

3D整数型ウェーブレット変換に基づく衛星リモートセンシング時系列データのロスレス圧縮

北海道大学大学院工学研究科 ○今井 雅士, 金井 理, 岸浪 建史

要旨

本研究では, リモートセンシングで扱う時系列画像データに対する時間方向の相関を考慮したロスレス圧縮の概要を述べ, その第1段階として, 3D 整数型ウェーブレット変換に基づいた, データの多重解像度表現(MRR)への変換手法について述べる.

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画像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圧縮保存し, 利用・解析目的に応じた様々な解像度でデータを再構成する手法が要求されている. また, リモートセンシングで扱う時系列画像データに対しては, ロスレスかつ時間方向の相関を考慮した圧縮が可能でなければならない.

画像の圧縮では, JPEG2000^{[1][2]}のようなウェーブレット変換を用いた手法が, 今後主流となると考えられる. 現在商用リモートセンシング画像圧縮として ECW^[3]や MrSID^[4]等が提案されている. さらに motion-JPEG2000 も提案されているが, これらはロスレス圧縮やデータの時間方向の相関を考慮した圧縮をしておらず, 定期的に観測されるインクリメンタルな画像追加に対しても対応していない.

著者らは, 3D Haar ウェーブレット変換を衛星リモートセンシング時系列画像データへ適用し, このデータを多重解像度表現(MRR)化し, インクリメンタルなデータの追加, および任意時空間解像度を持つ局所的時空間領域の再構成を行う手法に関し提案してきた^[5]. しかし, この手法ではデータの圧縮符号化については議論していない.

そこで本研究では図1のように, 時間方向の相関を考慮したリモートセンシング時系列画像データのロスレス圧縮の概要を述べ, その第1段階として, 3D 整数型ウェーブレット変換による時系列画像データの MRR への変換手法を述べる.

2. 3D整数型ウェーブレット変換による時系列画像データの多重解像度表現化

衛星リモートセンシングから得られた 8bit 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.

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

$k_x \in [0, N_x - 1], k_y \in [0, N_y - 1], k_t \in [0, N_t - 1]$ 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.

式(1)に対する MRR は, 式(2)を順次 x, y, t 軸方向に対し, 再帰的に式(2)を適用することにより得られる.

$$\mathbf{S}_{B,L_n}^{(j_n-1)} = \mathbf{W}(\mathbf{X}_{L_n}^{(j_n)}) \quad (j_n = J_n, J_n - 1, \dots, 1) \quad (2)$$

ここで, $\mathbf{S}_{B,L_n}^{(j_n-1)} = [d_{H,L_n}^{(j_n-1)}, s_{L,L_n}^{(j_n-1)}]$: ウェーブレット変換後のスペクトル, $\mathbf{X}_{L_n}^{(j_n)}$: ウェーブレット変換前の画素値, \mathbf{W} : 1次元ウェーブレット変換を表す演算, $B=L$: 低周波成分, $B=H$: 高周波成分, $n \in \{x, y, t\}$ である.

JPEG2000 ではロッキーな圧縮からロスレス圧縮まで可能である. 本研究では時間方向の相関を考慮したロスレス圧縮を行うため, [6]で提案されている整数型 Haar 変換である S 変換と, JPEG2000 で採用されている可逆(整数) 5×3 変換, 可逆(整数) 9×7 変換を 3D へ拡張した 3D 整数型ウェーブレット変換を利用して時系列データの MRR 化を行う.

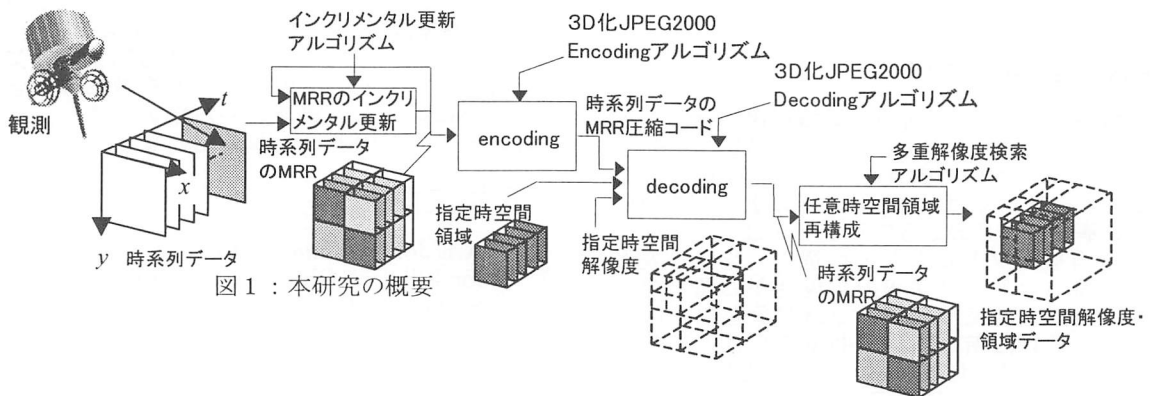


図1: 本研究の概要

i) S変換(整数型 Haar 変換)

$$\begin{aligned} d_{H,l_n}^{(j_n-1)} &= s_{L,2l_n+1}^{(j_n)} - s_{L,2l_n}^{(j_n)} \\ s_{L,l_n}^{(j_n-1)} &= s_{L,2l_n}^{(j_n)} + \left[d_{H,l_n}^{(j_n-1)} / 2 \right] \\ \mathbf{X}_{L,l_n}^{(j_n)} &= [s_{L,2l_n}^{(j_n)}, s_{L,2l_n+1}^{(j_n)}]^T. \end{aligned} \quad (3)$$

ii) 可逆(整数) 5×3 変換

$$\begin{aligned} d_{H,l_n}^{(j_n-1)} &= s_{L,2l_n+1}^{(j_n)} - \left[\frac{s_{L,2l_n}^{(j_n)} + s_{L,2l_n+2}^{(j_n)}}{2} \right] \\ s_{L,l_n}^{(j_n-1)} &= s_{L,2l_n}^{(j_n)} + \left[\frac{d_{H,2l_n-1}^{(j_n-1)} + d_{H,2l_n+2}^{(j_n-1)} + 2}{4} \right] \\ \mathbf{X}_{L,k_n}^{(j_n)} &= [s_{L,2l_n-2}^{(j_n)}, s_{L,2l_n-1}^{(j_n)}, s_{L,2l_n}^{(j_n)}, s_{L,2l_n+1}^{(j_n)}, s_{L,2l_n+2}^{(j_n)}]^T. \end{aligned} \quad (4)$$

iii) 可逆(整数) 9×7 変換

$$\begin{aligned} d_{H,l_n}^{(j_n-1)'} &= s_{L,2l_n+1}^{(j_n)} + \left[\alpha(s_{L,2l_n}^{(j_n)} + s_{L,2l_n+2}^{(j_n)}) + 1/2 \right] \\ s_{L,l_n}^{(j_n-1)'} &= s_{L,2l_n}^{(j_n)} + \left[\beta(d_{H,l_n}^{(j_n-1)'} + d_{H,l_n-1}^{(j_n-1)'}) + 1/2 \right] \\ d_{H,l_n}^{(j_n-1)} &= d_{H,l_n}^{(j_n-1)'} + \left[\gamma(s_{L,l_n}^{(j_n-1)'} + s_{L,l_n-1}^{(j_n-1)'}) + 1/2 \right] \\ s_{L,l_n}^{(j_n-1)} &= s_{L,l_n}^{(j_n-1)'} + \left[\delta(d_{H,l_n-1}^{(j_n-1)} + d_{H,l_n+1}^{(j_n-1)}) + 1/2 \right] \\ d_{H,l_n}^{(j_n-1)} &= -Kd_{H,l_n}^{(j_n-1)'} \quad s_{L,l_n}^{(j_n-1)} = (1/K)s_{L,l_n}^{(j_n-1)'} \\ \alpha &\approx -1.586134342 \quad \beta \approx -0.05298011854 \\ \gamma &\approx 0.8829110762 \quad \delta \approx 0.4435068522 \\ K &\approx 1.149604398 \quad \text{である.} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\mathbf{X}_{L,l_n}^{(j_n)} = [s_{L,2l_n-4}^{(j_n)}, s_{L,2l_n-3}^{(j_n)}, s_{L,2l_n-2}^{(j_n)}, s_{L,2l_n-1}^{(j_n)}, s_{L,2l_n}^{(j_n)}, s_{L,2l_n+1}^{(j_n)}, s_{L,2l_n+2}^{(j_n)}, s_{L,2l_n+3}^{(j_n)}, s_{L,2l_n+4}^{(j_n)}]^T.$$

これら 1D の整数変換を空間(x, y)方向, 時間(t)方向それぞれに, 順次再帰的に適用することにより, 3D 整数型ウェーブレット変換が行われる. 3D 整数型ウェーブレット変換によって得られた MRR に対する符号化・復号化は, JPEG2000 の規格を拡張し行う.

図 2 に, 衛星リモートセンシング時系列データの空間方向に対して 3D S 変換を適用し, MRR に分解した例を, また図 3 に S 変換を用いて局所的空間領域のみを再構成した例を示す. 利用データは気象衛星 NOAA による赤外線海面温度データで, $512 \times 512 \times 4(x \times y \times t)$ を用いた.

3. 今後の課題

本研究では今後, JPEG2000 におけるエンコーディング・デコーディングの 3D 化の拡張を行い, 圧縮データのインクリメンタル更新, および任意の時間空間解像度による局所的時空間領域の再構成アルゴリズム(ROI: Region of Interest)の提案と, その実装を予定している.

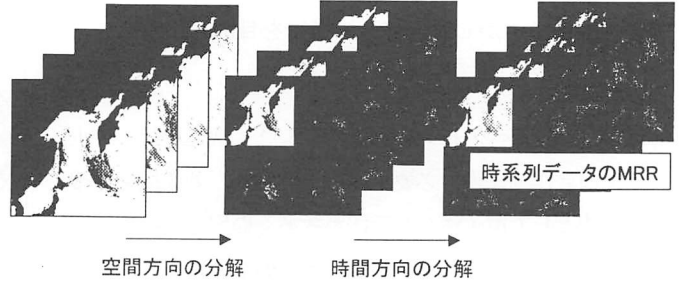


図 2 : S 変換によるリモートセンシング時系列画像の MRR 化

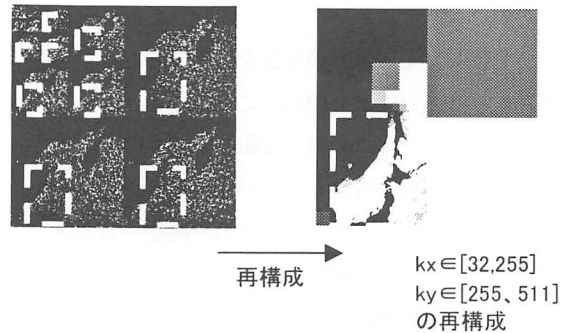


図 3 : S 変換による局所領域の再構成

参考文献

- [1] ISO/IEC JTC 1/SC29/WG1, "INFORMATION TECHNOLOGY", JPEG2000 Part 1 Final Committee Draft Version 1.0, April, 2000.
- [2] 野水 泰之: "次世代画像符号化方式 JPEG2000", トリケップス, 2001.
- [3] <http://www.ermapper.com>
- [4] <http://www.lizardtech.com/products/mrsid.html>
- [5] 今井 雅士 他: "3次元 Wavelet 変換に基づいたラスタ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", 第 62 回情報処理学会学術講演論文集, 6R-01, 2001.
- [6] A. R. Calderbank et al: "Wavelet Transforms That Map Integers to Integers", Applied And Computational Harmonic Analysis, vol.5, pp.332-369, 1998.