

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：32641

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26540014

研究課題名（和文）正の分布から生成されるRadial分布の性質と位置推定における精度評価

研究課題名（英文）Evaluation of location estimates based on the Radial distributions generated by positive distributions

研究代表者

鎌倉 稔成（Kamakura, Toshinari）

中央大学・理工学部・教授

研究者番号：40150031

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：室内における人の位置推定を精度高く行う統計モデルの構築とそのパラメータを推定することによって、位置の情報を信頼水準を指定したときの信頼領域を求めるためのアルゴリズムの開発を行った。正の分布である、ワイブル分布と対数正規分布をからの回転分布によって、位置パラメータを精度高く推定することが可能となった。陰関数定理を利用することによって、条件付きの最尤推定量の漸近分布を計算することができるようになった。

研究成果の概要（英文）：We have developed algorithms for finding the confidence region for specifying the confidence level that trusts the location estimates by constructing the statistical model and estimating its parameters of the position estimation of the person in the room with high precision. It is possible to accurately estimate the location parameter by the rotation distributions from the Weibull distribution and the lognormal distribution which are positive distributions. By using the implicit function theorem, we can calculate the asymptotic distribution of the conditional maximum likelihood estimators for confidence regions of the location.

研究分野：統計科学

キーワード：ワイブル分布 位置推定 回転分布

1. 研究開始当初の背景

(1) 無線センサネットワークの技術の進歩によって、多様なユビキタスサービスが展開されている。そのうちのひとつとして、位置情報を利用したアプリケーションがあり、屋外でのナビゲーションサービスや交通情報取得サービスが重要になってきている。一方、屋内では、顧客の行動分析や独居老人の見守りシステムにも室内における位置情報の取得が必要になってきている。

(2) 代表的な位置情報の推定システムとして、GPS (Global Positioning System, 全球測位システム) がよく利用される。人工衛星と専用の受信モジュール間で通信を行うことによって、受信モジュールを組み込んだ機器の位置を提供することが可能となっている。しかしながら、GPS は人工衛星との通信によって位置の推定を行っているが、屋内環境ではGPSを使用することが困難であること、測定精度も十分でないため、屋内環境では別に位置計測システムを構築しなければならない。

2. 研究の目的

GPS を利用した屋外での位置推定では、10m 程度の精度でもよいが、屋内位置推定を想定したとき、部屋の大きさを考慮すると、1m 以内での高い精度での位置推定が要求される。既存の手法では推定点のみを与える方法が多く存在しているが、点推定だけでなく、その推定位置の精度の評価ができる推定手法であることが望ましく、その評価として利用できる信頼領域を与える研究は構築されていない。また、屋内環境でも電波の遮蔽や壁による電波反射などによって測定誤差が大きくなる傾向がある。本研究では、屋内環境における測定誤差を考慮した上で、信頼領域を推定できる位置推定の手法を提案することを目的とする。本研究課題では、GPS に代替するシステムとして、WLAN (Wireless Local Area Network, 無線ローカルエリアネットワーク) などの WSN を構築し、統計モデルを利用した精細な位置推定アルゴリズムが目的となる。

3. 研究の方法

本研究では、レンジベース方式による位置推定を行うが、その際に必要となる「距離」には複数の測定方法が存在する。各測定方法で取り扱う信号の特徴量が異なり、RSS (Received Signal Strength, 受信信号強度) や ToA (Time of Arrival, 到来時刻), AoA (Angle of Arrival, 到来方向) などが利用される。本研究では、ToA 情報を用いた ToA 方式による測定を行った場合について考える。また以降では、ToA 方式により測定した距離データを「ToA データ」と呼ぶこととする。ToA 方式はその名の通り、電波の到来時刻に基づいて TAG-ANCHOR 間

の距離を測定する。TAG から ANCHOR に向かって電波を送信したとき、TAG からの送信波の発信時刻を t_0 、ANCHOR での受信時刻を t_1 、電波の伝達速度を v とすると、観測距離 $d=v(t_1-t_0)$ で算出することができる。

4. 研究成果

(1) 信頼領域によって精度 (Precision) の評価をするため、確率モデルをもとにした位置の推定を行う。本研究では、基地局からアンカーまでの観測データをから位置のパラメータに対しての尤度関数を定義して、その尤度を定めるパラメータとの同時推定を行い位置のパラメータを推定する。そのために、適当な正の分布 (生存時間分析で使用される) を考え、これを原点回りで回転させる (この回転の意味は基地局はあらかじめその配置をデザインするので空間上の位置は既知であり、この基地局から円乗に電波が放出されるので、回転分布となることに対応する)。

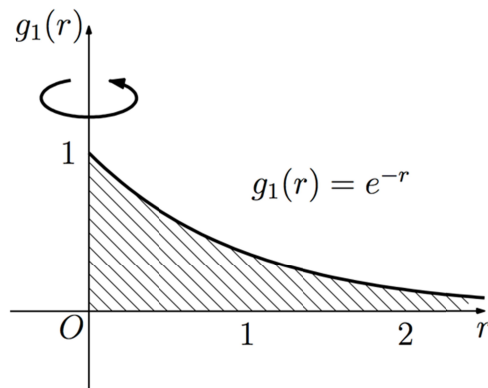


図1 .正の分布を回転する(指数分布の例)

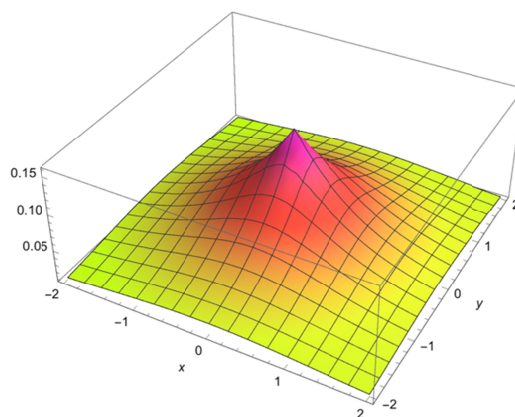


図2 .正の分布の回転後の2次元分布(指数分布の場合)

図1は正の分布として、指数分布を回転する様子を示している。また、図2には開店後の3Dのイメージを示している。この新しい2次元分布の提案も本研究課題の成果である。また、本研究で最終的に使

用したワイブル分布の場合についても提示する．個々では，形状パラメータ $m=2$ とする場合について 2 次元分布を図 3 に与える．

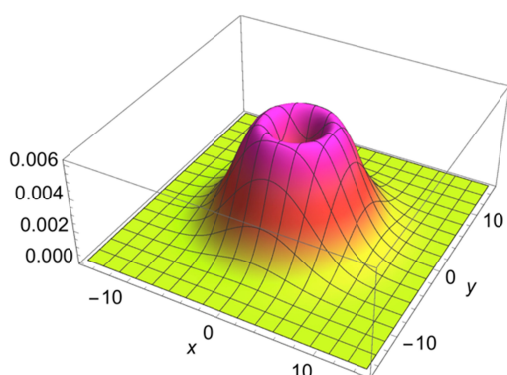


図 3 . 形状パラメータ $m=3$ の例

(2) ToA データがワイブル分布に従うことを仮定して上に示した．正の分布から生成された回転分布を用いる．アンカーの位置を (x_0, y_0) とし，アンカーからタグに届く電波を計測し，その距離を算出する．この距離のデータに基づいて，2 次元に回転分布から尤度関数を構成する．

(3) アンカーの数だけ，データセットがあるので，独立と考えて，(2) の尤度関数の積を作り，真の位置の関数であるタグの位置を回転分布のパラメータと同時に推定する．

(4) アンカー位置 (x_0, y_0) の推定量の推定精度を求めるために，各アンカーごとに尤度最大化を行うという条件付きの全尤度の最大化を行うために，陰関数定理とデルタ法を用いて，回転分布に含まれるパラメータの推定量の関数として，2 変量正規分布で近似し，その楕円領域として信頼領域を推定する．推定した結果の一例を図 4 に示す．

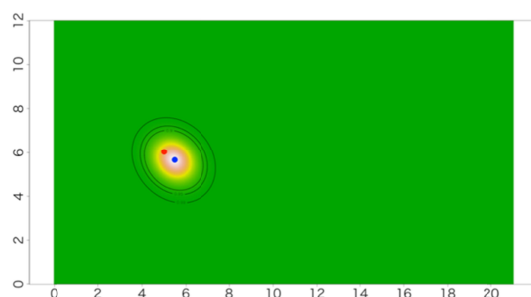


図 4 . 信頼領域の例

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 22 件)

- 1 Ogura, T. and Yanagimoto, T., Powerful test of two proportions by assuming a registered prior density, Communications in Statistics - Simulation and Computation, 査読有, 2016, Vol. 45, pp. 1936-1949. DOI: 10.1080/03610918.2014.882949.
- 2 Ogura, T. and Yanagimoto, T., Improving and extending the McNemar test using the Bayesian method, Statistics in Medicine, 査読有, 2016, Vol. 35, pp. 2455-2466. DOI: 10.1002/sim.6875.
- 3 阿部興, 鎌倉稔成, 窓打ち切り状況下での交代再生過程のパラメータの最尤推定, 計算機統計学, 査読有, 2016, Vol. 29, pp. 133-145. DOI: 10.20551/jscswabun.29.2_133 .
- 4 Akimoto, Y., Sakumura, T., and Kamakura, T., Testing for Uniformity of Line Segments, IAENG International Journal of Computer Science (IJCS), 査読有, 2016, Vol. 43, pp. 192-197. http://www.iaeng.org/IJCS/issues_v43/issue_2/IJCS_43_2_07.pdf.
- 5 Sakumura, T. and Kamakura, T., Proposal of a Modulated Extended Cumulative Exposure Model for the Step-Up Voltage Test, Proposal of a Modulated Extended Cumulative Exposure Model for the Step-Up Voltage Test, WCECS 2015: Transactions on Engineering Technologies, 査読有, 2016, Vol. 2, pp. 349-363. DOI: 10.1007/978-981-10-2717-8_25
- 6 Kosuke Okusa and Toshinari Kamakura, A Simulation Study on Performance Validation of Indoor Location Estimation Based on the Radial Positive Distribution, WCECS 2015: Transactions on Engineering Technologies, 査読有, 2016, Vol. 1, pp. 89-99. DOI:10.1007/978-981-10-2717-8_7.
- 7 Kakuta, K., Dohi, K., Sato, Y., Yamanaka, T., Kawamura, M., Ogura, T., Nakamori, S., Fujimoto, N., Fujii, E., Yamada, N., Ito, M., Chronic Inflammatory Disease Is an Independent Risk Factor for Coronary Flow Velocity Reserve Impairment Unrelated to the Processes of Coronary Artery Calcium Deposition, Journal of the American Society of

- Echocardiography, 査読有, 2016, Vol. 29, 173-180.
DOI: 10.1016/j.echo.2015.09.001
- 8 Sato, Y., Dohi, K., Watanabe, K., Tanimura, M., Takeuchi, T., Sugiura, E., Sugimoto, T., Kumagai, N., Ogura, T., Nakamori, S., Fujimoto, N., Yamada, N., Ito, M., Combination of Urinary Sodium/Creatinine Ratio and Plasma Brain Natriuretic Peptide Level Predicts Successful Tolvaptan Therapy in Patients with Heart Failure and Volume Overload, International Heart Journal, 査読有, 2016, Vol. 57, pp. 211-219.
- 9 Inomata, T. and Kamakura, T., The Statistical Models for Estimating Heat Seal Parameters in the Bag-making Machine, Engineering Letters, 査読有, 2015, Vol. 23, 326-332.
- 10 Kamakura, T. and T. Sakumura, Likelihood-based Inference for Weibull Distribution, MMR 2015, 査読有, 2015, Vol. 1, pp. 855-862.
- 11 Inomata, T. and Kamakura, T., Statistical Problems on Estimating for Heat Seal Parameters, Newswood and International Association of Engineers, 査読有, 2015, Vol. 23, 871-876.
http://www.engineeringletters.com/issues_v23/issue_4/EL_23_4_13.pdf
- 12 Kamakura, T. and T. Sakumura, Property of LM Tests for reliability distributions in case of small samples, Proceedings of the International Workshop on Applied Methods of Statistical Analysis. Nonparametric Approach, 査読有, 2015, Vol. 1, pp. 200-207.
- 13 Akimoto, Y., T. Sakumura and T. Kamakura, Directional Data Analysis for Line Segments, Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science, 査読有, 2015, Vol. 2, pp. 770-775.
- 14 T. Sakumura and T. Kamakura, Modulated Extended Cumulative Exposure Model with Application to the Step-Up Voltage Test, WCECS 2015: Transactions on Engineering Technologies, 査読有, 2015, Vol. 1, pp. 349-363.
- DOI: 10.1007/978-981-10-2717-8_25.
- 15 Okusa, K. and T. Kamakura, Indoor Location Estimation based on the RSS method using Radial Log-normal Distribution, Computational Intelligence and Informatics (CINTI), 2015 16th IEEE International Symposium on. IEEE, 査読有, 2015, Vol. 1, pp. 29-34.
DOI: 10.1109/CINTI.2015.7382938.
- 16 Takashi Inomata and Toshinari Kamakura, Statistical Problems on Estimating for Heat Seal Parameters, Proceedings of The International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists 2015, 査読有, 2015, Vol. 1, pp. 871-876.
- 17 猪俣考史, 鎌倉稔成, 後藤順哉, 振動を伴う状態変化過程のデータを用いた安定状態の推定, 応用統計学, 査読有, 2014, 43 巻, 45-57.
DOI: 10.5023/jappstat.43.45
- 18 Ogura, T. and Murakami, H, A rank test based on the moments of order statistics of the modified Makeham distribution, Computational Statistics, 査読有, 2014, Vol. 29, pp. 1691-1711.
DOI: 10.1007/s00180-014-0513-2
- 19 Takeda, Y., Huzii, M., Watanabe, N. and Kamakura, T., Modified non-overlapping template matching test and proposal on setting template, Journal of the Japanese Society of Computational Statistics, 査読有, 2014, Vol. 27, pp. 49-60.
- Hideki Nagatsuka, N. Balakrishnan and Toshinari Kamakura, A consistent method of estimation for the parameters of the three-parameter gamma distribution, Communications in Statistics - Theory and Methods, 査読有, 2014, Vol. 43, pp. 3905-3926.
DOI: 10.1080/03610926.2012.714035
- 21 Kosuke Okusa and Toshinari Kamakura, Statistical registration of frontal view gait silhouette with application to gait analysis, Proceedings of COMPSTAT 2014, The 21st International Conference on Computational Statistics, 査読有, 2014, Vol. 1, pp. 411-418.

- 22 Kosuke Okusa and Toshinari Kamakura, A study on gait parameter estimation stability for the frontal view gait video data based on simulation, IAENG Transactions on Engineering Sciences -Ao, Chan, Katagiri & Xu (Eds), CRC Press, 査読有, 2014, Vol. 1, 2014, pp. 421-428.

〔学会発表〕(計 16 件)

- 1 永井利昌, 鎌倉稔成, 生体認証機器の統計的評価に関する研究, 日本計算機統計学会第 30 回シンポジウム, 2016, 11, 25, 沼津, 静岡.
- 2 作村建紀, 鎌倉稔成, 楕円推定と土砂災害へのべき乗則モデルの適用に関する研究, 日本計算機統計学会第 30 回シンポジウム, 2016, 11, 24, 沼津, 静岡.
- 3 Kamakura, T., Statistical models for demand forecasting based on the big data of sales records, Conference on Information Management 2016, 10, Hanoi, Vietnam.
- 4 鎌倉稔成, ビッグデータ時代における統計学の役割, 2016 年度統計関連学会連合大会(招待講演), 2016, 9, 金沢大学.
- 5 小椋透, 柳本武美, 二項確率のロジット変換値における信用区間の構成とその適用例, 2016 年度統計関連学会連合大会, 2016, 9, 金沢大学.
- 6 Ogura, T. and Yanagimoto, T., Combining Evidences from Multiple Binary matched-Pairs Data using a Bayesian Approach, 37th Annual Conference of the international society of clinical biostatistics, 2016, 8, Vigo, Spain.
- 7 秋元良友, 鎌倉稔成, 線分の角度データにおけるクラスタリング法について, 日本計算機統計学会第 30 回大会, 2016, 5, 19, 京都.
- 8 秋元良友, 鎌倉稔成, 線分の角度データのクラスタリング, 第 15 回西東京統計研究会, 2016, 3, 9, 田町, 東京.
- 9 泉谷聡史, 作村建紀, 鎌倉稔成, フォルマント分析を用いた歩行識別, 第 15 回西東京統計研究会, 2016, 3, 9, 田町, 東京.

- 10 永井利昌, 鎌倉稔成, 2次元非定常ポアソン過程と Poincare Cone を用いた津波の強度推定, 第 15 回西東京統計研究会, 2016, 3, 9, 田町, 東京.
- 11 阿部興, 鎌倉稔成, 交替再生過程を用いた再発事象のモデリング, 第 15 回西東京統計研究会, 2016, 3, 9, 田町, 東京.
- 12 Sakumura, T. and Kamakura, T., Statistical ellipse fitting for selecting characteristics of disaster areas, Universiti Kebangsaan Malaysia(招待講演), 2015, 3, Jalan Reko, Malaysia.
- 13 Akimoto, Y. and Kamakura, T., Directional analysis of Japanese active faults, Universiti Kebangsaan Malaysia(招待講演), 2015, 3, Jalan Reko, Malaysia.
- 14 Kamakura, T., Approximate estimates of distribution parameters from incomplete data of line segments in the field of bounded spatial regions, Universiti Kebangsaan Malaysia(招待講演), 2015, 3, Jalan Reko, Malaysia.
- 15 Isaka, W., Okusa, K., and Kamakura, T., Frontal view gait analysis using weighted center of gait silhouette based on the scale registration, Book of abstracts CFE-ERCIM 2014, The 7th International Conference of the ERCIM WG on Computational and Methodological, 2014, 12, 7, Pisa, Italy.
- 16 Hoshino, R. and Kamakura, T., Variable selection problems on logistic regression for microarray data, Kyoto International Conference on Modern Statistics in the 21st Century, Kyoto International Conference on Modern Statistics in the 21st Century Committee, 2014, 11, Kyoto, Japan.

〔図書〕(計 2 件)

- 1 日本統計学会(鎌倉稔成理事長), 数学セミナー編集部, 統計学ガイダンス, 2014, 日本評論社, 全 140 ページ.
 - 2 景山三平監修, 鎌倉稔成, 神保雅一, 武田裕一著, 理工系のための統計入門, 実教出版. 2016, 全 198 頁.
6. 研究組織

(1)研究代表者

鎌倉 稔成 (KAMAKURA, Toshinari)

中央大学・理工学部・教授

研究者番号：40150031

(2)研究分担者

小椋 透 (OGURA, Toru)

三重大学・医学部付属病院・講師

研究者番号：00580060

(3)連携研究者

大草 孝介 (OKUSA, Kosuke)

九州大学・芸術工学研究科・助教

研究者番号：30636907