

マルチレーザスキャナを用いた通行人数の自動計測 Counting Pedestrians by using Multiple Single-row Laser Range Scanners

中村克行[†]
Katsuyuki Nakamura
坂本圭司[‡]
Kiyoshi Sakamoto

趙 卉菁[†]
Huijing Zhao
大鋸朋生[§]
Tomowo Ooga

柴崎亮介[†]
Ryosuke Shibasaki
鈴木尚毅[¶]
Naoki Suzukawa

1. まえがき

通行人数の計測は、主にイベント会場や商業施設における客数調査で重要だが、現状における調査の主流は目視によるカウントであり、混雑時には限界が生じる。よって精度の良い自動計測技術が強く望まれている。

これに対する研究のアプローチとして、ビデオカメラを用いた自動計測の試みが広く行われている。例えば、ビデオカメラを鉛直下向きに設置して通過人数を計測した事例 [2] や、ステレオカメラを用いた事例 [3] が挙げられる。しかし精度を高めるためには鉛直下向きを撮影して交錯の影響を少なくする必要があるため、撮影範囲が狭くなってしまふ。したがって、イベント会場のような広範囲かつ混み合う場所では、設置台数が増えるなどの問題がある。また場所によってはプライバシー保護などの理由により設置できない場合もある。

そこで本研究では、広範囲計測が可能なレーザスキャナを用いて、通行人数の自動計測を行う手法を提案する。本手法は設置に関する制限が少なく、プライバシー保護にも有効である。また、提案手法を実際の駅構内で適用して精度検証を行う。

2. マルチレーザスキャナ

使用したレーザスキャナは独 SICK 社の LMS200 である。仕様を表 1 に示す。このセンサは、光の伝播時間 (Time of Flight) により距離を測定するものであり、広範囲を比較的高精度で計測できる。本研究では、このセンサを床に設置することにより、床からの高さ約 16cm の水平面をスキャンする。この結果、歩行者の足首を含むレンジデータを取得できる。

これに加えて、複数のレーザスキャナをネットワークにより連結して計測を行う、マルチレーザスキャナ [1] を導入する。それぞれのセンサはある程度の重複領域を設けて異なる位置に設置される。ここで、各センサのローカル座標 (x, y) から世界座標 (u, v) への変換を、2次元の回転・平行移動を扱うヘルマート変換により行う。変換パラメータの推定を行うインターフェイスは、計測プログラム上に実装しており、容易な推定・統合操作が可能である。マルチレーザスキャナを用いることで、より広範囲を計測でき、隠蔽の問題をある程度まで解決できる。

3. レンジデータからの歩行者検出

通行人数をカウントするために、マルチレーザスキャナによって得られるレンジデータから、段階的に歩行者

表 1: SICK LMS200 の仕様

計測距離	観測角	分解能	測定間隔	誤差
30m	180°	0.5°	27ms	4cm

を識別していくことを行う。処理の流れは以下のようになり、これらを毎フレーム繰り返すことにより検出を実現する。

1. 動体抽出・世界座標への統合
2. クラスタリング
3. 既存軌跡の延長
4. グルーピング
5. 追跡

まず、それぞれのセンサから得られるレンジデータから、背景差分を用いて動体を抽出する。それぞれのセンサでは、1 スキャンに対応する 361 点の観測角および距離値が時系列で得られる。任意の観測角における距離値が一定の時間、4cm のシステム誤差を超えて変化しなければ、そこは壁や柱などの固定物 (背景) であるとみなせる。通行人がいない時間帯にこうした背景を作っておき、計測が開始された後は背景差分を行って動体データのみを処理する。

次に、抽出した動体データから歩行者を認識する。センサの角度分解能は 0.5° と高いため、通常、歩行者の足首には複数のレーザポイントが当たる。ここでは、半径 10cm 以内に密集しているポイント群をクラスタリングして足首の重心点を求める。これを足候補とする。

さらに、クラスタリングされた足候補が通常の歩幅程度 (例えば 50cm 以内など) に含まれるものを 2 つ集めてグルーピングする。これを歩行者候補とする。初期フレーム以降は、まずカルマンフィルタを用いて既存軌跡を延長してから、軌跡に属していない足候補をグルーピングする。カルマンフィルタによる軌跡の延長処理については文献 [1] を参照していただきたい。

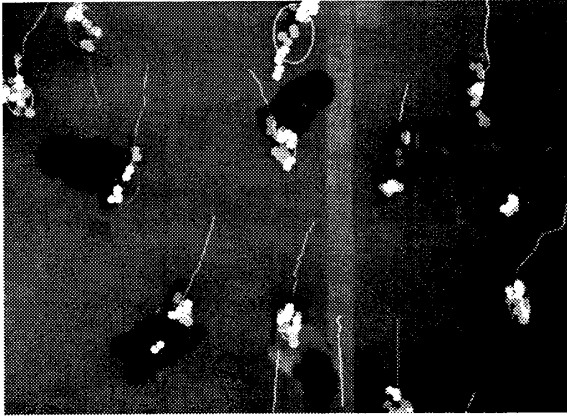
その後、連続するフレーム (例えば 3 フレーム以上) で以下の二つの条件を満たすものを同一人物であるとして追跡する: (1) 連続するフレームにおけるステップ候補において、少なくとも 1 つの足候補がオーバーラップしている、(2) オーバーラップしていない足候補の動きベクトルが滑らかに変化する。追跡処理は一瞬の隠れによる通行人の欠測を補うために行う。

[†] 東京大学空間情報科学研究センター

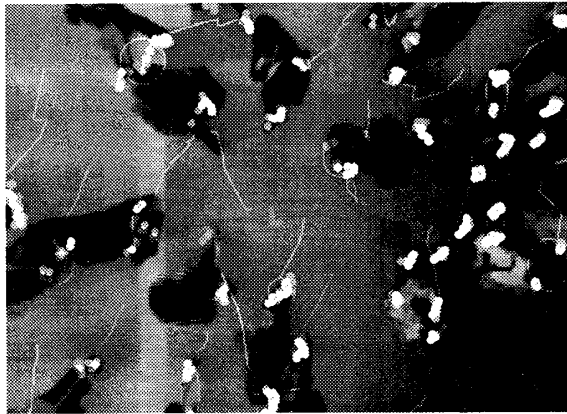
[‡] JR 東日本研究開発センター フロンティアサービス研究所

[§] アジア航測株式会社

[¶] ジェイアール東日本コンサルタンツ株式会社



(a) カメラ A : 17:20 のデータ



(b) カメラ B : 8:30 のデータ (通勤ラッシュ)

図 1: ビデオ画像・距離画像・提案手法で検出した歩行者を重畳した結果。ここで楕円形のシンボルが認識された歩行者、線状のものが歩行軌跡を表している。

4. 実験

4.1 精度検証

評価のために、A 駅構内コンコースで計測実験を行った。コンコースの広さは 20m × 30m 程度であり、通勤ラッシュ時には 150 人前後まで混み合う。混雑時における提案手法の精度を検証するために、もっとも混み合うコンコースの中央部に 6 台のレーザーキャナを設置した。また天井に鉛直下向きの撮影を行うビデオカメラを 2 台設置して、実際の状況との比較検証を試みた。

はじめに、幾何補正および時刻同期を行い重畳画像(ビデオ画像・距離画像・検出した歩行人および歩行軌跡)を作成した。カメラ A および B の重畳結果を図 1 に示す。カメラ A と B は 50% 程度のオーバーラップがあり、2 台のカメラの撮影範囲は重複領域を除くとおよそ 38m² となる。

次に、最も混み合っていた午前 8:30 の重畳画像 A・B を 50 フレーム用いて、歩行人検出の成功率を目視によ

り算出した。一時的な隠れによる影響は前述した追跡処理によって軽減することができるため、追跡により得られた軌跡の数を通行人数とみなした。なお重畳画像のフレームレートは、5 fps に落としてある。検証を行った 50 フレームの平均通行者数は 23 [人/frame] であり、平均歩行者密度は 0.6 [人/m²] だった。

4.2 検証結果および考察

検証結果を表 2 に示す。グルーピングの結果では、一時的な隠れの影響があるため、63%の成功率にとどまったが、軌跡の数をカウントすることにより 81% (931/1150) の成功率を示した。既往研究ではこれほどの高密度で精度を検証した事例は無く単純比較はできないが、高い成功率であると考えられる。また両足および少なくとも片足にレーザー光が当たった割合も、それぞれ 88%, 99% と高い割合を示していることから、今後のアルゴリズム改善による検出精度の向上が期待できる。計測の範囲に関しても、ビデオの撮影範囲だけでなく、コンコース全体をほぼカバーできており、最大 120 人程度を後処理により検出できた。

しかし隠蔽比率が高くなった場合、失敗例がいくつか見られた。例えば隣を歩いている別の人の足とグルーピングされてしまい、追跡が一瞬途切れる事例や、完全に隠蔽されてしまい欠測となる事例があった。またロングスカートをはいている女性やカートや大きなバッグを持っている歩行者に関しても問題が生じた。

表 2: 混雑時における精度検証の結果。両足はレーザーポイントが両足に当たった人数、片足は少なくとも一方の足に当たった人数を表す。

	真値	両足	片足	軌跡カウント
度数	1150	1012	1136	931
成功率	100%	88%	99%	81%

5. まとめ

本研究ではマルチレーザーキャナを用いた通行人数の計測手法を提案し、実際の駅構内で適用を試みた。提案手法は、イベント会場のような広範囲・高密度の場所での計測に有効であるといえる。今後は両足に当たったレンジデータだけでなく、片足のデータも活用した歩行者検出の精度向上が課題である。

参考文献

- [1] Huijing Zhao and Ryosuke Shibasaki. Pedestrian tracking using multiple laser range scanners. In *Proceedings of Computers on Urban Planning and Urban Management*, 2003.
- [2] 寺田賢治, 山口順一. 2 枚の時空間画像を用いた通過人数計測. システム制御情報学会論文誌, Vol. 12, No. 1, pp. 36-43, 1999.
- [3] 太田直哉, 木山真伸, 吉川健一. 2 台のカメラを用いた歩行者の検出・同定. 情報処理学会論文誌, Vol. 44, No. 10, pp. 2459-2468, Oct. 2003.