

高層建築物の壁面構造の反復に着目した 航空写真からの壁面テクスチャ抽出方式

北村裕介, 曾鑫, 荒木俊輔, 碓崎賢一

A Texture Extraction Method for Sidewall Based on Repeated Structure of Tall Buildings on Aerial Photography

Yusuke KITAMURA, Xin ZENG, Shunsuke ARAKI
and Ken'ichi KAKIZAKI

Abstract: In the presented paper, we propose an extraction method of wall textures for tall buildings' 3D models. We focus on buildings' repetitive structure which consists of windows and verandas and extract wall textures from aerial photography. Therefore, our method detects buildings' repetitive structure using increment sign correlation, and then decides the area for extracting wall textures. We confirm that our proposed method can extract 80% area of wall textures from aerial photography.

Keywords: 航空写真(aerial photography), 高層建築物(tall building), 壁面(wall), テクスチャ(texture), 景観シミュレーション(landscape simulation), 3次元モデル(3D model)

1. はじめに

広域の3次元の都市景観モデルは、景観シミュレーションなどで利用されている。我々はその都市景観モデルの作成手法として、航空写真の視差画像を用いたステレオマッチング[1]の研究を行っている。この方法は建物の3次元形状を生成する手法である。したがって、臨場感や写実性を高めるためには、都市における主たる構成地物であるビルなどの高層建築物の壁面を特定し、テクスチャを抽出する技術が欠かせない。ビルの壁面を特定する手法として鳥瞰・街並み画像からビルの壁面のエッジや規則的に配置された窓のエッジを Hough 変換などによって抽出する手法[2]がある。しかしながら、この手法では広範囲にわたる鳥瞰画像・街並み画像を入手することが求められる。そこで、我々はステレオマッチングで使用した都市部の航空写真を使って、広域な3次元の都

市景観モデルを構築するための壁面抽出の研究を行っている。本稿では、航空写真を用いて高層建築物の壁面に多い窓やベランダなどの特徴的な壁面構造が階層分繰り返す壁面を対象とした壁面テクスチャの抽出手法を示す。

2. 高層建築物の壁面の分析

2.1 壁面構造の反復

航空写真では、図1のように、主点から放射方向に建築物の壁面が写りこむ。

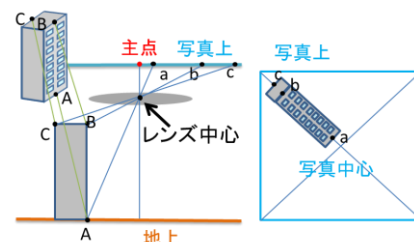


図1: 航空写真での建築物の写り方

特に高層建築物の壁面はベランダや窓などの壁面構造の反復が多く、航空写真中にこの反復が現れている。つまり、主点から放射方向に反復する

領域が抽出したい壁面であるとみなせる。

2.2 増分符号相関を用いた反復領域の相関の推移

この壁面構造の反復は、航空写真の壁面領域では高い相関値が周期的に表れるため、増分符号相関(Increment Sign Correlation: ISC)[3]を用いて、高層建築物における壁面の ISC 値の変化を確認した。ISC の処理手順を以下に示す。

- ① 符号化: 式(1)と式(2)でテンプレート内の画素 T と対象画像内の画素 I を特定方向の増分で符号化する。

$$b_i = \begin{cases} 1 & (T_{i+1} \geq T_i) \\ 0 & (T_{i+1} < T_i) \end{cases} \quad \dots(1)$$

$$b'_i = \begin{cases} 1 & (I_{i+1} \geq I_i) \\ 0 & (I_{i+1} < I_i) \end{cases} \quad \dots(2)$$

- ② 一致率計算: 式(3)を用いて符号の一致率を計算する。

$$R_{ISC} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \{b_i \times b'_i + (1-b_i) \times (1-b'_i)\} \quad \dots(3)$$

ISC 値(R_{ISC})は 0~1 の値をとり、1 に近づくほど相関が高く、テンプレートと対象領域が似ていることを示す。

主点から放射方向の壁面の反復をとらえるために、図 2 のように主点から放射方向の隣接画素の増分を符号化した。

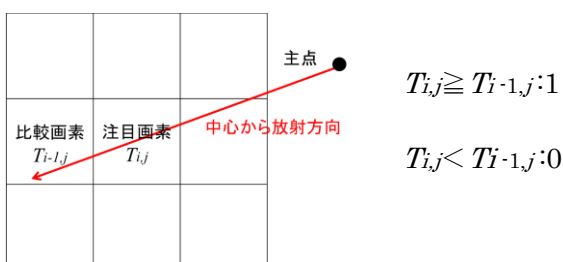


図 2 : 増分取得方向

増分符号相関を用いて、図 3 の赤枠領域で示す高層建築物の壁面の一部をテンプレートとして、オレンジ色の線に沿って相関を求めた。図 4 にテンプレートからの距離に対する ISC 値の推移を示す。実験により、次の 2 つの特徴を確認した。

- 極大値の間隔と一階あたりのピクセル数が等しい

- ISC 値の極大値と極小値の差が大きい

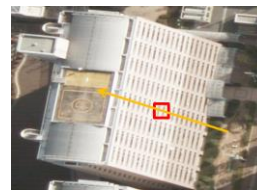


図 3 : 反復壁面

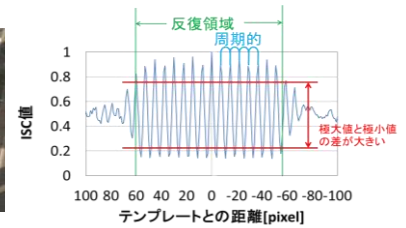


図 4 : テンプレートからの距離に対する ISC 値の推移

2.3 反復周期の異なる壁面以外の反復領域

航空写真には、高層建築物の壁面以外にも反復する領域が撮影されている。例えば、図 5 に示すようなトタンの屋根や横断歩道の白線などである。これらは航空写真の壁面と同様の周期的に繰り返す特徴を持っているため、これらと壁面の領域を区別する必要がある。図 6 に壁面の一部とトタンの屋根の一部をテンプレートとして、主点から放射方向の ISC 値の推移のグラフを示す。



図 5 : トタンの屋根

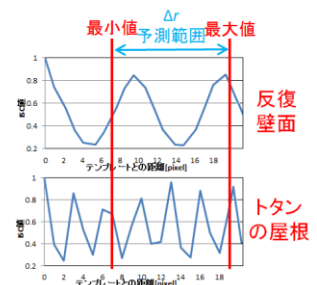


図 6: 反復壁面とトタンの屋根の ISC 値の推移

図 6 を見ると、どちらも 2.2 節で確認した 2 つの特徴を確認できるが、反復壁面の反復周期とトタンの屋根の反復周期は異なる。極大値の間隔と一階あたりのピクセル数が等しいという特徴から、壁面構造が反復する予測周期 Δr と反復壁面の ISC 値の推移における周期は等しいと考えられる。そこで、図 7 の以下のパラメータを用いて予測周期 Δr を式(4)により求めた。

- R : 主点から注目点までの距離
- Δt : 階高
- T : 注目点の高さ

- H : 撮影高度

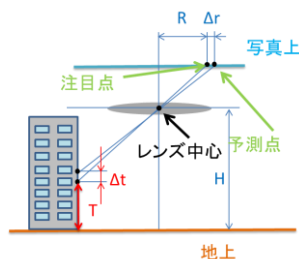


図 7 : 周期の予測

$$\Delta r = \frac{R \cdot \Delta t}{H - T - \Delta t} \quad \cdots(4)$$

階高と注目点は未知であるため、建築基準法とその航空写真を撮った地域での最も高い建物の高さを用いて、以下のような範囲に設定した。

- 階高 Δt : 2.1m~5.2m
- 注目点の高さ T : 0m~撮影地区での最も高い建物の高さ

これらを用いて求まる反復周期 Δr も範囲を持つ。図 6 における情報により式(4)から求めた反復周期 Δr の予測範囲を確認した。反復壁面の ISC 値の推移では、予測範囲内で初めて極大値が現れるのに対して、トタンの屋根の ISC の値推移では予測範囲までに 2 回も極大値が現れた。このことから壁面の反復領域では ISC 値の推移における最初の極大値は Δr の予測範囲内で現れるという特徴を確認できた。 Δr の予測範囲を求めることで、壁面以外の反復領域を除外できる。

2.4 反復周期が似た壁面以外の反復領域

航空写真にはトタンの屋根のように反復の周期が違うものだけではなく、横断歩道の白線などの壁面構造の反復周期と似た周期を持つものが存在する。この横断歩道の白線を除外するために、視差画像を用いる。図 8(a)に壁面を抽出する対象画像、図 8(b)にその視差画像を示す。SSD(Sum of Squared Difference)を用いて対象画像と視差画像間の相関を取得した結果を図 8(c)に示す。相関が高い領域を黒く、相関が低い領域を白く示している。図 8(c)にて赤枠で囲った横断歩道の白線領域の相関は高く、青枠で囲った壁面領域の相関は低

い。これは、撮影時の航空機の位置により、壁面は写り方が異なるが地面に存在する横断歩道の白線は同様に写るためである。このように、対象画像と視差画像の相関を取得して、相関値の高低によって壁面領域か横断歩道の白線かどうかを判断することができる。



(a) : 対象画像 (b) : 視差画像



(c) : 相関画像

図 8 : 対象画像と視差画像の相関

3. 壁面構造反復領域の抽出

3.1 壁面構造反復抽出手法

2章で示した特徴を用いて壁面テクスチャを抽出するための手法を示す。

Step.1 航空写真の全画素に対し、壁面であるかの投票値を取得

- ① 注目画素を決定する。
- ② 壁面構造が反復する予測区間を式(4)を用いて算出する。
- ③ Δr の最大値までテンプレートからの距離に対する ISC 値を取得する。
- ④ Δr の予測範囲にある最も大きい ISC 値の極大値(図 9 の緑点)を見つける。
- ⑤ その極大値の $\pm th1$ 以内の極大値がその極大値までに出現していなければ処理⑤に移り、出現していれば処理①に戻る。
- ⑥ 処理③で求めた極大値までの区間での最小の極小値(図 9 の赤点)との差が閾値 $th2$ 以上の大きさであれば反復する壁面構造の一部であると判定し、処理⑥に移り、そうで

なければ、処理①に戻る。

- ⑦ 反復する壁面構造の一部と判定されたので、テンプレートを設定した場所(図 10 の赤枠)から壁面構造が 1 周期分反復したと判定された場所(図 10 の緑枠)の間の領域(図 10 の青色領域)内の全ての画素に投票する。

Step.2 閾値 $th3$ 以上の投票値を持つ画素を抽出

Step.3 対象・視差画像を用いて、誤検出領域を除去

- ① 対象・視差画像の相関画像を SSD より算出
② 壁面と抽出された領域の SSD 値の平均が閾値 $th4$ 以下ならば、誤検出として領域を除去

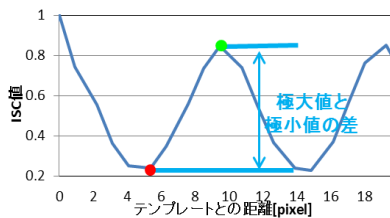


図 9：予測範囲の ISC 値の推移



図 10：投票領域

4. システムの試作と評価

本手法の有効性を示すために、壁面抽出手法を試作し、実験を行った。次のパラメータを用い、目視による抽出結果を理想壁面として、比較を行った。

- テンプレートサイズ：23pixel×23pixel
- 反復する極大値を判定する閾値 $th1$ ：0.1
- ISC 値の極大値と極小値の差の閾値 $th2$ ：0.2
- 投票値の閾値 $th3$ ：300
- 誤検出除去の SSD の閾値 $th4$ ：10000

図 11 に壁面の抽出結果と理想壁面の比較結果の一部を示す。本試作システムで検出できた理想壁面部分を青く、誤って検出された壁面を赤く示している。3.1 節で示した Step.3 の誤検出除去をした場合としない場合の結果として式(5)と式(6)によって算出した検出率と誤検出率を表 1 に示す。

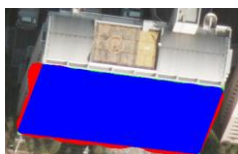


図 11：抽出結果

$$\text{検出率} = \frac{\text{検出した面積}}{\text{理想壁面面積}} \quad \dots(5)$$

$$\text{誤検出率} = \frac{\text{誤検出の面積}}{\text{検出壁面の面積}} \quad \dots(6)$$

壁面構造が反復している壁面においては Step.2 の視差画像を用いた誤検出除去をした場合もしなかった場合も 83%程度抽出できた。検出できなかった 16%程度の大部分の原因は窓のカーテンなどの開閉状態が ISC に影響を与えるためであった。視差画像によって誤検出除去をした場合、除去しなかった場合と比較して、誤検出を 6%程度削減できた。残った 31%程度の大部分は反復周期が壁面と似ていて、かつ高さを持っており、航空写真を撮るとき異なる写り方をする屋上の設置物などであった。

表 1：抽出結果の比較

視差画像による誤検出除去	なし	あり
対象壁面の検出率	83.7 %	83.1%
誤検出率	37.7%	31.6%

5. おわりに

本稿では、高層建築物における階層構造による壁面構造の反復に着目した航空写真からの壁面抽出システムを提案し、反復壁面を 80%程度抽出できることを確認した。反復周期が壁面と似た屋上の設置物などの誤検出を除去する方法や抽出できなかった壁面を検出する方法について研究を進めたい。

参考文献

- [1] 前川, 荒木, 碓崎, “ステレオ空中写真による高速 DSM 抽出に向けて,” 地理情報システム学会講演論文集, Vol.20, F-5, 2011.
- [2] 上野, 酒澤, “ビル壁面の規則的テクスチャを利用した鳥瞰・街並み画像からのビル領域抽出手法,” 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会, Vol.110, pp.177-182, 2011.
- [3] 村瀬, 金子, 五十嵐, “増分符号相関によるロバスト画像照合,” 精密工学会誌, Vol.66, No.2, pp.261-265, 2000.