

ウェーブレット変換領域適応デジタルフィルタの開発と電子サイン照合への応用

代表研究者 中西 功 鳥取大学教育地域科学部助教授

共同研究者 伊藤 良生 鳥取大学工学部助教授

1 はじめに

近年、インターネットに代表されるネットワーク上での電子マネーの利用が着目されてきている。しかしながら、その実現においてはネットワーク上で機密情報の交換が行われるためにセキュリティを確保することが重要となる。データ自体の暗号化もその実現手段の一つであるが、利用者が本人であるかどうか識別することも重要な技術となる。従来このような個人識別手法については指紋や網膜などの生体的特徴による方法がよく用いられてきたが、これらの特徴は検出するための特別な機器が必要となり、利用できる環境が限定される。電子サイン（オンライン署名）はサインの書き順、速さ、筆圧が個人により特性が異なることを利用し、簡単な操作により高いセキュリティが実現されると考えられている[1]。加えて、携帯型のコンピュータ等に備わるペン入力（液晶画面上でのペンによる手書き入力）機能をそのまま利用することができ、実現されれば機能性、経済性でも大変優れる。しかしながら、実際にはサインの書き順、速さ、筆圧といった特徴は入力時期により変動しやすいため、そのような変動を抑制したり、変動に追従する技術が必要となる。

入力信号の変動に柔軟に対応する知的信号処理の一手法として適応デジタルフィルタ（ADF）がある。ADFは更新可能なフィルタ係数を有し、それを入力信号やフィルタの構成の応じて自動的に最適な係数を決定するもので、その中でも入力信号を離散フーリエ変換（DFT）や離散コサイン変換（DCT）等により変換を行った後に適応処理を行う変換領域ADFは常に高速な収束を実現できるという面で優れている。一方、ウェーブレット変換は時間・周波数の同時分解を可能にする解析方法の一つとして近年多くの分野で用いられている。フーリエ変換が滑らかな信号の処理を前提とするのに対し、ウェーブレット変換は滑らかでない不連続、非定常な信号に対しても適用可能で、なおかつ、スペクトルがどの時間に発生したかという情報を与えてくれる。

本報告では、ペンの動きをウェーブレット変換により時間-周波数解析を行った結果について示し、さらに、時間-周波数領域での適応処理によりサインの照合を行う方法について提案を行う。

2 署名実験

2.1 ペン情報の取り込み

今回、署名を電子化（データ化）する手段として市販の電子ペンタブレットを用いた。表1はペンタブレットの仕様である。このペンタブレットから得られるデータはペンの位置に関する横(X)軸と縦(Y)軸の座標値、並びに筆圧、傾きである。ここで、署名による個人認証において、筆記時間も個人特性の一つと考えられる。しかし、先に示した4つのペン情報から個人差を検出することを目的とするため、筆記時間の違いによる影響をなくすように、筆記時間に関しては正規化を行った。

Windows OSではペンタブレットを用いたアプリケーションに対してWINTABと呼ばれるインターフェイスが提供されている。そこで本研究では、このWINTABを通してペンの位置、筆圧、傾きを数値化し、ファイルへ書き出すプログラム（アプリケーション）を作成した。開発言語はC言語を用いた。

表1 ペンタブレットの基本仕様

読み取り可能範囲	127×99mm(A6版相当)
読み取り分解能	0.01mm
読み取り精度	±0.25mm
読み取り速度	最高 200 ポイント/秒
筆圧レベル	1024 レベル
傾き検出レベル	±64 レベル

2.2 署名データ

署名はタブレット上に履歴書の氏名欄サイズ（縦×横：15mm×100mm）を参考にした枠内で行った。これは先の筆記時間の正規化処理と同様の理由から筆記範囲を限定した。各被験者には日を分けて署名してもらった。また、タブレット上での筆記に十分慣れ、自然な状態で筆記した署名データが採取できるように署名前の練習を毎回義務づけた。ただし、本人署名においては過去に自分が署名したデータの参照を不可とし、詐称署名では、本人が署名したデータの文字形状を参考にしながら詐称してもらった。署名の形状とその4つのデータの例をそれぞれ図1、2に示す。

次に、いくつかの本人署名と詐称者署名の主観的比較から、

- ・「傾きデータ」は明らかな個人特性を含む。
- ・「筆圧データ」は同一筆者間でも筆記時によって特徴が異なる。
- ・「座標データ」、特にX座標データには個人差が現れにくい。

ということが見いだされた。座標データに個人差が生じない原因は、詐称者に本人の筆記文字の模倣を許したことによる。筆圧やペンの傾きは形跡を残さないために詐称されにくい反面、それらを検出するために高機能なペンタブレット装置が必要となる。座標データは文字形状として個人特徴そのものが残ってしまうために詐称されやすいが、特殊なペンタブレット装置を必要としないという利点がある。

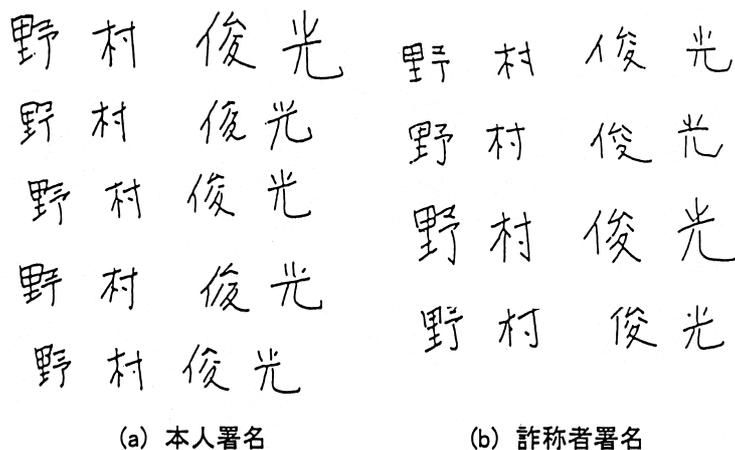


図1 署名例

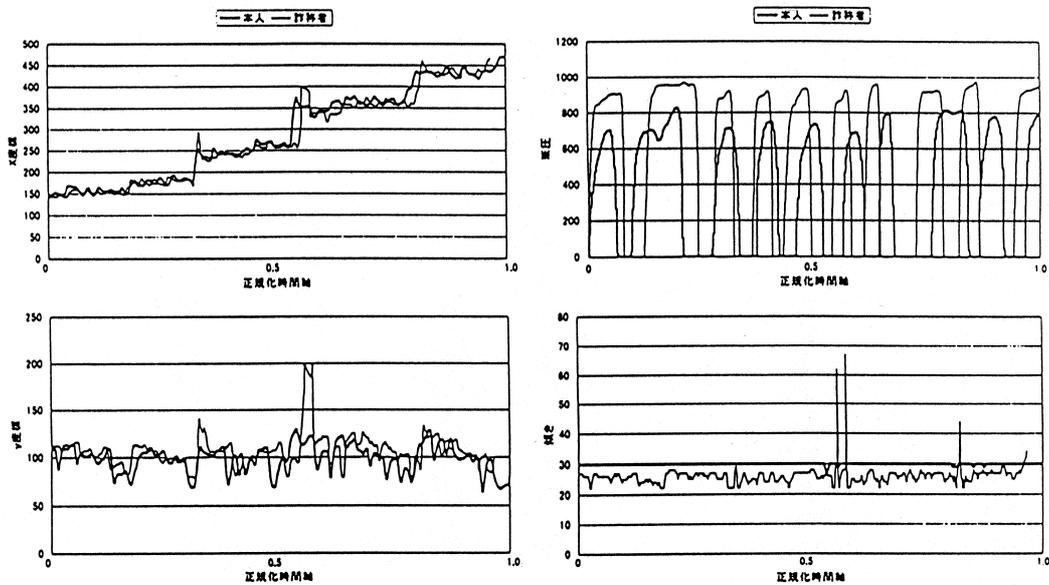


図2 署名データ例

3 署名データの時間-周波数解析

本章では、署名データをウェーブレット変換により時間-周波数解析することで、従来の時間的变化では顕著でなかった個人特性の検出について検討する。

3.1 ウェーブレット変換

ウェーブレット (Wavelet) とは、三角関数や対数関数のような特定の決まった関数ではなく、局在する波を表すさまざまな関数の総称である。一般に信号は局所的に周期的な変動で、その周波数が時間とともに変動するものが多い。このように局所的に周期的な信号を時間の推移のなかでとらえることを時間-周波数解析という。ウェーブレット変換は信号の時間-周波数解析を行う方法の一つである。ウェーブレット変換によって切り出された信号の部分は、それぞれ時間軸における位置と、その位置での局所的な周波数をあらわしている。

3.2 多重解像度解析

ある周波数レベルで入力信号をウェーブレット変換した波形をウェーブレット関数と呼ぶことにすると、入力信号はウェーブレット関数と近似関数に分解される。ここで、近似関数とは、入力信号からウェーブレット関数を差し引いた残りの関数である。さらに、周波数レベルを下げると、周波数レベルの高い近似関数が低周波数のウェーブレット関数と近似関数に分解される。同じように、周波数レベルを下げていくと、ウェーブレット関数と近似関数は周波数レベルによる階層構造を形成する。この解析を多重解像度解析 (Multi Resolution Analysis, 略してMRA) と呼ぶ。逆に、分解された関数の和から入力信号を再構成することが可能である。

3.3 マザー・ウェーブレットの選択

各々の周波数成分は、元となるウェーブレットを縦横に拡大・縮小したもので解析される。この元となるウェーブレットをマザー・ウェーブレットと呼ぶ。ウェーブレット変換には多種多様なマザー・ウェーブレットが存在するが、その選択には注意を要する。特に、前節のような、入力信号のウェーブレット変換による分解・再構成が可能であるためには、ウェーブレットが基底関数 (ある関数の元となる関数) を持つものでなければならない。しかもコンパクトサポートを持つ (関数値が0でない区間が有限である) 関数が望ましい。つまり、マザー・ウェーブレットが近似関数の基底関数によって定義されるとき、マザー・ウェーブレットはウェーブレット関数の基底関数となり、前節の分解・再構成が成り立つ。

そこで今回は、直交基底を作り、かつ、コンパクトサポートをもつ連続な関数であるDaubechiesのマザー・ウェーブレットを用いることにした。Daubechiesのマザー・ウェーブレットは自然数Nによって番号付けられたウェーブレットを持ち、Nとともに波形の滑らかさが増大する。今回はN=8のマザー・ウェーブレットを用いた。

3.4 解析結果

筆圧、傾きのように時系列データにおいて個人の違いが顕著なものは、多重解像度解析の結果においても違いは明らかであった。言い換えれば、これらのデータは時間領域での比較で十分であると言える。そこで、時間領域では個人特性の違いが顕著でなかった座標データについてももう少し詳しく検討する。本人署名とその詐称者署名のX座標データをそれぞれ入力信号として、多重解像度解析を用いて周波数レベル-9まで時間-周波数解析した結果を図3, 4に示す。これらの比較より、低周波数(レベル-8, -9)領域での本人署名と詐称者署名による違いは顕著ではない。しかしながら、高い周波数部分では本人とその詐称者での違いが現れている。その違いが顕著なレベル-5, -6の場合を図5に抜き出して示す。これはサインの形状は詐称できて、その筆速までは詐称できないためにその違いが高い周波数信号となって現れたものとする。

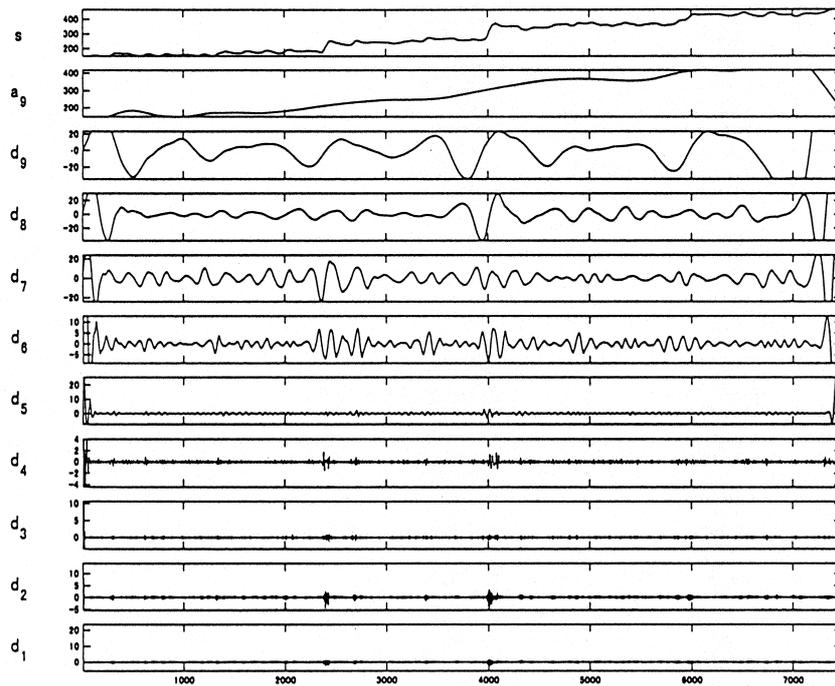


図3 x座標データを入力信号としたMRA結果(本人署名)

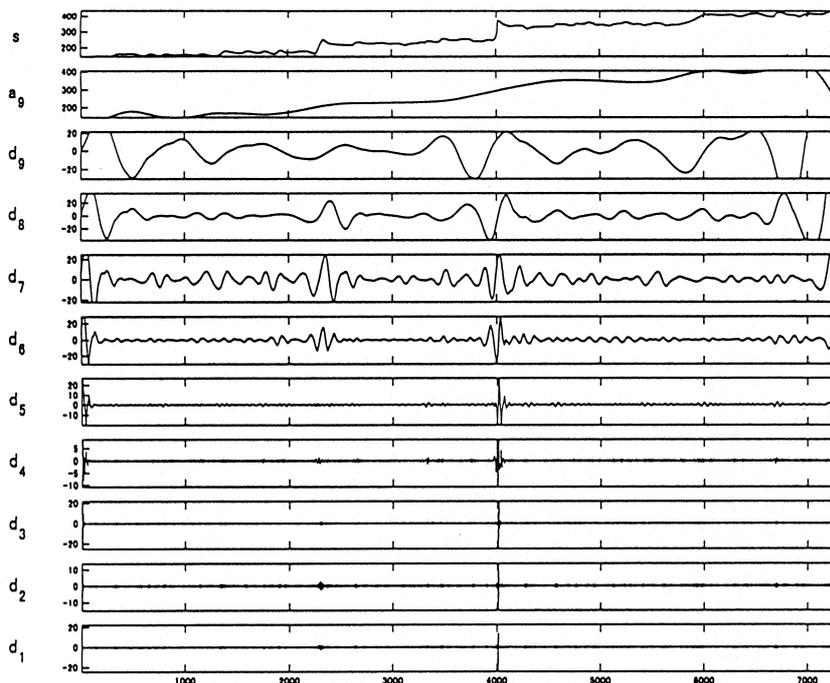


図4 x座標データを入力信号としたMRA結果(詐称者署名)

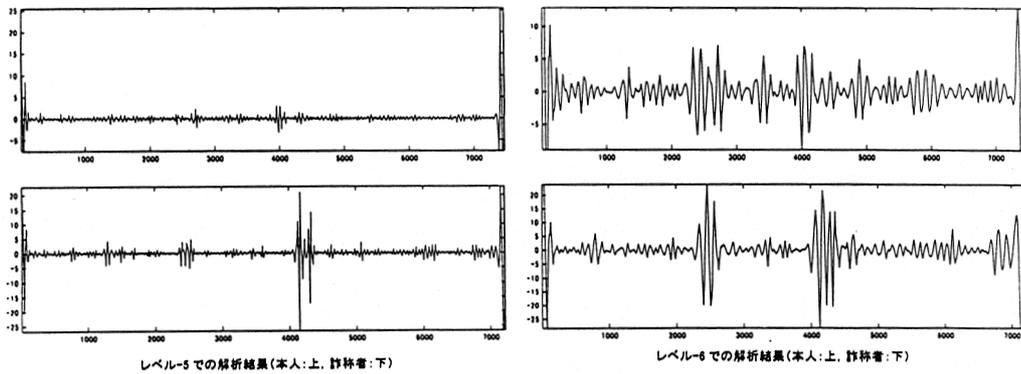


図5 レベル - 5, - 6での本人署名と詐称者署名の比較

これより、時間領域での比較では見いだすことが困難な個人特徴が、時間-周波数解析することにより容易に検出できることを示している。結果として、筆圧やペンの傾きのように特別な機能を有するペンタブレット装置を用いなくて済む。さらに、従来の時系列データによる照合の場合、比較の対象は1つであるが、時間-周波数領域で比較を行うことでレベルの数だけ比較対象が増加するため、それらの比較結果を総合した照合も可能となり、より精度の高い、柔軟な方法が得られると期待できる。

4 署名照合

前章で見いだされたように時間-周波数領域で解析することで、個人性をより顕著にすることができる。本章ではそれを用いた照合方法について検討する。

4.1 ウェーブレット変換領域適応フィルタ

適応フィルタは更新可能なフィルタ係数を有し、それを入力信号やフィルタの構成の応じて自動的に最適な係数を決定することができる。さらに、入力信号を離散フーリエ変換 (DFT) や離散コサイン変換 (DCT) 等により変換を行った後に適応処理を行う変換領域ADFは常に高速な収束を実現できるという面で優れている。これは直交変換された後の信号は互いに独立なものとなるため、適応係数が完全に独立に更新できることに起因する。

本研究では直交変換としてウェーブレット変換を用い、変換後の時間-周波数領域の信号に対して適応係数を乗算した後に逆変換を行うことを構成の基本とする。全体の構成例を図6に示す。署名のいずれかの特徴データが入力信号となり、そのすべての時系列が一つのブロックとしてウェーブレット変換され、各レベル毎の時間-周波数信号が得られる。その変換出力に適応処理が行われ、逆ウェーブレット変換を経ることで出力信号が得られる。ここで、ウェーブレット変換の特徴はその時間-周波数解析にある。各レベルの信号がどの時点でどれだけ発生しているかを得ることができる。従って、このような結果に対して適応係数を乗算するためには、各周波数 (レベル) 毎、さらに、時間毎に適応係数を用意する必要がある。すなわち、2次元 (時間-周波数) 適応処理となる。この部分の構成法については図7に示す。標本点毎に適応係数 $W_{k,i}$ を設ける仕組みとなっている。

適応係数の更新アルゴリズムとしては一般的によく知られたLMS型の適応アルゴリズムが適用できる。

$$W_{k,i}(n+1) = W_{k,i}(n) + 2\mu E_{k,i}(n) X_{k,i}(n)$$

ここで、 n はブロック数を示し、特徴データの数に対応する。 $X_{k,i}$ はウェーブレット変換後の時間-周波数信号、 μ は適応係数の更新幅を決定するステップサイズパラメータである。また、 $E_{k,i}$ は適応すべき信号 ($D_{k,i}$: 所望信号) と適応係数が重み付けられた信号との差により定義される。

$$E_{k,i}(n) = D_{k,i}(n) - W_{k,i}(n) X_{k,i}(n)$$

具体的に所望信号は別な特徴データを用いる。いくつかの特徴データを用意し、一つを所望信号、一つを入力信号として適応処理を行う。次に、先の入力信号を今度は所望信号とし、新たな特徴データを入力として処理を繰り返す。この繰り返しの中で係数がある値へと収束した時点で適応処理を終了し、係数をその値に固定する。

照合においては、固定された係数を用いて、本人特徴データを所望信号とし、本人あるいは詐称者の特徴データを入力信号として処理する。詐称者署名であれば誤差信号は大きくなるため、これにより個人識別が可能となる。

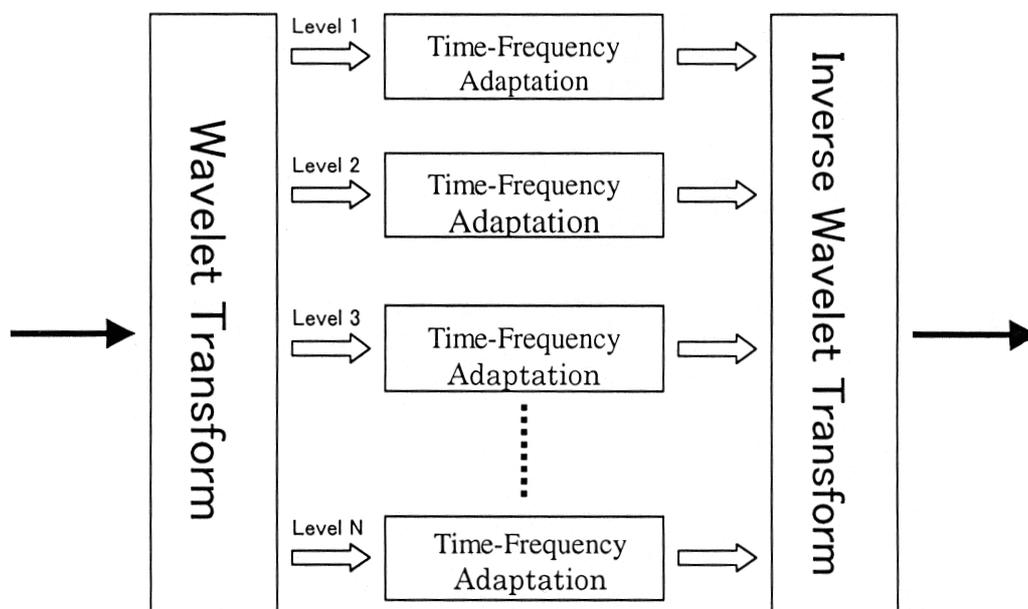


図6 ウェーブレット変換領域適応フィルタの構成例

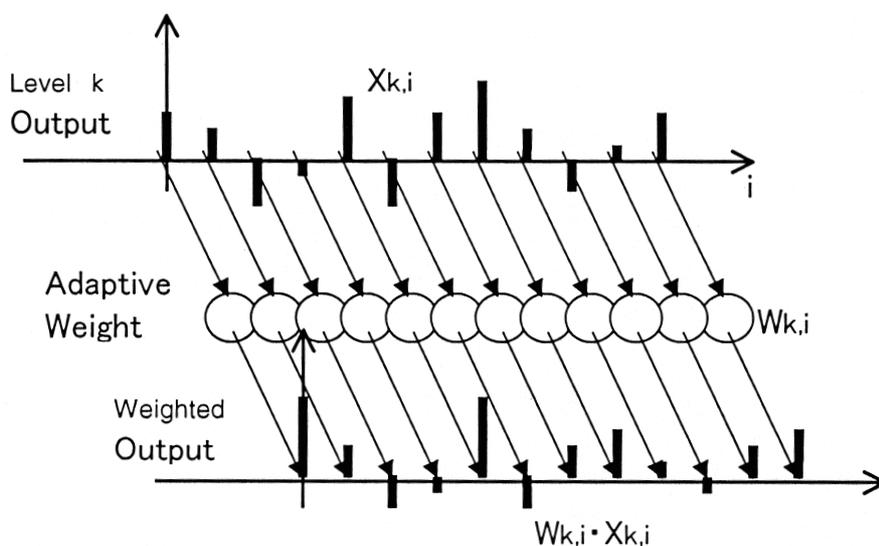


図7 時間-周波数適応処理

4.2 シミュレーション実験

現在、前節で提案した方法の実現性、有効性についてシミュレーション実験により検証を行っている段階である。問題は、署名毎に異なる標本数を如何にして正規化するかである。前章で示したように時間-周波数解析するだけであれば、時間軸に対し正規化処理を行い、実数時間軸により比較すれば良い。しかしながら、図7に示したように時間軸の標本点毎に適応係数を設ける場合には、これらの数が署名毎に一致しないとイケない。そのためには時間軸の正規化だけでなく、整数化が必要になる。

5 むすび

ペンの動きをウェーブレット変換により時間-周波数信号に変換し、適応処理を用いて照合を行う個人識別手法について提案を行った。本手法によれば、本人署名とその詐称者署名との違いが現れにくい座標データを用いて個人特徴を検出することが可能となる。このことはペンの傾きや筆圧といった特殊な検出機能を有するペンタブレット装置を用いずとも個人識別システムが実現できることになる。現在、それを検証するために照合部分でのシミュレーション実験を行っている

段階である。

今後の課題としては、パターン認識力に優れるニューラルネットワーク等の非線形処理を導入することで、より識別能力の高いシステムを構築することなどが挙げられる。

参考文献

- [1] 小松尚久：“「筆跡」を識別してセキュリティを守る”，エレクトロニクスpp. 35-37 (1998-2)