

# 6R-01 3次元 Wavelet 変換に基づいたラスター型リモートセンシング時系列データの 多重解像度保存・検索方法に関する研究

今井 雅士, 金井 理, 岸浪 建史

北海道大学大学院工学研究科

## 1. はじめに

近年、高解像度な衛星リモートセンシング時系列データが観測可能となり、その大量のデータセットをデータベースに保存し、利用・解析目的に応じた様々な解像度でデータを利用する要求が増えている。

著者らは、3次元 Haar Wavelet 変換を衛星リモートセンシング時系列データへ適用し、効率的にデータの時空間解像度を制御する手法に關し報告した<sup>[1]</sup>。しかし、この手法は全時空間領域を再構成するため、必要領域外のデータまで再構成し、また一定時間間隔で追加される観測データに対する処理の議論がなされていない。また、3次元 Wavelet 変換を動画像圧縮に適用した報告もある<sup>[2]</sup>が、ロスレスで部分的な再構成を必要とするリモートセンシングデータの保存／検索の要求条件に答えていない。

そこで本研究では図1のように、大量の衛星リモートセンシング画像の時系列データに3次元 Wavelet 変換を適用し、多重解像度表現(MRR)されたデータに対して、任意時空間領域を任意時空間解像度で再構成するための多重解像度検索手法および、一定期間毎に画像が順次追加された際の多重解像度表現データをインクリメンタルに更新するための新たな保存手法を提案する。

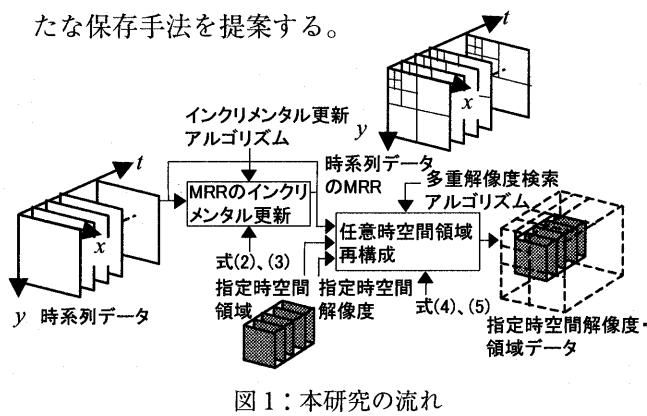


図1：本研究の流れ

## 2. 3次元 Wavelet 変換に基づく多重解像度検索

### 2.1 3次元 Wavelet 変換による時系列画像の多重解像度表現への変換

衛星リモートセンシングから得られた8ビットグ

レースケール画像の最高解像度の時系列データを式

(1)で定義する。

$$c_{LLL,k_x,k_y,k_t}^{(J_x,J_y,J_t)} \in [0,255] \quad (1)$$

$k_x \in [0, N_x]$ ,  $k_y \in [0, N_y]$ ,  $k_t \in [0, N_t]$  ここで、 $k_x, k_y, k_t$  : 画素位置を表す  $x, y, t$  方向のインデックス、  $N_x, N_y$  : 画像のサイズ、  $N_t$  : 画像の枚数、  $(J_x, J_y, J_t)$  :  $x, y, t$  軸方向における最高解像度レベルを表すインデックス、  $LLL$  :  $x, y, t$  軸方向における低周波成分を表すインデックスである。但し、  $N_x = N_y$ ,  $N_t$  は 2 のべき乗であると仮定する。よって、  $j_x = j_y = j_s$  と記述する。

式(1)の時系列データに対し、Haar 基底を用いた3次元 Wavelet 変換を用いて MRR 化するには、まず空間解像度レベルが 0 になるまで式(2)の空間方向の分解を繰り返し行う。これにより空間方向に MRR 化されたデータを得る。

$$\mathbf{S}_{s,k_x,k_y}^{(j_s-1)} = \mathbf{W}_s \mathbf{X}_{s,k_x,k_y}^{(j_s)} \quad (j_s = J_s, J_s - 1, \dots, 1) \quad (2)$$

$$\mathbf{S}_{s,k_x,k_y}^{(j_s-1)} = (c_{LLL,k_x,k_y,k_t}^{(j_s-1,j_t)}, d_{LHL,k_x,k_y,k_t}^{(j_s-1,j_t)}, d_{HLL,k_x,k_y,k_t}^{(j_s-1,j_t)}, d_{HHL,k_x,k_y,k_t}^{(j_s-1,j_t)})^T$$

$$\mathbf{X}_{s,k_x,k_y}^{(j_s)} = (c_{LLL,2k_x,2k_y,k_t}^{(j_s,j_t)}, c_{LLL,2k_x+1,2k_y,k_t}^{(j_s,j_t)}, \\ c_{LLL,2k_x,2k_y+1,k_t}^{(j_s,j_t)}, c_{LLL,2k_x+1,2k_y+1,k_t}^{(j_s,j_t)})^T$$

$$\mathbf{W}_s = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{pmatrix} \quad k_x, k_y \in [0, 2^{j_s-1} - 1]$$

ここで、  $\mathbf{S}_{s,k_x,k_y}^{(j_s-1)}$  : Wavelet 変換後のスペクトル、  $\mathbf{X}_{s,k_x,k_y}^{(j_s)}$  : Wavelet 変換前の画素値、  $\mathbf{W}_s$  : Haar 基底の 2 次元ノンスタンダード Wavelet 変換行列である。

次に、式(3)の時間方向の分解を繰り返し行うことにより最終的に時空間データの MRR が得られる。

$$\mathbf{S}_{t,k_t}^{(j_t-1)} = \mathbf{W}_t \mathbf{X}_{t,k_t}^{(j_t)} \quad (j_t = J_t, J_t - 1, \dots, 1) \quad (3)$$

$$\mathbf{S}_{t,k_t}^{(j_t-1)} = (c_{LLL,k_x,k_y,k_t}^{(j_s,j_t-1)}, d_{LLH,k_x,k_y,k_t}^{(j_s,j_t-1)})^T$$

$$\mathbf{X}_{t,k_t}^{(j_t)} = (c_{LLL,k_x,k_y,2k_t}^{(j_s,j_t)}, c_{LLL,k_x,k_y,2k_t+1}^{(j_s,j_t)})^T$$

$$\mathbf{W}_t = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \quad k_t \in [0, 2^{j_t-1} - 1]$$

ここで、 $\mathbf{S}_{t,k_t}^{(j_t-1)}$  : Wavelet 変換後のスペクトル、 $\mathbf{X}_{t,k_t}^{(j_t)}$  : Wavelet 変換前の画素値、 $\mathbf{W}_t$  : Haar 基底の 1 次元 Wavelet 変換行列である。

## 2.2 任意時空間領域の再構成

次に、式(2)、(3)により MRR 化された時系列データを、任意時空間解像度レベル( $j'_x, j'_y, j'_t$ )、任意指定時空間領域  $k_x \in [k_{xs}, k_{xe}]$ ,  $k_y \in [k_{ys}, k_{ye}]$ ,  $k_t \in [k_{ts}, k_{te}]$  の時系列データ  $c_{LLL, k_x, k_y, k_t}^{(j'_x, j'_y, j'_t)}$  として部分的に再構成することを考える(図 2)。

まず、時間方向に対し式(4)の再構成を適用する。

$$\mathbf{X}_{t,k_t}^{(j_t)} = \mathbf{W}'_t \mathbf{S}_{t,k_t}^{(j_t-1)} \quad (j_t = 1, 2, \dots, j'_t) \quad (4)$$

$$\mathbf{W}'_t = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}, \quad k_t \in \left[ \frac{k_{ts}}{2^{j'_t-j_t}}, \frac{k_{te}}{2^{j'_t-j_t}} \right]$$

ここで、 $\mathbf{W}'_t$  : Haar 基底の 1 次元 Wavelet 逆変換行列である。さらに、式(4)で得られる任意時間解像度レベル  $j'_t$ 、任意指定時間領域の時系列データに対し、空間方向に次の式(5)の再構成を適用する。

$$\mathbf{X}_{s,k_x,k_y}^{(j_s)} = \mathbf{W}'_s \mathbf{S}_{s,k_x,k_y}^{(j_s-1)} \quad (j_s = 1, 2, \dots, j'_x) \quad (5)$$

$$\mathbf{W}'_s = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{pmatrix}, \quad k_x \in \left[ \frac{k_{xs}}{2^{j'_s-j_s}}, \frac{k_{xe}}{2^{j'_s-j_s}} \right],$$

$$k_y \in \left[ \frac{k_{ys}}{2^{j'_s-j_s}}, \frac{k_{ye}}{2^{j'_s-j_s}} \right] \quad \text{ここで、} \mathbf{W}'_s \text{ : Haar 基底の}$$

2 次元 Wavelet 逆変換行列である。式(4)、式(5)により任意時空間解像度レベルかつ任意指定時空間領域の時系列データ  $c_{LLL, k_x, k_y, k_t}^{(j'_x, j'_y, j'_t)}$  を MRR 内から部分的に検索し、利用することが可能となる。

## 3. 多重解像度時系列データのインクリメンタル更新アルゴリズム

次に、画像が一定期間毎に 1 枚ずつ順次追加される際に、既存の MRR をインクリメンタルに更新するためのアルゴリズムを提案する(図 3)。

手順 1) 既存の時系列データ内の画像は、式(2)(3)を用いて 2 のべき乗の枚数単位で MRR 化しておく。その際、余った画像データは、式(2)を用いて空間解像度レベル  $j_s$  のみ 0 になるまで空間方向の MRR 化をしておく。

手順 2) 新たな画像データが 1 枚追加される毎に、そのデータに対し式(2)により空間方向の分解を行い、空間解像度レベル  $j_s$  を 0 にする。

手順 3) 式(1)のデータの  $k_t$  が奇数の場合、式(3)により時間方向の分解を 1 レベル行う。 $k_t$  が偶数の時は手順 2)を行う。

手順 4) 手順 3)を行った後の  $k_t$  が奇数の時は  $c_{L,k_t}^{(j_t)}$ ,  $d_{H,k_t}^{(j_t)}$  それぞれが隣接し、 $k_t$  が昇順になるようにデータの入換えを行った後、手順 3)を行う。

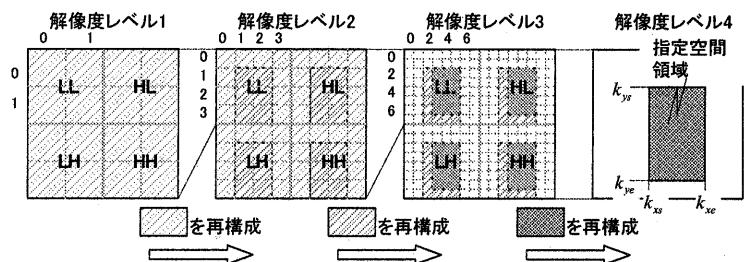


図 2：任意時空間領域の再構成

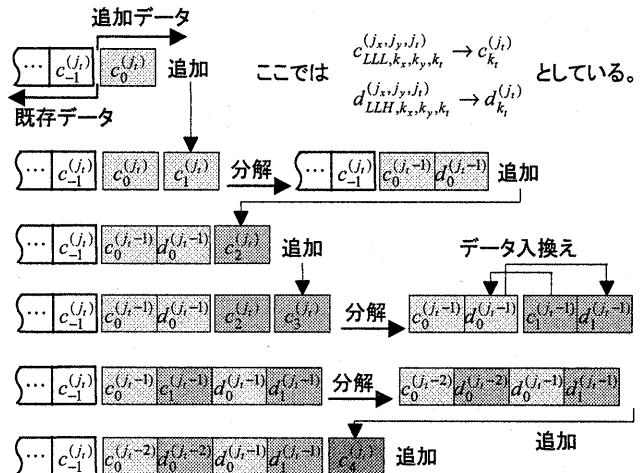


図 3：インクリメンタル更新

## 4. 今後の課題

本研究では今後、時系列データの欠落部の補間にによる推定方法、MRR を利用した時系列データの圧縮、これらのリレーショナルデータベースへの実装等を予定している。

## 参考文献

- [1] 今井 雅士 他：“3 次元 Haar ウェーブレット変換に基づく時空間データの効率的解像度制御手法とその衛星リモートセンシングデータへの適用”，日本 GIS 学会学術講演論文集, Vol. 9, pp. 165-168, 2000.
- [2] Hosam Khalil, : “Three-Dimensional Video Compression Using Subband/Wavelet Transform with Lower Buffering Requirements”, IEEE Transactions on Image Processing, vol. 8, no. 6, pp. 762-773