

Filigrane numérique

Introduction :

Un filigrane physique est une image ou un motif d'identification sur le papier qui apparaît sous la forme de diverses nuances de clarté / d'obscurité lorsqu'il est vu par lumière transmise (ou lorsqu'il est visualisé par la lumière réfléchie, sur un fond sombre), causé par des variations d'épaisseur ou de densité du papier. Des filigranes ont été utilisés sur des timbres-poste, des devises et d'autres documents gouvernementaux pour décourager la contrefaçon.

Les filigranes varient considérablement dans leur visibilité ; tandis que certains sont évidents lors d'une inspection occasionnelle, d'autres nécessitent une étude pour être repérés. Différents auxiliaires ont été développés, comme un fluide filigrane qui mouille le papier sans l'abîmer. Un filigrane est très utile dans l'examen du papier car il peut être utilisé pour dater, identifier les formats, les marques de fabrique et les emplacements, et déterminer la qualité d'une feuille de papier [16].

Un filigrane numérique est une sorte de marqueur incorporé secrètement dans un signal tolérant au bruit tel que des données audio, vidéo ou image. Il est généralement utilisé pour identifier la propriété du droit d'auteur d'un tel signal. Le filigrane est le processus consistant à cacher des informations numériques dans un signal porteur ; les informations cachées devraient, mais ne doivent pas nécessairement, contenir une relation avec le signal de porteuse. Les filigranes numériques peuvent être utilisés pour vérifier l'authenticité ou l'intégrité du signal porteur ou pour montrer l'identité de ses propriétaires. Il est largement utilisé pour localiser les violations de droits d'auteur et pour l'authentification des billets de banque. Comme les filigranes physiques traditionnels, les filigranes numériques ne sont souvent perceptibles que dans certaines conditions, par exemple après avoir utilisé un algorithme. Si un filigrane numérique déforme le signal porteur de manière à ce qu'il devienne facilement perceptible, il peut être considéré comme moins efficace en fonction de son objectif. Les filigranes traditionnels peuvent être appliqués aux supports visibles (comme les images ou la vidéo), tandis que dans le filigrane numérique, le signal peut être audio, images, vidéo, textes ou modèles 3D. Un signal peut porter plusieurs filigranes différents en même temps.

Contrairement aux métadonnées qui sont ajoutées au signal de porteuse, un filigrane numérique ne change pas la taille du signal de porteuse .

Les propriétés nécessaires d'un filigrane numérique dépendent du cas d'utilisation dans lequel il est appliqué. Pour marquer des fichiers multimédias avec des informations de copyright, un filigrane numérique doit être assez robuste contre les modifications qui peuvent être appliquées au signal porteur. Au lieu de cela, si l'intégrité doit être garantie, un filigrane fragile serait appliqué . La stéganographie et le filigrane numérique utilisent des techniques stéganographiques pour intégrer des données secrètement dans des signaux bruyants. Alors que la stéganographie vise l'imperceptibilité des sens humains, le filigrane numérique tente de contrôler la robustesse comme priorité absolue. Étant donné qu'une copie numérique des données est identique à l'original, le filigrane numérique est un outil de protection passive. Il marque simplement les données, mais ne les dégrade pas et ne contrôle pas l'accès aux données.

2.1 Historique

Les filigranes ont été introduits pour la première fois à Fabriano , en Italie , en 1282[17] sur papier ,mais Le terme filigrane numérique a été inventé par Andrew Tirkel et Charles Osborne en décembre 1992 [18]. La première intégration et extraction réussies d'un filigrane à spectre étalé stéganographique a été démontrée en 1993 par Andrew Tirkel, Charles Osborne et Gerard Rankin[18] .

Les filigranes continuent d'être utilisés aujourd'hui comme marques de fabricant et pour empêcher la falsification.

2.2 Aux origines du tatouage

La cryptographie, la stéganographie et le tatouage sont des techniques très proches les unes des autres puisqu'elles consistent à transmettre une information à caractère confidentielle. Elles répondent toutes les trois à des problèmes de sécurité(Robustesse ,Capacité ,Imperceptibilité). Cette section vise à établir les différences et les similitudes entre ces trois disciplines.

Le tatouage numérique consiste à insérer une marque qui a un lien avec le support numérique.Si la marque insérer dans un support numérique est différentes pour toutes les copies du support de base, on parle alors du **filigrane**

2.2.1 La cryptographie

Puisque le tatouage consiste à transmettre une information non accessible, la discipline est souvent rattachée aux questions de sécurité des données numériques, et donc naturelle-

ment à la discipline de la cryptographie.

La cryptographie[19] est une discipline très vieille, des techniques ont été mises en place dès le Vème siècle. Elle consiste à transformer un message pour qu'il devienne illisible. Seule la connaissance d'une clef et du moyen de cryptage peut permettre de décoder le message afin de le rendre lisible. Alors que pour le tatouage, la donnée tatouée est disponible, diffusée et exploitable, la donnée cryptée est elle inexploitable sans la connaissance des clés de déverrouillage de l'algorithme de cryptage. En fait les deux disciplines sont considérées comme complémentaires puisque d'un coté la cryptographie tend à renforcer le contrôle d'accès aux données, leur authenticité et leur intégrité, d'un autre coté le tatouage tend à lier le contenu des données avec des informations auxiliaires .

2.2.2 La stéganographie

Le terme stéganographie [19] vient du mot Grec steganos signifiant caché et de graphia signifiant écriture, littéralement on traduit par écriture cachée. Elle consiste à dissimuler un message dans un autre.

Ainsi, seule la personne connaissant le procédé de dissimulation peut lire le message caché. Contrairement à la cryptographie, la stéganographie est invisible. La différence entre la stéganographie et le tatouage, est que dans la stéganographie, l'existence d'un message caché doit rester secrète alors que pour le tatouage seul le message doit rester caché mais son existence (tant qu'on ne peut le détecter) peut être connue.

2.3 Types d'insertion

2.3.1 Méthodes additives

Lors de l'insertion, le signal représentant la marque est ajouté à certaines composantes du médium. Pour y parvenir, il s'agit d'adapter la marque au médium, afin que le signal qu'elle représente ne soit ni trop faible (risques de non détectabilité et problèmes de robustesse), ni trop fort (effacement du signal initial, et donc trop grande dégradation de celui-ci).

Le principe des méthodes dites additives consiste ajouter la marque aux composantes du document en utilisant l'une des équations suivantes [20] :

$$I_w = I_0 + WI_w = I_0 * (1 + W)I = I_0 * e^w \quad (2.1)$$

En pratique, la marque W est ajoutée aux certains composantes caractéristiques de l'image I_0 . Cette opération peut se faire à partir de l'image elle-même ou à partir d'une transformation fréquentielle(les transformations fréquentielles(DCT, DFT),La transformée en ondelettes discrète(DWT))[21]

2.3.2 Méthodes substitutives

Dans les méthodes substitutives, la marque à insérer est substituée à des composantes de l'image originale, ce qui correspond principalement à deux comportements : le premier est un tatouage quantitatif appelé aussi tatouage substitutif avec dictionnaire, le second est un tatouage substitutif avec contraintes. Il consiste à imposer un ensemble de contraintes aux données marquées [22]. Plusieurs techniques substitutives ont été proposées dans la littérature.

La première méthode consiste à remplacer les bits les moins significatifs ou les bits de poids faibles des pixels d'une image par les bits de la marque. Cette méthode a été améliorée dans [23] pour les images couleurs. Une technique très utilisée dans le tatouage des images est appelée la quantification par la modulation d'index (QIM) proposée dans [24][25]. Le principe de cette technique consiste à quantifier l'image en utilisant un ensemble de quantificateurs indexés par la marque à insérer. Ainsi, chaque élément de la marque est attaché à un quantificateur différent, et le tatouage s'effectue par quantification de l'image avec le quantificateur correspondant à la marque.

2.4 Type de filigrane

2.4.1 Filigrane visible

Le filigrane visible est très simple .il altère le signal ou le fichier par exemple ajout d'une image pour en marquer une autre . Il est fréquent que les agences de photo ajoutent un filigrane visible en forme de copyright aux versions de pré-visualisation basse résolution de leurs photos.

Ceci afin d'éviter que ces versions ne se substituent aux versions hautes résolutions payantes. Le filigrane visible est un sujet à controverse. Il y a une branche de chercheurs qui disent que si le filigrane est visible, alors elle peut être facilement attaquée. Néanmoins, nous trouvons des applications qui demandent que le filigrane soit visible, c'est le cas du logo des sociétés dans les programmes télévisuels.



FIGURE 2.1 – Filigrane visible

Dans les techniques de filigrane visible :

- La marque insérée est facilement enlevée par un simple cropping.
- La visibilité de la marque insérée dégrade la qualité visuelle de l'image

2.4.2 Filigrane invisible :

le filigrane invisible est un concept beaucoup plus complexe. Le filigrane invisible modifie le signal d'une manière imperceptible par l'utilisateur final. Pour reprendre l'exemple de l'agence de photo, les photos haute résolution vendues par l'agence possèdent elles au contraire un filigrane invisible, qui ne dégrade donc pas le contenu visuel.



FIGURE 2.2 – Filigrane invisible

Dans un filigrane invisible :

- il n'est pas facile de faire la distinction entre l'image originale et l'image filigranée.
- il est difficile d'enlever ou détruire la marque insérée sans avoir une dégradation de la qualité visuelle de l'image filigranée de manière significative.

2.5 Critères de dissimulation d'information

Les applications de dissimulation d'information sont triées en fonction de trois critères :

2.5.1 Robustesse

le pouvoir de récupérer la marque insérée même si l'image filigranée a été manipulée par des attaques. Il est nécessaire de distinguer plusieurs types d'attaques selon qu'elles sont considérées comme étant bienveillantes ou malveillantes. Les attaques bienveillantes sont les manipulations effectuées de bonne foi par un utilisateur. On retrouve dans cette catégorie : la compression JPEG, certaines transformations géométriques, le filtrage spatial et fréquentiel, l'ajout de bruit, l'impression et la numérisation, la correction gamma et l'égalisation d'histogramme.

2.5.2 Capacité

représente la quantité d'information que l'on veut insérer dans une image. Cette quantité varie selon l'application. En général, quelques bits suffisent pour la protection du droit d'auteurs à l'aide d'un identifiant, mais pas pour insérer un logo de société. En revanche, il est nécessaire de cacher plusieurs bits d'information pour permettre l'authentification des images.

2.5.3 Imperceptibilité

:
le filigrane numérique va certainement introduire des distorsions. Cette contrainte exige que lesdites distorsions soient les plus faibles possibles afin que visuellement l'image filigranée reste fidèle à l'image originale. Pour ce faire, les caractéristiques du système visuel humain (SVH) peuvent être exploitées pour rendre la marque moins perceptible. La qualité de l'image tatouée par rapport à l'image originale peut être évaluée à l'aide d'outils mathématiques tels que le rapport, signal sur bruit de crête (PSNR), la similitude structurale (SSIM), etc. Le critère d'imperceptibilité est une propriété liée uniquement au filigrane numérique invisible.

2.6 Applications de filigrane numérique des images

Le filigrane numérique peut être utilisé pour une large gamme d'applications, telles que :

- Protection du droit d'auteur :
la protection des droits d'auteur a été une des premières applications du filigrane numérique. En cas de litige juridique, le propriétaire d'une image est en mesure d'apporter la preuve qu'il est le propriétaire même si celle-ci a subi des dégradations (attaques)[26]. Une telle application doit assurer une grande robustesse contre les attaques, éviter toute ambiguïté de la preuve et minimiser les distorsions liées à l'insertion de la marque.
- Authentification du contenu d'une image :
l'idée de base de cette application consiste à insérer une marque fragile dans une image qui serve à alerter l'utilisateur face à une éventuelle modification de l'image par une personne non autorisée et à localiser précisément les régions manipulées. Cette application est généralement utilisée dans le domaine juridique et médical.
- Contrôle du nombre de copies :
les données numériques peuvent être dupliquées sans subir de détérioration de la qualité. Dans ce contexte, si une personne détient en main un document numérique, si elle est malintentionnée, elle peut produire illégalement un nombre illimité de copies de ce document avec une qualité égale au document d'origine. Le filigrane numérique peut faire face à cette situation. Des informations relatives au nombre de copies autorisées sont encodées dans la marque. Ce principe a été utilisé dans les vidéos où la marque indique si la vidéo peut être copiée ou non.
- Autres applications :
il existe d'autres applications telles que l'indexation et le contrôle d'accès, etc.

Les filigranes sont habituellement utilisés pour empêcher des images et des photos d'être réutilisées sans la permission de leurs propriétaires. Ils s'avèrent parfois difficiles à supprimer.

2.7 La suppression de filigrane par des applications

Les filigrane sont été conçus dans le but de protéger les photos et les images contre les falsifications et les vols.

sont habituellement utilisés pour empêcher des images et des photos d'être réutilisées sans la permission de leurs propriétaires. Ils s'avèrent parfois difficiles à supprimer.

Il existe plusieurs applications pour supprimer un filigrane sur une image. Nous allons citer quel que application :

- **Gimp** : Le programme GIMP ou GNU(General Public License) Manipulation de l'image , un logiciel open-source gratuit qui peut être téléchargé à partir de gimp.org à beaucoup des mêmes caractéristiques que un programme professionnel, propriétaire de retouche d'image ,iffusé sous la licence GPLv3 comme un logiciel gratuit et libre. Il en existe des versions pour la plupart des systèmes d'exploitation dont GNU/Linux, macOS et Microsoft Windows.

si un filigrane est créé sur un couche dans une image, vous pouvez supprimer la couche de filigrane en utilisant GIMP. Toutefois, si le filigrane est une partie de la couche d'image elle-même, la seule façon de supprimer le filigrane est de modifier l'image.

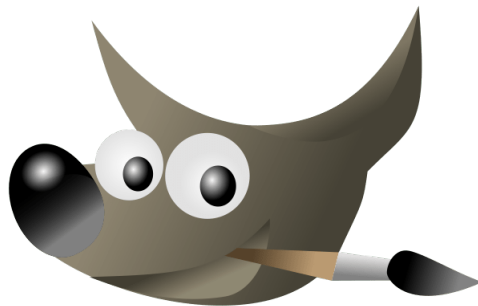


FIGURE 2.3 – Logo Gimp

- **Photoshop** : Les prémices de Photoshop remontent toutefois à 1987, lorsque Thomas Knoll, doctorant à l'Université du Michigan, inventa le logiciel Display pour ses propres besoins de recherches sur l'affichage sur ordinateurs. C'est dans un deuxième temps qu'il s'est associé à son frère John Knoll pour créer la première version de Photoshop, Photoshop 0.87, livrée en exclusivité avec des scanners. La société fut alors rachetée par Adobe en avril 1989, et l'entreprise lança dans le commerce Photoshop 1.0 en 1990 sur MacOS puis en 1992 sur Windows.



FIGURE 2.4 – Logo Photoshop

2.8 Outils d'évaluation

Pour évaluer la qualité d'une image, différentes approches ont été adoptées dans la littérature dont la majorité avait comme objectif l'évaluation d'une version dégradée de l'image originale plutôt que l'évaluation d'une version améliorée.

Nous pouvons classer ces approches en deux grandes classes :

l'approche subjective où des observateurs humains évaluent la qualité de l'image et l'approche objective où un algorithme appliqué à une image donnée lui attribue une note, dite note de qualité. Mais les performances de ces critères (ou algorithmes) ne sont pas toujours à la hauteur des objectifs visés.

2.8.1 Evaluation subjective

Dans la plupart des applications visuelles, l'œil humain est le terminal final qui va recevoir et traiter l'information. Pour cela l'évaluation subjective est considérée comme étant la meilleure manière de mesure de la qualité d'image puisqu'elle est basée sur les appréciations des êtres humains.

Pour augmenter la précision des notes de qualité, les recommandations UIT [27] doivent être respectées pendant la réalisation des tests. Cependant, dans les mêmes conditions, les observateurs peuvent juger très différemment la même image car leurs décisions dépendent de la qualité attendue par chaque observateur.

Protocoles

Il y a essentiellement trois grandes familles communes d'évaluation subjective définies par l'ITU [26] : Echelle continue de la qualité sur stimulus double (DSCQS), Echelle de dégradation sur stimulus double (DSIS) et Evaluation continue de la qualité sur stimulus unique (SSCQE).

Echelle continue de la qualité sur stimulus double (DSCQS)

La méthode à double stimulus est appelée Double Stimuli Continuous Quality Scale (DSCQS). Dans cette méthode, chaque essai se compose d'une paire de stimulus : un stimulus de la référence, et l'autre du test. Le stimulus de test est habituellement la référence après avoir subi un certain type de traitement. Les deux stimuli sont chacun présentés deux fois dans un test, d'une façon alternative, avec l'ordre du choix aléatoirement pour chaque épreuve. Des signaux audio sont employés pour indiquer quand une preuve commence, quand un nouveau stimulus commence, quand voter, et ce qui est le nombre de tests courants dans la séquence de test qui compose une session de tests.(voir figure 2.5).

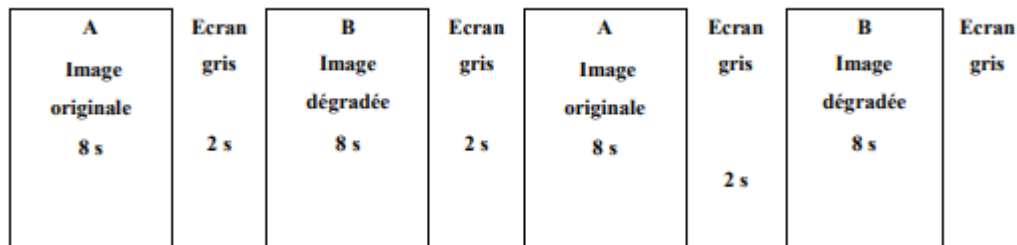


FIGURE 2.5 – Méthode à double stimulus

Echelle de dégradation sur stimulus double (DSIS)

Comme dans la méthode de DSCQS, chaque essai se compose d'une paire de stimulus : la référence et l'essai. Cependant, dans la méthode de Double Stimulus Impairment scale (DSIS), les deux stimulus sont toujours présentés dans le même ordre : la référence est toujours la première, suivi du test. Dans la méthode de DSIS, les observateurs comparent les deux stimuli dans un essai et évaluent la dégradation du stimulus d'essai en ce qui concerne la référence, en utilisant une échelle de dégradation de cinq niveaux. Ainsi, seulement une voix est faite pour chaque essai de DSIS. .

Evaluation continue de la qualité sur stimulus unique (SSCQE)

Au lieu de voir des paires de courtes séquences séparées, les observateurs observent un programme de la durée 20 – 30 minutes en général qui a été traité par le système du test ; la référence n'est pas montrée (Single Stimulus Continuous Quality Evaluation, SSCQE). En utilisant un glisseur, les observateurs évaluent continuellement la qualité instantanément perçue sur l'échelle de DSCQS du mauvais à l'excellent .(voir figure2.6).

Une échelle de notation utilisée pour évaluer la qualité d'une image est donnée dans le tableau 2 Ces échelles peuvent varier de 1 à 5 jusqu'à 100.

Analyse des résultats

Pour chaque paramètre de test, la moyenne et l'intervalle de confiance à 95% de la distribution statistique des notes doivent être calculés.

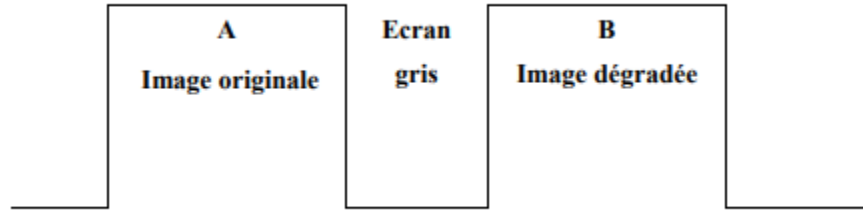


FIGURE 2.6 – Méthode à simple stimulus

Excellente
Bonne
Assez Bonne
Médiocre
Mauvaise

TABLE 2.1 – Echelle d' évaluation de qualité d'image

MOS : Score d'Opinion Moyen Lorsque les tests se terminent, on cherche à trouver la moyenne de la qualité. Une note est attribuée à chaque image en combinant les notes de tous les observateurs. Cette note appelée Mean Opinion Score est donnée par la formule suivante :

$$MOS(i) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N Note_i(j) \quad (2.2)$$

Où N est le nombre d'observateurs $Note_i(j)$ est la note de l'observateur j pour la dégradation i de l'image.

Intervalle de confiance

Afin de réduire l'impact d'éventuelles erreurs, un intervalle de confiance est souvent associé à chaque note MOS. Il est généralement fixé à 95% et est donné par la relation suivante :

$$[Mos(i) - e_j, Mos(i) + e_j] \quad (2.3)$$

$O\tilde{A}^1$:

$$e_j = 1.95 \frac{\sigma_j}{\sqrt{N}}$$

Et l'écart-type pour chaque présentation σ_j , est donné par :

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (Note_i(j) - MOS(i))^2}{N - 1}} \quad (2.4)$$

Une analyse plus approfondie permet de détecter et de rejeter d'éventuelles erreurs.

2.8.2 Evaluation objective

Les méthodes d'évaluation objective sont des méthodes calculatoires basées sur la mise en place d'un algorithme qui calcule la distance entre deux images. Cet algorithme produit des valeurs numériques, exprimant la qualité visuelle, appelées métriques. Les valeurs de ces métriques doivent refléter les notes subjectives données par les observateurs humains lors de test d'évaluation. L'intérêt majeur de ces métriques de qualité réside dans la possibilité de surveiller de manière automatique la qualité visuelle en temps réel.[29][27][30]

Les métriques d'évaluation objective ont plusieurs domaines d'application

- utilisés pour surveiller la qualité de l'image dans les systèmes de contrôle de la qualité.
- utilisés pour évaluer les algorithmes de traitement d'image.
- utilisés pour optimiser les systèmes de transmission et de traitement d'image.

2.8.3 Catégories des métriques objectives

les métriques objectives d'évaluation de la qualité des images peuvent être classées en utilisant un certain nombre de critères tels que le type de domaine (pixel ou transformé), le type de distorsion prédit (bruit, bloc), et le type d'information nécessaire pour évaluer la qualité (image originale, image dégradée). Les mesures de qualité objective proposées dans la littérature peuvent être classées en 3 catégories :

- Métriques à référence complète :
- Métriques sans référence .
- Métriques à référence réduite.

Métriques à référence complète

Ces métriques réalisent une comparaison directe entre l'image jugée et l'image de référence. Cette approche nécessite la disponibilité d'une image ou séquence de référence, ce qui représente une restriction importante à l'usage d'une telle mesure.

Approches basées EQM L'erreur quadratique moyenne est une métrique très populaire et très utilisée dans le domaine d'évaluation image. Grâce à sa simplicité, cette métrique peut facilement être intégrée dans un processus d'optimisation. Plusieurs métriques ont été proposées en fonction de cette erreur quadratique : le rapport signal à bruit (SNR : Signal Noise Ratio) et le rapport signal à bruit crête (PSNR : Peak Signal Noise Ratio).

$$EQM = \frac{1}{M.N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (I(i, j) - I_d(i, j))^2 \quad (2.5)$$

Avec $I(i, j)$ et $I_d(i, j)$ le pixel de coordonnées (i, j) de l'image originale et de sa version dégradée, N et M représentent respectivement le nombre de lignes et de colonnes de l'image.

Rapport signal sur bruit(SNR) :

$$SNR = 10 \log \left(\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (I(i, j))^2}{EQM} \right) \quad (2.6)$$

PSNR :

$$PSNR = 10 \log \left(\frac{\text{Valeur Crête du signal original}}{EQM} \right) \quad (2.7)$$

Où la valeur crête du signal originale est fixée à 255 pour les images codées sur 8 bits par pixels.

Dans tous les cas, il n'est pas très aisé de pouvoir interpréter les résultats obtenus.

Approches Structurelles(SSIM) Pour pallier la faiblesse des mesures type EQM, basées sur le pixel en général, certains auteurs ont orienté leurs recherches vers les métriques de qualité basées sur une analyse des structures locales du signal image. Parmi les métriques les plus populaires et les plus utilisées, on trouve celles proposées par Wang et al[31], appelées SSIM.

Indice de similarité structurelle (SSIM)

SSIM :est une mesure de similarité entre deux images numériques. Elle a été développée pour mesurer la qualité visuelle d'une image déformée, par rapport à la l'image originale. L'idée de *SSIM* est de mesurer la similarité de structure entre les deux image, plutôt qu'une différence pixel à pixel comme le fait par exemple le *PSNR*. L'hypothèse sous-jacente est que l'oeil humain est plus sensible aux changements dans la structure de l'image.

La métrique SSIM est calculée sur plusieurs fenêtres d'une image. On dénote x et y l'image originale et l'image déformée respectivement.

La similarité compare la luminance, le contraste et structure entre chaque couple de fenêtres.

La luminance est estimée par la mesure de l'intensité moyenne de chaque fenêtre :

$$u_x = \frac{1}{N} \sum_1^N x_i \quad (2.8)$$

N : le nombre de pixels de chaque fenêtre.

x_i : l'intensité d'un pixel.

Le contraste pour chaque fenêtre est mesuré par :

$$\sigma_x = \left(\frac{1}{N-1} \sum_1^N (x_i - u_x)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.9)$$

La similarité est déterminée par la perte de corrélation entre les deux fenêtres :

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{N-1} \sum_1^N (x_i - u_x)(y_i - u_y) \quad (2.10)$$

La fonction de comparaison de luminance notée par $l(x, y)$ est une fonction de x et y . Le contraste entre deux fenêtres noté par $c(x, y)$, comparent les variances de x et y .

La troisième fonction compare les structures des deux fenêtres données par la fonction $s(x, y)$ en fonction de deux fenêtres normalisés.

Finalement la fonction mesurant la similarité, est une fonction de $l(x, y)$, $c(x, y)$ et $s(x, y)$. Elle est de la forme :

$$s(x, y) = f(l(x, y), c(x, y), s(x, y)) \quad (2.11)$$

Wang et Al ont proposé dans [30] fonction de comparaison de la luminance de la forme :

$$I(x, y) = \frac{2u_x u_y + (K_1 L)^2}{u_x^2 u_y^2 + (K_1 L)^2} \quad (2.12)$$

K_1 est une constante de très faible valeur. La constante $(k_1 L)^2$ évite l'instabilité de la fonction de comparaison lorsque $u_x^2 u_y^2$ sont très proches de zéro. Dans le cas des images à niveau de gris, la constante est $L = 255$ (dynamique du capteur).

On remarque que l'équation (2.12) est conforme à la loi de Weber [31], largement utilisée pour la modélisation de l'adaptation à la lumière dans le SVH (système visuel humain). Selon la loi de Weber [32], la variation de luminance est proportionnelle à la luminance de fond. En d'autres termes, le SVH est sensible aux variations relatives de luminance entre les deux signaux ou encore entre les deux images.

La fonction de comparaison de contraste prend une forme similaire :

$$c(x, y) = \frac{2\sigma_x \sigma_y + (K_2 L)^2}{\sigma_x^2 \sigma_y^2 + (K_2 L)^2} \quad (2.13)$$

où K_2 est une constante de très faible valeur.

La comparaison de structure est réalisée par la corrélation entre les deux vecteurs après soustraction de la luminance et normalisation par la variance. Notons que la corrélation entre les deux vecteurs est une mesure simple et effective de la similarité structurelle. Alors la fonction de comparaison structurelle est donnée par :

$$s(x, y) = \frac{2\sigma_{xy} + (K_2 L)^2}{2\sigma_x \sigma_y + (K_2 L)^2} \quad (2.14)$$

Finalement, la mesure de similarité résultante des trois comparaisons est donnée par une expression simplifiée de l'index de similarité structurelle entre x et y :

$$SSIM(x, y) = l(x, y) \cdot c(x, y) \cdot s(x, y) \quad (2.15)$$

où encore sous une forme simplifiée :

$$SSIM(x,y) = \frac{2u_x * u_y + (K_1L)^2}{u_x^2u_y^2 + (K_1L)^2} * \frac{2\sigma_u\sigma_y + (K_2L)^2}{\sigma_x^2\sigma_y^2 + (K_2L)^2} \quad (2.16)$$

L'indice de similarité est exploité pour un choix approprié des constantes K_1 et K_2 pour généraliser l'évaluation à toute l'image.

Complexe Wavelet SSIM (CW-SSIM) est une variante de la métrique SSIM, proposé dans [32] pour mesurer la qualité des images qui ont une distorsion géométrique telle que la rotation, le redimensionnement. Comme le SSIM, la valeur maximale de CW-SSIM est 1 qui indique que les deux images sont parfaitement identiques. L'équation de CW-SSIM est décrite comme suit :

$$CW - SSIM(C_x, X_y) = \frac{2 \sum_{i=1}^N |C_{x,i}| |C_{y,i}| + K}{\sum_{i=1}^N |C_{x,i}|^2 |C_{y,i}|^2 + K} * \frac{2 |\sum_{i=1}^N C_{x,i} * C_{y,i}^*| + K}{2 \sum_{i=1}^N |C_{x,i} * C_{y,i}^*| + K} \quad (2.17)$$

Où C_x est la transformation en ondelettes complexe du signal x et C_y est la transformation en ondelettes complexe du signal y . De plus, K est un petit nombre positif utilisé aux fins de la stabilité de la fonction.

Le CW-SSIM Généralement utiliser quand une image à la même qualité que l'image original.

Similitude structurale à base de gradient Un algorithme amélioré de SSIM a été développé (la similitude structurale à base de Gradient(GSSIM))[32] , qui compare l'information de contour entre les blocs de l'image déformée et l'originale, et remplace la comparaison de contraste $c(x,y)$ et la comparaison de structure $s(x,y)$ par la comparaison de contraste à base gradient $c_g(x,y)$ et la comparaison de la structure $s_g(x,y)$ Respectivement. Il y a un certain nombre de manières d'obtenir l'information de contour, telle que l'algorithme simple de détection de contour.

Deux cartes de gradient x' et y' représentant respectivement l'image originale et déformée sont générées en utilisant l'opérateur de Sobel. En plus les blocs des images X' et Y' sont donnés par x' et y' .La comparaison de contraste à base de gradient $c_g(x,y)$ et la comparaison de structure $s_g(x,y)$ sont décrites par :

$$c_g(x,y) = \frac{2\sigma_{x'}\sigma_{y'} + C_2}{\sigma_{x'}^2 + \sigma_{y'}^2 + C_2} \quad (2.18)$$

$$s_g = \frac{\sigma_{x'y'} + C_3}{\sigma_{x'}\sigma_{y'} + C_3} \quad (2.19)$$

Où σ'_x et σ'_y sont l'écart type des blocs x' et y' respectivement, $\sigma_{x'y'}$ est la covariance des blocs x' et y' et $C2, C3$ sont des petites constantes évitant la dénomination de la valeur zéro. La similitude structurale à base de Gradient (GSSIM) est définie comme suit :

$$GSSIM = [I(x, y)]^\alpha \cdot [c_g(x, y)]^\beta \cdot [s_g(x, y)]^\gamma \quad (2.20)$$

La similitude globale de structure d'image est calculée comme la moyenne de toutes les sous-images (blocs) de GSSIM, les coefficients de pondérations (α , β et γ) sont fixés à la valeur 1.

Métriques sans référence

Cette classe de méthodes de qualité objective ne nécessite pas d'accéder à la vidéo d'origine mais recherche des artefacts par rapport au domaine de pixel d'une vidéo, utilise les informations incorporées dans le train de bits du format vidéo associé ou effectue une évaluation de la qualité sous forme hybride. D'approches basées sur les pixels et sur le flux binaire.

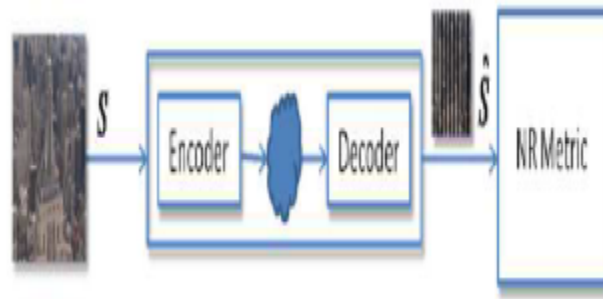


FIGURE 2.7 – Schéma de métrique sans référence

basées sur les statistiques de scènes naturelles (NSS : natural scene statistics)

L'idée principale de ces approches est que les images de scènes naturelles présentent des régularités statistiques affectés par la présence de distorsions, et ces changements statistiques dans la distorsion les images peuvent être mesurées pour évaluer la qualité de l'image. Parmi ces méthodes :

BIQI (Blind Image Quality Index) :

Cette approche a été présentée par Moorthy et Bovik[34], il estime la qualité à partir d'une transformée en ondelettes utilisant la base d'ondelettes de Daubechies[35]. La transformation est effectuée sur trois échelles et trois orientations. Le coefficient de sous-bande de la transformation est paramétré à l'aide d'une distribution généralisée gaussienne GGD. Il y a trois paramètres de la distribution : moyenne, variance et paramètre de forme. Mais deux paramètres seulement sont utilisés qui sont la variance et le paramètre de forme parce

que la moyenne dans la base des ondelettes est égale à zéro. Par conséquent, trois échelles, trois orientations et deux paramètres génèrent 18 caractéristiques pour l'image (3 x 3 x 2). Après avoir extrait les caractéristiques, l'image testée est classée par le classificateur SVM multiclass selon l'une des cinq classes représentant cinq distorsion différentes (jpeg, jpeg2000, bruit blanc, erreur de lecture rapide et flou). Ce classificateur ne donne pas seulement une classification absolue, mais aussi en donnant le montant de chaque distorsion présente dans l'image.

DIVIINE (Distortion Identification-based Image Verity and INtegrity Evaluation) :

Dans [35], Moorthy et Bovik ont présenté l'algorithme DIIVINE. Les caractéristiques ici sont extraites en décomposant l'image déformée d'abord en utilisant une décomposition en ondelettes utilisant une pyramide orientable sur deux échelles et six orientations (0, 30, 60, 90, 90, 120, 150). Ils ont constaté qu'un degré d'orientation accru améliore la performance. Les coefficients de sous-bande à travers ces orientations et échelles sont ensuite utilisés pour extraire un ensemble de caractéristiques statistiques. Au total, 88 fonctionnalités sont utilisées dans cette méthode. Ensuite, la qualité est estimée en utilisant le même cadre en deux étapes dans [34].

Paramètres d'analyse comparative : Les différents algorithmes d'évaluation de qualité sans référence fournissent différents scores de qualité. Donc, pour comparer la performance de ces algorithmes il faut avoir un système de comparaison, les paramètres utilisés pour faire la comparaison sont cités ci-dessous :

Pearson coefficient de corrélation (PCC) :

Il est utilisé pour mesurer la dépendance entre les variables. Sa valeur est entre (-1, +1) où la valeur proche de +1 indique que les deux variables ont une corrélation positive et la valeur proche de -1 indique que les deux variables ont une corrélation négative. Une très faible où un zéro indique que les deux variables ne sont pas corrélées. L'équation de PCC entre X, Y est décrite comme suit :

$$p = \frac{\text{covariance}(x, y)}{\sigma_x \sigma_y} \tag{2.21}$$

Les deux variables X, Y sont le résultat de d'algorithmes et la qualité réelle obtenue par la base de données.

Spearman Corrélation Coefficient (SCC) :

Fournit la relation entre deux variables classées. Sa valeur est entre (-1, +1) avec la même interprétation que celle de PCC. Le SCC est calculé comme suit :

$$p = 1 - \frac{6 * \sum d^2}{n(n^2 - 1)} \tag{2.22}$$

Où (d) est la différence dans les rangs de deux variables X et Y, $d_i = x_i - y_i$. Et n est le nombre de paires de valeurs.

Métriques à référence réduite (RR)

Parmi les méthodes d'évaluation de qualité d'image avec référence réduite citons : Dans l'article[35], le score de qualité est estimé en mesurant les changements d'entropies pondérées des images de référence et déformées dans le domaine des ondelettes. Les coefficients d'ondelettes de l'image naturelle et déformés sont modélisés sous forme de distributions GSM. La métrique de qualité est obtenue en tant que distance entre l'approximation de référence et l'image naturelle d'une image déformée. L'algorithme proposé fonctionne beaucoup mieux que l'algorithme FR MSE.[37]

Dans l'article[38], un nouvel algorithme RR IQA basé sur des statistiques d'image est proposé. Les statistiques sur les images sont modélisées dans le domaine des pixels, basé sur la distribution en dégradé. Les caractéristiques de qualité RR sont extraites sur la base d'un modèle statistique. La qualité est mesurée en déterminant la similarité entre l'image de référence et l'image déformée. La méthode proposée est aussi performante que le PSNR FR largement connu[38]

Dans cet article[38], une tentative d'approximation de la métrique RR SSIM à partir de FR SSIM a été effectuée par transformation de normalisation divisible DNT de l'image naturelle. Outre l'évaluation de la qualité, le concept de réparation d'image a été introduit en comparant les propriétés statistiques de sous-bande de l'image déformée à celles de l'image de référence.

Les caractéristiques sont extraites de l'image de référence en appliquant une transformation linéaire à plusieurs échelles (transformée en ondelettes), puis la représentation de la DNT est calculée en divisant chaque coefficient d'ondelette par une mesure d'énergie locale basée sur les coefficients voisins. Pour un résumé efficace des propriétés statistiques de l'image de référence, une moyenne nulle est ajustée sur les coefficients DNT. Pour l'estimation de RR SSIM, l'effet des distorsions sur les propriétés statistiques doit être cohérent avec le FR SSIM correspondant. La méthode proposée est comparée à FR (PSNR et SSIM) et à RR (ondelettes marginales et DNT marginales) et la mesure proposée est très compétitive dans la plupart des cas.

2.9 Conclusion

Ce chapitre a présenté un état de l'art sur le filigrane des images numériques. Nous sommes intéressés aux types d'insertion du filigrane numérique. Nous avons abordé les Types de filigrane et présenté es des application de suppression d'un filigrane. nous avons aussi présente un état de l'art sur les méthodes d'évaluation de la qualité d'image qui sont divisées en deux familles : méthodes subjectives et méthodes objectives.

Les méthodes subjectives consiste à réaliser des séances de test en respectant des contraintes

précises, ces méthodes sont coûteuses et leurs résultats dépendent fortement des conditions physiques et de l'état émotionnel des observateurs.

Les méthodes objectives sont des méthodes calculatoires basées sur la mise en place d'un algorithme qui calcule la distance entre deux images. Le défaut majeur de ce type d'évaluation c'est que la majorité de ses critères sont calculées par rapport à l'image originale entre deux images. Le défaut majeur de ce type d'évaluation c'est que la majorité de ses critères sont calculées par rapport à l'image originale.