

論文の内容の要旨

論文題目 On-Street Vehicle Detection by using Three Line Scanner Imagery

(和訳：スリーラインスキャナによる道路上の車両抽出)

氏名 パンタワングクーン ソフオト

世界中の大都市において、車両の増加に伴う交通問題は年々その厳しさが顕著になっている。実際にエネルギー消費、汚染、時間の浪費など、交通問題における様々な負の結果が発生しており、車両統計量の獲得は、長期/短期的な将来の交通管理に向けた ITS(高度道路交通システム)の重要な利用方法であると考えられる。特にリモートセンシング画像を用いた車両監視は、ITS の車両情報や通信システムの重要な部分である。このようなシステムでは衛星画像、航空写真の双方を入力データに用いるが、高解像度の衛星画像は雲に覆われていることが多く、IKONOS 画像では 6 枚のうち 1 枚程度の割合でしか雲の無い画像が得られず、また画像が修正されていることがある。つまり正確で長期の反復作業においては積極的に採用することはできない。一方で航空機搭載センサを用いた画像では、晴天時に撮影が行われるため雲による地表面の隠蔽問題は発生しない。その上、航空機搭載センサは数センチメートルの解像度で撮影するため、ランドコントロールポイント(GCP)なしでの大縮尺の地図作成が可能であるだけでなく、マイクロレベルでの交通観測への可能性を含んでいる。更に、近年、カーナビゲーションシステムなどではセンチメートルオーダーの解像度を持つ航空写真を基にした路面地図の需要が伸びており、これは、将来的にも増加していく。しかし、地図作成の要素である航空写真に写る車両は不要な物体？地物？となる。しかし、そのような物体を除去するための画像上の車両を検出するアルゴリズムは未だ開発されてはいない。

近年、TLS(Three Line Scanner)という新しいラインセンサが開発された。TLS は高精度のデジタル航空センサで、ヘリコプターに取り付けられた 3 つの CCD ラインセンサ(それぞれが RGB の波長を持つ)が同時に走査し前方視、底方視、後方視の撮影を行い、スタビライザ(安定装置)が高性能なジャイロスコープを用い

てカメラの不要な振動を除去し、高精度の GPS で 3 次元空間内でのヘリコプターの位置を連続的に監視する構成になっている。TLS の画像は飛行方向に並べられた視点を提供するシームレスな画像である。撮影システムには一辺 7 ミクロンのピクセル 10200 個が、3 つ並列にそれぞれにおいて一次元の CCD 焦点面配列に含まれている。TLS システムは前方、底方、後方の 3 方向の視点を使って、地上の 5~10cm の足跡がわかる程のシームレスな高解像度の画像を作り出す。TLS データは様々な点から見て路上計測に適したシステムである。例えば、第一に、シームレス画像としての TLS イメージは道路や水路などのリニアな地上物の検出や、広視野での観察を用いる路上の車や交通の流れを監視するのに適している。第二に、センチメートルオーダーの解像度を持つ航空写真としての TLS 画像は、十分な文脈を持った車両が分析に提供されるため、他のセンサよりも明らかに有用である。最後に、TLS の底方、前方の様な二方向の TLS 画像が応用された技術が基になっている立体測定の観点から見ると、動いている車両が TLS の前方、底方、後方画像上で異なる位置にあるのに対して、止まっている車両は路上の 3 次元オブジェクトとみなされる。

その結果、車両監視の問題点と、路上計測における TLS データの利点を基に、私達は TLS データを用いた路上の車両監視システムの開発を行うことに決めた。私達のフレームワークは二つの目的の組から成る。一つ目の目的は多方向の TLS 画像を用いて車両の静止と走行を識別するアルゴリズムの作成すること。第二の目的は、車両の駐車とアイドリング状態の分類アルゴリズムの開発である。第三には、補助システムとして TLS の底方画像を単独で使用した車両検出アルゴリズムの開発が考えられる。最後の目的は TLS の底方画像を単独で用いた車両検出の半自動アルゴリズムを開発することである。

組織構成は二つのシステムから成る。メインシステムは多方向 TLS 画像の処理を用いた自動車検出アルゴリズムで、走行している車両と静止している車両の検出と、静止している車両の駐車と信号待ち状態の識別を行う。補助システムは TLS の底方画像処理を用いた車両検出の半自動と自動アルゴリズムである。

メインシステムにおいては、私達の研究フレームワークは準備、移動・静止車両の検出、駐車・アイドリング車両の識別の 3 ステージから構成される。

前処理は車両検出の処理を行う上での基本情報の準備段階である。まず、TLS の未処理のデータは陳と柴崎による TLS ジオコーディングを用いてジオコード化されている。次に史と柴崎による半自動道路抽出を用いて TLS 画像の道路部

分を残し、非道路面を覆い隠す。この方法と並列して、TLS 未処理画像中の建物の影は、TLS 画像中にある多数の建物の影エリアにより、輪郭が描かれ、sompoch と柴崎の‘影補正画像’を得ることで補正される。私達の研究では、未処理画像と影補正画像は領域分割画像と影補正領域分割画像を生成するために領域分割される。領域は処理の基本単位であるが、分割される領域とノイズが双方の画像上にまだ発生する。そこで、'ノイズ除去済み領域分割画像'もしくは、'ノイズ除去画像'と'ノイズ除去済み影補正領域分割画像'もしくは、'ノイズ除去影補正画像'をそれぞれ生成するためにモルフォロジー収縮と最近領域内挿法により、分割される領域とノイズの補正をおこなう。後のステップで、道路面内の領域に関しては、非車両領域は幅・長さ・割合(長さ/幅)などの属性を持った長方形に適合される。車両の次元から定義される長方形の閾値属性によって、非車両領域は削除され、最終的に路上の車両形状の領域だけが残される。TLS の底方画像と前方画像間の領域ベースのステレオマッチングアルゴリズムにより、中村、柴崎らの方法でこれらの長方形ポリゴンの高さがマッチング補正で算出される。さらに、U.S.交通法の下で車両の次元を用いた TLS 底方画像内の静止・移動車両の一般的なキャラクタを用いることで、明確なモデルとしての静止・移動車両モデルの仮説が生成される。

車両検出はこの研究の核心部分であり、そのアルゴリズムはメインアプローチと補助アプローチの二つのアプローチから構成される。メインアプローチでは多方向 TLS 画像を用いて自動的に移動・静止車両を検出し、静止車両については駐車・アイドリング状態を路上駐車基準で識別する。メインアプローチに手抜きがあった場合には、補助アプローチが自動的にまたは半自動的に TLS 底方画像から車両の検出を行う。以下に車両検出アプローチのコンセプトを述べる。

静止車両の検出には、私達の提案する多方向 TLS 画像処理を用いた静止車両検出アルゴリズムを使用する。まず、前処理したものから、いくつかの路上車両領域を高さと補正の相関関係の閾値を使って選び出す。この閾値は前処理の段階で路面よりも高い領域を選ぶことで定義される。しかし、これらの領域は独立であるため、選ばれた各領域の重心間距離の組が計算される。距離の組とみなすことで、最近領域が最近隣連結アルゴリズムによって二分階層木に大まかにグループ化される。車両の候補はこの階層木から最近領域グループを検索することで生成される。また車両候補の領域は、私達の長方形ポリゴン適合アルゴリズムによって長方形ポリゴンに適合され、この長方形ポリゴンの高さは領域ベースのステレオマッチングアルゴリズムによって算出される。長方形ポリゴンと高さを持った車両候補は静止車両モデルに適合し静止車両が検出される。

移動車両検出は私達の提案する多方向 TLS 画像を用いた移動車両検出アルゴリズムを使用する。まず、静止車両領域とそこに隣接する領域は、道路方向の制約と隣接関係のネットワークにより、道路方向に沿って削除される。次に、前処理段階で路面領域に分類されたものの様な非車両領域について、車両領域の隣接していない路面領域に囲まれている分離された車両領域が車両の幅と方向の閾値に適合しないために削除される。二つの処理から、残りの車両らしい領域は第三段階における車両候補生成の拡張処理アルゴリズムの種子点である。拡張処理アルゴリズムの記述のため、種子点として選択された車両らしい領域は、道路方向に沿った種子点の両側間の隣接する車両らしい領域を検出し、そこで一つのクラスターか移動車両候補を生成するように種子点から検出された領域を併合するために道に沿って広がる。また、この車両候補は長方形ポリゴン適合アルゴリズムによって適合される。移動車両は TLS の底方、前方、後方において異なる同一点に位置するため、このポリゴンを使うことで異なる TLS 画像上の同一車両のマッチング度を測るための領域ベースのステレオマッチングアルゴリズムにおける相関係数が算出される。長方形ポリゴンと移動車両モデルに適合する相関係数をもつ移動車両候補は移動車両として検出されるが、いくつかの余剰結果が発生する。同一の車両では、余剰結果は検出された車両ポリゴン内のより多くの CG をチェックすることで検出され、そのとき余剰結果間では、車両クラスターのエッジピクセルの最大数を持った車両ポリゴンのみが保存され、残りは削除される。クラスターのエッジは周囲長アルゴリズムで生成される。最終的に余剰の無い移動車両が残る。

駐車・アイドリング車両検出は駐車車両か単に待っているだけの車両かを識別するアルゴリズムである。各静止車両ポリゴンの4つ全ての頂点から前処理段階で既知となった道路のエッジの両側へ、空間領域における鉛直距離が計算される。最初に静止車両ポリゴンの頂点の一つが、道路端から駐車車両への距離の閾値に適合します。道路端から駐車車両への閾値は現地調査によって路上駐車と単なる静止車両を観察することで定義される。

TLS 底方面像を用いた補助アプローチは、上記の車両検出のメインアルゴリズムから漏れた場合の補助アプローチである。R. Bruce Iravin と D. M. McKeown の影検出を用いた TLS 底方面像の車両影検出による良好な可視性の状態では、車両影は車両の役割を果たす。原点としての重心において、擬似固定間隔の反太陽方向ベクトルが生成される。固定距離は TLS 底方面像にある車両サイズから定義される。ベクトルの終点において、「フレーム探知機」と呼ばれるサイズ

の固定された長方形ポリゴンが、長い方は道路方向と並行に、一方で短い方は道路方向に対して直角にこの終点を囲むように生成される。「フレーム探知機」は路上の車両らしい領域を検出するために「ノイズ除去画像」に上書きされる。検出された路上の車両らしい領域は「クラスタ」または「車両候補」にグループ化される。また、車両候補はポリゴン適合アプローチで長方形ポリゴンに適合される。車両モデルに一致した車両候補は車両として検出される。建物の影である場合も車両検出の手順はほとんど同じである。以下に記す点にほとんど違いは無い。良好な可視性の状況における、あいまいであるが車両の一部だと思われる手がかり、もしくは、建物の影がかかっている路上車両の手がかりは車両の一部である。前処理段階での TLS 未処理画像の影部分で、これらの手がかりは R. Bruce Iravin, D. M. McKeown の影検出と長方形ポリゴンの適合により検出される。反太陽方向ベクトルを基にしたフレーム探知機を生成する代わりに、ここでは'フレーム探知機'は手がかりを囲む'長方形ポリゴンの適合'になる。フレーム探知機はノイズ除去済み影補正画像に上書きされる。検出されたフレーム内の車両らしい領域はクラスタまたは車両の候補にグループ化される。車両モデルに一致する車両候補だけは検出された車両になる。しかし、私達の車両検出アルゴリズムの双方から余剰結果が発生する。同一の車両について、余剰結果は検出した車両ポリゴン内の CG ポイントを確認することで検出される。そのとき、余剰結果間で車両クラスタのエッジ画素数が最大の車両ポリゴンが保存され、他は削除される。クラスタのエッジは周囲長アルゴリズムで生成される。最終的に余剰の無い検出車両が残る。更に、車両検出の半自動アルゴリズムは、上記2つの車両検出の自動アルゴリズムに漏れた車両に適用される。ノイズ除去画像とノイズ除去影補正画像の GUI インタフェースが生成される。種子領域は拡張の原点として GUI インタフェースを通しマウスで入力される。非車両らしい領域の排斥によって選ばれた領域から、周囲の近隣領域は車両候補としてクラスタ化される。そして車両モデルの条件を満たした車両候補は検出車両となる。

最後に、TLS データを用いた車両検出アルゴリズムは東京の錦糸町領域において適用が認められている。私達のアルゴリズムの強さは高い確率での車両検出と、正確な駐車・アイドリング車両判別を含めた移動・静止車両判定である。