方向の検出手法について検討する必要がある。

参考文献

- [1] 警察庁, “電動バイクの交通事故”, https://www.mpa.go.jp/koutsuu/kikaku13/shi_04jikoittai.pdf
- [2] 警察庁, “平成29年における交通死亡事故の特徴等について”, <https://www.mpa.go.jp/toukei/koutuu48/H29siboubunnseki.pdf>
- [3] 吉田裕幸, 中野美由紀, 渡辺柚佳子, 菅谷みどり, “移動体位置情報を利用した接近検知における自転車と歩行者の事故防止システム”, 情報処理学会研究報告, Vol.2015-UBI-46, No.10, pp.1-8, 2015-05