

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

北海道大学工学研究科 ○今井雅士 金井理 岸浪建史
北海道大学水産科学研究科 齋藤誠一

要旨

本研究では、3次元 Haar ウェーブレット変換を衛星リモートセンシングから得られた時系列画像へ適用し、時空間方向の適用順序に依存せず、また、任意の解像度を効率的に得るための手法を提案し、計算機シミュレーションによりその有効性を検証する。

1 はじめに

ラスタ型リモートセンシング時空間データは、その時空間データの用途や、利用するアプリケーションの種類により、様々な時空間解像度を持つデータへ変換された形での利用が要求される。この時、時空間データを多重解像度表現(MRR)として保存しておく事で、目的とする時空間解像度への変換処理を非常に効率よく行う事が可能となる。しかし、現在の地理情報システム等では、時空間データを最高解像度のままで保存しているため、上記の様な機能は実現されていない。

そこで、本研究では MRR を得る方法として注目されているウェーブレット変換(WT)を3次元に拡張し、ラスタ型時系列データとして表される時空間データに対して適用する事で、このデータを MRR へ変換しておき、MRR から効率的に時間・空間の再構成手順に依存せず任意解像度の時空間データを効率的に再構成する手法を提案する。また、この手法を具体的な衛星リモートセンシングデータに適用し、その有効性を確認する。

2 ウェーブレット変換と多重解像度解析

データの MRR を得るための有力な手法として WT が提案されている[1~3]。図1に示す1次元離散データ $f^{(j+1)}$ の分解・再構成は式(1)~(3) で与えられる。

$$f^{(j)}(x) = \sum_k c_k^{(j)} \phi(2^j x - k) \tag{1}$$

$$g^{(j)}(x) = \sum_k d_k^{(j)} \psi(2^j x - k) \tag{2}$$

$$f^{(j+1)}(x) = f^{(j)}(x) + g^{(j)}(x) \tag{3}$$

$$= \sum_k c_k^{(j)} \phi(2^j x - k) + \sum_k d_k^{(j)} \psi(2^j x - k)$$

ここで j は解像度レベル、 $f^{(j)}(x)$ は解像度レベル j における近似、 $g^{(j)}(x)$ は近似の際に失われた細部、 $c_k^{(j)}$ はスケーリング係数、 ϕ はスケーリング関数、 $d_k^{(j)}$ はウェーブレット係数、 ψ はウェーブレットである。

また、式(3)を再帰的に用いることにより、式(4)右辺のように関数 $f^{(j+1)}(x)$ の多重解像度表現(MRR)が得られる。

$$f^{(j+1)} = f^{(j)} + g^{(j)} \tag{4}$$

$$= \dots = f^{(0)} + g^{(0)} + g^{(1)} + \dots + g^{(j)}$$

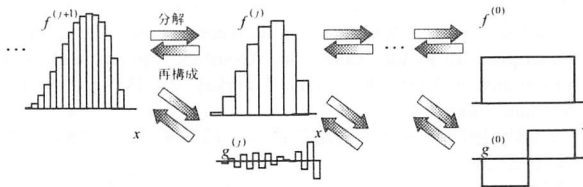


図1：分解・再構成の例

3 Haar WTによる分解・再構成アルゴリズム

2節で述べた WT に基づく分解アルゴリズムは式(5)、(6)で、再構成アルゴリズムは式(7)で与えられる。

$$c_k^{(j-1)} = \sum_{l \in Z} a_{l-2k} c_l^{(j)} \tag{5}$$

$$d_k^{(j-1)} = \sum_{l \in Z} b_{l-2k} c_l^{(j)} \tag{6}$$

$$c_k^{(j)} = \sum_{l \in Z} \{ p_{2k-l} c_l^{(j-1)} + q_{2k-l} d_l^{(j-1)} \} \tag{7}$$

ここで、 $\{a_k\}, \{b_k\}$ は分解数列、 $\{p_k\}, \{q_k\}$ は再構成数列であり、利用するウェーブレットにより決定される。Haar ウェーブレットの場合は $a_0 = a_1 = 1/2, b_0 = 1/2,$

$b_1 = -1/2, p_0 = p_1 = 1, q_0 = 1, q_1 = -1$ となる。

4 WTによる多次元データの分解・再構成手法

WT に基づく多次元データの分解・再構成にはスタンダード、ノンスタンダードの2つの手法がある[4]。スタンダード分解は1つの次元に対して分解操作を連続して繰り返し、その次元の解像度が最も低くなってから次の次元の分解操作に移る。一方、ノンスタンダード分解は、各次元に対して1レベルずつ解像度を下げる分解操作を巡回的に行っていく。再構成は、それぞれ分解の逆手順を実施することでなされる。

スタンダード分解・再構成は分解・再構成する手順に因らず、任意の解像度を再構成できるという利点があり、ノンスタンダード分解・再構成は近似データのサイズが相似のまま解像度を変更することが可能であり、かつ、スタンダード分解・再構成に比べ比較的計算量が少ないという利点がある。

5 3次元 HaarWTに基づく効率的解像度制御手法

ラスタ型時系列データである時空間データを任意の解像度に再構成する際、画像(空間)に関しては縦横比を一定に保ちつつ解像度を変化させ、時間に関してはある物理量の一定期間における平均値などを任意に再構成できることが要

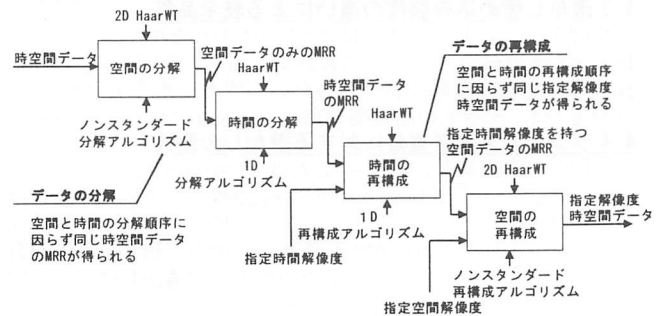


図2：3次元 HaarWT に基づく時空間データの効率的解像度制御手法

求される。逆に、画像のアスペクト比を大幅に変える要求は少ないと考えられる。そこで本研究では、任意解像度の時空間データを再構成するために、空間に関してはノンスタンダード分解・再構成アルゴリズムを、時間に関しては1次元の分解アルゴリズムを用いることとした。まず、オリジナル時空間データの時間・空間解像度をそれぞれ選択した分解アルゴリズムにより分解し、時空間データのMRRを保存しておく。次に得られた時空間データのMRRに対し、時間・空間の解像度をユーザーが指定し、指定された解像度の時空間データを再構成により作り出す。ここで、分解・再構成の際の、時間・空間の順序は変更可能である。この解像度制御手法の流れを図2に示す。

6 衛星リモートセンシング時系列データへの応用

6.1 利用データと実装環境

本手法を地球観測衛星 NOAA による赤外線海面温度データ(512×512Pixel, 24Bit グレースケール、BIL フォーマット、1996年10月1日から256日分)に適用し、そのMRRを作成後、任意時空間解像度の海面温度データを再構成させた。処理計算機はPC/AT互換機(Celeron-400MHz, 384MB, Windows NT 4.0)を用いた。

6.2 任意時空間解像度の出力結果

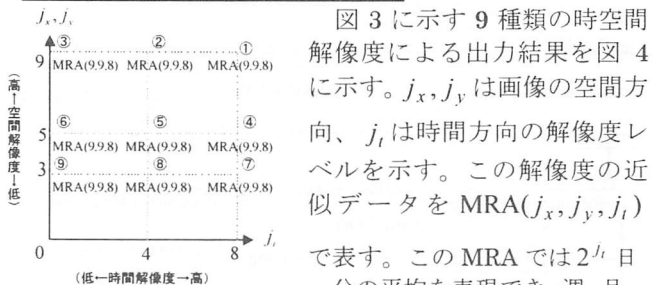


図3: 時空間解像度パターン

図3に示す9種類の時空間解像度による出力結果を図4に示す。 j_x, j_y は画像の空間方向、 j_t は時間方向の解像度レベルを示す。この解像度の近似データをMRA(j_x, j_y, j_t)で表す。このMRAでは 2^{j_t} 日分の平均を表現でき、週、月、年平均に近いデータを容易に得る事が出来る。

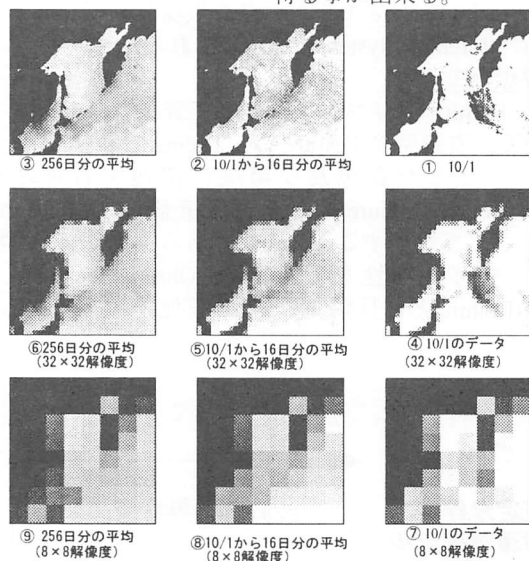


図4: 任意時空間解像度データ

6.3 分解・再構成手順の違いによる任意解像度の出力結果

図5に示すA~Dの4通りの分解・再構成手順による任意解像度の出力結果(図6)の比較を行った。また、これらの出力結果の差分値を求めた結果、全て0となったことから、提案する Haar ウェーブレットを用いた3次元WTは分解・再構成の順序に因らず、同一の時空間データを得ることが可能であることが分かる。

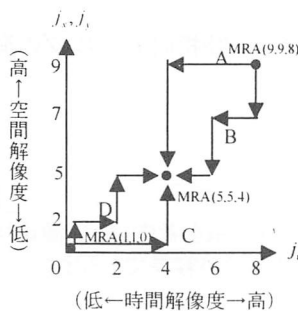


図5: 分解・再構成経路

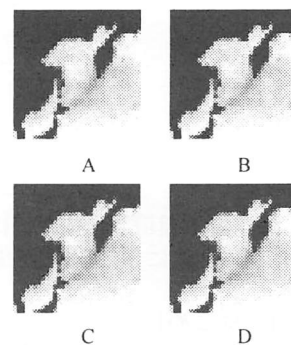


図6: 分解・再構成順序の違いによる出力データ

6.4 任意解像度構成までの時間比較

図7に示すMRA(1,1,1)、MRA(5,5,4)、オリジナルデータMRA(9,9,8)からa~fの6通りの指定解像度を構成するまでの処理時間の比較を行い、データをMRRとして保存しておくことの有効性を検証した。

図7: 指定時空間解像度

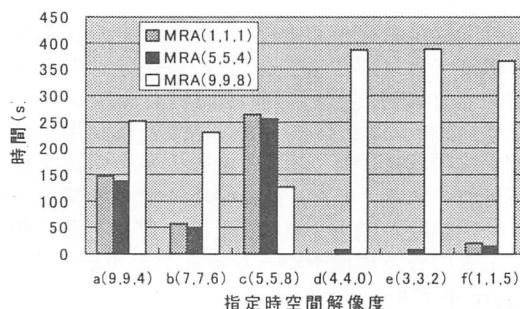


図8: MRAからの指定時間解像度までの時間比較

図8から、時空間データを保存しておく際、MRRとして保存しておく方が、オリジナルデータを保存しておくより、ほとんどの場合、効率的に必要な解像度のデータを再構成出来る事が分かる。また、目的とする時空間解像度が保存してあるデータ解像度のすぐ近くの場合、目的とする時空間解像度に近いMRRから分解もしくは再構成した方が、最も低解像度まで分解したMRRから再構成するより高速である事も分かる。

7 おわりに

本研究では、ラスタ型時空間データの効率的解像度制御のため、2次元ノンスタンダード分解・再構成、及び1次元分解・再構成を混合した3次元HaarWTに基づく時空間データのMRR作成アルゴリズムと解像度制御アルゴリズムを提案し、実際にリモートセンシングデータを対象とした評価実験からその有効性を確認した。

[参考文献]

- [1] 榎原 進: ウェーブレットビギナーズガイド, 東京電機大学出版, 1995
- [2] 桜井 明, 新井 勉: ウェーブレット入門, 東京電機大学出版, 1993
- [3] 桜井 明, 新井 勉: ウェーブレット応用, 東京電機大学出版, 1997
- [4] Stollnitz E.J, DeRose T, Salesin D.H: Wavelet for Computer Graphics: Theory and Applications, Morgan Kaufmann, 1996.