

# フレーム同期加算とフィルタリングによる 河川水位検出アルゴリズム Water Level Detection Algorithm based on Synchronous Frame Addition and Filtering

齋藤淳史 岩橋政宏  
 長岡技術科学大学電気系

Atsushi SAITO Masahiro IWAHASHI  
 Department of Electrical Engineering, Nagaoka University of Technology

## 1 はじめに

水防活動の一環として河川水位を常時観測するテレメータが全国各地に設置されているが[1,2], 高価な水位計の使用がセンサーの増設を妨げる一因となっている. 本報告ではカメラ映像のみから水位を検出する方法について報告する.

高木らは傾斜量水板を河川内に設置して画像処理により水位を検出する方法を提案したが[4,5], 構造物の設置は河川法により厳しく管理されており好ましくない[3]. 量水板を設置しない場合, 水面の輪郭を抽出して水位を検出する方法も考えられるが, 背景の様相や水面の反射, 日照変化や水滴・降雨雪・霧等の外乱の影響を受けやすく, 安定した水位検出は困難である.

本報告では, フレーム同期加算とフィルタリングに基づく, 外乱に対して堅牢な水位検出アルゴリズムを提案する. 但し, 固定カメラ一台によるビデオ撮影を前提とし (Fig.1), 水位検出が可能な場合は流水時のみに限定される (Fig.2).

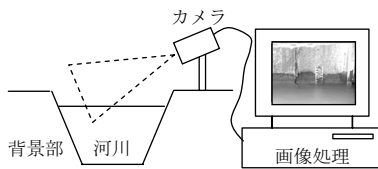
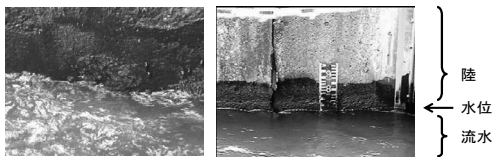


Fig.1 一台の固定カメラで動画を撮影する.



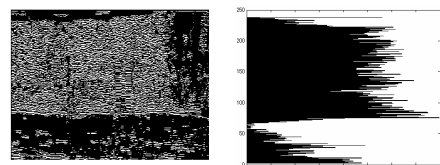
(a) サンプル A (b) サンプル B

Fig.2 量水板は不要だが流水時に限られる.

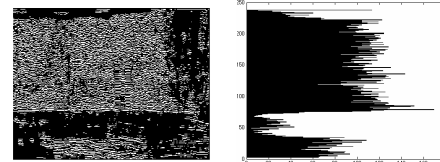
## 2 水面の輪郭抽出によるアプローチ

水位検出のために水面の輪郭を抽出しようとする場合, Fig.2 のような水平方向に存在する水面に対して, これと垂直な方向に微分オペレータを適用する方法が考えられる.

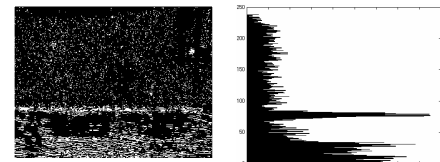
Fig.3 の左列には Fig.2 のサンプル B に対する処理結果を示す. 1 列目と 2 列目はあるフレームとその次のフレームへの適用結果である. 縦方向に微分した後に二値化してエッジ画素 (白) と非エッジ画素 (黒) に分類した. 右列は画像の各ライン (縦軸) におけるエッジ画素の数 (横軸) を示す. 水面の輪郭がエッジ画素として抽出されているが, 陸の部分にある水平方向の模様も抽出される. 3 列目は上記 2 つのフレームの差分画像を微分した結果であるが, こうした方法では安定した水面の検出は難しい.



(a) 1 フレーム目微分結果



(b) 2 フレーム目微分結果



(c) フレーム差分処理結果

Fig.3 縦方向の微分による水面輪郭の抽出例

### 3 提案するアルゴリズム

本報告では、背景の模様や水面の反射、日照変化や水滴等の外乱に対して堅牢な水位検出法として、フレームの同期加算とこれに対する最適フィルタリングに基づくアルゴリズムを提案する。

#### 3.1 水位検出の概要と特徴

Fig.4 に提案法する水位検出アルゴリズムの概要を示す。まず、河川映像から陸と流水が半分ずつ写っている領域を抽出する。次に、フレーム同期加算を行う。これにより、静止している陸部分の模様はほぼ変わらないが、流水部分の高周波成分が抑圧される。その後、陸と流水の特徴の違いを際立たせるようなフィルタ処理を施してから、画像領域を陸と流水のどちらかに判別し、両者の境界を水面すなわち水位とする。

#### 3.2 フレーム同期加算とフィルタ処理

Fig.7(a)とFig.6(a)に30フレームにわたり同期加算した場合としない場合をそれぞれ例示する。流水部分の高周波成分が抑圧されていることが確認できる。なお、この処理はカメラでの露光時間を長くすることで実現できる。

フィルタ処理については、Fig.5 に示すオペレータを縦あるいは横方向に適用した。Fig.6(b)とFig.7(b)の比較から、エッジ画素の含有率から領域を判別する上で、同期加算により陸と流水の違いが顕著となることが確認できる。Fig.7(b)と(c)の比較から、縦よりも横方向の微分の方が効果的となっている。フィルタリングについては、本報告では割愛するが、個々の画像に対して最適化することも出来る。

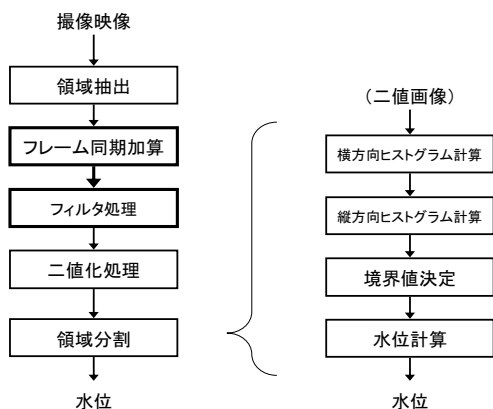


Fig.4 提案する水位検出アルゴリズム

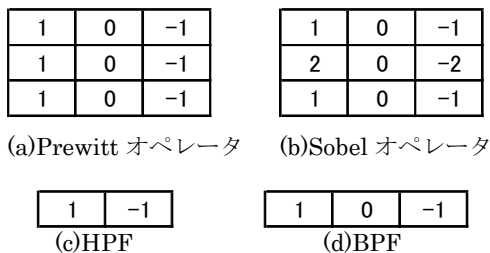
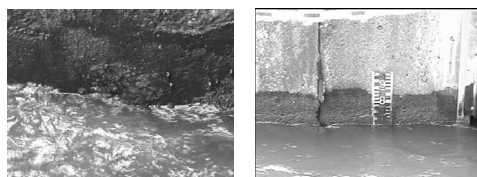
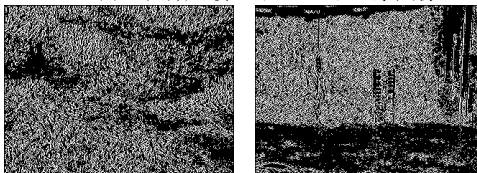


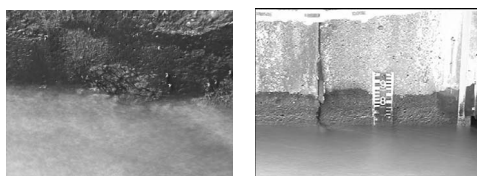
Fig.5 種々の微分オペレータ



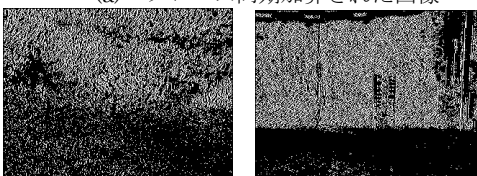
(a) 同期加算されていない原画像



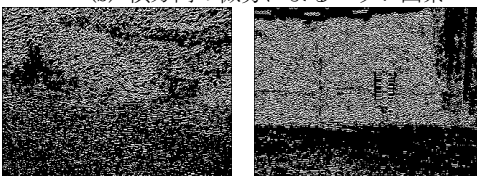
(b) 横方向の微分によるエッジ画素  
Fig.6 フレーム同期加算しない場合



(a) フレーム同期加算された画像



(b) 横方向の微分によるエッジ画素



(c) 縦方向の微分によるエッジ画素  
Fig.7 フレーム同期加算した場合

### 3.3 二値化処理

フィルタ処理後の二値化処理では、ある閾値をもとにエッジ画素か非エッジ画素かに分類する。Fig.6 と Fig.7 では、画像の絶対値の行列要素平均値の 75%を閾値とした。それ以外の値を用いた場合を Fig.8 に示す。この処理は、この例については閾値の選択にあまり依存していない。

### 3.4 領域分割の方法

以下、本報告における領域分割と水位計算の方法 (Fig.2 の右側に示した手順) について、Fig.9 を用いて具体的に説明する。

#### 【横方向ヒストグラムの計算】

二値化処理された画像の各ライン (縦位置) についてエッジ画素の数を求めて横方向ヒストグラムを生成する。例えば図の場合、上から一行目には 6 個、二行目には 7 個のエッジ画像が□で示されているので、各縦位置 (縦軸) についてエッジ画素数 (横軸) が 6 ならびに 7 としてプロットされている。

#### 【縦方向ヒストグラムの計算】

次に、横方向ヒストグラムの各エッジ画素数の値 (横軸) について、対応する縦位置が幾つ存在するかを数える。図の例では、横方向ヒストグラムの左から一列目には 2 個の、二列目には 1 個のエッジ画像数が■で例示されているので、各列についてエッジ画素数の縦方向積算値 (縦軸) が 2 ならびに 1 として縦方向ヒストグラムにプロットされている。

#### 【境界値の決定と水位の算出】

縦方向ヒストグラムには、陸と流水のそれぞれに関連する二つの分布 (クラス) が存在する。従って、これらを分離する境界を決定すれば、図中の灰色の矢印に沿って水位を決定出来る。

例えば、クラス内分散・クラス間分散比が最大となるように境界を定めてもよい。または、縦方向ヒストグラムを双峰性のガウス分布に帰着させて 2 つのクラスの境界を決定してもよい。

Fig.7(b) のサンプル画像に対する縦方向ヒストグラムの具体例を Fig.10 に示す。提案法により二つのクラスに分類されていることが分かる。両者の境界から、横方向ヒストグラムの対応点を経て、二値画像における陸と流水の境界として、最終的な目標である水位が算出される。

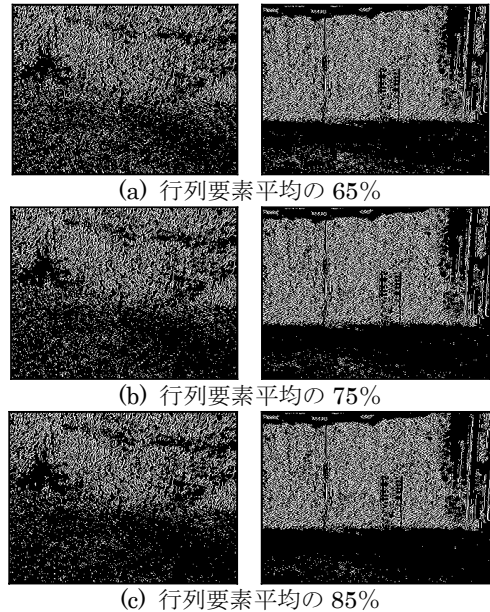


Fig.8 二値化処理における閾値の選び方

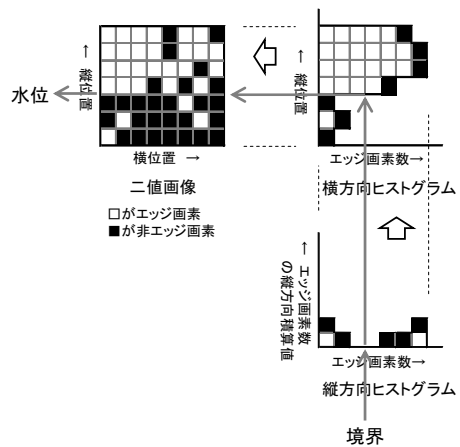


Fig.9 領域分割と水位計算の手順

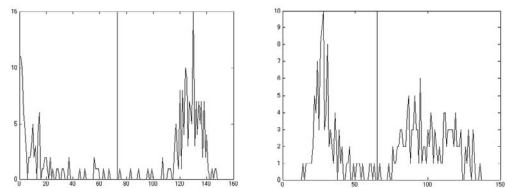


Fig.10 縦方向ヒストグラムの具体例

## 4 水位検出の実験結果

以下、提案法を実際の画像に適用した結果として得られた知見などについて列記する。

### 4.1 自動閾値法の適用について

本報告では、Fig.10 に示す縦方向ヒストグラムに自動閾値法[6]を適用することで境界を決定した。この方法は、クラス内分散とクラス間分散の比が最大となる点を閾値として、二つのクラスに分割する。クラス内分散・クラス間分散比は下式で定義され、分母がクラス内分散であり分子がクラス間分散を表す。

$$\frac{\tilde{\Sigma}_W}{\tilde{\Sigma}_B} = \frac{P(\omega_1)P(\omega_2)(\tilde{m}_1 - \tilde{m}_2)^2}{P(\omega_1)\tilde{\sigma}_1^2 + P(\omega_2)\tilde{\sigma}_2^2} \quad (1)$$

### 4.2 同期加算に用いるフレームの数について

同期加算に用いるフレーム数についての実験結果を以下に記す。Fig.11 には、Fig.2 のサンプル A について、様々なフレーム数のもとで同期加算を行った場合に得られた縦方向ヒストグラムを示す。同期加算のフレーム数を増やすことで、陸と流水へのクラスターリングがより確実となることが確認できる。

Fig.12 には、上記の自動閾値法による領域分割の結果として得られた二つのクラスのユークリッド距離  $|m_1 - m_2|$ 、但し、 $m_1$  と  $m_2$  は各クラスの平均値、を縦軸とし、横軸に同期加算に用いるフレーム数をプロットした。図によると、30 フレーム前後でユークリッド距離が一定となっている。このようにして同期加算に用いる必要最低限のフレーム数を算定すればよい。

### 4.3 フィルタの選択と水位検出精度について

Fig.5 に示した各フィルタを用いて水位を検出した結果を表 1~7 に示す。表中の精度は、目視で得た正しい水位を 100% としたとき、提案法によりえられた水位が正しい水位にどれだけ近いかを表している。概ね 90% 以上の精度が得られ、提案法による高精度な認識性能が確認できる。

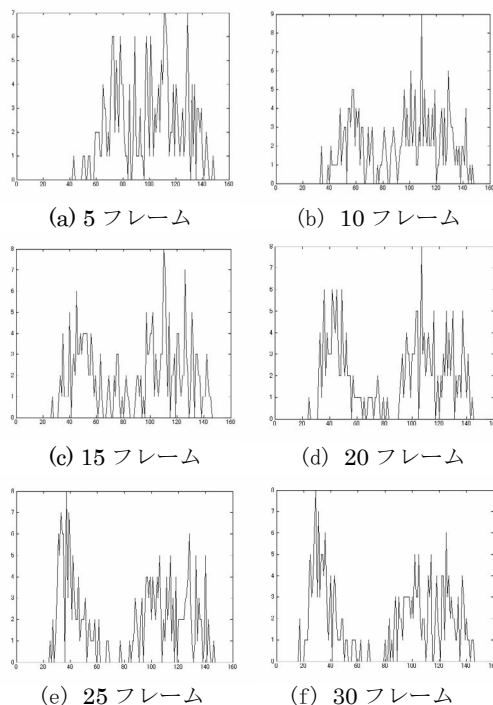


Fig.11 フレーム数と縦方向ヒストグラムの関係

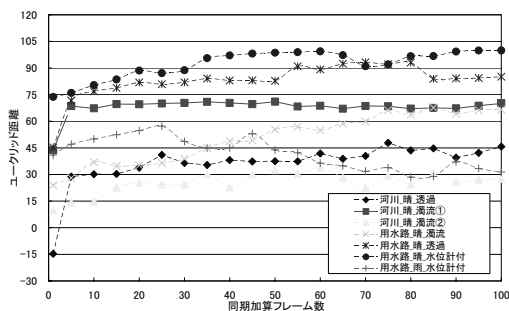


Fig.12 フレーム数とユークリッド距離の関係



表 1 【用水路①\_晴れ】

微分オペレータ	目視水位 [画素]	提案法水位 [画素]	誤差 [画素]	精度 [%]
HPF	78	77	1	99%
BPF	78	77	1	99%
Prewitt	78	77	1	99%
Sobel	78	77	1	99%

最も精度良く水位検出できた例。

Fig.5 に示す、どの微分オペレータを用いても差は確認できなかった。

表 2 【用水路①\_雨】

微分オペレータ	目視水位 [画素]	提案法水位 [画素]	誤差 [画素]	精度 [%]
HPF	53	48	5	91%
BPF	53	48	5	91%
Prewitt	53	95	42	21%
Sobel	53	96	43	19%

Prewitt・Sobel オペレータでの失敗例。

雨により背景（壁面）の高周波成分が減少し、さらに 3×3 マスクが縦方向に LP 処理をすることで極端に高周波成分をカットしたため、失敗してしまった。

表 3 【用水路②\_濁り】

微分オペレータ	目視水位 [画素]	提案法水位 [画素]	誤差 [画素]	精度 [%]
HPF	112	103	9	92%
BPF	112	103	9	92%
Prewitt	112	104	8	93%
Sobel	112	104	8	93%

全体的に精度が低い水位検出例。

この映像は Fig.2 (a) に示す映像であるが、水面が大きく波打ってしまい、目視水位の決定を困難にしている。そこで目視水位は波の最高点とした。提案法は波打つことで最高点付近は高周波成分が抑圧できているが、最高点では波の影響がほとんど出ないため、高周波成分を抑圧できず、目視水位に比べ提案法水位が低くなっている。

表 4 【用水路②\_透過】

微分オペレータ	目視水位 [画素]	提案法水位 [画素]	誤差 [画素]	精度 [%]
HPF	119	116	3	97%
BPF	119	111	8	93%
Prewitt	119	112	7	94%
Sobel	119	112	7	94%

HPF を用いたときが最も精度がよくなった例。

このサンプルは河川領域が透過であり、水位付近の水中で壁面や藻を映してしまっている。また撮影距離が近かったため、水位ラインに草木が重なっている。これらの要因が精度を落とす原因となっている。

表 5 【河川①\_透過】

微分オペレータ	目視水位 [画素]	提案法水位 [画素]	誤差 [画素]	精度 [%]
HPF	115	44	71	38%
BPF	115	120	5	96%
Prewitt	115	121	6	95%
Sobel	115	121	6	95%

HPF での失敗例。

このサンプルは橋脚を背景とした映像であり、橋脚付近は水面に独特なウネリが発生するため、時間方向 LPF を用いても水面の高周波成分を抑圧しきれない。BPF では水位検出が出来ているが Prewitt や Sobel に比べ安定した水位検出は期待できない。

表 6 【河川②\_透過】

微分オペレータ	目視水位 [画素]	提案法水位 [画素]	誤差 [画素]	精度 [%]
HPF	105	98	7	93%
BPF	105	103	2	98%
Prewitt	105	103	2	98%
Sobel	105	103	2	98%

河川の流れは無く、水面が揺らいている映像例。流れが無かったとしても、水面が揺らいていれば水位検出は可能である。この結果、河川以外（ダムなど水面に揺らぎしか発生しない場所）でも水位検出が可能であることを示している。

表 7 【河川③\_濁り】

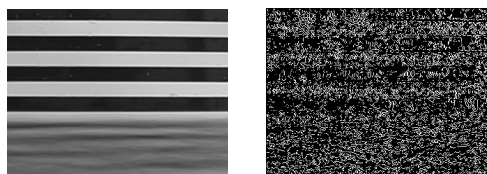
微分オペレータ	目視水位 [画素]	提案法水位 [画素]	誤差 [画素]	精度 [%]
HPF	122	119	3	98%
BPF	122	120	2	98%
Prewitt	122	118	4	97%
Sobel	122	118	4	97%

カメラが緩やかに動いてしまったため、水位ラインがぼやけてしまった例。30 フレーム程度の動きであれば精度にさほど影響は無い。Prewitt や Sobel オペレータは縦方向 LPF が施されるため、カメラの動きと併せて精度を落とす要因となっている。

#### 4.4 失敗例について

第一に本報告では河川が流れているものであるということを前提でアルゴリズムの作成を行っているため、流れのない河川では同期加算を行っても河川領域がぼやけず、領域判別が行えない。よって水位検出が不可能となる。

次に背景領域の様子が微分方向と同一方向の縞模様になったときである。微分方向を横方向で設定した後、背景領域が横縞模様に変更されると、背景領域に極端なエッジ画素が存在しなくなり、エッジ画素検出が困難になる。これは縦方向においても同様である。するとエッジ画素数での領域分割を行うことができなため水位検出も不可能となってしまう。例として、Fig.13 には横縞模様に横方向微分を行った結果を示す。



(a) 横縞モデル画像 (b) 横方向微分結果  
Fig.13 背景模様と微分方向が同じ場合

#### 4.5 フィルタの最適化について

表 1~7 に示した水位検出の結果、全てのサンプルで水位検出ができたフィルタは BPF であった。しかし、他のフィルタを使用した場合でも、水位検出は多くのサンプルで可能であり、その精度は BPF とほぼ変わりが無い。

今後の課題として、固定カメラ映像ごとに最適なフィルタを設計することが挙げられる。例えば、流水に対する畳み込み結果の分散値を最小化することも考えられる。

#### 4.6 様々な環境下での水位検出について

様々な天候や時間帯での水位検出については、フィルタの最適化と更新により対応できると考えられる。また、夜間については、赤外線投光機を用いるとして、流水部分については映像が真っ黒となるためその分散値はゼロに近づく。一方、陸部分には何らかの映像が写るため、提案法が適用できると考えられる。

#### 4.7 その他

空間的フィルタ		時間方向 フィルタ	外乱への効果	
縦方向	横方向		横縞	水面エッジ
HP/BP	AP	AP	×	×
		HP	○	×
		LP	×	○
AP	HP/BP	AP	○	×
		HP	○	×
		LP	○	○

従来法で示した河川の輪郭抽出によるアプローチは、空間的フィルタが縦方向[HP/BP]、時間方向フィルタが[HP]に当てはまる。この手法では壁面の水跡・苔などの横方向の高周波成分を除去することは可能だが、水面エッジが除去できないため、河川輪郭を抽出することが困難になる。

提案法は、空間的フィルタが横方向[HP/BP]、時間方向フィルタが[LP]である。横方向の高周波成分は空間フィルタより無視することが可能となる。また河川領域の高周波成分を抑圧することが可能となり、背景領域との領域判別が可能となる。

#### 5 まとめ

本報告では河川水位検出について、同期加算とフィルタリングに基づくアルゴリズムを提案し、その有効性をサンプル映像に対して確認した。水位検出の精度は概ね 90%程度であった。

今後の課題であるフィルタの最適化や様々な環境への対応については、今後の課題として別の機会に発表する予定である。

#### 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] 国土交通省、“河川法”
- [4] 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
- [5] 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
- [6] 大津、“判別および最小 2 乗基準に基づく自動しきい値選定法” 電子通信学会論文誌、Vol.J63-D、No.4、pp.349-356、1980