LOD と区分的法線ベクトルによる建物データの高速描画法

平岡 透^{a,*}

Method for High-Speed Drawing of Building Data with LOD and Piecewise Normal Vector

Toru Hiraoka^{a,*}

(Received August 7, 2016; revised August 31, 2016; accepted September 15, 2016)

Abstract

We propose a fast real-time rendering method for drawing building data on a computer. Our proposed method utilizes LOD (level of detail) and a piecewise normal vector, and reduces the number of sides of building data to draw in accordance with the distance from the viewpoint. We show visually and quantitatively the effectiveness of our proposed method through experiments using huge volumes of real building data in Oita City. The experiments show that the drawing can be faster by incorporating our proposed method to the conventional methods.

キーワード : 建物データ, 高速描画, LOD, 区分的法線ベクトル

Keywords : Building data, High-speed rendering, LOD, Piecewise normal vector

1. はじめに

現在, さまざまな地形や地物データの位置や形状を三次元的に表現することのできる三次元の地理情報システム (GIS : geographic information systems) が注目されている⁽¹⁾。三次元 GIS は, 環境や景観などの表示および災害や環境汚染などの解析に応用されている。一般的に, 三次元 GIS は二次元 GIS と比較して大容量のデータを扱うため, ユーザがリアルタイムに三次元空間内を移動できる描画の方法が必要で, 実用上でボトルネックとなっているのがこの大容量データの処理である。また, 三次元 GIS では, 三次元の地理データとして地形データと建物データがよく利用されている。地形データと建物データの相違点として, 建物データは一軒ごとに上面と側面のポリゴンのグループとして識別され, かつ多くの側面のポリゴンが地面に垂直であることが挙げられる。地形データの高速描画法はこれまでに数多く提案されており⁽²⁻⁶⁾, また建物データの高速描画法も坂田ら⁽⁷⁾や平岡ら⁽⁸⁾などの研究をはじめ数多く提案されている。坂田らの方

法は, 視野内に入る建物データのみを描画するものである。平岡らの方法は, 建物データをブロック分割して視野内に入る建物データの判定の計算量を削減するというものである。さらに平岡らの方法では, 視点から見える建物データの側面のみを描画し, また区分的法線ベクトルを用いて建物データの側面の描画判定の計算量を削減している。区分的法線ベクトルとは, 建物データの側面をその法線ベクトルの方向でグループ化するためのベクトルである。

本稿では, 上述の平岡らの方法 (以下, 従来法) をすべて実装した上で, LOD (level of detail) と区分的法線ベクトルによって建物データの描画を高速化する方法を提案し, 大分市の大容量の建物データを用いた実験を通してその有効性を検証することを目的とする。LOD とは, 視点からの距離に応じてコンピュータ上に表示するポリゴンやポリゴンにテクスチャマッピングする画像の細さを調整する技術であり, 遠くのポリゴンや画像を粗くすることによって描画速度を高速化することができる。LOD は, DEM (digital elevation model) や TIN (triangulated irregular network) の地形データに応用されており⁽⁴⁻⁶⁾, また建物データにも応用されている^(9,10)。LOD を用いた建物データの従来の高速描画法では, 距離に応じて, 個別の建物データの一部や全部を描画し, また建物データ

* Corresponding author. E-mail: hiraoka@sun.ac.jp

^a 長崎県立大学

〒851-2195 長崎県西彼杵郡長与町まなび野 1-1-1
University of Nagasaki
1-1-1, Manabino, Nagayo, Nishisonogi, Nagasaki, Japan
851-2195

の上面のポリゴンを簡略化することで描画するポリゴン数を削減している。提案法は、距離に応じて区分的法線ベクトルで描画される建物データの側面が決まる。従来法と提案法で用いる区分的法線ベクトルの考え方は同じであり、従来法は区分的法線ベクトルを用いて視点から見える建物データの側面をすべて描画しているが、提案法は距離に応じて区分的法線ベクトルによってグループ化された建物データの側面のうち視点から正面に見えないようなグループは描画しない。三次元 GIS では遠景で都市や流域全体を俯瞰する場合が多く、このような場合に提案法は有効なものとなる。実験を通して、提案法が従来法よりも高速に描画できることを確認する。また、描画しない建物データの側面によって出力画像が劣化することも考えられるため、実験を通して質的な評価も行う。

2. 従来法

建物データをブロック分割された領域に割り当て、まずブロックが視野に入るかの判定を行い、次に視野に入ったブロック内の建物データに対して視野の内外判定を行う。このとき、建物データをその重心位置が入るブロックへ割り当てる。また、ブロックは幅が B の正方ブロックとする。

かつ、図 1 に示すように、建物データの側面の法線ベ

Fig. 1. Relationship between normal vectors of sides of building data and the drawing.

Fig. 2. Conceptual diagram of piecewise group.

クトル（建物の外向き）と視点から注視点への視線ベクトルのなす角のコサインが負の値となる建物データの側面を描画する。このとき、図 2 に示すように、建物データの側面の法線ベクトルを北から東回りに一定角度 θ_T で区分された $M(=360/\theta_T)$ 個のグループ $G_m(m=1,2,\dots,M)$ に割り当て、各グループ G_m の区画の最小角と最大角における外向きのベクトルをそれぞれ代表ベクトル（区分的法線ベクトル） $v_{m,1}$ と $v_{m,2}$ として、いずれかの代表ベクトルと視線ベクトルの内積が負の値となるグループを求め、そのグループ内の建物データの側面を描画する。つまり、一定角度 θ_T 度で区分された M 個のグループのうち、約 $M/2$ 個のグループの建物データの側面を描画することになる。建物データの側面の各グループへの割り当てはあらかじめ計算しておき、属性データとして建物データの各側面に付与しておく。なお、建物データの上面はそのまま描画する。

3. 提案法

提案法は、従来法に加えて、視点から近い建物データの側面に対しては描画するグループの数 N を多く、遠い建物データの側面に対しては描画するグループの数 N を少なくする LOD によって高速化する。具体的には、視点から建物データまでの距離 D に応じて、一定角度 θ_T 度で区分された M 個のグループのうち $M/2$ 個よりも少ないグループの建物データの側面を描画する。このとき、建物データの側面を描画する N 個のグループは、代表ベクトルと視線ベクトルのなす角のコサインが -1 に近い値のものから選択する。

4. 実験と結果

本章では、まず実験を行う上での条件を示し、次に提案法の描画速度による評価を行い、最後に出力画像の質的な評価を行う。

4.1 実験条件

提案法と従来法を旧佐賀関町と旧野津原町を除く大分市内の建物データ（図 3 参照）167,425 件にそれぞれ適用した。建物データの上面のポリゴン数は 167,425 個、建物データの側面のポリゴン数は 1,256,313 個、建物データの全体のポリゴン数は 1,423,738 個であった。建物データは、東西約 25.4km×南北約 21.4km の範囲に存在している。建物データは、階数情報を持っているため、1 階を 3m とし、2 階以降は 1 階ごとに 2.5m を加えることで建物の高さを算出した。また、図 3 に示す 2 つの視点でそれぞれ実験を行った。図 3 の視点 1 は建物データの存在する範囲の中央の位置、視点 2 は建物データの存在する範囲の最南端で東西方向の中央の位置である。視点 1 と視点 2 の標高は、いずれも 500m である。視点 1 と視点 2 の視線は、いずれも北向きである。平岡らの文献 (8) を参考にして、視野角を 90 度、ブロック幅 B を 500m、

法線ベクトルを区分する角度 θ_r を 10 度として実験を行った。このとき、一定角度 θ_r 度で区分されたグループの数 M は 36 個であり、従来法によって描画されるグループの数は 18 個となる。参考のため、視点 1 と視点 2 からの出力画像を図 4 に示しておく。図 4 の上が視点 1、下が視点 2 からの出力画像である。図 4 の出力画像は、す

Fig. 3. Building data in Oita City.

Fig. 4. Building data which is drawn in three dimensions.

べての建物データを描画したものである。出力画像の描画ウィンドウのサイズは、横 1,008 画素×縦 709 画素である。従来法と提案法の性能を定量的に評価するための描画速度として、100 コマの描画に要した時間を計測し、1 コマ当たりの平均描画時間を求めた。平均描画時間を求めた理由は、描画時間を計測する時計の精度に起因するためである。計算環境は、ノートパソコンで、OS が Windows 7 Home Premium、CPU が 2.30GHz、メモリが 8.00GB、グラフィックチップが NVIDIA GeForce GT630M、使用言語は VC++ と OpenGL である。

4.2 描画速度に関する実験と結果

視点から建物データまでの距離 D が T 以下の建物データの側面は従来法、 T より大きい建物データの側面は提案法によって描画する実験を行った。このとき、視点 1 においては T を 0km から 10km までの 2km 刻みの 6 通り、視点 2 においては T を 0km から 20km までの 4km 刻みの 6 通りで実験を行った。 T が 0km の場合は、すべての建物データに対して提案法を適用したことを意味する。また、視点から建物データまでの距離が T より大きい建物データの側面に提案法を適用する際のグループの個数 N は、視点 1 と視点 2 ともに 0 から 16 までの 2 刻みの 9 通りで実験を行った。グループの個数 N が 0 の場合は、建物データの側面が描画されないことを意味する。つま

Table 1. Drawing speed in view point 1 [second].

		閾値 T [km]					
		0	2	4	6	8	10
グループの個数 N	0	0.029	0.029	0.033	0.050	0.073	0.088
	2	0.047	0.048	0.050	0.063	0.078	0.088
	4	0.053	0.053	0.055	0.066	0.079	0.088
	6	0.056	0.057	0.059	0.068	0.081	0.089
	8	0.060	0.060	0.062	0.070	0.082	0.089
	10	0.063	0.063	0.064	0.071	0.082	0.089
	12	0.065	0.065	0.067	0.073	0.084	0.089
	14	0.070	0.069	0.071	0.075	0.084	0.089
	16	0.078	0.078	0.078	0.080	0.086	0.088
	18	0.089					

※ $N=18$ の場合：従来法と同じ

Table 2. Drawing speed in view point 2 [second].

		閾値 T [km]					
		0	4	8	12	16	20
グループの個数 N	0	0.060	0.060	0.064	0.076	0.123	0.185
	2	0.097	0.097	0.100	0.110	0.143	0.187
	4	0.109	0.109	0.112	0.119	0.148	0.186
	6	0.119	0.119	0.122	0.128	0.153	0.187
	8	0.126	0.125	0.128	0.134	0.157	0.187
	10	0.131	0.132	0.134	0.139	0.159	0.188
	12	0.140	0.140	0.141	0.145	0.164	0.187
	14	0.149	0.150	0.151	0.154	0.168	0.188
	16	0.167	0.167	0.168	0.169	0.176	0.188
	18	0.187					

※ $N=18$ の場合：従来法と同じ

り、視点1と視点2のそれぞれに対して54通りの描画の実験を行った。 N を18とした場合が従来法であり、この場合での視点1と視点2からの描画の実験も行った。視点1と視点2における描画速度の実験の結果を表1と表2にそれぞれ示す。表1と表2より、従来法と提案法による描画の閾値 T とグループの個数 N の値が小さいほど、描画速度が向上することがわかる。また、提案法は従来法よりも高速に描画されていることもわかる。

4.3 出力画像の質に関する実験と結果

従来法によって視点1と視点2からそれぞれ描画した出力画像において建物データが映っている画素と、提案法によって描画した出力画像において建物データが映っている画素を比較して、従来法では建物データの画素であるが提案法では建物データでない画素の数（以下、誤認画素数）を計測した。このとき、出力画像の建物デー

タの輝度差は考慮していない。この視点1と視点2の誤認画素数をそれぞれ表3と表4に示す。表3と表4のカラムの上段が誤認画素数、下段が従来法において建物データが映っている画素数（以下、正解画素数）に対する誤認画素数の割合（以下、誤認率）である。視点1と視点2の正解画素数は、それぞれ63,902個と20,415個であった。 N を18とした場合が従来法である。表3と表4より、従来法と提案法による描画の閾値 T とグループの個数 N の値が小さいほど、誤認画素数が多くなり、誤認率が大きくなることがわかる。

この実験で表示された出力画像を見ると、グループの個数 N が小さく、視点から建物データまでの距離 T が短い場合に描画されない建物データの側面が目立つが、筆者が見て T が0km以上2km未満の場合は N を18、 T が2km以上4km未満の場合は N を14、 T が4km以上6km未満の場合は N を10、 T が6km以上8km未満の場合は N を6、 T が8km以上10km未満の場合は N を2、 T が2km以上の場合は N を0程度に設定すれば見た目上問題がないと判断した。この場合の視点1と視点2の誤認識画素数はそれぞれ697個と1,920個であり、誤認率はそれぞれ1.088%と9.405%であった。また、この場合の視点1と視点2の出力画像とすべての建物データの側面を描画した図4を10人の被験者により比較して貰った結果、すべての人が違いがわからないと回答した。

5. おわりに

LODと区分的法線ベクトルによって建物データを高速化する方法を提案した。大分市の建物データを用いた実験を通して、提案法が従来法よりも高速に描画できることを確認した。また、出力画像の質的な評価も行った。

今後の課題は、CPUとGPUの処理バランス・メモリアクセス・データ転送時間の異なったあらゆる環境において実用上の性能を発揮するかを検証すること、また大分市より広範囲の都市や都道府県、流域に提案法を適用することである。

本研究で使用した建物データは、大分市都市計画部都市計画課より提供して頂きました。

文 献

- (1) 日本写真測量学会誌編集委員会：「三次元GIS－応用事例編－」，写真測量とリモートセンシング，Vol.43，No.2，pp.4-50，2004
- (2) J. Stewart：「Hierarchical Visibility in Terrains」，In Rendering Techniques '97 (Proc. of Eurographics Rendering Workshop)，pp.217-228，1997
- (3) 荒屋信二，陳 鉉淑，荒屋亨：「WWW対応3次元地理情報システムのための効率的な地形モデル」，電子情報通信学会論文誌，Vol.J83-DII，No.4，pp.1153-1161，2000
- (4) P. Lindstrom, D. Koller, W. Ribarsky, L. F. Hodges N. Faust, and G. A. Turner：「Real-time, Continuous Level of Detail Rendering of Height

Table 3. The number of false recognition pixels and the recognition rate [%] in view point 1.

		閾値 T [km]					
		0	2	4	6	8	10
グループの個数 N	0	41,595 65,092	39,836 62,339	29,638 46,380	13,086 20,478	2,993 4,684	168 0.263
	2	17,293 27,062	15,995 25,031	10,886 17,035	4,039 6,321	1,160 1,815	86 0.135
	4	10,432 16,325	9,326 14,594	6,883 10,771	2,485 3,889	828 1,296	83 0.130
	6	7,135 11,166	6,487 10,151	4,717 7,382	1,745 2,731	655 1,025	83 0.130
	8	4,906 7,677	4,371 6,840	3,040 4,757	1,172 1,834	430 0,673	48 0.075
	10	3,602 5,637	3,210 5,023	2,210 3,458	957 1,498	371 0,581	42 0.066
	12	2,737 4,283	2,487 3,892	1,676 2,623	786 1,230	324 0,507	42 0.066
	14	1,871 2,928	1,765 2,762	1,212 1,897	623 0,975	300 0,469	41 0.064
	16	931 1,457	923 1,444	583 0,912	324 0,507	151 0,236	1 0.002
	18	0 0.000					

※ $N=18$ の場合：従来法と同じ

Table 4. The number of false recognition pixels and the recognition rate [%] in view point 2.

		閾値 T [km]					
		0	4	8	12	16	20
グループの個数 N	0	15,021 73,578	11,965 58,609	9,647 47,254	6,420 31,447	3,050 14,940	151 0.740
	2	8,023 39,300	5,699 27,916	4,176 20,456	2,269 11,114	1,103 5,403	63 0.309
	4	5,648 27,666	3,752 18,379	2,635 12,907	1,402 6,867	683 3,346	47 0.230
	6	3,545 17,365	2,281 11,173	1,520 7,446	801 3,924	393 1,925	44 0.216
	8	2,072 10,149	1,303 6,383	867 4,247	477 2,337	243 1,190	31 0.152
	10	1,307 6,402	851 4,169	571 2,797	339 1,661	196 0,960	26 0.127
	12	723 3,542	498 2,439	332 1,626	210 1,029	124 0,607	19 0.093
	14	372 1,822	260 1,274	184 0,901	119 0,583	71 0,348	15 0.073
	16	143 0,700	105 0,514	73 0,358	42 0,206	25 0,122	2 0.010
	18	0 0.000					

※ $N=18$ の場合：従来法と同じ

Fields”, SIGGRAPH '96 Proceedings of the 23rd Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, pp.109-118, 1996

- (5) 柴田智, 穴見智広, 是石幸男, 平岡透:「デジタル写真測量とリアルタイムレンダリングの技術を用いた 3 次元景観シミュレーションー一般国道 220 号牛根大橋起工式の活用事例」, 測量, Vol.50, No.12, pp.25-28, 2000
- (6) 平岡透, 山田清文, 浦浜喜一:「三次元 GIS のための TIN の高速描画」, 先端測量技術, Vol.89-90, pp.122-125, 2006
- (7) 坂田京平, 佐々木大, 荒木俊輔, 碓崎賢一:「三次元都市計画支援システムのための高速描画方式」, 情報処理学会技術報告, 2004-CG-117(9), pp.49-54, 2004
- (8) 平岡透, 野中尋史, 熊野稔:「区分的法線ベクトルを用いた建物データの高速描画法」, 日本高専学会誌, Vol.18, No.4, pp.39-44, 2013
- (9) Döllner and H. Buchholz: “Continuous Level-of-detail Modeling of Buildings in 3D City Models”, Proceedings of the 13th Annual ACM International Workshop on Geographic Information Systems, pp.173-181, 2005
- (10) F. Biljecki: “The Concept of Level of Detail in 3D City Models”, PhD Research Proposal, GIST Report, No.62, pp.1-58, 2013

平岡 透

1995 年 3 月九州芸術工科大学芸術工学部画像設計学科卒業。2011 年 11 月大分工業高等専門学校情報工学科准教授。2016 年 4 月長崎県立大学情報システム学部情報システム学科教授, 現在に至る。画像処理、地理情報処理、地域防災の研究に従事。