

レーザーセンサを用いた歩行者通過人数の自動計測手法
An Automatic Method for Counting Pedestrians using a Laser Range Scanner

帷子京市郎† 中村克行† 趙卉菁† 柴崎亮介†
Kyoichiro Katabira†, Katsuyuki Nakamura†, Huijing Zhao†, Ryosuke Shibasaki†

Abstract

本研究では、任意の場所における歩行者の通過人数を計測するために、通路の高所に設置したレーザーセンサを用いて、その計測断面を通過した人数及び通過方向を自動的に計測する手法を提案する。既存の研究では、主に CCD カメラやラインセンサ等を用いる手法が開発されてきたが、いずれも狭い視野角、隠蔽や影の影響による誤差といった問題が存在している。これに対して、本手法は隠蔽などの問題は同様にあるものの、照明条件や天候条件には依存しないという利点がある。本手法を東京都内の駅構内に適用した結果、ラッシュ時において誤差 5%未満で通過人数を計測することができた。

1. はじめに

近年、駅や空港、催事場、遊園地などでは、セキュリティ、マーケティング、ビル設計、管理といった目的のために、利用者の数や行動パターンを解析する技術が求められている。そのため、歩行者の軌跡や人数の自動計測を試みる研究例は多い。例えば、単一の CCD カメラを用いる手法[1,2]、複数のカメラを用いる手法[3]、赤外線センサを用いる手法[4]などが提案されてきた。しかし、狭い視野角、人の重なりによる隠蔽、照明条件の影響といった問題は克服されておらず、広範囲、高密度的环境下では適用が難しい場合も多い。また、ドイツ SICK 社から LD PeCo という入退場人数カウンタが販売されている。この製品は後述する“レーザーカーテン”を 2 枚照射し、通過人数と通過方向を検出するものであるが、計測角度が 90° と狭いため、通路の幅に対して倍以上の高さの位置に設置する必要があり、複数のセンサを組み合わなければならないケースも多い。これらに対し、本研究では面的に 180° 計測が可能なレーザーセンサを用いることにより、照明条件に依存せず、かつ広範囲な計測が可能となり、さらに高所から計測することで人の重なりによる隠蔽を最小化している。この計測断面を通過する歩行者の人数及び通過方向をリアルタイムに計測する手法を提案する。本手法を JR 駅コンコース及び遊園地の入退場ゲートにて適用し、本手法の有効性を検証した。

2. 方法

2.1 使用するセンサ

センサは SICK 社のレーザーキャナ (LMS200) を用いる。このセンサは、レーザー光パルスの伝搬時間により距離を計測するものであり、非接触で面的に距離を計測することができる。測定対象物に特別な反射率は必要なく、アクティブセンサのため、測定エリアに照明の必要がない。また、高速スキャン (37.5Hz)、高角度分解能 (0.5°)、高精度

計測 (誤差 4cm)、広角計測 (最大 180°)、長距離計測 (最大 30m) といった特徴を持つ。つまり、1 スキャンはセンサ真上から見て真右 (0°) から反時計回りに 0.5° ステップずつスキャンし、真左 (180°) まで 361 ポイントの距離データを得る (図 1)。また、レーザー光の波長は 905nm の近赤外で、クラス 1 の安全性を持つ。

本研究では、このレーザーセンサを通路の天井や柱の上部といった高所に設置する。照射方向は、通路の床に対して垂直あるいは斜めに向け、通路の進行方向に対して直交するように向ける (図 2)。

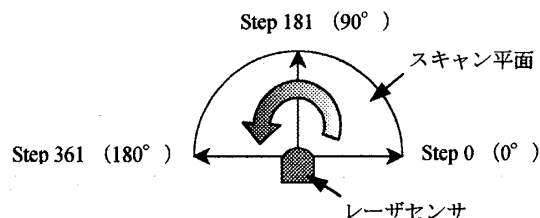


図 1. レーザパルスの投光の方向

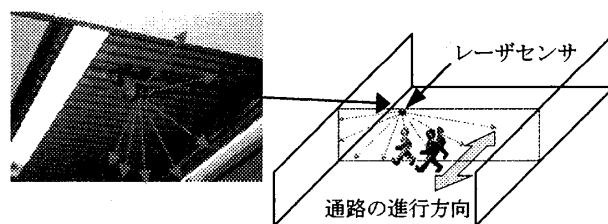


図 2. 通路天井に設置したレーザーセンサ

このように、スキャン面が 1 枚のカーテンのように通路方向を切るように設置する (これをレーザーカーテンと呼ぶ)。従って、得られるデータはレーザーセンサから床までの距離であり、座標変換を行うことにより、この計測断面を通過するオブジェクトの床からの高さをリアルタイムに計算することができる (図 3)。

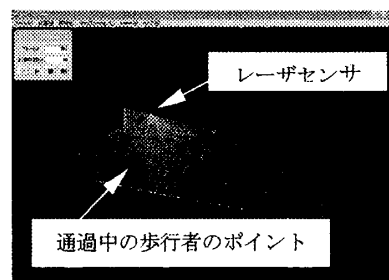


図 3. 通過中の歩行者から得られるデータの概観

† 東京大学 空間情報科学研究センター

2.2 人数計測アルゴリズム

人数計測の流れは、大きく分けて 1) 背景差分, 座標変換, 平均化処理といった「前処理」, 2) 最新 1 フレーム分の高さ情報を検索し, 歩行者の通過した位置と時刻を求める「通過認識」, 3) 歩行者が新しく登場した位置と時刻を求める「登場認識」といったプロセスで構成される。これらの処理を, 1 フレーム読み込む度に繰り返す。以下にそれぞれの処理について詳しく説明する。

1) 前処理

得られるデータはレーザ本体からの距離であり, その中には床や壁といったデータも含まれているため, これらを除外するために背景差分を行う。これは, 一定の時間, 観測値が変化しないポイント群は床や壁とみなせるので, これを背景とし, それらのポイント及びその付近にあるポイントを除外して通過オブジェクトの情報のみを切り出す。

さらに, レーザ本体の高さ及びピッチ, ロール, 方位角 (図 4) からポイント群を座標変換し, 通過オブジェクトの床からの高さ情報を得る。これらのレーザの姿勢に関する情報は, 予め幾何情報が既知のオブジェクトを床と一緒にスキャンしておくことにより, 求めることができる。また, レーザ光は通路上方から床に向けて照射されるので, 歩行者がその計測断面を通過すると, 主に頭から肩にかけてレーザ光が当たる。従って, 図 3 に示したように, 歩行者が通過すると山のような形のポイント群が数フレームに渡って得られる。

ここで, Search Line というバッファを用意し, ここに最新の 1 フレーム分の高さ情報を格納する。まず, 両側の壁に挟まれた床のラインを 5cm 間隔で区切り, その各位置における高さ情報を Search Line 上に格納する。また, 候補者となる高さ情報を保存しておくための, Search Line と同じサイズの Candidate Line というバッファも定義しておく (図 5)。

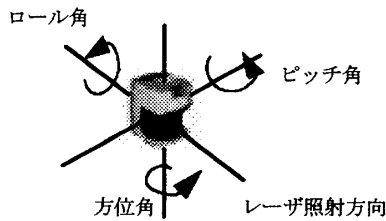


図 4. レーザ本体の姿勢角

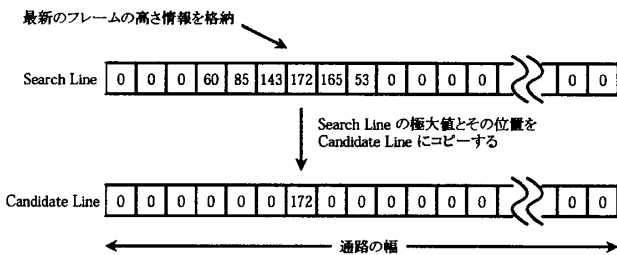


図 5. Search Line と Candidate Line の構造

2) 通過認識

次に, 歩行者がレーザカーテンを通過した瞬間の位置と時刻を求める。まず, 上で定義した Candidate Line を端から検索する (しかし, 初めは何も格納されていないので, 検索されない)。この Candidate Line は, 前のフレームにおいて候補者となるオブジェクトが存在していた場合, その位置と高さ情報を格納するものであり, 次の「登場認識」プロセスにおいて情報が更新される。この Candidate Line を端から検索し, もし候補者となる高さ情報が存在した場合, その近辺 (肩幅 80cm 以内) の Search Line を検索する。Search Line 上で, その近辺に高さ 1m 以上のオブジェクトが存在していた場合, その候補者と同じ人間が通過中とみなす。しかし, その近辺にオブジェクトが存在していなかった場合, 候補者が通過したと判断し, 通過人数を 1 人増やす。また, その位置における Candidate Line を 0 で初期化する。これを, Candidate Line の端まで検索を繰り返す。

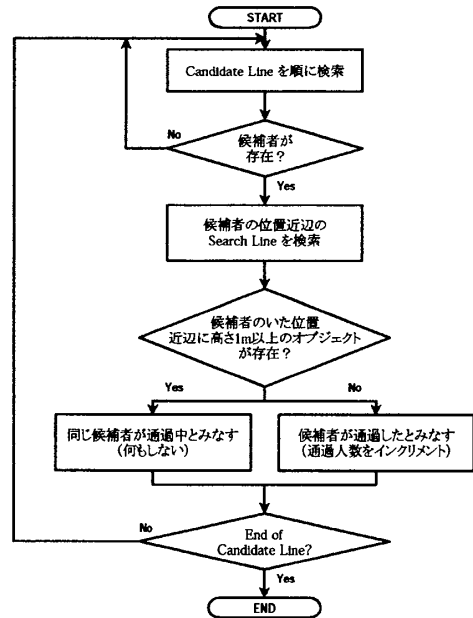


図 6. 通過認識プロセス

3) 登場認識

次に, 新しい人間が計測ライン上に登場した場合及び候補者の位置が変わった場合に, Candidate Line の情報を更新する。まず, 最新の高さ情報が格納された Search Line を端から検索し, 1m 以上のオブジェクトが存在した場合, その付近の極大値と, その位置を求める。その極大値の位置から見て, 肩幅 (80cm) 以内の Candidate Line を検索し, 候補者が存在しているか検索する。もし候補者が存在していた場合, 同じ人間が通過中と判断し, Candidate Line 上でその位置と極大値を更新する。つまり, 一つ前のフレームと極大値の位置が異なっていた場合, 前の位置における情報を 0 で初期化する。また, もし Candidate Line 上でその極大値の近辺に候補者が存在していなかった場合, 新しい人間が登場したと判断し, その位置における Candidate Line に極大値をセットする。これを, Search Line の端まで検索を繰り返す。

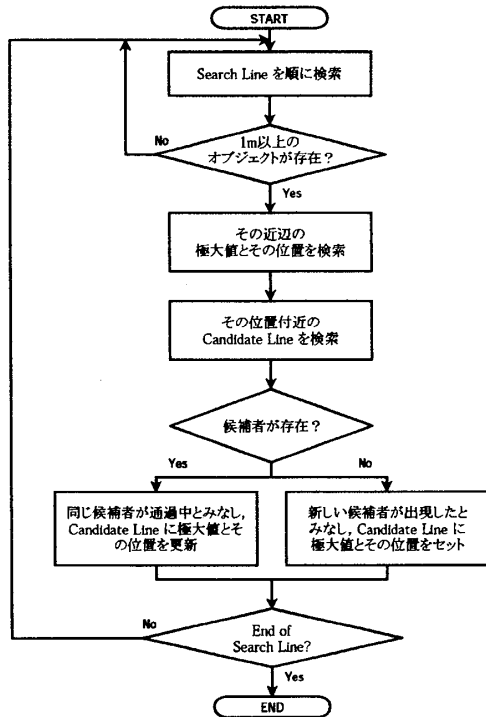


図7. 登場認識プロセス

2.3 斜め照射による通過方向の認識

図8に示すように、レーザを床に対して垂直ではなく少し斜めに向けて照射した場合、歩行者の通過方向の認識が可能となる。これは、歩行者がレーザの照射方向に対して前方から計測エリアに進入した場合(図8(a))、通過の過程でその歩行者は足元から頭の方に向けてスキャンされるので、得られる高さ情報は時系列上で徐々に高くなるデータが得られる。逆に、照射方向に対して後方から進入した場合(図8(b))、頭の方から足元に向けてスキャンされるので、徐々に低くなる高さ情報が得られる(図9)。

これを識別するために、傾きインデックスというものを定義する。これは候補者が登場した瞬間は0とし、次に得られたフレームにおいて、一つ前のフレームと比べて同じ候補者の極大値が上がった場合はインデックスに1を足し、下がった場合はインデックスから1を引く。最後、その候補者が通過した瞬間、そのインデックスが0以上の場合は足元からスキャンされたものと予想できるので、前方からの通過とし、0未満の場合は後方からの通過とする。

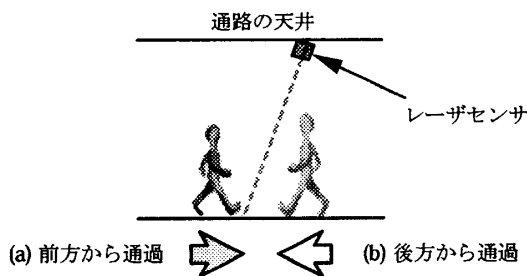


図8. 斜め照射による通過方向の検知

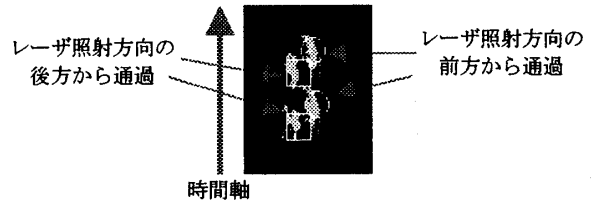


図9. 斜め照射によって得られるデータの概観

2.4 計測可能な通路幅及び歩行速度

通路の高所に設置したレーザセンサから歩行者を計測する場合、レーザビームが歩行者の頭や肩に当たるので、それより先の下方にはレーザが届かないことになる。また、レーザの角度分解能(0.5°)に伴い、レーザから離れるほど計測密度が荒くなるため、歩行者を認識できる最大の距離、すなわち本手法が適用できる最大の通路幅が存在する。ここで、単純化するために歩行者の身長は同じものとし、通路の壁際に歩行者が2人並んで歩いていた場合に、この2人を識別できる最大の通路幅を計算する。図10のように、2本のレーザビームが0.5°の間隔で2人の頭の頂点に1ポイントずつ当たる場合、これ以上レーザから離れると壁際の歩行者にレーザが当たらなくなるので、このときが最大の通路幅となる。

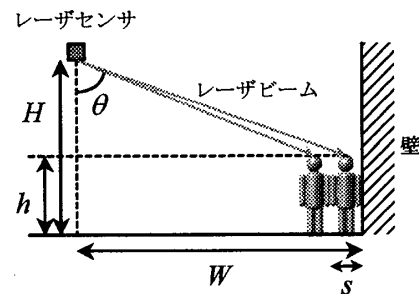


図10. レーザビームが各歩行者に1点ずつ当たる状況

ここで、レーザの計測角を θ [deg]、レーザの高さを H [cm]、歩行者の身長を h [cm]、歩行者の肩幅を s [cm]、通路の最大幅を $2W$ [cm]とすれば、図10より式(1)、(2)の関係が得られる。これを W について解くと、式(3)が得られ、これから本手法を適用できる最大通路幅($2W$)が得られる。

$$\tan \theta = \frac{W - 1.5s}{H - h} \quad (1)$$

$$\tan(\theta + 0.5) = \frac{W - 0.5s}{H - h} \quad (2)$$

$$W = s + \sqrt{0.25s^2 + 114.6s(H - h) - (H - h)^2} \quad (3)$$

また、レーザスキャンの周期は37.5Hzのため、このスキャン間隔よりも速く通過するオブジェクトに対しては、認識できない。ここで、歩行者の頭部の幅を20cmと仮定すると、この歩行者が計測断面を秒速7.5m以上の速度で通過した場合、全くスキャンされない場合がある。しかし、現実的にはそこまで速く走る人を考慮する必要は無い。

2.5 精度検証の方法

次に、本手法の有効性を検証する。人数計測には、重複 (Commission) と脱漏 (Omission) といったミスカウントが存在し、以下のようにこれを分けて精度を検証する。

$$\text{Error Rate} = \text{ミスカウントの数} / \text{実際の通過人数} * 100$$

検証には、計測範囲全体を見渡せるビデオ画像及びレーザから得られた高さ情報の時系列画像を用いて目視にて確認を行う。1分おきに重複、脱漏、方向認識の各誤差率を計算し、その平均値を本手法の精度とした。

3. 実験

実験 1: 本手法のテストサイトとして、東京都内の A 鉄道 B 駅構内コンコースを選定した。この駅は 1 日に約 25 万人が利用し、ラッシュ時には 280[人/分] 程の人数が通過する。また、計測した通路の幅は約 12.5m、レーザ設置箇所は片方の壁から 3.5m、もう片方の壁から 9m 離れた位置に設置した。また、設置した天井の高さは約 3.8m であり、照射方向は床に対して垂直に向けて計測した。

実験 2: 次に、愛知県内の C 遊園地において、入退場ゲートの柱上部にレーザを設置し、斜め照射による歩行者の通過人数及び通過方向の認識について検証した。ゲートの幅は約 15m であり、その中心付近の柱の上部、高さ 3.8m の位置にレーザを設置した。レーザ照射角度は、真下から約 38° 傾けて計測した。

4. 結果及び考察

実験 1 に関しては、最も利用客が混み合った 18 時から 19 時の間において、重複、脱漏の各誤差率を計算した。このときのレーザの照射角度は地面に対して垂直であったため、通過方向の識別は行っていない。1分ごとの各誤差率は、図 11 の(a), (b) のようになった。それぞれの平均値は、重複誤差が 1.59%、脱漏誤差が 3.96%であった。

実験 2 に関して、入場者が多い開園直後、入場者と退場者がまばらな昼過ぎ、退場者が多い夕方の 3つの時間帯において、重複、脱漏、方向認識の各精度について検証を行った (図 12)。方向認識精度は、誤差約 3.7%であった。

それぞれの精度は、歩行者の通行量が増えてもほとんど変化せず、計測精度は通行量にほぼ依存しないと考えられる。一方、ミスカウントが多くなる原因は、重複については計測エリア内で人が立ち止まってしまう場合に、時々その高さが閾値以下まで下がってしまい、同一人物を重複してカウントする場合があった。脱漏に関しては、接近して歩く数名や背の低い子供などを逃すことが多かった。また、実験 2 に関して脱漏誤差が多くなったのは、斜めに向けて計測することによって、数名が前後に密集して歩く場合に繋がって計測されてしまい、各々をカウントできない場合が多かった。このように、レーザの照射角度に関しては、傾ける角度が大きいほど、通過方向の検知が容易になるが、前後の歩行者の識別が困難になり、逆に垂直に近いほど、密集した歩行者の分離が容易になるが、通過方向の識別が困難になるといったトレードオフの関係が見られた。

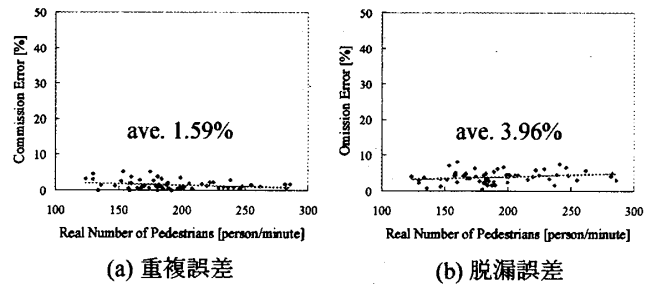


図 11. 実験 1 における計測精度

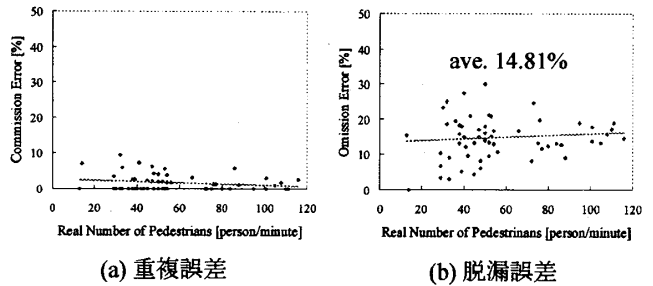


図 12. 実験 2 における計測精度

5. 結論

本研究では、レーザセンサを用いることによって、カメラのような光学センサの弱点であった照明条件の影響を受けることなく、1台のセンサでも比較的広範囲かつ高精度に歩行者の通過人数及び通過方向をリアルタイムに計測する手法を開発した。得られた計測精度は、歩行者の通行量にほぼ依存しない結果となった。また、レーザの設置箇所は必ずしも通路の天井に設置する必要はなく、壁際のような通路の高所から計測断面が通路を切るように設置すれば、本手法は多様な場所に適用できる。今後は、計測アルゴリズムをより洗練させると共に、レーザから得られた 3次元情報から、家族連れやカップルの割合といった情報の抽出、水平スキャンやカメラと組み合わせた歩行者の動線解析への応用、個人識別といったことにも発展させたい。

参考文献

- [1] Masoud, O., Papanikolopoulos, N.P.: "A Novel Method for Tracking and Counting Pedestrians in Real-Time Using a Single Camera", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 50, pp. 1267-1278 (2001).
- [2] Thou-Ho Chen, Che-Wei Hsu: "An Automatic Bi-Directional Passing-People Counting Method Based on Color Image Processing", Proceedings of IEEE 37th Annual International Carnahan Conference of Security Technology, pp. 200-207 (2003).
- [3] Kettmaker, V. Zabih, R.: "Counting People from Multiple Cameras", IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems, Vol. 2, pp. 267-271 (1999).
- [4] H. Kazuhiko, et al.: "Development of people-counting system with human information sensor using multi-element pyroelectric infrared array detector", Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 58, pp. 165-171 (1997).