

ルートパノラマ作成のための線分抽出

野口 裕之[†] 向川 康博[†] 越後 富夫[†] 八木 康史[†]

[†] 大阪大学 産業科学研究所

〒 567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 8-1

E-mail: [†]{h-noguti,mukaigaw,echigo,yagi}@am.sanken.osaka-u.ac.jp

あらまし ラインスキャンカメラを移動させながら撮影することでルートパノラマを作成できるが、カメラを車両や移動ロボットに搭載すると揺れが生じてしまう。本研究では、特に影響の大きい上下方向の揺れを取り扱い、シーン中に存在する線分を手がかりに揺れを補正する。都市の街並みなどの人工物が多い環境では直線成分が数多く存在する。そのため、上下方向の揺れを補正するためには、環境中の直線が画像中でも直線になるように画像の各ラインを上下方向に移動させればよい。まず得られたパノラマ画像から Sobel オペレータを用いてエッジ画像を求め、そのエッジ画像からハフ変換で直線成分を検出する。求めた直線中から、その直線と直線に最も近いエッジとの距離、エッジの方向と直線の角度差などの情報をもとに線分を抽出する。その線分をもとに各ラインの移動量を決定して上下に移動させることでルートパノラマ中の上下方向の揺れの補正を行った。

キーワード ラインスキャンカメラ, ルートパノラマ, 都市モデリング

Line Segment Extraction for Generating Route Panorama

Hiroyuki NOGUCHI[†], Yasuhiro MUKAIGAWA[†], Tomio ECHIGO[†], and Yasushi YAGI[†]

[†] Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University

8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, 567-0047, JAPAN

E-mail: [†]{h-noguti,mukaigaw,echigo,yagi}@am.sanken.osaka-u.ac.jp

Abstract Route panorama images can be generated by moving a linescan camera. However, the linescan camera receives vibration if the linescan camera is mounted on car or robot. In this study, the vibration of vertical direction is considered. Panorama images including the vibration are corrected using line segments in images because there are many line segments in urban environments. Therefore the vertical vibration can be corrected so that lines in the environment are seen as lines in the panorama image. An edge image is extracted by Sobel operator, and lines in the image are extracted by Hough transform. Then, line segments are found based on the distance and orientation between the lines and the nearest edge point. Based on the line segments, the gap of each line is calculated and route panorama image can be corrected.

Key words linescan camera, route panorama, city modeling

1. はじめに

実写映像に基づくルートパノラマ [1] は、仮想現実感のための環境モデリングや、都市景観のデジタルアーカイブなどを目的とした広域環境のモデリングなど、様々な用途での利用が期待される。

ラインスキャンカメラは一般に 1 次元方向の解像度が高く、ルートパノラマ作成のための高精細な画像が得られることから実写映像に基づくセンシングデバイスとして有望視されている [2]。ラインスキャンカメラを搭載した車両やロボットを移動させながら周囲の環境を撮影することで高精細なルートパノラマ

画像を作成できるが、このようなシステムでは移動の際に生じる揺れの影響で、作成されたルートパノラマは進行方向に沿って歪みが生じやすい。

この問題の解決策として福井らは [3]、環境中の直線成分はルートパノラマ中においても直線になるように補正をするという手法を提案している。しかし、ルートパノラマにおける環境中の直線成分をユーザが手作業で定めなければならないという問題点があった。

そこで本研究では、ルートパノラマからハフ変換を用いて線分を抽出し、ラインスキャンカメラの上下方向の揺れを自動的に補正する手法を提案する。

2. ラインスキャンカメラを用いたルートパノラマの作成

2.1 ラインスキャンカメラ

ラインスキャンカメラとは通常のエリアカメラと異なり水平方向の画素数が1画素しかないかわりに垂直方向の画素数が多い画像が得られるカメラである。またラインスキャンカメラと、カメラを平行・回転移動させる機構を組み合わせることで高解像度画像の取得が容易に実現できるため、高精細なテクスチャデータが必要とされる都市景観のデジタルアーカイブなどの用途に適している。

図1にピンホールカメラモデルを仮定した時のラインスキャンカメラの投影モデルを示す。撮影画像は1次元であるため、高さ方向を表すパラメータ h を用いて $I(h)$ と表すことができる。

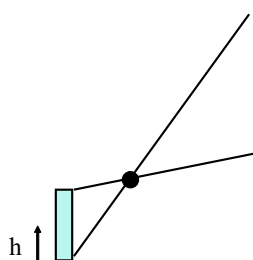


図1 ラインスキャンカメラ

2.2 ルートパノラマ作成のための原理

ラインスキャンカメラは1次元の画像しか撮影できないが、カメラを車両や移動ロボットに搭載してスキャン方向に対して垂直に平行移動させることによりルートパノラマを作成することができる。ラインスキャンカメラは1次元方向について高解像度であるため、カメラを細かく動かすことで、高精細な画像の取得が可能となる。

図2に示すように、ルートパノラマは高さ方向のパラメータ h に加えて、進行方向のパラメータ t を用いて、 $I(h, t)$ と表すことができる。

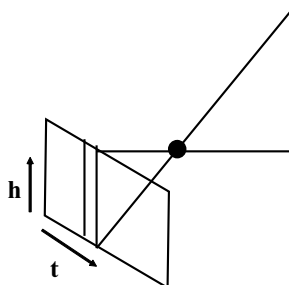


図2 ラインスキャンカメラの並進によるパノラマ作成の原理

3. 揺れの検出と補正

3.1 揺れの原因と補正原理

ルートパノラマを作成するためには、ラインスキャンカメラをスキャン方向に対して垂直に等速直線運動をさせなければな

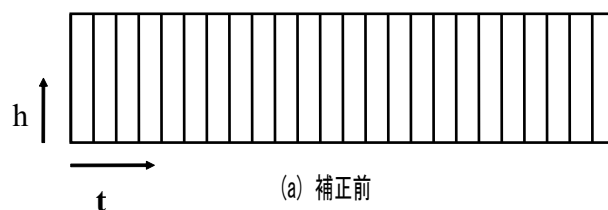
らない。しかし、カメラを車両などに搭載して撮影すると、路面の凹凸などによって生じる振動により、カメラに様々な揺れが生じる。そのため、各時刻で撮影された1次元データをつなぎ合わせるによって作成されるルートパノラマは、進行方向に沿って歪みが生じてしまう。人間が見て、自然なルートパノラマを作成するためには、この揺れを補正する必要がある。

ラインスキャンに加わる揺れは、3軸方向への並進と3軸まわりの回転として考えることができる。このうち、もっとも影響が大きいのは、カメラの進行方向軸に沿った回転と、上下振動である。この影響により、作成されたルートパノラマでは、図8(a)の例のように上下方向の揺れが目立ち、水平方向のエッジが波状に揺れてしまう。そこで、本研究では、上下方向の揺れのみを取り扱い、ルートパノラマの補正を行う。

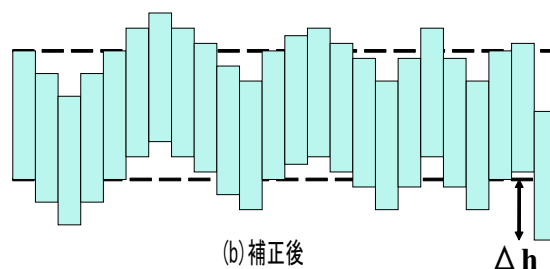
上下方向の揺れに限定することで、進行方向の t ごとに独立して揺れを補正することができる。すなわち、ルートパノラマの各 t に対するラインを上下に平行移動すればよい。各 t に対する上下方向の移動量を $\Delta h(t)$ とすれば、補正前のルートパノラマ $I(h, t)$ と、補正後のルートパノラマ $I'(h, t)$ は、次式のような関係となる。

$$I(h, t) = I'(h + \Delta h(t), t) \quad (1)$$

すなわち、ルートパノラマの補正は、カメラの進行方向の各 t に対する上下移動量 $\Delta h(t)$ を求める問題に帰着できる。



(a) 補正前



(b) 補正後

図3 上下移動の補正

3.2 シーン中の線分を利用した揺れ補正

都市の街並み等の人工物が多く見られる環境中においては数多くの線分成分が存在する。そのためパノラマ画像中にも多くの線分成分が存在するはずである。ところが実際はラインスキャンカメラに上下方向の揺れが加わるため環境中の線分はパノラマ画像中においては線分ではなく曲線として射影される。そこで、環境中の線分がパノラマ画像中においても曲線ではなく線分として射影されるように画像を上下方向に移動させることを考える。

3.3 ルートパノラマからの線分抽出

まず、ルートパノラマに対して Sobel オペレータを適用し、エッジ画像を作成する。R,G,B の各成分ごとにエッジ強度を算出し、それらの総和をもとに適当な閾値を定めて2値化する。また、X方向とY方向の微分値から、エッジ方向についても算出しておく。

次に、エッジ画像からハフ変換によって直線成分を抽出する。閾値を超えた投票値に対応する直線成分をルートパノラマ中に存在する直線成分とする。

最後に、実際にルートパノラマ中に存在する線分を抽出する。各直線について、有効区間と無効区間の判定を行う。各 t ごとに、 h 方向の距離が最も近くなるエッジ点を見つける。この距離が閾値以内であり、かつ、エッジ方向と直線方向の角度差が小さい場合に、このエッジ点は、この直線に属していると判定する。直線に属するエッジ点が存在する区間が有効区間である。ただし、有効区間が短い場合は、ノイズの影響の可能性が高いため、無効区間とする。

以上の一連の処理により、各直線における有効区間が線分となり、線分の各 t において線分の属するエッジとの関係が求められる。

3.4 移動量決定

前節までで、ルートパノラマ中に存在する線分と、その線分に属すると判断されるエッジの関係が求められた。次に、これらの情報をもとに、進行方向の各 t におけるスキャンラインの上下方向の移動量を決定し、ルートパノラマの揺れを補正することを考える。

揺れの補正のためには、各 t における移動量 $\Delta h(t)$ を決定すれば良い。基本的には、各 t における線分の位置と、その線分に属するエッジの位置から移動量を算出することができる。しかし、各 t のラインと交差する線分が1本だけの場合には、移動量は一意に定められるが、実際には、ルートパノラマ中には多数の線分があり、また、 t によっては対応する線分が存在しない場合もある。そこで、これらの複数の線分の情報から、移動量を算出することを考える。

まず、各 t におけるスキャンラインと交差する線分の数によって、以下の3パターンに分類する。

- (a) 交差する線分がない
- (b) 1本の線分と交差する
- (c) 2本以上の線分と交差する

(a) の場合は、移動量に関する手がかりがないため、補正は行わず、 $\Delta h(t) = 0$ とする。(b) の場合は、線分とその線分に属するエッジの位置関係から、 $\Delta h(t)$ を一意に定めることができる。

一方、(c) の場合は、各線分について移動量が求められるが、線分とエッジの誤対応などによって、その移動量は一致しないことが多い。誤対応が生じると、大きな外れ値となるため、各線分ごとの移動量の平均値を用いると、正しく補正できない。そこで、本研究では、各線分ごとの移動量の中央値を用いる。中央値を用いることで、外れ値の影響を排除できると考えられる。

4. 実験結果

4.1 合成画像を用いた実験

まず、ルートパノラマ中の線分に基づく揺れ補正の有効性を確認するために、ラインスキャンカメラには上下方向の揺れのみが加わっているという理想的な条件下で、揺れ補正の実験を行った。実際に、上下方向の揺れのみで制限して撮影することは難しいため、合成画像を用いた。図4(a)は、通常のエリアセンサカメラを用いて建物を撮影した画像である。この画像の各ラインが、正弦波状に上下に揺れるように人工的にラインをずらした結果が同図(b)である。エッジ画像、抽出した直線、抽出した線分を、それぞれ同図(d),(e),(f)に示す。建物のペランダに相当する線分が、ほぼ正しく抽出できていることが確認できる。すべての線分が抽出されたわけではないが、各 t ごとに最低1本の線分があれば、移動量は算出できる。一部、線分の情報がない区間があるが、ここはテクスチャがない領域である。これら線分に基づいて揺れを補正した結果を同図(c)に示す。ペランダが直線状になり、視覚的に満足できる画像となった。なお、線分の情報がない区間は補正されていないが、もともテクスチャがないため、ずれは目立たない。

次に、以上の揺れ補正の誤差評価を行った。揺れは人工的に加えているため、正解との比較が可能である。図5(a)は、振幅が5の正弦波として与えた人工的な揺れである。同図(b)は、提案手法により推定された移動量であり、振幅のずれはあるもののほぼ同様の正弦波になっていることがわかる。同図(c)は、(a)と(b)の差として定義される誤差である。ルートパノラマ中にテクスチャが存在せず、移動量を決定できなかった領域を除いては、誤差は抽出された線分ごとに一定の値をとっている。環境中の線分とハフ変換を用いて抽出した線分に誤差が生じ、その誤差の分だけ人工的に加えた揺れと推定された移動量に一定の差ができていたが、環境中の線分とハフ変換を用いて抽出した線分の差はほんのわずかなものでありその影響は小さい。

4.2 実写画像を用いた実験

次に、実際にラインスキャンカメラを車に搭載して移動させながら撮影して得られたルートパノラマ画像をもとに実験を行った。ルートパノラマ作成のためのシステムは、図6のようなシステムで行った。



図6 システム全景

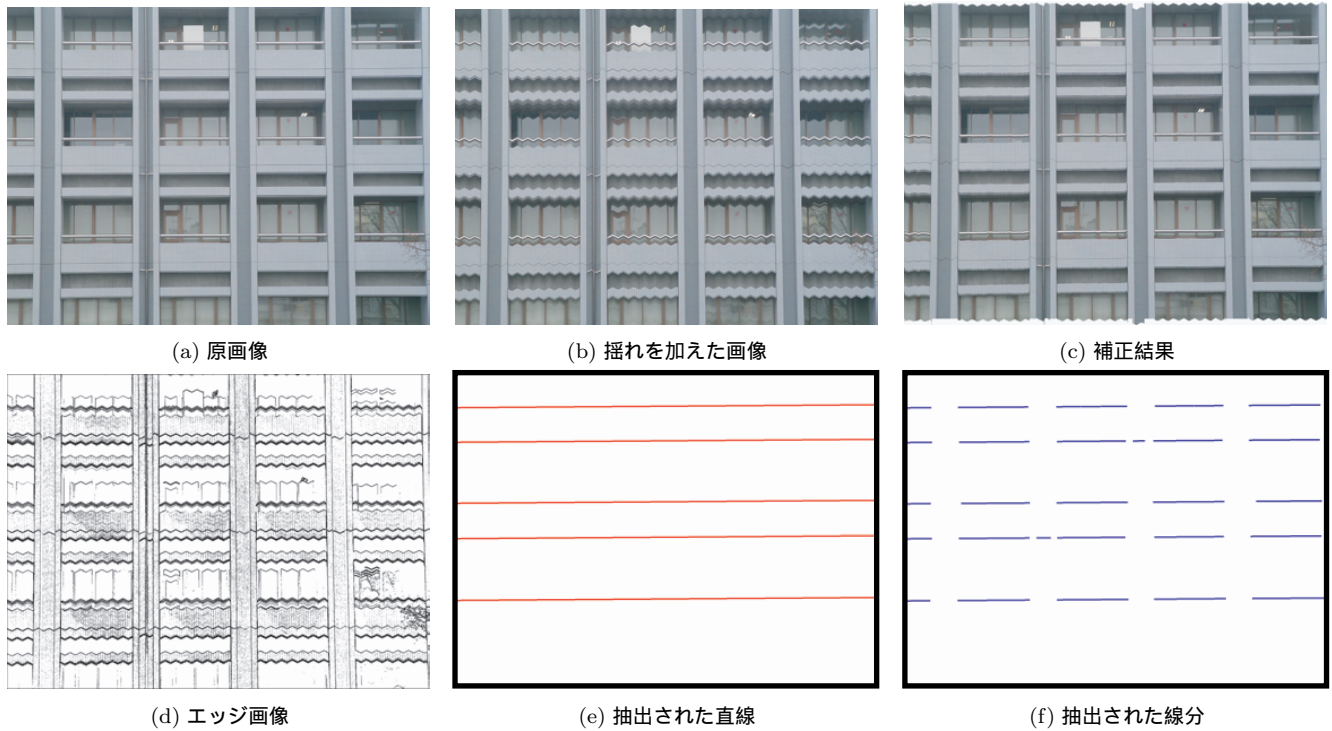


図 4 合成画像による実験結果

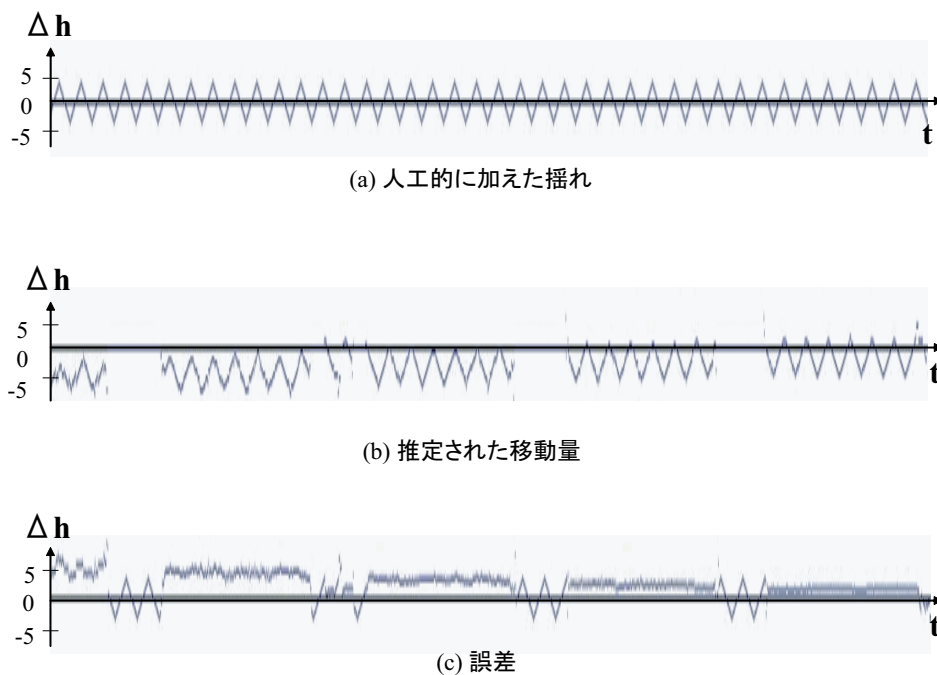


図 5 誤差評価

ラインスキャンカメラは、図 7 で示した日本エレクトロセンサリデバイス株式会社の 3 板式デジタルカラーカメラ N3CL2048D を用いた。このラインスキャンカメラは 1 ライン 2048 画素のものである。

このようなシステムで車を移動させながら撮影して得られたルートパノラマは図 8 (a) であり、 34000×2048 の解像度である。

この画像から検出されたエッジを示したのが図 8 (b)、そのエッジをもとに抽出された直線を示したのが図 8 (c) であり、そ

してこの画像から抽出された線分を示したのが図 8 (d) である。この線分をもとに画像を補正した結果は図 8 (e) のようになった。この実験では上記の合成画像を用いた実験と比べるとやや違和感が残るような補正結果が得られたが入力画像における上下方向の揺れは低減されていてより自然な画像となっている。

5. おわりに

本稿ではラインスキャンカメラに加わるさまざまな揺れのうち上下方向の揺れのみを考えて、ルートパノラマの各ラインを



図 7 ラインスキャンカメラ

上下に平行移動させることで補正を行う手法を提案した。

まず，入力画像から Sobel オペレータを用いてエッジ画像を作成してそのエッジ画像をもとにハフ変換を行い画像中の直線成分を抽出する．求めた直線とエッジ点の関係から線分を抽出し，その線分と対応するエッジ点の距離をもとに各ラインの移動量を求めて入力画像をラインごとに上下に移動させることで補正を行った．

しかし実際にラインスキャンカメラを乗り物に搭載して移動させたときには上下方向の揺れのみではなくさまざまな揺れが加わる．よって本稿で扱った上下方向の揺れの他にもさまざまな揺れを補正する手法を考えなければいけない．また，求めた線分に属するエッジ点の決定も現在の方法では誤対応が生じる状況があるため新たな手法を考える必要がある．

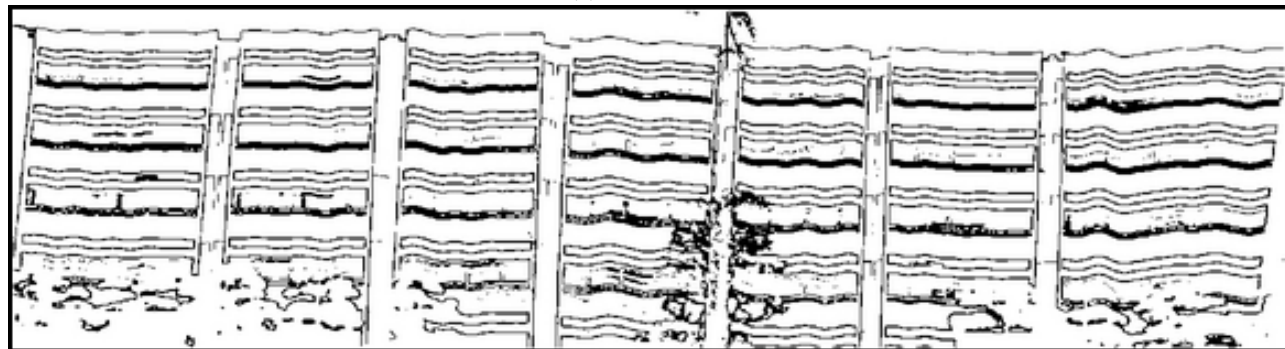
今後の課題としてまず線分に属するエッジ点をより正確に判定できる方法を考え，次に上下方向の揺れ以外の揺れが加わったルートパノラマの補正に取り組む予定である．

文 献

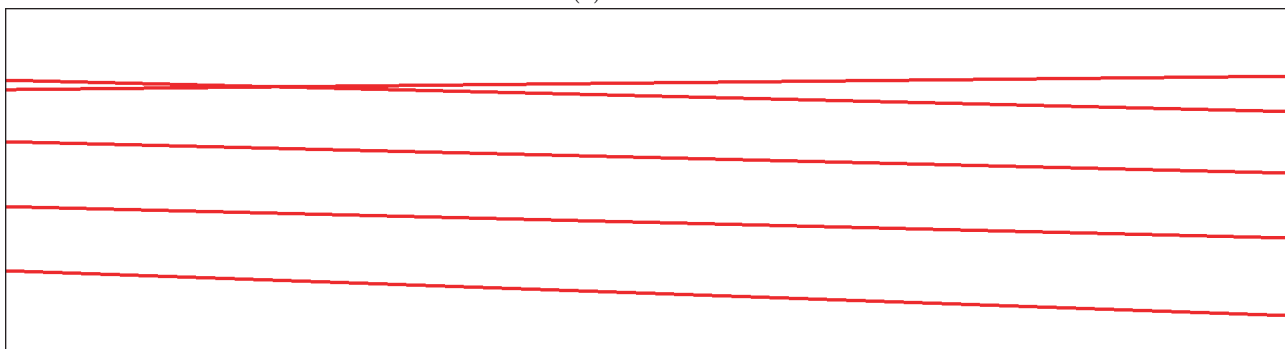
- [1] Zheng, J.Y. and Tsuji, S.: Panoramic Representation for Route Recognition by a Mobile Robot, Int. J. Computer Vision, Vol.9, No.1, pp.55-76(1992).
- [2] Barth, M. and Barrows, C.: A Fast Panoramic Imaging System and Intelligent Imaging Technique for Mobile Robots, Proc. IEEE/RSJ Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp.626-633(1996).
- [3] 福井章二, 八木康史, 谷内田正彦 “ラインスキャンカメラと全方位カメラによる高精細パノラマ画像生成”, 情報処理学会 CVIM Vol.2004, No.6, pp.53-58(2004)



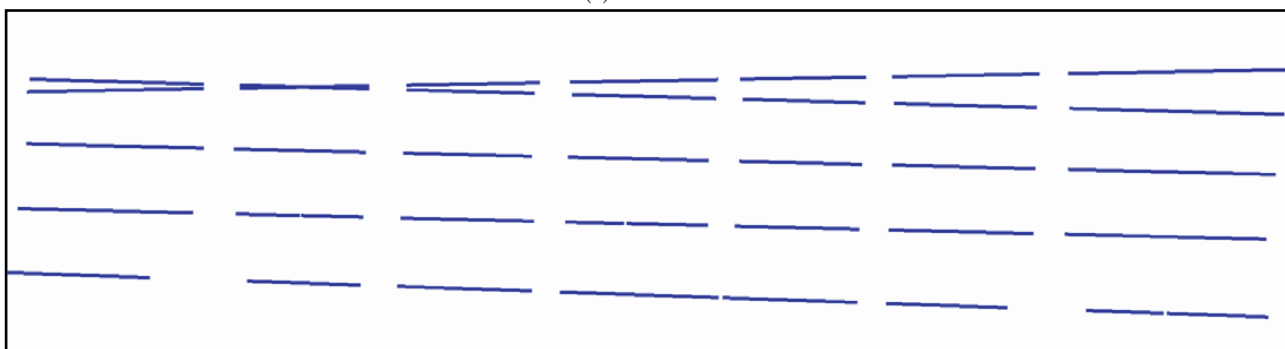
(a) 修正前の画像



(b) 検出されたエッジ



(c) 抽出された直線



(d) 抽出された線分



(e) 補正結果