

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 1 日現在

機関番号：32508

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2012

課題番号：21700186

研究課題名（和文） 物流における屋内外シームレス測位システムの研究

研究課題名（英文） Research for indoor-outdoor positioning system for physical distribution

研究代表者

川原 靖弘（KAWAHARA YASUHIRO）

放送大学・教養学部・准教授

研究者番号：10422403

研究成果の概要（和文）： PHS 基地局の電界強度の利用のみでは探索が不可能な、紛失した輸送物を端末の電波を受信解析により探索する方法の考案と検証を行った。また、長期にわたり使用しない期間がある物流移動機器の測位において、移動機器の振動解析により移動停止判定を行うことで、PHS 端末の消費電力及び通信コストの削減を実現する方法について、試作機を用い物流現場における有効性を評価した。

研究成果の概要（英文）： We took notice of the PHS positioning service used practically in the field of logistics and a method for raising the precision of the PHS positioning method was devised; then the positioning system using PHS and a radio beacon was developed and evaluated. The loss and theft of distribution equipment that is stored for a long period of time or shared equipment is a growing problem. To prevent this, an equipment management method that uses a public wireless network positioning system and a method for recording the movement status of transportation equipment that uses accelerometers was devised. The validity of the system was then verified.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：情報センシング、位置情報

1. 研究開始当初の背景

近年、GPS や PHS、RFID を用いた物流管理用位置追跡システムが開発されている。多くの物流現場、特に小口の荷役機器では、屋内外のシームレスな計測と初期コストが低いことが要求されているが、PHS による位置追跡システムは、システム構築の為の導入コストが低いこと、屋内でも位置測定と通信が可能であること、端末が低消費電力なの

で長期間メンテナンスフリーで使用できることが理由で、物流業界における導入実例は多い。しかし、誤差が数百メートルと大きいため、測位精度の向上が要求されている。現在、物流における競争の激化に伴うコスト削減、高付加価値化の需要から、コンテナの紛失防止、貴重品輸送ケースの追跡といった位置探査に対する需要が拡大しており、測位精度の向上に加え端末の通信コストと消費電

力の低減も望まれている。

中国においては、8000 万台以上（日本の 20 倍）の PHS 端末が使用されており、かつ中国はコンテナ数 8000 万台（TEU、日本の 4 倍）の物流大国である。中国国内における輸送機器や輸送品の誤配送や紛失は多く、輸送品のトラッキングや位置管理を望んでいる日本企業も多い。

2. 研究の目的

以下の 2 つを組み合わせ、測位端末の消費電力が低い、高精度かつ導入が簡便な物流用 PHS 測位システムについて研究・開発を行う。端末のプロトタイプ制作とシステムの構築を行い、現場におけるシステムの有効性について検証を行う。

(1) PHS 基地局の電界強度の利用のみでは探索が不可能な、紛失した輸送物を探索する方法の考案と検証。輸送物へ装着する端末は PHS 端末のみとし、端末の電波を受信解析することにより、紛失物や室内に放置された輸送物を探索する方法を考案し、PHS サービスエリア内において、誤差ゼロの位置探索を実現する。これにより、輸送物品や輸送機器の異常時（想定外の移動時や紛失時）の探索が可能になる。

(2) コンテナやシャーシなどの 1 ヶ月以上にわたり使用しない期間がある物流移動機器の測位において、使用しない期間は PHS による測位を行わず、PHS 端末の消費電力及び通信コストの削減を実現する方法の考案と検証を行う。移動機器の移動停止は、加速度計を端末に内蔵し移動機器の振動特性を学習することにより判定する。この際、移動機器の種類や端末の設置方法及び方向に依存せずに判定を行うことのできるアルゴリズムを考案する。

3. 研究の方法

(1) 指向性受信機については、反射器、アンテナ、アンプ、フィルタ等を種々変え、感度や操作性を比較する。探索手法は、① PHS 測位システムにより端末の位置を取得② 指向性アンテナを持った探索者がその位置へ移動③ PHS 公衆網を通じて端末に電話をかけ、端末を通信状態にする④ 端末から送信される電波を頼りに端末を探索、端末近傍へ移動⑤ 再び PHS 公衆網を通じて端末に信号を送り、ブザーの電源を入れて端末を発見という手順とする。実用時は、端末の ID を特定するために、公衆回線通信モードによる端末の通信電波を受信する。大学周辺で評価を行い、PHS 通話可能地域の 90%以上の地域において、端末電波が可能であることを確認する。

(2) 移動機器の移動停止判定については、いくつかの物流機器を想定した移動体を用いて、停止時及び移動時の加速度測定値群の判別方法を考案する。複数種の物流機器に 3 軸加速度計を取付け、3 軸分の加速度の 2 乗和を加速度レベルとし、それぞれの状態のときの加速度レベルの大きさと変化のデータを蓄積し、蓄積したデータのパターン化を行い、物流機器の稼働状態を識別するための学習方法を確定する。停止時の加速度値に及ぼすノイズ特性や移動時の加速度最大値の一定期間における分散特性を考慮し、判別閾値の決定方法を考案する。

試作した端末及び機器を用いた現場での実験結果より、端末の加速度学習アルゴリズムと指向性受信機感度の改良を行い、PHS による測位と端末の加速度学習を自動化する。

4. 研究成果

(1) PHS 基地局の電界強度の利用のみでは探索が不可能な、PHS 位置情報端末を取り付けた紛失した輸送物を探索する方法の考案と検証を行った。方法は、まず、PHS の基地局電波電界強度を用いた測位により探索対象物の概略位置を把握し、対象物に装着した PHS 端末からの電波を受信解析することにより、対象物を探索し回収するというものである。

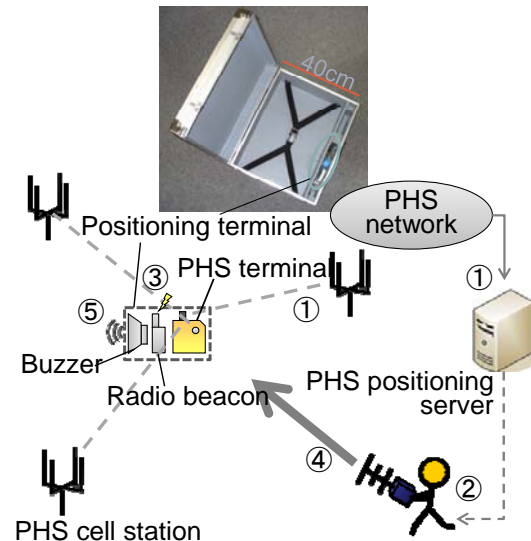


図 1 位置情報端末の探索手順

この方法での探索の可否を都心エリア（東京都港区）と郊外エリア（千葉県柏市）の二つの地域における実証実験により確かめた。探索は、PHS 基地局電波による対象物概略位置の測定誤差より、PHS 端末発信電波の解析可能地点との端末との距離が大きいときに可能となる。概略位置の平均測定誤差と端末から PHS 端末発信電波の解析可能地点までの平均距離は、都心エリアにおいてそれぞれ 102 m、143 m であり、郊外エリアにおいては、

それぞれ 241 m、328 m であり、探索が可能であることがわかった。PHS 電波解析装置に接続する指向性アンテナについて、ヘリカルアンテナ、コーナリフレクタアンテナ、パラボラアンテナが候補として考えられたが、可搬性（大型のバッグに入る）があり、10dBi以上の利得があり、測定電波強度が最大となる方向を瞬時（5 秒以内）に検出可能であるのは、コーナリフレクタアンテナのみであり、探索システム（電波測定器）の構成要素に選択した。構成した探索システムの要素は、PHS プロトコルアナライザ（PHS35L、シバソク社）、コーナリフレクタアンテナ（DAU-102-14、上田日本無線社）、ローノイズアンプ（LA090-0S、アールアンドケー社）であり、総重量は 1.5 kg で可搬性がある。実際の探索は 30 分以内に終了するが、探索方法に、電波減衰比を用いた距離予測と AOA (Angle of Arrival) 法を用いることにより、より早い探索が可能であることが確認できた。

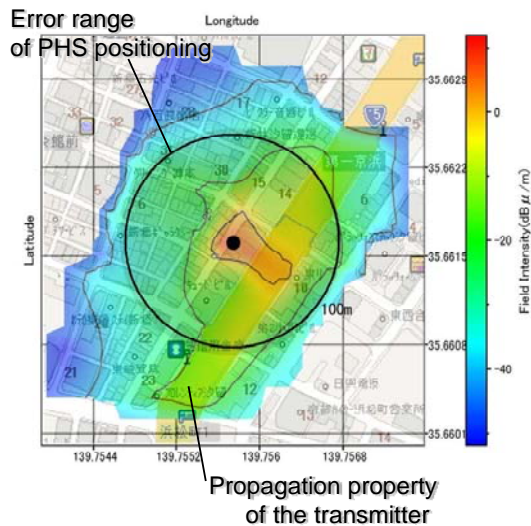


図2 端末発信電波伝搬の例と PHS 測位誤差の比較

(2) 移動機器の移動停止判定において、停止時及び移動時の振動計測を加速度計を用いて行った。移動体が移動しているときと停止しているときにおけるそれぞれの移動体の振動の振幅の平均値からマハラノビス距離が等しい値を閾値とし、閾値以上の振幅の場合は移動、閾値以下の振幅の場合は停止とした。この判定において、漸化式を用いて閾値を繰り返し計算することで、端末の演算装置に大きな負荷をかけず最適な閾値を簡便に得る方法を考案した。シミュレーションにより、振動形態が変化する場合にも最適な閾値が設定されることを確認した。図 3 の Threshold (non-classified) と Threshold (reclassified) は、それぞれ漸化式を用いたときと用いないときの閾値設定過程を示

す。また乗用車の振動に適用し、アイドリングを含む場合にも約 88%の確率で移動停止が判定出来ることを確認した。さらに、低消費電力化を目的とした端末の実装を行い、1 日 4 回の計測の場合、想定した移動パターンにおいて PHS の消費電力を含めて平均 0.5mW で動作可能な端末が実現出来ることを確認した。漸化式により近似的に閾値を決定するアルゴリズムを使用した際、実際の物流現場においても精度に問題が無いことを確認した。

PHS による測位と端末の加速度学習を自動化するため、サーバを構築した。サーバには、既存の PHS 測位機能と、端末への PHS 公衆回線を使った通知機能、測位位置を表示する GIS 機能を設けた。端末への情報通知には、主に端末への通話発呼機能を用い、発呼に呼応する PHS 通信モジュール上の LED の点灯パターンを端末内蔵のマイクロコンピュータが検知することにより端末の制御を行った。端末は、速度計、演算モジュール（マイクロコンピュータ）、電源制御用スイッチ、バッテリー、PHS モジュールで構成し、60 秒ごとに移動・停止判定を行い、1 回の振動計測時間を 1 秒とした。計測・判定時以外の時間は演算モジュールを省電力モードに設定することにより、端末の消費電力を低減した(図 4)。試作端末を用い物流現場での紛失物探索が可能であることを確認した。

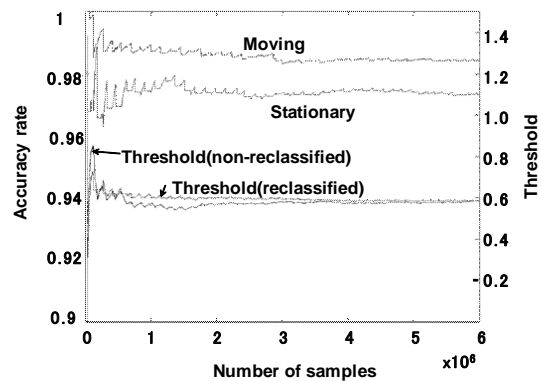


図3 閾値設定課程のシミュレーション

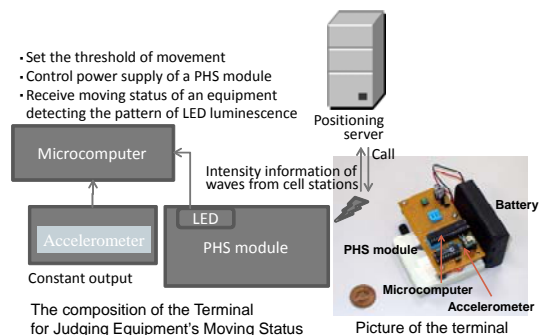


図4 開発した端末とシステムの概要

このアルゴリズムを用いたシステムにより移動開始や目的地到着などをトリガとし、管理が可能となる。この際、輸送物紛失・盗難のシーンを想定し、用途別（トラック配送、コンテナ・シャーシ管理、重機管理など）の振動計測及び位置計測のタイミングを決定し、端末消費電力が妥当であることを確認した。それぞれの用途において必要な情報（到着、荷役機器の滞留、盗難発生など）は、移動時の短停止（信号待ちなど）と停止時の特定の振動発生を設定することで得られることがわかった。また、予め電界強度マップを作成した地域においては50m毎に設置した6つの拠点位置を95%の精度で判別できることがわかっており、移動停止判別と併用することにより、移動体のある物流拠点の特定がほぼ確実にできることを確認した。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計3件）

- ① 吉田寛, 川崎悟史, 川原靖弘, 保坂寛, 加速度閾値の逐次計算による物流機器の移動停止判定, マイクロメカトロニクス, 査読有, Vol. 54, No. 203, 2010, pp. 10-21
- ② 横井 直明, 川原 靖弘, 保坂 寛, 酒田 健治, 公衆無線網を用いた等電位線推定による高精度無線探査法, マイクロメカトロニクス, 査読有, Vol. 54, No. 203, 2010, pp. 10-21
- ③ 吉田寛, 川原靖弘, 保坂寛, PHS 測位と3軸加速度データによる物流機器移動判定アルゴリズムの研究, マイクロメカトロニクス, 査読有, Vol. 53, No. 202, 2009, pp. 129-139

〔学会発表〕（計13件）

- ① Y. Kawahara, H. Yoshida and H. Hosaka, Location Management of Equipment for Physical Distribution Using Accelerometers and Public Wireless Networks, 2nd International Conference on Applied Social Science, 2012. 2. 1, Kuala Lumpur, Malaysia
- ② Naoaki Yokoi, Yasuhiro Kawahara, Hiroshi Hosaka and Kenji Sakata, High-Accuracy Positioning Method Using Public Wireless Network Based on Recorded Radio Propagation Characteristics, IEEE TENCON2010, 2010. 11. 23, Fukuoka, Japan
- ③ 川原靖弘, 吉田寛, 川崎悟史, 保坂寛, 物流機器移動検出のための振動閾値の自動設定, 第27回日本ロボット学会学

術講演会, 2009. 9. 16, 神奈川

- ④ Hiroshi Yoshida, Yasuhiro Kawahara and Hiroshi Hosaka, Study on efficient PHS position tracking system for transport equipments using accelerometer and supervised machine learning, SME-IIP/ASME-ISPS Joint Conference on Micromechatronics for Information and Precision Equipment, 2009. 6. 18, Ibaraki, Japan

〔図書〕（計1件）

- ① Yasuhiro Kawahara, Hiroshi Yoshida and Hiroshi Hosaka, Service Robotics and Mechatronics, Springer-Verlag, London, 2010, pp. 159-164

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川原 靖弘 (KAWAHARA YASUHIRO)

放送大学・教養学部・准教授

研究者番号：10422403