

JPEG2000 のウェーブレット変換を活用した 河川水位検出アルゴリズム

Water Level Detection based on Wavelet Transform of JPEG2000

今井裕二 岩橋政宏
Yuji IMAI Masahiro IWAHASHI

長岡技術科学大学工学部電気系
Department of Electrical Engineering, Nagaoka University of Technology

1. まえがき

現在、河川の水位観測はテレメータにより実施されているが、水位計を用いた水位観測所は一般にコストが高く、設置には河川管理主の認可を要するため、場所および数が一級河川の数箇所に限定されている[1,2]。一方、ウェブカメラによる河川映像の遠隔観測システムは比較的安価であり、用水路や水門など広範囲に設置されているが、水位を常時観察する機能は有していない。本報告では、河川映像から昼夜にわたり水位を抽出して記録し、必要に応じて映像そのものを観測可能な河川監視システムについて、実験結果を紹介する。

映像から水位を抽出する方法としては、高木らによる傾斜量水板を用いた方法が提案されている[3,4]。しかし、水中に流水を妨げる物体を設置することは河川法により厳しく管理されており好ましくない[5]。そこで本報告では、河川映像から「流水」領域を抽出することで、河川の水位あるいは川幅を検出する方法を提案する。

先に我々は、田中らによるガボールフィルタを用いたテクスチャ判別法を応用することで[6]、河川流水部観察に特化したパノラマ画像生成法を提案した[7]。今回はとくに「水が流れている」ことに起因する映像上の性質に着目し、時間方向フィルタリングを導入することで、流水部分とそれ以外との判別精度を向上させる方法を提案する。更に、適宜実際の映像を観察する必要があることから、映像を JPEG2000 で圧縮伝送するという仮定の下で、流水部分の判別処理には JPEG2000 の Wavelet 変換を活用する[8]。これにより圧縮の IP コアを認識の一部転用できるため、開発期間の短縮や回路の小型化が期待できる。

2. 提案法における処理

2.1 流水部分の判別方法

図 1 (a) に示すような上部が「陸」で下部が「流水」となるような映像を撮影する¹。既に「陸」あるいは「流水」と分かっている領域からそれぞれの教師画像を抽出し、これから判断しようとする画像領域について、どちらに近いかを画素毎に判別する。図 1 (d) は判別結果の例であり、この二値画像から次節の方法により水位を検出する[9]。

「陸」と「流水」の判別は、特徴空間内での距離に基づく最尤推定を利用する[6,7]。特徴量としてはガボールフィルタが使われる場合が多いが、本報告ではとくに JPEG2000 の Wavelet 変換 (9*7 フィルタ) を用いる。図 1 (c) は得られた 4 つの帯域であり、圧縮の一環として生成されたこれらの信号を特徴量として転用する。

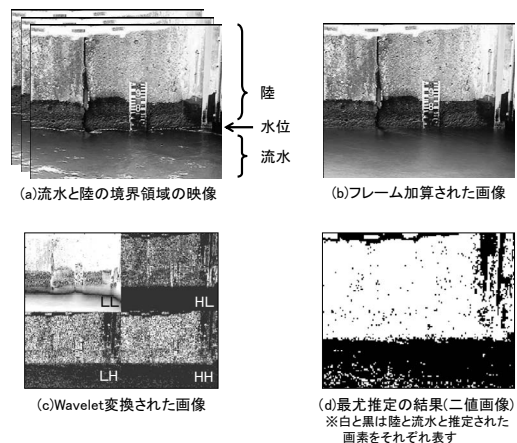


図1 JPEG2000 Wavelet と最尤推定により「流水」と「陸」のどちらかに判別する。フレーム加算により精度を向上させる。

¹ 河川全体の映像から一部を切り取ってアフィン変換により生成しても良い。

2.2 水位の検出方法

図1(d)に示した二値画像から、図2に示す手順により「水位」を検出する。最尤推定の結果として陸か流水かが画素毎に判別されるので、この二値画像の各水平ラインについて、陸画素の数を数えて横方向ヒストグラムを生成する。次に、その縦方向の積算値を数えて縦方向ヒストグラムを生成すると、「流水」と「陸」のそれぞれに起因するクラスが2つ現れる。両者の境界を定めて逆算すれば画像上の水位が画素単位で検出される。詳細は[9]を参照。

2.3 フレーム同期加算の導入

本報告では特に「水が流れている」ことに起因する映像上の性質に着目することで、流水部の判別精度を向上させる。具体的には、フレーム同期加算（時間方向の低域通過フィルタリング）を導入する。これにより、陸部の静止部分はとくに変化せず、流水部分の高域成分が低減される。図1(a)の原映像に比べ図1(b)では「流水」の領域が滑らかになっている²。教師画像については高域成分が抑圧されることが図3(e),(f)から確認できる。結果、「流水」と「陸」との特徴の違いが顕著となり、判別の精度を向上できる。

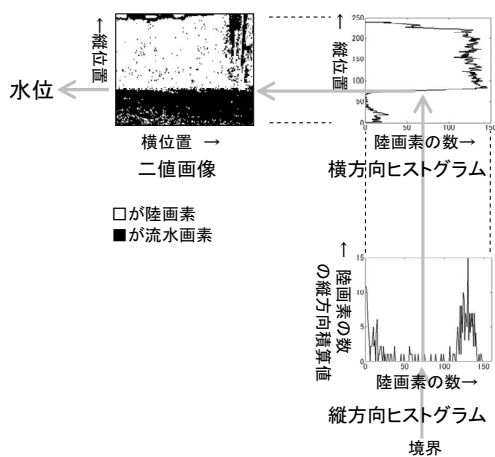


図2 最尤推定結果(二値画像)の各水平ラインについて、ヒストグラムを生成し「流水」と「陸」のいずれか(2つのクラス)に判別し、両者の境界を「水位」とする。

2.4 最尤推定について

本報告では、1ステージの Wavelet 変換により得られる4つの帯域信号を特徴量として、最尤推定により判別対象となる画素を「陸」($k=0$)あるいは「流水」($k=1$)のどちらかに分類する。位置(m,n)に存在する画素の特徴ベクトル $\mathbf{G}(m,n)$ がクラス T_k に属する確率密度関数を多次元ガウス分布、

$$P(\mathbf{G}(m,n)|T_k) = \frac{1}{2\pi\sqrt{|C_k|}} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2}d_k^2(m,n)\right)$$

と仮定して、

$$d_k^2(m,n) = (\mathbf{G}(m,n) - \boldsymbol{\mu}_k)^T \mathbf{C}_k^{-1} (\mathbf{G}(m,n) - \boldsymbol{\mu}_k)$$

と表されるマハラノビス距離 $d_k^2(m,n)$ に基づき個々の画素が属するクラス T_k を判別する。ここで $\boldsymbol{\mu}_k$ および \mathbf{C}_k は平均値ベクトルおよび共分散行列をそれぞれ表す[6]。

既知の水位を基準に数画素分だけ上と下から、陸と流水それぞれの教師画像を選び、水位近傍の画素について判別することで、水位情報を新しく更新する。水位を含む複数の映像領域から判別結果を得てこれらを総合することで、外乱に対する堅牢性を実現する。

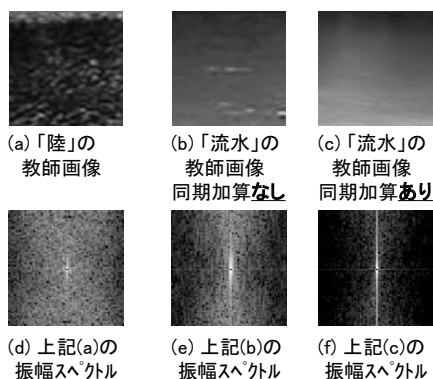


図3 最尤推定では「陸」と「流水」の教師画像を予め指定し、どちらに近いかを入力画像の画素毎に判別する。

² 陸部には風に靡かない構造物などの模様が含まれるようにカメラを設置する必要がある。

3. 実験結果

3.1 同期加算に用いるフレームの数

水面が常時動いている流水部分については、フレーム同期加算により高域成分が抑圧される。結果として、流水領域における画素の分散値が小さくなるが、陸領域においては変わらない。この様子は各領域における分散の比を示した図4により確認できる。今回はSONYハンディカムにより撮影された秒間30フレームの映像を実験に用いた。実験結果より、最小の加算数としては概ね40フレーム程度が必要である。

特徴量としてWaveletのHL帯域を用いた場合について、図2の縦方向ヒストグラムに対応する実験結果を図5に示す。陸と流水のクラスタの分離度が、フレーム同期加算により向上することが確認できる。判別精度についても同様に図7から確認できる(表1の映像を使用)。

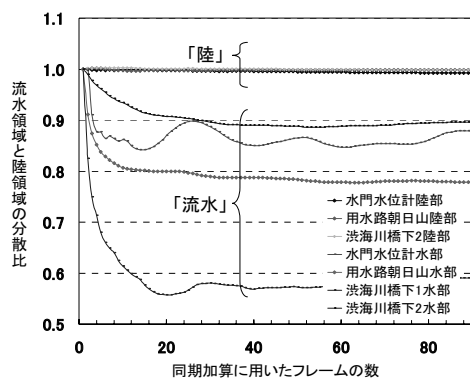


図4 フレーム同期加算により、「流水」領域の分散値は小さくなるが、「陸」領域では変わらず、両者の差が顕著となる。

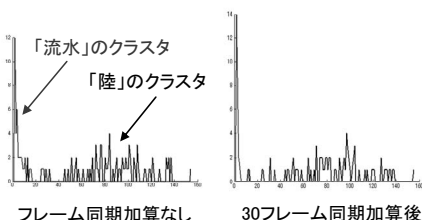


図5 フレーム同期加算により、縦方向ヒストグラムにおいて「流水」と「陸」のクラスタに分離される。HL帯域を使用した例。

3.2 特徴量に用いるWaveletの帯域

今回はWaveletを1ステージ適用した。これにより縦横共に半分の空間解像度で最大4つ(特徴ベクトルの次元が最大4である)の特徴量が得られる。ステージ数を増やせば特徴ベクトルの次元を増加できるが、空間解像度が半減するため水位の分解能も半減する。なお、同期加算は60フレームとした。

図6には判別結果の正答率(判別率)を示す。陸と流水の各領域について画素毎に判別の正否を測定した。図6(a)からは、帯域を1つ選ぶとしたらHLが平均62.2%と最も良い。表1に示す4つの映像に対して最も判別率が高く、映像ごとのばらつきが少なかった。図6(b)からは2つの帯域を選ぶならHLとHHが平均72.7%と良い。図6(c)からは3つならば更にLHを加えると平均73.2%になる。図6(d)からは、4つにすると性能が平均62.1%に低下する。結果、LLは特徴量として好ましくなく、特徴ベクトルの次元については、1や4次元では平均62%程度だが、2や3次元では平均73%程度と良いことが示された。

4. まとめ

本報告ではウェブカメラの映像から水位を検出するために、時間方向フィルタ(フレーム同期加算)により陸部と流水部の特徴量を顕在化させた上で、空間方向フィルタ(JPEG2000のウェーブレット変換)により特徴ベクトルを生成し、最尤推定によって流水部か否かの判別を行った。本報告では判別率に焦点を絞ったが、判別率と水位精度の関係は文献[9]を参照。

まず、フレーム同期加算により流水部のクラスタ内分散を縮小できることを示した。次に、ウェーブレット変換により得られる帯域信号を特徴量とする最尤推定を行い、HLとHH、あるいは更にLHを加えた2または3次元の特徴ベクトルにより平均73%程度の判別正解率を得た。また、1あるいは4次元の特徴量は判別に不利であり、LL帯域は判別上効果が少ないことが分かった。

今後は、本方法により実現可能な水位の分解能や精度の調査、雨や雪などの天候が悪く視界が悪い状況、種々のカメラ設置環境、24時間の監視による問題抽出など、実用化に向けて数多くの課題に取り組む必要がある。

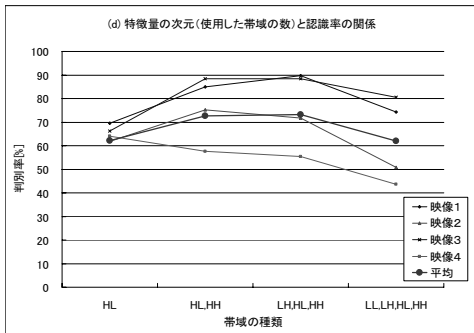
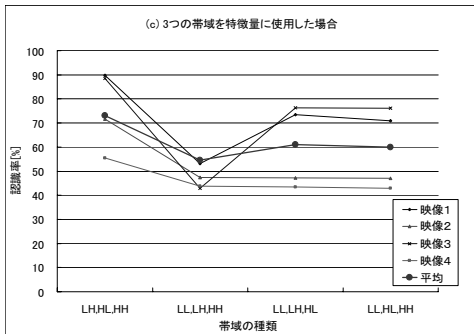
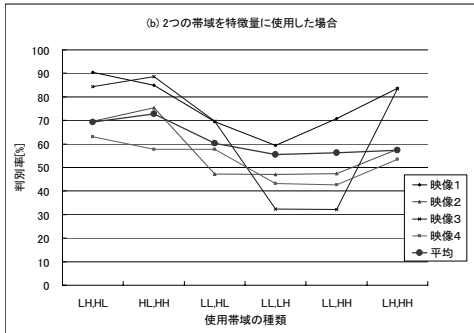
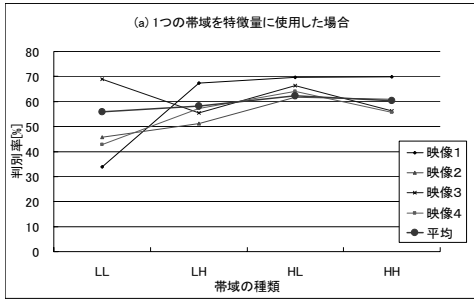


図6 特徴量に適したWavelet帯域の調査結果。LLは特徴量として好ましくない。特徴量の数は2または3程度が良い。

表1 種々の撮影条件下における判別率の調査結果

映像			判別率[%]			
場所	状態	種類	HL	HL, HL	LH, HL, HL	LL, LH, HL, HL
朝日山水路	晴れ・水透明	映像1	70	85	90	74
渋海川橋下	晴れ・底透過	映像2	62	75	72	51
技大下水門	晴れ・水濁り	映像3	66	89	89	80
稲葉川	雪・水透明	映像4	64	58	55	44

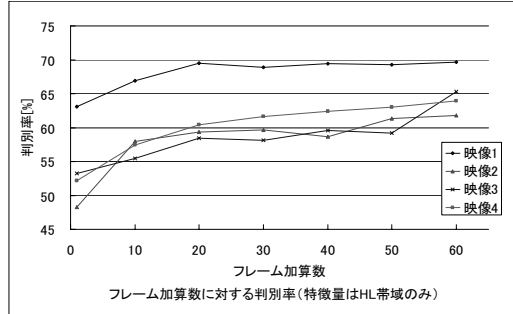


図7 フレーム同期加算数と判別精度の関係

参考文献

- [1] 総務省消防庁, "消防白書", 平成17年版
- [2] 国土交通省, "川の防災情報(テレメータ)", <http://www.river.go.jp/>
- [3] 高木陽市, 辻川秋雄, 斎藤健, 米丘孝幸, "カメラ画像解析による非接触式の水位計測技術の開発" 土木学会第55回年次学術講演会, 共通セッション SC-232, 2000, 464-465
- [4] 高木陽市, 米丘孝幸, 辻川秋雄, "カメラ画像解析を用いた非接触式水位計測技術" 検査技術, vol.6, No.7, 2001, 40-42
- [5] 国土交通省, "河川法"
- [6] 田中秀郎, 吉田靖夫, 深見公彦, 中野宏毅, "ガボールフィルタの振幅及び位相情報を用いたテクスチャ画像の領域分割", 信学論 Vol. J-84-D-II, No.12, pp.2565-2576, Dec. 2003
- [7] M.Iwahashi, J.Watanabe, M.Yokoyama, "Panoramic Image Generation for River Surveillance", IWAIT '06, International Workshop on Advanced Image Technology, no.P005-7, pp.827-832, (2006.1)
- [8] 小野定康, 鈴木純司, "わかりやすいJPEG2000の技術", オーム社, May.2003.
- [9] 齋藤淳史, 岩橋政宏, "河川水位検出のための時空間フィルタリングに関する一検討", 映像情報メディア学会, メディア工学研究会, ITE Tech.Rep. vol.30, no.17, pp.75-76 (2006.2)