

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 グオ タオ (Guo Tao)

都市における建物や構造物などの 3 次元空間構造を計測し、データベース化する都市 3 次元モデルは、ナビゲーションシステムや地理情報システムなど利用分野の急激な拡大に伴い、その迅速かつ効率的なデータ作成や更新への必要性が高まっている。都市の 3 次元構造を、地上での測量のみに基づいて計測し、モデル化することは、その人的労力や作業時間から現実的とはいえず、衛星データ等のリモートセンシングデータの活用が望まれる。実際、IKONOS や OrbView など地上分解能 1 m 以下の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都市の 3 次元構造データを自動的に作成することへの関心も高まりつつある。しかしながら都市の空間構造は、建物や構造物のみならず植生などの非常に複雑な要素から構成され、その配置も複雑であるため、単一の衛星データのみから 3 次元モデルを構築することは容易ではない。都市 3 次元モデルの作成には、人工衛星や航空機からの様々な異なったデータを統合的に処理し、位置や高さを高精度で同定する統合情報処理の技術が不可欠である。

本研究では、高分解能衛星画像データ (IKONOS) と航空機レーザースキャナデータ (LS) を併用する新たな手法により、高精度で 3 次元都市構造 (モデル) を計測することを目的とした。IKONOS データからは高精度での位置情報と地表面被覆情報を、LS データからは高度情報を抽出することにより、両者を統合処理して、統合データから 3 次元建造物を自動抽出する手法を開発した。

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。まず、LS からの高度データ (DSM: Digital Surface Model) と IKONOS 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。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、IKONOS 画像により地表面被覆分類を行ううえで、LS からの高さ情報を加えることで、分類精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。

次に、3 次元建造物の自動抽出では、IKONOS 画像データと LS 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、プログラミングが可能なフレーム構造が提示される。

本論文は全 7 章から構成され、核となる都市構成要素分割、建造物検出、建造物抽出、オブジェクト指向 3 次元都市モデル構成手法について、それぞれ 2 ~ 5 章に記述した。

第 1 章では、本研究における背景についての総論を述べた。まず、都市研究における 3 次元都市モデリング自動化の必要性と、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について説明し、さらに既存の研究手法の概略をまとめた。

第 2 章は、レーザースキャナデータからの高度データ (DSM: Digital Surface Model) の作成手法について記述し、さらに、この高度データと IKONOS データのスペクトル情報の併用により、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た。

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た。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し、次に、IKONOS データと、LS データから得られた DSM の両データを融合することにより、建造物がありそうな場所を検出する手法を示した。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した。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した。

第 4 章では、建造物抽出手法を提案した。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 の概念を提案し、次に、3 次元建造物抽出法を説明する。semantic model においては、建物が、多角形要素 (直線要素) から構成されたある程度の大きさを持った多層の構造物であると仮定し、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、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した。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。

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の手法を記述する。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した。

第 6 章では、東京の駒場地区、新宿地区の具体的な二つの応用結果を提示した。IKONOS 画像と航空機レーザースキャナデータを使用して、本論文で提案した 3 次元構造モデル作成手法を、上記 2 箇所のテストサイトに適用して得られた都市 3 次元モデルを示した。

第 7 章では、本研究を要約し、将来の研究への展望を示した。

以上のように、本論文は、都市の建築物の 3 次元構造を、

- ・高解像度人工衛星 (IKONOS) データと航空機搭載のレーザースキャナデータの併用により高精度で計測する手法を開発し、さらに、
- ・複雑な都市の 3 次元モデルを構築する手法を開発したこと

に独創性を有し、また、得られた結果は有用性に富むものと評価できる。よって本論文は博士 (工学) の学位請求論文として合格と認められる。