

スマートフォンを用いた音響センシングによる 歩道路面状況推定手法の提案

金澤 玲実[†] 石田 繁巳[†] 白石 陽[†]

公立はこだて未来大学システム情報科学部[†]

1. はじめに

歩道路面の湿潤や凍結によって転倒・転落するなど、路面状況に起因する歩行者の事故が問題となっている。こうした事故が起こる一因として、歩行者が路面状況を事前に把握できず、降雨後のぬかるみや冬季の積雪・凍結などの予期しづらく不安定な場所を通行してしまうことが考えられる。安全かつ快適な歩行を実現するためには、歩道路面状況を把握することが重要となる。歩道路面状況を把握することで、路面状況を考慮した経路案内や適切な靴の推薦といった歩行者支援を行うことが可能となる。

しかし、歩道路面状況については十分な情報提供が行われていない。北海道の冬期における歩道路面の滑りやすさを予報する「つるつる予報 (R)」のように特定の地域や路面状況を対象とした推定および情報提供は行われているものの、広範囲かつ多様な歩道路面状況を対象としたサービスは提供されていない。また、歩道路面状況の推定に関する既存手法では、推定対象となる路面状況が限られる、デバイスの装着による手間やコストがかかるなどの問題がある。

著者らは、スマートフォンの内蔵マイクを用いた音響センシングによって歩道路面状況を推定する研究を行っている[1]。先行研究では、実際に4種類の路面状況を歩行し、収集した音響データを用いて歩道路面状況の推定に使用する音響特徴量を検討した。しかし、それぞれ異なる手法で抽出した複数の音響特徴量同士を組み合わせた場合については検証を行っていない。

本稿では、6種類の路面状況で収集したデータから音響特徴量を抽出し、各音響特徴量を組み合わせて検証した結果を報告する。

2. 関連研究

歩道路面状況を推定する手法としては、慣性センサを用いる手法[2]や圧力センサを用いる手法[3]、音響センサを用いる手法[4]などが報告されている。

藤井ら[2]は、スマートフォンの加速度データを用いて路面状況を推定している。路面の形状に応じて歩行動作が変わることに着目し、平坦な道、段差、傾斜の緩やかな坂道をそれぞれ約70%, 60%, 30%の精度で推定できることを示している。しかし、慣性データのみを用いた路面状況推定では、タイル舗装路の乾燥・湿潤状態といった歩行動作への影響が少ない路面状況の推定が困難であるという課題がある。

若林ら[3]は、圧力センサを装着したインソール型デバイスを用いて路面状況を推定している。路面状況に応じ

て足の接地動作が変わることに着目し、冬季の積雪や凍結などの路面状況を平均97%の精度で推定できることを示している。しかし、圧力データのみを用いた路面状況推定では、推定対象とする路面状況と硬度に近い路面状況を区別できずに誤推定する可能性がある。また、デバイスを靴に装着する手間や導入コストがかかる。

三嶽ら[4]は、靴に装着した慣性センサとマイクを用いて路面状況を推定している。慣性データの統計量と歩行音のMFCC (Mel Frequency Cepstral Coefficients) を用いて、砂利道や水たまりなどの路面状況を平均83%の精度で推定できることを示している。しかし、マイクを搭載したスマートシューズの使用を想定しており、デバイスの特殊性から参加型センシングにおける収集者の確保が困難であると考えられる。

本研究では、センシングデバイスとしてスマートフォンを用いることで、専用デバイスの装着による負担や導入コストを抑えることができると考える。

3. 提案手法

図1に提案する歩道路面状況推定手法の概要を示す。

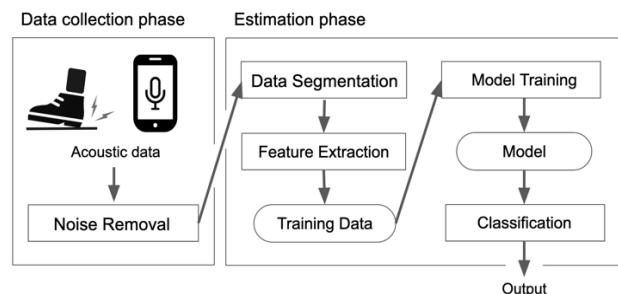


図1 推定手法の概要

図1に示すように、推定手法は2フェーズで構成される。Data collection phaseではスマートフォンを用いて音響データの収集を行い、収集したデータに対し雑音除去処理を施す。Estimation phaseでは、入力された音響データの分割や特徴量抽出、機械学習モデルの構築処理を行い、路面状況推定の結果を出力する。フェーズ内の各処理については以下で詳述する。

Noise Removalでは、簡易的な雑音処理を行う。まず、ステレオ形式で収録された音響データのうち、平均振幅値が小さいチャンネルのデータを抽出することで、より雑音が少ないデータに変換する。その後、突発的な風音や車両走行音などの雑音が混入した区間を除去する。具体的には、音響データの平均振幅値をもとに閾値を定め、閾値を超える振幅値を含む区間を雑音部として除去する処理を施す。

Data Segmentationでは、音響データから固定長の音響データを切り出す。1データの長さは、平坦な道で1分間

A Proposal of a Method for Estimating Sidewalk Surface Condition Using Acoustic Sensing with a Smartphone

[†]Remi Kanazawa [†]Shigemi Ishida [†]Yoh Shiraishi

[†]School of Systems Information Science, Future University Hakodate

に100歩進むと仮定した際に3歩分の歩行音が含まれるよう2秒分とする。切り出しはオーバーラップ率0%で行う。

Feature Extraction では、切り出した音響データから音響特徴量を抽出し、路面状況の正解ラベルとともに学習データとする。本稿では表1に示す音響特徴量を抽出する。なお、各音響特徴量の概要については次の通りである。表1(1)は、メルフィルタバンクを適用したケプストラム係数で、スペクトルの概形を表す数値列を指す。表1(2)は、周波数帯域を絞ったCQT (Constant-Q Transform) で得たスペクトルの数値列を指す。表1(3)は、スペクトル分布の85%を占める周波数を分析フレームごとに算出した数値列を指す。表1(4)は、音響データ内に一定間隔で刻まれるリズムの速さを推定した値を指す。

表1 特徴量一覧

音響特徴量	次元数
(1) MFCC	20
(2) CQT	24
(3) Spectral Rolloff	28
(4) Tempo	1

Model Training では、抽出した特徴量を用いて教師あり学習を行う。本稿ではアルゴリズムとして、少ないデータ数で安定した推定結果が得られる手法であるSVM (Support Vector Machine) を用いる。標準化した学習データを用いてモデルを学習し、構築したモデルを用いたClassificationにて推定を行う。

4. 評価実験

4.1 実験環境

実験に用いる音響データの収集は、図2に示す6種類の路面状況にて行った。なお、図2(e)は靴が雪に埋もれない程度、図2(f)は靴が完全に埋もれる程度の積雪状態を指す。データ収集者は1名で、靴は全ての路面状況で同一である。データ収集時はスマートフォンを腰に固定し、マイクを遮蔽せずに収録した。デバイスの録音形式はステレオで、サンプリング周波数は44.1kHzである。

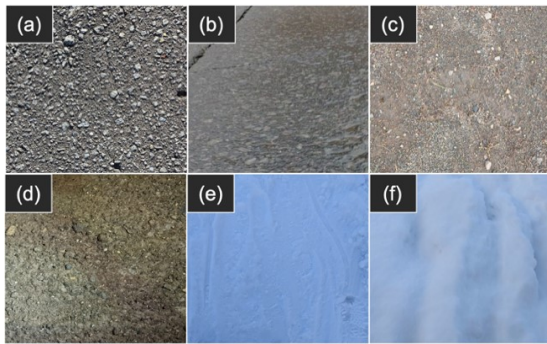


図2 データ収集路面

(a) 乾燥状態のアスファルト舗装路 (b) 湿潤状態のアスファルト舗装路 (c) 乾燥状態の未舗装路 (d) 湿潤状態の未舗装路 (e) 薄雪路 (f) 深雪路

4.2 評価方法

評価実験では、各音響特徴量のみを用いた場合と、複数の音響特徴量を組み合わせた場合の推定精度を5分割交差検証にて評価した。学習データとして各路面状況500(計3,000)の音響データを使用した。評価指標としてF

値をマクロ平均で算出した。

4.3 評価結果

評価実験の結果を表2に示す。表2からわかるように、単独使用ではMFCCの推定精度が92.8%と最も高くなった。また、クラス数増加に伴い、CQTの推定精度が先行研究[1]から3.6%低下したのに対し、MFCCの推定精度は2.8%高くなった。これらのことから、汎用的に路面状況を推定するにあたってMFCCを特徴量として用いることが最も有効であると考えられる。

また、MFCCに対してCQTやSpectral Rolloff、Tempoをそれぞれ組み合わせることで推定精度を向上させることが確認できた。特に、Tempoは単独使用での精度が37.5%と低いものの、MFCCと組み合わせた際の推定精度が95.7%と最も高くなった。これは、雪路のように歩きづらく、歩行リズムが変わりやすい路面状況を推定する特徴としてTempoが有効であったためと考える。

表2 推定精度評価結果 (%)

音響特徴量	F 値
MFCC [1]より	90.0
CQT [1]より	88.4
MFCC	92.8
CQT	84.8
Spectral Rolloff	68.3
Tempo	37.5
MFCC + Spectral Rolloff	94.7
MFCC + Tempo	95.7
CQT + Tempo	86.9
CQT + Spectral Rolloff	63.8
Spectral Rolloff + Tempo	67.5

5. おわりに

本研究の目的は、安全かつ快適な歩行に向けた支援のため、スマートフォンを用いた音響センシングによって歩道路面状況を推定することである。本稿では、歩道路面状況の推定に使用する特徴量について評価し、MFCCに歩行リズムに関する特徴量であるTempoを組み合わせることが有効であると確認した。

今後は、音響データに雑音を付与した場合での評価実験を行い、背景雑音が推定に及ぼす影響について調査する。併せて、データ収集状況の違いに対応した推定手法を検討する。

参考文献

- [1] 金澤玲実, 石田繁巳, 白石陽, スマートフォンを用いた音響センシングによる歩道路面状況推定に向けた特徴量の検討, 情報処理学会研究報告(ITS), 87(23), pp.1-6 (2021).
- [2] 藤井海斗, 羽田野真由美, 西田京介, 戸田浩之, 澤田宏, 鹿島久嗣, 歩行者クラウドセンシングによる路面状況の推定, 第8回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム, D6-5 (2016).
- [3] 若林勇汰, 白石陽, インソール型デバイスによる路面状況推定手法の冬季環境への適用, 情報処理学会研究報告(MBL), 98(30), pp.1-7 (2021).
- [4] 三嶽寛人, 渡邊拓貴, 杉本雅則, 足音と慣性データに基づく路面状況認識手法, 情報処理学会論文誌, 61(10), pp.1578-1590 (2020).