

全天球画像データベース作成のための色調統一と動物体の除去

高橋 英之[†] 堀 磨伊也[†] 神原 誠之[†] 横矢 直和[†]

[†] 奈良先端科学技術大学院大学 〒630-0192 奈良県生駒市高山町 8916-5

E-mail: †{hideyuki-t, maiya-h, kanbara, yokoya}@is.naist.jp

あらまし 移動カメラを用いて異なる地点・時刻に撮影された全天球画像を入力として画像処理を行なう研究では、入力画像間での色調の統一・画像中の動物体や陰の除去処理が要求される。本研究では異なる地点・時刻において撮影された映像から、動物体・陰・照明条件による見え方の違いを取り除いた全天球画像データベースを作成する手法を提案する。本手法では色調の統一と動物体や陰の除去処理を繰り返し行なうことで、高精度に動物体が除去され、かつ色調の一貫性を持つ画像が生成可能である。実験において屋外環境において車載全方位カメラで異なる時刻に撮影された全天球画像から色調の統一および動物体や陰の除去を行なった結果を示す。

キーワード 全天球画像, 動物体除去, 色調補正, 画像データベース

Removal of Moving Objects and Consistency of Color for Constructing an Omnidirectional Image Database

Hideyuki TAKAHASHI[†], Maiya HORI[†], Masayuki KANBARA[†], and Naokazu YOKOYA[†]

[†] Nara Institute of Science and Technology (NAIST) 8916-5 Takayama, Ikoma, Nara, 630-0192, Japan

E-mail: †{hideyuki-t, maiya-h, kanbara, yokoya}@is.naist.jp

Abstract This paper proposes a method for removing an inconsistency of images by moving objects, shadows and color tone among images for omnidirectional image database. The database is used for archiving of outdoor images in wide area or generating novel view images based on image-based rendering. In order to realize consistency of images, the proposed method iterates the following two processes: 1) removing of objects and 2) correcting of color tone of images. In experiment, we show image results by removing of an inconsistency among omnidirectional images captured with a car-mounted omnidirectional camera in outdoor environment.

Key words omnidirectional image, moving object removal, color correction, image database

1. はじめに

近年、Google ストリートビューに代表されるような、さまざまな道路上からの画像が閲覧可能なサービスや、道路付近からの任意視点映像を生成する研究 [1] などが多くみられるようになってきた。これらの手法の多くは図 1 に示すような車載の全方位カメラなどで撮影された画像データベースを用いて実現されている。特に、任意視点の映像をイメージベースドレンダリング [2] により生成する研究では、大量の画像が必要となる。イメージベースドレンダリングにより移動カメラを用いて異なる地点・異なる時刻に撮影された画像を入力として画像合成を行なう研究 [3], [4] では、現実環境の情報を密に取得することが要求されている。現実環境の情報を画像として取得する代表的な手法として全方位カメラを移動させて撮影する方式が挙げられるが、異なる地点・時刻に撮影された場合に入力画像間で照

明条件が異なる場合や動物体が存在する場合がある。これらの画像を合成してイメージベースドレンダリングを行なった場合、その画像の違いから生成結果に違和感が生じることがある [5]。この違和感を軽減するためには色調が統一され、かつ動物体が存在しない画像データベースが要求される。

イメージベースドレンダリングに用いる画像データベースを生成するための大きな課題として動物体の除去と色調の統一 [6], [7] が挙げられる。従来、画像中の動物体領域を異なる時刻に撮影された動物体の存在しない領域を用いて補間する手法 [8] が提案されているが、照明条件が大きく変化する環境に適用することが困難であった。また、複数の照明条件下で光源環境を推定し、照明の明るさの変化に対応して陰の除去を行なう手法 [9], [10] では、背景と似た色の物体の検出漏れや複数の陰が重なり合った領域の誤検出などが問題として挙げられる。また、ガウシアンモデルを利用し物体の表面反射特性を求め、

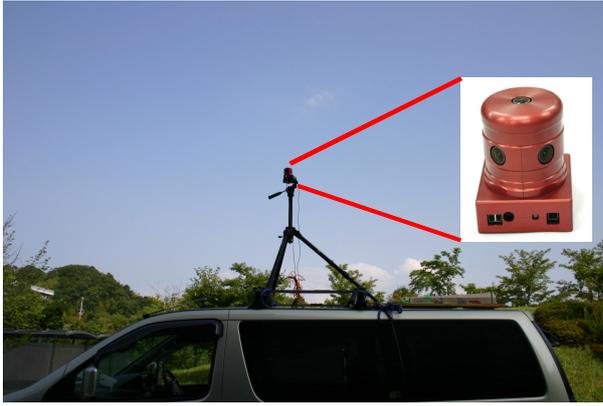


図 1 車載された全方位カメラの外観

陰と物体を分ける手法 [11] では、屋外環境での日照時のように物体の陰が強く落とされている場合に、物体と陰の区別ができないという問題点があった。一方、手法 [12], [13] では、画像を領域分割することで局所変化に対応した色調補正を行なっているが動物体が存在しないことを前提条件としているため、動物体が存在する場合に色調補正を正しく行なうことが困難であった。手法 [14] では、自由視点映像を構築する際に、物体の奥行き情報を利用して画像を前景と背景に分割し、それぞれの画像に対して色調の変換を最小二乗モデルに当てはめることで、参照画像の色調に近づける手法を提案しているが、屋外環境のように照明条件に大きな変化がある環境には対応できていない。

このように屋外環境で撮影された全天球画像群に対して従来法を適用した場合、動物体や陰の存在、照明条件が大きく異なるなど、さまざまな問題点が挙げられる。特に、屋外環境において視野の広い全天球カメラを用いて撮影した場合、大きな照明条件の変化や映り込む太陽などの対応も課題となる。本研究では異なる地点・時刻において撮影された全天球画像から、動物体・陰・照明条件による見え方の違いを取り除く手法の提案を行なう。本研究では、イメージベースドレンダリングなどで用いる全天球画像データベースの対象として屋外環境を想定し、車載の全方位カメラで複数回同じパスを撮影した画像を入力として利用する。さらに、データベースに含まれる画像は位置情報を保持しており、密に撮影されていると想定する。提案手法では、まず画像全体に対して色調補正を行なうことで動物体や陰の除去をおおまかに行なう。その後さらに分割小領域に分けて色調補正を行ない、再び動物体や陰の除去をするといった色調補正と動物体や陰の除去の二つの処理を交互に繰り返し実行することで全天球画像間での見え方の違いを取り除く。

以降、2. では繰り返し処理による色調の補正と動物体の除去手法について述べ、3. では動物体領域を補間する手法について詳述する。4. では提案手法を用いた実験として車載カメラで撮影された全天球画像の色調補正および動物体の除去を行なった結果を示す。最後に 5. にまとめと今後の課題を示す。

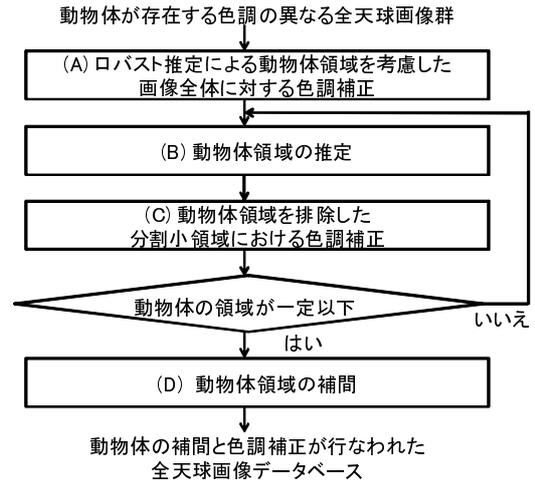


図 2 提案手法の処理の流れ

2. 繰り返し処理に基づく色調統一と動物体の除去

2.1 提案手法の概要

本研究では、色調補正処理と動物体の除去処理を繰り返すことで色調統一と動物体の除去が行なわれた全天球画像データベースの作成を試みる。図 2 に提案手法の処理の流れを示す。本研究で扱う入力画像は、撮影された日時・天候や色調が違い、近い場所で密に撮影された全天球画像群とする。まず色調の基準となる画像（以下、色調基準画像）を入力画像の中から選択し、各入力画像に対して画像全体で色調補正を行なう (A)。その際、ロバスト推定に基づき、動物体を例外値として排除して色調補正を行なう。次に色調補正された各画像と色調基準画像との差分から動物体領域を推定し (B)、動物体を排除した領域を小領域に分割して再び色調補正を行なう (C)。 (B) と (C) の処理を動物体領域が一定以下になるまで繰り返し更新を行ない、動物体を除いた領域で、より正確な色調補正を試みる。最後に色調補正済の画像中に存在する動物体領域を動物体が存在しない画像領域を用いて補間する (D) ことにより、動物体が除去され、かつ色調統一された全方位画像群の生成を行なう。以下に各処理の詳細を述べる。

2.2 ロバスト推定による動物体領域を考慮した画像全体に対する色調補正

一般に屋外環境で大量に画像の取得を行なう場合、各地点における撮影時刻が異なるため、天候や日照条件の変化により撮影画像の色調は統一されていない。本節では入力画像の中から選択された色調の基準となる画像を用いて、画像中から背景差分によって動物体領域を検出できるように、画像全領域に対して均一な色調補正を行なう手法について述べる。また、ここで用いる色調基準画像は、イメージベースドレンダリングなどを行なう際に適切と思われる白とびや黒つぶれがない画像を手動で選択する。色調補正を行なう際に車載全方位カメラで撮影された画像を入力として用いると、色調基準画像と入力画像の撮影位置には、ずれが存在するため対応する画素ごとに色調補正

を行なうことはできない．そこで本研究では色調補正を行なう際に，位置ずれの影響を軽減するために色調基準画像と色調変換後の入力画像のヒストグラムを比較し，互いのヒストグラムの類似度が最大となるように色調補正を行なう．以下に，照明条件が異なる複数の全天球画像に対して輝度値を線形変換することで，基準画像の色調に合わせる処理について詳述する．

本手法では照明条件の変化による見え方の違いに対する色調の補正処理は線形変換で行なえるものと仮定し，入力画像の輝度値を色調変換するパラメータを p_a, p_b とした場合の輝度値の変換を式 (1) に示す．

$$I'(x, y) = p_a I(x, y) + p_b, \quad (1)$$

ここで $I'(x, y)$ は画素 (x, y) における色調変換後の輝度値 I' は色調補正前の輝度値を表す．色調変換パラメータの推定は入力画像と色調基準画像との各 RGB の輝度値のヒストグラムの類似度に基づく以下の評価関数 $e(p_a, p_b)$ を最小化することで行なう．

$$e(p_a, p_b) = \sum_i \left\{ h_{out}(i) - \frac{1}{p_a} h_{in} \left(\frac{i - p_b}{p_a} \right) \right\}^2, \quad (2)$$

ここで， $h_{out}(i)$ は基準画像の輝度値 i の画素数を， $\frac{1}{p_a} h_{in} \left(\frac{i - p_b}{p_a} \right)$ は色調補正後の輝度値 i の画素数をそれぞれ表す． $e(p_a, p_b)$ を最小とする色調変換パラメータ p_a, p_b を求めるには計算量を要するため， p_a, p_b をある範囲内で離散的に変化させた時の $e(p_a, p_b)$ が最小となる p_a, p_b を解とし色調変換に用いる．推定した色調変換パラメータ p_a, p_b から式 (1) に基づき入力画像の R,G,B を独立に変換する．

しかし，屋外環境を全方位カメラで撮影した場合に映り込む空領域は，表現できる輝度値の最大を超えていることが多く，線形変換によって正しい色調に変換することができない．そこで，空領域などの線形に変換することが困難な領域は，色調変換パラメータを求める際には除去する．ただし，本研究では空領域は全天球画像の上部に存在する輝度値が一定閾値以上の領域と仮定し，事前に検出を行なう．

空領域だけでなく線形変換によって正しく変換することができない領域として動物体領域も考えられる．一般的に動物体領域を含む状態で色調補正処理を行なうと，その色調補正は動物体を考慮した補正処理となり，正しく色調の補正を行なうことができない．そこで，動物体領域を除去して色調補正をすることが望まれるが，動物体領域は空領域とは違い一枚の入力画像や異なる色調の画像群を用いて推定するのは困難である．そこで本研究では，ロバスト推定法として LMedS 法 [15] に基づき色調変換パラメータを求めることにより動物体領域の影響を軽減する．

動物体領域を考慮して色調補正するためのロバスト推定法について図 3 に概略を示す．LMedS 法に基づき色調変換パラメータを算出するための前提条件として，動物体領域が画像全体の半分以下である必要がある．画像中の動物体領域が半分以下であるなら，ランダムサンプリングを繰り返して行なうことで，動物体の影響を軽減し色調変換パラメータの推定が可能である．

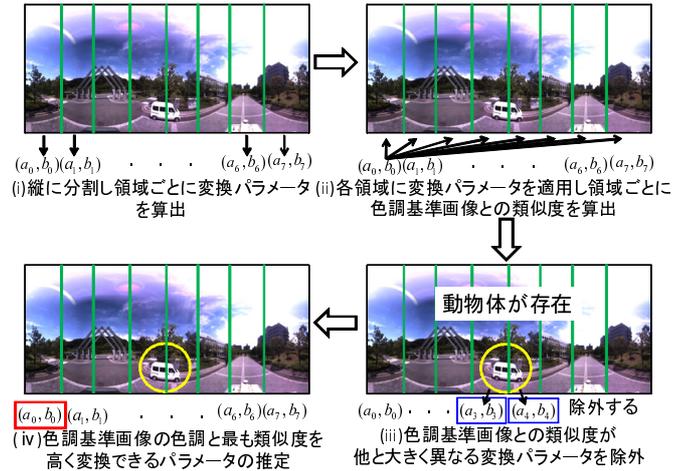


図 3 LMedS 法に基づく動物体領域を考慮した色調補正

まず，画像を分割して分割領域ごとに式 (2) のヒストグラムの類似度を求める評価関数を用いて色調変換パラメータを推定する (i)．動物体が存在しない場合には各領域で似た色調変換パラメータを推定することが可能である．その後，領域ごとに算出された色調変換パラメータをそれぞれ他の領域に適用する．もし，適用する領域に動物体が存在しない場合には，色調補正後にその領域で求められるヒストグラムと色調基準画像のヒストグラムの類似度が高くなる．逆に，色調変換パラメータを適用する領域に動物体が存在する場合，色調補正後にその領域で求められるヒストグラムと色調基準画像のヒストグラムの類似度が低くなる (ii)．その後領域ごとに外れ値を除いた類似度を算出し (iii)，それぞれの領域で求められたヒストグラムの類似度を比較する．類似度が最も高くなる p_a, p_b を色調変換パラメータとして (iv)，入力画像の空領域を除く領域に適用し色調補正を行なう．

2.3 動物体領域を排除した分割小領域における色調補正

一般に照明条件の異なる画像間では局所的に色調が変化する場合も考えられるため，画像一枚に対し一組の色調変換パラメータでは適切な色調補正が行えない場合がある．そこで本研究では色調補正をより正確に行なうため，動物体領域を排除した画像を小領域に分割し，領域ごとに色調変換パラメータを推定する．まず前節で色調補正された入力画像と色調基準画像の輝度値の差分から，動物体と思われる領域を抽出する．次に画像を小領域に分割し，動物体の領域を排除してヒストグラムの作成を行ない，各領域において前節で述べた手法を用いて色調変換パラメータを推定する．本研究では処理を高速化するため，一定間隔ごとに算出された色調変換パラメータを線形補間することで全ての画素に対する色調変換パラメータを求める．

3. 色調補正された画像群を用いた動物体領域の補間

仮に求められた色調変換パラメータを画像に適用したとしても，入力画像に存在する動物体領域は色調補正処理を繰り返すだけでは除去することはできない．そこで，色調補正された入力画像群を用いて前節で除去された動物体領域の補間を行な



図 4 照明条件が異なり動物体が存在する入力画像群

う．本研究で想定する入力画像群と色調基準画像には画像間での位置ずれが存在しているため，動物体領域の補間を行なう際に画像間での位置合わせを行なう必要がある．入力画像において動物体領域と推定される領域に対応する領域を色調の補正された入力画像群から探索し，補間を行なう．以下に処理手順を述べる．

(I) 分割小領域ごとに動物体と推定される領域を除いてテンプレートの作成を行なう．テンプレートの大きさは動物体領域の大きさに合わせて動的に変化させる

(II) テンプレートと対応する領域をパターン類似度として Sum of Squared Differences (SSD) を利用することで色調補正された画像群から探索する

(III) 色調補正された画像群は動物体が存在しない領域では同様の色調という仮定の下，対応する領域をそれぞれの画像群から取り出し，各画素の中央値を求めることで動物体領域を補間する

4. 屋外環境で撮影された全天球画像を用いた実験

本実験では車載全方位カメラで撮影された入力画像群を用いて色調の統一と動物体や陰の除去を行なった．全方位カメラは Point Grey Research 社製の Ladybug2 を用い，屋外環境での撮影を行なった．実験では車載全方位カメラを用いて異なる時刻・異なる照明条件の下で移動しながら撮影した．

本稿では 5 枚の画像 (解像度: 2048 × 1024 画素) を入力とし実験を行なった．5 枚の画像は近い場所で密に撮影されており，色調の大きく異なる画像や，動物体の存在する画像，また色調が異なり動物体の存在する画像などを用いた．図 4 に入力画像の一例を示す．図に示すように各入力画像には動物体が存在し，照明条件の変化により色調が大きく変化していることが分かる．また，各入力画像には撮影位置の不一致による画像の位置ずれが存在する．これらの入力画像に対し，図 4(a) に示す色調基準画像を一枚定め，LMedS 法を用いて画像全体で各画像の色調を補正した．また画像の色調補正を行なう際に空領域と推定される領域をあらかじめ除去した．空領域を検出した結果画像の例を図 5 に示す．図 5 の画像 A では画像右部に存在する建物上部が空領域と誤検出されてしまっているが，光源の影響で輝度値が飽和しているためであると考えられる．画像全体 (1 回目) で色調補正された結果画像を図 6 に示す．ここでは画像全体で一組の変換パラメータしか用いていないため部分的に色調

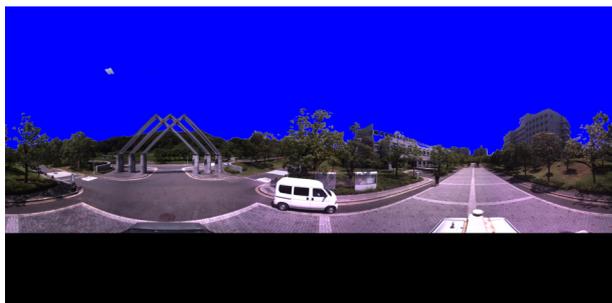
補正が正しく行なわれていない領域も存在しているが，全体的に色調基準画像の色調に近づいていることが分かる．このことは，図 7 に示すように入力画像・画像全体で色調補正された画像と色調基準画像との輝度値の差分が閾値以上ある部分を赤色でマスク処理した結果を見ても分かる．このマスク画像の領域に加えて，空領域を取り除いた領域に対して再び色調補正を行なった結果を図 8 に示す．この結果画像から，一組の色調変換パラメータを適用するよりも，小領域に画像を分割し色調変換パラメータを適用した結果画像の方が，地面の色や草の色などが基準画像の色調に近付いていることが分かる．最後に，これらの色調補正された画像を用いて各入力画像の動物体領域を補間した結果を図 9 に示す．図 9 の画像から，色調補正を行なった入力画像の動物体領域を色調補正された画像群によって補間できていることが確認できる．しかし，画像 A の中央部や画像 C の左部に存在する車両領域では補間結果の画像に違和感が見られる部分もあった．これは動物体領域を推定する際の閾値が原因であると考えられる．また，動物体と背景の境界が残ってしまっている部分については，全方位画像のひずみが原因であると考えられる．画像 B や D では色調基準画像の色調に合わせられ，違和感なく色調統一と動物体の除去が行なわれた．

5. まとめ

本研究ではイメージベースドレンダリングなどに使用可能な全天球画像データベースの作成を目的とし，色調補正と動物体の除去を行なう手法を提案した．提案手法では色調の補正処理と動物体の除去処理の二つの処理を交互に行なうことで動物体にロバストな色調の統一を実現した．実験では車載全方位カメラで撮影された全天球画像群を用いて，動物体の除去および色調統一された全天球画像のデータベースを構築した．実験によって色調補正と動物体除去を繰り返し行なうことの有効性を確認することができた．

今後の課題として，物体の一部が空領域として誤検出された問題に対して，空領域の高精度な検出方法の検討が挙げられる．また，分割小領域での色調補正を反射特性の同じ物体の領域ごとに色調補正処理を行なうことで，より正確な色調統一が可能だと考えられる．

謝辞 本研究の一部は，日本学術振興会科学研究費基盤研究 (A) No. 19200016 による．



(a) 画像 A



(b) 画像 B

図 5 空領域の検出結果画像



(a) 画像 A



(b) 画像 B

図 6 画像全体で色調補正された結果画像



(a) 画像 A



(b) 画像 B

図 7 色調補正に用いられる動物体領域を排除したマスク画像 (図中の赤色は動物体と推定された領域を示す.)

文 献

- [1] S. Ono, K. Ogawara, M. Kagesawa, H. Kawasaki, M. Onuki, K. Honda and K. Ikeuchi: "Driving view simulation synthesizing virtual geometry and real images in an experimental mixed-reality traffic space," Proceedings of IEEE and ACM International Symposium on Mixed Augmented Reality (ISMAR), pp. 214–215, 2005.
- [2] J. I. Park and S. Inoue: "Image-based rendering from multi-view images," Journal of ITE, Vol. 52, No. 3, pp. 371–376, 1998.
- [3] M. Hori, M. Kanbara and N. Yokoya: "Novel stereoscopic view generation by image-based rendering coordinated with depth information," Scandinavian Conference on Image Analysis (SCIA2007), pp. 193–202, 2007.
- [4] R. Sato, S. Ono, H. Kawasaki and K. Ikeuchi: "Real-time image-based rendering system for virtual city based on image compression technique and eigen texture method," International Conference on Pattern Recognition (ICPR08), 2008.
- [5] 堀, 神原, 横矢: "被写体距離を考慮した image-based rendering による広域屋外環境の両眼ステレオ画像生成", 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2007) 講演論文集, pp. 303–309, 2007.
- [6] 一刈, 西沢, 波多野, 柴田, 田村: "映画制作のための複合現実型プレビューアライゼーション (4) - Relighting による映画的照明効果の付与 -", 第 5 回デジタルコンテンツシンポジウム講演予稿集, 6-3, 2009.



(a) 画像 A



(b) 画像 B

図 8 動物体領域以外を小領域に分割し色調補正した結果画像



(a) 画像 A



(b) 画像 B



(c) 画像 C



(d) 画像 D

図 9 動物体除去および色調統一した結果画像

- [7] L. B. Vinh, 角田, 川上, 大石, 池内: “全方位カメラを用いた屋外複合現実感におけるオクルージョンを考慮した移動物体の検出と影の除去”, 情報処理学会研究報告, コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol. 2008, No. 36, pp. 295–300, 2008.
- [8] H. Amirshahi, S. Kondo, K. Ito and T. Aoki: “An image completion algorithm using occlusion-free images from internet photo sharing sites,” IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol. E91-A, No. 10, pp. 2918–2927, 2008.
- [9] G. Finlayson, S. Hordley and M. Drew: “Removing shadows from images,” European Conference on Computer Vision (ECCV2002), pp. 823–836, 2002.
- [10] 森田, 岩井, 谷内田: “室内における背景画像の推定と影の除去”, 情報処理学会論文誌, コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol. 44, SIG9(CVIM7), pp. 105–114, 2003.
- [11] Z. Liu, K. Huang, T. Tan and L. Wang: “Cast shadow removal with GMM for surface reflectance component,” International Conference on Pattern Recognition (ICPR2006), Vol. 1, pp. 727–730, 2006.
- [12] N. Moroney: “Local color correction using non-linear masking,” Color Science and Engineering Systems, Technologies, Applications, pp. 108–111, 2000.
- [13] E. Hsu, T. Mertens, S. Paris, S. Avidan and F. Durand: “Light mixture estimation for spatially varying white balance,” ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH2008), Vol. 27, 3, 2008.
- [14] F. Shao, G. Jiang and M. Yu: “New color correction method of multi-view images for view rendering in free-viewpoint television,” WSEAS Transactions on Computers, Vol. 7, No. 5, pp. 569–578, 2008.
- [15] D. Massart, L. Kaufman, P. Rousseeuw and A. Leroy: “Least median of squares: a robust method for outlier and model error detection in regression and calibration,” Analytica Chimica Acta, Vol. 187, pp. 171–179, 1986.