

画像からの直線検出と直線をキーとした画像の検索

紺谷 精一 赤間 浩樹 山室 雅司

NTT 情報通信研究所

〒 239-0847 神奈川県横須賀市光の丘 1-1

概要 本稿では、エッジ方向を利用したパラメータ推定の効率化とエッジ細線化による計算量の削減を行ない Hough 変換を改良したカラー画像からの直線の検出法を提案する。PHOTO DISC の画像 1010 枚に適用した結果、検出された直線のうち画像検索に利用できる有意な直線の割合は約 40% 程度であった。次に、得られた直線を画像の特徴量とした類似画像検索について検討を行ない、縦横比の異なる画像に対処するため直線のオフセットの正規化法を提案した。簡単なプロトタイプを試作し、本正規化法が有効に機能することを確かめた。

Line Detection from Photo Image and Image Retrieval using the Line Information.

Seiichi KON'YA, Hiroki AKAMA, and Masashi YAMAMURO

NTT Information and Communication Systems Laboratories.

1-1 Hikarino-oka Yokosuka-Shi, Kanagawa 239, Japan

Abstract This paper proposes a new line detection algorithm based on the Hough transform. Experimental results on 1010 PHOTO DISC images show that 40 percent of detected lines can be utilized to image retrieval. Next, we study the image similarity retrieval which utilizes the detected lines as features of images. In order to retrieve the images of various aspect ratio, a new method is introduced to normalize the offset of lines. We implement the simple image retrieval prototype and show that the normalization method works effectively on retrieving the images containing the line similar to the key.

1 はじめに

筆者等は、画像内のオブジェクトを自動抽出し、オブジェクトによる類似検索を行なう画像検索システム - ExSight - を開発している [1, 2]. オブジェクトの色、形、サイズや位置等の特徴を組み合わせることにより、柔軟な内容検索を実現した。人間が画像から受ける印象を反映した特徴量を加えて行くことで、さらに高度な画像検索が可能になると考えられる。例えば、写真などの画像には、地平線や木立、ビル、ドアの枠等の様々な直線が含まれている。画像に写っているオブジェクトと同様に、これらの直線によっても画像を特徴付けることができる。

本稿では、画像から直線を検出する手法を提案する。さらに、直線をキーとした類似画像検索についても提案する。

2 従来の直線検出法

画像から直線や楕円等を検出する手法の一つに Hough 変換 [3] がある。直線 l を、原点からの距離 (オフセット) ρ 、および、垂線の角度 θ の 2 つのパラメータで表現する (図 1)。このとき直線 l 上の点 p の座標 (x, y) は、以下の条件を満たす:

$$\rho = x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta \quad (1)$$

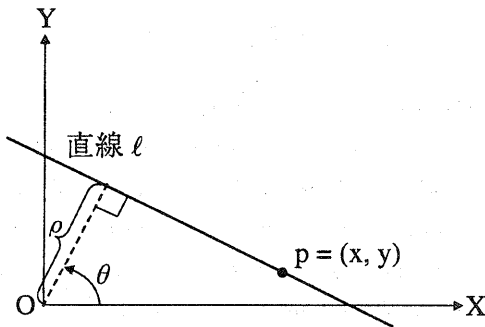


図 1: Hessian normal form

与えられた点 p を通る直線は無数に存在するが (図 2), p を通る直線群のパラメータは式 (1) を満たし、図 3 の実線で示す曲線となる。同様に、 q を通る

直線群は、図 3 の破線で示す曲線となり、2 点を通る直線に対応するパラメータ点で交差する。

画像から直線を検出するには、エッジを検出し、個々のエッジのパラメータ曲線を計算する。次に、Hough 空間を格子状のセルに離散化し、パラメータ曲線が横切るセルに“投票”して行く。“票”が集中したセルを選ぶことで直線が検出できる。

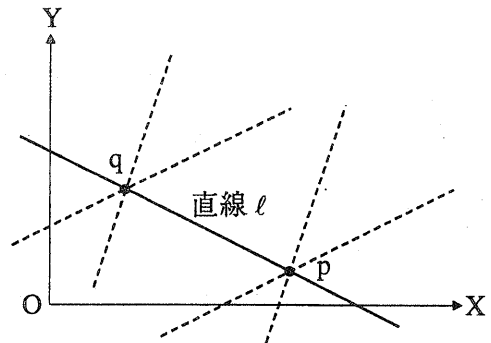


図 2: エッジの座標と直線

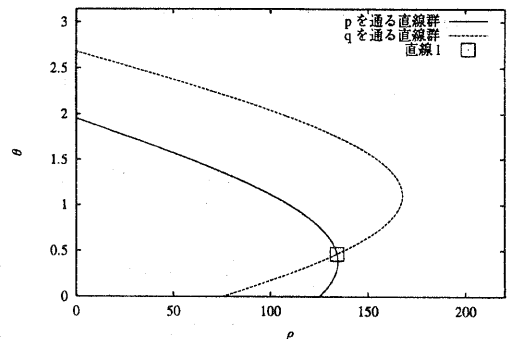


図 3: Hough 空間

3 直線検出アルゴリズム

Hough 変換では、エッジ毎に式 (1) を満たすパラメータを複数計算する必要がある。また、投票のため 2 次元ヒストグラムが必要となる。さらに、画像中の直線の数が増えるとパラメータ曲線の交差が複雑化し、票が集中した部分の選択が難しくなる。Hough 変換の改良は、種々提案されているが、ここでは、エッジ方向の利用をベースに改良を行なうことにした。

本稿で提案する直線検出法は、wavelet によるエッジ検出、カラーエッジの統合、エッジの細線化、直線候補の選択、直線候補の融合、線分情報の取得(区間の推定)、のステップからなる。

3.1 wavelet 変換によるエッジ検出

Canny[4], Mallat[5] 等のエッジ検出法は、エッジ強度と共にエッジの方向も計算できるので、これらを利用して Hough 変換の改良が行なえる。特に、Mallat の wavelet 変換によるエッジ検出法 [5] は、複数のスケールのエッジ — テクスチャー、細かな模様、物体の輪郭や大まかな色調の変化等 — を分離して検出できる。このエッジ検出を利用すれば、細かなスケールではシャープな直線を、粗いスケールでは画面の構造的な直線を検出できると思われる。

3.2 カラーエッジの統合

カラー画像では、RGB 等のカラープレーン毎にエッジが計算される。各カラープレーンのエッジを文献 [6] の手法を用いて統合する。各プレーンのエッジを単純に加えるとノイズの影響を受けやすい。この手法は、信号の色成分がノイズよりも相関が高いことを利用してノイズを低減させることができる。

3.3 エッジの細線化

上記で得られるエッジは山脈状に分布している。エッジの広がりが大きいと、推定した直線のパラメータの精度が低くなったり、隣接した複数の直線を1つの直線とみなしてしまう。さらに、エッジ数が多いとパラメータ推定の計算時間も増加するので、不要なエッジを切り捨てる必要がある。エッジ強度の閾値によって切り捨てる方法は、画像のコントラストの違いにより閾値の設定が難しく、隣接した直線を分離することも困難である。そこで、エッジ方向 θ に沿ったエッジ強度 λ の極大値を選び、細線化を行なった。細線化したエッジを代表とすることで、認識率を落さずに計算時間を減少させることができる。

3.4 直線候補の選択

エッジの方向、すなわち、垂線の角度 θ 、が得られているので、エッジ毎のパラメータの計算は、一度で済む。1つのエッジに対し、1つのパラメータが対応するので、Hough 空間は疎となり、2次元ヒストグラムの代わりに2次元木等を使うことができる。

直線候補の選択は、Hough 空間を格子状のセルに離散化し、パラメータの値が格子の範囲に含まれるセルの度数を増やして行く。度数がある閾値以上のセルが直線の候補となる。この閾値は、検出したい直線の最小の長さに対応する。

3.5 直線候補の融合

Hough 空間の離散化きざみが細かかったり、離散値の境目付近のパラメータを持つ直線の場合、1つの直線をなすエッジが複数のセルに分散することがある。正しく直線を認識するためには、複数のセルに分散した直線候補を融合する必要がある。

2つのセルの融合の基準として、一方のセルに含まれるエッジが他方のセルの作る直線からの残差(平均距離)を用いることにした。セル s の直線から見たセル t のエッジの残差 residual_{st} は:

$$\text{residual}_{st} = \frac{1}{N_t} \sum_{i=1}^{N_t} \{e_y^s(x_i^t - \mu_x^s) - e_x^s(y_i^t - \mu_y^s)\}^2$$

ここで、 (x_j^t, y_j^t) 、 N_t は、セル t に含まれるエッジの座標、および、個数、 (μ^s, e^s) はセル s のエッジの座標による最小自乗直線の重心、および、方向ベクトルである。

この残差が閾値以下となるセルを融合して、1つの直線とする。

3.6 線分情報の取得(区間の推定)

画像中の直線は、一般に、始点と終点とを持つ線分である。§3.5 で直線のパラメータは得られるので、直線のどの区間が画像中に写っているかを判定する。

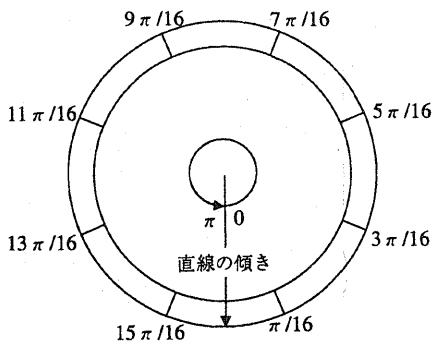
区間の推定は、直線上のエッジ分布を調べ、密度の高い区間の始点と終点を線分情報とする。また、長さが20未満の線分はノイズとして切捨てた。

4 直線による検索

4.1 傾きの扱い

直線の傾きは θ 、 $0 \sim \pi$ の値を持つ。ただし、 0 と π の近傍では類似度を高くする必要がある。直線の傾きをindex化するためには、

- 0 と π を1つの近傍に含むように離散化する:



8段階に離散化した例

- B木などを利用する場合は、直線 l を傾き θ に応じて重複して格納する:

$\theta + \pi$ に重複させる	$\theta < \frac{\pi}{4}$
$\theta - \pi$ に重複させる	$\theta > \frac{3\pi}{4}$
重複させない	otherwise

検索キー τ に対し、 $\tau \pm \Delta\tau$ といった通常の範囲検索が行なえる。また、傾き、オフセット、長さを3次元のベクトルとし、R木等の多次元indexで近傍検索を行なうことも可能となる。

4.2 オフセットの正規化

直線のオフセットは画像の大きさに依存する。直線の相対的な配置をキーとして検索を行いたい場合は、画像の縦横比を考慮した正規化を図る必要がある。位

置の観点からは縦横を同じ大きさに正規化したいが、縦横比が変われば傾きが変わってしまい、検索の結果が人間の観点に合わなくなってしまう。上下(あるいは左右)に余白を挿入して中心を揃えれば、中央付近の直線の検索はうまく行なえる。しかし、“画面の端にある直線”を検索する場合、縦長の画像では左右の端の直線が検索できず横長の画像では上下の端の直線が検索できない。逆に、長辺の端を切ればこの検索には対応できるが、長辺の端にある直線が検索できなくなる。

そこで、画像の縦横比と直線の傾きを考慮した正規化を考えた。縦長の画像では、横向きの直線、すなわち、直線の傾き θ が $\theta \leq 45^\circ$ または $\theta \geq 135^\circ$ の場合、オフセットの補正は行なわない。縦向きの直線、すなわち、 $45^\circ < \theta < 135^\circ$ の場合、垂直に近い直線ほど中心からの距離を大きくする様にオフセットの補正を行なう(図4)。横長の場合は、縦と横を逆にして上記の正規化を行なう。これにより、画像の縦横比に関わらず“画面の端の直線”が検索できる。

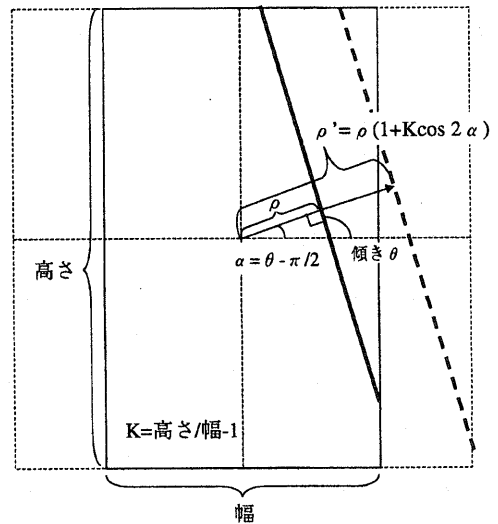


図4: 直線のオフセットの正規化

4.3 プロトタイプ

人間が直線を認識する場合、傾きに対して敏感である。また、直線のオフセットも重要なキーとなる。そ

ここで、傾きで範囲検索を行ない、オフセットの値で絞り込み、直線の長さでランキングするプロトタイプを試作した。

5 実験結果

5.1 直線の検出

提案した直線の検出手法をカラー画像 (PhotoDisc Object Series 04019[7]: 図 5) に適用した例を図 6 に示す。線分が少しずれている部分もあるが、ほぼ正しく検出できていることが分かる。処理時間は画像サイズや直線数によって変わるが、この例 (画像サイズ 400 × 500) では、DEC AlphaStation 250 で 25 秒程度であった。

次に提案法の有効性を評価するため PhotoDisc の画像 1010 枚について直線を検出し、有意な直線の比率を計算した。ここで、“有意な直線”とは、検索の対象となる、ある程度意味のある直線であり、ノイズや過統合によって画像の線からずれたもの、不必要に分割され細かくなり過ぎたものを除いたものである。結果を表 1 に示す。ノイズによる短い直線や線分への変換の際に 1 本とすべきものを複数の短い線分にしてしまう過分割により、有意な直線の比率は 40% 程度であった。比率を向上させるためには、区間の推定の改良、および、孤立した短い直線を除く等を行なう必要がある。また、“Food_Essentials”および“Food_and_Dining”での比率が低いのは、果物や皿等の曲線が多いためである。

5.2 直線をキーとした画像の検索

直線をキーとした画像検索プロトタイプの検索キーの指定画面を図 7 に示す。白い部分が画像の範囲、細い線が中心を表す。傾きと通過する点により検索キー (太い直線) を指定する。図 7 は、画面の右端に垂直な直線がある画像を検索している。

角度、オフセットの順に絞り込み、直線の長さでランキングしたものを上位 10 件表示している (図 8)。提案した画像の正規化手法により、縦横比によらず、

画面の右端に縦の線があるものが検索できていることが分かる。

6 おわりに

本稿では、画像から直線を検出する手法の提案、及び、直線をキーとした画像検索について述べた。

提案した直線検出法は、1) wavelet によるエッジ検出、2) カラーエッジの統合、3) エッジの細線化、4) 直線候補の選択、5) 直線候補の融合、6) 線分情報の取得のステップからなり、カラー画像からの直線の検出を行なう。提案法の有効性を検証するため、PhotoDisc の画像 1010 枚に適用した結果、検出された直線のうち画像検索に利用できる有意な直線の割合は約 40% 程度であった。

次に、得られた直線を画像の特徴量とした類似画像検索について検討を行ない、縦横比の異なる画像に対処するため直線のオフセットの正規化法を提案した。簡単なプロトタイプを試作し、本正規化法が有効に機能することを確かめた。

複数の直線の組み合わせや直線の長さの指定による検索の高度化、および、画像検索システム ExSight への組み込みが今後の課題である。

参考文献

- [1] 赤間, 三井, 紺谷, 串間, “画像内オブジェクトの自動抽出を使った画像検索システム—ExSight—,” 信学会第 8 回データ工学ワークショップ (DEWS '97) 論文集, pp.107-112.
- [2] 赤間, 紺谷, 三井, 串間, “画像内オブジェクトの自動抽出を使った画像検索システム ExSight—写真 (PhotoDisc) への適用—,” 信学技法, DE97-31.
- [3] R. Klette and P. Zamperoni, “Handbook of Image Processing Operators,” John Wiley & Sons Ltd., 1996, pp. 350-355.

表 1: 提案法により検出された直線の評価

コンテンツ名 (使用した画像数)	平均直線数	有意な直線数 (比率)
Children_of_the_World (69)	17.0	7.2 (42 %)
European_Landmarks_and_Travel (69)	21.6	9.5 (43 %)
Family_and_Lifestyles (160)	16.7	8.3 (50 %)
Food_Essentials (160)	39.6	9.5 (24 %)
Food_and_Dining (69)	23.6	6.4 (27 %)
Homes_and_Gardens (69)	33.2	18.6 (56 %)
International_Sports (336)	15.4	6.8 (43 %)
People_Lifestyles_and_Vacations (69)	17.5	8.1 (46 %)
The_Painted_Table (9)	19.6	9.7 (49 %)
	21.9	8.6 (39 %)

- [4] J. Canny, "A Computational Approach to Edge Detection," IEEE trans. on PAMI, Vol.8, No.6, Nov. 1986.
- [5] S. Mallat and S. Zhong, "Characterization of Signal from Multiscale Edges," IEEE trans. on PAMI, vol.14, No.7, July 1992.
- [6] H.-C. Lee and D. R. Cok, "Detecting Boundaries in a Vector Field," IEEE trans. on SP, vol.39, No.5, May 1991.
- [7] <http://www.photodisc.com/>

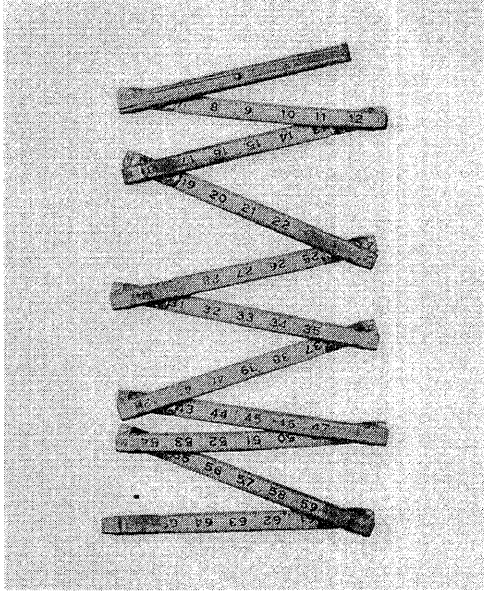


図 5: 元画像

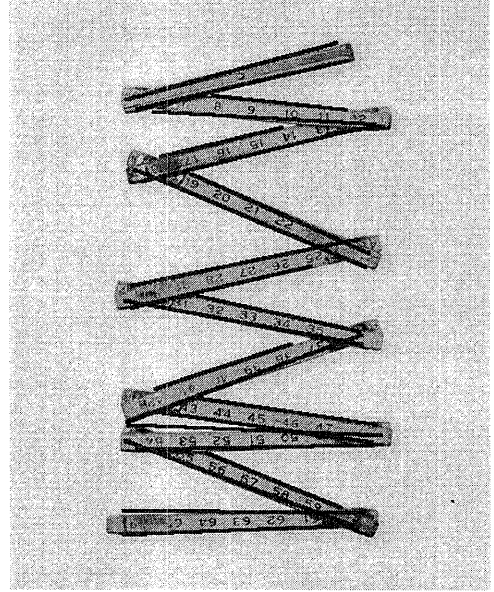


図 6: 検出された直線 (線分)

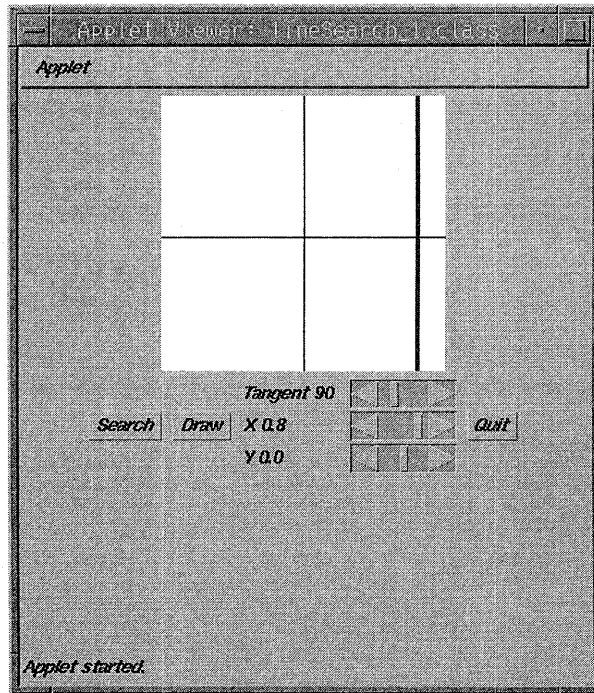


図 7: 検索キー

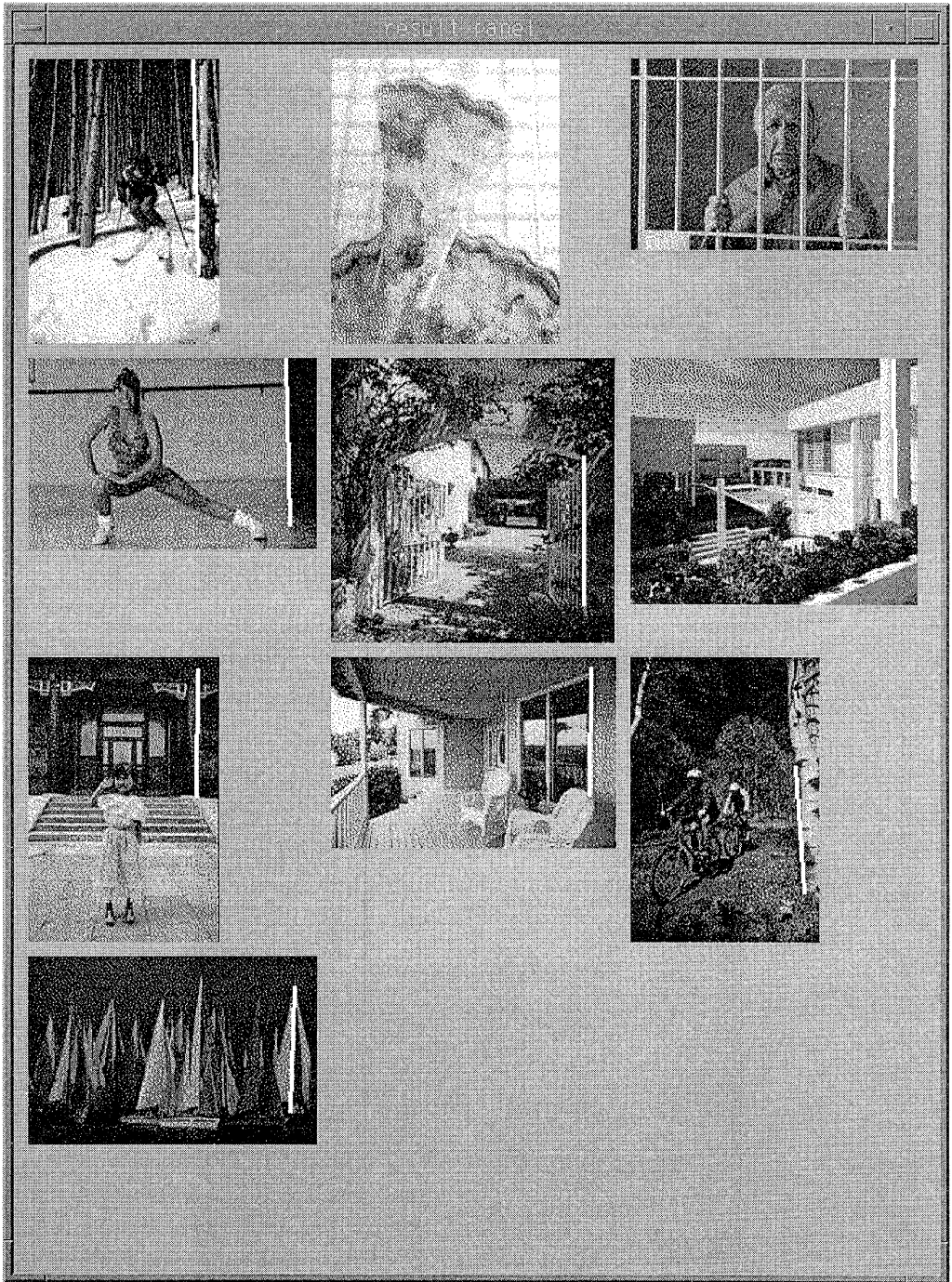


图 8: 检索结果