

# インコヒーレント照射を利用した ミリ波アクティブイメージングへの機械学習の適用

西村 陸<sup>†</sup> 佐藤 弘康<sup>†</sup> 陳 強<sup>†</sup>

<sup>†</sup>東北大学大学院工学研究科通信工学専攻 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05

E-mail: <sup>†</sup>riku.nishimura.t6@dc.tohoku.ac.jp, [sahiro@ecei.tohoku.ac.jp](mailto:sahiro@ecei.tohoku.ac.jp), [chenq@ecei.tohoku.ac.jp](mailto:chenq@ecei.tohoku.ac.jp)

**あらまし** パッシブイメージングは周囲温度環境に応じて画質が劣化する問題がある。これまでインコヒーレント照射を利用したアクティブイメージングについて検討し、コントラストが大幅に向上する知見を得た。本報告では、ある角度で物体に照射した場合でしか物体を検知できないという照射角度依存性の問題を解決し、機械学習を適用して物体の検知特性を評価した結果を述べる。

**キーワード** イメージング, ミリ波, アクティブ, 照射源, 機械学習

## Application of Machine Learning to Active Millimeter Wave Imaging Using Incoherent Illumination

Riku NISHIMURA<sup>†</sup> Hiroyasu SATO<sup>†</sup> and Qiang CHEN<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Graduate School of Engineering, Tohoku University

6-6-05 Aramaki-za-oba, Aobaku, Sendai-shi, Miyagi, 980-8579 Japan

E-mail: <sup>†</sup>riku.nishimura.t6@dc.tohoku.ac.jp, [sahiro@ecei.tohoku.ac.jp](mailto:sahiro@ecei.tohoku.ac.jp), [chenq@ecei.tohoku.ac.jp](mailto:chenq@ecei.tohoku.ac.jp)

**Abstract** Passive imaging has a problem that the image quality deteriorates depending on the ambient temperature environment. So far, we have investigated active imaging using incoherent irradiation and obtained the findings that the contrast is significantly improved. In this report, we solve the problem of irradiation angle dependence that an object can be detected only when it is irradiated at a certain angle, and describe the results of evaluating the detection characteristics of the object by applying machine learning.

**Keywords** Imaging, Millimeter-Wave, Active, Illumination, Machine-Learning

### 1. まえがき

人体が常時放出しているミリ波を画像化することで、人がまとった衣服等の背後の危険物を完全非侵襲・非接触で検知するミリ波パッシブイメージングはセキュリティ用途を始めとして期待されている[1-3]。しかしながら、ミリ波パッシブイメージングでは検知したい物体からのミリ波以外に、壁や蛍光灯等周囲環境が熱として放射しているミリ波も熱雑音として重畳することになり、周囲温度に依存して画質が劣化する場合がある。

この問題を解決する手法として筆者らはこれまで、被写体に向けてミリ波を照射し、人体に対する物体のコントラストを向上することで検知特性を改善する方法を検討してきた[4-8]。コントラストは特定の照射角度に対して大幅に向上させることが可能だが、照射角

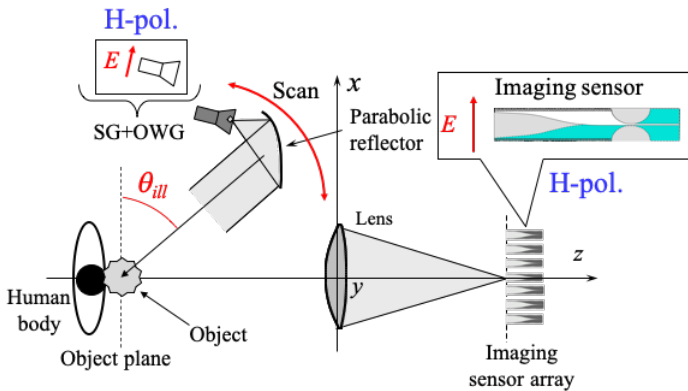
度に対する強い依存性が課題として挙げられる。

そこで本稿では、照射角度を連続的に走査し、得られた画像の平均をとることで照射角度依存性を低減する方法について検討した結果について報告する。また、撮影したミリ波画像に対して機械学習を適用することで、物体の有無を判別した結果を述べる。

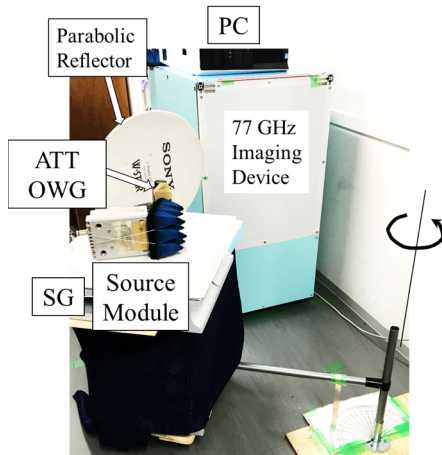
### 2. 実験系

インコヒーレント照射アクティブイメージングシステムの構成を図1に示す[5-8]。イメージング装置はレンズとイメージング素子[9-16]で構成されている。検波システムとして、イメージング素子によって二乗検波方式でミリ波の電力（輝度温度）に比例する受信電圧を検出し、イメージング素子アレーによってミリ波画像を構成している。被写体面に人体と物体を配置

し、照射角度 $\theta_{ill}$ を $0^\circ$  から $40^\circ$  まで変化させ照射している。被写体面と照射方向のなす角を $\theta_{ill}$ と定義する。照射源は Signal generator (SG)に接続された Open ended waveguide (OWG)とパラボラ反射鏡で構成され、照射源は被写体面の中央を中心軸として水平面内で回転可能な可動式アームで固定し、円弧上に走査可能なシステムを作製した。アンテナの偏波は、受信イメージング素子アレー、照射源の導波管開口アンテナともに水平偏波とし、シグナルジェネレータの周波数を 77 GHz、送信電力 0 dBm とし、受信電圧が飽和しないように減衰器の減衰レベルを調整した。照射角度 $\theta_{ill} = 0^\circ - 40^\circ$ 、 $\Delta\theta = 10^\circ$ とした。図 1 に実験系と被写体の写真を示す。イメージング装置正面から被写体面までの距離を 100 cm、被写体面からパラボラまでの距離を 80 cm とした。物体は発泡スチロールを用いて人体の正面に固定した。照射角度に対する物体検知の依存性が小さい場合、大きい場合のそれぞれの代表的な物体として、粗いアルミホイルで覆った散乱体、およびセラミックナイフを使用した。



(a)



(b)

図 1 実験系

### 3. イメージング結果

#### 3.1 照射角度依存性が小さい物体の場合

散乱体を用いた場合のイメージング結果を図 2 に示す。左上から順にパッシブイメージング、 $\theta_{ill} = 0^\circ - 40^\circ$  のミリ波画像、 $\theta_{ill} = 0^\circ - 40^\circ$  のミリ波画像の平均をとった結果を示した。凡例については最小値を $-0.05$  V、最大値を $1.0$  V に設定した。パッシブイメージングの結果を見ると、物体の位置の受信電圧が人体より低く、背景と同等レベルであることがわかる。これは、導体で構成された散乱体の被写体が周囲環境からの熱雑音を散乱し、それらがイメージング素子に入射したためと考えられる。よって、人体と物体とのコントラストが大きくなりパッシブイメージングでも十分に検知できたといえる。パッシブイメージングの結果と、照射を行った場合のイメージング結果を比較すると、照射によってコントラストが格段に向上したことがわかる。また、角度を連続的に走査して照射を行った結果を比較すると、どの角度でも散乱体の被写体からの散乱を検知している。このことから、散乱体は角度依存性が小さく、どの角度から照射しても検知特性を向上させることができると言える。また、 $\theta_{ill} = 0^\circ - 40^\circ$  のミリ波画像の平均をとった結果を見ると、特定の角度で照射した場合のミリ波画像より、物体の輪郭が明瞭化した画像が得られた。輪郭が明瞭化することで物体の有無の判断が容易になるため、角度依存性の小さい物体に対して、物体の有無を判別する上で画像の平均をとる手法は有効であると言える。

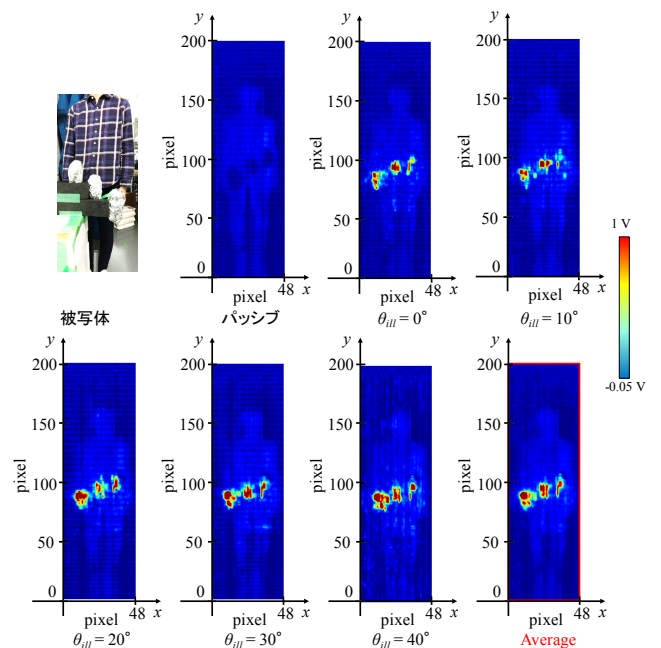


図 2 ミリ波画像 (散乱体の場合)

### 3.2 照射角度依存性が強い物体の場合

セラミックナイフを被写体とした場合のイメージング結果を図3に示す。左上から順にパッシブイメージング、 $\theta_{ill} = 0^\circ - 40^\circ$ のミリ波画像、 $\theta_{ill} = 0^\circ - 40^\circ$ のミリ波画像の平均をとった結果を示した。凡例については最小値を $-0.05\text{ V}$ 、最大値を $1.0\text{ V}$ に設定した。パッシブイメージングの結果を見ると、セラミックナイフの位置でわずかに受信電圧が下がっているものの、十分にコントラストが取れているとは言えない。一方、照射を行った場合のイメージング結果を見ると、 $\theta_{ill} = 0^\circ - 20^\circ$ から照射を行った場合に散乱波がイメージング素子に入射し、物体の検知特性が向上していることがわかる。しかしながらセラミックナイフは角度依存性が大きく、ある特定の角度で照射した場合のみで検知特性が向上した。ある特定の角度は物体そのものの形状、配置によって変化するため一意に特定することはできないが、照射源を連続的に走査し照射を行うことで、いずれかの角度で物体からの散乱波を観測し検知特性を向上させることができた。つまり、角度依存性の大きい物体に対して照射源を連続的に走査し照射を行う方法でコントラストの角度依存性の課題を克服可能である。また、 $\theta_{ill} = 0^\circ - 40^\circ$ のミリ波画像の平均をとった結果を見ると、散乱波の積分値が小さくなるため物体が不明瞭化した。しかしながら物体の形状と配置が未知で、どの角度から照射した場合に散乱が起こるかは不明な状況でインコヒーレントアクティブイメージングによって物体の有無を検知する場合において、照射角度を走査しミリ波画像の平均をとることで得られるミリ波画像は、散乱を検知したミリ波画像を含むため、物体の存在有無を判断する上で平均をとる手法は有効であると考えられる。しかしながら物体の位置で散乱を検知しないミリ波画像を含めて平均をとると、物体の輪郭が不明瞭化するため、形状の認識には不向きと考えられる。

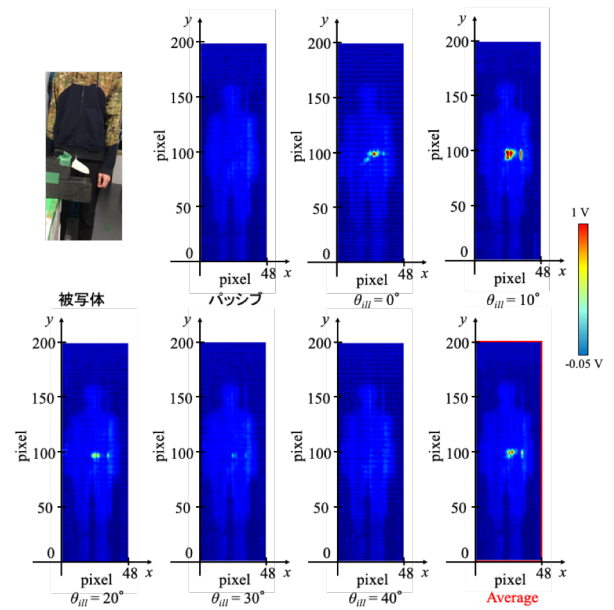


図3 ミリ波画像（セラミックナイフの場合）

## 4. ミリ波イメージングへの機械学習の適用

インコヒーレントアクティブミリ波イメージングに機械学習を適用し、ミリ波画像内の物体の有無の識別率を評価した。

### 4.1 特徴量の抽出

特徴量とは、トレーニングデータ、テストデータにおける対象の特徴を数値化したものである。学習させるデータからそのデータの特徴やパターンを抽出するためにはデータに合わせて特徴量を定義する必要がある。機械学習の精度を上げるためには特徴量を適切に選ぶ必要がある。特徴量としては複数選択することができる。ミリ波イメージングに機械学習を適用する場合、ミリ波画像内に物体があるかないかを高い精度で判別することを目的として特徴量を設定した。1つ目はミリ波画像内の最大受信電圧値、2つ目はミリ波画像内の $0.5\text{ V}$ 以上のピクセル数とした。

### 4.2 結果

テストデータに散乱体を持った人の受信電圧分布、セラミックナイフを持った人の受信電圧分布、何も持っていない人の受信電圧分布を使用し、トレーニングデータに物体を持った人の受信電圧分布を250枚、何も持っていない人の受信電圧分布を250枚使い、機械学習を行った。さらに、平均をとった受信電圧分布を使用した場合と平均をとっていない受信電圧分布を使用した場合で識別率に違いがあるかの比較を行った。識別率は以下の式で算出し、全データのうち正しく分類できた割合を表している。

$$\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN} \quad (1)$$

被写体に散乱体を使用した場合の機械学習の結果を図4に示す。識別率は平均をとっていない場合 0.896, 平均をとった場合 0.853 となった。実際に物体を持っている場合, 平均をとった場合も平均をとっていない場合も全ての画像で物体の存在有無を判断できた。実際に物体を持っていない場合, 24 枚中 19 枚を正しく物体ナシと判断できた。

被写体にセラミックナイフを使用した場合の機械学習の結果を図5に示す。識別率は平均をとっていない場合 0.583, 平均をとった場合 0.853 となった。平均をとることで物体の存在有無を判断可能になった。実際に物体を持っている場合, 平均を取らない時は 24 枚中 9 枚を正しく物体アリと判断し, 平均をとった場合 10 枚中 10 枚を正しく物体アリと判断した。以上の結果から, 角度依存性の大小に関わらず平均をとることで物体の存在有無を判断しやすくなるとの結果を得た。

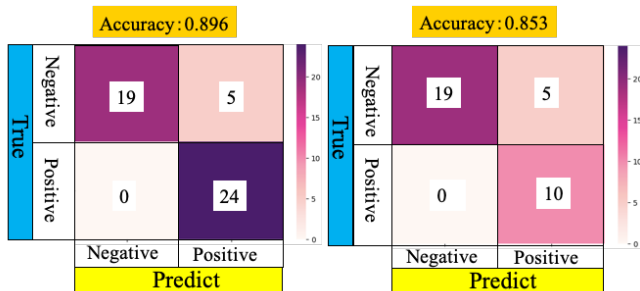


図4 機械学習の結果 (散乱体の場合)

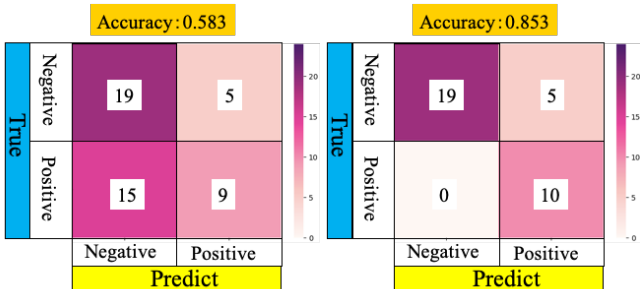


図5 機械学習の結果 (セラミックナイフの場合)

## 5. まとめ

本論文では, 航空機や新幹線などの公共交通機関での危険物検知に応用が期待されるインコヒーレントアクティブミリ波イメージングにおいて, 照射源を連続的に走査し照射を行い得られた画像の平均をとる方法を提案した, 照射角度を操作しイメージングを行うことで照射角度依存性の課題を克服した。さらに, 得られた各角度の画像の平均をとることで物体の有無の判断を行いやすくなった。また, 撮影したミリ波画像に機械学習を適用することで物体の有無の識別率を算出した。

## 謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 20K04515 の助成を受けて行われた。

## 文 献

- [1] 佐藤 弘康, 澤谷 邦男, 水野 皓司, “ミリ波パッシブイメージング技術 (セキュリティ分野への応用を主に),” 計測自動制御学会, 計測と制御, vol. 48, no. 10, pp. 748-753, 2009.
- [2] 佐藤弘康, 陳強, “ミリ波パッシブイメージング装置,” 株式会社シーエムシー出版, 最新ミリ波技術, 第 10 章, pp.1-12, Jul. 2015.
- [3] H. Sato, K. Sawaya, K. Mizuno, J. Uemura, M. Takeda, J. Takahashi, K. Yamada, K. Morichika, T. Hasegawa, H. Hirai, H. Niikura, T. Matsuzaki, S. Kato and J. Nakada, “Passive millimeter-wave imaging for security and safety applications,” SPIE Proceedings, vol. 7671, Orlando, USA, 2010.
- [4] H. Sato, K. Kuriyama and K. Sawaya, “Forward-Nulling Passive Millimeter Wave Imaging Using Cooling Dielectric Tube”, IEICE Trans. Commun, vol. E95-C, no. 10, pp. 1627-1634, 2012.
- [5] 前田 淳朗, 佐藤 弘康, 陳 強, “前方照射源を利用したパッシブイメージング,” 電子情報通信学会総合大会, C-2-74, p.74, 2019 年 3 月.
- [6] A. Maeda, H. Sato, and Q. Chen, “Incoherent Active Millimeter Wave Imaging Using Forward-Illuminating Source,” Proc. GSMM2019, pp. 87-89, May 2019.
- [7] 前田 淳朗, 佐藤 弘康, 陳 強, “インコヒーレント照射を利用したアクティブミリ波イメージング,” 信学技報, vol. 119, no.228, AP2019-87, pp.39-42, 2019 年 10 月.
- [8] 前田 淳朗, 佐藤 弘康, 陳 強, “前方照射を利用したインコヒーレントアクティブミリ波イメージング,” 信学技報, vol.119, no.346, MW2019-125, pp.37-40, 2019 年 12 月.
- [9] H. Sato, N. Arai, Y. Wagatsuma, K. Sawaya and K. Mizuno, “Design of Millimeter Wave Fermi Antenna with Corrugation,” IEICE Trans. (B), vol. J86-B, no. 9, pp. 1851-1859, 2003 (in Japanese).
- [10] H. Sato, K. Sawaya, N. Arai, Y. Wagatsuma and K. Mizuno, “Broadband FDTD Analysis of Fermi Antenna with Narrow Width Substrate,” IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, vol. 1, pp. 261-264, Ohio, 2003.
- [11] H. Sato, K. Sawaya, Y. Wagatsuma and K. Mizuno, “Design of Narrow-width Fermi Antenna with Circular Radiation Pattern,” IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, vol. 4, pp. 4312-4315, Monterey, 2004.
- [12] H. Sato, K. Sawaya, Y. Wagatsuma, K. Mizuno, “Broadband FDTD Design of Fermi Antenna for Passive Millimeter Wave Imaging,” 2005 IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications (MAPE '05), Beijing, vol. 1, pp. 123-126, August, 2005.
- [13] Y. Takagi, H. Sato, Y. Wagatsuma, K. Sawaya and K. Mizuno, “Study of high gain and broadband antipodal Fermi antenna with corrugation,” International Symposium on Antennas and Propagation, vol. 1, pp. 69-72, Sendai, Aug. 2004.

- [14] H. Sato, Y. Takagi, Y. Wagatsuma, K. Mizuno, and K. Sawaya, "Time Domain Characteristics of Broadband Antipodal Fermi Antenna And Its Application To Throughwall Imaging," International Symposium on Antennas and Propagation, vol. 1, pp. 338-390, Seoul, Korea, 2005.
- [15] H. Sato, Y. Murakami, K. Sawaya, and K. Mizuno, "FDTD Analysis of 81-element Antipodal Fermi Antenna Array with Axially Symmetric Array Element Pattern," IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, San Diego, USA, 2008.
- [16] H. Sato, K. Sawaya, K. Mizuno, J. Uemura, M. Takeda, J. Takahashi, K. Yamada, K. Morichika, T. Hasegawa, H. Hirai, H. Niikura, T. Matsuzaki, J. Nakada, "Development of passive millimeter wave imaging device using 77GHz Band(Invited)", Proc. IEEE SENSOR 2009, pp. 1632-1635, Oct. 2009.