

MMS 点群データを対象とした 3 次元プリントシステムの実現に向けて 中條雅裕, 北村裕介, 曾鑫, 荒木俊輔, 碓崎賢一

Toward a 3D Printing System for MMS Point Cloud Data Masahiro NAKAJO, Yusuke KITAMURA, Xin ZENG, Shunsuke ARAKI and Ken'ichi KAKIZAKI

Abstract: In the presented paper, we propose a 3D printing method for a landscape model using point cloud data by Mobile Mapping System. First, we show the process, data format and requirement of a 3D printing system. Second, we propose the printing method which converts from the point data into the voxel data and then prints the 3D landscape model. Last, we implement and evaluate the proposed method.

Keywords: 3 次元プリンタ(3D printer), MMS(Mobile Mapping System), 景観評価(Landscape evaluation), 3 次元模型(3D model)

1. はじめに

我々は都市計画や景観評価などのための、街並みの 3 次元可視化に関する研究を行っている。近年、景観評価などで CG を用いた街並みの 3 次元可視化手法の活用が試みられている[1]。一方、従来の建物などの地物の模型を作成し、それらを並べて街並みを再現する方法が広く用いられている。しかしながら街並みを模型で再現するには、複数の模型の作成に人手がかかってしまう問題がある。

そこで我々は、新世代の測量方法として注目されている Mobile Mapping System(MMS)により取得された 3 次元点群データを用い家屋等の模型を作成する研究を進めている。その作成には、ラピッドプロトタイピングツールとして注目されている 3 次元プリンタを用いる。

本稿では、MMS 点群データによる家屋などを模型として 3 次元プリンタで出力する際の手法と問題点を明らかにし、景観模型の 3 次元プリントに向けた研究成果を示す。

2. 3 次元プリンタ

3 次元プリンタの基本的な造形方法の一つに積層造形法が挙げられる。この手法は 3 次元モデルを薄くスライスし、それぞれの断面形状に沿って液体樹脂、粉末樹脂、プラスチックといった材料を積層して模型を作成するものである。本研究では RepRap[2]に準じ、ABS 樹脂や PLA 樹脂を用いて熱溶解積層法によって出力する 3 次元プリンタを使用する。RepRap はハード・ソフトともに情報が公開されており、研究でシステムを開発・修正することが自由に行えるという特徴がある。

2.1. 本研究で用いる 3 次元プリンタ

本研究で使用するプリンタの造形サイズは縦 100mm, 横 100mm, 高さ 100mm であり、積層ピッチは 0.2~0.4mm までソフトウェアで変更することができる。

2.2. 3 次元プリンタの印刷までの流れ

図 1 に 3 次元プリンタの印刷の流れを示す。まず、モデリングソフトで 3 次元データ(STL)を作成する。その 3 次元データをスライサーにより 3 次元モデルを層状に分割し、樹脂を塗り重ねる 3 次

元プリンタヘッドの経路情報等(G-code)に変換する。その情報を制御用ソフトウェアが解釈して3次元プリンタのヘッドをコントロールし、樹脂を適切な場所に積層して模型を印刷する。

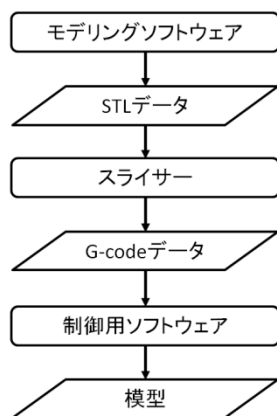


図 1: 印刷フロー

ここでは、3次元プリンタで特に重要なソフトウェアであるスライサーについて説明する。

3次元データを3次元プリンタで印刷するためには、まず、3次元データを設定された積層ピッチで層状にスライスした積層データ群に変換する処理が必要である。次に、各層で適切な場所に樹脂を塗布して積層していくために3次元プリンタのヘッドを動かす経路を示すG-codeデータ[3]を生成することが必要である。この様に、印刷する3次元データを層状にスライスし、G-codeデータを得るために、スライサーが用いられる。

スライサーは単純に3次元モデルに対応した樹脂の積層手順をG-codeで出力するだけでなく、必要に応じて3次元モデルを物理的に構成するために必要なサポート材と呼ばれる追加の形状を印刷対象に自動的に付加する。これは、熱溶解積層法は樹脂を下から積み重ねながら印刷していく手法であるため、下に支えがなく空中にいきなり形状が現れるような3次元モデルを原理的に印刷できないという問題があるからである。そこで、スライサーはこのような形状がモデルに含まれていた場合、それを下から支えるようにサポート材を設けることで、この問題を回避している。

3. MMS 点群を対象とした3次元プリントシステムの実現に向けて

3.1. システム構築の基本方針

3次元モデルから3次元プリンタの制御情報を生成する一般的なスライサーは、三角形ポリゴンにより3次元形状を表すSTL形式[4]によって作成された3次元モデルのみしか扱えないという制約がある。

一方、MMS 点群データは単なる3次元座標をもつ点の集合であり、従来のスライサーを利用して単純に3次元プリントすることができないという問題がある。この問題に対処するためには、(1)点群データから3次元プリンタの制御情報を生成するスライサーを独自に開発するか、(2)点群データを従来のスライサーで処理できるSTL形式に変換するシステムを開発する必要がある。調査の結果スライサーの開発は多くの労力を要するとわかったため、今回は(2)の方法で対処することとした。

3.2. MMS 点群データのSTL形式への変換における問題点

MMS 点群データは高密度な点の集合であり、家屋等の詳細な形状を取得できている。しかしながら、過度に詳細なデータを供給しても3次元プリンタは印刷分解能以下の形状や凹凸を印刷する事ができない。このため、不必要に容量の大きなデータファイルを生成してディスクやメモリを過剰に占有したり、スライサーの処理時間を増大させないように、点群データを3次元プリンタの性能に合わせたコンパクトなSTLデータに変換する必要がある。

点群を3次元ポリゴンモデルに変換する方法の一つに、各点を頂点とする三角形ポリゴンによりモデルを構成する方法がある。しかし、MMS 点群データは道路表面や外壁の表面だけでなく、植木など表面だけでなく地物の内部にまでデータが存在するものを含んでいるため、三角形ポリゴンでその外観を表すことは困難である。

Veltkamp は点群の密度が均一でない点群データに対応できる面の生成手法[5]を提案しているが貫通穴を再現することができないという問題がある。MMS 点群データは窓などの貫通穴を含むため、この手法は適していない。

3.3. 点群をボクセルに変換した印刷手法

我々は点を頂点として結んで面を作るのではなく、点を包含する固定サイズの小直方体の集合で 3 次元モデルを構成するボクセルとして取り扱うことにした。この方法では、MMS 点群データが分布する 3 次元空間をボクセルの基本サイズでメッシュ状に分割し、各メッシュ内に MMS 点群データが存在しているメッシュをボクセルとして抽出する。ボクセルモデルでは壁面などの平面だけでなく、植木などの不定形で点群が表面だけでなく地物の内部まで分布している対象物でも適切に表現できるという利点がある。

3 次元プリンタの印刷分解能を最大限に利用する一方で、3 次元モデルのデータ容量をコンパクトに抑えるために、ボクセルサイズの検討を行った。本研究で使用する 3 次元プリンタは、積層ピッチを 0.2mm としたときの水平方向の分解能が 0.67mm であることがわかった。分解能以下のボクセルを作成しても 3 次元プリンタは物理的に印刷することができないため、ボクセルサイズを水平方向 0.67mm、高さ 0.2mm としてボクセルを作成した。縮尺が 100 分の 1 のモデルを作成する場合、実寸で縦横 67mm、高さ 20mm を 1 つのボクセルで表すことができる。

4. システムの試作と実験

3 次元プリントのために、MMS 点群をボクセル形式で表現する事の有効性を示すために、点群をボクセルで表し、STL 形式に変換するシステムを試作して、家屋の印刷実験を行った。

4.1. 模型の印刷

試作した変換システムで MMS 点群から生成したボクセルデータを図 2 に示す。また図 3 はスラ

イサーによって付加的に作成されるサポート材を含めて表示したものである。緑は面、黄色は模型の境界線、水色と灰色はサポート材を表している。この例では、軒やベランダを支えるためのサポート材や、屋根やアンテナ、電線を支えるサポート材が付与されていることがわかる。

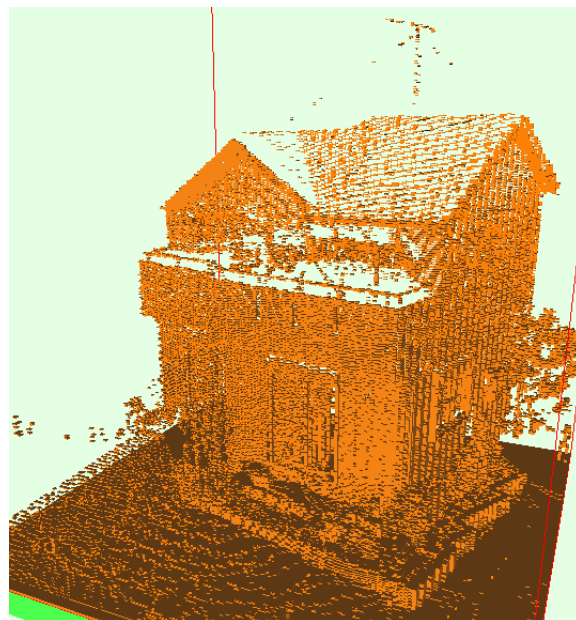


図 2 : MMS 点群をボクセルデータに変換した例

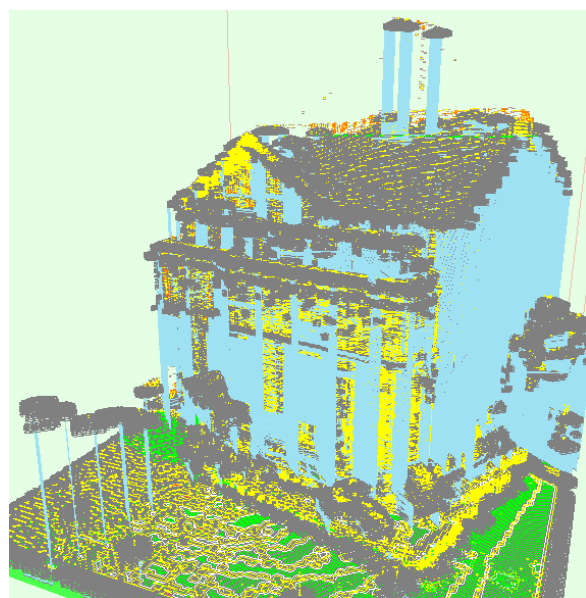


図 3 : サポート材を含めた成果物の例

試作システムで作成したボクセルデータから家屋形状を再現した模型を作成することができた。印刷時間は約 10 時間となった。

4.2. 評価

まず、外壁についての評価を行う。MMS 点群データを取得する際、測定装置から測定点の間に歩行者や車などの遮蔽物が存在した場合、レーザーが光学的に遮蔽され建物の外壁や道路表面の形状を取得することができなかった部位が存在し、印刷された模型の一部が欠落するという問題が発生した。

また、今回使用したデータでは壁面などにおいて MMS 点群データの点の間隔よりボクセルサイズの方が小さい部分があったため、ボクセルが生成されず、虫食いのように壁に穴が開いた箇所が多く見られた。

MMS 点群データは物体の表面形状のみを取得したデータであるため、最小のボクセルサイズでデータを作成すると、サーフェスモデルとなり、模型の外壁などは厚みがきわめて薄く印刷されていた。このため、模型とサポート材の構造が似て、取り除くべきサポート材がどれなのか判断が難しくなるという問題があった。また、サポート材を取り除く際に模型の壁が崩れる可能性があり、模型の強度に問題があることがわかった。

模型の強度を上げるためにはソリッドモデルのように厚みを追加する必要がある。改善案として、MMS 点群データの計測位置から計測された点へのベクトルを用いて、景観評価に影響を与えることがない方向にボクセルを生成し厚みを付与するという手法が考えられる。ボクセルが生成されなかった箇所に対しては、周囲のボクセルの情報から欠落されていると判断した箇所にボクセルを生成する手法が考えられる。

次に屋根についての評価を行う。図 2 に示されるように、家屋の屋根や MMS が進入できず 3 次元計測が行えていない箇所の点群は存在しないため、ボクセルが生成されず欠落している箇所が多いという問題があった。この問題に対する対策としては、屋根の平面を検出し、平面上と平面の法

線方向にボクセルを追加することで、欠落箇所の補完と厚みを付与するという手法が考えられる。

最後にアンテナや電線などの空中に浮かんでいるものについての評価を行う。図 3 に示されるように、サポート材が追加されて印刷されるが、サポート材を除去すると印刷対象そのものも除去されてしまう。

この問題に対する対策としては、空中に浮かんでいる対象物のボクセルの近くには他のボクセルが少ないため、近傍（特に下部）のボクセルの数によってボクセルを削除し、印刷対象から除去するという手法が考えられる。

5. まとめ

本論文では、道路とその周辺の建物を含めた模型の作成のために、MMS 点群データを 3 次元プリンタで出力する試作システムを開発し、模型を作成した。またその際の問題点を明らかにし、改善案を示した。

参考文献

- [1] 佐々木大，越雄一，大西貴史，中村貴久，碓崎賢一，“景観評価のための写實的三次元景観表示システム，”地理情報システム学会講演論文集，Vol.12，pp.513-516，2003.
- [2] “RepRap-RepRapWiki，”
http://reprap.org/wiki/Main_Page，最終アクセス：2013/8/29.
- [3] “G-code – RepRapWiki，”
<http://reprap.org/wiki/G-code>，最終アクセス：2013/8/29.
- [4] M. Burns，“The StL Format，”
<http://www.ennex.com/~fabbers/StL.asp>，最終アクセス：2013/8/29.
- [5] R. Velthkamp，“Boundaries through Scattered Points of Unknown Density，”Graphical Models and Image Processing，Vol.57，No.6，pp.441-452，1995.