

収集走行ログを用いた自転車走行路と勾配推定による 電動アシスト自転車制御

内田 匡哉^{1,a)} 栗原 和也^{1,b)} 桧垣 博章^{1,c)}

概要: 電動アシスト自転車は、ペダル踏力上昇と走行速度低下を検知することにより電動アシストを開始するが、ふらつきの拡大などによる安全性と乗り心地の一時的な低下を避けることができない。本論文では、各電動アシスト自転車が収集した走行ログ、アシスト記録を用いることによって自転車走行路とその勾配を推定し、これに基づいて登坂走行路手前から電動アシストを開始することによって、安定走行と電力消費のより良いトレードオフを実現する方法を提案する。

キーワード: 電動アシスト自転車, 走行ログ, アドホック通信, 走行路推定, 勾配推定

E-bicycle Control According to Estimation of Road Map and Slope based on Shared Travel Logs

Abstract: Electrical support in an e-bicycle is initiated in accordance with the increase of pedall torque and the speed reduction. Hence, it is inevitable for the users of e-bicycles to suffer the temporary reduction of safety and comfortableness due to enhanced unstability. This paper proposes a novel e-bicycle control where the electrical support is initiated just before it enters the slope based on the estimation of the road map and the slope of roads. Though the map and the slope information are mandatory for the estimation based assistance, there are no efficient such information available for e-bicycle users. Thus, in our proposal, tranvel logs, i.e. both the geographical information and the assist records of each e-bicycle are shared with the regional e-bicycles. The sharing is realized by ad-hoc communication where neighbor e-bicycles exchange their own information. By our estimation based e-bicycle control, better tradeoff between stable riding and low battery power consumption is anticipated.

Keywords: E-bicycles, Travel Logs, Ad-Hoc Communication, Road Map Estimation, Slope Estimation.

1. はじめに

電動アシスト自転車はモータによって人力を補助する自転車であり、その利用により走行距離の延長、走行路選択自由度の拡大等の利便性拡大の効果が指摘されている [3]。登坂する電動アシスト自転車におけるアシストの要否およびそのアシスト量は走行速度とペダル踏力から算出されている。ここでは、走行速度低下とペダル踏力増加が観察された後にアシストが開始されるため、安全性と乗心地の低下

が避けられない。本論文では、自転車走行路傾斜情報と自転車走行路予測からアシスト量を算出する方法を提案する。ここで、正確な傾斜情報を含む自転車走行路は道路地図情報としての入手が困難であることから、各自転車の過去の走行路とアシスト量から推定される傾斜情報を含む走行ログを近隣自転車間で無線アドホック通信を用いて交換する。

2. 関連研究

登坂する自転車は次第に減速するが、その減速に対応して利用者のペダル踏力が増加する。その結果として、論文 [6] ではふらつきによる安全性の低下を指摘しており、電動アシスト自転車の必要性の高まりと普及をもたらしている。電動アシスト自転車は、道路交通法で定める規制の範囲内でより適切にアシスト制御を行なうことで、安全で負担の

¹ 東京電機大学未来科学部ロボット・メカトロニクス学科
Department of Robotics and Mechatronics, Tokyo Denki University

a) uchi@higlab.net

b) kurihara@higlab.net

c) hig@higlab.net

小さな乗心地の良い走行を提供することを目指している。論文 [10] にあるように、走行速度とペダル踏力を計測することでアシストの要否とアシスト量を決定することが一般的に行なわれている。また、多様なセンサの導入により、アシスト制御の改善を目指す研究がなされている [9]。

GPS 受信機や加速度センサを備えた自転車やスマートフォンを保持する歩行者の移動ログに基づいて走行路の推定や走行路の状態情報を集約する手法が提案されている。論文 [8] では、GPS 受信機と加速度センサを備えた自転車が走行時に振動状態を記録することによって走行路の路面状況を集約し、道路補修工事計画の基礎データとすることを提案している。また、論文 [5] では、GPS 受信機とアドホック通信機能を備えたスマートフォンにレーザレンジスキャナを併用し、建造物が倒壊する被災地域において、その移動経路とアドホック通信の可否から使用可能な道路を推定する手法が提案されている。このように、ユーザの位置およびユーザの備えたセンサの観測記録を集約したものは、以降の走行に役立てることが可能である。

3. 提案手法

本論文では、登坂する電動アシスト自転車のアシスト開始遅延による速度低下を原因とする安全性低下の問題を解決するために、自転車走行路傾斜情報と自転車走行路予測に基づいてアシストを開始することで、登坂開始時刻とアシスト開始時刻との差を縮小する手法を提案する。

図 1 に示すように、電動アシスト自転車は登坂による速度低下とそれとともなうペダル踏力の増加を観測することによってアシストを開始する。しかし、時速 15km で走行する自転車が傾斜角 9 度の登坂を行なう場合の走行速度とアシスト量の測定結果である図 2 の走行実験結果に示すように、登坂開始時刻からアシスト開始時刻までの遅延が大きな速度低下を招き、その後も速度の回復には長い時間を要している。この間のふらついた走行による安全性低下を回避するために、電動アシスト自転車が自転車走行路の傾斜情報を保持し、GPS 受信機によって得た電動アシスト自転車の現在位置情報およびその時間系列である自転車走行路に基づいて以降の走行路を予測し、推定された登坂開始時刻においてアシストを開始する (図 3)。

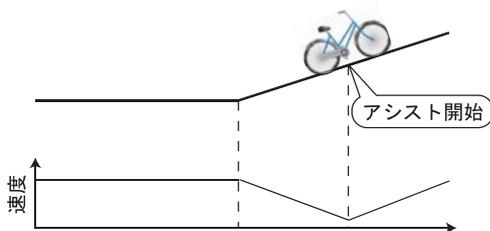


図 1 アシスト開始遅延.

ここで必要となる自転車走行路および傾斜情報について

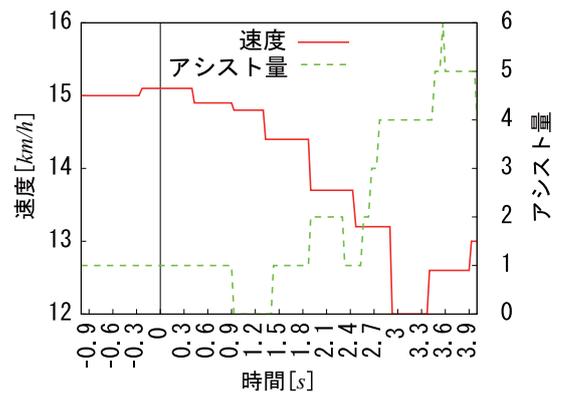


図 2 走行速度とアシスト量の測定結果.

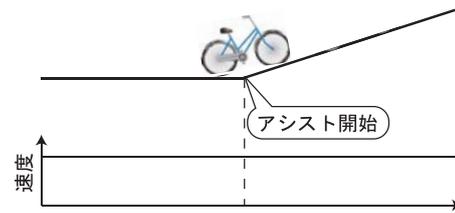


図 3 提案手法によるアシスト開始遅延の縮小.

は、現在、広く利用可能な情報が存在しない。自動車走行路は、道路地図情報としてカーナビゲーションをはじめとする多数の装置で利用されていることから、正確な情報を容易に入手することが可能である。しかし、自転車走行路には図 4 に示すような地下道や図 5 に示すような自転車走行可能な歩道を含んでおり、また、駅周辺や繁華街周辺という自転車利用頻度の高い領域にはこのような走行路が多く含まれている。ところが、自転車を対象とした経路探索サービスを用いてもこのような走行路を含む経路は検出されない。また、標高情報についても広く利用可能な実測に基づくデータ入手、利用することは困難であり、図 4 のようなつづら折りのような地下道の標高情報を提供するものはない。



図 4 道路地図に記載されない自転車走行路 (地下道).

そこで、本論文では、各電動アシスト自転車に GPS 受信機を備え、時刻、位置、アシスト量を順次記録することで、自転車走行路を検出し、その傾斜情報をアシスト量からの推定により取得する手法を提案する。前述のように、多くの自転車走行路は道路地図に記載されていないため、自転車



図 5 道路地図に記載されない自転車走行路(歩道).

走行路そのものを検出することが必要である。そこで、ある自転車が通過した経路は自転車走行路に含まれるという事実に基づいて、自転車の走行ログ、すなわち、ある時刻に自転車が存在した位置を記録し、記録に含まれる位置はすべて自転車走行路に含まれるとして走行路を推定する。ただし、図 6 に示す自転車 1 台 1 回の走行記録では自転車走行路を推定することはできない。しかし、図 7 に示すように走行ログを増加させることによって、より精確な自転車走行路推定が可能となる。

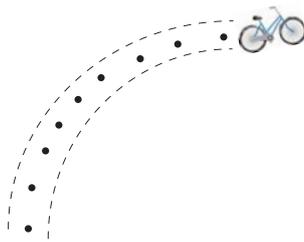


図 6 単一走行記録による自転車走行路推定.

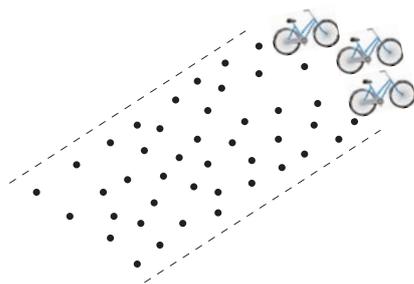


図 7 複数走行記録による自転車走行路推定.

そこで、より多数の走行ログから推定する方法を導入する必要がある。ここで、インターネットを経由してサーバコンピュータに各自転車の走行ログを集約するのはひとつの典型的な方法である。しかし、自転車走行は自動車走行に比べて局所性が高いことから、ある地域を走行する自転車の間でアドホックに情報を交換することによって、道路工事による通行不可等をより迅速に反映させることが可能

となる。本論文では、無線アドホック通信機能を用いて隣接電動アシスト自転車で走行ログ情報を交換することを提案する。

また、アシストの要否の判断とアシスト量の計算に必要なとなる自転車走行路の傾斜情報については、電動アシスト自転車自身のアシスト記録を用いることとする。GPS 受信機を備えることによって標高を取得することが可能となっているが、2次元位置情報と比較して標高の情報は誤差が極めて大きいことが予備実験によって明らかになっている [7]。ただし、アシスト量の計算においては、傾斜の有無および大小の情報のみが必要であり、標高の情報は不要である。そこで、アシスト記録のある自転車走行路は登坂路であり、その傾斜量はアシスト量から推定することとする。

走行した電動アシスト自転車の通過位置およびアシスト量から推定した各通過位置における傾斜量から自転車走行路およびその傾斜量を推定する方法について述べる。ここで、電動アシスト自転車は自転車走行路から逸脱することがないことを仮定すると、走行ログに記録された測定点を包含する形で走行路が存在することとなる。ここで、与えられた点群を包含する凸包を得る手法に包装法 [1,4] がある。これを用いて自転車走行路を得ることとする。また、測定されるアシスト量から推定した傾斜方向と傾斜量から登坂路領域を決定することができるが、アシストの開始が登坂路領域の開始から 5-6m 程度遅れることから、登坂路領域の開始点を 5-6m だけ後退させる処理を加える (図 8)。

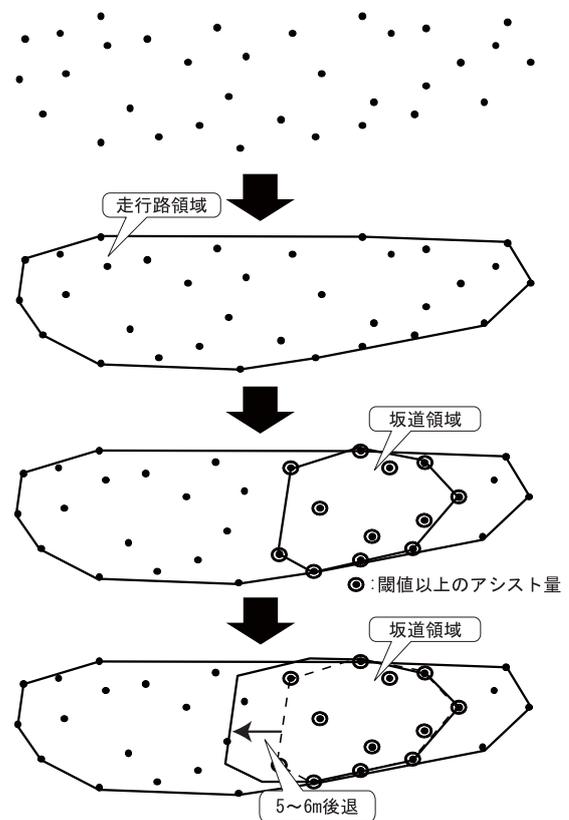


図 8 包装法による自転車走行路推定.

このようにして得られた傾斜情報を含む自転車走行路情報を用いて、登坂する自転車のアシスト開始時刻と登坂開始時刻との差を縮小する。分岐のない自転車走行路であるならば、GPS 受信機によって得られる現在位置を自転車走行路情報と対応付けることによって、登坂開始時刻に近い時刻にアシストを開始することができる。しかし、図 9 のような分岐する自転車走行路や図 10 のような交差点を含む自転車走行路においては、それぞれの経路によって走行路の傾斜状態が異なる場合、電動アシスト自転車の進行する走行路を推定することが必要である。



図 9 分岐を含む自転車走行路。



図 10 交差を含む自転車走行路。

そこで、各自転車の記録した走行路、すなわち、走行ログとして記録した位置情報の列を用いて、走行中自転車の走行路を推定する。ここでは、サンプリングレート異なるデータ系列の類似度を判定する手法である PAA 法 [2] を適用し、走行路間のユークリッド距離の平均が小さいものを類似度が高いとして評価する。前方に分岐を含む自転車走行路を走行中の電動アシスト自転車は、アシストの要否を判定するための計算時間とアシスト機構の起動時間から、分岐から一定距離までの測定に基づいてアシストの要否を判定しなければならない。ここで、提案手法では、この臨界点から一定距離の走行ログと現走行ログとを比較して最も類似度の高い走行ログを選択し、この選択された走行ログにしたがって分岐後の進行方向が選択されるものと推測する。

4. 評価

自転車走行路の推定手法の有効性を確認するために、以下の実験を行なった。末端に分岐を含む距離 30m 幅 3m の直線自転車走行路を走行する電動アシスト自転車の走行ログから推定される自転車走行路の面積が時間とともにどのように増加するかを測定した。電動アシスト自転車には Panasonic 社製 BE-EK63B, BE-ENHC544B を用いた (図 11)。



図 11 電動アシスト自転車。

合計 100 走行の走行ログを図 12 に、これに基づいて自転車走行路推定を行った場合に推定される自転車走行路の面積の変化を図 13 に示す。

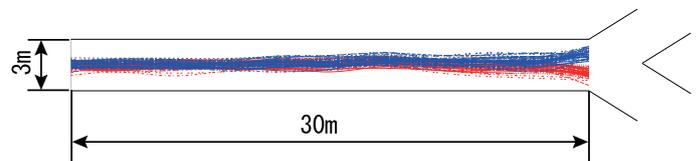


図 12 自転車走行ログ。

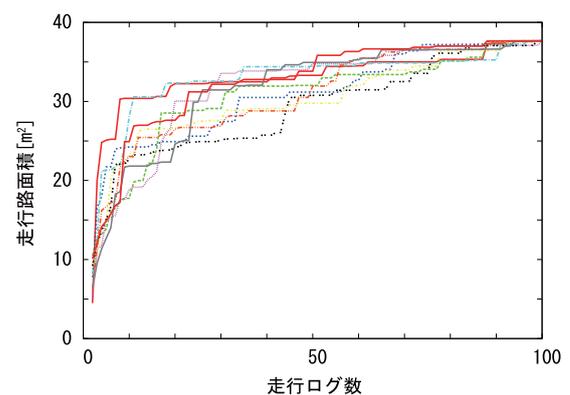


図 13 推定自転車走行路の面積変化。

走行ログ数の増加とともに自転車走行路は拡大するが、10 走行ログ以下では検出される走行路の広さのばらつきが大きい。概ね 30 走行ログで 80% 程度を網羅し、これを境にその拡大はゆるやかとなる。以上により、自転車走行経路の検出とその傾きの推定には 10 走行ログ以上は必要であ

り、30 走行ログ以上を得ても効果的ではないことがわかる。

また、分岐手前の電動アシスト自転車の走行路を予測する手法の効果を確認するために、以下の実験を行なった。上記と同様の末端に分岐を含む直線自転車走行路を走行する電動アシスト自転車の分岐後の走行方向を、分岐から 9m、15m 手前より 0-20m 区間の走行ログとの類似度を計算し、最も類似度の高いものの走行方向を予測走行方向とした場合の正答率を評価した。

分岐点以降に登坂路がある場合、電動アシスト自転車が分岐点以降ただちに必要な電動アシストを開始可能とするためには、判断限界点までに分岐後の走行路を推定しなければならない。この判断限界点から分岐点までの距離は、判断アルゴリズムの計算時間、モータ起動時間などによって定まる (図 14)。



図 14 自転車走行路予測。

なお、この正答率は走行ログ数にも依存すると考えられることから、比較対象走行ログ数を 5-95 とした。実験結果を図 15、16 に示す。図 15 の結果が図 16 の結果よりも正答率が高いのは、より分岐に近い位置までの情報に基づいて推定しているからであるが、これはハードウェアとソフトウェアの性能によって定まるものである。走行ログとの照合距離の延長に対して正答率は図 15、16 のいずれにおいても減少、増加、減少となっており、概ね 12.0m の走行ログと照合することが適切であることが分かる。また、走行ログ数に対しては単調に増加する傾向であるが、40 走行ログ以上で最適照合距離がほぼ一定となることが分かる。

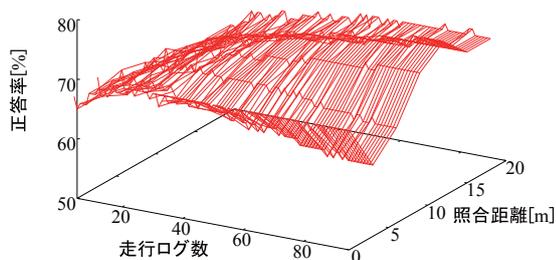


図 15 分岐後の走行方向推定 (9m)。

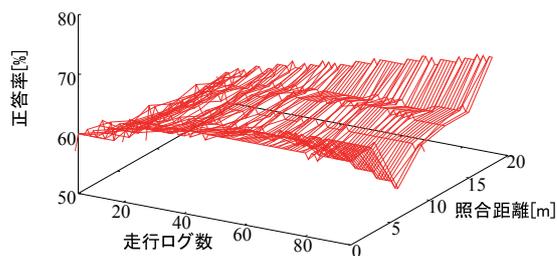


図 16 分岐後の走行方向推定 (15m)。

5. まとめ

本論文では、電動アシスト自転車のアシスト開始時刻が登坂開始時刻から遅延することによって走行安全性が低下する問題を解決するために、自転車走行ログに基づいて自転車走行路とその傾斜情報を取得し、現在の走行状態から走行経路を推定することで、分岐を含んだ経路を含めて、登坂開始時刻により近い時刻にアシストを開始する手法を提案した。ここでは、自転車走行路地図および自転車走行路の傾斜情報が入手困難であることから、電動アシスト自転車の走行ログ、すなわち、各時刻における位置とアシスト量から推定する方法、および、その推定精度を高めるために無線アドホック通信によって計算対象走行ログを増加させる手法を示した。また、分岐や交差を含む経路でのアシスト開始の可否を判断するための走行路推定手法を示した。

参考文献

- [1] Jarvis, R.A., "On the Identification of the Convex Hull of a Finite Set of Points in the Plane," *Information Processing Letters*, vol. 2, pp. 18-21 (1973).
- [2] Keogh, E., Chakrabarti, K., Pazzani, M., Mehrotra, S., "Dimensionality Reduction for Fast Similarity Search in Large Time Series Databases," *Knowledge and Information Systems*, vol. 3, pp. 253-286 (2001).
- [3] 稲垣, 三村, 安藤, "軌跡データに基づく走行挙動比較による電動アシスト自転車の回遊特性分析," *土木学会土木計画学研究*, vol. 28, pp. 683-688 (2011).
- [4] 稲葉, 藤澤, 矢川, "階層型バケットと包装法による並列メッシュ生成法," *日本機械学会年次大会講演論文集*, no. 1, pp. 37-38 (2002).
- [5] 井ノ口, 藤井, 山口, 東野, "レーザレンジスキャナとモバイル端末を活用した屋外地図推定," *情報処理学会論文誌*, vol. 53, no. 7, pp. 1757-1767 (2012).
- [6] 亀谷, 山中, 柿原, 横田, "坂道と発進時における高齢者の自転車走行特性," *土木学会土木計画学研究*, Vol. 39 (2009).
- [7] 相良, "集合知に基づく電動アシスト自転車の走行路起伏推定," *東京電機大学卒業論文* (2013).
- [8] 高橋, 松山, 柿澤, 清原, "スマートフォンを利用した二輪車による道路維持手法の提案," *情処研報*, vol. 2014-MBL-72, no. 1, pp. 1-6 (2014).
- [9] 松本, 大本, "表面筋電図を用いたペダリング運動時における負担度評価," *YAMAHA TECHNICAL REVIEW*, no. 46 (2010).
- [10] 三上, 坂巻, 渡邊, 李, "電動自転車のための駆動制御技術,"

東京都立産業技術研究所研究報告, vol. 4, pp. 1-6 (2001).