

GPS および携帯情報端末を用いた 森林調査支援システムに関する研究

学位論文内容の要旨

世界的に森林資源の重要性が高まり、広範囲の森林を正確に調査する必要性が生じてきた。GPS を利用することで、マッピングやナビゲーションが効率よく行えることから、広範囲の森林調査を支援するツールとして利用されるようになってきている。一方、林内は樹冠や幹が存在し、GPS の測位精度に悪影響を及ぼすことが知られている。こうした誤差を修正するスムージング手法の効果や GPS を用いて林内をナビゲーションした際の効果などは検証されていない。

第 1 章. 研究目的

以上の社会ならびに研究背景から、本研究の目的を、①移動状態における測位精度に影響を及ぼす要因を検証すること、②測位結果を滑らかな線形に修正するスムージング手法を検討すること、③林内での使用に特化した GPS および携帯情報端末(PDA)を用いた森林調査支援ツールを開発し、実装実験の結果から、同種のシステムの効果および求められる機能やデザインについて考察することとした。

第 2 章. 「移動モード」における測位精度とスムージング手法の検討

林内での歩行状態における測位精度の検証およびスムージング手法の検討は北海道大学 苫小牧研究林に設置した GPS テストサイト内の天然林および人工林において行った。分散分析の結果、歩行状態の正確度(Accuracy)には受信機の種類および補正方法、林分の種類が影響を及ぼしていることが分かった。高性能マッピング受信機である Pathfinder Pro XR(ProXR)および GeoXT は高い正確度を示したが、林内歩行状態における精密度(Precision)も、一般ナビゲーション受信機である GPSMAP 76S(76S)より良好な結果となった。一方、リアルタイム DGPS を行うと正確度は向上したが、精密度には影響が見られなかった。また、重回帰分析の結果、受信機に記録された PDOP（位置精度劣化度）は正確度に影響を与えていないと判断された。これらの結果は、既存研究によって静止時の結果としては報告されてきたが、本研究結果から移動時も同様であることが明らかになった。

スムージング手法には速度フィルタと Douglas-Peucker アルゴリズムの 2 種類の方法を用い、テストサイトの外周を歩行した測位結果の面積および周囲長の誤差を検証した。解析では面積の誤差(%)、周囲長の誤差(%)を従属変数とし、受信機の種類(Pro XR・76S)、補正方法(リアルタイム DGPS・単独測位)、林分の種類(天然林・人工林)、スムージング手法(フィルタなし・速度フィルタ・速度フィルタ+Douglas-Peucker アルゴリズム)を独立変数とした分散分析を行った。面積は、Pro XR が高い精度で測位できたことが示されたが、スムージング手法は面積の誤差には影響を与えていなかった。周囲長誤差に関しては、76S の誤差が非常に小さく、Pro XR よりも良好な結果となった。しかし Pro XR の誤差は速度

フィルタ+Douglas-Peucker アルゴリズムを適用することで、10%程度まで誤差を低減できた。林内歩行状態での測位精度とスムージングの効果の検証は、GPS を用いた林内マッピングの精度と効率の向上に資すると考える。

第3章 森林調査支援システムの開発

本研究で開発した森林支援システム (DeltaForest) はフィールドで使用する DeltaTracer と、これをサポートする DeltaMapper からなる。DeltaTracer は PDA および GPS 受信機から構成され、森林資源モニタリング調査をモデルとして設計し、「前任者」が残したルート(推奨ルート)を辿って「後任者」が目標地点を発見できることを開発要件とした。また、目印となる地点において「イベント」と呼ばれる画像およびテキスト情報が PDA に表示され、調査者の目標地点発見を支援する。さらに林内での使用を考慮した画面レイアウトや、推奨ルートに現在地を補正する「簡易マップマッチング」など独自の機能を搭載した。一方 DeltaMapper は PC 上で作動し、DeltaTracer に使用するルート情報を編集し、「後任者」にルート情報を伝達することを目的として開発した。

実装実験では 10 名の被験者を用い、京都大学上賀茂試験地において実施した。システム使用時と非使用時の各条件で林内の定点を探し出し、目標往復に要する所要時間を計測した。往復の制限時間は 2 時間とした。システム非使用時においても被験者に GPS を取り付け、軌跡を記録した。GPS によって得られた軌跡は速度フィルタおよび Douglas-Peucker アルゴリズムによるスムージング処理を施した。次に試験地全域を 25×25m のグリッドに区切り、被験者ごとに使用したグリッド数を計測した。また、所要時間および歩行距離も求めた。これらを従属変数とし、ルートの種類およびシステムの有無を独立変数とした分散分析を行った。実験後、システムの機能やデザインに関するアンケートを実施した。分散分析の結果、システムを使用した際には使用グリッド数が減少し、被験者の迷いが少なく目標地点を発見できたことが推測された。一方、歩行距離にはシステムの効果が見られなかった。また、システムを使用した際には使用しなかったときよりも所要時間が短縮された。ところが、距離が短いルートではシステムを使用しても所要時間が短縮されなかった。このことは、ルートや目標地点によってシステムの取捨選択をする必要性を示していると考えられた。

DeltaTracer の機能評価アンケートの結果、最も高い評価は「ルート情報の表示」となり、「前任者」から受け渡されたルート情報が目標地点発見のために有効だったといえた。一方、最も評価が低かったのは「ケーブル類のストレス」で、下層植生等が繁茂する林内においてはケーブル類を無線化するなどの改良が考えられた。DeltaMapper に関する機能評価アンケートの結果では、最も評価が高かったのはソフトの安定性であった。一方、最も評価が低かったのは PC・PDA 間のデータ転送速度で、次に低い評価はシステムの動作速度であった。このことからシステムの軽量化など改良点が認められた。

今回の実装実験ではシステムを使用しない際、制限時間内に目標地点を発見できなかったことが 4 回あった。一方、DeltaTracer を使用した際は全て目標地点を発見し、的確に目標地点に誘導することが出来た。また、「前任者」からのルート情報を的確に「後任者」に受け渡すことができ、GPS の有効な使用方法を具体的に示すことが出来た。

本研究の成果によって、林内を移動する状態で GPS を使用した場合の精度について、受信機の種類および補正方法、林分の種類によって異なることが明らかになり、またその特性を森林調査支援システムに組み込むことにより、確実に目的地へ誘導することが可能になった。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 中 村 太 士

副 査 教 授 酒 井 徹 朗

(京都大学大学院情報学研究科)

副 査 教 授 野 口 伸

副 査 教 授 丸 谷 知 己

学 位 論 文 題 名

GPS および携帯情報端末を用いた 森林調査支援システムに関する研究

本論文は、図 20、表 18 を含む総頁数 93 の和文論文であり、他に参考論文 5 編が添えられている。

緒言

GPS（全地球測位システム）は現在地を正確に把握できることから、林内における広範囲のマッピングやナビゲーションに応用できるツールであると考えられる。一方、林内における静止測位では立木や地形による影響を受けることが知られているが、移動状態での測位精度の検証はほとんど行われていない。また、誤差を修正するスムージング手法の効果や GPS を用いて林内をナビゲーションした際の効果などは検証されていない。

第 1 章 研究目的

GPS を用いたマッピング作業の多くは移動状態で行われ、得られた結果には多くの誤差が含まれるため、スムージング処理を行わなければ使用できない。本研究では移動状態の測位精度に影響を及ぼす要因を検証し、誤差の推定を試みた。また、効果的なスムージング手法について検討し、マッピング結果の信頼性の向上を検討した。次に、森林資源モニタリング調査を支援する GPS および PDA(携帯情報端末)を用いた「DeltaForest」を開発し、森林調査に求められる機能やデザインについて検証した。

第 2 章 移動状態における測位精度とスムージング手法

歩行状態での正確度（Accuracy）に影響を及ぼす要因について分散分析を行った結果、受信機の種類および補正方法($p<0.001$)、林分の種類($p=0.001$)が影響を及ぼしていることが分かった。高性能 GPS 受信機は下位機種よりも正確度が高く、精密度（Precision）でも同様の結果が得られた ($p<0.001$)。既報の静止測位と同様に DGPS による補正は正確度を向上させたが、精密度には影響を与えなかった。また、正確度を推定するための重回帰分析

の結果、PDOP（位置精度劣化度）は影響を与えていなかったが、これも静止測位で報告されている結果と同様のものとなった。

スムージング手法には速度フィルタと Douglas-Peucker アルゴリズムを使用し、測位結果の周囲長と面積に与える影響について検証した。上位機種は下位機種よりも面積の誤差は小さかったが、下位機種は周囲長誤差が上位機種よりも小さくなった。周囲長誤差と面積誤差を従属変数とした分散分析の結果、面積誤差にはスムージングの効果が現れなかったが（ $p=0.057$ ）、面積の誤差はスムージングを行うことで改善することができ、速度フィルタと Douglas-Peucker アルゴリズムの両方を施した結果、誤差を 10% 程度まで低減させることができた。

第 3 章 DeltaForest：森林調査支援システムの開発

DeltaForest は、PDA と GPS を用いてフィールドで使用する DeltaTracer と、PC を用いてルート情報を編集する DeltaMapper から構成される。森林資源モニタリング調査に利用されることを目的に開発しており、5 年前の調査者（前任者）が残したルート（推奨ルート）を確実に 5 年後の調査者（後任者）に伝達し、後任者が林内から目標を発見できることを開発要件とした。実装実験は 10 人の被験者を用い、被験者に取り付けた GPS から得られた軌跡に、速度フィルタおよび Douglas-Peucker アルゴリズムによるスムージング処理を施した。次に実験地全体を 25m×25m のグリッドに区切り、被験者が利用したグリッド数を数えた。また、被験者が目標発見に要した時間や、歩行距離を計測した。さらに、被験者に対して実験後 DeltaForest に関するアンケート調査を行い、森林調査支援システムに求められる機能などについて検討した。

分散分析の結果、システムを使用した場合、使用グリッド数および所要時間の減少が見られた（ $p<0.05$ ）。一方、歩行距離にはシステムの効果が見られず、ルートによってシステムの利用を選択する必要があると考えられる。アンケートの結果、DeltaTracer について最も高い評価を得た機能は、推奨ルートを PDA で参照できる機能であり、前任者からの情報を確実に伝達し、有用であったことを示すことができた。最も低い評価を得たのは、ケーブルによる心的ストレスで、システムの無線化などが求められた。また、DeltaMapper に関する最も高い評価はシステムの安定性であったが、動作速度の評価が低く、システムの軽量化が望まれた。

結言

本研究で示した線形のスムージングによって、今後 GPS を用いたマッピング成果の信頼性を高めることができると考えられる。また、DeltaForest の実装実験では「前任者」から引き継がれたルート情報が目標発見に有用であったことが示された。

以上のように本研究は、移動状態の測位精度に影響を及ぼす林内要因を整理し、効果的なスムージング手法を適用することによって、林内での使用に特化した調査支援ツールを開発したものであり、その成果は学術・応用両面から高く評価される。よって、審査員一同は、立木 靖之が博士（農学）の学位を受ける十分な資格があるものと認定した。