

圧縮センシングを用いた 高速な地雷可視化システム

電子情報工学科

03-183007

今井 隆太

目次

1. 背景
2. 従来システムと基本理論
3. テクスチャ特徴量を用いた圧縮センシングの提案
4. 実験結果
5. 今後の予定

1.1 地中探査レーダ

マイクロ波を用いた地中探査レーダ（GPR）

がれき探査や水道管調査など

プラスチック地雷探査にも活用できる(1)(2)(3)(4)(5)(6)



ALIS in operation in a minefield (6)

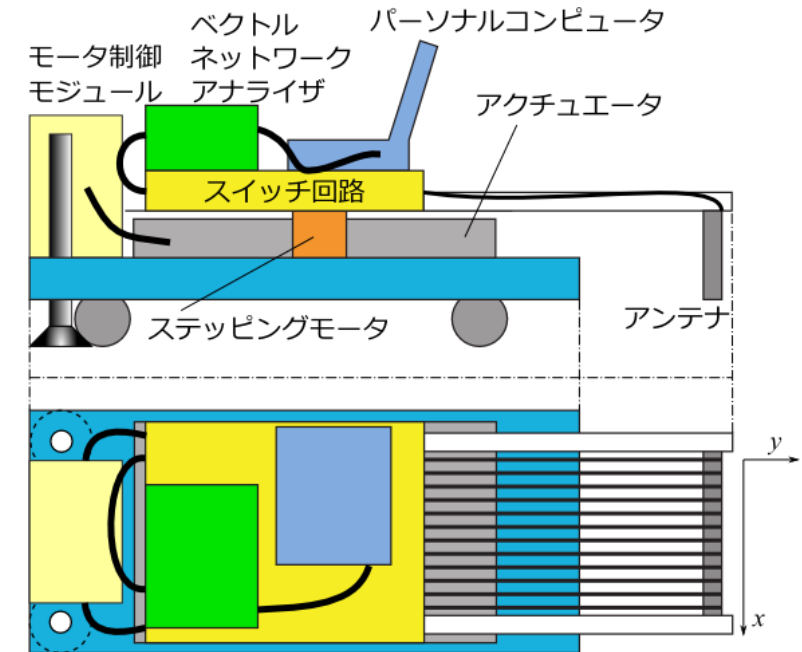
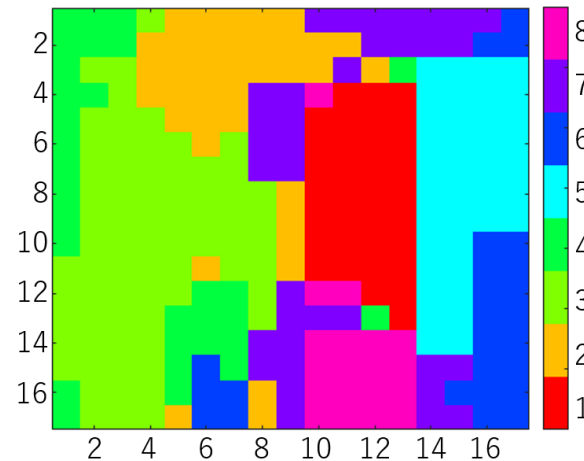
- (1) C-C Chen, S. Nag, W. D. Burnside, J. I. Halman, K. A. Shubert and L. Peters, Jr., "A Stando, Focused-Beam Land Mine Radar," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol.38, no.1, pp. 507-514, 2000.
- (2) Jeroen Groenenboom, Alexander Yarovoy, "Data Processing and Imaging in GPR System Dedicated for Landmine Detection," Subsurface Sensing Technologies and Applications, vol.3, no.4, pp. 387-402, 2002.
- (3) Alexander G. Yarovoy and Leo P. Ligthart, "Polarimetric video impulse radar for landmine detection," Subsurface Sensing Technologies and Applications, vol.3, no.4, pp. 271-293, 2002.
- (4) M. Sato, Y. Hamada, X. Feng, F. N. Kong, Z. Zeng and G. Fang, "GPR using an array antenna for land-mine detection," Near Subsurface Geophysics, vol. 2, pp. 7-13, 2004.
- (5) M. Sato, K. Takahashi, X. Feng and T. Kobayashi, "Dual sensor ALIS evaluation test in Afghanistan," IEEE Geoscience and Remote Sensing Society Newsletter, pp. 22-24, September 2005.
- (6) M. Sato, K. Takahashi, "Development of Dual Sensors and Deployment in Mine Affected Countries," in *Anti-personal Landmine Detection for Humanitarian Demining*, pp. 27-44, 2009.

1.2 従来の地雷可視化システム⁽⁷⁾

- 3次元のデータ
 - アンテナ1列 (x軸方向)、幅143mm21点
 - 7mmごとアームを前 (y軸方向) に出して147mm21点
 - 8GHz-12GHz間周波数ステップ型で101点
- 計測したデータから特徴量ベクトルを抽出し自己組織化マップ(CSOM)でクラス分け
- 計測に6分ほど時間がかかる



計測時間を短くするため
少ないデータから信号を再現できる圧縮センシング



(7) E.Koyama A.Hirose, "Development of complex-valued self-organizing-map landmine visualization system equipped with moving one-dimensional array antenna," IEICE Trans. on Electron, 2018.

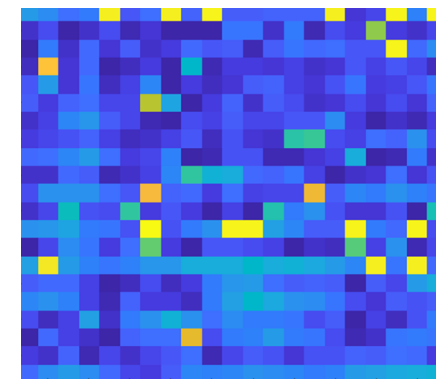
1.3 圧縮センシングを用いた先行研究

先行研究

1. 散乱強度を利用して金属地雷を可視化⁽⁸⁾
2. プラスチック地雷は散乱強度が弱いため、散乱物との区別がつかない

本研究

1. テクスチャ特徴量ベクトルを用いることでプラスチック地雷を可視化
2. 空間的なテクスチャを見ることで散乱物などを区別できる



散乱強度そのままでは地雷の可視化は難しい

(8) R. Karlina and M. Sato, "Model-Based Compressive Sensing Applied to Landmine Detection by GPR." IEICE Transaction, vol.E99-C, no.1 pp.44-51, 2016.

2.1 テクスチャ特徴量ベクトルの生成

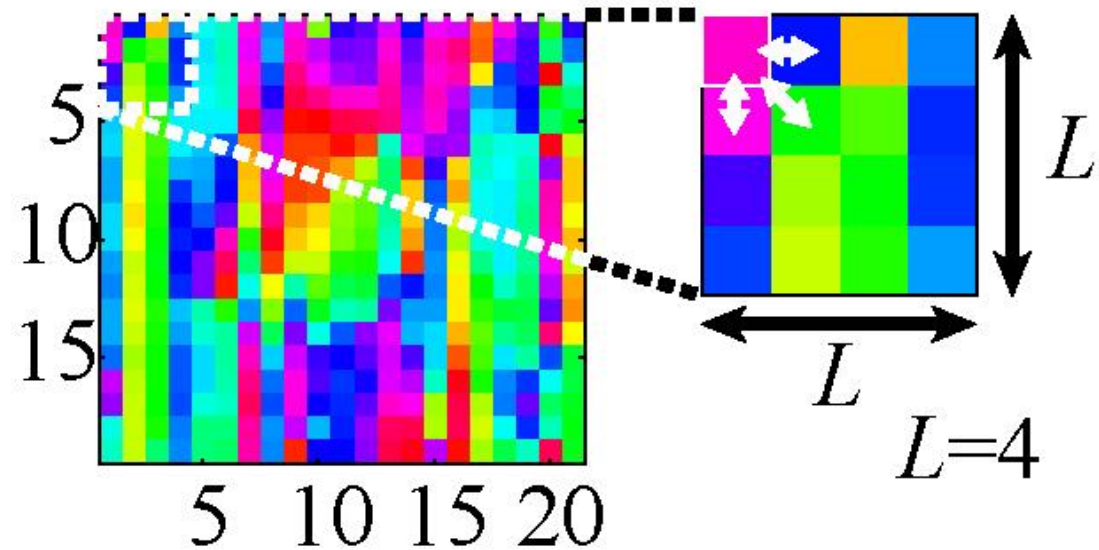
- 強度をそのまま利用するとプラスチック地雷はうまく可視化できない.
- (x, y) ごとに局所ウィンドウを作成し, 局所相関をとって特徴量ベクトル $K(x, y)$ を作成する

$$\mathbf{K} = [K_m \ \mathbf{K}_s \ \mathbf{K}_f]^T$$

K_m : 平均

K_s : 空間領域での相関

K_f : 周波数領域での相関



2.2 圧縮センシングの基本

- 少ない計測からデータを得るために圧縮センシングを利用する
- 信号のスパース性を仮定して信号を復元する

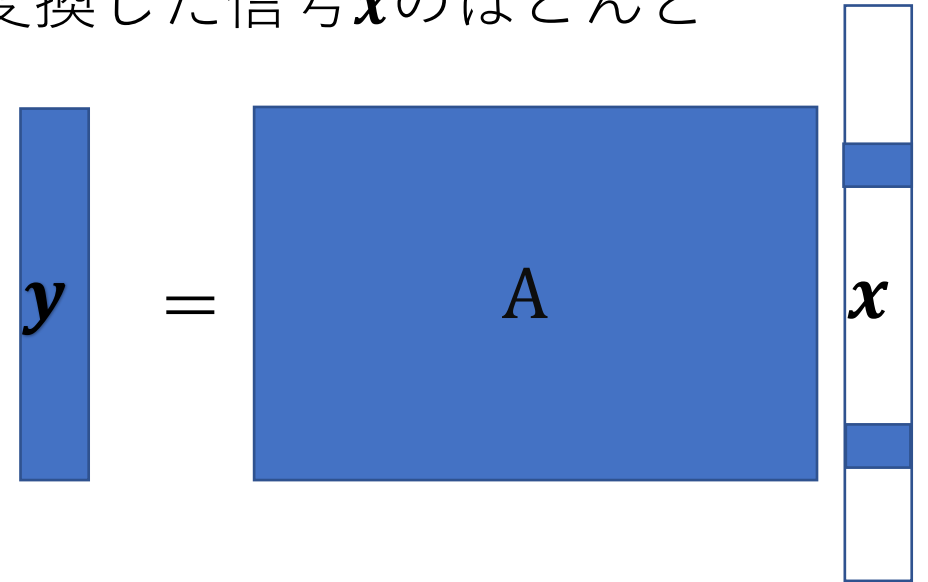
スパースな信号：計測した生の信号 \mathbf{y} を変換した信号 \mathbf{x} のほとんどの成分が0である信号を表す。

\mathbf{x} と \mathbf{y} の関係は行列の掛け算で表せる

$$\mathbf{y} = \mathbf{A}\mathbf{x}$$

連立方程式としては \mathbf{x} は求まらない
最適化問題として \mathbf{y} と \mathbf{A} から \mathbf{x} を求める

$$\min \|\mathbf{x}\|_0 \quad \text{subject to} \quad \mathbf{y} = \mathbf{A}\mathbf{x}$$

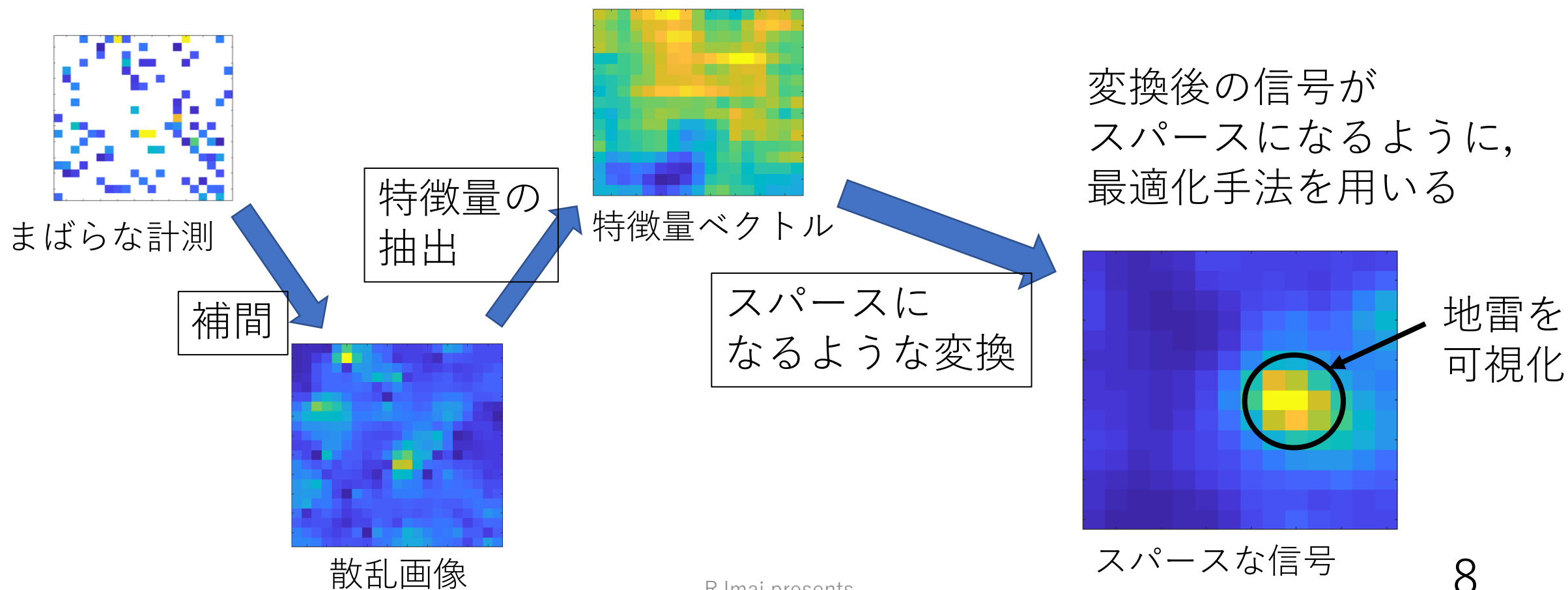


テクスチャ特徴ベクトルは0が多いデータではないので
圧縮センシングに利用できない

3 提案：特徴量を用いた圧縮センシング

- 強度よりも多様な情報を使う
- 計測時間を短くする

テクスチャ特徴量を用いた
圧縮センシング



3.1 特徴量ベクトルを使ったスパーシティ

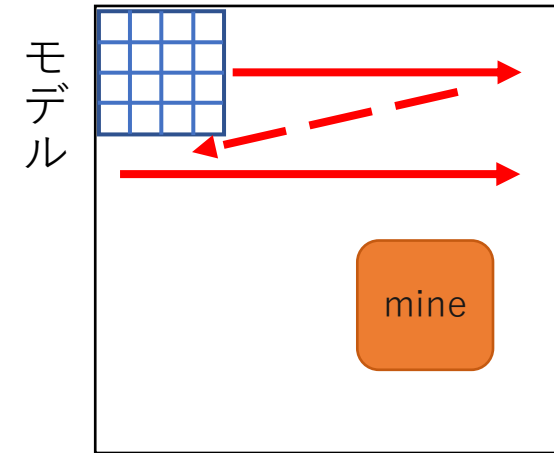
- モデル内の特徴量の一様性 h
 - モデル：地雷の形状を仮定して、同じ形状のウィンドウを切り出したもの

$$h(X, Y) = \sum_{i < j} |K(x_i, y_i) * K(x_j, y_j)|$$

(X, Y) はモデル自体の座標
 (x_i, y_i) はモデル内の座標を表す

拡張されたスパーシティ

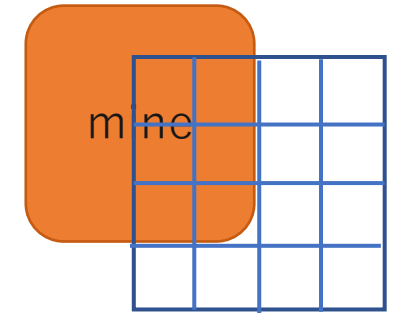
1. 多次元の特徴量
2. 広く一般的な二次量



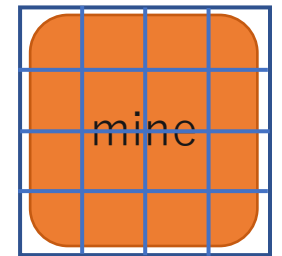
(x_1, y_1) 計測エリア

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16

モデルの各ピクセルに
番号をふる



h が小さい



h が大きい

3.2 データの補間

- ランダムに計測したデータから特徴量を抽出するために、空間領域で低周波だと仮定して計測していない座標を補間する。

補間する点と計測済みの点の距離 $r_i = \sqrt{(\hat{x} - x_i)^2 + (\hat{y} - y_i)^2}$

振幅 $\hat{s}_a(\hat{x}, \hat{y}, f) = \sum_{i=1}^N |s_i(x_i, y_i, f)| \frac{e^{-ar_i}}{\sum_{j=1}^N e^{-ar_j}}$

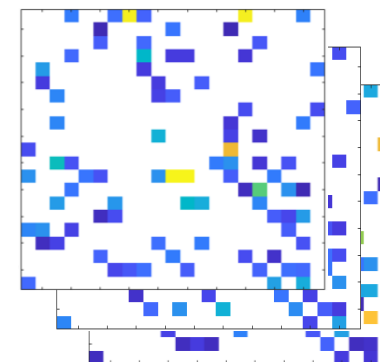
位相 $\hat{s}_p(\hat{x}, \hat{y}, f) = \arg \left(\sum_{i=1}^N s_i(x_i, y_i, f) \frac{e^{-ar_i}}{\sum_{j=1}^N e^{-ar_j}} \right)$

振幅と位相から複素数に直す

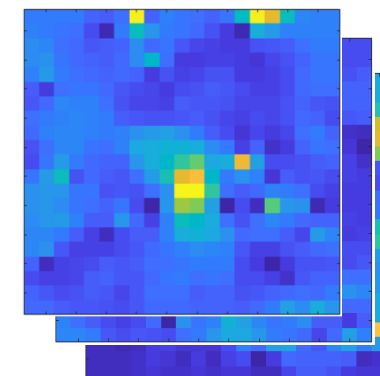
$$\hat{s}(\hat{x}, \hat{y}, f) = \hat{s}_a(\hat{x}, \hat{y}, f) e^{-i\hat{s}_p(\hat{x}, \hat{y}, f)}$$

$\hat{s}(\hat{x}, \hat{y}, f)$: 補間した値

$s_i(x_i, y_i, f)$: 計測済みの信号



まばらな
計測値



補間した
値

3.3 圧縮センシングの適用

- モデル内の特徴量の一様性 $h(X, Y)$ から圧縮センシングを考える
- 最適化手法（再急降下法等）を用いて $h(X, Y)$ のスパース性を高めるような補間を目指す

一般的な圧縮センシングで使われる最適化問題

$$\min \|\mathbf{x}\|_0 \quad \text{subject to} \quad \mathbf{y} = \mathbf{A}\mathbf{x}$$

- \mathbf{y} の復元を目的とする
- 簡略化されたアルゴリズムが存在する



地雷可視化のための最適化問題

$$\min_{\mathbf{s}} \|\mathbf{h}(\mathbf{s})\|_0$$

- スパースな一様性 \mathbf{h} を求める
- 厳密に散乱画像 \mathbf{s} を復元する必要はない
- 簡略なアルゴリズムが使えない

\mathbf{s} ：散乱画像の値を1列に並べたベクトル

\mathbf{h} ：モデル内の特徴量の一様性 $h(X, Y)$ を1列に並べたベクトル

4 実験結果

- 散乱画像を取得して従来手法との比較を行った



地雷と計測範囲の配置

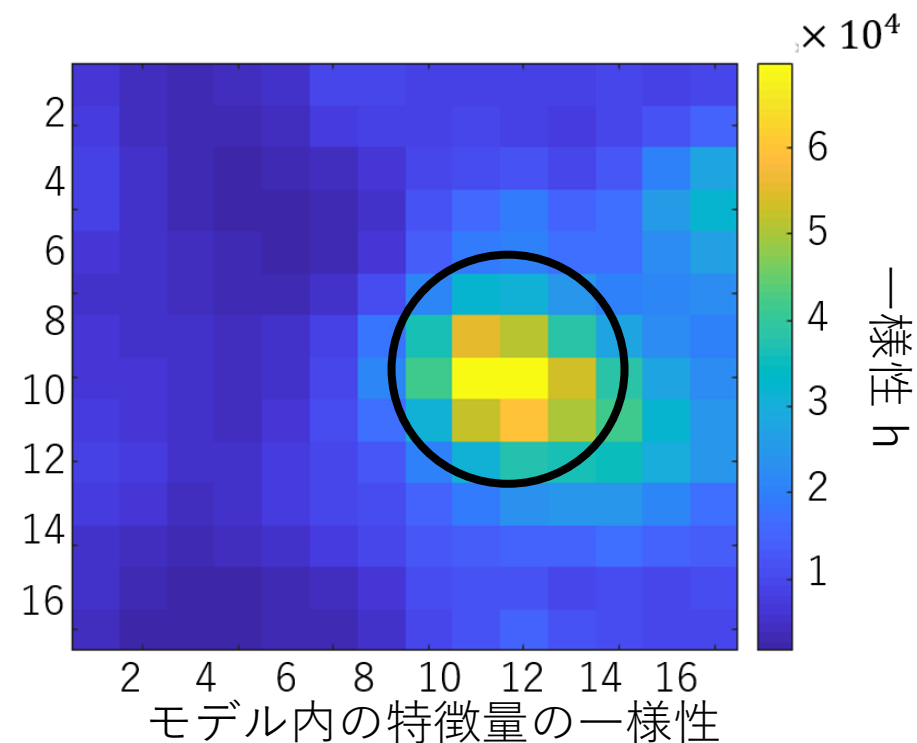
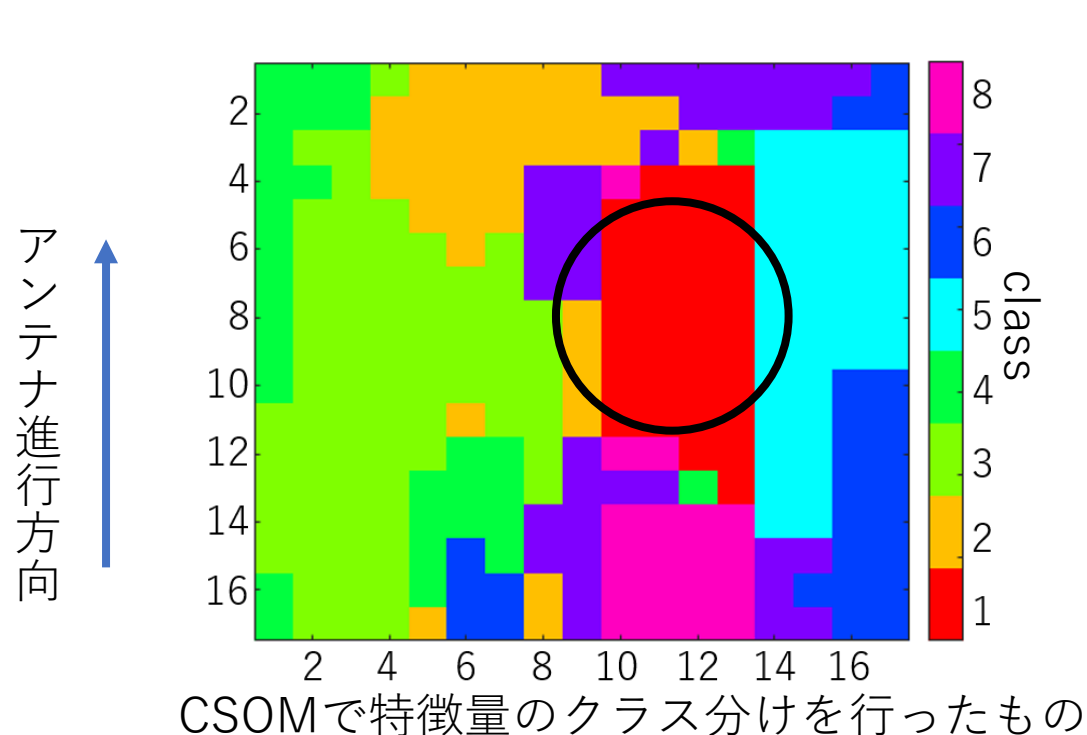
※計測時は土をかぶせている

分解能	7mm
計測範囲	21点×21点
周波数帯域	8-12GHz
周波数点数	101点
モデル	4×4の正方形
地雷の深さ	約2cm

実験概要

4.1 CSOMとの比較

- 全ての計測データを使い，CSOMで分類した時とモデル内の特徴量の一様性 $h(X, Y)$ を計算したときの比較を行った。

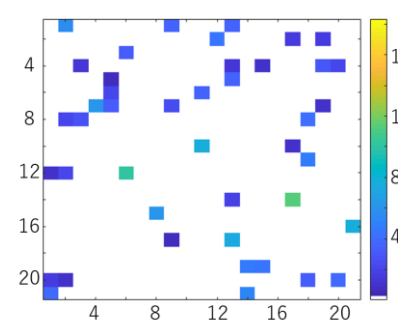
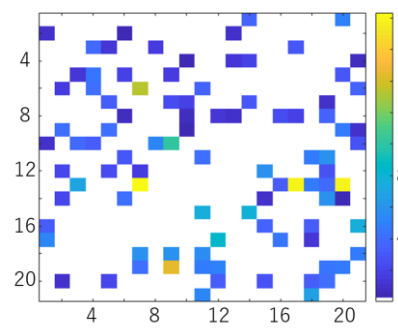
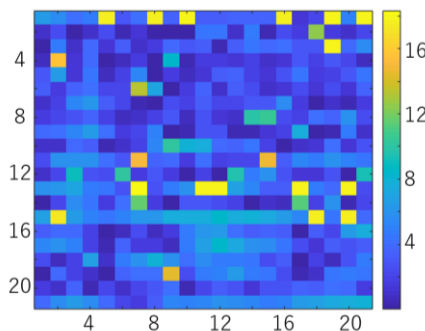


一様性 h を使って地雷を可視化できておりスパースな情報として使用可能

4.2 ランダムに抽出したデータでの実験

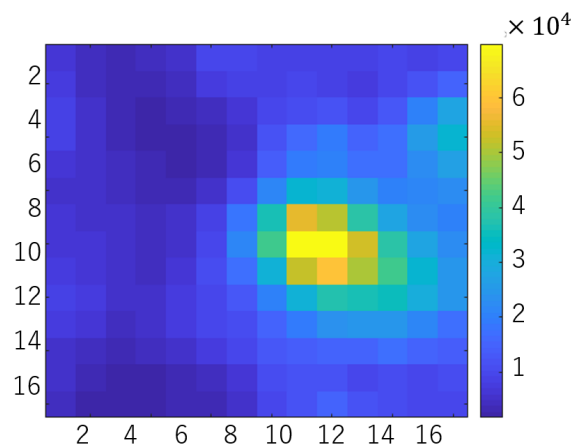
- 散乱画像からランダムにデータを抽出して，一部のデータからモデル内の特徴量の一様性 $h(X, Y)$ を計算

データ抽出の様子
($f=8\text{GHz}$ での振幅)

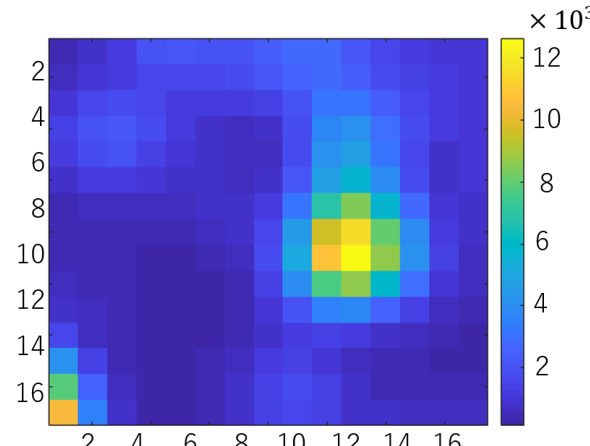


振幅
(dBに直して
正規化したもの)

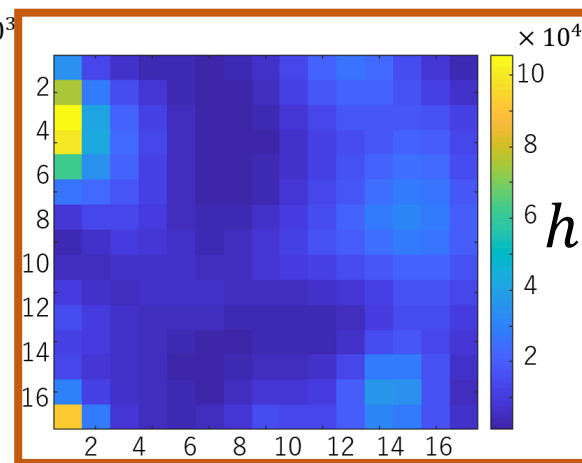
モデル内の
一様性 $h(X, Y)$



100%



20%



10%

最適化手法で
地雷を可視化

5 今後の予定

- 適切な目的関数を設定し，地雷の可視化性能を最大化する。
- 適切なモデルの形状，テクスチャ特徴量ベクトルを抽出する際のウィンドウの大きさを検討し，地雷の可視化性能を最大化する。

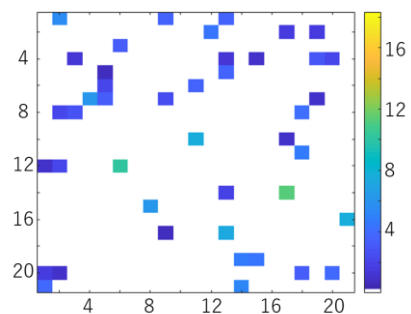
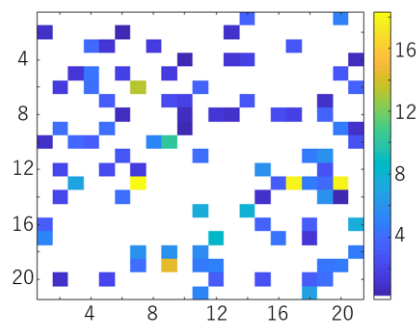


より短い計測時間での地雷可視化を
圧縮センシングを用いて実現する

4.2 ランダムに抽出したデータでの実験

- 散乱画像からランダムにデータを抽出して，一部のデータからモデル内の特徴量の一様性 $h(X, Y)$ を計算

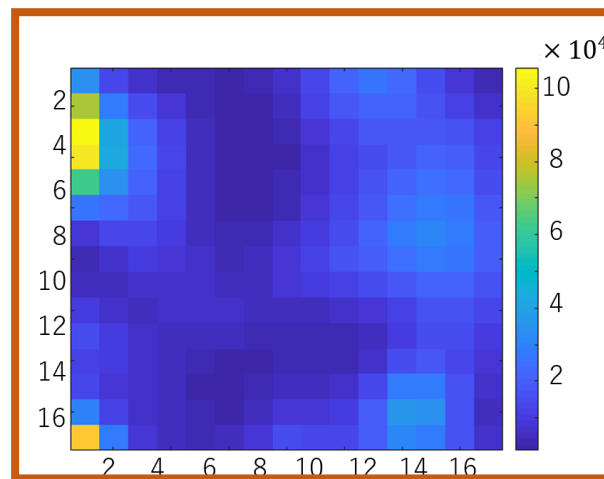
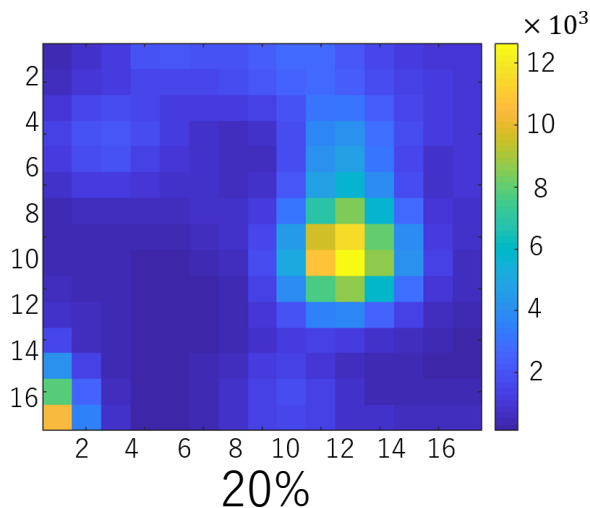
データ抽出の様子
($f=8\text{GHz}$ での振幅)



振幅

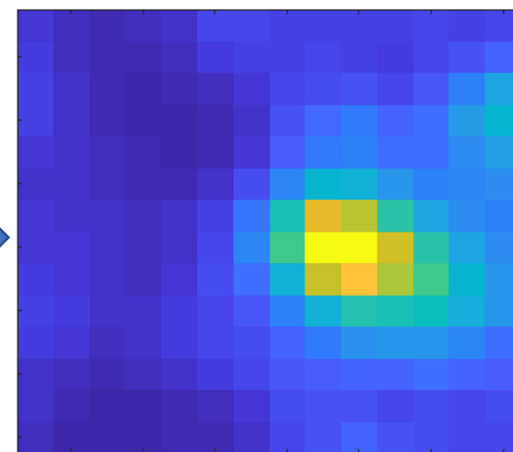
補間して
 h を計算

モデル内の
一様性 $h(X, Y)$



h

最適化手法によって h のス
パース性を実現し，
すべてのデータを使って計算
した場合と同様にしたい



自己組織化マップ

SOM(Self-Organizing Map)

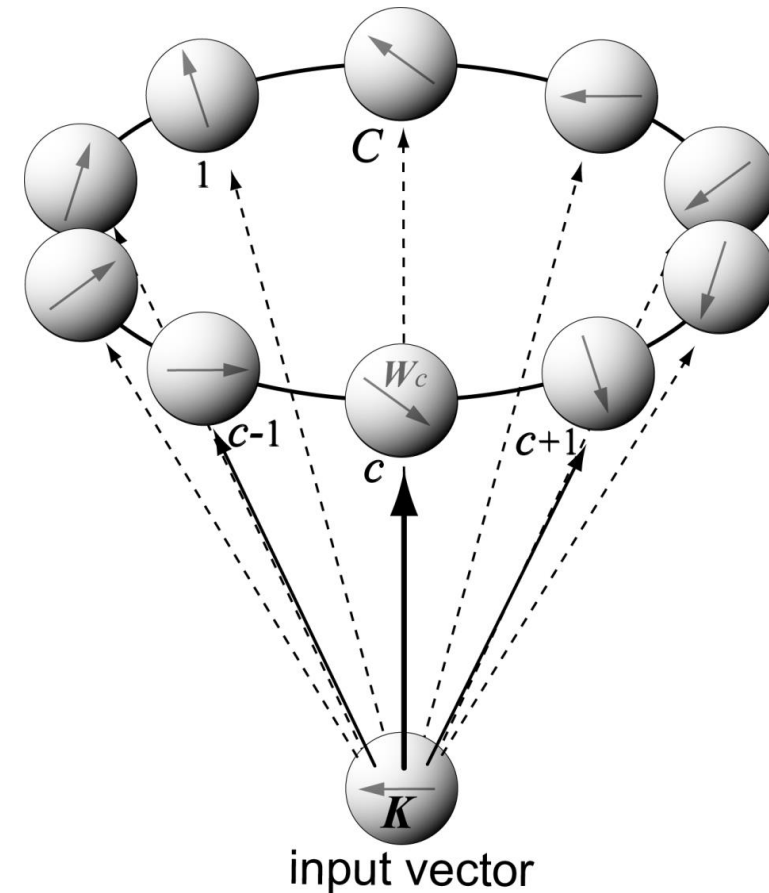
教師なしで適応的にデータを分類する

CSOM

複素数データを扱う
複素空間で距離を定義し、1番近いものを勝者とする
コヒーレンスに感受性がある

Ring-CSOM

リング状の1次元トポロジにマッピングするCSOM⁽¹⁰⁾



(10) Y. Nakano and A. Hirose, "Adaptive identification of landmine class by evaluating the total degree of conformity of ring-SOM," Australian Journal of Intelligent Information Processing Systems, pp. 23-28, December 2010.