

自律航法に基づく GPS 通信回数の低減による IoT デバイスの省電力な測位

田中 風助¹ 杉本 一彦² 串田 高幸¹

概要: 近年、身体や衣類に装着できるウェアラブルデバイスや、動物やロボットに取り付ける小型の IoT デバイスが注目を集めている。これらのデバイスに取り付けられた GPS を利用して、歩行ルートの記録を行ったり、動物やロボットの追跡から得られた実測値の分析に用いられる。しかし、GPS による長期的な通信は IoT デバイスのバッテリー消費が高くなるという課題がある。この課題を解決するために、デバイス上の 9 軸センサ（加速度・ジャイロ・地磁気）からのデータを利用して位置測位を行う自律航法を用いて、位置情報の精度を維持しながら GPS 通信を減らし消費電力を削減する。GPS を接続するタイミングは、9 軸センサによりユーザーの移動が検知できない場合とする。また、GPS のみの測位を行った場合と提案の手法を比較し、バッテリーの消費電力と位置の精度を比較する。

1. はじめに

背景

あらゆるものがインターネットとつながる IoT (Internet of Things) が日常に取り込まれてきている中、身体や衣類に装着する IoT デバイス（ウェアラブルデバイス）が注目を集めてきている [1]。IT 専門調査会社である IDC によると、2020 年のウェアラブルデバイス出荷台数は約 4 億 4,470 万台であり、昨年度に比べて 28.4 %増加している [2]。ウェアラブルデバイスの出荷台数は今後も増加し続ける見込みである。ウェアラブルデバイスは体に取り付けることが多いことから、小型のバッテリーが搭載されている [3]。

一般的なウェアラブルデバイスの機能の 1 つに位置情報の取得がある。現在の主要なウェアラブルデバイスの多くは GPS センサが組み込まれている。GPS とは、Global Positioning System の略称で、日本語では「全地球測位システム」とも訳される。アメリカが開発した衛星測位システムあり、人工衛星から発せられた電波を受信し、位置・距離・時刻を計算して、現在位置を測位する技術である。センサは GPS 位置データを継続的にサンプリングし、ユーザーのルートを正確にリアルタイムで特定できる [4]。GPS モジュールからは NMEA フォーマットの情報が送信される。NMEA とは、受信機とナビゲーション機器の通信に

使用されるプロトコルである。GPS モジュールから取得されるデータには、協定世界時 (UTC) での時刻や 60 進法で表される緯度経度の値、使用された衛星の数である。

GPS による絶対位置での位置測位のほかに、ユーザーが所持したセンサから相対的に移動距離を算出する自律航法という測位手法がある [5]。図 1 は自律航法の測位方法の概要である。この技術は加速度センサ・ジャイロセンサ・地磁気センサを搭載した 9 軸センサ付きのデバイスをユーザーが所持して移動することで、ユーザーの移動方向と移動距離を測り、現在地を求めることができる。また経路情報や電波の接続環境に依存しない点や、移動距離を求めるために必要なセンサはデバイスにすべて搭載されているため、新たに測定機器を設置する必要がなく比較的 low コストで測位を行うことができる [6]。



図 1 自律航法の測位方法

¹ 東京工科大学コンピュータサイエンス学部
〒192-0982 東京都八王子市片倉町 1404-1

² 東京工科大学大学院バイオ・情報メディア研究科コンピュータサイエンス専攻
〒192-0982 東京都八王子市片倉町 1404-1

課題

GPS データを取得するためには衛星からの電波を受信する必要があるので、通信時間が長くなりウェアラブルデバ

イスのバッテリーに負担がかかる [7]. Kent W. Nixon らの論文によると、そこで使用したウェアラブルデバイスでは、CPU は約 35mA、ディスプレイは約 20mA であるのに対し、GPS ユニットは約 130mA ある。本実験で使用したマイクロコントローラーとして使用した ESP32 は 3.3V である。また、GPS モジュールの電流は約 50mA で、9 軸センサの電流は約 5mA であった。ESP32 の電流は約 40mA であるため、GPS モジュールは出力電流が高いことが分かる。GPS 通信の頻度を減らして消費電力を抑えようとした場合には、GPS データを取得する頻度も下がってしまうため、ユーザーの正確な位置情報の取得ができない。これらの課題を解決するためには、位置精度の低下を最小にしながらいデバイスの消費電力を削減する手法が必要になる。

各章の概要

第 2 章では関連研究として GPS トラッキングに利用される技術や IoT デバイスの省電力手法について述べる。第 3 章では提案するシステムについて述べる。第 4 章では提案したシステムの実装や実験環境について述べる。第 5 章では実験の評価と分析について述べ、第 6 章では提案したシステムの議論を述べる。第 7 章で研究のまとめを行う。

2. 関連研究

GPS により取得されるデータは位置情報データとして分析に用いられている。GPS ベースによる動物追跡システムの研究では、低コストで長期的に動物をトラッキングし、動物の生態についての分析を行っている。この研究では、GPS を動物の追跡技術に応用しているが、バッテリーの消費電力については考慮されていない [8]。

Liqiang Xu らの研究では、GPS/DR (自律航法) システムと Wi-Fi ネットワークを使用した車両の測位に関する実験を行っている。ここでは GPS のみの測位では無く、自律航法を用いた測位方法と組み合わせ、さらに Wi-Fi ネットワークを統合した車両追跡をしている。GPS のみに頼らない位置の測位が可能となっているが、ここでは車両の測位を想定しているため、バッテリーの大きさにとわることができない。そのため、小型のバッテリーを搭載する場合に応用できず、GPS 通信の消費電力の高さについては課題が残っている [9]。

Fawaz Mohammed Jumaah らの研究では、GPS ベースバンド受信機の消費電力を削減するためにクロックゲーティング技術を利用した電力管理コントローラを提案している。ここでは、ロックされたチャンネルの数を最小限に抑えて位置を取得することで、約 45 % の省電力を実現できている。しかし、低電力で測定した場合の位置情報の精度についての考慮がされておらず、元の受信方法と比較して精度が低い [10]。

3. 提案方式

提案方式

位置情報の精度を維持しながら GPS の使用率を削減するため、自律航法測位を用いる手法を提案する。

図 2 に提案の概要図、図 3 に位置情報取得の流れを示す。提案では、GPS 通信を最小で行い自律航法による位置取得を行う。自律航法は GPS の絶対位置で位置情報を取得するのは違い、スタート位置からの移動距離で相対的に位置を測位する。そのため、移動距離が長くなるほど誤差の蓄積が大きくなる。そこで、誤差が発生しやすいタイミングで再度 GPS を接続することにより、誤差が蓄積しないようにする。

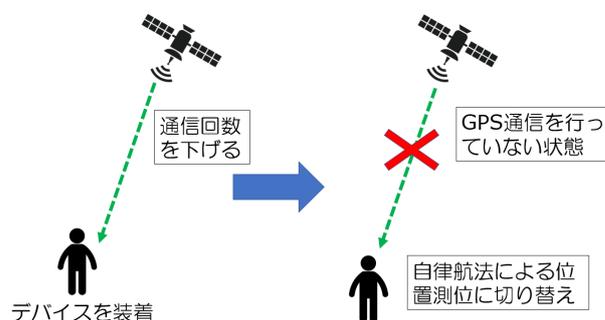


図 2 提案の概要

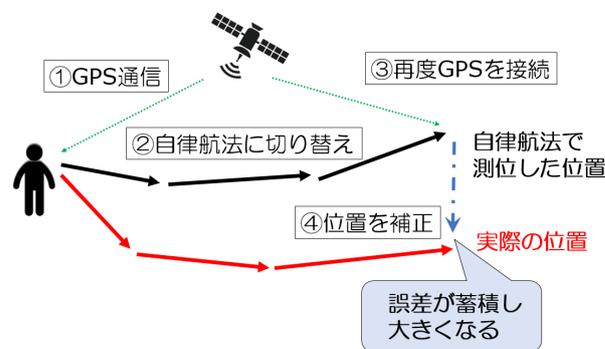


図 3 位置情報取得の流れ

GPS を再度接続するタイミング

それぞれの条件で取得した加速度の値を図 5、図 6、図 7 に示す。dataX, data.Y, data.Z は、図 4 のようにそれぞれ 9 軸センサにおける X 軸、Y 軸、Z 軸方向の加速度の値である。グラフの縦軸は 9 軸センサから取得した加速度の値で、横軸は加速度の計測時間を示している。

図 5 は移動中の加速度の値を計測したものである。ユーザーが歩行している状態であり、歩行時の動きにより一定のセンサの動きが読み取れている。図 6 は IoT デバイスを動かしていない場合の加速度の値である。ユーザーが停止

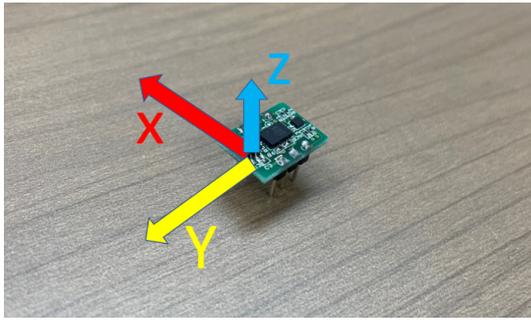


図 4 加速度センサの軸の向き

している状態であり、歩行状態のような動きがないことからセンサの値も動きがあまりない。data.Z の値だけ高い数値になっているのは、9 軸センサの Z 軸に重力加速度がかかっているからである。この 2 つのデータを比較すると、移動中のグラフの波形と動いていない場合の波形は明らかに異なることが分かる。

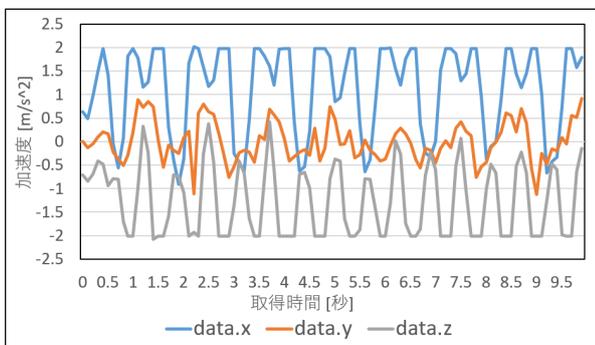


図 5 移動中の加速度の値

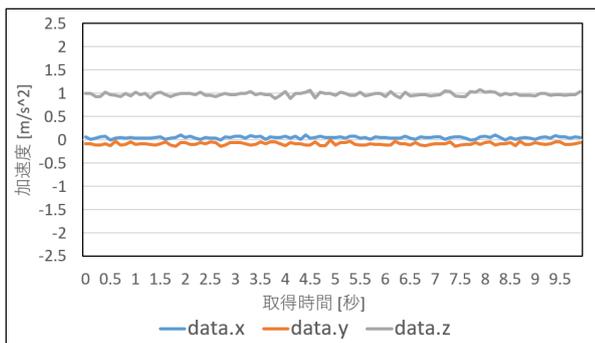


図 6 IoT デバイスを動かしていないときに発生する加速度の値

図 7 は歩行状態から一時停止し、再度歩行をした時の加速度の値である。これらの結果から、加速度の値を用いて歩行状態の検知が可能であることが分かる。日常での人間の動きは複雑であり、歩行状態以外にも様々な動きがある。自律航法は移動時の歩数を検出することにより移動距離を測位する技術である。そのため、移動中以外の複雑な動きが誤差となって蓄積する。本研究では、この計測結果から移動を行っていない場合を検知した時に誤差が発生しやす

い原因とし、GPS を再度接続するタイミングとして提案する。

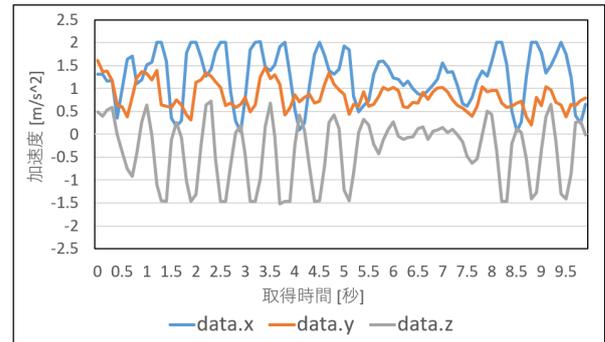


図 7 歩行時と停止時があるときの加速度の値

歩数を検知する加速度の閾値の決定

次に 1 歩当たりの歩数を検知する加速度の閾値をどのようにして定義するのかを示す。

図 8 は、ユーザーの腕に IoT デバイスを取り付けて歩行をした data.Z の加速度の値である。この値を見ると、1.5 秒から周期的な波形となっている。1.5 秒とはユーザーが歩行を始めた時間である。周期的なグラフとなるのは、図 9 のように腕をスイングする際に、加速度の値が腕振りによる遠心力がかかるため、Z 軸のマイナス方向に計測される。腕のスイングは足の横を通るときに速度が最大となる。このスイングの際における加速度の値が-Z 軸方向に最大となるような閾値を計測すれば歩数の検知が行える。そのため閾値には data.Z の加速度の値を使用する。data.X と data.Y は歩行の検知に利用できないため使用しない。

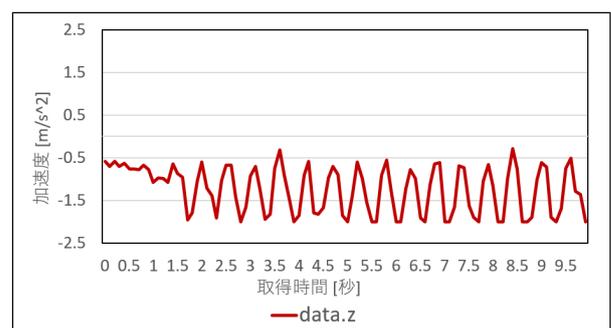


図 8 歩行時の data.Z の値

次に歩数を検知する加速度の閾値の決定を行う。図 10 は同じ研究室の男性 8 人に歩行を行ってもらった際の閾値と誤差の関係である。実測値とは実際に歩いてもらった歩数の値で、理論値とは閾値から求められる歩行したとされる歩数の値である。この閾値は data.Z の変化値で 1 歩だと判定するための値であり、歩数の誤差が小さければ、誤差が小さいことになる。この結果から閾値が -1.14m/s^2

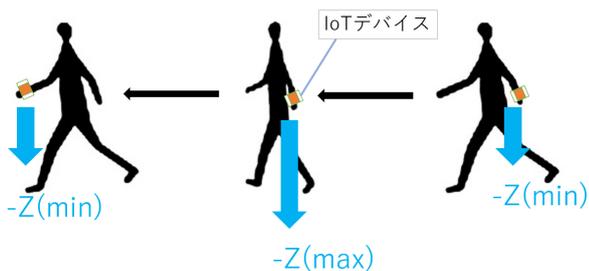


図 9 歩行時の腕のスイング

である場合に、歩数の誤差が小さくなる。そのため、閾値を -1.14m/s^2 とする。

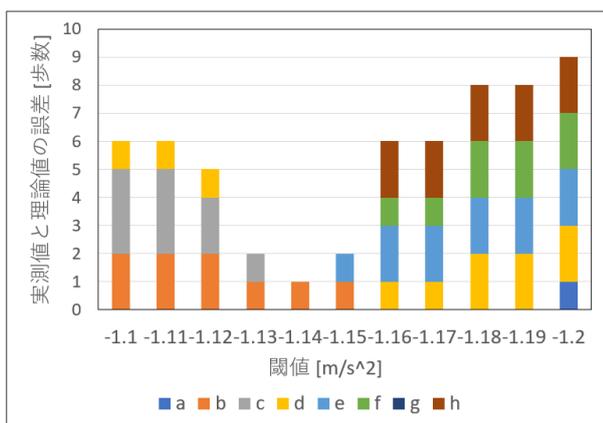


図 10 閾値と誤差の関係

しかし、この閾値は研究室の 8 人のみにしか利用できず、一般化を考慮する場合には使用できない。そのため本研究では、その前段階のラーニングフェーズとしてユーザー毎に閾値を設定する。

また、長期的に歩行を検知している場合の自律航法測位にも誤差の蓄積がある。その場合には、GPS の誤差を基礎実験から閾値として設定し、自律航法の誤差が GPS の誤差の閾値を超えた時に再度 GPS を接続する。

図 11 は位置測位を行う手法を切り替えるソフトウェアのフローチャートである。図 10 で示した閾値からユーザーの移動を検知する。切り替えのソフトウェアでは、閾値を検出している場合を移動状態とし、検出中は 9 軸センサを利用して自律航法測位を行う。検出していない場合は GPS モジュールにより位置を測位する。

ユースケース・シナリオ

図 12 は IoT デバイスの取り付け方を示した図である。ウェアラブルデバイスは、腕や衣類に取り付けることができる。本研究では図 9 のように、腕時計型のウェアラブルデバイスを想定し、計測を行う。使用するユーザーは運動中の移動データを取得したいアスリートや、老人ホームや自宅で認知症の高齢者の介護を行っている人向けに、徘徊をしてしまうお年寄りに取り付け、長期的に観察する場合

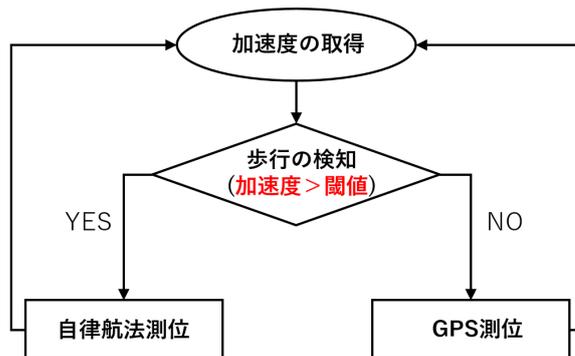


図 11 切り替えソフトウェアのフローチャート

を想定する。さらに、小学生の修学旅行などで迷子や誘拐が発生した際に位置情報が測定し、事件を防ぐために活用できることも考えられる。

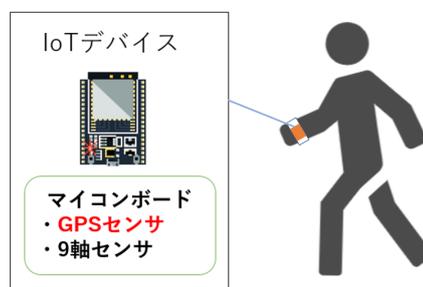


図 12 IoT デバイスの取り付け方

4. 実装と実験方法

実装

図 13, 図 14 は提案のソフトウェアを実装している場合のそれぞれのセンサのデータ取得を示した実装図である。2つの測位方法は、測位手法を切り替えるソフトウェアにより、GPS 位置情報計算ソフトウェアか自律航法位置情報計算ソフトウェアによって位置測位が行われる。

図 13 は GPS センサのデータを取得している。衛星から受信するデータを IoT デバイスから取得しサーバーに送信する。サーバーは GPS データを受信すると GPS モジュールの位置情報を計算するソフトウェアから位置情報を算出する。

図 14 は 9 軸センサを用いて自律航法により測位している。IoT デバイス本体に取り付けられている 9 軸センサから、加速度・ジャイロ・地磁気それぞれのデータを取得し、自律航法により位置情報を計算するソフトウェアから位置情報を算出する。

実験環境

図 15 のように IoT デバイスには、マイクロコントローラーである ESP32、位置情報を取得する GPS モジュール (GPS & GLONASS Receiver) と 9 軸センサ (BMX055)

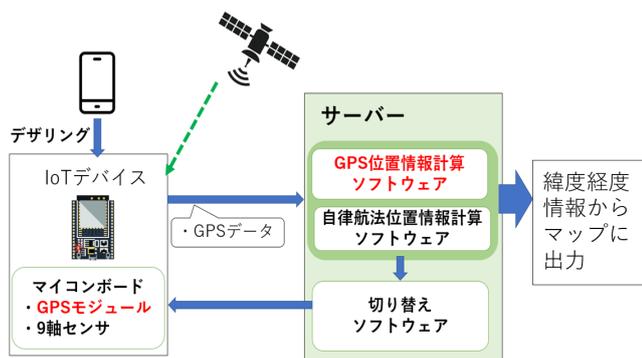


図 13 GPS センサで位置を取得している場合

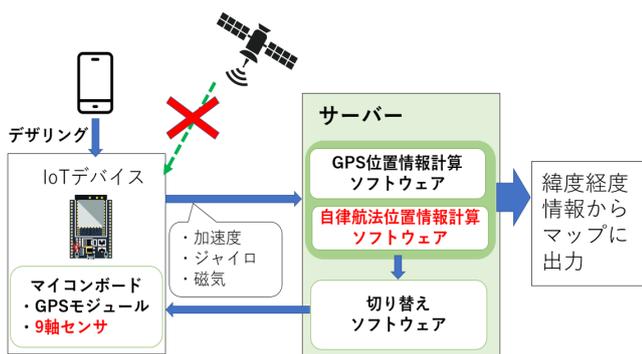


図 14 9 軸センサで位置を取得している場合

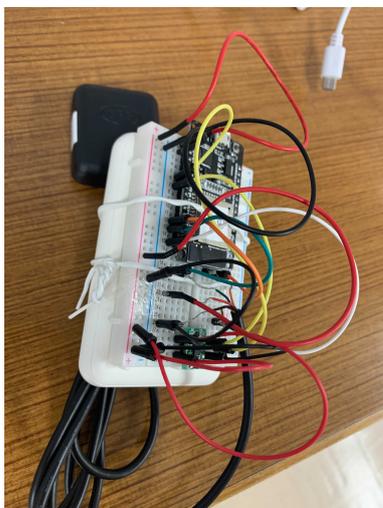


図 15 IoT デバイス

が取り付けられている。そこから VM サーバにデータを送信し、データは MongoDB に格納され分析している。

5. 評価手法と分析手法

GPS のみの測位を行った場合と提案の手法を比較し、バッテリーの消費電力と位置の精度を評価手法とする。また、消費電力を何%落とせたかや、同じバッテリーを用いて稼働時間がどのくらい増えるかを評価する。位置情報の誤差も、GPS のみの測位の場合と提案の手法を用いた場合で誤差率と移動距離の関係性を示すグラフを用いて分析を

行っていく。提案の誤差の許容量として Michael G. Wing らの実験 [11] により、GPS の精度として 5m 以内であることが分かった。そのため、提案の手法でも実際の位置から 5m 以内を許容量とする。

6. 議論

これまでは加速度を用いて、移動中かそうでないかの検知を行った。今後提案の手法を用いるためには、ジャイロセンサと地磁気センサのデータを利用して移動方向を求める必要がある。また、GPS センサから 9 軸センサでの位置情報取得に切り替えるソフトウェアの開発、自律航法での移動距離を GPS データから求められる位置情報と互換性を求められるようにしていく必要もある。

7. おわりに

本研究では、位置情報の精度を維持しながら GPS の使用率を削減するため、自律航法測位を用いる手法を提案した。9 軸センサから、ユーザーが移動中の加速度を計測した結果、移動中と移動中ではない場合にはグラフの波形が大きく異なり、移動中の検知ができることが分かった。

参考文献

- [1] Wu, J., Li, H., Lin, Z. and Zheng, H.: Competition in wearable device market: the effect of network externality and product compatibility, *Electronic Commerce Research*, Vol. 17, No. 3, pp. 335–359 (2017).
- [2] : Worldwide Wearables Market Forecast to Maintain Double-Digit Growth in 2020 and Through 2024, According to IDC (2020).
- [3] Seneviratne, S., Hu, Y., Nguyen, T., Lan, G., Khalifa, S., Thilakarathna, K., Hassan, M. and Seneviratne, A.: A survey of wearable devices and challenges, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 19, No. 4, pp. 2573–2620 (2017).
- [4] Kumar, S. and Moore, K. B.: The evolution of global positioning system (GPS) technology, *Journal of science Education and Technology*, Vol. 11, No. 1, pp. 59–80 (2002).
- [5] Jimenez, A. R., Seco, F., Prieto, C. and Guevara, J.: A comparison of pedestrian dead-reckoning algorithms using a low-cost MEMS IMU, *2009 IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing*, pp. 37–42 (2009).
- [6] Pratama, A. R., Hidayat, R. et al.: Smartphone-based pedestrian dead reckoning as an indoor positioning system, *2012 International Conference on System Engineering and Technology (ICSET)*, pp. 1–6 (2012).
- [7] Nixon, K. W., Chen, X. and Chen, Y.: Footfall-GPS polling scheduler for power saving on wearable devices, *2016 21st Asia and South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC)*, IEEE, pp. 563–568 (2016).
- [8] Clark, P. E., Johnson, D. E., Kniep, M. A., Jermann, P., Huttash, B., Wood, A., Johnson, M., McGillivan, C. and Titus, K.: An advanced, low-cost, GPS-based animal tracking system, *Rangeland Ecology & Management*, Vol. 59, No. 3, pp. 334–340 (2006).
- [9] Xu, L., Zhang, S., Quan, J. and Lin, X.: Vehicle posi-

tioning using Wi-Fi networks and GPS/DR system, *2009 fifth international conference on mobile ad-hoc and sensor networks*, IEEE, pp. 287–293 (2009).

- [10] Jumaah, F. M., Hashim, S. J., Sidek, R. M. and Rokhani, F. Z.: Low power GPS baseband receiver design, *2013 4th Annual International Conference on Energy Aware Computing Systems and Applications (ICEAC)*, IEEE, pp. 65–68 (2013).
- [11] Wing, M. G., Eklund, A. and Kellogg, L. D.: Consumer-grade global positioning system (GPS) accuracy and reliability, *Journal of forestry*, Vol. 103, No. 4, pp. 169–173 (2005).