

平成 21 年 4 月 1 日現在

研究種目：基盤研究 (A)
 研究期間：2005 年度～2008 年度
 課題番号：17206044
 研究課題名（和文） UWB レーダと可逆変換を用いた高速 3 次元イメージングシステムの開発
 研究課題名（英文） Development of fast 3-D imaging system based on UWB radar technique and a reversible transform
 研究代表者
 佐藤 亨 (SATO TORU)
 京都大学・大学院情報学研究科・教授
 研究者番号：60162450

研究成果の概要：室内ロボットの環境認識など、近未来の社会基盤技術として期待される UWB（超広帯域）レーダを用いて物体形状を高速・高精度に推定する技術を開発した。代表者らが提唱してきた 3 次元イメージング手法を改良し、雑音耐性を高め、適用対象を拡張することに成功した。また企業との協力により専用システムを開発し、使用する波長の 1/100 という超高解像度で物体像を再現できることを実験的に立証した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005 年度	7,100,000	2,130,000	9,230,000
2006 年度	11,100,000	3,330,000	14,430,000
2007 年度	12,400,000	3,720,000	16,120,000
2008 年度	6,800,000	2,040,000	8,840,000
総計	37,400,000	11,220,000	48,620,000

研究分野：工学（電気電子工学）

科研費の分科・細目：計測工学

キーワード：UWB レーダ、3 次元イメージング、SEABED 法、超高解像度

1. 研究開始当初の背景

2002 年に米国で UWB (超広帯域) 電波の規格が制定されたことを発端として、ここ数年の間に UWB 電波の用途が急速に拡大しつつある。UWB パルスレーダは、従来のレーダより大幅に高い分解能を持ち、室内ロボットの環境認識など、近未来の社会基盤技術の一つとなることが期待される。しかしこれを用いたイメージング手法には、近傍界開口合成法や反復改良法など演算負荷の極めて大きなものが多く、実時間応用に適用することは困難であった。このため、処理の高速性と高解像度を両立させる信号処理手法と、これを用いたイ

メージング技術の確立が切望されていた。

2. 研究の目的

本研究は、代表者らが考案し提唱している、可逆変換を用いた高速かつ超高解像度を有する 3 次元物体像再構成アルゴリズム (SEABED 法) の原理を具体化し、UWB パルスレーダシステムにこれを適用して、現実の室内環境において利用可能な高精度 3 次元環境認識技術を確立することを目的とする。

3. 研究の方法

上記の目的を達成するため、以下の項目につ

いて重点的に研究を進めた。

- (1) 提案アルゴリズムの問題点を検証し、これを改良して、適用範囲を拡大することで実用性能を持つイメージング手法とする。
- (2) パルス圧縮を利用することでUWBパルスレーダの特徴である高い解像度を維持しつつ、電波強度に対する制約のもとで実用的な感度を有するレーダシステムを開発する。
- (3) 現実的な実験環境を整備し、開発するイメージング手法および開発システムの性能を定量的に評価する。

4. 研究成果

(1) SEABED法は、可逆変換に基づく手法であるため、距離推定に誤差がなければ目標形状を一意かつ厳密に定めることが可能であり、また演算負荷も極めて軽いという特徴を有する。この手法の主な制約は、雑音に対する耐性が低いことと適用対象が比較的単純な形状の物体に制限されることであった。

これらの制約のうち、前者に対して、微分演算を用いない Envelope 法を開発し、精度を大幅に向上することに成功した。図1は数値実験による改良後の角錐状物体の再現精度の検証結果を示す。Envelope法に散乱波形補正を加えることで、波長の1/100程度の精度が得られることが明らかとなった。

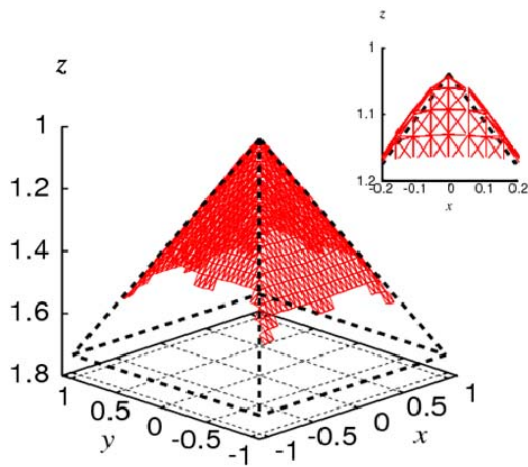


図1. Envelope法と波形推定法を併用した物体像再現性能の検証例。

後者に対しては、主な制約が疑似波面と呼ぶ目標物体各部からの要素散乱波の波面を連結する際に、複数部分からの散乱波が干渉するのが主因であることが判明した。そこで各測定点ごとに、ファジィ関数を用いた受信波の到来方向推定を行うことで、波形連結を行わないアルゴリズムを開発した。

この手法により、SEABED法やEnvelope法では比較的単純な形状に限られた適用対象を、周期構造を持つ物体などに拡張することが可能となった。図2に、波長規模の周期構造を持つ目標からの数値実験データに開発

した手法を適用した結果の例を示す。

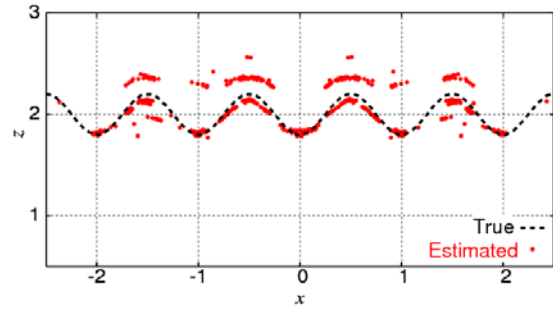


図2. ファジィ推定法による周期構造目標の推定例。

(2) 従来は単一のアンテナ素子を2次元走査することで3次元目標形状の計測を実現していたが、この方法ではデータ取得に多大な時間を必要とする。このため、1次元送受信アンテナアレイを直線的に走査するシステムを開発し、データ取得時間を大幅に短縮した。図3に実験装置の構成を示す。



図3. アレイ型測定システムの構成

また、従来の実験では、超広帯域パルスを実現するため、モノサイクルパルス波を送受信していたが、ピーク電力が制約される現在の規格のもとでは感度に大きな制約がある。SN比を向上させるため、パナソニック社の研究協力者が開発したM系列符号変調送受信デバイスを用いたレーダシステムを構成し、20dB以上の大幅な受信感度改善を実現した。(3) 開発したイメージング手法と測定システムを用いて、実際に各種形状の金属目標を計測し、波長の1/100程度の精度で形状推定ができることを立証した。図4に円錐状物体の測定状況と、再現像の例を示す。

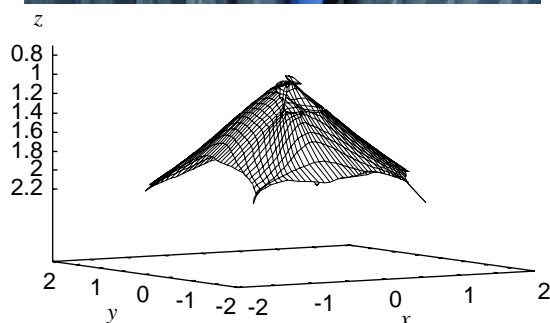


図4. 円錐状物体の測定状況（上）と再現像（下）。軸の単位はパルスの中心周波数における波長を表わす。

さらに開発手法の一般性を示すため、電磁波以外の波動を用いたイメージングの例として、超音波計測への適用を試みた。図5は水槽中に置いた直径 3.17mm の金属球に中心周波数 2MHz の超音波パルス照射し、これをニードルハイドロフォンで受信する実験装置の構成を示す。

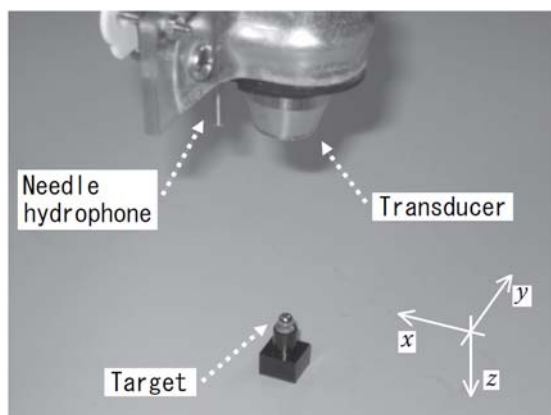


図5. 超音波パルスによる金属球の形状測定実験の状況。

取得されたデータに提案手法を適用し、金属球の形状を RMS 誤差 $6\mu\text{m}$ (0.008 波長) という極めて高い分解能で計測できることを実証した。

これらの一連の成果により、当初の目的とした代表者らの提案による高解像度イメージング法が、十分な実用性を持つことが確認

された。さらに、イメージング手法の改良過程では多くの有効なアイデアを得ることができ、周期構造物体など当初の予定を超える広い範囲の形状の物体に適用できる手法の開発に成功した。

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 13 件)

- ① T. Kimura, H. Taki, T. Sakamoto, and T. Sato, Experimental study of high range resolution medical acoustic imaging for multiple target detection with frequency domain interferometry, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.48, 2009 (accepted), 査読有.
- ② T. Sakamoto and T. Sato, Code-Division Multiple Transmission for High-Speed UWB Radar Imaging with an Antenna Array, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, Vol. 47, No. 4, pp.1179-1186, 2009, 査読有.
- ③ T. Sakamoto and T. Sato, 2-Dimensional Imaging for Human Bodies with UWB Radar using Approximately Uniform Walking Motion along a Straight Line with the SEABED Algorithm, *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E91-B, No.11, pp.3695-3703, 2008, 査読有.
- ④ S. Kidera, T. Sakamoto, and T. Sato, High-resolution and Real-Time 3-D Imaging Algorithm with Envelope of Spheres for UWB Radars, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, Vol.46, No.11, pp.3503-3513, 2008, 査読有.
- ⑤ S. Kidera, Y. Kani, T. Sakamoto, and T. Sato, A Fast and Accurate 3-D Imaging Algorithm with Linear Array Antennas for UWB Pulse Radars, *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E91-B, No.8, pp.2683-2691, 2008, 査読有.
- ⑥ H. Taki and T. Sato, Improved spatial resolution in a 3-D acoustic medical imaging system based on a hybrid method using a synthetic aperture technique, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.46, No.7B, pp.4827-4833, 2007, 査読有.
- ⑦ H. Taki and T. Sato, High-resolution real-time 3-D acoustic imaging system with a reflector, *J. Med. Ultrasonics*, Vol.34, No.3, pp.133-144, 2007, 査読有.
- ⑧ S. Kidera, T. Sakamoto, and T. Sato, A robust and fast imaging algorithm with an envelope of circles for UWB pulse radars, *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E90-B, No.7, pp.1801-1809, 2007, 査読有.
- ⑨ H. Taki and T. Sato, Transfer

information enhancement with a 2-D tactile stimulator array for an acoustic vision substitute system, *IEICE Trans. Inf. Syst.*, Vol.E90-D, No.5, pp.808-815, 2007, 査読有.

⑩ S. Kidera, T. Sakamoto, and T. Sato, A high-resolution imaging algorithm without derivatives based on waveform estimation for UWB radars, *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E90-B, No.6, pp.1487-1494, 2007, 査読有.

⑪ 阪本卓也, 木寺正平, 佐藤 亨, 杉野 聡, UWBパルスレーダによる高速立体形状推定法の実験的検討, *電子情報通信学会論文誌*, Vol.J90-B, No.1, pp.66-73, 2007, 査読有.

⑫ S. Kidera, T. Sakamoto, S. Sugino, and T. Sato, An accurate imaging algorithm with scattered waveform estimation for UWB pulse radars, *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E89-B, No.9, pp.2588-2595, 2006, 査読有.

⑬ 佐藤 亨, 阪本卓也, UWBパルスレーダによる物体像再構成アルゴリズム, *電子情報通信学会論文誌*, Vol.J88-B, No.12, pp.2311-2325, 2005, 査読有.

[学会発表] (計 49 件)

① T. Sakamoto, H. Taki and T. Sato, Experimental study on high resolution techniques for high-speed imaging of human bodies, 2009 Progress in Electromagnetics Research Symposium, Moscow, Russia, 18-21 Aug. 2009 (accepted).

② S. Kidera, T. Sakamoto and T. Sato, Experimental study of shadow region imaging algorithm with multiple scattered waves for UWB radars, 2009 Progress in Electromagnetics Research Symposium, Moscow, Russia, 18-21 Aug. 2009 (accepted).

③ S. Kidera, T. Sakamoto, and T. Sato, High-Speed UWB Radar Imaging Algorithm for Complex Target Boundary without Wavefront Connections, 24th General Assembly of URSI, Chicago, Illinois, U. S. A., 7-16 Aug. 2008.

④ S. Kidera, Y. Kani, T. Sakamoto, and T. Sato, An experimental study for a high-resolution 3-D imaging algorithm with linear array for UWB radars, 2007 IEEE Intl. Conf. Ultra-WideBand, Singapore, 24-26 Sep. 2007.

⑤ T. Sakamoto, and T. Sato, Multiple transmission for high-speed UWB radar imaging with an antenna array, IEEE AP-S Intl. Symp. 2007, Honolulu, Hawaii, U. S. A., 10-15 June 2007.

[産業財産権]

○出願状況 (計 6 件)

① 名称: 生体情報処理装置および生体情報処理方法

発明者: 瀧宏文, 佐藤亨, 阪本卓也, 木村智樹, 長永兼一

権利者: 京都大学, キヤノン

種類: 特許

番号: 特願 2009-029005

出願年月日: 2009年2月10日

国内外の別: 国内

② 名称: 形状測定方法装置および該方法

発明者: 木寺正平, 阪本卓也, 佐藤亨

権利者: 京都大学

種類: 特許

番号: 特開 2009-025030

出願年月日: 2009年2月5日

国内外の別: 国内

③ 名称: 信号処理装置、超音波装置、信号処理装置の制御方法及び超音波装置の制御方法

発明者: 瀧宏文, 佐藤亨, 長永兼一

権利者: 京都大学, キヤノン

種類: 特許

番号: 特願 2008-198500

出願年月日: 2008年7月31日

国内外の別: 国内

④ 名称: 超音波による画像形成方法及び収差補正方法 (Image forming method using ultrasound and aberration correction method)

発明者: 瀧宏文, 佐藤亨, 染田恭宏, 長永兼一, 及川克哉, 齊藤恵志, 高井康好

権利者: 京都大学, キヤノン

種類: 特許

番号: 特願 2008-105039

国際出願番号 PCT/JP2009/057299

出願年月日: 2008年4月14日 (国内)、

2009年4月3日 (国際)

国内外の別: 国内・国際

⑤ 名称: 位置測定装置および該方法

発明者: 北村堯之, 阪本卓也, 佐藤亨

権利者: 京都大学

種類: 特許

番号: 特願 2008-049664

出願年月日: 2008年2月29日

国内外の別: 国内

⑥ 名称: 形状測定装置および形状測定方法
発明者: 酒井啓之, 福田健志, 阪本卓也, 佐藤亨

権利者: 京都大学, パナソニック

種類: 特許

番号: 特願 2007-133957

出願年月日: 2007年5月21日

国内外の別: 国内

○取得状況 (1 件)

① 名称：形状測定装置及び該方法

発明者：木寺正平, 阪本卓也, 佐藤亨

権利者：京都大学

種類：特許

番号：特許第 4143728 号

取得年月日：2008 年 6 月 27 日

国内外の別：国内

[その他]

ホームページ

<http://www-lab26.kuee.kyoto-u.ac.jp>

[/index.html](#)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 亨 (SATO TORU)

京都大学・大学院情報学研究科・教授

研究者番号：60162450

(2) 研究分担者

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