

令和 5 年 5 月 26 日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2022

課題番号：19K23478

研究課題名（和文）異なる知能化モビリティの走行データを活用して共創深化する地図情報基盤の開発

研究課題名（英文）Digital Map Information Platform for Co-Creation and Deepening by Utilizing Driving Data of Different Intelligent Mobility Systems

研究代表者

伊藤 太久磨（Ito, Takuma）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・講師

研究者番号：10847106

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、知能化自動車と知能化パーソナルモビリティのそれぞれにおいて必要となるデジタル地図の効率的なコンテンツ整備手法を考案した。まず、自動車とパーソナルモビリティにおいて地図情報を共有するための新たなデータ構造を検討した。また、自動車の道路線形情報をもとに、パーソナルモビリティの歩道線形情報を整備する手法を考案し、その情報をもとにしたパーソナルモビリティの自己位置推定の結果から、その実用性の評価を行った。さらに、パーソナルモビリティ走行時の車載センサデータから周辺交通参加者の移動情報を蓄積し、交差点周辺での飛び出しリスク評価に資する知識情報を構築する手法を考案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究が提案する手法は、歩車混合環境である生活道路等でのリスク情報整備による交通事故防止に貢献するとともに、そのような走行環境での高齢者の移動手段となる知能化パーソナルモビリティの実現に資する技術となっており、交通事故防止と新たな移動手段の確保という両面において社会的な意義を持っている。また、知能化モビリティの研究分野においてデジタル地図技術は欠かせないものとなっており、異種モビリティの走行データや地図データを活用する新たな方法論を考案したという点において、本研究の取り組みは学術的な意義を持っている。

研究成果の概要（英文）：In this study, we proposed an efficient method for developing digital map contents required for both intelligent automobiles and intelligent personal mobility. First, we designed a new data structure for sharing map information between automobiles and personal mobility. Then, we also proposed a method for preparing sidewalk-shape information for personal mobility via road-shape information for automobiles, and evaluated the practicality of this method based on the results of localization using this map information. Furthermore, we developed a method to accumulate information on the locomotion of surrounding traffic participants observed by onboard sensor data of personal mobility, and to construct knowledge information that contributes to the risk-evaluation around intersections.

研究分野：モビリティ工学

キーワード：パーソナルモビリティ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

現在の日本は世界に先駆けて高齢化が進展しており、超高齢社会の課題の一つとして高齢者のモビリティの問題が挙げられる。具体的には、都市部の高齢者の閉じこもりによる精神的な健康の悪化や、都市郊外の高齢者の自動車事故等が社会的な課題となっている。このような問題を解決するために、高齢者の安全な移動を支援する手段として自動運転車両やパーソナルモビリティ等の知能化モビリティの実用化が求められている。

近年の自動運転技術やパーソナルモビリティの技術開発では、外界環境認識において車載センサやインフラ側のセンサへの過度な依存を解消するために、デジタル地図の活用が検討されている。デジタル地図は車両台数を問わずに共通基盤として利用可能であり、現実的なコストでの車両側のシステム構築への貢献が期待されている。しかし、高度な車両制御を行うためにはそれに応じた高精度な地図が必要となるが、これまでにその地図整備の手法がシステム化されておらず、地図会社の熟練したオペレータの手作業によっているため、様々なコンテンツを含む地図整備のための人的・時間的コストが近年の課題とされてきた。

このような課題を解決するために、研究実施者は自動運転を含む知能化自動車のための新しいデジタル地図として LeanMAP (Lean:無駄のない) を開発してきた。また、自動車の走行データを活用したデータ駆動型のアプローチによって、既に整備されているカーナビ地図をベースに LeanMAP の道路線形情報を深化 (Deepening: 地図情報の補完と精緻化) させ、高度な車両制御が可能となる準高精度地図を整備する手法を提案してきた。しかし、交通事故類型の上位である対歩行者事故の防止のためには、自動車が走行する道路だけではなく、車道と接続される歩行空間に関する地図情報の追加整備が必要となる。一方で、歩行空間を走行するパーソナルモビリティの研究領域では、これまでに共通基盤となるデジタル地図は提案されておらず、歩道線形情報も整備されていないため、広域での運用に課題があった。この様に、これらの異なる二つの知能化モビリティのためのデジタル地図には実用化に向けた未解決課題が存在するが、その課題の要因は異なっており、それぞれの走行データが互いの未解決課題を解決できる可能性を有している。しかし、これまでにその活用手法は検討されておらず、学術的な方法論も確立されていない。

### 2. 研究の目的

本研究では、知能化自動車と知能化パーソナルモビリティの走行データを相補的に活用し、知的車両制御のため利用可能なデジタル地図構築の方法論を考案する事を目的とする。

この二種類の異なる知能化モビリティにおいて横断的に利用出来るリーンな地図情報システムはこれまでに提案されていない。特に、知能化パーソナルモビリティの走行環境は車道と分離された歩道もあれば、自動車と混在する道路も存在しており、それぞれの交通環境の特性を考慮した地図のデータ構造を設計することで、実用的かつ特色のあるデジタル地図となると考えられる。また、この研究を通じて、異なる特性を有する知能化モビリティの走行データの相補的な活用方法に関する知見が得られ、さらなるモビリティへの応用展開のための学術的な方法論の確立に寄与すると考えられる。

### 3. 研究の方法

本研究期間の研究目的を達成するための実施内容は以下の通りであった。

(1) 知能化自動車と知能化パーソナルモビリティの走行データを共用するための新たなデータ構造の設計

研究実施者は過去に自動車用のデジタル地図である LeanMAP を開発しており、そのデータ構造をベースとして、知能化パーソナルモビリティの各種機能に応用可能な新たなデータ構造の拡張を考案する。具体的には、知能化パーソナルモビリティの各機能に必要な地図情報の要件を整理し、その整理に基づいて新たなデータ構造を設計する。

(2) 自動車用の道路線形データをもとにしたパーソナルモビリティ用の歩道線形データの構築手法の開発

パーソナルモビリティが走行する歩道線形データを構築するために、隣接する車道線形データを転写する方法を開発する。転写した線形データの精度について、精度の良い RTK - GNSS で計測した結果をリファレンスとして評価を行う。また、転写した歩道線形データをパーソナルモビリティ走行時の自己位置推定のベース地図として利用する事で、その実用性の評価に取り組む。

(3) パーソナルモビリティの走行データをもとにした走行環境リスク情報整備手法の開発

パーソナルモビリティと自動車が共存する走行環境を対象として、パーソナルモビリティの車載センサ情報から周辺交通参加者の移動情報を蓄積し、その情報をもとに走行環境のリスク評価に活用可能な地図情報を整備する手法を開発する。

#### 4. 研究成果

##### (1) 知能化自動車と知能化パーソナルモビリティの走行データを共用するための新たなデータ構造の設計

本研究項目では、想定する知能化パーソナルモビリティの車両制御機能として、目標経路の追従機能と見通しの悪い路地接近時の減速機能を設定した。本研究でベースとする自動車用の LeanMAP は、ノードリンク型地図をベースとした要素還元型のデジタル地図となっており、後者の機能は知能化自動車においても同様の機能が存在するため、自動車用 LeanMAP のデータ構造は大きくは変更する必要がない事が分かった。しかし、要素還元情報の基本情報となる経路長距離 (Offset) の表現に課題が存在することも確認できた。自動車の場合は、レーンの中心を走行する事が基本となるが、パーソナルモビリティはレーンの左右どちらかの端やそのさらに外側の歩道を走行する事が想定される。直線路の場合はレーン中心の走行距離とレーン左右の走行距離は等しくなるが、曲線路を含む経路の場合はこれらの走行距離に差異が発生する。そのため、実際の地図情報に対して経路長距離をそのまま基本情報とする事は出来ない事が分かった。また、車両制御機能の一つ目である目標経路の追従機能についても、その Waypoint map の表現において同様の課題が発生する事が分かった。そこで本研究では、車両の自己位置や減速関連情報を規定するためのレーン中心 Waypoint map 情報と、実際に車両制御に使用するための Waypoint map 情報を別々に定義する事とした。その際に、後者の経路長距離に関しては個別の Waypoint map の経路長距離を用いずに、レーン中心の Waypoint map に射影した経路長距離を用いる事とした。このような形で基本情報を定義する事で、知能化自動車と知能化パーソナルモビリティのデジタル地図情報を同じ座標系で表現できる事が確認できた。

##### (2) 自動車用の道路線形データをもとにしたパーソナルモビリティ用の歩道線形データの構築手法の開発

本研究項目では、東京大学柏キャンパスの構内道路を題材に、車道線形データから歩道線形データを構築する手法を開発した。ベースとなる車道線形データを得るために、中央線あり片側一車線道路 (合計二車線) の中央線の道路ペイント端部に関して RTK-GNSS での緯度経度高度の計測を行い、座標変換によって平面座標を取得した。また、その際にリファレンスとして歩道の中心点についても RTK-GNSS の計測を行った。そして、車道中心線の隣接点間の幾何形状分析によって直線部と曲線部を判別し、曲線部については単純円弧で近似した際の曲率半径を計算した。また、車道のレーン幅や白線ペイント等の標準寸法値をもとに、車道中心の構成点を転写して歩道中心の構成点の位置を計算した。そして、計算された歩道中心の構成点を接続し、0.1m 粒度でリサンプリングする事で歩道中心の Waypoint map を再構築した。図 1 に対象としたエリアにおける車道中心構成点と転写後の歩道中心構成点、リサンプリングした歩道中心線を示す。また、このリサンプリング結果の精度評価のために、リファレンスとして RTK-GNSS で計測した歩道の中心点の位置との誤差評価を行った。各計測点の最近傍 Waypoint を算出し、その位置誤差を計算した結果、平均で 0.044m の誤差となり、転写後の Waypoint が歩道中心の十分な近傍を通過している事が確認できた。

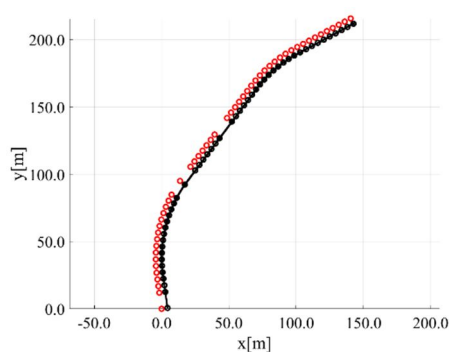


図 1. 車道中心構成点 (赤丸) と転写後の歩道中心構成点 (黒丸) 及びリサンプリングした歩道中心線 (黒線)

また、この様に構築した歩道線形データが実際の知能化パーソナルモビリティの機能に活用できるかを評価するために、実験用の知能化パーソナルモビリティを構築し、自己位置推定の誤差評価を行った。図 2 に本研究で構築した知能化パーソナルモビリティの実験車両の写真を示す。車両左側に LIDAR を装備し、歩道端となる縁石を検知する機能を実装した。縁石までの相対距離と相対方位を計算し、それらの結果と地図情報の比較から横方向ローカライズを行う構成となっている。また、輪速の時間積分によって縦方向のローカライズを行う。



図 2. 知能化パーソナルモビリティの実験車両

上記の実験車両で計測された各種データと構築した歩道線形データをもとに、自己位置推定の精度評価を行った。対象となる道路を走行したデータに対し、リファレンスとして測定した RTK-GNSS の位置と方位を真値として、推定自己位置の平面誤差と方位角誤差を算出した。図 3 に地図情報を活用した際の自己位置推定の可視化結果を示し、図 4 に地図情報を用いていない際の慣性航法による自己位置推定の可視化結果を示す。図中の青色帯部が歩道領域を示しており、図中心の緑線と赤線が交差する部分が車両の中心となる。図 3 に示されるように、地図情報を併用した場合は、走行終了時点で推定自己位置が歩道の幅の中に納まっているのに対し、図 4 に示されるように、地図情報を併用しない場合には推定自己位置が歩道から逸脱している事が確認できる。また、図 5 に地図情報を併用した自己位置推定と慣性航法による自己位置推定の方位角誤差を示し、図 6 に平面誤差を示す。地図情報を併用しない場合は時間の経過とともに誤差が増加する一方で、地図情報を併用した場合はその誤差の増加が一定の範囲で収まっている事が確認できる。また、推定自己位置の可視化結果から地図を併用した場合は縦方向の誤差が主成分となっており、縦方向ランドマーク検出による自己位置補正機能を追加する事で改善が期待できる事が分かった。これらの結果から、本研究で提案する手法で構築した歩道線形データは、知能化パーソナルモビリティの自己位置推定に利用可能な精度である事が確認出来た。

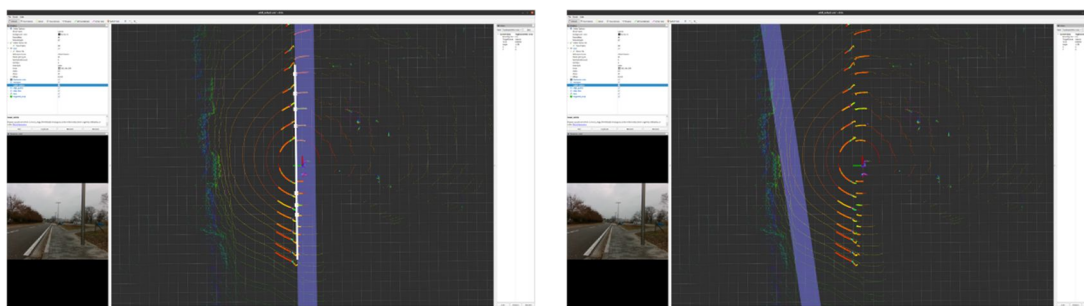


図 3. 地図情報を併用した場合の自己位置推定結果（左側）

図 4. 地図情報を併用しない場合の自己位置推定結果（右側）

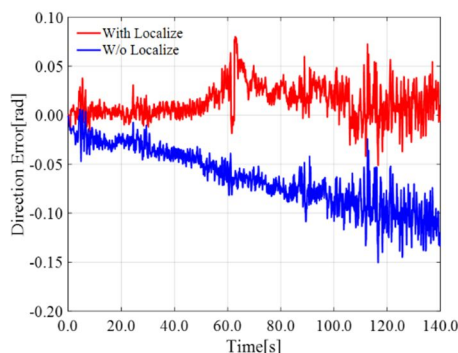


図 5. 地図情報を併用した自己位置推定（赤線）と慣性航法による自己位置推定（青線）の方位角誤差

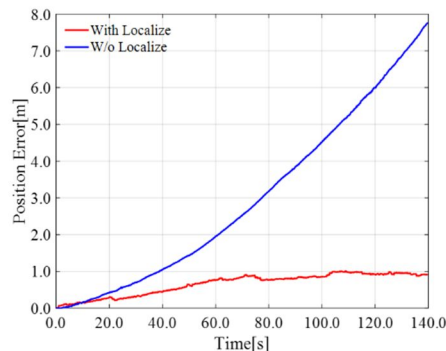


図 6. 地図情報を併用した自己位置推定（赤線）と慣性航法による自己位置推定（青線）の平面誤差

### (3) パーソナルモビリティの走行データをもとにした走行環境リスク情報整備手法の開発

本研究項目では、東京大学本郷キャンパス構内道路を対象として、パーソナルモビリティの車載センサ情報から交通環境のリスク情報を整備する手法の開発に取り組んだ。まず、本郷キャンパス内の道路交差点をノードとするノードリンク地図を作製し、前述のパーソナルモビリティ実験車両に搭載した GPS 情報から、現在車両が走行しているリンクを推定する機能を実装した。また、各リンク走行時に車載カメラで撮影した画像データを記録し、事後解析で前方を移動する歩行者を検出した。その際に、歩行者検出時のバウンディングボックスの横幅を基準として車両から交通参加者までの距離を大まかに推定し、時々刻々の検出データから車両前方の一定距離範囲内に存在する歩行者数をカウントし、リンク長をもとに平均歩行者密度を算出した。図 7 にリンク別の平均歩行者密度を示す。図中のバーは標準偏差を示す。なお、歩行者密度の単位は  $[1/m]$  となっているが、本研究では基本的には幅の狭い道路を想定しているため、単位面積に何人の歩行者が存在するか、という情報よりも、単位経路長あたり何人の歩行者が存在するか、という情報の方が有益となる事が想定されるため、 $[1/m]$  の単位での平均歩行者密度を求めることとした。図に示されるように、平均値と標準偏差が様々な値となっている事が確認できる。平均値自体はそのリンクでの歩行者との遭遇確率、すなわちリスク情報に関与する値となる事が期待され、標準偏差の小ささはそのリスク情報の確からしさを表現する値となる事が期待される。前者の値は車両制御や情報支援等の入力値となる仮想センサ情報として利用する事が可能であり、後者の情報はその確からしさによって制御介入又は情報支援等の衝突回避方策を選択するために有益な情報となる事が期待される。また、本研究はこれらの情報をノードリンク地図のリンク情報に紐づける形で整備しているため、情報源となった知能化パーソナルモビリティだけではなく、同じ走行環境を共有する知能化自動車でも利用可能となり、本研究が目的としていた異なるモビリティの情報を活用した地図情報システムの相補的な活用が実現できたと考える。

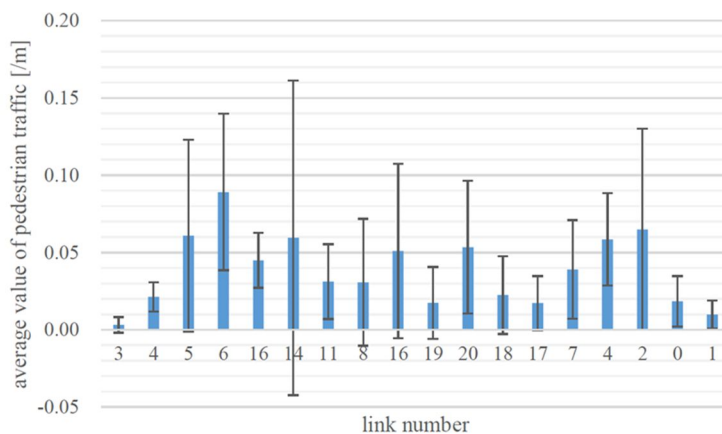


図 7. リンク別の平均歩行者密度

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------