

UN PANORAMA SUR L'INDEXATION D'IMAGES FIXES

MATHIEU VISSAC ET JEAN-LUC DUGELAY*

Ce papier propose une vue générale des techniques généralement utilisées dans le domaine de recherche qu'est l'indexation d'image. Un domaine qui est de plus en plus actif depuis quelques années. Cet état de l'art comprend plus de trente références couvrant les différents aspects de l'extraction et de la représentation des caractéristiques d'une image. Sont aussi présentés : les interfaces utilisateurs, les produits existants et les nouvelles orientations en cours de d'étude.

1. Introduction. Les bases de données d'images représentant des volumes d'informations de plus en plus considérables, l'indexation automatique basée sur le contenu est devenue un élément primordial pour gérer ces masses de données. Les bases d'images peuvent, de nos jours, contenir plusieurs millions d'images et occuper plusieurs téra-octets d'espace disque. Il est donc indispensable de posséder des outils permettant de rechercher les images les plus pertinentes par leur contenu, comme c'est déjà le cas pour les systèmes de recherche de texte par mots clés. Le problème qui se pose alors est que les images ne sont pas décrites par un alphabet et ne peuvent donc pas être répertoriées facilement dans un dictionnaire.

Le domaine de recherche de l'indexation d'image est de plus en plus actif. Comme le montre le tableau ci-dessous, le nombre de publications sur le sujet est en constante augmentation depuis 1991 (source INSPEC au 09/08.99).

Année	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Nb. Publications	249	336	319	401	520	649	750	877

Dans le passé, la problématique de la recherche d'images se résumait en une problématique de recherche de mots en se basant sur les attributs textuels des images tels que le nom du fichier. Mais cette approche nécessite une entrée manuelle des mots définissant l'image (légende) et ne peut donc plus être appliqué au flux, toujours croissant, d'arrivée des nouvelles images.

Les domaines potentiels d'application de l'indexation sont nombreux, en voici une liste non-exhaustive :

*Institut Eurécom, Dept. of Multimedia Communication, 06904 Sophia-Antipolis Cedex, France, Tel : +33 (0)4.93.00.26.{71.41}, Fax : +33 (0)4.93.00.26.27, Email : {vissac, dugelay}@eurecom.fr

Domaines	Applications
aérospatiale	analyse des images satellites
médecine	indexation des images représentant des caractères pathologiques
télécommunications	archivage et codage d'images par leur contenu
art	étude et archivage de styles artistiques création de musées en ligne
éducation	création d'encyclopédie d'illustrations
médias	recherche d'illustrations d'un événement ou d'une personne
surveillance	identification de personne
authentification	recherche et vérification des contrefaçons
design	styles et textures dans l'industrie
photographie	recherche des photos adéquates pour un article
audiovisuel	recherche d'un plan cinématographique

Nous allons nous intéresser principalement aux images fixes. Se basant généralement sur l'aspect temporel, les techniques utilisées et les buts recherchés pour l'indexation vidéo sont très différents et ne seront pas traités ici. Pour ces techniques liées à la vidéo, le lecteur est invité à se reporter aux articles [1, 2, 3, 4].

Nous allons voir, dans un premier temps, les différentes sortes de requête (section 2) utilisables en indexation ainsi que les interfaces devant être mises en place. Une description des techniques fréquemment utilisées viendra ensuite dans la section 3. Après avoir parcouru quelques produits existants en indexation d'images fixes au chapitre 4, nous examinerons les directions actuelles des travaux dans ce domaine. Nous terminerons cet article par plusieurs remarques concluantes.

2. Requêtes et Interfaces.

2.1. Le type de requête. Comme dans tout système de recherche, l'utilisateur doit exprimer ses souhaits au moteur de recherche par intermédiaire de l'interface utilisateur. Cette requête doit, bien entendu, être comprise par ce dernier.

Il existe plusieurs types de requête :

parcours au hasard : La base est parcourue aléatoirement jusqu'à ce que l'utilisateur trouve l'image qui l'intéresse.

navigation par catégorie : Les images de la base sont classées par catégories. L'utilisateur peut donc directement choisir la catégorie dans laquelle il pense pouvoir trouver l'image.

recherche par mots clés : L'utilisateur entre des mots sensés représenter l'image recherchée. Il dispose souvent d'une série de termes prédéfinis pour formuler sa requête.

recherche par l'exemple : Lors d'une telle requête, l'utilisateur fournit une image-exemple et le logiciel recherche dans la base les images "qui ressemblent à l'image-exemple". L'image exemple peut être une photo de l'objet désiré

ou une représentation créée par l'utilisateur lui-même (dessin ou image de synthèse par exemple).

Les deux premières méthodes ci-dessus ne peuvent pas, de par leur fonctionnement, être utilisées pour une indexation et récupération *automatique* des images. Elles ne seront donc pas abordées ici.

La recherche par mots clés, très présente dans l'indexation de documents textuels, ne semble pas vraiment adaptée aux images. Premièrement, il peut s'avérer très difficile de décrire une image en quelques mots, surtout si l'utilisateur n'a qu'une vague idée de ce qu'il désire. Deuxièmement, une requête par mots clés nécessite une longue et coûteuse phase manuelle d'indexation des images de la base avec des mots clés les définissant. Cette indexation manuelle des images est devenue impraticable avec la taille toujours grandissante des bases de données multimédia actuelles.

La recherche par l'exemple est une nécessité majeure pour les utilisateurs vu qu'elle supprime le besoin d'exprimer la requête à l'aide de mots. De plus, elle élimine l'exigence de la coûteuse étape préliminaire d'indexation alphanumérique manuelle. Avec cette requête, le problème d'indexation peut se transformer en une définition d'une distance entre images.

2.2. Les interfaces. Les interfaces utilisées dépendent fortement du type de requête. Cependant, comme nous venons de le voir dans le paragraphe précédent, la requête par l'exemple semble être la plus appropriée, ainsi les interfaces des produits existants sur Internet (voir section 4) sont assez semblables et s'organisent le plus souvent sur cette approche.

Certaines différences peuvent néanmoins apparaître selon les possibilités laissées à l'utilisateur :

- Est-il possible de sélectionner qu'une partie de l'image-exemple ? Le logiciel segmente-t-il automatiquement l'image en zone d'intérêt ? Cette possibilité, très utile pour retrouver des objets précis (ou personnes), ajoute le problème de la segmentation d'images à celui de l'indexation.
- La personne peut-elle interagir avec les résultats pour que ceux-ci s'améliorent au cours des utilisations ? Cela correspond à un entraînement de l'algorithme. L'utilisateur peut confirmer, ou au contraire infirmer, la similitude de deux images (au sens de sa demande et/ou du résultat qu'il espérait).

2.3. Les bases de données. Les bases de données image utilisées pour les tests en indexation sont très diverses et sont, souvent, choisies en fonction du critère utilisé pour la recherche (voir section 3). En effet, les bases utilisées pour l'indexation par la forme comprennent généralement des photos d'objets prises avec des angles de vue et des focales différentes; alors que pour l'indexation par la texture, les images de la base présenteront des similitudes (et des différences) au niveau des aspects des surfaces.

Toutefois, certaines bases sont devenues des bases standards pour l'indexation. Depuis 1996, MPEG-7 [5] s'impose comme étant un standard de représentation des données multimédia (audio, image fixe et vidéo). D'autres bases sont également utilisées [6]: des bases du MIT (libraries.mit.edu/lists/databases.html) (7562 visages par exemple), des bases de l'université de Columbia (1440 images d'objets pris sous divers angles), ...

3. Méthodes d'indexation. La première technique venant à l'esprit pour comparer deux images est sans doute la différence point à point. Bien que cette technique calcule effectivement la différence réelle entre deux images, elle ne prend pas du tout en compte le contenu sémantique de l'image. Elle est donc dépendante de l'angle de prise de vue de l'objet et non-robuste aux transformations classiques susceptibles d'être appliquées aux images (translations, symétries, rotations, changement d'échelle, ...).

Il a donc fallu trouver des techniques de calcul de similarité basées non plus sur l'image elle-même mais sur son contenu. C'est pourquoi l'essentiel des travaux de recherches portant sur l'indexation d'images, se basent sur l'extraction d'attributs significatifs représentant le contenu sémantique de l'image et, si possible invariants lors de petites modifications de l'image. Ces attributs peuvent être la couleur ou la texture de l'image par exemple, le choix dépendant fortement de l'utilisateur, des images de la base et du contexte.

On peut déjà différencier deux types d'attributs :

Les attributs réversibles : Ce sont les attributs qui décrivent l'image et qui permettent la reconstruction de l'image à eux seuls. Les attributs se basant sur les espace transformés sont, en général, des attributs réversibles (par exemple la transformée de Fourier), on peut aussi, par extension, ajouter les codeurs avec pertes (code IFS¹, JPEG², ...).

Les attributs non-réversibles : Aussi appelés *signatures*, ces attributs caractérisent l'image mais ne permettent pas, à eux seuls de reconstruire l'image. La couleur, la texture et la forme sont, par exemple des signatures (la seule connaissance des histogrammes de couleurs d'une image ne permet évidemment pas la restitution de l'image).

Les attributs couramment utilisés sont la couleur, la texture et la forme. Après une description des techniques utilisées pour chacun d'eux, nous verrons comment certains utilisent les domaines transformés pour extraire directement des données d'indexation.

¹Iterated Functions System [7]

²Joint Photographic Expert Group

3.1. Indexation par la Couleur. La couleur est l'une des composantes les plus utilisées en indexation d'image. Elle est indépendante de la taille de l'image et de son orientation. Cependant, sans segmentation, elle est relativement peu robuste aux problèmes liés au fond de l'image (un même objet mais sur deux fonds différents ont peu de chance d'être associés à une même classe).

Dans la recherche par la couleur, l'histogramme de couleur est la représentation colorimétrique la plus utilisée. Il dénombre la quantité de pixels de chaque valeur pour les trois composantes de la couleur. Soit sur l'image dans sa totalité, soit sur des parties de l'image afin de prendre en compte la répartition des couleurs dans l'image.

Dans son article [8], Swain et Ballard proposent une façon de calculer la différence entre deux histogrammes avec la formule :

$$D(I, M) = \frac{\sum_{j=1}^n \min_j(I_j, M_j)}{\sum_{j=1}^n M_j}$$

avec I, M deux histogrammes de couleur de l'Image et du Modèle
et n le nombre de valeur de chaque histogramme

Le choix de l'espace de représentation des couleurs est largement discuté dans la littérature. Dans [9], l'espace utilisé est l'espace HSV³ afin d'éviter l'apparition de fausses couleurs lors de la quantification de cette dernière. Des informations concernant les différents espaces colorimétriques peuvent être trouvées dans des ouvrages comme [10].

A partir des histogrammes, des auteurs [11, 12] effectuent une recherche d'un nombre donné de couleurs représentatives de l'image, par segmentation de l'image en fonction de la couleur, ceci afin d'éviter d'avoir à comparer les histogrammes bruts. Chua et al. utilisent aussi un critère basé sur la localisation dans l'image de chaque couleur représentative.

3.2. Indexation par la Texture. Suite aux nombreuses études en codage d'images, plusieurs équipes ont commencé à étudier l'utilisation des ondelettes pour aider à la caractérisation des textures. La transformée en ondelettes, caractérisant à la fois l'aspect fréquentiel et spatial, s'applique bien aux textures.

Dans les articles [13, 14], Smith et Chang utilisent des données statistiques (moyenne et variance), extraites des sous-bandes des ondelettes, afin de représenter les textures. Cette approche donne plus de 90% de précision lors des tests sur les 112 images de la base d'images texturées *Brodatz*. Li et Castelli [15] test la même technique sur des images satellitaires et arrive à un résultat de 80% de bonnes réponses en utilisant la distance euclidienne :

³Hue Saturation Value

$$D(u, v) = \sqrt{\sum_{i=1}^n |u_i - v_i|^2}$$

ou u et v sont deux vecteurs représentant la texture de deux images

3.3. Indexation par la Forme. Comme nous l'avons vu précédemment, la transformée en ondelettes est fréquemment utilisée pour l'indexation par rapport à la texture. Swanson et Tewfik, dans leur article [16], utilisent les coefficients de la transformée en ondelettes combinés avec une représentation en B-spline des contours des objets de l'images.

Une autre technique consiste à segmenter l'image en régions et à travailler avec les moments de ces régions. Dans [17], Hu identifie sept moments caractérisant l'image. Depuis de nombreuses versions sont apparues, basées sur cette technique [18].

Le moment d'ordre $p + q$ de la région définie par f est :

$$m_{pq} = \sum_i \sum_j x_i^p \cdot y_j^q \cdot f(i, j)$$

avec $f(i, j)$ le niveau de gris
et x_i et y_j la position

Le moment d'ordre 0 (m_{00}) représente la surface de la région. Les moments d'ordre 1 (m_{01} et m_{10}) définissent le centre de gravité de la surface correspondante. Ils existent en outre des moments d'ordre supérieur invariants par translation de l'image. Les moments centrés normés sont invariants par translation, rotation et homothétie, c'est-à-dire par le groupe des similitudes affines.

3.4. Indexation dans les domaines transformés. Milanese et Cherbuliez utilisent, dans l'article [19], la norme de la transformée de Fourier discrète (TFD) comme attribut. Cette valeur a l'avantage d'être robuste aux transformations géométriques de l'images (rotations, symétries). Après avoir calculé la norme ($P(m, n)$) de la TFD, il passe en coordonnées log-polaires.

$$p = \log \sqrt{(m - m_0)^2 + (n - n_0)^2}$$

$$v = \arctan \frac{n - n_0}{m - m_0}$$

donc $P(m, n) = L(p, v)$

Ensuite il définit deux valeurs caractéristiques comme étant les spectres d'énergie de $L_p(s) = \sum_v L(s, v)$ et $L_v(t) = \sum_p L(p, t)$. Ces valeurs sont invariantes aux transformations 2D rigides.

L'utilisation d'autres domaines transformés (code IFS, DCT⁴, ...) permet, pour les grandes bases de données de travailler sur les versions compressées des images. Ce qui réduit souvent la quantité de données à stocker.

⁴Discrete Cosinus Transform

Le code IFS, résultant de la compression fractale, représente l'auto-similarité d'une image. Il prend en compte, de part la théorie fractale, différentes transformations affines. Cette caractéristique en fait une bonne source de données d'indexation. Le code IFS peut être utilisé directement par application du code IFS d'une image sur une autre [20]. Marie et Essafi [21] calculent directement une distance entre les codes IFS de deux images afin de trouver leur similitudes. Dans l'article [22], Zhang propose l'utilisation de codes croisés se basant sur l'auto-similarité inter-images et non plus intra-image. Sur le même principe, dans l'article [23], Vissac et al. utilisent la recherche de similarités locales inter-images et leur impose un sens global par l'utilisation de l'algorithme de Viterbi (voir section 5.2) en imposant certaines continuités.

Yu et Wolf, dans leur article [24], utilise la technique de segmentation de l'image puis pour chaque région il assigne un état (arbre, eau, ...). Cette méthode se rapproche de la classification d'image. Il utilise dans son algorithme de décision la transformée DCT 2D.

4. Systèmes de recherche existants. Voici une liste non-exhaustive de logiciels existants et présentés sur Internet. Cela montre bien l'intérêt industriel que suscite le problème de l'indexation de grandes bases de données multimédia.

Il est très difficile de comparer les résultats de ces produits, et cela pour plusieurs raisons : ils utilisent tous des bases d'images différentes, ces bases ne sont pas connues dans leur intégralité par l'utilisateur ce qui rend impossible de calculer une quelconque efficacité ou précision, enfin nous ne pouvons pas savoir si les bases ne sont pas déjà pré-triées (souvent les images similaires se suivent par leur numéro).

4.1. QBIC. *<http://www.qbic.almaden.ibm.com/>*

QBIC est le premier système commercial de recherche d'image par le contenu. Il fonctionne grâce à une recherche par l'exemple et utilise la couleur, la texture, etc... Le système utilisé pour la couleur est la coordonnée moyenne ((R,G,B) (Y,I,Q) (L,a,b)) et des histogrammes de couleur. La recherche par la texture est une version améliorée de la représentation de texture de Tamura [25].

4.2. Virage. *<http://www.virage.com/>*

Virage est un système d'indexation d'images par le contenu développé par Virage Inc.. Similairement à QBIC, Virage supporte des requêtes portant sur la couleur, la localisation des couleurs, la texture et sur la structure de l'image. Mais l'avantage de Virage par rapport à QBIC est qu'il autorise une combinaison entre les différents modes de recherche. L'utilisateur définit le poids qu'il veut attribuer à chaque mode.

4.3. RetrievalWare. *<http://vrw.excalib.com/cgi-bin/sdk/cst/cst2.bat>*

Développé par Excalibur Technologies Corp., RetrievalWare est un système à base de réseaux de neurones. Il utilise la couleur, la forme, la texture, la luminance, la

localisation des couleurs, et la structure de l'image comme modes de recherche possibles. Il autorise, lui aussi, la combinaison de tous ces modes avec des poids définis par l'utilisateur.

4.4. Photobook. <http://www-white.media.mit.edu/vismod/demos/photobook/>

Développé par le MIT Media Laboratory, Photobook est un système d'indexation d'image se basant sur trois critères : la couleur, la texture et la forme. Il utilise pour cela un grand nombre de méthodes : distance euclidienne, mahalanobis ($D = (X_1 - X_2)^T C^{-1} (X_1 - X_2)$ ou X_1 et X_2 sont les vecteurs et C est la matrice de covariance), divergence, histogrammes, vecteurs d'angle, transformée de Fourier et distance des arbres de la transformée en ondelettes. La version 5 permettait à l'utilisateur de définir la combinaison de ces méthodes. La version 6, elle, autorise l'utilisateur d'entrer dynamiquement le *code* définissant la méthode de recherche à utiliser.

4.5. NeTra. <http://vivaldi.ece.ucsb.edu/Netra>

Netra [26] est un prototype d'un système de recherche d'image développé dans le cadre du projet UCSB Alexandria Digital Library. Netra utilise la couleur, découpée en zone par une segmentation de l'image, sur des régions de l'image pour chercher des régions similaires dans la base de données.

4.6. CIIR. <http://.cs.umass.edu/~demo/Demo.html>

Le "Center for Intelligent Info Retrieval", qui fait de nombreuses recherches dans le domaine de l'indexation d'image, possède un démonstrateur en ligne se basant sur l'énergie JPEG.

5. Directions futures.

5.1. Création de l'exemple. Un problème peut survenir lorsque l'utilisateur se trouve dans l'incapacité de fournir un exemple représentant sa requête. Dans l'article [27], Lwahhabi et Daoudi propose un système de création d'exemple par l'intermédiaire de la réalité virtuelle. Cette méthode, bien que limitée pour certains types d'images (paysages, visages, ...), peut avoir un grand intérêt dans l'indexation d'images de monuments architecturaux ou la recherche de formes géométriques.

5.2. Utilisation des H.M.M.. L'utilisation des modèles de Markov se trouve de plus en plus fréquemment, afin de réguler des choix de similarité pas toujours significatifs. Ils sont déjà souvent employés pour la classification [28]. Dans [29], Vissac et al. utilisent l'algorithme de Viterbi afin de garantir une certaine continuité (géométrique, spatiale) dans le choix de transformées autorisées pour le calcul de similarités locales.

Egalement, l'utilisation de réseaux de neurones peut permettre au logiciel de s'entraîner au cours des utilisation afin d'augmenter son efficacité lors de la recherche. L'idée de similarité étant en partie subjective, ce procédé permet à l'outil d'indexation de s'adapter de plus en plus au profil de l'utilisateur.

6. Conclusion. L'ensemble des démonstrateurs vu dans la section 4, tend à prouver que certains choix ont été faits pour une grande majorité des développements en cours :

1. Décrite dans la section 2, la recherche par l'exemple est utilisée par la totalité des systèmes existants.
2. L'utilisation d'un seul critère (couleur, forme ou texture par exemple) ne suffit généralement pas pour obtenir de bons résultats. La combinaison de plusieurs critères semble plus appropriée. Randen et Husoy utilisent dans leur article [6] une combinaison entre l'indexation par la couleur et par la texture avec les ondelettes. L'utilisation de pondérations définies par l'utilisateur apporte une grande souplesse dans la requête mais, parallèlement, amène un doute sur les causes d'une mauvaise réponse : est-ce l'algorithme le responsable ou les poids choisis par l'utilisateur ?
3. De plus en plus, apparaît l'idée de robustesse (par invariance) à certaines modifications des images (rotation, translation, changement d'échelle). De ce point de vue, l'indexation d'image se rapproche d'un autre domaine de recherche en plein essor : le tatouage d'image [30].

L'indexation de données multimedia est un domaine de recherche en pleine expansion. Les entreprises se tournent de plus en plus vers de telles techniques pour *naviguer* dans leur bases de données toujours croissantes.

REFERENCES

- [1] P. Aigrain, H. Zhang, and Petkovic D. Content-based representation and retrieval of visual media: A state-of-the-art review. *Multimedia Tools and Applications*, 3(3):179–202, November 1996.
- [2] F. Idris and S. Panchanathan. Review of image and video indexing techniques. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 8(2):146–166, June 1997.
- [3] G. Ahanger and T. D. Little. A survey of technologies for parsing and indexing digital video. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 7(1):28–43, March 1996.
- [4] R. Brunelli, O. Mich, and C. M. Modena. A survey of the automatic indexing of video data. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 10(2):78–112, June 1999.
- [5] R. Koenen. A new standard for the description of multimedia information: Mpeg-7. *EURASIP NEWS*, 9(1-2):5–8, May 1998.
- [6] T. Randen and J.H. Husoy. Image content search by color and texture properties. In *ICIP-97*, volume 1, pages 580–583, 1997.
- [7] A. E. Jacquin. Image coding based on a fractal theory of iterated contractive image transformation. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1(1):18–30, January 1991.
- [8] M. J. Swain and D. H. Ballard. Color indexing. *International Journal of Computer Vision*, 7(1):11–32, 1991.
- [9] J. R. Smith and S.-F. Chang. Single color extraction and image query. In *IEEE International Conference on Image Processing*, pages 528–531, 1995.
- [10] D. Travis. *Effective Color Displays*. Academic Press, 1991.
- [11] T. S. Chua, K.-L. Tan, and B. C. Ooi. Fast signature-based color-spatial image retrieval. In *IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems*, pages 362–369, 1997.
- [12] J. M. Corridoni, A. Del Bimbo, and P. Pala. Image retrieval by color semantics. *Multimedia Systems*, 7:175–183, May 1999.

- [13] J. R. Smith and S.-F. Chang. Automated binary texture feature sets for image retrieval. In *IEEE ICASSP '96*, pages 2239–2242, May 1996.
- [14] J. R. Smith and S.-F. Chang. Transform features for texture classification and discrimination in large image databases. In *IEEE International Conference on Image Processing*, pages 407–410, 1994.
- [15] C. Li and Castelli V. Deriving texture feature set for content-based retrieval of satellite image database. In *ICIP-97*, volume 1, pages 576–579, 1997.
- [16] M. D. Swanson and A. H. Tewfik. Affine-invariant multiresolution image retrieval using b-splines. In *ICIP-97*, volume 2, pages 831–833, 1997.
- [17] M. K. Hu. Visual pattern recognition by moment invariants. *IRE Transactions on Information Theory*, (8), 1962.
- [18] Y. Rui and T. S. Huang. Image retrieval: Current techniques, promising directions, and open issues. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 10(2):39–62, June 1999.
- [19] R. Milanese and M. Cherbuliez. A rotation, translation, scale-invariant approach to content-based image retrieval. *Journal of Visual communication and Image Representation*, pages 186–196, 1999.
- [20] A. Lasfar, H. Cherifi, S. Mouline, and D. Aboutajdine. Recherche d'images compressées par la méthode fractale. In *CORESA '99*, June 1999.
- [21] J.M. Marie-Julie and H. Essafi. Image database indexing and retrieval using the fractal transform. In *ECMAST'97*, pages 169–182, 1997.
- [22] A. Zhang, B. Cheng, and R. Acharya. A fractal-based clustering approach in large visual database systems. *Multimedia Tools and Applications*, (3):225–244, 1996.
- [23] M. Vissac, J.-L. Dugelay, and K. Rose. Indexation d'images par fractale/viterbi. In *CORESA '99*, June 1999.
- [24] H. Yu and W. Wolf. A hierarchical, multi-resolution method for dictionary-driven content-based image retrieval. In *ICIP-97*, volume 2, pages 823–826, 1997.
- [25] H. Tamura, S. Mori, and T. Yamawaki. Texture features corresponding to visual perception. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 6(4):460–473, April 1976.
- [26] W.-Y. Ma and B. S. Manjunath. Netra: A toolbox for navigating large image databases. *Multimedia Systems*, 7:184–198, May 1999.
- [27] H. Lwahhabi and M. Daoudi. La réalité virtuelle pour la recherche d'images. In *CORESA '99*, June 1999.
- [28] J. Li, A. Najmi, and R. Gray. Image classification by a two dimensional hidden markov model. In *ICASSP '99*, volume 6, pages 3313–3316, March 1999.
- [29] M. Vissac, J.-L. Dugelay, and K. Rose. A novel indexing approach for multimedia image database. In *MMSP'99*, September 1999.
- [30] Dugelay J.-L., C. Rey, and S. Roche. Introduction au tatouage d'image. In *CORESA '99*, June 1999.