

5V-01 文書画像に対する Hilbert 走査の応用可能性について

伊藤 淳子[†]

山岡 正輝[‡]

馬場口 登[†]

北橋 忠宏[†]

大阪大学産業科学研究所[†]

NTT データ通信株式会社 情報科学研究所[‡]

1 あらまし

2次元データの伝送に当たり、1次元データ系列への変換が必要とされるが、画像データの場合原画像データ中の隣接関係が保存されていることは様々な利点を持つ。Hilbert 走査は、この条件を満足する走査の一つである。すなわち2次元の相関関係が1次元データ系列に反映されるため、自然画像の2値・濃淡画像に対してこの走査を適用した様々な研究が報告されている [2],[3]。

本稿では、Hilbert 走査による文書画像の表現および処理における有効性について検討する。まず、文書画像において特徴的な処理である、レイアウト構造の解析に必要とされるいくつかの処理における Hilbert 走査の有用性を示す。さらに、Hilbert 走査がピラミッド型データの生成に適しており、Hilbert 走査を適用して得られる1次元データ系列から生成されるピラミッド型データの性質とその応用可能性について述べる。

2 Hilbert 走査

Peano 曲線は2次元平面上的すべての格子点を1度だけ通る折れ線である。その一種、Hilbert 曲線を離散的2次元平面の走査に応用したものが Hilbert 走査である。

Hilbert 走査による走査順序は再帰的な手続きによって決まる。縦・横のサイズが 2^n である2次元画像を、縦横それぞれに2等分した4領域に等分し、分割された領域に対して図1に示す4つの走査パターンを規則にしたがって適用する。すなわち、分割された領域が1画素になるまで再帰的に適用することによって Hilbert 走査は実現される。

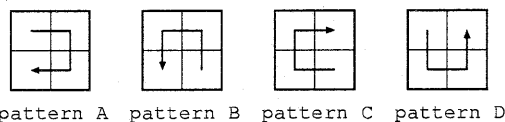


図1: Hilbert 走査の基本パターン

以下、Hilbert 走査により得られる1次元データ系列を Hilbert 系列と呼ぶこととする。

Applications of Hilbert Scan to a Document Image,
Junko Itou[†], Masaki Yamaoka[‡], Noboru Babaguchi[†] and
Tadahiro Kitahashi[†],

ISIR, Osaka University[†], Laboratory for Information Technology,
NTT Data Communications Systems Corporation[‡]

3 Hilbert 走査の応用

Hilbert 走査により1次元化したデータの表現法に関しては、2, 3の手法が提案されているが [4], 1次元化したデータの位置と2次元平面上における走査点の位置との対応付けに関しては考慮されていない。ここでは独自に考案した表記法を示し、これに基づく2次元平面への投影法を提案する。

3.1 領域のラベル付け

Hilbert 走査の基本単位が4であることに注目し、領域を4分割した際に適用される走査の順序に従って「0」から「3」の係数をそれぞれの領域に与える。このようにして、上位の桁から順に再帰的走査の順序に従って、係数列を生成し、各画素を係数を要素として持つ多次元ベクトルと対応付ける。この多次元ベクトルを、2次元領域のラベルとする。

図2に、 n が1のとき、 n が2のときの領域とラベルの関係を示す。

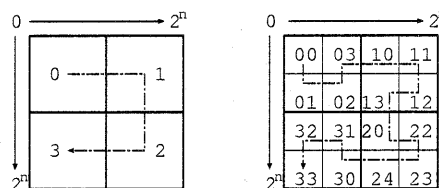


図2: 領域のラベル付け

このようにラベル付けられた画素 $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k)$ に対して Hilbert 系列の最初の画素の位置を0としたときの相対位置 x は次式で与えられる。

$$x = \sum_{k=1}^n \alpha_k \cdot 4^{k-1} \quad (1)$$

ここで、

- x Hilbert 系列のインデックス
- α_k ラベルの値 (0, 1, 2, 3 のいずれか)
- n 2次元画像の分割数

である。

3.2 文書画像処理への一応用

レイアウト情報抽出の手始めとして、2次元画面の左端にある空白領域を Hilbert 系列から直接的に検出することを目標とする。

まず、2次元画面上での縦方向に対応するように、白画素が連続して出現する領域の有無を、Hilbert 系列上で探索する。このとき、探索空間は2次元画面上における左端に絞られるため、ラベルの先頭 α_1 が

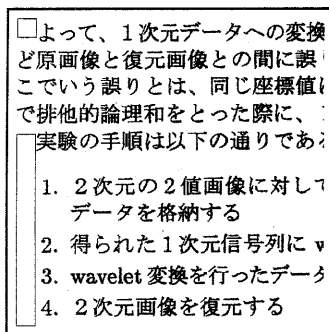


図 3: 白領域の検出

「0」あるいは「3」である位置のみが対象となり、調べなければならない領域は半分となる(図2参照)。

さらに、そのラベル「0」「3」の領域の中でもさらに左側の領域と右側の領域に分割できるため、探索範囲を $\frac{1}{4}$ とすることができる。

このように、探索範囲を再帰的に、かつ指数関数的に削減することができる。また、次に調べる領域を表すラベル $(\alpha'_1, \alpha'_2, \dots, \alpha'_k)$ は、現在の領域を表すラベル $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k)$ から再帰的な手続きを用いて一意に決定できる。

縦方向の探索の終了後、検出できた空白領域を横方向に広げてインデントーションの大きさなどを抽出する。横方向のラベル系列も縦方向の場合と同様、再帰的手続きにより求められる。

この手法を用いて実際に空白領域を検出した結果を図3に示す。画面の左端に描かれている2つの四角が、検出された白領域である。対象とする文書画像のサイズは512で、10pt~12ptで書かれた文書をスキャナで400dpiで取り込んでいる。

ここでは、インデントーション抽出を目標としたため左端の領域のみが対象となったが、これを更に応用すれば、章題と文書の間や図と文書の間など、横方向に広がる空白領域の検出もできるため、レイアウト構造の解析へのさらなる応用が期待できる。

3.3 ピラミッド構造化

Hilbert系列を冒頭から4データずつ区切っていくと、その4画素は2次元平面上での 2×2 の正方形に対応する。この4画素中、白に対応する画素が3つ以上あれば白、黒に対応する画素が3つ以上あれば黒、それ以外の場合にはグレイを割り当てることとする。すなわち、4画素を1画素に投影することで、解像度が原画像の $\frac{1}{2}$ となる画像を生成できる。この操作により得られた1次元データ系列に対して同様の処理を加えることにより、解像度をさらに $\frac{1}{2}$ にできる。しかも、Hilbert系列の生成手続きから明らかのように、系列中の隣接関係は画像データ上でも保存される。したがって、Hilbert系列を先頭から順

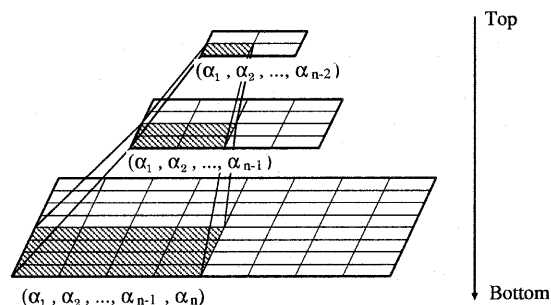


図 4: ピラミッド型データ

に処理するのみで、原画像の Hilbert 系列を最下層とし、次節に示す性質を持つピラミッド型データが得られる。

3.4 ピラミッド型データの性質

Hilbert 系列から生成したピラミッド型データは次の性質を満足する。

(性質1) 第 k 階層において縦(あるいは横)方向に存在する奇-偶の順の2列の白列(あるいは白行)は、その上位階層である第 $k-1$ 階層において、1列(行)の白列(行)となる。

(性質2) 各階層データが3.1節で提案したラベル表現と整合性を保持できる。

(性質1)より、幅 $2k$ 以上の白列(行)を求めるためには、 $k-1$ 層上位の階層における幅1以上の白列(行)を見出せばよい。

4 むすび

本稿では、レイアウト構造の解析に必要とされるいくつかの処理における Hilbert 走査の有用性について論じ、直接 Hilbert 系列から文書画像のインデントーション領域を抽出した。さらに、Hilbert 系列から生成されるピラミッド型データの性質とその応用可能性について述べた。

今後の課題としては、ピラミッド構造を利用して空白領域の検出を行い、横方向に広がる空白領域の検出、そして Hilbert 系列の部分的な領域対称性について調べ、レイアウト構造の解析への一層広範な応用可能性について検討する。

参考文献

- [1] 小沢 一雅”パターン情報数学” 森北出版, 1999
- [2] 松井甲子雄”一般化 Peano 走査を用いた局所的スクランブルによる画像への署名法”, 信学論, Vol. J80-D-II No.5 pp.1160-1168 (1997)
- [3] 鎌田 清一郎”ヒルベルト走査を利用した濃淡画像の情報圧縮に関する考察”, 信学論, Vol. J80-D-II No.2 pp.426-433 (1997)
- [4] 鎌田 清一郎”2, 3次元空間におけるヒルベルト曲線の一計算法”, 信学論, Vol. J74-D-II No.9 pp.1217-1226 (1991)