

## 論文の内容の要旨

### 論文題目：3D City Modeling Using High Resolution Satellite Image and Airborne Laser Scanning Data

(高分解能衛星画像と航空機レーザースキャナデータによる3次元都市モデルの構築)

氏名：グオ タオ

郭 韜

#### 要旨

広域3次元都市モデルを迅速に作成、更新する必要性が高まりつつあり、また、高分解能衛星画像の利用が容易になりつつあることから、高分解能衛星画像を用いて3次元都市空間データを自動的に作成することへの関心が高まっている。しかしながら都市構造が非常に複雑であり、またそれとともなって衛星画像データにおける情報も複雑となることから、都市3次元モデルの作成には、様々な異なったデータ情報の統合が必要になる。

本研究では、高分解能衛星画像 (IKONOS) と航空機レーザースキャナデータ (LS) を併用することにより、高精度で3次元都市構造 (モデル) を計測する手法を開発することを目的とする。このために、高解像度衛星画像データ及びレーザースキャナによる高度データのデータ統合手法、また、統合データからの3次元建造物の自動抽出手法を開発する。

本研究におけるデータ統合では、衛星画像データ (マルチスペクトルデータ) とレーザースキャナによる高度データは互いに補完的性質を持つことを利用する。航空機レーザースキャナ高度データ (DSM: Digital Surface Model) と衛星画像を重ねあわせ、両者の特徴を利用して、対象領域の建物、植生等土地被覆分類を行うことが可能となる。まず、高度データにおいて、高分解能衛星画像のスペクトル特性を利用して、建物、植生などの都市空間構造物ごとに対象を領域分割する。また、逆に、衛星画像データにより地表面被覆分類を行ううえで、レーザースキャナからの高さ情報を加えることで、分類制度を大幅に向上することができる。更に、両データから得られるスペクトル特性、地表からの高さ、物体のテクスチャやサイズ等の様々な情報は、建築構造物を同定するため、階層的に統合される。

本研究における3次元建造物の自動抽出モデルは、画像データとレーザーデータを特徴要素 (feature) レベルで融合することにより実現する。まず、高分解能画像における濃度変化領域とレーザースキャナ高度データ (DSM) における高度変化領域が検出され、画素のつながりの長さや方向等の特徴によってエッジ要素の様々なクラスにグループ化され

る。次に統計分析を用いて、建造物の方向を定めるためにクラスを分類する。さらに、ほとんどの建造物は多角形要素に分解できるという仮定のもと、多角形を構成するエッジ要素に基づいた新しい3次元建造物抽出法を提案する。まず、エッジ要素は建造物の構成要素である可能性が高いため、まず、エッジ要素により構造物可能性領域を抽出し、次に、高さ情報の分析による検証が行われる。続いて、多角形要素の論理的な整合性のチェックによって、3次元建造物の形状推定を行う。最後に、オブジェクト指向法に基づいて、3次元都市モデルを構築するため、新しく、プログラミングが可能なフレーム構造が提示される。

本論文の構成は、都市構成要素分割、建造物検出、建造物構成、3次元都市モデルから成り立っている。本論文の個々の章で、各コンポーネントについて記述する。

第1章では、本研究における背景についての総論を述べ、都市環境学における3次都市モデリングの自動化の必要性和、高分解能衛星画像と航空機レーザースキャナデータの統合の合理性を提示する。次に、本研究の概念を説明し、関連した3次元都市モデルの研究を、利用するデータの種別、手法、既存の構造物モデルという観点から、要約する。

第2章は、航空機レーザースキャンデータを使った、高度データ (DSM: Digital Surface Model) の作成手法について記述し、さらに、衛星データのスペクトルデータと高度データの併用により、都市構成要素 (建物、植物) 等を分離して、地表面のみの高度データ (n DSM : normalized DSM) を作成する手法について述べる。また、本データ融合手法が、画像データやレンジデータの特性を有効に活用している点について記述している。

第3章では、本研究の主要な部分の一つである、建造物検出手法を詳細に述べる。まず、航空機レーザースキャナの原理と、高分解能 IKONOS 衛星画像について説明する。次に、IKONOS と DSM の両方を融合することに基づいて、建造物がありそうな場所を検出する手法を示す。この章の最後の節では、建造物検出の二つの手法、すなわち、領域アプローチとエッジアプローチについて説明する。領域アプローチでは、領域特徴に基づいて、形態学的手段を適用する。エッジアプローチでは、既存のバルーンモデルを改良した手法を説明する。ここでは、まず、建造物輪郭の初期値形状を Multiple Height Bins(MHB)法により作成し、その後、画像と DSM の両データを利用して、その輪郭を繰り返し調整する。

第4章は、建造物抽出モデルを提示する。これは本論文の最もオリジナルな部分である。建造物の外観を記述するために、semantic model の概念を提案する。次に、3次元建造物抽出法を説明する。semantic model においては、まず、エッジ要素を検出し、次に直線を抽出する。統計的手法を適用して、建造物の方向を推定し、直線要素を、方向性を考慮して、多角形要素に再構築する。多角形要素は3次元屋根パッチとして構築され、パラメータ化モデルにしたがって、3次元建造物として組み立てられる。本章の最後の部分では、モデル化された建造物の計測精度の検証と、建造物の視覚化について記述する。都市の建

物が密集している地域では、ほとんどの建造物（約 85-87%）は、本手法による 3 次元直線建造物モデルによってほぼ表現することができ、また、非常に高い精度が得られた。平面での推定精度はおよそ 1m であった。また、本章の最後で、3 次元建造物モデルによる簡単な 3D ビューを提示する。

第 5 章では、システム管理の面から、3 次元都市モデルを扱うために手法を記述する。オブジェクト指向手法と、3 次元都市モデル構築の原理に関する簡潔な記述の後、新しいオブジェクト指向 3 次元都市モデル手法を提案する。

第 6 章では、具体的な二つの応用結果を提示する。IKONOS 画像と航空機レーザースキャナデータを使用して、我々が開発した 3 次元建造物再建モデルを実際に東京駒場、新宿のテストサイトに適用した結果を示す。

第 7 章では、本研究を要約し、将来の研究への展望を示す。