

スマートフォンを用いた自転車走行時の路面信号抽出機構の設計

小花 祐輔† 高橋 淳二† 狐崎 直文† 戸辺 義人† Guillaume Lopez†

青山学院大学理工学部情報テクノロジー学科†

1. はじめに

道路のメンテナンスの問題として路面状況の調査が十分に行われていないという問題がある。この大きな原因として、調査範囲が広大で網羅的な調査を行うためには膨大なコストがかかってしまうという問題がある。そこで、本研究では低コストかつ網羅的な調査を実現するために、自転車とスマートフォン（以下、端末とする）のみを利用した路面の調査方法を提案する。端末を持って自転車に乗るのは一般ユーザを想定している。端末を走行者の太腿部に装着することでその加速度センサから加速度信号を取得する。収集した加速度信号には走行者のペダリング信号と路面信号が混在していると考えられる。そこで、収集した加速度信号に対して、独立成分分析を用いることで信号の分離を行う。分離された路面信号から路面の故障個所の特定を行う。

2. 関連研究

本研究の関連研究として、プローブバイシクル¹⁾がある。これは自転車に3軸加速度センサ、サイクルコンピュータ、GPS等を取り付け、自転車の走行環境の調査を行うというものである。しかし、自転車自体にセンサを取り付ける場合、取り付けるための特殊な器具などが必要となる。これは、多数の自転車から収集を行うことを想定した場合、コスト面から考えても有用であるとは言い難い。一方、本研究では携帯端末一つを有していれば路面の調査を行うことができる。自転車自体にセンサを取り付ける必要もないため、一般ユーザでも簡易的な方法で調査を行うことが可能である。

3. 独立成分分析の路面信号分離への適用

独立成分分析（ICA: Independent Component Analysis）とは、並列的に得られる観測信号から隠された因子や成分を推測するための手法である²⁾。信号源や混成過程が未知であっても源信号の推定を行うことができる。

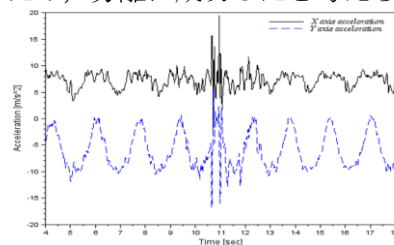
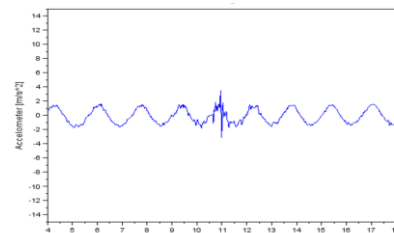
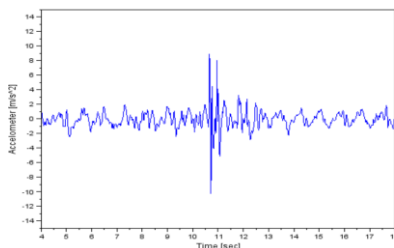
ICAの定義について述べる。 t を時間または標本番号とし、複数の確率変数の観測値の集合 $(x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))$ が与えられているとする

と、信号源の信号の集合 $(s_1(t), s_2(t), \dots, s_n(t))$ は信号源 s_i ($i=1, \dots, n$)が観測信号 x_i に伝わるまでの信号の増減を表現する分離行列 W を用いて以下のように表される。

$$\begin{pmatrix} s_1(t) \\ s_2(t) \\ \vdots \\ s_n(t) \end{pmatrix} = W \begin{pmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ \vdots \\ x_n(t) \end{pmatrix} \quad (1)$$

ICAでは、「信号源が統計的に独立である」という仮定のみを用いて s_i の独立性が最大になるように W との同時推定を行う。ここで統計的に独立であるとは、信号源が非ガウス分布に従うことを意味する。本稿では、他のICAアルゴリズムと比べ収束の速いFastICAにより観測信号の分離を行う。

予備実験として、ICAによる分離が可能であるかの検証を行った。大腿部に端末を装着して段差を通過し取得した x, y 軸の加速度信号（それぞれ x_1, x_2 とする）とICAによって分離された結果 (s_1, s_2) をそれぞれ図1, 2, 3に示す。路面信号には取得したペダリング信号のような周期性は見られないため、分離に成功したと考えられる。

図1 取得した加速度信号(x_1, x_2)図2 ICAにより分離されたペダリング信号(s_1)図3 ICAにより分離された路面信号(s_2)

Design of Extracting of Cycling Roads Signal Using Smartphones

†Yusuke KOBANA, Junji TAKAHASHI, Naofumi KITSUNEZAKI, Yoshito TOBE, Guillaume Lopez

†Department of Integrated Information Technology, College of Science and Technology, Aoyama Gakuin University

4. 段差分類アルゴリズム

本研究では、路面の一つである段差の分類を行う。その中でも核となる登り段差（PS: Positive Step）と下り段差（NS: Negative Step）、平地（FL: Flat）に加えて、凸段差（CS: Convex Step）の分類を行う（図5）。

4.1 NSの分類アルゴリズム

まずはNSの判定を行う。ICAにより取得した信号 s_1, s_2 のうち、周期性のない方を路面信号 $R(t)$ とし、それに対し閾値を設け、一定の時間内に超えた正方向の閾値の時間を段差の発生時間 t_{pstep} とする。次に t_{pstep} から短時間前 t_{pre} の加速度の負方向の変化量 A_{minus} を算出する。NSの場合は段差発生の前に自由落下が生じるため、この変化量がPSやCSの場合と比較して大きい値をとる。これを利用してNSとPS,CSの分類を行う。負方向の変化量の閾値を M_{thre} とし、段差分類アルゴリズムを図4のように定義する。

```

 $A_{minus} = 0$ 
for  $t = t_{pstep} - t_{pre}$  to  $t_{pstep}$ 
  if  $R'(t) < 0$  then
     $A_{minus} = A_{minus} + R'(t)$ 
  endif
end

if  $A_{minus}^2 > M_{thre}$  then
  Road condition ← Negative Step
else
  Road condition ← Positive Step
endif
    
```

図4 NS分類アルゴリズム

4.2 PSとCSの分類アルゴリズム

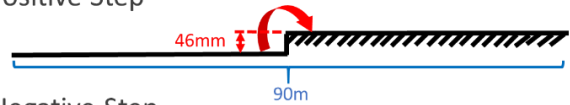
次に、Not NSと判定された段差に対して、PS,CSの分類を行う。PS,CSの分類には、路面信号の負方向の閾値を超えたピーク値を用いる。これはPSの場合、自由落下が生じないため、CSと比較して負方向の加速度の変化が少ないことに基づいている。負方向の閾値を超えた時間を t_{nstep} とする。 t_{nstep} に対して短時間後 $t_{interval}$ に検出した負方向の閾値を超えたピークの数 N_{minus} とする。 $N_{minus} \geq 4$ となる場合にCSであると判定する。それ以外の場合はPSと判定する。

5. 実験

実験では、端末をポケットに入れて自転車を走行することを想定し、大腿部に装着して行った。実験に用いた走行路を図5に示す。この走行路から取得した加速度信号に対して上記の分類アルゴリズムを適用する。試行回数はそれぞれ

の走行路に対して、50回ずつである。

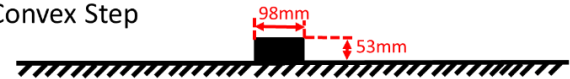
- Positive Step



- Negative Step



- Convex Step



- Flat



図5 実験走行路図

6. 実験結果

実験結果を表1に示す。全体的な段差の分類精度としては76%であったが、PSとCSの分類に低い精度がみられた。

表1 実験結果

		正解			
		PS	NS	CS	FL
検 数	PS	38	4	8	0
	NS	6	42	8	0
	CS	6	4	34	0
	FL	0	0	0	50
正答率		76%	84%	68%	100%

7. むすび

本稿では自転車を用いた路面信号の取得方法として、ICAを用いた手法と段差の分類方法を提案し、精度の検証を行った。PSとCSの分類精度が低かった原因としては、段差を通過した際のペダリング運動や端末の向きにより加速度が正確に取得できなかったことが考えられる。より詳細な加速度の取得過程を検討していく必要がある。また、今後の課題として分類できる路面形状を増やしていくこと、実用面として路面の故障箇所マップの作成などを行っていくことが挙げられる。

8. 参考文献

[1] 山中 英生, 土岐 源水, 二神 彩, 亀谷 一洋, "プローブバイシクルを用いた自転車利用環境の評価", 土木計画学研究, Tohoku, Japan, 2002
 [2] Hyv"arinen, A. Karhunen, J. and Oji, E., "Independent Component Analysis", John Wiley & Sons, 2001(根本 幾・川勝 真喜(訳), "独立成分分析-信号解析の新しい世界-", 東京電機大学出版)