



HAL
open science

Distances de similarité d'images basées sur les arbres quaternaires

Marta Rukoz, Maude Manouvrier, Geneviève Jomier

► **To cite this version:**

Marta Rukoz, Maude Manouvrier, Geneviève Jomier. Distances de similarité d'images basées sur les arbres quaternaires. 2002, pp.307-326. hal-00004819

HAL Id: hal-00004819

<https://hal.science/hal-00004819>

Submitted on 29 Apr 2005

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distances de similarité d'images basées sur les arbres quaternaires¹

Marta Rukoz* — Maude Manouvrier** — Geneviève Jomier**

* *Universidad Central de Venezuela, CCPD, Escuela de Computación, Av. Los Ilustres, Apt. 47002, Los Chaguaramos, 1041 Caracas, Venezuela*
mrukoz@strix.ciens.ucv.ve

** *Université Paris Dauphine, LAMSADE*
Place du M^{al} De Lattre de Tassigny, 75775 Paris Cedex 16, France
{manouvrier,jomier}@lamsade.dauphine.fr

RÉSUMÉ. Cet article présente une définition générale de distance de similarité, appelée Δ , entre images représentées par des arbres quaternaires. L'arbre quaternaire est une structure hiérarchique qui, lorsqu'elle est utilisée pour la recherche d'images par le contenu, permet de tenir compte de la localisation spatiale des caractéristiques d'image (couleur, texture, etc.). En fonction de la pondération des nœuds d'arbre quaternaire et de la distance choisie entre ces nœuds, lors du calcul de Δ , plusieurs distances entre arbres quaternaires ou plusieurs distances de similarité visuelle entre images peuvent être définies. Certaines mesures de similarité définies dans des articles scientifiques apparaissent comme des cas particuliers de la distance Δ . De nouvelles distances entre images peuvent également être définies à partir de la distance Δ .

ABSTRACT. This article presents Δ -distance, a generalization of image similarity distances defined on images represented with a quadtree. A quadtree is a recursive partitioning structure which can be used to handle positional information of image features in content-based image retrieval. Using different weights on quadtree nodes and different distances between nodes, distances between quadtrees or surface similarity between images can be computed based on the general definition of Δ . We show how existing quadtree-based image distances appear to be particular cases of the Δ -distance. Moreover, new distances between images can be defined based on the Δ -distance definition.

MOTS-CLÉS : Base de données d'images, distance entre arbres quaternaires, similarité visuelle d'images, similarité de régions d'images, recherche d'images par le contenu.

KEYWORDS: Image database, distance between quadtrees, similarity of image surfaces, similarity of image regions, image retrieval

1. Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une coopération internationale CNRS - CONICIT (accords 8680 et 10058).

1. Introduction

Dans les systèmes de recherche d'images par le contenu (en anglais *Content-Based Image Retrieval* ou CBIR) [ASL 99, BAC 96, CHA 00, FLI 95, ORI 01], le résultat d'une recherche est un ensemble d'images *similaires* à une image requête plutôt qu'un ensemble d'images répondant exactement aux critères de la recherche [TAN 01]. La recherche d'image par le contenu est basée sur la similarité des caractéristiques visuelles des images telles que la couleur [LU 94, SMI 02, STE 02], la texture [MAN 02a, PUZ 99, SMI 94] ou la forme [CHA 00, KIM 02]. La fonction de distance utilisée pour évaluer la similarité entre images dépend des critères de la recherche mais également de la représentation des caractéristiques de l'image [LI 02, LU 99]. L'idée principale est généralement d'associer à chaque image un vecteur multi-dimensionnel représentant les caractéristiques de l'image, et de mesurer la similarité des images en utilisant une fonction de distance entre les vecteurs [CAS 02, KAK 00]. L'image requête est également représentée par un vecteur de caractéristiques et le résultat de la requête retourne toutes les images dont le vecteur a été mis en correspondance avec celui de l'image requête [ALB 00]. La requête devient par conséquent une requête d'intervalle (en anglais *range query*) de la forme "Retrouvez les images pour lesquelles la distance entre leur vecteur de caractéristiques et le vecteur de caractéristiques de l'image requête appartient à un certain intervalle." ou une requête de voisinage (en anglais *nearest neighbour query*) de la forme "Trouver les k plus proches vecteurs du vecteur de caractéristiques de l'image requête avec un seuil de tolérance donné.", dans un espace vectoriel multi-dimensionnel [CHE 98b, KAT 97] ou dans un espace métrique [CIA 97, TRA 02].

A chaque image correspond un ensemble d'attributs appelé index ou signature d'image [NAS 97]. Plusieurs systèmes de recherche d'images, tel que QBIC [FLI 95], caractérisent les images par une signature globale (ex. l'histogramme des couleurs de l'image entière) [RUI 99]. Cependant, pour beaucoup d'applications, la caractérisation globale des images n'offre pas toujours de résultats satisfaisants. Dans le domaine médical, par exemple, des caractérisations locales (de régions d'images) sont nécessaires car le nombre pixels représentant une pathologie est faible par rapport au nombre total de pixels de l'image et des caractéristiques globales ne permettent pas de différencier suffisamment les images de la base [SHY 98]. De plus, les caractéristiques globales ne tiennent pas compte de la localisation des pixels et des régions d'intérêt. Pour remédier à cette limite et tenir compte de la localisation des caractéristiques dans le calcul de la similarité des images, plusieurs approches [ALB 00, AHM 97, GUP 97, LU 94, LIN 01, MAL 99] utilisent une structure spatiale, l'arbre quaternaire (en anglais *quadtree*) [SAM 84]. Une telle structure permet de stocker les caractéristiques des différentes régions d'image et de filtrer les images en augmentant au fur et à mesure le niveau de détails : chaque image est tout d'abord comparée globalement avec l'image requête, puis si leur similarité globale est inférieure à un certain seuil, les sous-régions d'images homologues sont comparées, ainsi de suite jusqu'aux régions de taille minimale. Cette technique d'indexation peut être utilisée pour comparer les images globalement [LU 94], mais peut également permettre de faire des

requêtes sur les régions d'images telles que "Retrouvez toutes les images de la base ayant la région nord-ouest et la région sud-est similaires à celles de l'image requête." [LIN 01, MAL 99].

Dans cet article, nous proposons une définition générale de distance entre arbres quaternaires, appelée distance Δ . Cette distance est une combinaison linéaire de distances entre nœuds d'arbres quaternaires. En fonction des différents poids associés aux nœuds et de la distance choisie entre les nœuds, plusieurs familles de distances peuvent être définies à partir de la distance Δ . Plus précisément, nous définissons deux familles de distances basées sur la structure des arbres quaternaires, appelées \mathcal{T} -distance (\mathcal{T} pour *tree*) et \mathcal{Q} -distance (\mathcal{Q} pour *quadrant*), et une famille de distances de similarité visuelle entre images, appelée \mathcal{V} -distance (\mathcal{V} pour *visuel*). Les deux premières familles de distances comparent les arbres quaternaires représentant les images. La dernière famille compare visuellement les images en utilisant leur représentation en arbre quaternaire. L'intérêt de la distance Δ est que sa définition est générale, ce qui signifie que : (1) certaines distances proposées dans le domaine de la recherche d'images [AHM 97, GUP 97, LU 94, LIN 01, MAL 99] apparaissent comme des cas particuliers de la distance Δ et (2) il est possible de définir de nouvelles distances à partir de la distance Δ .

L'organisation de cet article est la suivante. La section 2 rappelle les grands principes de l'arbre quaternaire. La section 3 présente la distance Δ . La section 4 définit plusieurs familles de distances dérivées de la distance Δ . Finalement, la section 5 compare les distances proposées dans cet article avec les mesures déjà existantes et conclut.

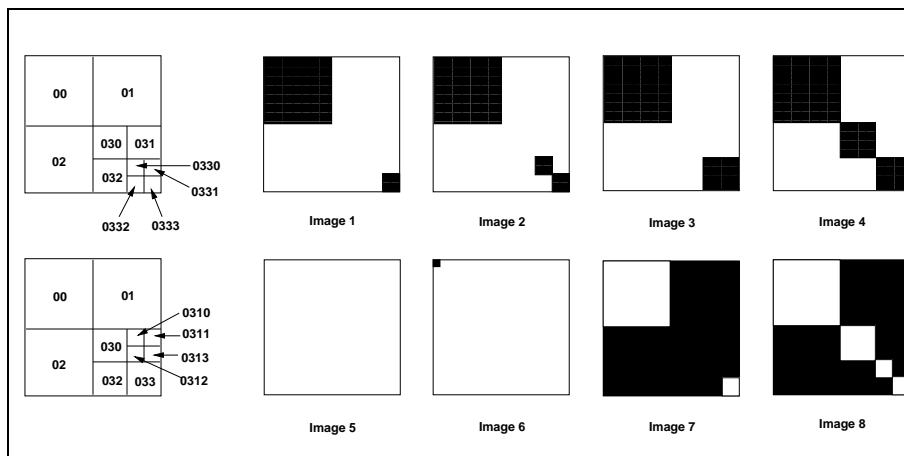


Figure 1. Un exemple de bases de données d'images.

2. Concepts de base de l'arbre quaternaire

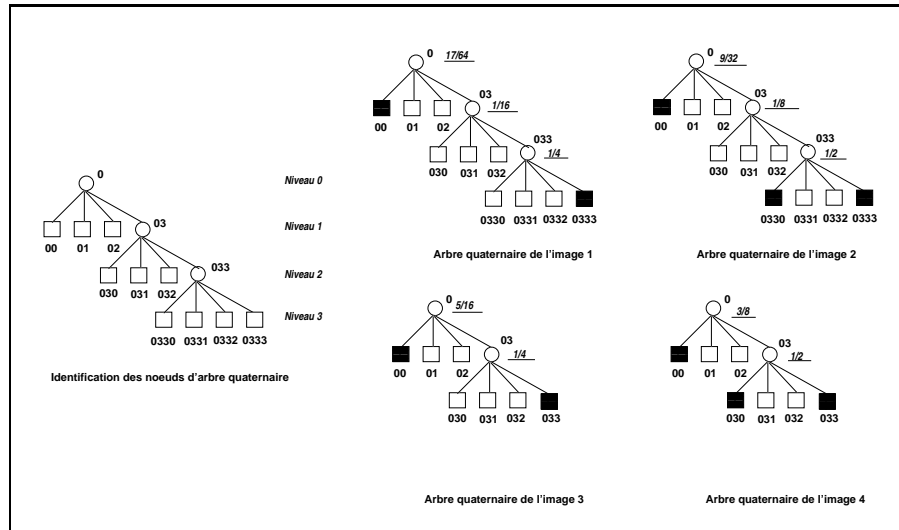


Figure 2. Les arbres quaternaires des quatre premières images de la figure 1.

L'arbre quaternaire est une structure hiérarchique construite par divisions récursives de l'espace en quatre quadrants disjoints [SAM 84]. Cette structure est très utilisée pour représenter les images, c'est-à-dire pour stocker les images elles-mêmes [MAN 02b] ou pour stocker et indexer les caractéristiques des images [LU 94, LIN 01, MAL 99]. En particulier, l'arbre quaternaire permet de tenir compte, lors de la recherche d'images similaires, de la localisation spatiale des caractéristiques d'images, telles que la couleur [ALB 00], le contour [CHA 00] ou de la localisation des objets d'intérêt [AHM 97].

Pour être représentée par un arbre quaternaire, une image est récursivement décomposée en quatre quadrants disjoints de même taille, en fonction d'un critère de découpage (ex. homogénéité de la couleur) de telle sorte que chaque nœud de l'arbre quaternaire représente un quadrant dans l'image. Le nœud racine de l'arbre représente l'image entière. Si une image n'est pas homogène par rapport au critère de découpage, le nœud racine de l'arbre quaternaire représentant l'image a quatre nœuds fils représentant les quatre premiers quadrants de l'image. Un nœud est feuille si le quadrant correspondant dans l'image est homogène par rapport au critère de découpage, sinon le nœud est interne.

Il existe plusieurs fonctions permettant d'associer un identificateur à un nœud d'arbre quaternaire [SAM 84]. Ces fonctions permettent de retrouver facilement, à partir de l'identificateur de l'image et du nœud d'arbre quaternaire, le quadrant associé dans l'image. Dans cet article, nous utilisons un ordre en Z, en suivant les directions Nors-

Ouest, Nord-Est, Sud-Ouest et Sud-Est et en leur associant respectivement les identificateurs 0, 1, 2 et 3. Pour commencer (voir à gauche des figures 1 and 2), l'entier 0 identifie l'image entière et le nœud racine de l'arbre quaternaire. Les entiers 0 à 3, précédés de 0, identifient les quatre premiers quadrants de l'image et les quatre nœuds d'arbre quaternaire associés. De manière récursive, les nœuds fils d'un nœud identifié par k sont identifiés par kx avec x un entier prenant sa valeur dans $[0, 3]$. Deux nœuds de même identificateur dans deux arbres quaternaires différents sont nommés **nœuds homologues**.

La figure 2 présente un exemple de quatre arbres quaternaires représentant les quatre premières images de la figure 1. Afin de faciliter la compréhension du lecteur, nous avons utilisé un exemple simple où le critère de découpage est l'homogénéité de la couleur pour des images en noir et blanc.

Les nœuds internes d'un arbre quaternaire peuvent contenir de l'information comme par exemple l'histogramme de couleurs ou la signature de la région correspondante, le nombre de points d'intérêt dans la région associée ou encore une information sur leurs nœuds fils. Dans la figure 2, les nœuds internes contiennent la proportion de nœuds noirs dans le sous-arbre (voir les valeurs soulignées dans la figure 2). Dans l'approche de [AHM 97], les images sont caractérisées par des points d'intérêt. Le critère de découpage des images est, dans ce cas, que chaque nœud feuille de l'arbre quaternaire corresponde à un quadrant d'image contenant au plus un point d'intérêt. Les nœuds internes contiennent alors la somme des points d'intérêt situés dans le sous-arbre dont ils sont racines.

Certaines approches [GUP 97, LU 94, LIN 01, MAL 99] indexent les images par des arbres quaternaires dont le nombre de niveaux est fixe (généralement inférieur à 3). Chaque image est, dans ce cas, représentée par un arbre quaternaire complet équilibré. Chaque nœud (interne ou feuille) de l'arbre quaternaire contient de l'information sur la région correspondante dans l'image, comme par exemple l'histogramme des caractéristiques visuelles de la région (couleur, texture, forme ou une combinaison des ces caractéristiques). Une telle structure, appelée histogrammes multi-niveaux (en anglais *multi-level histograms*), permet de filtrer les images au fur et à mesure de la recherche. La figure 3 donne un exemple d'histogrammes de couleurs multi-niveaux, chaque nœud de l'arbre quaternaire contenant l'histogramme de couleurs de la région correspondante dans l'image.

3. Distances basées sur les arbres quaternaires

3.1. Distances entre nœuds d'arbre quaternaires

A chaque nœud d'arbre quaternaire correspond un quadrant dans l'image associée. Un nœud d'arbre quaternaire peut contenir n'importe quelle information sur la région correspondante : un histogramme de couleurs, un vecteur de caractéristiques,

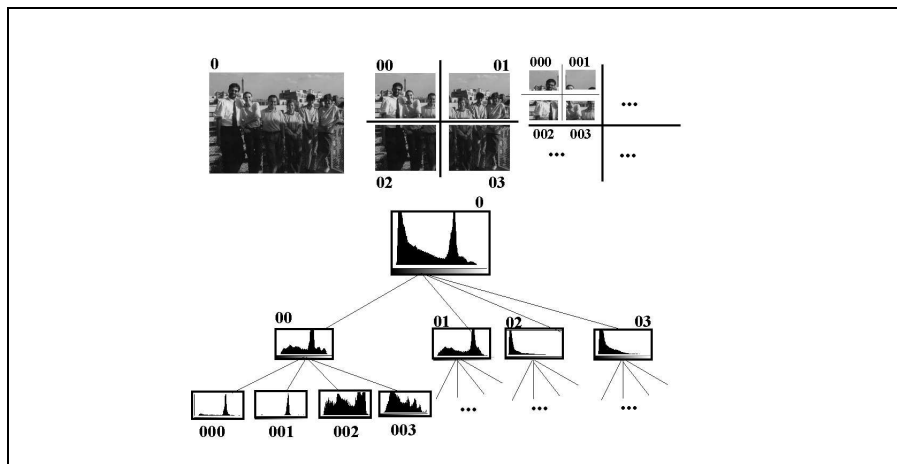


Figure 3. Un exemple d'histogrammes de couleurs multi-niveaux.

des points d'intérêt, la sous-image (compressée ou non) correspondant à la région, ou des descripteurs de Fourier, par exemple. Il est par conséquent possible de calculer des distances entre nœuds d'arbre quaternaires.

On note $\delta_k(i, j)$ une distance normalisée ($\delta_k(i, j) \in [0, 1]$) entre deux nœuds homologues k apparaissant dans les arbres quaternaires i et j . La distance δ_k peut être n'importe quelle distance [CAS 02, DIG 99, PUZ 99] appliquée aux nœuds d'arbre quaternaire, en fonction du contenu des nœuds (ex. morceau d'image ou signature d'un morceau d'image). Le choix de δ_k dépend du critère de découpage de l'image en arbre quaternaire ainsi que de la valeur donnée aux nœuds feuilles et aux nœuds internes de l'arbre quaternaire. Si les images sont représentées par des histogrammes de couleurs multi-niveaux (voir figure 3), alors δ_k peut être une distance choisie parmi les distances existantes entre les histogrammes de couleurs [SMI 02, STE 02]. Certaines signatures d'images comme les descripteurs de Fourier pour la forme [LU 99, RUI 97, RUI 99] sont des représentations invariantes du point de vue des transformations géométriques (translation, rotation ou homothétie). Si les images sont représentées par des arbres quaternaires stockant les descripteurs de Fourier associés aux différents quadrant d'images, alors dans ce cas, l'invariance par transformations géométriques s'applique à chaque quadrant associé à un nœud d'arbre quaternaire.

Lorsque deux nœuds homologues sont tous les deux feuilles ou internes, la distance δ_k correspond à une distance entre valeurs de nœuds. Lorsque un nœud k est interne dans un arbre quaternaire, par exemple i , mais est feuille dans l'autre, par exemple j , alors plusieurs alternatives apparaissent :

1) $\delta_k(i, j) = 1$ parce que les nœuds ne sont pas de même type (interne et feuille). Dans ce cas, pour tous les nœuds fils de k dans l'arbre quaternaire i , $\delta_{kx}(i, j) = 1$

parce que les nœuds kx , fils de k , existent dans l'arbre quaternaire i mais n'existent pas dans l'arbre quaternaire j .

2) Le nœud interne k , situé dans l'arbre quaternaire i , peut contenir une valeur correspondant au sous-arbre dont il est racine. Cette valeur est utilisée pour établir la distance δ_k entre les deux sous-arbres de racine k dans les arbres quaternaires i et j (le sous-arbre de racine k est une feuille dans l'arbre quaternaire j).

3) Le nœud k , feuille dans l'arbre quaternaire j , peut être transformé en nœud interne le temps du calcul de la distance de similarité, en ayant quatre nœuds fils dont la valeur dépend du critère de découpage. Pour ce faire, on remplace artificiellement le nœud feuille homogène k par un sous-arbre composé de quatre nœuds feuilles homogènes selon le critère de découpage. Dans ce cas, la distance δ_k peut-être calculée pour chacun des nœuds fils de k .

Par exemple, dans la figure 2, $\delta_{033}(1, 3)$ peut être calculée de différentes manières. Parce que le nœud 033 est interne dans l'arbre quaternaire 1 et est feuille dans l'arbre quaternaire 3, alors on peut avoir $\delta_{033}(1, 3) = 1$. Dans ce cas, pour tous les nœuds feuilles 033 x , $\delta_{033x}(1, 3) = 1$, puisque ces nœuds n'existent pas dans l'arbre quaternaire 3. Si, pendant le calcul de la distance, le nœud 033 de l'arbre quaternaire 3 est découpé en quatre nœuds feuilles fils de couleur noire, alors $\delta_{033}(1, 3) = 0$ puisque les deux nœuds homologues sont internes, $\delta_{0330}(1, 3) = \delta_{0331}(1, 3) = \delta_{0332}(1, 3) = 1$ et $\delta_{0333}(1, 3) = 0$ puisque seul le nœud 0333 a la même couleur dans les deux arbres quaternaires.

3.2. Définition générale de la distance Δ entre images

La distance Δ est une distance entre images représentées par des arbres quaternaires. Sa définition est générale et permet de distinguer plusieurs familles de distances entre arbres quaternaires. La distance Δ entre deux images i et j est définie par une somme de distances $\delta_k(i, j)$, entre les nœuds des arbres quaternaires représentant les images i et j , pondérées par des coefficients c_k , $c_k \geq 0$:

$$\Delta(i, j) = \frac{\sum_k c_k \delta_k(i, j)}{\sum_k c_k} \quad [1]$$

– k est l'identificateur d'un nœud pris parmi l'union des identificateurs de nœuds apparaissant dans les arbres quaternaires des images i et j . On note N la cardinalité de l'ensemble des identificateurs de nœuds.

– $\delta_k(i, j)$ est une distance normalisée entre les nœuds homologues k des arbres quaternaire i et j , telle qu'elle a été définie dans la section 3.1.

– c_k est un coefficient positif représentant le poids du nœud k dans le calcul de la distance Δ . Le choix de chaque poids c_k dépend des besoins de l'utilisateur, c'est-à-dire de l'importance que l'utilisateur souhaite donner à certains quadrants d'image par rapport à d'autres dans le calcul de la distance Δ . Par exemple, si certains quadrants

ne doivent pas apparaître dans le calcul de Δ , ils peuvent être associées à un poids c_k nul. Si la surface des quadrants doit entrer en jeu dans le calcul de Δ , chaque coefficient c_k doit être proportionnel à la surface représentée par le quadrant par rapport à l'image entière. Les coefficients c_k permettent de définir des distances qui sont des cas particuliers de la distance Δ (voir sections 3.3 et 4).

Δ est une distance, comme le montre la démonstration suivante, c'est-à-dire que quelle que soit une image i représentée par un arbre quaternaire $\Delta(i, i) = 0$ et Δ vérifie les propriétés de symétrie (voir item 2 ci-dessous) ainsi que l'inégalité triangulaire (voir item 3 ci-dessous).

Démonstration

Δ est une distance puisqu'elle correspond à une combinaison linéaire de distances entre nœuds homologues (δ_k). Par conséquent, $\forall i, i'$ et j , trois images représentées par des arbres quaternaires :

- 1) $\Delta(i, i) = 0$ car $\forall k, \delta_k(i, i) = 0$.
- 2) $\Delta(i, j) = \Delta(j, i)$ car $\forall k, \delta_k(i, j) = \delta_k(j, i)$.
- 3) $\Delta(i, i') \leq \Delta(i, j) + \Delta(j, i')$ car $\forall k, \delta_k(i, i') \leq \delta_k(i, j) + \delta_k(j, i')$ et donc $c_k \delta_k(i, i') \leq c_k \delta_k(i, j) + c_k \delta_k(j, i')$, car $\forall k, c_k \geq 0$.

La distance Δ est normalisée par la somme des coefficients c_k . Dans la suite de l'article, nous ne considérons que des distances normalisées.

REMARQUE. — $\Delta(i, j) = 0$ signifie que "tous les nœuds homologues k des arbres quaternaires i et j , de poids c_k non nul, ont une distance δ_k nulle ($\forall k$ tel que $c_k \neq 0 : \delta_k(i, j) = 0$)" et $\Delta(i, j) = 1$ signifie que "tous les nœuds homologues k des arbres quaternaires i et j , de poids c_k non nul, ont une distance δ_k égale à 1 ($\forall k$ tel que $c_k \neq 0 : \delta_k(i, j) = 1$)".

3.3. Définitions des distances $\Delta^{(p)}$, $\widetilde{\Delta}^{(p)}$ et Δ_r

En fonction du choix des coefficients c_k et/ou du choix de la distance δ_k , la distance Δ peut devenir, une distance notée $\Delta^{(p)}$, qui ne prend en compte que les nœuds d'arbre quaternaire situés au-dessus d'un niveau p (voir section 3.3.1), ou une borne inférieure de distances, notée $\widetilde{\Delta}^{(p)}$ (voir section 3.3.2), ou encore une distance de région, notée Δ_r (voir section 3.3.3).

3.3.1. Distance $\Delta^{(p)}$

Quand les coefficients c_k sont égaux pour tous les nœuds homologues k (par exemple $c_k = 1$), tous les nœuds ont le même poids dans le calcul de la distance Δ . Toutefois, il est possible de choisir le poids des nœuds en fonction de leur niveau

dans l'arbre quaternaire, de telle sorte qu'une différence entre deux arbres quaternaires apparaissant à un niveau proche de la racine ait un plus gros impact dans le calcul de la distance qu'une différence située à un niveau plus profond de l'arbre. On note, $\Delta^{(p)}(i, j)$, la distance Δ entre deux images i et j représentées par des arbres quaternaires, pour laquelle on associe un coefficient c_k positif pour les nœuds d'arbre quaternaire situés jusqu'au niveau p (la racine étant située au niveau 0) et un coefficient c_k nul pour les nœuds situés à un niveau l plus profond ($l > p$). La distance $\Delta^{(p)}$ ne tient pas compte des détails des images situés au-dessous d'un niveau p donné dans les arbres quaternaires qui représentent les images.

3.3.2. Distance $\widetilde{\Delta}^{(p)}$

L'arbre quaternaire est une structure hiérarchique qui permet de calculer des distances approchées entre images, en évitant de lire tout l'arbre. Ceci permet notamment de faire rapidement le filtrage des images les moins similaires (par rapport à une distance donnée) à l'image requête [ALB 00, GUP 97, LU 94, LIN 01]. Pour utiliser l'arbre quaternaire comme un pré-filtre, le principe consiste à stocker, dans chaque nœud interne k de l'arbre quaternaire i , de l'information b_k^i sur le sous-arbre dont k est racine. La valeur de b_k^i dépendant du critère de découpage. La comparaison des valeurs b_k^i et b_k^j permet de calculer une borne inférieure de distances entre les sous-arbres homologues de racine k . Cette borne inférieure de distances est notée $\widetilde{\delta}_k^{(p)}(i, j)$, avec p le niveau de k dans les arbres quaternaires i et j .

Par exemple, les nœuds internes des arbres quaternaires de la figure 2 contiennent la proportion de nœuds noirs dans le sous-arbre dont ils sont racine, en fonction du nombre de nœuds possibles au total dans un arbre quaternaire équilibré ayant le même nombre de niveaux. Les valeurs b_k^i sont telles que $b_{033}^1 = 1/4$ (un seul nœud fils de 033 est noir dans l'arbre quaternaire 1), $b_{03}^1 = 1/16$ (un seul nœud est noir parmi les 16 nœuds possibles de l'arbre quaternaire 1 équilibré jusqu'au niveau 3), et $b_0^1 = 17/64$.

Si on note $\widetilde{\delta}_k^{(p)}(i, j) = |b_k^i - b_k^j|$, et si, lorsque le nœud k est feuille dans l'arbre quaternaire i , $b_k^i = 1$ si sa couleur est noir ou 0 si sa couleur est blanche, alors $\widetilde{\delta}_{033}^{(2)}(1, 2) = |1/4 - 1/2| = 1/4$ et $\widetilde{\delta}_{033}^{(2)}(1, 3) = |1/4 - 1| = 3/4$.

Le calcul d'une borne inférieure de distances Δ entre deux images i et j représentées par des arbres quaternaires, notée $\widetilde{\Delta}^{(p)}(i, j)$, se fait en utilisant les bornes inférieures des distances $\widetilde{\delta}_k^{(p)}$. On obtient la formule suivante :

$$\widetilde{\Delta}^{(p)}(i, j) = \frac{\sum_k c_k \widetilde{\delta}_k^{(p)}(i, j)}{\sum_k c_k} \quad [2]$$

Pour tout niveau p d'arbre quaternaire, $\widetilde{\Delta}^{(p)}(i, j) \leq \widetilde{\Delta}^{(p+1)}(i, j)$: $\widetilde{\Delta}^{(p)}$ est une fonction croissante de p . La valeur réelle de la distance entre les images ne peut être établie que par comparaison exhaustive de leurs arbres quaternaires, mais est approchée de plus en plus précisément par les approximations réalisées par niveau, dans les arbres, en faisant une exploration en largeur d'abord.

3.3.3. Distance Δ_r

Il est également possible de calculer une distance Δ entre régions homologues d'images en associant des coefficients c_k positifs aux nœuds représentant la région dans les arbres quaternaires des images et des coefficients c_k nuls aux autres nœuds. On note $\Delta_r(i, j)$, la distance Δ entre les images i et j représentées par des arbres quaternaires, pour laquelle on a associé uniquement un coefficient c_k positif aux nœuds k représentant la région r . La région r peut être composée de sous-régions r_i , chaque région r_i devant être une région rectangulaire (afin de correspondre à un ensemble de nœuds d'arbre quaternaire). L'invariance par transformation géométrique dans ce cas (en fonction du choix du contenu des nœuds et de la distance δ_k - voir section 3.1) sera valable pour chaque sous-région indépendamment les unes des autres, mais pas pour la région entière si celle-ci est composée de sous-régions. Pour régler ce problème, il est possible, comme dans [MAL 99], de transformer l'image requête initiale en plusieurs images requêtes, chaque image requête représentant, par exemple, le résultat d'une translation par rapport aux régions sélectionnées dans l'image requête initiale.

4. Cas particuliers de la distance Δ

En fonction des valeurs des coefficients c_k et du choix de la distance δ_k , plusieurs familles de distances peuvent être définies. On note, \mathcal{T} , une distance entre les structures des arbres quaternaires dont le calcul ne tient pas compte de la valeur des nœuds feuilles (voir section 4.1). On note, \mathcal{Q} , une distance entre les structures des arbres quaternaires dont le calcul tient compte de la valeur des nœuds feuilles (voir section 4.2). Une autre distance, notée \mathcal{V} , permet de comparer visuellement les images en utilisant leur arbre quaternaire (voir section 4.3). Comme dans la section 3.3, il est possible, à partir des distances \mathcal{T} , \mathcal{Q} et \mathcal{V} , de définir des distances approchées, notées respectivement $\mathcal{T}^{(p)}$, $\mathcal{Q}^{(p)}$ et $\mathcal{V}^{(p)}$, des bornes inférieures de distances, notées respectivement $\widetilde{\mathcal{T}}^{(p)}$, $\widetilde{\mathcal{Q}}^{(p)}$ et $\widetilde{\mathcal{V}}^{(p)}$, et des distances entre régions d'images, notées respectivement \mathcal{T}_r , \mathcal{Q}_r et \mathcal{V}_r .

4.1. Distance \mathcal{T}

La comparaison de la structure de deux arbres quaternaires représentant des images, sans tenir compte de la valeur des nœuds feuilles, permet de savoir : (1) si le découpage de deux images selon le même critère est identique ou (2) si le découpage d'une même image selon deux critères différents est identique. Ce type de distance, notée

\mathcal{T} , a pour valeur 0, $\mathcal{T}(i, j) = 0$, lorsque les nœuds internes et les nœuds feuilles sont exactement à la même position dans les arbres quaternaires représentant les images i et j . Par exemple les images 1 et 7 de la figure 1 ont une distance \mathcal{T} nulle ($\mathcal{T}(1, 7) = 0$) puisque l'image 7 correspond au complémentaire de l'image 1. Les arbres quaternaires de ces deux images ont exactement la même structure, mais les valeurs de nœuds feuilles sont inversées (l'arbre quaternaire de l'image 1 est représenté sur la figure 2). La distance \mathcal{T} n'a une utilité que lorsque les images ne sont pas toutes représentées par des arbres quaternaires équilibrés dont le nombre de niveaux est fixé.

Pour calculer la distance \mathcal{T} entre deux images i et j représentées par des arbres quaternaires, la distance $\delta_k(i, j)$ entre nœuds d'arbre quaternaire ne prend que deux valeurs :

- $\delta_k(i, j) = 0$ lorsque les nœuds homologues k sont tous les deux internes ou tous les deux feuilles (avec ou sans la même valeur) dans les arbres quaternaires i et j .
- $\delta_k(i, j) = 1$ lorsque le nœud k est interne dans un arbre quaternaire et est feuille dans l'autre ou lorsque k existe dans un arbre et n'existe pas dans l'autre.

Par exemple, si dans la figure 2, les coefficients c_k ont la même valeur pour tous les nœuds homologues k , alors la distance entre les arbres quaternaires 1 et 3 est $\mathcal{T}(1, 3) = 5/13$. En effet, il y a cinq nœuds de types différents (interne ou feuille) sur treize nœuds au total, entre les arbres quaternaires 1 et 3 : $\delta_{033}(1, 3) = 1$ et $\delta_{033x}(1, 3) = 1$, avec $x \in [0, 3]$. En revanche, la distance $\mathcal{T}^{(1)}$ entre les images 1 et 3 est : $\mathcal{T}^{(1)}(1, 3) = 0$ car la différence entre les arbres quaternaires des images se situe uniquement à partir du niveau 2. Au niveau 2, $\mathcal{T}^{(2)}(1, 3) = 1/9$, parce que 9 nœuds apparaissent dans l'union des nœuds des arbres quaternaires 1 et 3 jusqu'au niveau 2 et que seul le nœud 033 est interne dans un arbre quaternaire et est feuille dans l'autre ($\delta_{033}(1, 3) = 1$). Ceci signifie que 11% des nœuds homologues ne sont pas de même type entre les arbres quaternaires 1 et 3 jusqu'au niveau 2.

Lors du calcul de la distance \mathcal{T} , les valeurs des nœuds ne sont pas prises en compte. Par conséquent, les images peuvent être visuellement très différentes (cas des images 1 et 7 de la figure 1 par exemple). La distance \mathcal{Q} est une autre distance, issue de la définition de la distance Δ , qui tient compte, quant à elle, de la valeur des nœuds.

4.2. La distance \mathcal{Q}

La distance \mathcal{Q} compare deux arbres quaternaires non seulement du point de vue de leur structure, mais également du point de vue des valeurs de leurs nœuds. La distance \mathcal{Q} entre deux arbres quaternaires i et j est nulle, $\mathcal{Q}(i, j) = 0$, lorsque tous les nœuds internes et tous les nœuds feuilles sont à la même position dans les deux arbres et lorsque tous les nœuds ont même valeur dans les deux arbres. Dans ce cas :

- $\delta_k(i, j) = 0$ lorsque les nœuds homologues k sont tous les deux internes ou tous les deux feuilles, avec la même valeur, dans les arbres quaternaire i et j .
- $\delta_k(i, j) = 1$ lorsque k est feuille dans un arbre quaternaire et est interne (sans

valeur dans le nœud interne) dans l'autre arbre ou lorsque k n'existe que dans un seul des arbres quaternaires i et j .

– $\delta_k(i, j) \in]0, 1[$, dans les autres cas, c'est-à-dire lorsque les nœuds homologues k sont tous les deux internes ou tous les deux feuilles avec des valeurs différentes. $\delta_k(i, j)$ est la distance entre les valeurs stockées dans les nœuds k .

La distance δ_k , qui permet de comparer les nœuds homologues k dans les deux arbres quaternaires, doit être basée sur le critère de découpage utilisé pour représenter les images en arbre quaternaire. Comme précédemment, n'importe quel coefficient c_k peut être choisi, permettant ainsi de définir une famille de distances Q .

Lorsque $\delta_k(i, j) \in \{0, 1\}$ et que les coefficients c_k sont égaux pour tous les nœuds k , $Q(i, j)$ correspond à la proportion de nœuds homologues ayant des valeurs ou des types différents entre les arbres quaternaires représentant les images i et j (voir exemples ci-dessous).

Par exemple, la distance Q entre les images 1 et 7, dont la distance \mathcal{T} est nulle (les images étant complémentaires) est : $Q(1, 7) = 10/13$. En effet, seuls les nœuds internes ont une distance δ_k nulle, la valeur des distances δ_k entre les nœuds feuilles étant 1. La distance Q entre les arbres quaternaires 1 et 2 de la figure 2 est : $Q(1, 2) = 1/13$. En effet, les nœuds homologues 0330 n'ont pas la même valeur dans les arbres quaternaires 1 et 2. En revanche, tous les autres nœuds homologues sont de même type dans les deux arbres et, lorsqu'ils sont feuilles, ont la même valeur : $\delta_0(1, 2) = \delta_{0_x}(1, 2) = \delta_{0_{3x}}(1, 2) = \delta_{0_{331}}(1, 2) = \delta_{0_{332}}(1, 2) = \delta_{0_{333}}(1, 2) = 0$, avec $x \in [0, 3]$. Si on ne tient compte que des nœuds homologues situés entre la racine et le niveau 2 des arbres quaternaires 1 et 2, on obtient que : $Q^{(2)}(1, 2) = 0$. En effet, les différences entre les deux arbres n'apparaissent qu'au niveau 3. En revanche, si on calcule une distance approchée, en utilisant la valeur des nœuds internes, on obtient que : $\widetilde{Q}^{(2)}(1, 2) = |1/4 - 1/2| * 1/9 = 1/36$. On a bien que $\widetilde{Q}^{(2)}(1, 2) \leq \widetilde{Q}^{(3)}(1, 2)$, avec $Q^{(3)}(1, 2) = Q(1, 2)$.

Plusieurs approches, présentées et comparées dans [MAN 02b], proposent de stocker des images similaires organisées en arbre quaternaire. L'objectif principal de ces approches est d'optimiser l'espace de stockage des images en partageant les parties communes entre leurs arbres quaternaires. Par conséquent, la distance Q peut être utilisée dans ces approches pour organiser les images dans la base sous la forme d'une arborescence d'images dans laquelle une image i est feuille de l'image j , dans l'arborescence, si $\forall l$ image de l'arborescence, $Q(i, j) \leq Q(i, l)$. Plus la distance Q est petite entre deux images, plus il y a des points communs entre les images et donc de partage de nœuds possible entre leurs arbres quaternaires - voir [MAN 02b] pour plus de détails.

Cependant, deux images dont les arbres quaternaires sont très différents, $Q(i, j) \rightarrow 1$, peuvent apparaître très similaires visuellement : par exemple, lorsque le critère de découpage est l'homogénéité de la couleur, une image complètement blanche et une image blanche possédant uniquement un pixel noir. C'est le cas des images 5 et 6

de la figure 1 qui ont une distance $\mathcal{Q}(5, 6) = 0.99$, l'arbre quaternaire de l'image 5 étant composé d'une seule feuille racine blanche. Par conséquent, il est intéressant de définir une distance visuelle, notée \mathcal{V} , telle que si $\mathcal{V}(i, j)$ est proche de zéro alors les images i et j sont similaires visuellement du point de vue du critère de découpage bien que leur arbres quaternaires puissent être très différents. La section qui suit présente une distance visuelle basée sur la distance Δ , précédemment définie.

4.3. La distance \mathcal{V}

On note \mathcal{V} , une famille de distances visuelles entre images, calculées à l'aide des arbres quaternaires représentant les images. Lors du calcul de la distance $\mathcal{V}(i, j)$, les arbres quaternaires des deux images doivent être complétés pour avoir la même structure ($\mathcal{T}(i, j) = 0$ - voir section 4.1) : lorsqu'un nœud k est interne dans un arbre quaternaire i et est feuille dans un arbre quaternaire j , le nœud k devient, le temps du calcul de la distance \mathcal{V} , interne dans l'arbre quaternaire j et possède quatre nœuds fils feuilles dont la valeur dépend du critère de découpage. Le calcul de la distance \mathcal{V} ne prend en compte que les distances δ_k entre nœuds feuilles ; $\delta_k = 0$ pour tous les nœuds internes, les arbres quaternaires i et j ayant exactement la même structure, lors du calcul de la distance \mathcal{V} .

Pour comparer la surface des images i et j , les coefficients c_k associés aux nœuds feuilles peuvent être proportionnels à la surface des quadrants correspondants dans l'image. Par conséquent, $c_k = 4^{-p}$ si k est situé au niveau p de l'arbre quaternaire (la racine de l'arbre étant au niveau 0) en prenant comme hypothèse que la surface de l'image entière vaut 1. Plus le nœud est situé profondément dans l'arbre, plus la valeur de son coefficient, et donc son poids dans le calcul de la distance \mathcal{V} , est faible. Par exemple les images 5 et 6 de la figure 1 ont une distance $\mathcal{V}(5, 6) = 0.004$ car la région noire dans l'image 6 représente $1/256$ ème de la surface de toute l'image. En revanche, la distance \mathcal{V} entre les images 1 et 7 est : $\mathcal{V}(1, 7) = 1$ puisque les images sont complémentaires.

Par exemple, la distance \mathcal{V} entre les images 1 et 2 dont les arbres quaternaires sont représentés sur la figure 2 est de 0.02. En effet, $\mathcal{V}(1, 2) = \delta_{0330}(1, 2) * (1/64) = 1/64$ car $\delta_{0330}(1, 2) = 1$ (la valeur des distances δ_k pour les autres nœuds k est nulle) et $c_{0330} = 4^{-3}$. Si on s'intéresse de plus près à la distance de la région 033 dans les images 1 et 2, on obtient que : $\mathcal{V}_{033}(1, 2) = 1/4$ puisque seul le nœud 0330 diffère entre les sous-arbres de racine 033 dans les arbres quaternaires 1 et 2. En revanche, $\mathcal{V}_{033}(1, 3) = 3/4$.

Pour calculer la distance entre les images 1 et 3, l'arbre quaternaire 3 doit être complété : le nœud 033 est par conséquent divisé en quatre nœuds fils noirs. Ainsi, $\mathcal{V}(1, 3) = (\delta_{0330}(1, 3) + \delta_{0331}(1, 3) + \delta_{0332}(1, 3)) * (1/64) = 3/64 = 0.05$. Si on ne s'intéresse pas aux détails situés en dessous du niveau 2 des arbres quaternaires 1 et 3, on obtient que $\mathcal{V}^{(2)}(1, 3) = 1/16$ car le nœud 033, situé au niveau 2, est interne dans l'arbre qua-

ternaire 1 mais est feuille dans l'arbre quaternaire 3. Le quadrant correspondant représente 1/16 ième de la surface de l'image. Si on utilise la valeur contenue dans le nœud interne 033 de l'arbre quaternaire 1, on obtient que : $\widetilde{\mathcal{V}}^{(2)}(1, 3) = |1 - 1/4| * 1/16$.

4.4. Exemples d'utilisation de la distance Δ

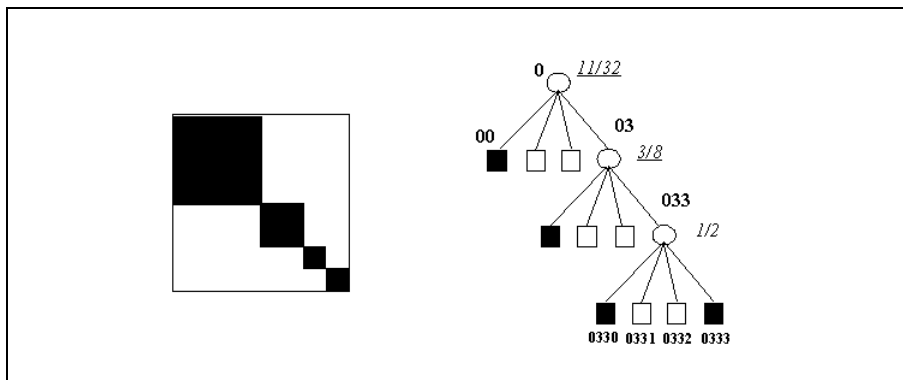


Figure 4. Une image requête et sa représentation en arbre quaternaire.

	Image 1	Image 2	Image 3	Image 4	Image 5	Image 6	Image 7	Image 8
\mathcal{T}	0	0	0.38	0.38	1	0.88	0	0
$\mathcal{T}^{(2)}$	0	0	0.11	0.11	1	0.85	0	0
\mathcal{Q}	0.15	0.08	0.46	0.38	1	0.88	0.61	0.77
$\mathcal{Q}^{(2)}$	0.11	0.11	0.22	0.11	1	0.77	0.55	0.66
\mathcal{V}	0.08	0.06	0.09	0.03	0.34	0.34	0.92	1
$\mathcal{V}^{(2)}$	0.06	0.06	0.125	0.06	0.31	0.25	0.87	1
$\widetilde{\mathcal{V}}^{(2)}$	0.08	0.06	0.09	0.03	0.34	0.34	0.92	0.93

NB : Lors du calcul des distances \mathcal{T} et \mathcal{Q} , les coefficients c_k ont même valeur $\forall k$.

Les coefficients c_k sont proportionnels à la surface des quadrants d'image k , lors du calcul de la distance \mathcal{V} .

Tableau 1. Valeurs des distances Δ entre l'image requête de la figure 4 et les images de la figure 1

Les distances définies dans cet article peuvent être utilisées pour la recherche globale d'images par la contenu selon différents critères (comparaison visuelle des images, comparaison de la structure de leur représentation en arbre quaternaire etc.) ou pour la recherche d'images par similarité de régions. Dans ce cas, la similarité des images doit être définies en fonction de la distance Δ choisie (c'est-à-dire en fonction

des coefficients c_k et de la distance δ_k choisis) et d'un seuil donné. Supposons, par exemple, qu'un utilisateur souhaite retrouver toutes les images, de la figure 1, similaires à l'image requête I_q , représentée sur la figure 4. Si l'utilisateur considère que deux images sont similaires lorsque leur distance \mathcal{Q} est inférieure à 0.3, alors le résultat de la requête correspond aux images 1 et 2 (les valeurs des distances entre les images sont indiquées sur la table 1). En revanche, si deux images sont dites similaires lorsque leur distance $\mathcal{Q}^{(2)}$ est inférieure à 0.3, alors le résultat est l'ensemble des images 1 à 4. Ceci signifie que la différence entre l'arbre quaternaire de l'image requête et ceux des images 3 et 4 se situent sous le niveau 2. Si l'utilisateur considère que deux images sont similaires lorsque leur distance \mathcal{V} est inférieure à 0.1, alors le résultat de la requête est l'ensemble des images 1 à 4. Le résultat de la requête est le même lorsque la distance utilisée est $\widetilde{\mathcal{V}^{(2)}}$, mais le coût est moindre puisque seul les nœuds d'arbre quaternaire situés jusqu'au niveau 2 ont été inspectés. En revanche, si la distance utilisée est $\mathcal{V}^{(2)}$, alors l'image 3 n'appartient pas au résultat de la requête. Ceci signifie que, d'un point de vue visuel, les différences entre l'image requête et l'image 3 se situent au niveau des régions occupant le moins de surface (ici 1/64 ième de la surface de l'image).

En comparant par exemple l'image requête I_q avec les images 5 et 6, on observe que les arbres quaternaires sont différents du point de vue de la structure des arbres (position de nœuds internes et des nœuds feuilles dans les arbres) et de la valeur des nœuds ($\mathcal{T}(I_q, 5) = \mathcal{Q}(I_q, 5) = 1$ et $\mathcal{T}(I_q, 6) = \mathcal{Q}(I_q, 6) = 0.88$), alors que la distance visuelle entre les images est de 0.34 ($\mathcal{V}(I_q, 5) = \mathcal{V}(I_q, 6) = 0.34$). Si on compare l'image requête I_q avec les images 7 et 8, on voit que les structures des arbres quaternaires sont identiques ($\mathcal{T}(I_q, 7) = \mathcal{T}(I_q, 8) = 0$), que leurs arbres quaternaires diffèrent sur les valeurs de nœuds feuilles ($\mathcal{Q}(I_q, 7) = 0.61$ et $\mathcal{Q}(I_q, 8) = 0.77$) et que leur distance visuelle est proche de 1.

Autre exemple : Supposons que l'utilisateur associe, aux quadrants 00, 030, 0330 and 0333 de l'image requête (la région noire de l'image), les coefficients suivants : $c_{00} = 1/4$, $c_{030} = 1/16$ et $c_{0330} = c_{0333} = 1/64$ (correspondant à la surface des quadrants par rapport à la surface de l'image entière), et un coefficient $c_k = 0$ aux autres quadrants d'image. Dans ce cas, l'utilisateur peut comparer la région noire de l'image requête avec la même région dans les autres images de la base, en utilisant une distance \mathcal{V}_r . La distance \mathcal{V}_r entre la région noire de l'image requête et celle de l'image 4 est nulle (la région est noire dans les deux images). En revanche, la distance \mathcal{V}_r entre l'image requête et les images 2 et 3 est de $1/16 * 32/11 = 0.18$. En effet, le nœud 030 est blanc dans les arbres quaternaires des images 2 et 3. La distance \mathcal{V}_r est de $(1/16 + 1/64) * 32/11 = 0.23$ entre l'image requête et l'image 1, car les nœuds 030 et 0330 sont blancs dans l'arbre quaternaire de l'image 1. La distance \mathcal{V}_r tend vers 1 entre l'image requête et les images 5, 6 et 8.

5. Discussion et Conclusion

L'arbre quaternaire est utilisé dans plusieurs approches de recherche d'images par le contenu [AHM 97, ALB 00, LU 94, LIN 01, MAL 99, ORI 01] afin de prendre en compte, dans le calcul de distances entre images, la localisation spatiale des caractéristiques (couleur, texture, contour etc.) des images. Les distances, proposées dans certaines de ces approches, apparaissent comme des cas particuliers de la distance Δ proposée dans cet article. Les auteurs de [AHM 97], par exemple, caractérisent les images par un ensemble de points d'intérêt et les représentent par des arbres quaternaires dont les nœuds feuilles contiennent au plus un point d'intérêt. Les arbres quaternaires des images de la base sont comparés à l'arbre quaternaire de l'image requête en utilisant une distance qui correspond au maximum de deux distances de type $\widetilde{Q}^{(p)}$. Dans ce cas, $\widetilde{\delta}_k^{(p)}$ est une distance entre deux sous-arbres homologues contenant des taux d'occupation (nombre de points d'intérêt dans le quadrant d'image correspondant) et les coefficients c_k correspondent à la proportion de points d'intérêt dans le sous-arbre par rapport au nombre de points d'intérêt dans les arbres quaternaires représentant les images.

Les auteurs de [LU 94] et de [ORI 01] représentent chaque image par un arbre quaternaire équilibré dont le nombre de niveaux est fixe. Chaque nœud contient l'histogramme de couleurs du quadrant correspondant dans l'image. Les auteurs définissent une distance de type \mathcal{V} entre les images basée sur les histogrammes de couleurs, dans laquelle les coefficients c_k sont des coefficients de surface ($c_k = 4^{-p}$) et où δ_k est une distance entre les histogrammes de couleurs stockés dans les nœuds homologues k . Les histogrammes contenus dans les racines des arbres quaternaires sont comparés. Si leur distance est inférieure à un certain seuil, alors les histogrammes stockés dans les nœuds du niveau inférieurs sont comparés, etc. Plus la distance est calculée à un bas niveau des arbres quaternaires, plus on a de précision sur la similarité des images [LIN 01]. Ces approches calculent donc une distance de type \mathcal{V} à chaque niveau des arbres quaternaires. Dans le système DISIMA [ORI 01], il est également possible de faire des requêtes de similarité de régions d'images en sélectionnant une partition de l'histogramme multi-niveaux. Ce type de distance revient à calculer une distance \mathcal{V}_r (voir sections 3 and 4.3).

Les auteurs de [MAL 99] représentent également les images de la base par des arbres quaternaires équilibrés. Leur approche permet de calculer la similarité entre régions d'images. Une signature de chaque région est calculée et stockée dans l'arbre quaternaire représentant l'image. Lorsque l'utilisateur souhaite faire une requête, il choisit une ou plusieurs régions dans une image découpée en arbre quaternaire dont le nombre de niveaux est choisi par l'utilisateur. Le système calcule la région englobant les régions sélectionnées par l'utilisateur (permettant ainsi de faire des translations de régions). Puis, chaque image de la base est comparée à l'image requête (en considérant toutes les translations possibles de la région englobante). Chaque région d'image (ou sous-image) étant représentée par un vecteur de caractéristiques, les auteurs ont défini

une distance entre ces vecteurs en combinant de manière linéaire les caractéristiques des images. La distance ainsi proposée est de type \mathcal{V}_r , puisqu'il y a comparaison visuelle des régions sélectionnées par l'utilisateur dans l'image requête avec les mêmes régions dans les images de la base. Dans ce cas, les coefficients c_k sont les mêmes pour tous les nœuds homologues k représentant les régions sélectionnées par l'utilisateur dans l'image requête (toutes les régions sélectionnées par l'utilisateur sont de même taille); les coefficients c_k sont nuls pour les autres nœuds.

En définitive, la distance Δ , définie dans cet article, généralise les distances entre images organisées en arbres quaternaires. La définition de la distance Δ est générale dans le sens où, en fonction des choix des valeurs de coefficients c_k et de la distance δ_k , plusieurs distances existantes [AHM 97, LU 94, LIN 01, MAL 99, ORI 01] peuvent être retrouvées et de nouvelles distances peuvent être définies en fonction des besoins de l'utilisateur. De plus, les distances proposées dans cet article sont indépendantes du critère de découpage des images en arbre quaternaire et des valeurs stockées dans les nœuds des arbres quaternaires (histogrammes de couleurs, représentation de texture, signature, matrice de pixels etc.). Par conséquent, la distance Δ est complémentaire par rapport aux distances existantes [ASL 99, BAC 96, FLI 95, LI 02, PUZ 99] basées sur les caractéristiques visuelles des images. En effet, en fonction de la valeur des nœuds d'arbre quaternaire, la distance δ_k peut être choisie parmi toutes les mesures de similarité disponibles, sur la couleur [SMI 02], le contour [CHA 00] ou la texture [PUZ 99]. Si les nœuds d'arbre quaternaire stockent des morceaux d'images, ces morceaux peuvent être compressés et δ_k peut être choisie parmi les mesures de similarité existantes, comme par exemple celles basées sur les ondelettes [CHE 98a]. Il est à noter que pour accélérer les recherches d'images, il est possible, en fonction du contenu des nœuds (si le contenu d'un nœud représente une approximation du sous-arbre dont il est racine) et de la distance δ_k choisie entre chaque nœud, de filtrer les images au premier niveau (les images entières) avant de comparer le reste des arbres quaternaires. Le filtrage s'effectue sur l'ensemble des images de la base et permet d'obtenir un sur-ensemble de l'ensemble résultat [FAL 94, LIN 01]. Puis les comparaisons des arbres niveaux par niveaux se font à partir du sur-ensemble obtenu après filtrage. Les structures utilisées pour filtrer les images représentées par des arbres quaternaires sont des arbres R dans [LU 94], des arbres k-d dans [MAL 99] ou une structure de hachage dans [LIN 01].

La distance Δ est proposée pour calculer des distances entre images décomposées en arbre quaternaire selon un critère de découpage donné. Il est possible de généraliser l'approche proposée et de calculer une distance entre images en prenant en considération plusieurs critères de découpage en arbre quaternaire et donc plusieurs caractéristiques d'image. Une telle distance correspond à une somme pondérée de la forme $\frac{\sum_n d_n \mathcal{D}_n(i, j)}{\sum_n d_n}$, où d_n est un coefficient représentant le poids associé à la distance $\mathcal{D}_n(i, j)$ qui correspond à une distance de type Δ entre les images i et j représentées en arbre quaternaire selon un critère de découpage n . Nous développons actuellement un prototype afin d'évaluer les différentes distances, présentées dans cet article, sur

des bases d'images réelles.

Remerciements : Les auteurs tiennent à remercier Vincent Oria, ainsi que les rapporteurs de cet article, pour leur commentaires constructifs.

6. Bibliographie

- [AHM 97] AHMAD I., GROSKY W., « Spatial Similarity-Based Retrievals and Image Indexing By Hierarchical Decomposition », *Int. Database Engineering and Applications Symposium (IDEAS)*, Montreal (Canada), 1997, <http://www.cs.wayne.edu/billgrosky/Papers97.htm>.
- [ALB 00] ALBUZ E., KOCALAR E., KHOKHAR A., « Quantized CIELab* Space and Encoded Spatial Structure for Scalable Indexing of Large Color Image Archives », *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP)*, June 2000, http://www.ee.udel.edu/~ashfaq/recent_pub.html/icassp2000.ps.gz.
- [ASL 99] ASLANDOGAN Y., YU C., « Techniques and Systems for Image and Video Retrieval », *IEEE Trans. on Knowledge and Data Engineering*, vol. 11, n° 1, 1999, p. 56–63.
- [BAC 96] BACH J., FULLER C., GUPTA A., HAMPAPUR A., HOROWITZ B., HUMPHREY R., JAIN R., SHU C.-F., « Virage Image Search Engine : An Open Framework for Image Management », *Storage and Retrieval for Image and Video Databases (SPIE)*, 1996, p. 76–87.
- [CAS 02] CASTELLI V., « *Image Databases : Search and Retrieval of Digital Imagery* », chapitre 14 - Multidimensional Indexing Structures for Content-Based Retrieval, p. 373–433, Wiley Inter-Science, 2002, V. Castelli and L.D. Bergman (Eds) - ISBN : 0-471-32116-8.
- [CHA 00] CHAKRABARTI K., ORTEGA-BINDERBERGER M., PORKAEW K., ZUO P., MEHROTRA S., « Similar Shape Retrieval in MARS », *IEEE Int. Conf. on Multimedia and Expo (ICME II)*, New York, NY, USA, 2000, p. 709–712.
- [CHE 98a] CHEN C., WILKINSON R., « Image Retrieval Using Multiresolution Wavelet Decomposition », *Int. Conf. on Computational Intelligence and Multimedia Applications*, 1998.
- [CHE 98b] CHEUNG K., FU A.-C., « Enhanced Nearest Neighbour Search on the R-tree », *SIGMOD Record*, vol. 27, n° 3, 1998, p. 16–21.
- [CIA 97] CIACCIA P., PATELLA M., ZEZULA P., « M-tree : An Efficient Access Method for Similarity Search in Metric Spaces », *Proc. of the Very Large Database Conference (VLDB)*, Athens Greece, 1997.
- [DIG 99] DI GESÙ V., STAROVOITOV V., « Distance-based functions for image comparison », *Pattern Recognition Letters*, vol. 20, n° 2, 1999, p. 207–214.
- [FAL 94] FALOUTSOS C., EQUITZ W., FLICKNER M., NIBLACK W., PETKOVIC D., BARBER R., « Efficient and Effective Querying by Image Content », *Journal of Intelligent Information Systems*, vol. 3, n° 3/4, 1994, p. 231–262.
- [FLI 95] FLICKNER M., SAWHNEY H., NIBLACK W., ASHLEY J., AL, « Query by Image and Video Content : The QBIC System », *Computer - IEEE Computer Society Press*, vol. 28, n° 9, 1995, p. 23–32, ISSN : 0018-9162 - Query By Image Content - IBM - <http://www.qbic.almaden.ibm.com>.

- [GUP 97] GUPTA A., JAIN R., « Visual Information Retrieval », *Communications of ACM (CACM)*, vol. 40, n° 5, 1997, p. 70–79.
- [KAK 00] KAK A. C., PAVLOPOULOU C., « Computer Vision Techniques for Content-Based Image Retrieval from Large Medical Databases », *7th Workshop on Machine Vision Applications (IAPR)*, Tokyo (Japan), 2000.
- [KAT 97] KATAYAMA N., SATOH S., « The SR-tree : An Index Structure for High-Dimensional Nearest Neighbor Queries », *Proc. ACM SIGMOD Conf. (SIGMOD'97)*, Tucson, Arizona, USA, 1997, p. 369–380.
- [KIM 02] KIMIA B., « *Image Databases : Search and Retrieval of Digital Imagery* », chapitre 13 - Shape Representation for Image Retrieval, p. 345–372, Wiley Inter-Science, 2002, V. Castelli and L.D. Bergman (Eds) - ISBN : 0-471-32116-8.
- [LI 02] LI Y., WAN X., KUO C.-C., « *Image Databases : Search and Retrieval of Digital Imagery* », chapitre 10 : Introduction to content-based image retrieval - Overview of key techniques, p. 261–284, Wiley Inter-Science, 2002, V. Castelli and L.D. Bergman (Eds) - ISBN : 0-471-32116-8 - <http://biron.usc.edu/~yingli/Papers/Chap2.pdf>.
- [LIN 01] LIN S., TAMER ÖZSU M., ORIA V., NG R., « An Extensible Hash for Multi-Precision Similarity Querying of Image Databases », *Proc. of the 27th Int. Conf. on Very Large DataBase (VLDB'2001)*, Roma (Italy), 2001.
- [LU 94] LU H., OOI B.-C., TAN K.-L., « Efficient Image Retrieval by Color Contents », *First Int. Conf. on Applications of Database (ADB-94)*, Vadstena (Sweden), juin 1994, Lecture Notes in Computer Sciences - 819 - Springer Verlag.
- [LU 99] LU G., *Multimedia Database Management Systems*, Artech House Publishers, 1999, ISBN : 0-89006-342-7.
- [MAL 99] MALKI J., BOUJEMAA N., NASTAR C., WINTER A., « Region Queries without Segmentation for Image Retrieval by Content », *3rd Int. Conference on Visual Information Systems (Visual'99)*, 1999, <http://www-rocq.inria.fr/~awinter/publis.html>.
- [MAN 02a] MANJUNATH B., MA W.-Y., « *Image Databases : Search and Retrieval of Digital Imagery* », chapitre 12 - Texture Features for Image Retrieval, p. 313–344, Wiley Inter-Science, 2002, V. Castelli and L.D. Bergman (Eds) - ISBN : 0-471-32116-8.
- [MAN 02b] MANOUVRIER M., RUKOZ M., JOMIER G., « Quadtree representations for storage and manipulation of clusters of images », *Image and Vision Computing*, vol. 20, n° 7, 2002, p. 513–527.
- [NAS 97] NASTAR C., « Indexation d'Images par le Contenu : un Etat de l'Art », *Compression et REprésentation des Signaux Audiovisuels (CORESA'97)*, Issy Les Moulineaux - France, 1997, Journées CNET, <http://www-rocq.inria.fr/imedia/>.
- [ORI 01] ORIA V., TAMER ÖZSU M., LIN S., IGLINSKI J., « Similarity Queries in the DISIMA Image DBMS », *Proc. of ACM Multimedia*, Ottawa (Canada), Sept. 2001, p. 475–478, <http://web.njit.edu/~oria/publications.htm>.
- [PUZ 99] PUZICHA J., RUBNER Y., TOMASI C., BUHMANN J., « Empirical Evaluation of Dissimilarity Measures for Color and Texture », *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Computer Vision (ICCV'99)*, 1999, p. 1165–1173.
- [RUI 97] RUI Y., SHE A., HUANG T., « A Modified Fourier Descriptor for Shape Matching in Mars », *Images Databases and Multi-Media Search*, vol. 8 de *Series on Software Engineering and Knowledge Engineering - A.W.M. Smeulders, R. Jain*, p. 165–177, World Scientific, 1997.

- [RUI 99] RUI Y., HUANG T., CHANG S.-F., « Image Retrieval : Current Techniques, Promising Directions and Open Issues », *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol. 10, 1999, p. 39–62, <http://research.microsoft.com/users/yongrui/html/publication.html>.
- [SAM 84] SAMET H., « The Quadtree and Related Hierarchical Structures », *Computing Surveys*, vol. 16, n° 2, 1984, p. 187–260.
- [SHY 98] SHYU C., BRODLEY C., KAK A., KOSAKA A., AISEN A., BRODERICK L., « Local versus Global Features for Content-Based Image Retrieval », *Proc. of IEEE Workshop on Content-Based Access of Image and Video Libraries (CBAIVL'98)*, Santa Barbara, California, 1998.
- [SMI 94] SMITH J., CHANG S.-F., « Quad-Tree Segmentation for Texture-Based Image Query », *Proc. of 2nd Annual ACM Multimedia Conf.*, San Francisco, CA. USA, Oct. 1994.
- [SMI 02] SMITH J., « *Image Databases : Search and Retrieval of Digital Imagery* », chapitre 11 - Color for Image Retrieval, p. 285–311, Wiley Inter-Science, 2002, V. Castelli and L.D. Bergman (Eds) - ISBN : 0-471-32116-8.
- [STE 02] STEHLING R., NASCIMENTO M., FALCAO A., « *Multimedia Mining - a High Way to Intelligent Multimedia Document* », chapitre 4 - Techniques for Color-Based Image Retrieval, C. Djeraba (Eds) - Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [TAN 01] TAN K.-L., OOI B. C., YEE C., « An Evaluation of Color-Spatial Retrieval Techniques for Large Image Databases », *Multimedia Tools and Applications*, vol. 14, n° 1, 2001, p. 55–78.
- [TRA 02] TRAINA C. J., TRAINA A., FALOUTSOS C., SEEGE B., « Fast Indexing and Visualization of Metric Data Sets using Slim-Trees », *IEEE Transaction on Knowledge and Data Engineering (TKDE)*, vol. 14, n° 2, 2002, p. 244–260.