

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 5 月 15 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009 年度～2012 年度

課題番号：21760315

研究課題名（和文）UWB アレイレーダによる人体立体形状のリアルタイムイメージング技術

研究課題名（英文）Real-time 3-D Radar Imaging of Human Body for UWB Array Radar

研究代表者

阪本卓也（SAKAMOTO TAKUYA）

京都大学・大学院情報学研究科・助教

研究者番号：30432412

研究成果の概要（和文）：本研究では公共の場所での防犯を目的とし、超広帯域レーダによる歩行人体の立体形状を推定する手法を開発した。まず、機械駆動不要のシステムを開発することで測定の高高速化を実現した。さらに、人体の歩行運動における平行運動、回転運動および手足の運動を解析、推定および利用することで画像の精度を改善する諸技術の開発を行った。本研究により、測定および信号処理の双方を高速化し、実時間での詳細な人体の形状推定を可能とする技術を実現した。

研究成果の概要（英文）：We developed a system for 3-dimensional imaging of human bodies for ultra wide-band radar, assuming an application in surveillance in public spaces. We first developed an antenna array system without mechanical scanning, which achieves fast measurement. Then, we developed multiple advanced algorithms that analyze, estimate and use the translational and rotational motion of a walking person, including limb motion. This research achieved fast measurement and signal processing, making it possible to estimate the shape of a human body accurately in real-time.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成 21 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
平成 22 年度	900,000	270,000	1,170,000
平成 23 年度	800,000	240,000	1,040,000
平成 24 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：

科研費の分科・細目：

キーワード：レーダ，超広帯域，イメージング，人体形状，逆散乱

1. 研究開始当初の背景

（1）平成 14 年の UWB 標準化以来、防犯のために人体を目標とした UWB レーダ画像化について多くの研究が報告された。その多くは膨大な計算量により実時間処理には適さなかった。そこで、目標形状とデータの間になり立つ変換関係を利用した高速なレーダ画像化手法である SEABED 法が研究代表

者らにより開発され、さらに垂直 1 次元アンテナアレイを水平方向に走査するシステムが開発された。本システムは従来の 2 次元走査に比べて測定時間の短縮を実現したが、依然として機械的走査による測定時間が課題として残った。

（2）人体の高精度な画像化のためには非等速の歩行運動を考慮に入れる必要がある。画

像化を効率的に行うため、研究代表者らは未知の運動を行う目標形状を推定する技術を開発した。しかし本手法は歩行運動が直線上に限定されてしまい、一般の運動の推定にはより多くの測定データが必要であり、実現が困難であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は UWB アンテナを平面上に並べた 2 次元アレイを用いた高精度・高速人体イメージング技術の開発を目的とする。人体の全体像を測定可能な大型 UWB アンテナアレイを整備し、従来不可能であったアンテナ走査不用の実時間測定を実現する。従来研究代表者らが開発してきた手法を融合し、人体形状の特徴を利用した信号処理により、人体の複雑な形状を高い精度で立体画像化する。これらのシステム・信号処理法の開発により、人体の形状を立体動画として測定・画像化可能なシステムを実現することを目的とする。

3. 研究の方法

まず、2 次元 UWB アレイアンテナシステムを整備し、測定データを元に従来の歩行運動・形状推定技術の有効性を評価し、必要であれば改良する。次に、より一般的な任意運動を行う人体形状の推定する手法を開発する。従来手法に運動軌道が非直線的に時間的に変動する影響を追加し、運動と形状の両方を同時に推定する手法を開発する。さらに、実際の運動モデルをよく表現する人体運動モデルを開発する。最後に、このモデルを提案手法に組み込み、人体ファントムおよび実際の人体を用いた測定により、提案法の高速度・高精度なイメージング性能を実証する。

4. 研究成果

(1) まず、2 次元 UWB アレイアンテナシステムを整備した。本システムは約 300 個の UWB アンテナからなる。本システムに用いるアンテナはほぼ無指向性の小型パッチアンテナであり、周波数帯域は中心周波数 3.7GHz、帯域幅 3.0GHz と UWB 信号の条件を満たす。このシステムで測定された信号を元に、以下の項目に挙げる各手法を開発した。



図 1 整備した 2 次元 UWB アンテナアレイ。

(2) 多数の UWB アンテナ素子を用いて、目標の任意の平行・回転運動を推定する手法を開発した。この方法により任意の運動と 2 次元形状を同時に高精度に推定することを実現した。さらに、この手法を 3 次元化し、任意の 3 次元運動と 3 次元形状を同時に推定する手法を開発した。これらの手法の性能は実験で得られた測定データに適用することで有効性が明らかにされた。

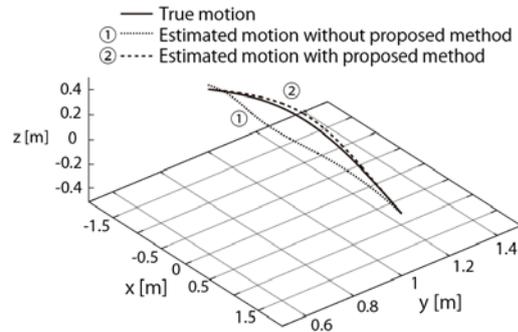


図 2: 提案法による 3 次元運動推定例。(実線: 実際の運動, ①: 従来法, ②: 提案法)

(3) 歩行運動を UWB レーダおよびビデオカメラで同時に測定することで適切な運動モデルを開発した。トレッドミル上に複数の被験者に歩行させた。時間周波数解析により、歩行に伴う周期的変動を抽出し、体の各部分における変動を定量的に比較し、複数の被験者のデータを比較することで提案モデルが一般の人体に対して成り立つことを確認した。

(4) 測定中の人体の運動により受信信号に不規則な変動が生じる。この影響を抑圧しつつ従来の高速画像化を実現するため、送受信アンテナの中心を一定にしつつ両アンテナ間距離を変化させるという条件下で定式化された変換式 CMP (Common Mid-Point)-IBST (下に示す。) を解析的に導出し、その特性を定量的に評価した。

$$x = X - Y \sqrt{\frac{Y(d - dY)}{d(Y - dY)}}$$

$$y = \frac{\sqrt{Y^2 - d^2}}{Y} \sqrt{Y^2 - (x - X)^2}$$

変換式の x および y は散乱中心座標、 Y は遅延時間、 X は送受信アンテナの中心、 d は送受信アンテナ距離の半分の値である。変数の上にある点は X に関する微分を意味する。この変換式は従来の変換式よりも非直線的な目標の運動により生じる不規則成分に対する耐性が高いことが示された。

(5) マネキンを可動ステージに設置し、様々な運動軌道および速度で移動させ、多数の素子で測定した。本研究で開発した CMP-IBST による画像化処理および光学観測の鮮明さの評価に用いられるミュラーバフイントン指数を組み合わせることで、目標の運動を従来手法であるマイグレーション法に比べて100倍以上の計算速度で実現した。運動の推定精度は約3%であり、この精度で高分解能な人体形状の推定が可能であることを示した。

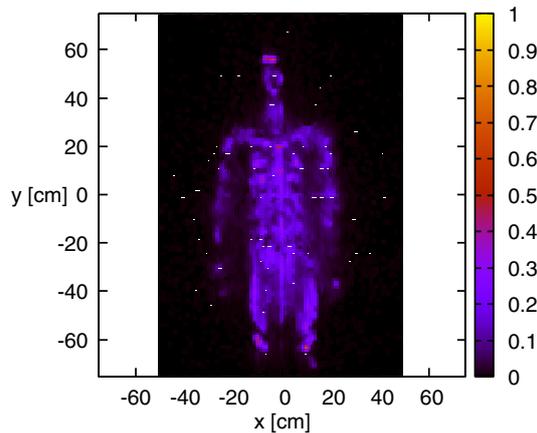


図 3: 本研究で開発された手法により画像化された可動ステージ上の人体ファントムの形状。

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 12 件)

1. Kenshi Saho, Takuya Sakamoto, Toru Sato, Kenichi Inoue, and Takeshi Fukuda, Pedestrian Imaging Using UWB Doppler Radar Interferometry, IEICE Trans. Communications, 査読有, Vol. E96-B, no. 2, pp. 613-623, Feb. 2013.
2. Takuya Sakamoto, Yuji Matsuki, and Toru Sato, Method for the Three-Dimensional Imaging of a Moving Target using an Ultra-Wideband Radar with a Small Number of Antennas, IEICE Trans. Communications, 査読有, Vol. E95-B, no. 3, pp. 972-979, March 2012.
3. Kenshi Saho, Tomoki Kimura, Shouhei Kidera, Hirofumi Taki, Takuya Sakamoto, and Toru Sato, Robust and Accurate Ultrasound 3-D Imaging Algorithm Incorporating Adaptive Smoothing Techniques, IEICE Trans. Communications, 査読有, Vol. E95-B, No. 2, pp.572-580, Feb. 2012.
4. Shouhei Kidera, Takuya Sakamoto and Toru Sato, Extended Imaging Algorithm Based on Aperture Synthesis with Double Scattered Waves for UWB Radars, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 査読有, Vol. 49, no. 12, pp. 5128-5139, Dec. 2011.
5. Shuhei Fujita, Takuya Sakamoto and Toru Sato, 2-Dimensional Accurate Imaging with UWB Radar Using Indoor Multipath Echoes for a Target in Shadow Regions, IEICE Trans. Communications, 査読有, Vol.E94-B, no.8, pp.2366-2374, Aug. 2011.
6. Takuya Sakamoto and Toru Sato, Two Dimensional Ultra-Wide-Band Radar Imaging of a Target with Arbitrary Translation and Rotation, IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, 査読有, Vol.49, no.11, pp.4493-4502, Nov. 2011.
7. Takuya Sakamoto, Hirofumi Taki, and Toru Sato, "An Experimental Study of Ultrasonic Imaging with a Reduced Number of Array Elements using the Envelope Method," Acoustical Science and Technology (AST), the Acoustical Society of Japan, 査読有, Vol.32, No.4, pp.143-150 2011.
8. Shouhei Kidera, Takuya Sakamoto and Toru Sato, Super-Resolution UWB Radar Imaging Algorithm Based on Extended Capon with Reference Signal Optimization, IEEE Trans. Antennas & Propagation, 査読有, Vol.59, no. 5, pp. 1606 - 1615, May, 2011.
9. Yuji Matsuki, Takuya Sakamoto, Toru Sato, An Imaging Algorithm of a Target with Arbitrary Motion for Ultra Wide-Band Radar with a Small Number of Antennas, IEICE Trans. Communications, 査読有, Vol.E94-B, No.03, pp.742-749, Mar. 2011.
10. Shouhei Kidera, Takuya Sakamoto, and Toru Sato, Accurate UWB Radar 3-D Imaging Algorithm for Complex Boundary without Range Points Connections, IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, 査読有, Vol.48, no.4, pp.1993-2004, Apr.2010.
11. Shouhei Kidera, Takuya Sakamoto, and Toru Sato, High-resolution 3-D Imaging Algorithm with Envelope of Modified Spheres for UWB Through-the-Wall Radars, IEEE Trans. Antennas & Propagation, 査読有, Vol.57, no.11, pp. 3520-3529, Nov., 2009.
12. Takuya Sakamoto and Toru Sato, Code Division Multiple Transmission for High-Speed UWB Radar Imaging with an Antenna Array, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 査読有, Vol.47, no.4, pp.1186-1179, Apr. 2009.

[学会発表] (計 31 件)

1. Takuya Sakamoto, Toru Sato, Rahmi Salman, Ingolf Willms, Alexander G. Yarovoy, Novel Transform for Ultra Wide-Band Radar Im-

- aging with Circular Scanning Antennas, Nuremberg, Germany, 2013年10月, 査読有, 掲載決定.
2. Rahmi Salman, Ingolf Willms, Takuya Sakamoto, Toru Sato, Alexander G. Yarovoy, Environmental Imaging with a Mobile UWB Security Robot for Indoor Localisation and Positioning Applications, Nuremberg, Germany, 2013年10月, 査読有, 掲載決定.
 3. Takuya Sakamoto, Toru Sato, Yuan He, Pascal Aubry, and Alexander Yarovoy, Texture-Based Technique for Separating Echoes from People Walking in UWB Radar Signals, 2013 URSI Commission B International Symposium on Electromagnetic Theory, 広島市, 2013年5月21日, 査読有.
 4. Kenshi Saho, Takuya Sakamoto, Toru Sato, Imaging of pedestrians with UWB Doppler radar interferometry, 2013 URSI Commission B International Symposium on Electromagnetic Theory, 広島市, 2013年5月21日, 査読有.
 5. Takuya Sakamoto, Toru Sato, Pascal J. Aubry, and Alexander G. Yarovoy, High-Resolution Weighted Range Point Migration Method for Fast 3-Dimensional Imaging with Ultra Wideband Radar, IEEE Radar Conference 2013, Ottawa, Canada, 2013年5月1日, 査読有.
 6. Takuya Sakamoto, Toru Sato, Pascal Aubry, and Alexander Yarovoy, Target Speed Estimation Using Revised Range Point Migration for Ultra Wideband Radar Imaging, European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP) 2013, Gothenburg, Sweden, 2013年4月12日, 査読有.
 7. Kenshi Saho, Takuya Sakamoto, Toru Sato, Kenichi Inoue, and Takeshi Fukuda, Pedestrian Classification based on Radial Velocity Features of UWB Doppler Radar Images, 2012 International Symposium on Antennas & Propagation (ISAP), 名古屋市, 2012年11月29日, 査読有.
 8. Takuya Sakamoto, Timofey G. Savelyev, Pascal J. Aubry, and Alexander G. Yarovoy, Fast Range Point Migration Method for Weapon Detection using Ultra-Wideband Radar, European Radar Conference 2012, Amsterdam, The Netherlands, 2012年11月2日, 査読有.
 9. Takuya Sakamoto, Timofey G. Savelyev, Pascal J. Aubry, and Alexander G. Yarovoy, Revised Range Point Migration Method for Rapid 3-D Imaging with UWB Radar, 2012 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI National Radio Science Meeting, Chicago, Illinois, the USA, 2012年7月13日, 査読有.
 10. Takuya Sakamoto, Toru Sato, A Novel Transform for Ultra-Wideband Multi-Static Imaging Radar, The 6th European Conference on Antennas and Propagation Congress Centre, Prague, Czech Republic, 2012年3月26日, 査読有.
 11. Shuhei Fujita, Takuya Sakamoto, Toru Sato Accurate Imaging of a Moving Target in Shadow Regions with UWB Radar Using Doppler Effect, The 6th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2012), Prague, Czech Republic, 2012年3月26日, 査読有.
 12. Kenshi Saho, Takuya Sakamoto, Toru Sato, Kenichi Inoue, Takeshi Fukuda, Experimental Study of Real-Time Human Imaging Using UWB Doppler Radar Interferometry, The 6th European Conference on Antennas and Propagation Czech Republic, 2012年3月26日, 査読有.
 13. Takuya Sakamoto, Yuji Matsuki and Toru Sato, Three-Dimensional Imaging of a Moving Target using an Ultra-Wideband Radar with Five Antennas, 2011 IEEE International Conference on Ultra-Wideband, Bologna, Italy, 2011年9月14日, 査読有.
 14. Takuya Sakamoto and Toru Sato, Performance Evaluation of the Frequency-Domain DORT Imaging Method with UWB Radar for a Finite-Sized Target, 2011 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Vancouver, Canada, 2011年7月25日, 査読有.
 15. Takuya Sakamoto and Toru Sato, Image Sharpening with Waveform Compensation for the Frequency-Domain DORT with a Single-Antenna UWB Radar, 2011 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC/URSI National Radio Science Meeting, Spokane, Washington, USA, 2011年7月4日, 査読有.
 16. Takuya Sakamoto and Toru Sato, Using a UWB Radar Imaging Method with Five Antennas on a Target with Arbitrary Translation and Rotation Motion, 5th European Conference on Antennas and Propagation, Rome, Italy, 2011年4月11日, 査読有.
 17. Takuya Sakamoto and Toru Sato, Experimental Study on Imaging Algorithm with Simple UWB Radar for a Target with Translation and Rotation, Progress in Electromagnetics Research Symposium, Marrakesh, Morocco, 2011年3月21日, 査読有.
 18. Yuji Matsuki, Takuya Sakamoto and Toru Sato, An Experimental Study on an Accurate UWB Radar Imaging Method for a Target

- with Unknown Motion Using a Small Number of Antennas, 2010 International Symposium on Antennas and Propagation, Macau, China, 2010年11月23日, 査読有.
19. Kenshi Saho, Takuya Sakamoto, Toru Sato, Kenichi Inoue, and Takeshi Fukuda, High-resolution UWB Doppler radar interferometric imaging algorithm for multiple moving targets with smoothed pseudo Wigner distribution, International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics 2010, Jeju, Korea, 2010年10月27日, 査読有.
 20. Anthony Cresp, Matthew J. Yedlin, Takuya Sakamoto, Ioannis Aliferis, Toru Sato, Jean-Yves Dauvignac, and Christian Pichot, Comparison of the time-reversal and SEABED imaging algorithms applied on ultra-wideband experimental data, In Proceedings of the 7th European Radar Conference (EuRAD), European Microwave Week 2010, Paris, France, 2010年9月30日, 査読有.
 21. Yuji Matsuki, Takuya Sakamoto and Toru Sato, Study of a Method for 2-D Imaging of Simple-Shaped Targets with Arbitrary Motion using UWB Radar with a Small Number of Antennas, 20th International Conference on Applied Electromagnetics and Communications, Dubrovnik, Croatia, 2010年9月20日, 査読有.
 22. Shuhei Fujita, Takuya Sakamoto and Toru Sato, An accurate UWB radar imaging method using indoor multipath echoes for targets in shadow regions, 2010 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), Zurich, Switzerland, 2010年9月15日, 査読有.
 23. Shouhei Kidera, Takuya Sakamoto and Toru Sato, Experimental Study on Super-Resolution 3-D Imaging Algorithm Based on Extended Capon with Reference Signal Optimization for UWB Radars, 2010 International Symposium on Electromagnetic Theory (EMTS2010), 2010年8月16日, 査読有.
 24. Takuya Sakamoto and Toru Sato, A target tracking method with a single antenna using time-reversal UWB radar imaging in a multi-path environment, Proceedings of the 2010 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, pp.3319-3322, Honolulu, Hawaii, USA, 2010年7月25日, 査読有.
 25. Takuya Sakamoto, Toru Sato, Anthony Cresp, Ioannis Aliferis, Jean-Yves Dauvignac and Christian Pichot, An experimental study on multi-static ultra wideband radar imaging with SEABED and synthetic aperture, The 26th International Review of Progress in Applied Computational Electromagnetics, in conjunction with RFIDay 2010, Tampere, Finland, 2010年4月25日, 査読有.
 26. Takuya Sakamoto and Toru Sato, A method of estimating a room shape with a single antenna in a multipath environment, Proceedings of the Fourth European Conference on Antennas and Propagation, 2010, Barcelona, Spain, 2010年4月12日, 査読有.
 27. Shouhei Kidera, Takuya Sakamoto and Toru Sato, Super-resolution UWB radar imaging algorithm based on extended Capon with reference signal optimization, Proceedings of the Fourth European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), 2010, Barcelona, Spain, 2010年4月12日, 査読有.
 28. Takuya Sakamoto, Yuji Matsuki and Toru Sato, A Novel UWB Radar 2-D Imaging Method with a Small Number of Antennas for Targets with Arbitrary Shapes and Motion, 2009 IEEE International Conference on Ultra-WideBand (ICUWB2009), pp.449-453, Vancouver, Canada, 2009年9月9日, 査読有.
 29. Shouhei Kidera, Takuya Sakamoto and Toru Sato, Experimental study of shadow region imaging algorithm with multiple scattered waves for UWB radars, Progress in Electromagnetics Research Symposium, Moscow, Russia, 2009年8月18日, 査読有.
 30. Takuya Sakamoto, Hirofumi Taki and Toru Sato, Experimental study on high resolution techniques for high-speed imaging of human bodies, Progress in Electromagnetics Research Symposium, pp.596-600, Moscow, Russia, 2009年8月18日, 査読有.
 31. Shouhei Kidera, Takuya Sakamoto, and Toru Sato, Shadow region imaging algorithm with aperture synthesis of multiple scattered waves for UWB radars, IEEE AP-S International Symposium 2009, Charleston, SC, USA, 2009年6月1日, 査読有.

〔図書〕 (計 0 件)

なし

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

阪本卓也 (SAKAMOTO TAKUYA)
京都大学・大学院情報学研究科・助教
研究者番号：30432412

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし