

令和 4 年 6 月 1 日現在

機関番号：32675

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K01126

研究課題名(和文) 自然の地形が持つ幾何的特性を生かした地形モデルの表現と標本化

研究課題名(英文) Exploiting geometric features of natural terrains to construct terrain models

研究代表者

五島 洋行 (Goto, Hiroyuki)

法政大学・理工学部・教授

研究者番号：00398950

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：地理情報システム(GIS)データの一種である数値標高モデル(DEM)データを用いて、特徴点・特徴曲線・特徴領域の抽出など各種の地形解析を行い、自然な曲線や曲面が軽量に描画できる地形モデルの標本化方法について検討した。当該分野における各種の解析手法は、大半が区分的線形モデルに基づいていたが、本研究では非線形の地表面モデルを用いた3次元版のContour Based Network (CBN)の生成を中心に検討した。計画当初は3年半程度の研究期間を見込んでいた本研究は、当初予定より早い3年で必要な検討や実装がほぼ終了した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地形解析に限らず一般的な2変数関数 $z=f(x, y)$ の極小値探索を行う場合、実データを用いて係数が定められている場合、真の極値の位置が分からないため、従来用いられる収束判定の方法では、極値点を越えて反対側の探索を継続することが不可能であった。しかし本研究では数値計算分野における精度保証に似た概念でtolerance(公差)の概念と実装を思いつき、真の位置が分からなくてもtolerance以下の範囲で極値点を同定する方法を新たに考案・実装した。この方法は非線形モデルを用いた各種の特徴曲線の検出と標本化方法にも広く応用が可能であり、地形解析分野に限らず多くの分野に応用が可能であると考えている。

研究成果の概要(英文)：The primary concern was on constructing an encoding method for digital terrain models; it is designed for reconstructing smooth curves and surfaces along with lightweight computation. While almost all existing methods adopt piecewise linear models, this study adhered to nonlinear surface models. The central outlet of this study is three-dimensionally consistent Contour-Based Network (CBN), which assures orthogonality on every intersection of contours and steepest curves. While the estimated duration of the project has been firstly three and half years, the project was completed successfully within three years.

研究分野：時空間解析

キーワード：数値標高モデル 地理情報システム 地形解析 計算幾何学

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地理情報システム(GIS)データの種類である数値標高モデル(DEM)データを用いて、特徴点・特徴曲線・特徴領域の抽出など各種の地形解析を行い、自然な曲線や曲面が軽量に描画できる地形モデルの標本化方法について検討する。当該分野における各種の解析手法は、大半が区分的線形モデルに基づいており、計算機の計算性能が現在よりもかなり低い時代に開発されたものであるが、取扱いの簡便さから現在でも広く用いられている。一方、近年のGISデータの整備の進展と計算機の計算性能・記憶容量の向上により、従前よりも大規模もしくは高解像度のデータを一度に処理することが可能になった。その一方で解析に関する手法は進歩が充分とは言い難く、1970-80年代に考案された手法が今でも広く用いられている。区分的線形モデルでも、刻み幅を十分小さく取れば高精度な解析が行えるが、解像度を上げれば必要なデータ量は二乗ないしは三乗の次元で増加する。DEMデータを例に取れば、伝統的に用いられてきた50mメッシュのデータに対して、近年10m/5mメッシュのデータも整備が進んでいるため、解像度を5倍や10倍に上げた分析を行うことになる。計算時間も二乗・三乗あるいはそれ以上の次元で増加するため、近年の計算機性能や記憶容量の向上だけではカバーしきれない。一方で非線形のモデルは、従来地形解析の分野ではあまり用いられてこなかった。線形モデルよりも計算が複雑で時間がかかること、取り扱いの難しい非線形の挙動を含むことなどがその理由として考えられる。同一の解析範囲に対する情報格納のためのパラメータ数は、線形モデルの数倍程度に留まる。このため非線形モデルを用いた枠組みを新たに構築すれば、少ない記憶量で線形モデルよりも詳細な分析を行ったり、なめらかな曲線や曲面を描画できる可能性がある。

2. 研究の目的

本研究は上記1.の背景から計画されたものであって、非線形版の地表面モデルを用いた3次元版のContour Based Network (CBN)の生成を中心に検討する。入力データはメッシュ状のDEMデータとし、途中の処理において対話的な処理や個別の修正を行うことなく、3次元CBNを生成する方法を構築する。従来は、地形図などの二次元的に与えられた等高線情報を元にしてCBNの生成を行っていたが、この方法では特に平らな地域において隣接等高線間の接続誤りが発生し、目視による修正が必要になることが多い。本研究ではこのような修正を不要にする。また二次の微分量、具体的には曲率の情報を積極的に活用することで、表現に必要な曲線のデータ量を削減し、特徴量や特徴領域の高精度な計算が行えるようにする。さらに3次元空間上でのCBNの一貫性(consistency)を実現する。具体的には、検出する最急降下・上昇線があらゆる場所で等高線と直交するようにし、元データから生成される地表面モデルに修正を加えることなく、オリジナルの非線形地表面モデルをそのまま用いて、等高線や最急上昇・降下線を求める方法を検討する。

3. 研究の方法

人員体制としては、研究代表者、研究分担者1名、パラメータを変えての数値実験は大学院生などに依頼し、必要に応じて国外の研究協力者とも意見交換を行う。研究代表者は研究テーマ全体の構想、文献調査、基本理論の構築、予備的実験、および成果とりまとめなどを担当する。研究分担者および国外の研究協力者は、文献・技術情報の提供、構築した基本理論に対する意見交換などを行う。実験に必要な機材やソフトウェアは、中程度以上の性能のPCと、MATLABなどの数値解析環境である。実験に用いるDEMデータは、国土地理院から刊行されている数値地図50mメッシュ(標高)(現在は廃刊)や、同じく国土地理院ホームページからダウンロード可能な、基盤地図情報数値標高モデル10mメッシュ(標高)、5mメッシュ(標高)データなどである。

4. 研究成果

線形な地表面モデルと異なり、非線形地表面モデルは、曲面上に数多くの凹凸すなわち極大点と極小点があり、単純な上昇/降下のアルゴリズムを適用するだけではすぐに探索が終了してしまい、ターゲットとなる標高値まで凹凸を乗り越えて探索を続けることが困難である。極大・極小点の位置も、線形モデルでは限られた場所にしか存在しないが、非線形モデルでは真値・真の位置が分からない困難もある。隣接する上昇/降下線同士が途中で合流する場合があるが、非線形地表面モデルではその合流判定にも困難が伴う。さらに等高線の検出では、一般の非線形関数の方程式の解を求める困難さと同様の性質があり、すべての等高線、特に単一セル内で閉じた小さな等高線をすべて検出することが困難である。研究開始当初は、線形モデルで用いられている手法の非線形版への適用や一般化を想定していたが、研究を進めるうちに当初予期し得なかった理論的・技術的困難が次々に明らかになってきた。このため研究期間2年目終了時点では見込みより遅れが発生した。しかし研究3年目にTolerance(公差)の概念と実装を思いつき、大きく研究が進展した。数値計算分野における精度保証に似た方法で、Tolerance以下の範囲で極大・極小点を同定する、Tolerance以内に曲線が接近したら合流扱いとする、Tolerance以上の範囲で小さな等高線を検出するなどの方法で、各種の理論・技術的困難を克服することができた。この

ため、当初3年半程度の研究期間を見込んでいた本研究は、当初予定より早い3年で必要な検討や実装がほぼ終了した。今後は論文執筆などを中心に成果とりまとめを行う。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hiroyuki Goto, Alan T. Murray	4. 巻 25
2. 論文標題 Exact and flexible solution approach to a critical chain project management problem	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Constraints	6. 最初と最後の頁 280 ~ 297
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10601-020-09314-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Hiroyuki Goto, Alan T. Murray	4. 巻 81
2. 論文標題 Acoustical properties in emergency warning siren coverage planning	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Computers, Environment and Urban Systems	6. 最初と最後の頁 101477 ~ 101477
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.compenvurbsys.2020.101477	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Hiroyuki Goto, Alan T. Murray	4. 巻 56
2. 論文標題 Small-m method for detecting all longest paths	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 OPSEARCH	6. 最初と最後の頁 824-839
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12597-019-00385-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Hiroyuki Goto, Yohei Kakimoto, Yoichi Shimakawa	4. 巻 E102.A
2. 論文標題 Lightweight Computation of Overlaid Traffic Flows by Shortest Origin-Destination Trips	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 320 ~ 323
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.E102.A.320	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hiroyuki Goto, Alan T. Murray	4. 巻 11
2. 論文標題 Optimization of Project Schedules in the Critical-Chain Project-Management Max-Plus-Linear Framework	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Review on Modelling and Simulations (IREMOS)	6. 最初と最後の頁 206 ~ 214
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15866/iremos.v11i4.13485	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計14件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 五島洋行, 柿本陽平
2. 発表標題 クリティカルチェーン法における厳密最適解 -混合整数線形計画法によるアプローチ-
3. 学会等名 計測自動制御学会, 第67回離散事象システム研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 五島洋行
2. 発表標題 クリティカルチェーン法における厳密最適解 -Max-plus線形表現を用いたアプローチ-
3. 学会等名 日本応用数理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nozomi Yoshimura, Yoichi Shimakawa, Hiroyuki Goto
2. 発表標題 Estimating Traffic Volume for Multiple Time Zones Based on Dynamic Traffic Assignment
3. 学会等名 SICE 2020, 59th Annual Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Kyohei Sagawa, Nozomi Yoshimura, Yoichi Shimakawa, Hiroyuki Goto
2 . 発表標題 A Railway Timetable Scheduling Model Based on a Max-Plus-Linear System
3 . 学会等名 SICE 2020, 59th Annual Conference (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Yohei Kakimoto, Hiroyuki Goto
2 . 発表標題 Formulation of Systems with Structures of Selection and Synchronization in a Min-Max-Plus System Representation
3 . 学会等名 SICE 2020, 59th Annual Conference (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Hiroyuki Goto, Yohei Kakimoto, Prommas Panote, Yoichi Shimakawa
2 . 発表標題 Reduction in time complexity for computing overlaid traffic flows
3 . 学会等名 30th European Conference On Operational Research (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Yohei Kakimoto, Hiroyuki Goto, Prommas Panote, Yoichi Shimakawa
2 . 発表標題 Optimal facility location model for freight vehicles to exploit buffer times efficiently
3 . 学会等名 30th European Conference On Operational Research
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Tatsuya Komiya, Yoichi Shimakawa, Hiroyuki Goto, Yuki Sato
2. 発表標題 Multi-objective task allocation in distributed computing systems using mathematical programming
3. 学会等名 International Conference on Industrial Enterprise and System Engineering
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 五島洋行
2. 発表標題 数理計画問題におけるmax-plus代数の活用～制御工学から組合せ最適化まで～
3. 学会等名 日本応用数理学会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yohei KAKIMOTO, Hiroyuki GOTO, Yoichi SHIMAKAWA, Prommas Panote
2. 発表標題 Location model minimizing distances between EV charging stations
3. 学会等名 9th International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tatsuya KOMIYA, Yoichi SHIMAKAWA, Hiroyuki GOTO
2. 発表標題 A study on a routing problem focusing on freight transportations
3. 学会等名 9th International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoichi SHIMAKAWA , Hiroyuki GOTO , Yohei KAKIMOTO
2. 発表標題 A practical routing model in terms of reliability of arrival time to destination
3. 学会等名 29th European Conference On Operational Research (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yohei KAKIMOTO , Hiroyuki GOTO , Yoichi SHIMAKAWA , Hirotaka TAKAHASHI
2. 発表標題 Analysis of location model for charging facility considering driving distance
3. 学会等名 29th European Conference On Operational Research (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroyuki GOTO , Alan T. Murray
2. 発表標題 Coverage planning to account for acoustical properties associated with emergency warning sirens
3. 学会等名 29th European Conference On Operational Research (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

経営数理工学研究室HP https://syslab.k.hosei.ac.jp
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	島川 陽一 (Shimakawa Yoichi) (10446239)	サレジオ工業高等専門学校・その他部局等・教授 (52604)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
米国	UC Santa Barbara			