

三次元都市計画支援システムのための高速表示方式

坂田 京平¹, 佐々木 大², 荒木 俊輔³, 碓崎 賢一¹

¹九州工業大学大学院 情報工学研究科

²株式会社ピープルメディア

³九州工業大学 情報工学部

概要： 都市計画業務において三次元地理情報システムを利用する際には、日常業務においてストレスなく利用するために建物や地物などのリアルタイム表示が必要である。しかしながら、都市には膨大な数の建物が存在するため、リアルタイムで表現することは困難である。そこで、本稿では、都市計画データが階層構造を形成していることに着目し、都市計画業務における三次元地理情報システムの高速表示方式を提案する。提案方式は、都市計画データの階層性を利用した段階的なカリングと LOD を行い、それらを統合的に処理することにより描画処理の高速化を図る。

A Real-Time Rendering Method for an Urban Planning Support System

Kyohei SAKATA¹, Hajime SASAKI², Shunsuke ARAKI³, and Ken'ichi KAKIZAKI¹

¹Graduate School of Computer Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology

²PeopleMedia, Inc

³Faculty of Computer Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology

Abstract : In a three-dimensional geographical information system for urban planning, it is necessary to render a scene at sufficiently fast speeds. However, it is difficult to render the scene of a whole city with a large number of buildings, since rendering costs increase in proportion to the number of polygons. In order to make clear this problem, we propose a real-time rendering method for a three-dimensional urban planning support system. The method integrates LOD and view frustum culling based on a hierarchical data structure of urban planning, and achieves fast rendering speed.

1. はじめに

近年、行政や産業を始めとするさまざまな分野で、パーソナルコンピュータ(PC)をプラットフォームとした地理情報システム(GIS: Geographical Information System)が導入され、地図を取り扱う業務の支援に幅広く利用されている。従来のGISは二次元の電子地図をインターフェースとして、データの分析、情報の表示などを行っていた。しかしながら、建物の利用用途を管理する業務などでは建物の

階ごとの情報を管理しなければならないが、二次元の地図の中で建物の階数ごとの情報を視覚的にわかりやすく表現することは困難であった。そこで、我々は直感的にわかりやすい表示を行うことができるようにするために、三次元GISの研究[1]を行ってきた。このような三次元GIS上で都市計画に関する情報を視覚的にわかりやすく、ストレスなく利用できるようにするためには、リアルタイム表示が求められる。しかしながら、大規模かつ膨大な数の建物が存在す

る都市全体をリアルタイムで三次元表示することは困難である。

そこで、本稿では大規模かつ膨大な数の建物が存在する都市全体をリアルタイムで三次元表示する手法を提案する。

2. 一般的な高速表示方式

三次元コンピュータグラフィックスでは、描画処理の高速化を行うために、一般的にはカリングや LOD という高速化方式を用いる。本章では、一般的なカリングと LOD についての特徴と問題点について述べる。

2.1. カリング

カリングは、レンダリング処理が行われる前に画面上に表示されないポリゴンをあらかじめ描画対象から除外する手法である。カリング処理にはいくつかの種類があり、本稿では、仮想空間における利用者の視界内に存在しないポリゴンを描画処理の対象から除外する視体積カリングについてのみ述べる。以降では、視体積カリングのことをカリングと呼ぶ。

文献[2]では、市街地景観計画・評価支援システムの開発において、高速化手法として四分木構造を利用したカリングを行っている。この手法では、領域を機械的に4つに分割していき、木構造を形成する。その構造を利用し、段階的に可視判定を行うことで、高速化を実現する。

しかしながら、高い視点から三次元空間全体を俯瞰するときには、ほとんどのオブジェクトが視界内に入ってしまう、カリング処理により描画処理から除外できるオブジェクトが少なく、かえってカリング処理のコストがかかり描画速度が遅くなってしまふという問題がある。

2.2. LOD

LOD は、オブジェクトと視点の距離などによって、形状を簡略化することで、描画処理の高速化を実現する手法であり、ポリゴン数の多いモデルを簡略化するときにも最も効果を発揮する。例えば、あらかじめ一つのオブジェクトごとに簡易的なモデルをいくつか定義しておき、状況に応じて各モデル(レベル)を自動的に切り替えることにより描画の効率を高める手法[3][4]がある。

しかしながら、文献[3][4]などの LOD は複雑な形

のオブジェクトをいかに簡略化して表現するかということを目としてしているため、始めから単純な形状をしているモデルに対して LOD を適用したとしてもポリゴン数の大幅な削減には期待できないという問題がある。

3. 都市計画業務での三次元 GIS

2章で示したような問題点のため、都市計画支援システムの高速化を図るためには、従来の高速化方式とは別の方法を考案する必要がある。そこで、我々は都市計画データの構造に着目した高速化方式を提案する。本章では、都市計画業務及び、都市計画データの特徴について述べる。

3.1. 都市計画業務

都市計画とは、都市の健全な発展と秩序ある整備を図るために策定される計画で、都市計画を決定・変更を行う都市計画課では、「土地利用」、「都市施設」及び「市街地開発事業」に関する計画を統合的・一体的に定めている。都市計画業務では、個別の建物の用途の現況を把握し、管理を行う。例えば、計画段階において土地・街区に指定した用途と一致していない建物を調査し、その建物が見つかった場合、都市計画に沿うように働きかける。

3.2. 都市計画業務での三次元 GIS

都市計画支援システムとしての三次元地理情報システムでは以下のことを満たす必要がある。

- ・ 都市全体を表示し、利用用途等の分布の表示
- ・ 個別の地物の利用状況の表示
- ・ 人の目線からの現状の把握

また、3.1. 節で述べたように、都市計画業務では建物などの利用用途を見ることが重要であるので、都市計画支援システムでは、建物の精密な形状を表現する必要はない。

3.3. 都市計画データの特徴

都市計画データには形状データと土地・建物の用途現況図がある。形状データには「建物」や「街区」の形状だけでなく、「町丁目界」、「市区町村界」などの形状データが記録されている。これらのデータの空間的な関係性をみると、建物は街区によってまとめられており、また街区は町丁目によって、町丁目は市区町村によってまとめられていることがわか

る。このように都市計画データは図 1 のような階層構造を成している。また、街区や町丁目には、商業地域や住宅地などのような用途指定がされている。建物は用途指定に誘導されて建築されるので、街区は同じ用途の建物の集合としてみる事ができる。このように、都市計画データは空間的な階層を成しているだけではなく、その中の各階層はある一つの利用用途の集合としてまとめることができる。

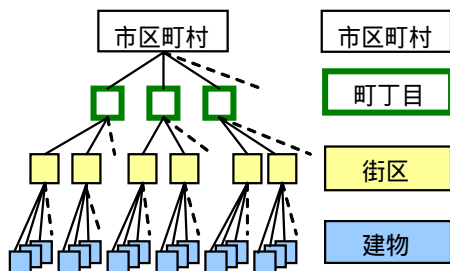


図 1. 都市計画データの階層構造

4. 三次元都市計画支援システムのための高速表示方式

提案方式では、都市計画データの階層性を利用したカリングと、街区にある建物の用途の共通性を利用した LOD を融合した処理方式により描画の高速化を実現する。

4.1. 階層性を利用した段階的なカリング

都市計画データの各階層は下の階層のデータを空間的に内包している。そこで、提案方式では、都市計画的に自然なカリングを行う。

まず、各市区町村レベルでカリングを行い、次に町丁目レベルでカリングを行い、次に街区レベル、次に建物レベルといったように、都市計画データの階層ごとにカリングを行うことにより、上位レベルでのカリングで描画対象外に選ばれると、それ以降のレベルでのカリング処理の計算時間を削減することができる。

4.2. 用途の共通性を利用した LOD

我々は、LOD を行う従来の手法を活用するとともに、街区の建物の用途の共通性を利用する LOD 手法について提案する。

提案方式では、建物一つ一つに対して LOD による簡略化を行うが、画面上で建物と認識できないほ

ど小さく表示されるときは、情報の欠落を防ぐために、建物ではなく街区内の建物群を一つの簡略化モデルとして表現する。まず、建物一つ一つに対する LOD のモデルとしては、「詳細な建物」、「地物を内包する矩形に高さ情報を加えた直方体」と「地物の中心にある点」をモデルとして用い、3 段階の LOD を行う(図 2)。街区内の建物群をまとめる簡略化モデルは、用途の情報などを反映させるために、街区内のすべての建物を内包する矩形とし、すべての建物の高さの平均を矩形の高さとする。この LOD により、単純な形状のモデルに対する LOD では効果が得られないという従来の LOD の問題点を、複数の建物をまとめ、ポリゴン数を削減することにより改善した。

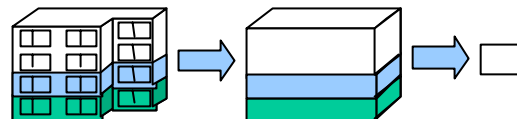


図 2. LOD モデル

しかしながら、この LOD により、多くの建物を 1 つにまとめてしまうことで、2 つの問題が発生する。

1 つ目の問題は、それぞれに利用用途を持つ複数の建物を 1 つの簡易モデルにまとめてしまうため、まとまりとしての利用用途の情報が欠落してしまうことである。そこで、簡易モデルにした街区の中の建物群の大まかな用途を示すために、その街区に含まれる建物群の利用用途の中で建物体積の合計が最も大きな用途の色を簡易モデルの色として示すようにする。

2 つ目の問題は、周りの建物よりも倍以上の高さの建物が簡易モデルとしてまとめられてしまうと、ランドマークとしての情報までも欠落してしまうことである。これを防ぐために、周囲の建物よりも高くランドマークとなりえる建物は簡易モデルとは別に独立して描画するようにする(図 3)。

また、LOD を行う際には視点から遠い位置にある建物でも非常に大きなものは表示しなければならないので、視点とオブジェクトの距離によって LOD を行わずに、オブジェクトが視界に占める割合によって描画モデルの切り替えを行うようにした。

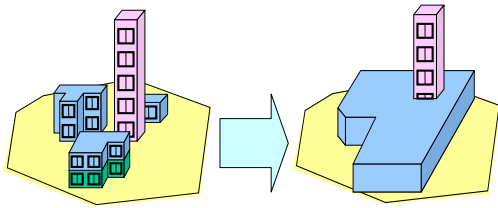


図 3. 建物群でまとめた簡略モデル

4.3. カリングと LOD の統合

4.1. 節で述べたカリング処理は、階層の上位レベルから順に下の階層に向かってその階層の全てのオブジェクトに対して視界内外判定を行う。一方、4.2. 節で述べた LOD 処理は、視界内に含まれるオブジェクトに対しての詳細度の決定を行う。そのため、この2つの処理を順次に行うよりも、同時に統合的に行うことが高速描画に繋がる。

まず、視界内外判定を行うと同時に、画面上に表示される大きさを計算し、判定対象が表示される時の画面占有度が適切なときは、そのレベルで描画モデルを表示するようにする。例えば、ある街区に対してカリング判定を行って、視界内にあると判定されたとき、その街区が画面上で小さく表示されているならば、街区に含まれている建物を表示しても建物として認識できない。この場合には、街区に含まれている建物に対してはカリング処理や描画処理を行わずに、建物をまとめて一つの簡易モデルとして描画する。

5. 評価

提案方式の有効性を示すために 評価システム(図 4)を試作した。

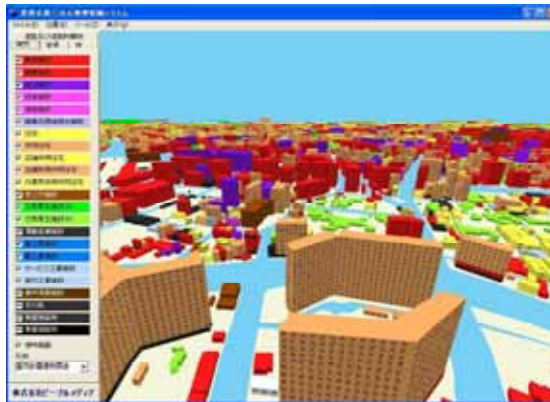


図 4. 試作システム

評価システムでは、表 1に示すような地物数で構成される福岡市全域の空間データを利用した。また、評価システムの実行環境は表 2のようになっている。

表 1. 利用した空間データ

地物名称	地物数
区	7
町丁目	1088
街区	25064
建物	329242

表 2. 試作システムの動作環境

CPU	Pentium4 2.8GHz
メインメモリ	1.0GB
グラフィックチップ	RADEON 9700 PRO (128MB)
OS	WindowsXP
表示画面	1024 × 768

我々は、次に示す4つの描画方式を評価した。

- i) 提案方式
- ii) 提案方式におけるカリングのみを行った描画方式
- iii) 四分木によるカリングを行った描画方式
- iv) カリングと LOD を全く行わない方式

5.1. 描画速度の評価

5.1.1. 各描画方式のフレームレートの比較

我々は、提案方式が従来方式より高速であることを確認するため、各描画方式のフレームレートの比較を行った。計測は、提案方式と他の描画手法のそれぞれについて、以下の条件下で行った。

- I. 都市全体を表示し、利用用途などの分布を表示したとき(上空からの表示)
- II. 個別の地物の利用状況を表示したとき(フライスルーしたときの表示)
- III. 人の目線から見た表示をしたとき(ウォークスルーしたときの表示)

また、提案方式は表 3に示す閾値にて LOD を行った。

表 3. LOD の閾値

	街区	建物
詳細な表示	15pixel 以上	40pixel 以上
1つ目の簡易モデル	15pixel 未満	40pixel 未満
2つ目の簡易モデル	3pixel 未満	6pixel 未満

図 5に評価結果を示す。提案方式はその他の方式より描画速度が速く、どのような場合においてもフ

フレームレート 10 以上を維持できることを確認した。

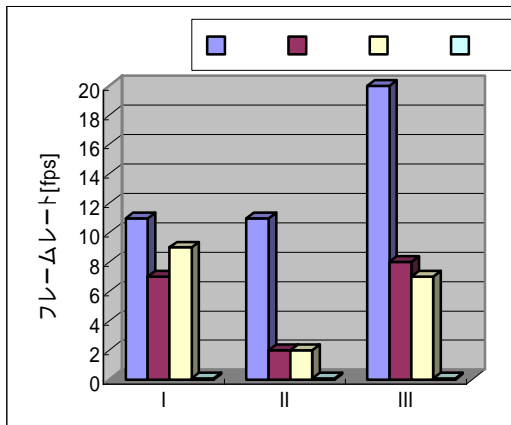


図 5. 各描画方式におけるフレームレート

高速化の理由について述べる。表 4は、IIのフライスルー時の各描画方式において平均描画ポリゴン数などを示している。表 4の可視判定の回数の結果を見るとわかるように、カリング処理の時間は四分木が最も短いですが、描画にかかる時間が長くなってしまふ。しかしながら、提案方式は、4.3. 節で述べた街区内の用途の共通性を利用した LOD を行い描画する建物数を削減しているため、ポリゴン数が大幅に減少しており、他の方式と比べて約 4 分の 1 になっている。このため、高速化が実現できたものと考えられる。

表 4. 各方式の値比較

	方式1	方式2	方式3	方式4
平均描画建物数	13092	145360	146264	329242
平均描画ポリゴン数	134213	401514	412290	4681274
可視判定の回数(平均)	3116	3250	1687	0

5.2. 描画精度の評価

5.2.1. 表示画面画像の評価

- 都市全体の表示 ()

上空から都市全体を表示したときの、LOD が表示に対してどのように依存しているかを確認するために、1024×768 ピクセルの画面解像度のそれぞれの場合に対して、表示された建物の用途の割合を測定した。

本評価では、建物が密集している地域を上空から

見下ろした場合について評価を行い、提案方式を用いた表示と、最適化されていない方式を比較した。また、提案方式は表 3に示す閾値にて LOD を行った。

表 5に、画面解像度と建物の用途別表示割合の測定結果を示した。提案方式(図 6)では、最適化されていない方式での表示(図 7)と比べて、大きなもので街区に約 2%の差がみられたが、これは、用途の評価を行う都市計画業務においては、支障のない誤差だと考えられる。

表 5. 画面解像度と建物の用途別表示割合

用途	提案方式 (%)	最適化されていない方式 (%)
業務施設 (赤)	6.8%	6.7%
戸建住宅 (黄)	13%	13%
共同住宅 (茶)	11%	10%
街区 (肌)	44%	46%



図 6. 提案方式による表示



図 7. 最適化されていない描画方式による表示

- 個別の地物の表示 ()

フライスルー時の提案方式での表示を図 8に、最適化されていない描画方式での表示を図 9に示す。

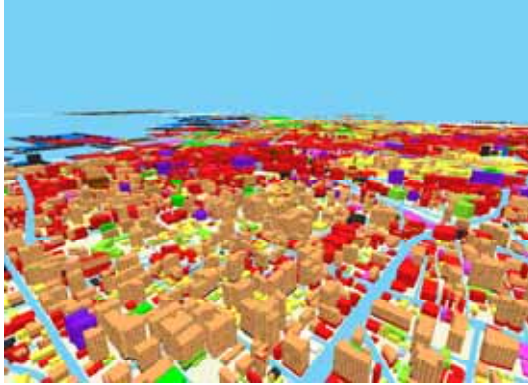


図 8．提案方式での個別の地物の表示

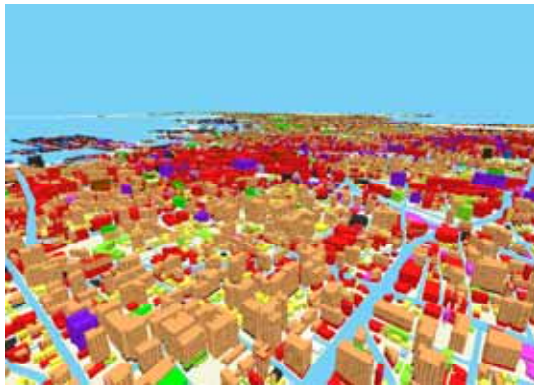


図 9．最適化されていない方式での個別の地物の表示

この 2 つの表示のピクセル値の違いを測定したところ表示画面上での、視点から遠い上側では 17%、視点から近い下側では 4.8%であった。一般的に利用者の興味の対象は近いところにあり、その部分では十分詳細に表示されており、用途の判読に問題がないものと考えられる。また、遠方はある程度の差があるものの、注目の対象ではなく、大まかな状況が分かればよいので、許容範囲内であると考えられる。

- 人の目線からの表示 ()

ウォークスルー時の表示は提案方式(図 10)の場合と最適化されていない方式の場合で表示画面のピクセル数を比較した結果、約 0.4%の違いがあった。特にウォークスルー時では、表示画像の品質を落とさず、高速化が実現できることが示された。



図 10．提案方式での人の目線からの表示

6. まとめ

本論文では、都市計画支援システムのための高速表示方式についての提案を行った。描画の高速化を図るために、都市計画データの階層性を利用し、階層性を利用したカリングと LOD を行い、それらを統合的に処理した。また、提案方式の有用性を示すために、試作システムを作成し、従来の高速化方式と比較し、提案方式が都市計画支援システムに適した高速方式であることを確認した。

7. 謝辞

福岡市の都市計画データをご提供頂いた福岡市都市計画課に感謝いたします。

参考文献

- [1] 荒巻修士, 碓崎賢一: “都市計画データを利用した三次元地理情報システムの試作”, 地理情報システム学会講演論文集, Vol.10, pp.321-324 (2001).
- [2] 南松利博, 多田村克己, 鷗心治, 田淵義彦: “市街地景観計画・評価支援システムの開発”, 情報処理学会論文誌, Vol.45, No.6, pp.1663-1671 (2004).
- [3] 加藤伸子, 岡崎章夫: “形状簡略化に基づく3次元オブジェクト空間の最適高速表示”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J76-D-, No.8, pp.1712-1721(1993).
- [4] 北嶋克寛, 遊佐洋子: “リアルタイム景観シミュレータのための形状のグルーピングと多重表現に基づく描画時間の短縮”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J77-D-, No.2, pp.311-320(1994).