

J-36

距離画像による建物のワイヤースケーム要素の抽出

Extraction of wire frame elements of buildings using range image

星 仰† Takashi Hoshi
阿久津 功朗† yoshiaki akutsu

1. 研究の概要

建物モデルを構築する場合、距離データが点データであるため、CAD モデルを構築する線分の交点は手動で選択することを前提としている。このとき、交点を算出する方法として、線分の両端点を抽出している。しかし、両端点が距離画像に写っていないなどが原因で抽出できない場合もある。そこで、本研究では両端点間の線分上の距離データを活用することで線分抽出し、その線分の交点から建物を構成する線分の交点を推定し、算出する手法を提案する。

2. 距離画像装置

本研究で用いた距離画像装置は、「LMS-210」である。この装置は、垂直スキャン角度 $\pm 40^\circ$ 、水平スキャン角度 $\pm 166.5^\circ$ の範囲内で、そのすべての画素の距離、仰角、水平角、受光強度を測定することができる。精度は標準で $\pm 2.5\sim 10\text{cm}$ である。

3. 線分の抽出

ここでは、建物を構成する線分を抽出する手順について説明する。そのプロセスは、次の1)~5)のようになる。

- 1) 建造物の距離画像装置による撮影
- 2) 距離画像からの距離画像エッジの抽出とその画像化
- 3) エッジ画像をもとに、抽出したい線分上を手動で2点選択する。
- 4) その2点の座標、エッジの制約、2次元のuv座標系の制約、3次元のxyz座標系の制約を用いて抽出したい線分上の点を選出する。
- 5) 項目4で選出されたすべての点を用いて、最小2乗法により直線方程式を算出する。

3.1 実験対象の建物

本研究では、大学構内にある建物をワイヤースケーム要素の実験対象とし、建物の近くにある別の建物の7階から撮影した距離画像を実験に用いた。さらに、この建物の上部から見た寸法図が図1のようになる。抽出するワイヤースケーム要素は寸法図の線分A, B, Cとした。

3.2 エッジの抽出と画像化

距離画像データにおけるグラディエント、または距離が変化する点集合(距離画像エッジ)を抽出する方法として図2のように 3×3 フィルタ内で3つの三角パッチを定義し、その三角パッチを 90° づつ回転させることによって、4パターン合計12個の三角パッチA~Lを定義した。ここで、三角パッチ同士の同一平面判定を行うために、それぞれの三角パッチの単位法線ベクトルを算出する。ここでは点 P_1, P_2, P_3 で構成される三角パッチAを例として、その法線ベクトルを N_A 、単位法線ベクトルを N_{Ae} とする。

$$N_A = (P_3 - P_2) \times (P_2 - P_1), \quad N_{Ae} = \frac{N_A}{|N_A|} \quad (1)$$

それぞれの三角パッチが同一平面にあるかどうかを判定するには、式(1)で算出した単位法線ベクトル N_{Ae}, N_{Be}, N_{Ce} の差をとり、その長さを求めることにより、単位法線ベクトルのずれを求めることができる。ここで、判定基準となるしきい値を P_{th} とする。三角パッチA, B, Cをもつ三角パッチの集合において、3つの三角パッチが同一平面である場合、次の式(2)の条件が同時に満たされる場合とした。

$$|N_{Ae} - N_{Be}| < P_{th}, \quad |N_{Ae} - N_{Ce}| < P_{th}, \quad |N_{Be} - N_{Ce}| < P_{th} \quad (2)$$

同様に4パターンすべての三角パッチ集合についても同一平面判定を行った。その処理結果を図3のように画像化した。このエッジ画像においては、黒がエッジ、灰色は平面、白は距離データが抽出されていない点を表示している。

3.3 ユーザによる2点選択

ワイヤースケーム要素を抽出する場合、エッジ画像をもとに、線分上を手動で2点選択する。図4の例では、ワイヤースケーム要素Aを抽出する場合で、破線円の中心を2点として選択している。

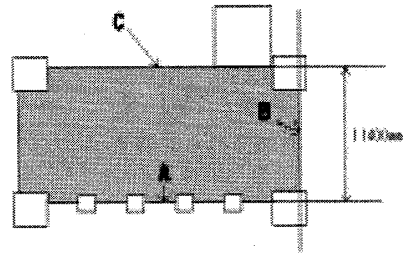


図1 対象建物の上部寸法図

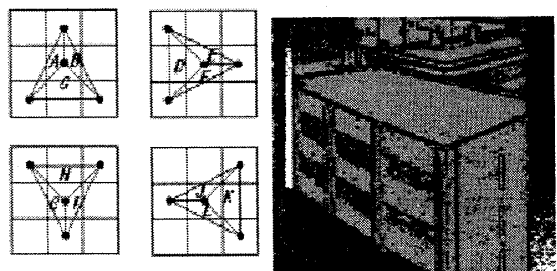


図2 三角パッチパターン 図3 レンジエッジ画像

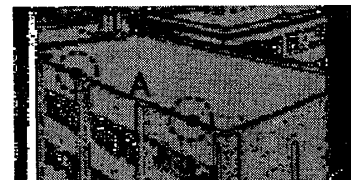


図4 2点選択

† 茨城大学 Ibaraki University

3.4 線分上の点の選出

手動での2点選択によって得られる2点の2次元のuv座標、3次元のxyz座標をもとに線分上に属する画素点を選出する。画素点を選出する場合、1)~3)の制約を満たす点を選出点とした。

1) エッジによる制約

選出点はエッジ上になければいけない。

2) 2次元のuv座標系による制約

エッジの幅が広い場合、uv座標系で制約をつくることによって、線分に対して明らかに逸脱した選出点を排除することができる。2次元のuv座標系において、点 $p_1(u_1, v_1)$ と点 $p_2(u_2, v_2)$ を通る直線 $v = f(u)$ において、u, vの値を0.1づつ変化させて、その結果をnearest neighbor法を用いて直線方程式上の画素点を算出した。さらに、その直線方程式にn画素の幅をもたせた。選出点は、この幅n画素の直線方程式によって指定された範囲内になければいけない。

3) 3次元のxyz座標系による制約

2点を通る3次元のxyz座標系における直線方程式を求め、その直線方程式と候補点との距離を算出する。その距離に制約を作ることで3次元的に逸脱した点を排除することができる。点 $p_1(x_1, y_1, z_1)$ と点 $p_2(x_2, y_2, z_2)$ を通る直線が $y = ax + b, z = cx + d$ のようになったとする。ここで式(6)の直線と、ある点 $p_3(x_3, y_3, z_3)$ の距離sを算出すると、式(3)のようになる。

$$s = \sqrt{s_x^2 + s_y^2 + s_z^2}$$

$$s_x = x_3 + \frac{ab - ay_3 - x_3}{a^2 + 1}, s_y = y_3 + \frac{a(ab - ay_3 - x_3)}{a^2 + 1} - b, \quad (3)$$

$$s_z = z_3 + \frac{c(ab - ay_3 - x_3)}{a^2 + 1} - d$$

選出点は、式(7)で算出された距離sがしきい値 S_{th} より小さくなければならない。

3.5 最小2乗法による線分方程式の算出

線分を構成する画素点を選出されたら、その選出点を通る最小誤差の3次元直線方程式を、最小2乗法を用いて算出する。ここで誤差方程式 $W_{\alpha_i}, W_{\beta_i}$ を式(4)のようにおく。

$$W_{\alpha_i} = ax_i + b - y_i \quad (4)$$

$$W_{\beta_i} = cx_i + d - z_i$$

この誤差 $W_{\alpha_i}, W_{\beta_i}$ の2乗を最小にする係数a, b, c, dを求める。計算の結果、式(5)のような連立方程式を解くことによって求めることができる。

$$\begin{bmatrix} X^2 & X \\ X & N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_y \\ Y \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} X^2 & X \\ X & N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c \\ d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_z \\ Z \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$X^2 = \sum x_i^2, X = \sum x_i, Y = \sum y_i, Z = \sum z_i,$$

$$X_y = \sum x_i y_i, X_z = \sum x_i z_i$$

3. 線分の近似交点算出

3次元空間の直線Aを $y = ax + b, z = cx + d$ 、直線Bを $y = ex + f, z = gx + h$ とおく。この、2直線A, Bは必ずしも交差するわけではない。そこで、図5のように直線A

上の点 $P_A(p_a, ap_a + b, cp_a + d)$ と直線B上の点 $P_B(p_b, ep_b + f, gp_b + h)$ 間の距離 s_{AB} が最小になる場合の、点 P_A と点 P_B の中点を近似交点 P_s とする。ここで、距離 s_{AB} が最小になる p_a, p_b を求めたいので、 $S_{AB}^2 = \Omega$ として p_a, p_b で偏微分する。その式が0になる場合が、 p_a, p_b が最小となる。偏微分の結果、式(6)のような連立方程式が求まる。

$$\begin{bmatrix} a^2 + c^2 + 1 & -ae - cg \\ -ae - cg - 1 & c^2 + e^2 + 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_a \\ p_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a(f - b) + c(h - d) \\ e(b - f) + g(d - h) \end{bmatrix} \quad (6)$$

式(6)の連立方程式を解くことによって p_a, p_b が求まり、点 P_A と点 P_B の中点を求めることができる。

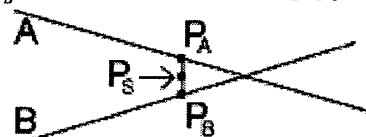


図5 近似交点

4. 精度実験の結果

精度実験として、まず図1のワイヤーフレーム要素A, B, Cを抽出し、その直線方程式を算出した。さらにAとB, BとCの近似交点を算出しその交点同士の距離を算出した。この試行は繰り返して行い、その平均を算出した。その実験結果を表1に示す。 \bar{r} は実験値 r_i の平均である。

表1 実験結果

試行 i	実験値 r_i	$\bar{r} - r_i$	試行 i	実験値 r_i	$\bar{r} - r_i$
1	11.020	-0.435	6	11.588	+0.133
2	12.238	+0.783	7	11.963	+0.508
3	11.260	-0.195	8	11.570	+0.155
4	10.692	-0.763	9	11.717	+0.262
5	11.723	+0.268	10	10.777	-0.678
平均・標準偏差				11.455	±0.481

5. 考察とまとめ

実験値の標準偏差は $m_0 = \pm 0.481$ となった。この誤差の原因としては、選出点が建物の屋上に存在する凹凸などが原因で変化してしまうことが考えられる。この交点算出法の利点としては、手動で交点を選択する場合よりも確実に交点を算出できることのほかに、距離画像中に交点が撮影されていなくても、それを推定して算出することができることも挙げられる。今後に課題としては、新しい制約条件をつくることで、精度の向上をはかるとともに、ユーザが手動で行っている抽出線分の指定を自動化するなど、アルゴリズムを汎用化することなどが挙げられる。

参考文献

[1] Minssso Suku, Suchendra M Bhandarkar, "Three-Dimensional Object Recognition from Range Images", Springer-Verlag Press, 1992
 [2] 星仰, 野中政嗣, "距離画像を用いた平面の抽出" 情報処理学会 64 回大会, 2-107, 2001