

能動学習型SVMを用いたCBIRにおける分類器の再利用へのログ情報の適用

Application of log data to criterion for reuse of classifiers in CBIR using SVM active learning

原田 憲吾†
Kengo Harada

服部 元信‡
Motonobu Hattori

1. はじめに

従来の画像検索は、主に人間の手により作成された注釈を利用して行われてきた。しかし、近年の技術革新による画像データの増加に伴ない、人手による注釈付けが困難になった。また、注釈をつける人間の主観が検索結果に影響を及ぼしてしまう恐れもある。

このような問題をコンピュータに解決させることを目的とした画像検索システムとして、内容に基づく画像検索(CBIR:Content-Based Image Retrieval)が存在する。このシステムは、画像の内容の情報を特徴ベクトルで表現し、画像間の類似度を比較することにより、データベース内に蓄積された画像群の中からユーザの求める画像を提示するシステムである。しかし、検索システムがユーザの要求に対して高い検索精度を示すためには、ユーザの要求を理解しなければならない。これを解決するために、CBIRシステムでは、適合性フィードバックを用いるものが多い。ユーザからのフィードバックを効率的に学習する方法として、能動学習によって分類器を生成し、保存された分類器の中から検索要求に対応する分類器を再利用する手法が提案されている [3]。

本研究では、より効率の良い画像検索を実現することを目的とし、分類器の再利用システムへのログ情報 [2] の適用を提案する。また、実験によって提案する再利用基準の有用性を確認する。

2. 内容に基づく画像検索

CBIRは、ユーザから入力された画像から「色」「形」「テクスチャ」などの視覚的特徴を抽出し、画像データベース内から類似した画像を検索結果としてユーザに提示するシステムである。このように、視覚的特徴が類似した画像を検索することは比較的容易に実現できる。しかし、ユーザが画像に含まれる意味的概念による検索を行う場合、画像の視覚的特徴から高次元の意味的概念を導く必要があり、単純な視覚的特徴比較では、ユーザの要求する具体的な内容を判断するのは困難である。そこで、多くのCBIRシステムには、ユーザの意図を理解するために、適合性フィードバック (RF:Relevance Feedback) が用いられている。

2.1.Relevance Feedback を用いた CBIR

Relevance Feedback を用いた CBIR では、システムがユーザに対して検索結果を提示し、ユーザはそれらの画像に対し、どの画像が自分の要求に合っているかを評価する。その後、その評価を基に分類器の再学習を行うことによって、検索の精度を向上させていく。この RF を迅速かつ効率的に行う機械学習法として、Tong らが提案した、能動学習型サポートベクタマシン (SVM:Support Vector Machine) を用いた CBIR システム [1] がある。これは、誤って分類されやすい分離超平面付近のデータから率先して学習していく手法である。

†山梨大学大学院医学工学総合教育部, 甲府市

‡山梨大学大学院医学工学総合研究部, 甲府市

3. 分類器の再利用

Tong らのシステムでは、検索の際に生成された分類器 (SVM) は、検索の終了と同時に破棄されていた。そこで中島らは、この分類器を保存し、再利用する方法を提案した [3]。

再利用する分類器は、ユーザからの正事例の入力画像 \mathbf{x}_R 、負事例の入力画像 \mathbf{x}_{IR} を正しく分類するものが選択される。これを満たす分類器が多数存在する場合、式 (1) が最大になる分類器を選択する。

$$|f(\mathbf{x}_R)| + |f(\mathbf{x}_{IR})| \quad (1)$$

SVM は識別関数 $f(\mathbf{x})$ の値が正か負かにより分類を行う分類器であり、分離超平面からの距離 $|f(\mathbf{x})|$ は、その分類の信頼度とみなすことができる。中島らの手法では、入力を正しく分類している分類器の中で、その信頼度が最も高い分類器を再利用する。この手法により、迅速かつ高精度な検索を行えることが示されている。

4. 関連マトリクスと関係度合い

既存手法の一つに、ログ情報を学習に用いた手法 [2] がある。これは、各 RF のログ情報から画像間の関連を推定し、この関連を用いて SVM の学習データを増やすことによって、検索初期の精度を上げる手法である。

画像間の関連は、関連マトリクス (RM:Relevance Matrix) で表現され、表 1 のように定義される。あるセッション k で画像 i が評価されたとき、 $RM(k, i)$ の値は、正事例である場合 1、負事例である場合 -1、評価されなかった場合は 0 となる。

表 1: 関連マトリクス

		Images(i)				
		1	2	3	...	n
Sessions(k)	1	1	0	-1	...	-1
	2	0	0	-1	...	1
	3	1	0	1	...	0
	⋮	⋮	⋮	⋮		⋮

関連マトリクスから、関係度合い R_{ij} を、以下の式のように求める。

$$R_{ij} = \sum_k \delta_k^R \cdot RM(k, i) \cdot RM(k, j)$$

$$\delta_k^R = \begin{cases} 1, & RM(k, i) + RM(k, j) \geq 0 \\ 0, & RM(k, i) + RM(k, j) < 0 \end{cases}$$

関係度合い R_{ij} は、画像 i と画像 j の関連性を表す。画像 i と画像 j が共に正事例であった場合、 $R_{i,j}$ は増加する。画像 i と画像 j が、それぞれ正事例、負事例に分類された場合、 $R_{i,j}$ は減少する。 δ_k^R によって、共に負事例とされた場合は、関係度合いは変化しない。 $R_{i,j}$ は、画像 i と画像 j が、同じ

分類とされやすい場合に大きくなり、違う分類とされやすい場合に小さくなっていく。このため関連度合いの大小によって、画像間の関連を推測することができる。

既存手法では、正事例の入力と関連のある画像を、SVMの学習を行う際の追加データとすることで、検索初期の精度を向上させた [2]。

5. ログ情報を適用した再利用基準

中島らの研究では、分類器選択を正事例の入力画像と負事例の入力画像のみから行っていた。しかし、ある検索要求に対する負事例は、正事例に比べ大量に存在する。このため、負事例の入力によって、選択される分類器が大きく変化してしまう。ユーザの要求にそぐわない分類器が選択された場合、検索結果に悪影響を及ぼすだけでなく、その後の学習によって、分類器の検索性能を低下させてしまう恐れがある。そこで、分類器の選択の際にログ情報を利用する手法を提案する。

5.1. 提案する再利用基準

中島らの手法では、分類器を再利用するために、各分類器のサポートベクター (SV) を保存している。SV はその分類器を表現する画像データであるといえるため、SV と入力画像の関連度合いを用いて、分類器と入力画像の関連を、以下の式 (2),(3) によって求める。

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{m_k} \delta_i^\alpha \cdot r_{\mathbf{x}_{ki}^{SV} \mathbf{x}_R}}{m_k} + 1 \quad (2)$$

$$\delta_i^\alpha = \begin{cases} 1, & f(\mathbf{x}_{ki}^{SV}) > 0 \\ -1, & f(\mathbf{x}_{ki}^{SV}) < 0 \end{cases}$$

$$\beta = -\frac{\sum_{i=1}^{m_k^+} r_{\mathbf{x}_{ki}^{SV^+} \mathbf{x}_{IR}}}{m_k^+} \quad (3)$$

\mathbf{x}_R は正事例の入力画像、 \mathbf{x}_{IR} は負事例の入力画像である。 r_{ij} は関連度合い $R_{i,j}$ を正規化した値を示す。 \mathbf{x}_{ki}^{SV} は、分類器 k の SV のうち i 番目のものを指し、 $\mathbf{x}_{ki}^{SV^+}$ は SV のうち正事例側のもののみを指す。 m_k は分類器 k の SV の個数であり、 m_k^+ は、正事例側のみの SV の個数を表す。 δ_i^α は、SV が正事例側か負事例側かを判別し、符号を調節する係数である。

個々の SV と入力との関連度合い r_{ij} の平均値を、それぞれ係数 α 、係数 β とする。ただし、負事例は「正事例でないもの」という広い区分であるため、本論文では負事例からの情報は、分類器を選ばれにくくするペナルティとしてしか使用しない。このため、負事例側の SV との関連度合いは考慮しておらず、また、 $\beta < 0$ である。関連を表す係数 α 及び β を、式 (1) に係数として適用することによって、提案する再利用基準である式 (4) を得る。

$$\max_k (\alpha \cdot |f_k(\mathbf{x}_R)| + \beta \cdot |f_k(\mathbf{x}_{IR})|) \quad (4)$$

正事例の入力と正事例側の SV との間に正の関係がある場合、 α は増加し、その分類器が選択されやすくなる。逆に負事例側の SV と正の関係がある場合、 α は減少しその分類器は選択されにくくなる。負事例の入力と正事例側の SV と正の関係度合いが大きい場合、 β が減少し、その分類器は選択されにくくなる。これにより、入力に関連のある分類器を選択することが可能となる。

6. 計算機実験

実験データとして、データクラフト社の著作権フリー画像集「フォトバイブル 20000」より、2000 枚 (20 クラス × 100 枚) の画像データを用いた。特徴ベクトルは、カラーヒストグラムを用いた色情報 (129 次元)、ウェーブレット変換を用いたテクスチャ情報 (18 次元) とした。検索では、予め画像データに付加されたクラス情報を利用した RF を行った。1 回の入力に対し 5 回の RF が行われ、1 回の RF で評価される画像数は 20 枚とした。2000 枚の画像を 1 枚ずつ入力として 2000 回の検索を行い、RF の回数に対する適合率の平均を調べた。各パラメータは、各論文に準拠した値とした。提案手法と中島らの手法の相違点は再利用基準のみである。結果を図 1 に示す。

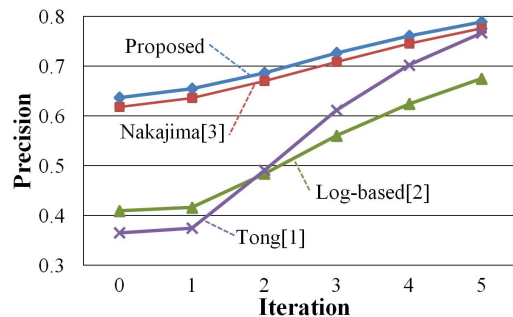


図 1: 実験結果

この結果から、提案手法は中島らの手法の再利用基準だけを変更したにも関わらず、適合率が上昇していることが分かる。これは、関連のある分類器が選択されることによって、各分類器に適切な学習が行われたことを示している。

7. 結論

本研究では、より効率の良い画像検索を実現することを目的とし、分類器の再利用システムへのログ情報の適用を提案した。計算機実験において、提案手法と従来手法との適合率の比較を行った結果、検索精度の向上が見られた。このことから、提案手法ではログ情報を用いることによって、入力に関連のある分類器が選択され、分類器の学習効率の向上が行えたといえる。

より複雑で大きな画像データベースを用いた場合や、RF にノイズを含む場合は、保存される分類器数が増大し、分類器選択の問題はより難しくなると考えられるが、提案手法はこのような状況下でより効果を発揮すると考えられる。今後の研究では、より現実的な条件の下で提案手法の有用性を確認していく。

参考文献

- [1] S. Tong and E. Chang, "Support Vector Machine Active Learning for Image Retrieval," Proc. 9th ACM Int'l Conf. Multimedia, pp.107-118, 2001.
- [2] C.H. Hoi and M.R. Lyu, "A Novel Log-Based Relevance Feedback Technique in Content-Based Image Retrieval," Proc. 12th ACM Int'l Conf. Multimedia, pp.24-31, 2004.
- [3] 中島 聖志, 服部 元信, "能動学習型サポートベクターマシンを用いた内容に基づく画像検索における分類器の再利用," 情報処理学会第 70 回全国大会講演論文集, 1R-5, 1, pp.477-478, 2008.