

OctTINs : 8 次格子にもとづく不規則三角網 OctTINs : Triangular Irregular Networks Based on Octgrids

安齊 公士¹
Koushi Anzai
土田 賢省²
Kensei Tsuchida

後藤 隆彰²
Takaaki Goto
宮寺 庸造⁴
Youzou Miyadera

鈴木 将功³
Masanori Suzuki
夜久 竹夫⁵
Takeo Yaku

要旨

地形図の特徴抽出に適した、8 次格子に基づく octTIN と呼ばれるあらたな不規則三角網 TIN を紹介する。OctTIN は 2 段階で生成される。はじめに、規則的矩形分割に筆者らが提案した矩形数低減化法を適用して矩形数の少ない不規則矩形分割を生成する。次に、その不規則矩形分割に筆者ら提案の三角化法を適用して octTIN を得る。さらに地形図の octTIN は、実験的に 4 分木に基づく三角化法に比して概ね 3 倍の三角形数低減効率を持つことが示される。

1. はじめに

本論文は地形図の可視化と特徴抽出を扱う。機械的に生成される曲面データは DEM データやデジタル画像のようにラスタデータとして生成されるために、曲面の CG で矩形分割は広く使われている。そこで、特徴を損なわずに矩形分割の解像度低減を行う方法が研究されてきた(e.g. [1, 5])。しかし視認性等に関しては三角網 (以下 TIN) (e.g. [2]) が適していて、矩形分割は必ずしも適していない。そのため DEM データ等の効果的な可視化と特徴抽出のために矩形分割から TIN を生成する三角化法は重要である。

この分野で、例えば 4 分木[1]による解像度低減法に基づく矩形分割由来の quadTIN [2]が提案されている。

筆者らは規則的矩形分割から多重解像度地形図を表す不規則矩形分割を生成する 8 次格子法を導入した[5, 6]。一方、筆者らは TIN のデータ構造を導入し[7]、更に一般の不規則矩形分割の三角化手法を提案した[8]。[8]では、地形図の尾根線・谷線などの特徴抽出を考慮して、水平線 (地形図の場合は東西の線) と垂直線 (地形図の場合は南北の線) を伴う TIN が導入された(c.f. [3, 4])。しかしながら、従来は、DEM データから TIN を生成する方法全体は考慮されていなかった。そこで、本論文は、DEM データから TIN を生成する三角化手法の構成を目的とする。

本論文では、我々は 8 次格子を基にした解像度低減化法 [5, 6]と三角化法[7, 8]を組み合わせ、規則的な矩形分割で表されている DEM データの三角化法を導入する。結果は特徴抽出に応用される。

結果の一部は以下で発表されている : M. Suzuki, K. Anzai, T. Goto, Y. Miyadera, T. Yaku, "Oct-TINs : A Data Structure of Triangular Irregular Networks for Terrain Map Visualization", *Proc. ACM/ACIS ACIT* 6, 32-34, (2018).

- | | | |
|---|--------|--------------------------|
| 1 | 関東学園大学 | Kanto Gakuen University |
| 2 | 東洋大学 | Toyo University |
| 3 | 帝京平成大学 | Teikyo Heisei University |
| 4 | 東京学芸大学 | Tokyo Gakugei University |
| 5 | 日本大学 | Nihon University |

2. 8 次格子による矩形数低減

この節では、8 次格子と規則的矩形分割から不規則矩形分割を導出する 8 次格子法を解説する[6]。OctTIN はこれらの不規則矩形分割の上で作られる。

はじめに、以下の左図のような規則的矩形分割を考え、中央の図で対応する不規則矩形分割の例を示し、右図で対応する 8 次格子を示す。8 次格子の頂点同士は、対応する矩形が最も近くで罫線を共有するとき接続される[6]。

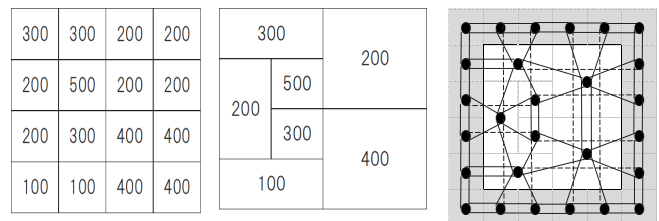


図 1 : 規則的矩形分割 (左図)、左図に対応する解像度低減不規則矩形分割 (中央) と中央図に対応する 8 次格子 [6].

8 次格子モデルによる矩形数低減法は[5]で得られている。地形図ではその 8 次格子法は従来の 4 分木法と比較しておよそ 3 分の 1 以下の矩形数を提供する。また、8 次格子法では各頂点の位置は LocationEvaluation4IRD[8]により $O(n)$ で決定されるため、矩形数低減アルゴリズムは $O(n)$ で実行され矩形双対法よりも少ない計算量をもつ。

3. 三角化

以下の図 3 で三角形分割とその表現を示す[7]。本節後半で、8 次格子により導かれた三角形分割の各頂点に標高を割り当てるアルゴリズムを示して矩形分割型地形図の三角化法を完成させる[7]。それらの三角形分割は基となる矩形分割を伴っていることに注意する。

なお、我々の TIN モデルでは、従来の TIN (例えば以下の図 2) と異なり、尾根線や谷線抽出のような特徴抽出の視認性と妥当性を考慮して垂直 (南北方向) と水平 (東西方向) の辺が加わっている(cf. [2, 3, 4]).

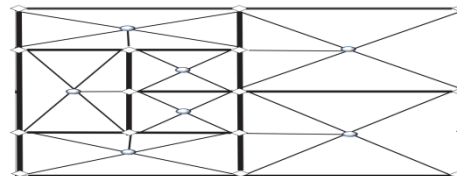


図 2 : 広く使われている TIN(cf. [2, 3, 4])

以下でアルゴリズムを示す。

Algorithm *AltitudeAssigning4TriangularDissection (outline)*
INPUT: A triangular dissection T represented in an H12 list [4], and a rectangular dissection R represented by an octgrid.
OUTPUT: A triangular dissection S with altitude values
METHOD
 /* Initialization */
for all “center” nodes v $alt(v) :=$ the altitude of the rectangles ;
 /* Step 1 */
for all v in T **do**
 if v is a cross point of rectangle edges then put $alt(v)$ the mean value of altitudes of four surrounding “center” nodes (rectangles);
 if v is at a T-corner of rectangle edges then put $alt(v)$ the mean value of altitudes of three neighboring “center” nodes **end** ;
 /* Step 2 */
 if v is located on an edge of rectangles then put $alt(v)$ the mean value of altitudes of two neighboring “corner” nodes and two neighboring “center” nodes **end** .

次に上のアルゴリズムの動作を図示する。
 図 4 は図 3 の入力に対する Step 1 の出力を示す。

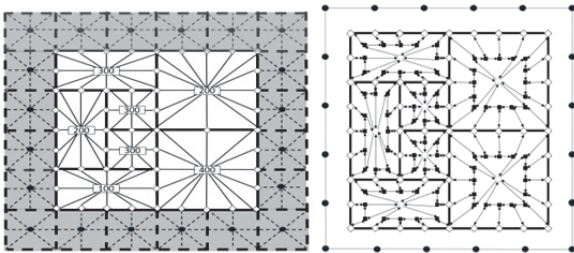


図 3 : 図 1 の各矩形の標高値を中心頂点の標高とする TIN (左) と対応するリスト構造 H12 コード (右) [8]

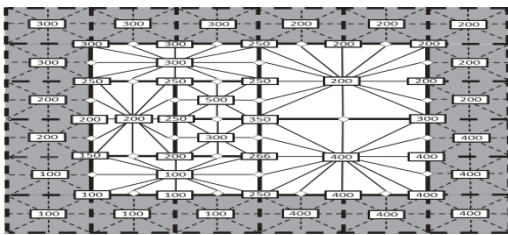


図 4 : Step 1 の出力例 [8]

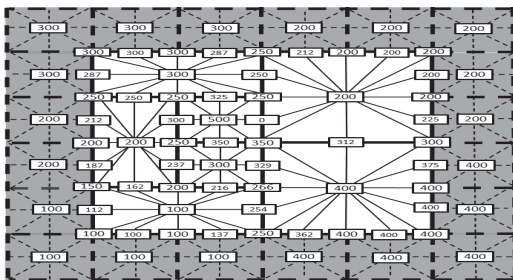


図 5 : Step2 の出力例 [8]

このように、上のアルゴリズムにより標高値を伴う TIN が得られる。基となる 8 次格子からアルゴリズム *LocationEvaluation4IRD* [8]により前以て各矩形の xy -座標は決められていることに注意する。我々は図 5 のような TIN を *oct-TIN* と呼ぶ。

4. 性質

次に、*octTIN* の三角形数について考える。

ところで 8 次格子法は以下の性質をもっている [5] :

- (1) 地形図では 8 次格子法は 4 分木法に比べて 3 分の 1 程度少ない矩形数の矩形分割を実験的に提供する。
- (2) 時間計算量は $O(n)$ (cf. 矩形双対法の時間計算量は $O(n^2)$)である。

次の図 6 [5, 8]は地形図に対する 4 分木法と 8 次格子法の矩形数低減に関する実験的な比較を示す。

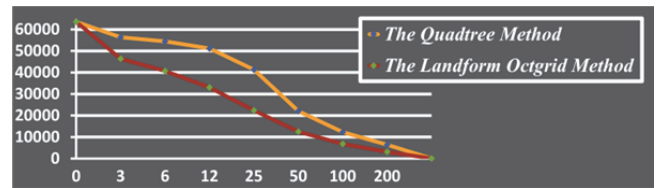


図 6 : 合併の閾値 (x -軸, 単位: m) と矩形数 (y -軸), イタリア Riva del Garda, 4 分木法 (黄色) と 8 次格子法 (赤)

一方、TIN [7]の中の三角形数は、規則的矩形分割を基とする場合に、矩形数の 8 倍である。不規則矩形分割を基とする場合も、三角形数は基となる矩形分割の矩形数に依存する。従って、*octTIN* は 4 分木法による [7] の TIN より少ない三角形数を提供する。

5. おわりに

OctTIN は画像や曲面一般の特徴抽出に応用される。今後は 8 次格子から *octTIN* への変換プログラムを実装する。

参考文献

- [1] Raphael Finkel and Jon Louis Bentley, “Quad Trees : A Data Structure for Retrieval on Composite Keys”, *Acta Informatica* 4, 1 - 9, (1974).
- [2] Renato Pajarola, Marc Antonijuan, Roberto Lario, “QuadTIN : Quadtree based Triangulated Irregular Networks”. *Proc. IEEE Visualization 2002*: 395 - 402, (2002).
- [3] 佐藤 雄一, 塩野 康徳, 土田 賢省, 夜久 竹夫, “Octgrid に基づく効率的な 3D 地形図生成法”, *電子情報通信学会総合大会講演論文集 2009 年_情報・システム(2)*, 141 - 141, (2009).
- [4] 木下 陽介, 塩野 康徳, 夜久 竹夫, 土田 賢省, “Octgrid に基づく 3D 地形図の自動生成”, *電子情報通信学会総合大会講演論文集 2011 年_情報・システム(2)*, 106 - 106, (2011)
- [5] Gogo Akagi, Koichi Anada, Shinji Koka, Yasunori Nakayama, Kenshi Nomaki and Takeo Yaku, “A Resolution Reduction Method for Multi-resolution Terrain Maps”, *SIGGRAPH Posters 2012* : 86, (2012).
- [6] Takeo Yaku, Koichi Anada, Koushi Anzai, Sshinji Koka, Youzou Miyadera and Kensei Tsuchida, “8k-ary Grid Graph Models of Tabular Forms”, *LNCS 8373 (Specification, Algebra and Software 2014)*, 465-477, (2014).
- [7] Taiyou Kikuchi, Koichi Anada, Shinji Koka, Youzou Miyadera and Takeo Yaku, “A Data Structure for Triangular Dissections of Multi-Resolution Images”, *Proc. 15th IEEE/ACIS SNPD*, 367-373, (2014)
- [8] Koushi Anzai, Takaaki Goto, Youzou Miyadera, Masanori Suzuki, Takeo Yaku, “Triangulation of Terrain Maps for Visualization”, *Proc. KICSS 2017*, 222 - 223, (2017) (an extended abstract).