

分割四角形の隣接情報を明らかにするポリゴン分割法による3次元建物モデルの自動生成

杉原 健一・村瀬 孝宏

Automatic Generation of 3D Building Models by Building Polygon Partitioning Clarifying Adjacency of Partitioned Quadrilateral

Kenichi SUGIHARA, Takahiro MURASE

Abstract: 3D building models are important in several fields, such as urban planning and BIM (Building Information Model). However, enormous labor has to be consumed to create these 3D models. In order to automate laborious steps, a GIS and CG integrated system is proposed for automatically generating 3D building models, based on building polygons (building footprints) on digital maps. A complicated approximately orthogonal polygon can be partitioned into a set of quadrilaterals ('quads' for short). The proposed integrated system partitions orthogonal building polygons into a set of quads and rectifies them, placing rectangular roofs and box-shaped building bodies on these rectified quads. After polygon partitioning into a set of quads, the branch quad, defined as 'active quads', will start to search for an adjacent quad. After rectification, divided rectangles become orthogonal to each other. In our proposal, after building polygons are partitioned and rectified into a set of mutually orthogonal rectangles, each rectangle knows which rectangle is adjacent to and which edge of the rectangle is adjacent to, which avoid unwanted intersection of windows and doors when building bodies combined for automatic generation of 3D building models.

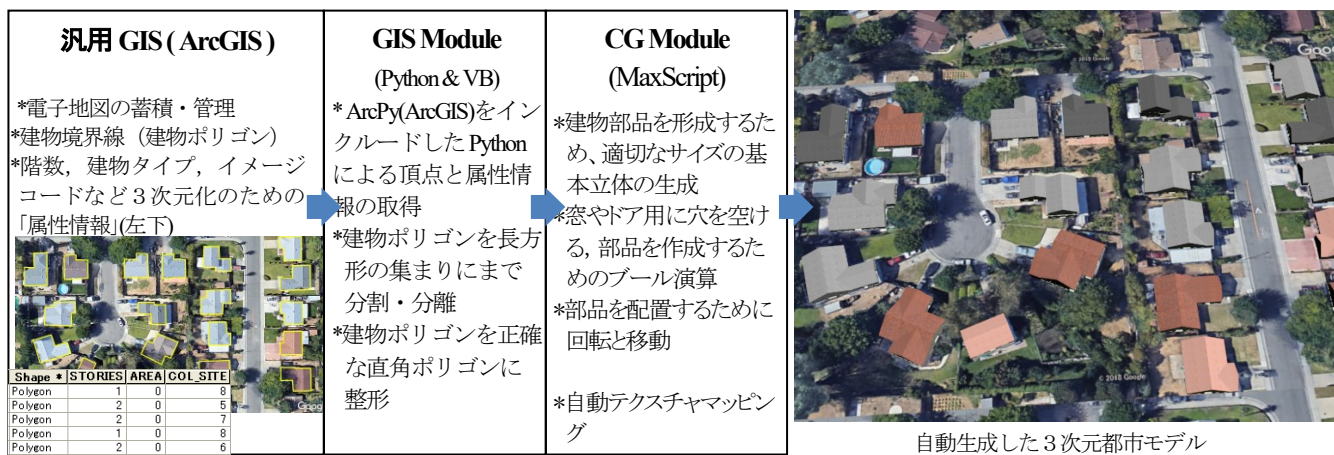
Keywords: 自動生成 (Automatic generation) , 3次元建物モデル (3D building model) , ポリゴン分割 (Polygon Partitioning) ,ポリゴン整形 (Polygon Rectification)

1.はじめに

筆者らのこれまでの研究 (Kenichi Sugihara, 2011 & 2013) で、開発したシステムは、電子地図上の建物ポリゴン(建物境界線)が「頂角がほぼ直角の直角ポリゴン」である場合、それらを四角形の集まりまで分割・分離して、これら四角形の上に、Box形状の建物本体や上から見て長方形の屋根を配置して、3Dモデリングを行った。

ところが、本稿の図で以下に示すように電子地図上の建物ポリゴンは、その頂角が「ほぼ直角」のポリゴンであるが、厳密に頂角が直角の直角ポリゴン (Orthogonal Polygon)とは限らない。そのため、基本立

体であるBox形状を建物本体として組み合わせて作る建物で、そのBox間に「隙間」や「重なり」が生じてしまう。そこで、建物ポリゴンを正確な直角ポリゴンに整形(Rectification)し、精緻な建物の3Dモデルを自動生成する手法を提案した(杉原ほか, 2016)。本手法では、建物ポリゴンを四角形の集まりまで分割処理する過程で、分割された四角形(分割四角形)の方向性を算出し、分割四角形のどの辺で、外部のどの四角形にどのように接していたか等の「隣接情報」を分割四角形に保存する。そして、これに基づいて、互いに直交する長方形の集まりとなる建物ポリゴンを再構築する。但し、傾きがほぼ垂直な四角形が隣接し



杉原健一：〒503-8550 岐阜県大垣市北方町5丁目50番
 岐阜協立大学 経営学部 情報メディア学科
 Phone: 0584-77-3511 E-mail: sugihara@gifu-keizai.ac.jp

図-1 自動生成システムの構成と3Dモデルの自動生成のプロセス

ているような形状のポリゴンでは、ポリゴンの主な傾きに合わせるため四角形が180度反転し、再構築において不具合を生じる。本研究では、こうした不具合に対応するように、「隣接情報を明らかにするポリゴン分割法」による建物の自動生成を提案する。

2. 本システムの構成と自動生成のプロセス

本研究における自動生成のシステム構成と建物の3Dモデルの自動生成のプロセスを図-1に示す。街の3Dモデルの情報源は、図-1左に示すような属性情報を関連付けた建物境界線(建物ポリゴン)を描いた電子地図である。電子地図は、汎用GIS(ArcGIS)によって、蓄積・管理される。電子地図上の建物ポリゴンは、本研究で開発したArcPy(ArcGIS)をインクルードしたPythonプログラムにより、ポリゴン頂点と属性情報などを取得する。Visual Basic.NETで開発したGISモジュールによって、次の前処理を行う。

- (1) 建物ポリゴンの各辺の長さや傾き、左右にどちらに曲がるか(RL表現)、頂点の内角を計測する。
- (2) 内角がほぼ180度の頂点をフィルタリング(除去)する(プログラムに与える数値で閾値を設定)。
- (3) ポリゴン各辺の辺長の総和が最大となる辺の傾きである「主傾き(Main Angle)」を算出する。
- (4) RL表現で、L頂点(Left Turn)間の連続するR頂点(Right Turn)の個数をカウントする。
- (5) 「連続するR頂点の個数」に応じて、枝屋根を大きく分類し、さらにL頂点の前後の辺の長さや分割線から対向するポリゴン辺までの距離に応じて、分割パターン、優先度を決め、分割処理を行う。
- (6) 分割された四角形について、その「頂点の番号付け」と隣接している四角形を探す「活性四角形」かどうか、「主傾き」に対する分割四角形の傾きに応じて反転(Flip)するかの判定を行う。
- (7) 「活性四角形」が隣接四角形、次に、その四角形のどの辺に接しているかをサーチする。
- (8) 活性四角形が、どの四角形のどの辺に、どのように接するかを調べ、「主傾き」に対する分割四角形の傾きを調べ、「主傾き」から、整形した四角形を形成する。ここで、「主傾き」は、一定の刻み幅の傾きの範囲で、ポリゴンの各辺の辺長の総和を求め、最大の総和となる範囲から主傾きを求める。
- (9) 整形した四角形に関連付けられている属性情報(屋根タイプ、長辺や短辺の長さ、傾き、頂点座標など)をCGモジュールへ出力する。

前処理したデータを、3次元CGソフト(3ds Max)をコントロールする「CGモジュール」(MaxScriptでプログラム開発)が取り込み、以下の処理を自動的に実行し、3D建物モデルを自動生成する。

- (1) 整形した四角形に基づいて、屋根や建物本体、窓など建物の部品となる、適切な大きさの直方体、三角柱、多角柱などの基本立体(プリミティブ)を作成する。
- (2) これらの基本立体の間で、屋根や窓用に穴を空ける、または、部品を作成するためのブール演算を行う。特に種類の多い「枝屋根」についてブール演算用の板を多種類作成。
- (3) 作成した部品を回転する。
- (4) 正しい位置にそれらを配置する。
- (5) それらにテクスチャマッピングを施す。

このGISモジュールとCGモジュールでの処理は、本研究で開発したプログラムによって、全て自動的に処理される。

3. 四角形頂点の番号付け

線分の傾きは、線分両端の2つの頂点を順に点1と点2とすると、x座標の小さい頂点を点1とし、x座標の大きい頂点を点2とし、傾き $= (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)$ と計算する。これは、2次元の座標系でx軸は右に向かっており、線分がx座標の小さい頂点からx座標の大きい頂点に向かうとき、頂点のy座標がどう変化するか「傾き」になり、線分の傾きを-90度から+90度までの範囲に限定できる。

同様に、「長方形の頂点の番号付け」を行う場合、図-2の枝部A、B、C、E、Fに示すように最長辺である上側長辺の左側の頂点を点P1と番号付ける、あるいは最長辺である下側長辺の右側の頂点を点P3と番号付けすると、四角形の傾きを-90度から+90度までの範囲に限定できる。四角形において、点P1か点P3の番号付けが決まれば、残りの頂点は「時計回りの番号付け」で決まる。

4. 枝屋根の形成手法

図-2に示すような頂角がほぼ直角のポリゴンの各辺を時計回りに辿るとき、辺は右に回るか(R頂点)、左に回るか(L頂点)のどちらかである。本システムでは、L頂点の間の連続するR頂点の数をカウントし、2個以上で「枝屋根」となる可能性があるため、L頂点前後の辺の長さや候補となる分割線から対向する辺までの距離を測定し、「枝屋根」となる場合は分割処理を実行する。ここで、内角が270度前後のL頂点からは「2本の分割線(DL:Dividing Line)」を引くことができる。これまでの研究(Kenichi Sugihara, 2011 & 2013)で、分割線が3つの条件を満たし、優先度の高い分割線が選ばれて、分割処理を実行する。

根は本体ポリゴンへ伸長する必要がある、その「枝屋根根部の形状」(図-2(b)において緑四角も含める四角の枝屋根部)と「枝部の建物の形状」(図-2(b)において黒四角の枝建物部)で次の3種類の場合が存在する。

- (1) 枝屋根部も枝建物部も「最長辺が2番目か4番目」で本体ポリゴンの隣接辺に向きが平行(図-2の枝C)
- (2) 枝建物部は「最長辺が2番目か4番目」だが枝屋根部は「最長辺が1番目か3番目」で本体ポリゴンの隣接辺に枝屋根部の向きが垂直(図-2の枝BとE, H)
- (3) 枝屋根部も枝建物部も「最長辺が1番目か3番目」で本体ポリゴンの隣接辺に共に向きが垂直(図-2の枝AとD, F)

5. 整形処理で四角形の方角の反転が生じる場合

整形して四角形的位置や形状が変わる様子を図-4に示す。図-4の上の建物ポリゴンにおいて「四角形B」, 下の建物ポリゴンにおいて「四角形D, F, H」は「活性四角形」であり、隣接四角形を探し、整形処理後は、建物ポリゴンは「互いに直交する長方形の集まり」、即ち、長方形の方角性を考慮すると、長方形は「主傾き」か、または「主傾きに直交する傾き」の2つの方向のみを向くことになる。

ここで、図-4で示すように、分割処理時、切り取った四角形の傾きと「主傾き」の間に180度近くの差がある場合、整形処理時に四角形の方角性を「主傾き」にあわせるための方向の反転(Flip)が起こる。活性四角形は自分が見つけ、保存している隣接四角形の「隣接辺情報」に基づいて、整形処理を行うので、「隣接四角形の方角 Flip」が起こると、活性四角形は保存している「隣接辺」の反対側の辺に隣接してしまうことになる。さらに、「活性四角形」において「方向 Flip」が行われた場合は、例えば、「活性四角形H」の隣接辺が「辺34(h34)」から「辺12(h12)」に反転するため、整形処理する場合には「辺12」の頂点座標を

用いて残りの頂点座標を算出する。

さらに具体例として、図-4の下の建物ポリゴンにおいて「四角形G」は「番号付け関数」で計測した四角形の傾きは最長辺が左向きであるので、その最長辺の始点を点3(g3)とし、四角形の傾きは-88度となるが、主傾きは-3度で、それに直交する傾きは87度となり、傾きの角度の差は175度となり、四角形の方角 Flip が起こる。

6. まとめ

四角形の方角 Flip が起こりうる建物ポリゴンは、東西方向に平行な辺を持ち、それに垂直となる南北方向の辺を持つような形状であり、電子地図でも多くの割合でこうした建物ポリゴンが描かれている。このため、建物ポリゴンを整形する場合には、四角形の方角性を考慮し「四角形の方角 Flip」が起こるか起こらないかを判定し、隣接辺や座標の母点の変更等を行う必要があると考える。本手法を用いれば、枝部が隣接四角形にどう接するかが分かり、窓やドア等を配置するとき、それらを枝部の隣接建物に交差しないように配置する等、矛盾しない形状の建物モデルを自動生成できる。

参考文献

杉原 健一, 村瀬 孝宏, 2016. 3次元建物モデルの自動生成のための建物境界線のポリゴン整形, 土木学会論文集F3(土木情報学), 72. 2, 1167-1174
 Kenichi Sugihara, Junne Kikata, 2012. Automatic Generation of 3D Building Models from Complicated Building Polygons, *Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE (American Society of Civil Engineers)*, 27 (5), 476-488
 Kenichi SUGIHARA, 2009. Automatic Generation of 3D Building Models with Various Shapes of Roofs, *ACM SIGGRAPH ASIA, Sketches, Visualization, DVD-ROM*

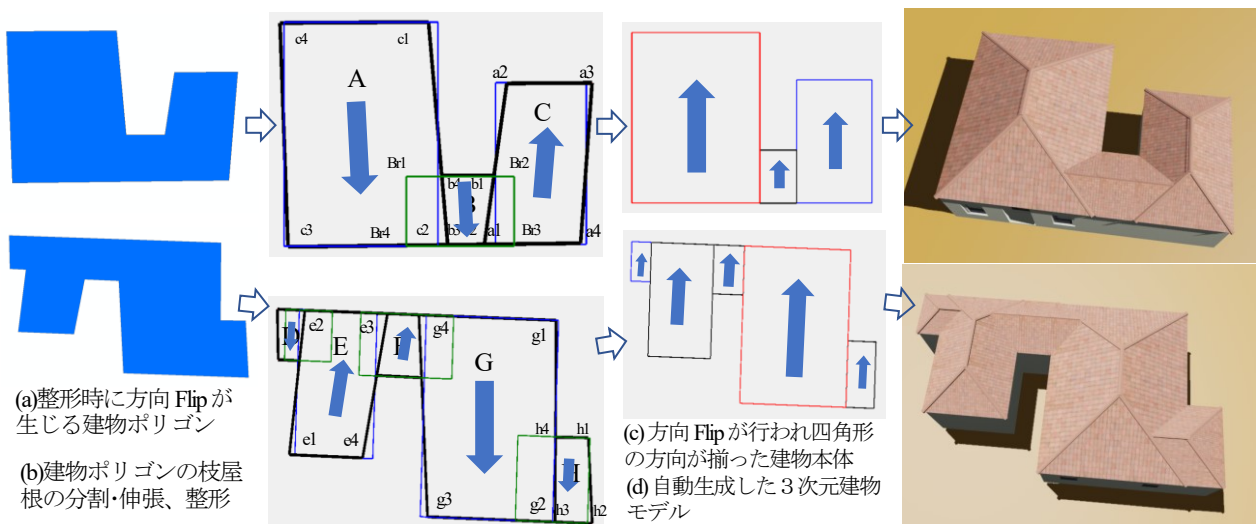


図-4 整形時に方向 Flip 行われ四角形の方角揃った建物ポリゴン