# Hilbert 変換を利用した移動力メラ入力の画像系列からの文字認識法

石田 皓之<sup>y</sup> 高橋 友和<sup>y</sup> 井手 一郎<sup>y</sup> 村瀬 洋<sup>y</sup>

y 名古屋大学大学院情報科学研究科 〒 464-860 建知県名古屋市千種区不老町 E-mail: yf hishi,ttakahashi,ide,murg@emurase.m.is.nagoya-u.ac.jp

あらまし 移動するカメラから撮影される画像系列から文字を認識する手法を提案する.本手法では,Hilbert変換に より画像を解析信号化し,得られた解析信号ベクトルを特徴量として辞書データとの類似性を評価する.解析信号化 することで,画像の輝度値に位相情報が付加されるため,対応付け精度の向上が期待される.また,解析信号の瞬時 位相は単調増加する性質があるため,入力画像系列中の各フレームと辞書データを照合する際に双方の解析信号の位 相差を評価することで,フレームの進み遅れが評価できる.これにより,入力画像系列の時間軸に関する非線形な伸 縮にも対応できる.これらの位相情報を用いた照合手法をカメラ入力文字に適用したところ,位相差に基づく照合が, 認識精度改善のために有効であることが明らかになった.

キーワード 文字認識,カメラ入力,Hilbert変換,解析信号,位相情報,DPマッチング

# Character Recognition from Image Sequences Captured by Moving Camera using Hilbert Transform

Hiroyuki ISHIDA<sup>y</sup>, Tomokazu TAKAHASHI<sup>y</sup>, Ichiro IDE<sup>y</sup>, and Hiroshi MURASE<sup>y</sup>

y Graduate School of Information Science, Nagoya University Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi, 464-8601 Japan E-mail: yf hishi,ttakahashi,ide,mur**g**@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp

**Abstract** We present a recognition method of characters captured by moving cameras. In the proposed method Hilbert transform is used to convert captured images into analytic signal vectors, which are useful for phase matching of image sequences. The instantaneous phase of the analytic signals provides a time-warping paratching the frames of the sequences. Experimental results showed that the matching algorithm using the ar signal vectors is e<sup>®</sup>ective in the presence of camera movement whose velocity is less than 4 [pixel/frame]. **Key words** Character Recognition, Camera-based Recognition, Hilbert Transform, Analytic Signal, Phase, Dy namic Time Warping

1. はじめに

カメラ付き携帯機器の普及に伴い,それらの機器を入力とす る文書認識技術が注目を集めている[1].カメラ入力型文字認 識には,文書全体を広角で撮影する方式のほか,カメラをペン のように見立てて文書をなぞりながら認識する方式も考えられ る.後者は文書中の一部分のみを選択して認識したい場面に適 している.この場合,撮影画像系列に順々に入力文字が現れる. このとき,時間軸上での非線形な伸縮が発生し得るため,得ら れた画像系列と参照パターンを対応付けながら認識する必要が ある.宮崎らは,テキスト認識のためのビデオモザイキング手 法[2]を提案した.この手法は,複数のフレームを統合しなが ら入力画像系列と参照パターンを DP マッチング[3] により照 合するため効率的である.照合のための特徴量として,文献[2] は文字の形状情報を利用しているが,車載カメラ映像の画像対 応付け手法[4]のように画像を次元圧縮し,特徴空間上にて照 合する方法も有効である.しかしこれらの手法において,カメ ラの動く方向がほぼ一定であるという条件を積極的に利用すれ ば,さらなる改善が見込めるものと思われる.例えば,入力画 像系列を,カメラ移動方向に伝播する2次元波の時系列と考え れば,位相情報の利用により系列間の対応付けを簡単かつ高精 度化することができると考えられる.

本稿では,位相情報を用いたカメラ入力画像系列からの文字 認識手法を提案する.提案手法においては,入力系列中の各フ レームの画像をカメラの進行方向軸にわたって Hilbert 変換[5] し,得られた解析信号同士を照合する.解析信号は複素信号で



図 3 画像輝度値の解析信号表現,図平左の文子画像の13 行目(枠内)を水平方向にわたって Hilbert 変換したものを示す.(a)輝度値(実部)とその Hilbert 変換(虚部);(b)極形式 における解析信号の変位.

に作ってあるからである.実際, Fourier 変換  $F(\omega) = \mathcal{F}[f(t)]$ を用い,解析信号は以下のように構成されている.

$$\mathcal{F}[a(t)] = \mathcal{F}[f(t) + j\mathcal{H}[f(t)]]$$

$$= \mathcal{F}[f(t)] + j\mathcal{F}[\mathcal{H}[f(t)]]$$

$$= \mathcal{F}[f(t)] + j\mathcal{F}[1/\pi t] \mathcal{F}[f(t)]$$

$$= F(\omega) + j(-j)\operatorname{sgn}(\omega)F(\omega)$$

$$= F(\omega) [1 + \operatorname{sgn}(\omega)]$$

$$= \begin{cases} 2F(\omega) \quad \omega > 0 \\ F(\omega) \quad \omega = 0 \\ 0 \quad \omega < 0 \end{cases}$$
(5)

このように,解析信号は原信号のスペクトルの正の周波数成分 を2倍し,負の周波数成分を除いたものから成っていることに なる.

2.1 画像の Hilbert 変換

本研究では時系列画像の時間的伸縮を考慮して照合するため, 画像をカメラの進行方向にわたって離散 Hilbert 変換 [14] する. ここでは,画像列中の t フレーム目の画像 (横幅 X,縦幅 Y) を  $f_t(x,y)$  と表す.ここで, $x = 1, \dots, X, \dots, 2^n(2^{n-1} < X \le 2^n)$ ,  $y = 1, \dots, Y$  である.この画像  $f_t(x,y)$  をカメラの進行 方向,つまり x 軸にわたって Hilbert 変換し,解析信号ベクト  $\mu a(t)$  を得る.その操作を以下に述べる.

あらかじめ,画像の輝度値平均が0となるように正規化して おく.つまり, $\sum_x \sum_y f_t(x,y) = 0$ とする.次に,画像の解析 信号表現  $a_t(x,y)$ を求める.実用上は,式(1)よりも式(5)に よって変換する方が簡単である. $f_t(x,y)$ に対しx軸に関する1 次元離散 Fourier 変換を施した  $F_t(u,y) = \mathcal{F}[f_t(x,y)]$ を用い, 次式で解析信号の周波数表現  $\mathcal{F}[a_t(u,y)]$ を求める.

$$\mathcal{F}[a_t(u,y)] = \begin{cases} 2F_t(u,y) & u = 1, \cdots, 2^{n-1} \\ 0 & u = 2^{n-1} + 1, \cdots, 2^n \end{cases}$$
(6)

この式は,正の周波数成分を2倍に,負の周波数成分を0に する操作に対応する.この  $\mathcal{F}[a_t(u, y)]$  を逆 Fourier 変換する ことで, $a_t(x,y)$ が得られる.図3に,画像の解析信号化の例 を示す.カメラの動く方向に進むに従って,位相が増加してい ることがわかる.本手法ではこの後, $a_t(x,y)$ をベクトル化し, ノルムが1となるように正規化して解析信号ベクトルa(t)と する.単純な場合として,スリット幅(照合に用いる列幅)が1 のときのa(t)を以下に示す.

$$\mathbf{a}(t) = \frac{1}{\sqrt{\sum_{y} \overline{a_t(X/2, y)} a_t(X/2, y)}} \begin{bmatrix} a_t(X/2, 1) \\ a_t(X/2, 2) \\ \vdots \\ a_t(X/2, Y) \end{bmatrix}$$
(7)

この操作により,任意の画像間の類似度を,解析信号ベクトルの内積で評価できるようになる.

2.2 解析信号ベクトルの類似度と位相差

正規化相関と同様の考え方に基づき,解析信号ベクトルの内 積を双方のベクトルの類似性を量る尺度として利用する.本手 法では,カテゴリcの参照データの解析信号ベクトル $a^{(c)}(t)$ と入力データの解析信号ベクトル $a^{in}(t)$ との内積を評価する. 例えば, $t_1$ フレーム目の参照ベクトルと $t_2$ フレーム目の入力 ベクトルの内積 $s^{(c)}(t_1,t_2)$ は以下の式で与えられる.

$$s^{(c)}(t_1, t_2) = \left[ \boldsymbol{a}^{(c)}(t_1) \right]^* \boldsymbol{a}^{in}(t_2) \tag{8}$$

ここで,上付きの\*はベクトルを転置させ各要素の複素共役を とることを意味している.また,解析信号の内積は複素数であ ることと,実数ベクトルの内積と異なり交換則が成り立たない ことにも留意されたい.

内積の絶対値は,双方のベクトルの類似度として評価する.

$$|s^{(c)}(t_1, t_2)| = \sqrt{\operatorname{Re}\left[s^{(c)}(t_1, t_2)\right]^2 + \operatorname{Im}\left[s^{(c)}(t_1, t_2)\right]^2}$$
 (9)

また,参照画像と入力画像のカテゴリが同一であるならば,内 積の偏角を調べるだけで,参照フレームに対する入力フレーム の進み遅れが判断できる.カメラの進行方向と Hilbert 変換の 軸が一致しているからこそ,このような性質が利用できるので



図 4 入力フレームの解析信号ベクトル  $a^{in}(t_2)$  と参照フレームの解 析信号ベクトル  $a^{(c)}(t_1 + 1), a^{(c)}(t_1), a^{(c)}(t_1 + 1)$  との内積.

ある.図4に内積を用いたベクトルの比較過程を示す.内積の 偏角は,双方のベクトル要素の位相差平均に相当する.偏角が 0に近づくほど,入力フレームと参照フレームのずれが少ない ということになる.Δ > 0とし,以下によりフレームの進み遅 れを予想する.

$$a^{(c)}(t_1 + \Delta) \approx a^{in}(t_2)$$
 if  $\angle s^{(c)}(t_1, t_2) > 0$  (10)

$$a^{(c)}(t_1 - \Delta) \approx a^{in}(t_2)$$
 if  $\angle s^{(c)}(t_1, t_2) < 0$  (11)

つまり,偏角が負であるときは $a^{in}(t_2)$ が $a^{(c)}(t_1 + \Delta)$ に類似しているものと予想し,偏角が正であるときは $a^{in}(t_2)$ が $a^{(c)}(t_1 - \Delta)$ に類似しているものと予想する.内積の偏角が0となるとき,類似度は極大値をとる.これは,tの増加につれて,ベクトルの各要素が複素数平面上にて単調に左回り回転をしているからである<sup>(注1)</sup>.

## 3. 画像系列の照合による文字認識

解析信号ベクトル同士の類似度評価により画像系列を照合し, 文字を分類する方法を述べる.一般的な DP マッチングによっ て入力パターンと参照パターンを対応付ける場合,全カテゴリ に対し最適照合を試みるが,本手法の考え方はこれと異なる. 正答カテゴリとのみ正しく照合できればよく,正答以外のカテ ゴリの参照パターンとは照合を誤っても構わないというのが本 手法の方針である.従来の DP マッチングでは,実数値である 特徴量同士の類似度(もしくは相違度)をもとに作った DP 平 面(図 5(a))からマッチングパスを探索するが,本手法では文 字の分類のみに類似度(図 5(b))を用い,マッチングパスはベ クトル内積の偏角(図 5(c))が0となる部分をたどることによ り得る.この経路は,正答カテゴリの場合はほぼ図 5(b)にお ける最適な経路となる.

3.1 文字認識のためのマッチングパス探索アルゴリズム

カテゴリ c と入力との類似度  $S^{(c)}$  を求めるアルゴリズムを示す.参照ベクトルのフレーム番号を  $t_1[i]$ ,入力ベクトルのフ



図 5 入力画像系列 (カテゴリ M) と参照画像系列 (カテゴリ M,N) と を対応付けるための DP 平面. Hilbert 変換を使用しない場合の 実内積  $s_{Re}^{(c)}(t_1, t_2)$  の値 (白:0 黒:1)を(a) に示す. Hilbert 変 換を使用する場合の複素内積の絶対値を(b)(白:0 黒:1), 偏角 を(c)(白:j π 黒:π) に示す.

レーム番号を t<sub>2</sub> とする.ここで,*i* は探索の順番を表すイン デックスとし,以下のように初期化する.

 $S^{(c)} \leftarrow 0, \quad t_1[1] \leftarrow 1, \quad t_2 \leftarrow 1, \quad i \leftarrow 1 \tag{12}$ 

以下のように内積の偏角の符号に従う方向に探索を進める.

$$t_1[i+1] \leftarrow t_1[i] + \operatorname{sgn} \angle s^{(c)}(t_1[i], t_2)$$
 (13)

符号が反転したとき、そこで探索を打ち切り、偏角が最も0に近い $t_1^{\Delta 0}$ を以下により得る.

$$t_1^{\angle 0} \leftarrow \arg\min_{t_1[i]} \left| \angle s^{(c)} \left( t_1[i], t_2 \right) \right| \tag{14}$$

この  $t_1^{\angle 0}$  と  $t_2$  を対応付ける.以下のように,類似度に内積の 絶対値を加算し,次のフレーム  $t_2 + 1$  の処理に移る.

$$S^{(c)} \leftarrow S^{(c)} + \left| s^{(c)} \left( t_1^{\angle 0}, t_2 \right) \right|$$
 (15)

$$t_1[1] \leftarrow t_1^{\angle 0}, \quad t_2 \leftarrow t_2 + 1, \quad i \leftarrow 1$$
 (16)

以上の処理を終えた後,式(13)まで戻り, $t_2$ が上限に達する まで繰り返す.最終的には類似度 $S^{(c)}$ を最大とするカテゴリcに分類することになる.図6にこれらの処理過程を例示する. 本アルゴリズムを適用する場合,図5のDP平面のすべてを計 算する必要はなく,図6中に示すような探索経路のみを逐次計 算するだけで間に合う.

#### 4. シミュレーション実験

単独文字に対する認識率評価により,提案手法の有効性を検 証した.本実験では,Hilbert 変換を用いることの有効性,お よび3.1節の照合アルゴリズム(以下,Alg. 3.1 と表す)の有効 性を評価するため,以下の2手法と比較した.

<sup>(</sup>注1):厳密には、このことは保障されない.解析信号は非負の周波数成分しか 持たないにもかかわらず,瞬時周波数は負になり得る[15].実際,図3(c)の一 部で観察されるように,瞬時位相は一部の区間で減少に転じている.この現象は 解析信号のパラドックスと呼ばれている[10].しかし本手法では、ベクトルの内 積つまり位相差平均を評価することで、ベクトル要素間にわたって位相差が「平 滑化」され、この問題の影響を抑えられるものと期待している.



図 6 伸縮照合過程を表す 3 次元グラフ.黒い矢印が内積(複素数値) を表す.それぞれの矢印の根元を複素平面の原点とみなして表 示した.白抜きの矢印は探索経路を表す.

[比較手法 1: Intensity + DP] Hilbert 変換を用いず, 画像 の輝度値をそのまま特徴量とする.各値の虚部が0であるほか は2章で述べた手法と等価である.照合法として文献[2]のDP マッチングを用いる.DP パスの本数をK本とし,傾斜制限 を $(0, 1, \dots, K - 1)$ の間で変化させるものとする.本実験では K = 3の場合と $K = t_1$ (選択可能範囲最大)の場合を調査する. [比較手法 2: Hilbert + DP] Hilbert 変換により得られた 解析信号を特徴量とする.DP マッチングにより図 5(b) に示さ れるような内積の絶対値のみを評価して照合する.

本実験においては,様々な条件を想定して検証するために, テストデータを計算機シミュレ - ションにより生成することに した.対象文字は英数字 62 文字 (A-Z, a-z, 1-9: Ariel Font) (注2)とし,参照データとテストデータの原画像をそれぞれ十分 大きな解像度で撮影した.実験用データはそれら原画像から生 成した.カメラ入力型文字認識においては,モーションブラー や回転,光学ぼけ等のさまざまな劣化要因が問題となるが,本 稿では,特に大きな問題と考えられるカメラ速度および位置ず れに注目する.図7に示すように,正規乱数を生成するための パラメータとして,水平方向の速度  $N(\mu_{vx}, \sigma_{vx}^2)$  [pixel/frame] および垂直方向の位置ずれ  $N(\mu_y, \sigma_y^2)$  [pixel] を定義した.これ らを用いて画像 (サイズ: 25×25 pixel) の系列を生成した.テ ストデータは,各カテゴリごとに100セットの画像系列を用意 し, 合計 6,200 セットから認識率を求め, 比較した. なお参照 データは , パラメータを  $\mu_{vx} = 1, \mu_y = \sigma_{vx} = \sigma_y = 0$  として 生成した.

#### 4.1 カメラ移動速度に対する評価

カメラ移動速度の平均パラメータ  $\mu_{vx}$  を変化させつつ,認 識率を比較した結果を図 8(a) に示す.その他のパラメータは,  $\mu_{y} = 0, \sigma_{vx} = \sigma_{y} = 0.25$ とした.

結果より, DP マッチングによって 2 [pixel/frame] 以上のカ メラ速度に対応するためには, DP パスの選択範囲を拡張しな ければならないことがわかる.それに対し, Alg. 3.1 を用い ると 4 [pixel/frame] 以下のカメラ速度では最高の認識率を得 た.これより,提案手法は比較的高速なカメラ移動にも対応



図 7 パラメータを用いたテストデータ系列のシミュレーション . 各フ レームにおいて,水平方向のカメラ移動速度 $v_x$ と垂直方向の位 置ずれyをそれぞれ正規分布 $N(\mu_{vx}, \sigma_{vx}^2)$ ,  $N(\mu_y, \sigma_y^2)$ によっ て発生させる.

できることが判明した.しかし,その性能には限界があり,4 [pixel/frame]を超えるときに急激な精度低下がみられた.これ は,位相差がπを超えるようなフレーム飛びに対し経路探索を 誤ったためだと考えられる.なお,Hilbert 変換の利用により 顕著な改善がみられており,画像の輝度値だけでなく位相と併 せて類似度評価をすることが移動力メラによる文字認識におい て有効であることを示している.

4.2 垂直方向の位置ずれに対する評価

垂直方向の位置ずれの平均パラメータ $\mu_y$ を変化させつつ,認 識率を比較した結果を図 8(b) に示す.ただし,グラフの横軸は ずらし幅  $|\mu_y|$ を表すものとし,正負の $\mu_y$ に対し平均した認識 率を示す.その他のパラメータは, $\mu_{vx} = 1$ ,  $\sigma_{vx} = \sigma_y = 0.25$ とした.

提案手法は他手法と比べて高い認識率を示しており,解析信号同士の類似度評価は多少の位置ずれがあっても有効に機能することを表している.これは図5(b)に示される解析信号同士の類似度のピークが,図5(a)と比べて平坦であることも一因であると考えられる.しかしながら,1 pixelの位置ずれに対し20%も精度が低下しており,位置ずれにロバストとは言い難い.この問題に対しては,文献[2]で述べられているような変動を考慮したアルゴリズムの導入が有効であると考えられる.

4.3 カメラの揺れに対する評価

カメラを持つ手の揺れを想定し,カメラ速度と垂直方向 の位置ずれパラメータの標準偏差パラメータ $\sigma_{vx}, \sigma_y$ を同時 に変化させた結果を図 8(c) に示す.その他のパラメータは,  $\mu_{vx} = 1, \ \mu_y = 0$ とした.

Hilbert 変換の使用は有効であったが.変動幅が大きい場合 に Alg. 3.1 が DP マッチングの結果を下回っている.このよう な変動を吸収するためには,部分空間法[16]の導入が有効であ ると考えられる.しかし,解析信号に含まれる位相情報を失わ ずに次元圧縮する必要があり,今後検討が必要である.

4.4 スリット幅に対する評価

文献 [2] では,高速なカメラ移動に対応するためにスリット幅を増加させることを提案している.本稿においても,スリット幅を変化させた場合の結果を調査した.スリット幅を w とするならば,式 (7) において  $a_t(2/X - \lfloor w/2 \rfloor, y)$  から  $a_t(2/X + \lfloor w/2 \rfloor, y)$  までの解析信号をベクトル要素とすること になる.パラメータは, $\mu_{vx} = 2$ ,  $\mu_y = 0$ ,  $\sigma_{vx} = \sigma_y = 1.0$  とした.結果を図 8(d) に示す.

<sup>(</sup>注2):ただし, Ariel フォントの I(アイ) と I(エル) は同一形状であるため,本 実験では同じカテゴリとみなして評価した.



図 9 6人の撮影者によるテストデータセット (A-F) を用いた認識実験の結果.括弧内の数字は,カメラ速度の推定値  $\hat{\mu}_{vx}$ を表す.



図 10 図 11-13 で示す類似度の DP 平面. 横軸が入力フレーム, 縦 軸が各カテゴリの参照フレームを表す.

報を付加することで,これらは異なる特徴量を示すようになる. 実際,Hilbert 変換を使用する場合は,使用しない場合よりも 類似度の差がより明確に表れている.

一方,比較手法2もカテゴリ M と誤認識しているが,これ は類似度最大となる経路を探索したところ,カテゴリ M との 類似度の方が大きくなってしまったからである.それに対し提 案手法は位相差に基づいて経路を探索しているため,誤ったカ テゴリとの照合時には,類似度最大となる経路から外れやすい 傾向がある.DP マッチングと Alg. 3.1 の動作の違いが明確に 表れた例を図 12 に示す.図 12 は,データセット C の文字 n を 認識するときの類似度の DP 平面を示している.この例では, 比較手法1のみが誤認識し,カテゴリ m を出力した.各手法の マッチングパスを見比べると,提案手法によるカテゴリ m との マッチングパスは,類似度最大となる経路から外れている.こ れは即ち照合失敗を意味するが,誤ったカテゴリを認識結果候 補から除外する効果が働くため,分類のためには有効である.

#### 5.1.2 提案手法による認識失敗例

提案手法は逐次的な照合アルゴリズムに基づいているが,これが必ずしも望ましいマッチングパスを与えるとは限らない. 図 8(a)の結果から示唆されるように,カメラ速度が極端に大きい場合は急激な認識精度低下が予想される.

図 13 は, データセット F の文字 G を認識するときの類似度 の DP 平面を示している.この例では,提案手法のみがカテゴ リ B と誤認識した.この文字 G 撮影時のカメラ速度は,図 13 によると 7 [pixel/frame] にまで達する.このようにカメラ速 度が極端に大きい場合は DP マッチングに基づく手法の方が望



図 11 撮影者 A の文字 I に対して作成された類似度の DP 平面.各 手法によって求めたマッチングパスは, DP 平面中に円で示す. 数字は類似度和を示す.下線は,そのカテゴリの類似度和が全 カテゴリ中で最大となることを表す.

ましいと考えられる.提案手法により求めた正答カテゴリとの マッチングパスは,類似度最大を与える経路から外れている. これは,カメラ速度が大き過ぎて,式(13)における位相差の符 号が逆転したためである.このような問題に対処するため,式 (16)において,対応付けるフレームを予測するなどの改善案も 検討する必要がある.

### 6. おわりに

本稿では,Hilbert 変換を利用した時系列画像の対応付けに よるカメラ入力文字の認識手法を提案した.Hilbert 変換によ り画像の輝度値を解析信号に変換することで,位相情報を付加 し,照合性能を向上させた.照合過程においては,位相差情報 に基づきマッチングパスを探索した.実験により,解析信号を 利用することで移動カメラからの文字認識精度が向上すること が明らかになった.また,極端に高速な場合を除き,比較的高 速なカメラ移動に対しても高い認識性能が得られることが明ら かになった.今後は,位置ずれにロバストな手法を検討するつ もりである.実際にカメラを装着したペン型入力デバイスを用 いた認識実験も検討している.

謝辞 日頃より熱心に御討論頂く名古屋大学村瀬研究室諸

# Ö—hþ%» Ô»·¿Ä CwÈn (1µæ;ÄüT'ùR`hÞ² «hþ

€° §Â°æ	z±01	z±02	ŠΟ
	Intensity+DP	Hilbert+DP	Hilbert+Alg.3.1
	Slit width = 5	Slit width = 1	Slit width = 1

)

# m

	<u>7:97</u>	10:49	9:68	
n				
	7:72	<u>10:58</u>	<u>10:57</u>	

- \$12 qè CwÈnt0`o^R^∙h"ÅSw DP Ø}¤ Otʻlo{ŠhÚ¿½"i¬ĺµx| DP ؤtpÔb} :Èx"ÅSè>Ôb}<¢x|fw§Â°æw"ÅSèU¶ §Â°æ¤p7Gqs"\q>⁻b}
- <sup>−</sup>tò b"}ŠZ€w°æxÔŠ¶[üµqJ¶Z€...

4•Út'"}ŠZ€px|hþrgt MIST å Òåæ

(http://mist.suenaga.m.is.nagoya-u.ac.jp ) > - ; ` h }

- Y
- J. Liang, D. Doermann, and H. Li, \Camera-based analysis of text and documents: a survey," Int. Journal of Document Analysis and Recognition, vol.7, no.2{3, pp.84{104, July 2005.
- [2] vZ8«, °>c°, -Đ\$¤, \ÈÝt, nXÝÝæ<sup>^</sup> ĨæÞ<sup>2</sup> ©ï¬ O,," hþwgrÝÝ<sup>3</sup>ïÙ´¢Ü (MIRU2005), OS7B-35, July 2005.
- [3] °>c°, \[ → è ] DP Ú ¿ ½ ï ¬ "†, Š q 7 's ¦ Á ô¶ U C, PRMU2006-166, December 2006.
- [4] J. Sato, T. Takahashi, I. Ide, and H. Murase, \Change detection in streetscapes from GPS coordinated omni-directional image sequences," Proc. 18th Int. Conf. on Pattern Recognition, vol.4, pp.935{938, Hong Kong, China, August 2006.
- [5] S. Hahn, \Hilbert transforms in signal processing," Artech House, Norwood, Maryland, 1996.
- [6] A. Maheswaran and B. Davis, Vanalytical signal processing for pattern recognition," IEEE Trans. Acoustics, Speech and Signal Processing, vol.38, no.9, pp.1645{1649, September 1990.
- [7] -><sup>1</sup>ĺ, ¤aî, hæ<sup>1</sup>, '¢SP, ‰±~\$,\•ìv ì Owjgqfw; ," hþåØ, vol.8, no.3, pp.23{26, March

# Ö—hþ%» Ô»·;Ä FwÈG (1µæ;ÄüT'ùR`hÞ² «hþ )

1:71

€° §Â°æ	z ± O 1 Intensity+DP Slit width = 5	z ± O 2 Hilbert+DP Slit width = 1	Š O Hilbert+Alg.3.1 Slit width = 1
D			
В			

G

	<u>2:79</u>	<u>3:73</u>	2:17	
αè	FwÈ	G t0`o^R^∙h″ÅSw	DP Ø	} ¤ {

3:15

3:13

\$13 qè FwÈGt0`o^R^∙h"ÅSw DPØ}¤ Otʻlo{ŠhÚ¿½"⊐ĺµx| DPؤtpÔb} :Èx"ÅSè›Ôb}<¢x|fw§Â°æw"ÅSèU¶ §Â°æ¤p7Gqs"\q<sup>,-</sup>b}

1997.

- [8] J. Daugman, \Complete discrete 2D Gabor transforms by neural networks for image analysis and compression," IEEE Trans. Acoustics, Speech and Signal Processing, vol.36, no.7, pp.1169{1179, July 1988.
- [9] búY½, €i , !•|~, \Äè!=UK"hþ pwÁt• ì);Mh)Ã:w0 ÇZ ,"ØrZC, CVIM-154, pp.37{44, May 2006.
- [10] L. Cohen, 'Time-frequency analysis," Prentice Hall Signal Processing Series, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 1995.
- [11] J. Horel, \Complex principal component analysis: theory and examples," Journal of Climate and Applied Meteorology, vol.23, no.12, pp.1660{1673, December 1984.
- [12] zúb°, I9, ∖óÉ Rürsw!^Ô»•w ; ," ~ GwBZåC, no.42, B-2, pp.369{379, April 1999.
- [13] ⁰•\$p, •³¤, \óÉ Rüüs>; Mh(FÓŐ\ïÁ² Ø, ¿• w¤8!^>Qwrs," Ó÷íÓUC, vol.41, no.2, pp.1{20, June 2002.
- [14] A. Oppenheim and R. Schafer, \Discrete-time signal processing," Prentice Hall Signal Processing Series, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 1999.
- [15] T. Zagajewski, \Criticism of the de<sup>-</sup>nition of instantaneous frequency," Bull. of the Polish Academy of Sciences, vol.37, no.7{12, pp.571{580, 1989.