1D-04

測域センサを利用した路線バス乗降計測システムの開発

山田 遊馬 *1　廣森 聡仁 *1　山口 弘純 *1　東野 輝夫 *1　*1 大阪大学 大学院情報科学研究科
{ yuma-ymd, hiromori, h-yamagu, higashino }@ist.osaka-u.ac.jp

1 はじめに

鉄道や路線バスなど地域交通による人の行動把握は，交通最適化による地域活性化や動線効率化，災害シミュレーションなど，より安全で豊かな社会を実現する上で重要である．特に，大都市のみならず地方都市や郊外・過疎地域など，あらゆる地域において公共交通の主軸である路線バスの利用状況把握は，地域公共交通の利用状況の理解と正しい改善プロセス実現のためには極めて重要である．特に，何名が乗降したかの乗降数カウントは，乗客数を正確に把握できていない交通事業者にとって貴重なデータとなる．

バスにおける乗降計測のため．赤外線センサを用いたシステムが開発されている [1]．赤外線センサを 2 台並べて用い，それらの通過検知時刻の差を利用することで，乗車・降車別の乗降数カウントを実現する．しかし，複数人が同時にセンサを通過する場合は正確に計測できず，また乗降に要する時間も計測できない．また，バスの乗降口付近の天井に RGB カメラを設置し，画像処理をすることで乗降者を検出するシステムも開発されている [2]．当該システムではセンサー視野における乗客同士の重なりによるオクルージョンを回避でき，より精度の高い乗降客検出を実現するが，天井設置や画像解析の必要性といった点でシステム設置や運用にかかるコストが無視できない．

本研究では，導入に関する労力やコストの障壁を低減し高精度な検出を実現するため，測域センサ (LRS; Laser Range Scanner) の検出データを Raspberry Pi のようなシングルボードコンピュータでリアルタイム処理する，軽量かつ高精度な路線バス乗降計測システムを提案する．測域センサは周囲の物体との距離を広範囲で正確に把握することができるセンサであり，北陽電気株式会社製の測域センサ (URG-04LX-UG01) では，検出保証距離 5.6m，走査角度 240 度，測距精度 ±30mm，走査時間 100ms/scan と，広範囲を高速かつ正確にスキャンできる．消費電力も最大 2.5W と非常に省電力である．提案手法は，背景差分法を用いて物体表面に相当する点群を抽出するとともに，その点群から人体表面に相当する点群を検出する．それに基づき各乗降客の点群を追跡し，扉通過を検知することで乗降者数の計測を実現している．扉の開閉を自動で検知するため，各停留所で乗降者に要した時間と乗降者数が同時に計測でき，各停留所の到着時刻や停車時間も把握できるため，路線バスの運行計画にも利用することができる．

Development of a Passengers Measurement System of Bus Using Laser Range Scanner
Yuma Yamada *1　Akihito Hiromori *1　Hirozumi Yamaguchi *1　Teruo Higashino *1
*1 Graduate School of Information Science and Technology, Osaka Univ., Osaka Japan

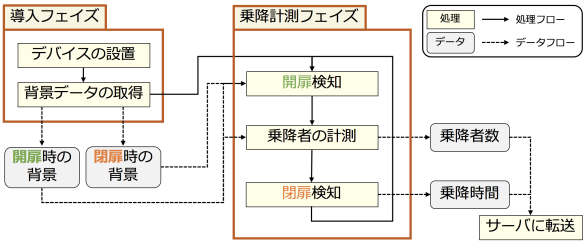


図 1: 提案手法の概要

2 提案手法

提案手法の概要を図 1 に示す．はじめに導入フェイズではデバイスの設置を行い，路線バス車内における背景データを取得する．この際，開扉時および閉扉時の背景データを取得し，コンピュータに保存する．次に，乗降計測フェイズでは 2 つの背景データを利用して開扉を検知する．開扉が検知できれば，開扉時の背景データを用いて乗降者の追跡を行い，乗降者数の計測を行う．その後，閉扉が検知できれば，乗降に要した時間および乗降者数をサーバに記録する．

2.1 測域センサの特性

本節では，本研究で利用する測域センサの特性について述べる．測域センサはレーザ光が対象物に反射して戻ってくるまでの伝搬時間を用いて，測域センサから対象物までの距離を測定するセンサである．1 章でも述べたように，本研究で利用した測域センサは小型であるにもかかわらず，広範囲を非常に小さい誤差（数 cm 以下）で測定することが可能である．さらに，測域センサから得られる測定データは対象物の方向と距離から算出される位置情報のみであり，データサイズが小さく扱いやすいという利点がある．ただし，ガラスのようなレーザ光を透過する物体の距離測定はできない．

本研究では，測域センサから得られる 1 スキャンのデータを $\mathcal{D}$ で表す．ここで，計測データ $\mathcal{D}$ は xy 平面上の点 (x, y) として表現し，測域センサの座標系を図 2 に示す．測域センサの位置が座標平面の原点に対応し，走査範囲を 2Φ とすると，x 軸の正方向に対して $\pm\Phi$ の扇形領域が測域センサの測定範囲である．

2.2 乗降者の計測

本節では得られた点群データから乗降者の計測をする手法について述べる．乗降者を計測するにあたり，各フレームごとに人物を検出する必要がある．まず，得られた計測データ $\mathcal{D}$ から開扉時の計測データ $\mathcal{D}_{open}$ の背景差分を算出し，背景を除いた計測データを乗降車検出に用いる．図 3 のように，方位角が隣り合ったレーザ光は同一人物に当たるため，方位角が隣り合い計測距離が類似している点群は同一人物を表していると考えられる．しかし，

Copyright ©2018 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

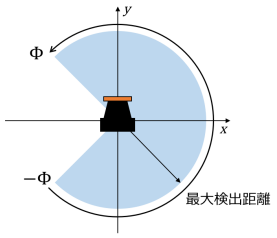


図 2: 測域センサの座標系

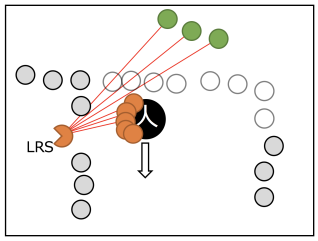
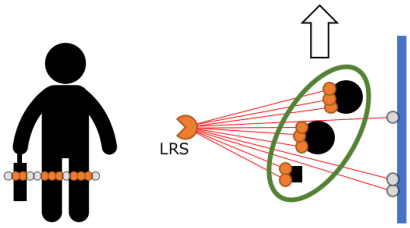


図 3: 人物の計測点の例



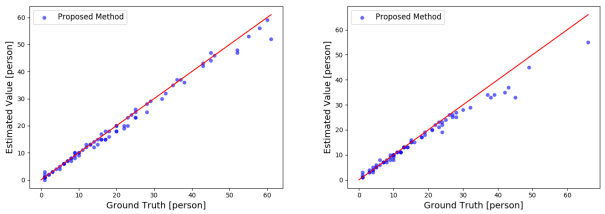
(a) 側面図　(b) 俯瞰図

図 4: 脚部の計測点の様子



(a) 前扉に設置した計測デバイス　(b) 後扉に設置した計測デバイス

図 5: 計測デバイスの設置の様子



(a) 乗車人数　(b) 降車人数

図 6: 提案手法による乗降人数推定

測域センサの測位面は乗降者の腰より高い位置にあるとは限らず，図 4 のように両足を検出する場合がある．ゆえに，1 人の乗降者を誤って 2 人と認識してしまう恐れがあるため，近接した点群の方位角にゆとりを持たせる必要がある．そのため，方位角がある程度類似かつ計測距離が類似している計測データをグルーピングし，グルーピングした点群数がしきい値以上であれば，その点群を人の点群であるとみなす．

そして，前後 2 フレーム間において検出された人の位置関係から人のトラッキングを行う．人の移動速度を v，測域センサの走査時間を Δt としたとき，連続する 2 フレーム間の人の移動量は高々$v\Delta t$ である．そこで，連続した 2 フレーム間のそれぞれの人の距離がしきい値 $th_{track}(> v\Delta t)$ 以下であれば，当該人物は同一人物であるとみなす．そして，同一人物であるとみなされた人物の位置を結ぶ線分がバスの乗降口 (扉) と交差していれば，移動方向に応じて乗車・降車のカウントをする．

3 性能評価

3.1 評価環境

阪急バス株式会社が運営する大阪大学学内連絡バスにて実証実験を行い，提案方式に対する性能評価を実施した．図 5 の赤丸に示すように，連絡バスの前方及び後方乗降口付近に計測デバイスを設置し，3 日間 (乗降回数 145 回) の乗降の様子を測定した．連絡バスの乗車時には後方の乗降口のみが利用され，降車時には双方の乗車口が利用される．性能評価として，連絡バスの扉が開いてから閉じるまでを 1 ピリオドとして，ピリオド毎の乗降者人数の推定値と真値を比較した．

3.2 評価結果

提案手法および比較手法のピリオド毎の乗降者人数の推定結果を図 6 に示す．グラフの横軸が真値，縦軸が推定値を表しており，赤色の直線は真値=推定値の直線である．図 6 に示すように，ほとんどのプロットが直線付近にあり，正確に推定できていることがわかる．乗車人数推定では誤差率 5.3%・平均絶対誤差 0.94 人，降車人数推定では誤差率 7.5%・平均絶対誤差 1.9 人と高い精度で通行人数を推定できている．しかしながら，降車人数推定 (図 6(b)) では，最も降車人数が多かった 66 人のときの推定値が 55 人であり，11 人の誤差が生じている．このピリオドでは，車内に 80 人以上の乗車が乗車しており，乗客が密集している状況であった．多数の乗客が乗車している状況においては，後扉が開いた瞬間に扉付近の乗客がなだれ込むように降車したため，密接している 2 人を 1 人として認識し，検出漏れが発生したと考えられる．扉付近で乗客が密接する現象はバス車内が満員かつ降車時に発生しやすいが，実際の路線バスにおいて，扉付近まで乗客がいるような満員な状況はほぼ発生しないことや降車時に運賃を支払うシステムを採用している場合が多いため実用上は問題ないといえる．一方，バスに乗車する際は，整列して一人ずつ乗るケースが多く，誤検出はほとんど発生しなかったことが見受けられた．

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP15H02690 および JP26220001 の助成を受けたものです．

本研究を行うにあたり，実証実験にご協力頂きました阪急バス株式会社にお礼を申し上げます．

参考文献

[1] Fanbright: 通行カウンター. http://www.fanbright.jp/service/movingcounter/ (参照: 2017-06-22).

[2] Pore, S. D. and Momin, B. F.: Bidirectional people counting system in video surveillance, *2016 IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information Communication Technology (RTEICT)*, pp. 724–727 (2016).

Copyright ©2018 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.