UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

CCITT

T.80

COMITÉ CONSULTATIF
INTERNATIONAL
TÉLÉGRAPHIQUE ET TÉLÉPHONIQUE

(09/92)

ÉQUIPEMENTS TERMINAUX ET PROTOCOLES POUR LES SERVICES DE TÉLÉMATIQUE

COMPOSANTES COMMUNES POUR LA COMPRESSION ET LA COMMUNICATION D'IMAGES – PRINCIPES DE BASE

Recommandation T.80

AVANT-PROPOS

Le CCITT (Comité consultatif international télégraphique et téléphonique) est l'organe permanent de l'Union internationale des télécommunications (UIT). Il est chargé de l'étude des questions techniques, d'exploitation et de tarification, et émet à ce sujet des Recommandations en vue de la normalisation des télécommunications à l'échelle mondiale.

L'Assemblée plénière du CCITT, qui se réunit tous les quatre ans, détermine les thèmes d'étude et approuve les Recommandations rédigées par ses Commissions d'études. Entre les Assemblées plénières, l'approbation des Recommandations par les membres du CCITT s'effectue selon la procédure définie dans la Résolution nº 2 du CCITT (Melbourne, 1988).

La Recommandation T.80, élaborée par la Commission d'études VIII, a été approuvée le 18 septembre 1992 selon la procédure définie dans la Résolution nº 2.

REMARQUE

Dans cette Recommandation, le terme «Administration» désigne indifféremment une administration de télécommunication ou une exploitation privée reconnue.

© UIT 1993

Droits de reproduction réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'UIT.

INTRODUCTION

La présente Recommandation a été élaborée par la Commission d'études VIII du CCITT. Les spécifications contenues au § 5 ont toutefois été communiquées à un groupe informel mixte du CCITT-ISO/CEI intitulé groupe mixte d'experts en photographie (JPEG). La tâche de ce groupe était d'élaborer un algorithme de compression progressive/séquentielle universel pour n'importe quel type de modèle de couleur.

Les nombreux essais et comparaisons effectués lors de la phase de mise au point ont montré que si l'objectif initial était techniquement réalisable, la solution initiale ne permettait pas d'obtenir la meilleure compression et la meilleure qualité d'image pour tous les types d'image considérés. Par conséquent, il a été décidé que le JPEG élaborerait une technique de compression d'image progressive/séquentielle de nature photographique et en échelle de gris (voir la Recommandation T.81) et qu'un nouveau groupe séparé, le groupe mixte CCITT-ISO/CEI groupe mixte sur les images à deux niveaux (JBIG) élaborerait une technique distincte (bien que semblable sur le plan fonctionnel) de compression d'image progressive/séquentielle à deux niveaux (limitée à quelques niveaux) dont on trouvera la description dans la Recommandation T.82. Ainsi les deux techniques disposent de nombreux points communs (par exemple, leur fonctionnalité, l'utilisation d'un codeur entropique commun, etc.) mais elles diffèrent pour ce qui est de l'algorithme. Les références aux algorithmes mises au point par le JPEG et le JBIG sont fournies au § 2, références associées. Les deux techniques ont été normalisées conjointement par le CCITT et l'ISO/CEI.

Recommandation T.80

COMPOSANTES COMMUNES POUR LA COMPRESSION ET LA COMMUNICATION D'IMAGES – PRINCIPES DE BASE

(1992)

Le CCITT,

considérant

(a) que le CCITT recherche les méthodes les plus efficaces de codage, de communication et de mise en mémoire des images;

(b) que les services de télématique (tels que la télécopie, le vidéotex, la téléconférence) suscitent un intérêt croissant, tout comme d'autres applications du CCITT visant à transmettre des images sur des réseaux de télécommunication à des vitesses variables;

(c) que la représentation de l'image à plusieurs niveaux (y compris l'échelle des gris et la couleur de nature photographique) est de plus en plus demandée;

(d) qu'il existe une tendance à l'utilisation de terminaux multifonctionnels pour plusieurs services de télématique et/ou autres applications de traitement de données du CCITT;

(e) que, avec l'apparition des nouvelles technologies des réseaux de télécommunication, comme le RNIS, on fournit de plus en plus plusieurs services et/ou autres applications du CCITT à l'intérieur du même réseau de télécommunication;

(f) qu'il est urgent d'assurer l'interfonctionnement entre les services de télématique (et autres applications du CCITT) utilisés pour la communication des images et/ou la mise en mémoire de celles-ci;

(g) que l'on assiste à une nette convergence des techniques de traitement d'image/de mise en mémoire d'image et des communications d'image;

(h) que l'on tend de plus en plus à introduire des services/applications de communication d'image présentés par visualisation;

(i) qu'il est nécessaire d'harmoniser les modes de présentation d'image par visualisation (écran) et par sortie sur papier (impression), dans les mêmes services/applications du CCITT ou entre plusieurs d'entres eux,

reconnaissant

(j) qu'il existe au CCITT plusieurs techniques reconnues (voir les Recommandations T.4 et T.6) de codage efficace des images contenant un texte en noir et blanc et des caractères semi-graphiques, mais que si l'on ne fait pas appel à de nouvelles techniques de compression des images, on ne pourra que répondre partiellement aux besoins exprimés ci-dessus,

recommande à l'unanimité

qu'en plus des techniques de compression d'image définies dans les Recommandations T.4 et T.6, on définisse une nouvelle génération de techniques de compression d'image assurant des propriétés nouvelles ou améliorées (comprenant entre autres l'échelle de gris/couleur, l'établissement progressif/séquentiel de l'image, la compression avec perte/sans perte) conformément aux Recommandations de la série T.80.

1 Champ d'application

Les Recommandations de la série T.80 s'appliquent à une large gamme d'applications du CCITT qui nécessitent l'utilisation d'images fixes compressées. Ces images s'étendent des fixes numériques à deux niveaux aux images fixes numériques de nature photographique à couleur unique ou à couleurs multiples. Elles concernent une large gamme d'applications du CCITT qui ont besoin d'utiliser des images comprimées.

La présente Recommandation constitue l'introduction aux Recommandations de la série T.80. Les Recommandations T.81 et T.82 décrivent les deux techniques de compression d'image.

La présente Recommandation décrit les principes de base des spécifications auxquelles doivent satisfaire les nouvelles techniques de compression, ainsi que la relation entre ces techniques de compression et les différents services et applications du CCITT.

La présente Recommandation ne spécifie pas les différentes techniques de compression à utiliser pas plus qu'elle ne spécifie, pour une application donnée, une représentation complète des données d'image codées ou encore une application employant l'une des nouvelles techniques de compression.

2 Références normatives

Les Recommandations du CCITT et Normes internationales ISO/CEI suivantes contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Recommandation. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute Recommandation ou Norme internationale sont sujettes à révision.

[1] Recommandation T.81 du CCITT (1992) | ISO/CEI 10918-1:1992, *Technologie de l'information – Compression numérique et codage des images fixes de nature photographique – Partie I: Spécifications et directives*.

[2] Recommandation T.82 du CCITT (1992) | ISO/CEI 11544:1992, *Technologie de l'information – Représentation codée des images et des informations audio – Compression d'image progressive à deux niveaux*.

Les références à caractère informatif à d'autres Recommandations connexes du CCITT, Normes ISO/CEI et Recommandations du CCITT concernant les applications sont fournies dans l'article intitulé “références”.

3 Définitions

Pour les besoins de la présente Recommandation, les définitions suivantes s'appliquent.

3.1 image à deux niveaux

Image avec deux niveaux distincts de couleurs prédéfinies (par exemple, une image type de télécopie est une image en noir et blanc à deux niveaux).

3.2 plan de bits

Matrice (ou «plan») de symboles à deux niveaux construits à partir d'une image en choisissant un bit particulier de chaque pixel.

3.3 octet

Huit bits de données.

3.4 processus de codage

Terme général pour désigner un processus de codage, un processus de décodage ou les deux à la fois.

3.5 image en couleur

Image à deux ou plusieurs niveaux contenant plus d'une seule composante de couleur, définissant la spécification de couleur complète de cette image.

3.6 composante de couleur

Une des matrices à deux dimensions que comprend une image en couleur. La signification de la composante de couleur est définie en fonction du modèle de couleur utilisé.

3.7 **modèle de couleur**

Manière prescrite de décrire les couleurs. Le modèle de couleur choisit les composantes de couleur appropriées servant à décrire une couleur précise d'un échantillon d'image.

3.8 **représentation complète d'une image codée**

Flux de données conforme à la Recommandation T.81 ou T.82, intégré dans l'environnement d'application (données) de tel ou tel service ou application du CCITT (par exemple, dans la syntaxe de données photographiques du vidéotex).

3.9 **compression**

Réduction du nombre de bits utilisés pour représenter les données d'image source.

3.10 **image de nature photographique**

Image dont les composantes de couleur comportent un nombre suffisant de bits (échelons de couleur) par pixel de sorte que l'apparence subjective de l'image semble être continue (par exemple, les 256 niveaux de l'échelle des gris donnent l'impression subjective d'une véritable image en échelle de gris).

3.11 **décodeur**

Dispositif qui réalise un processus de décodage.

3.12 **processus de décodage**

Processus qui prend une donnée d'image comprimée d'entrée et sort une image égale ou semblable à l'original non comprimé.

3.13 **image (fixe) (numérique)**

Matrice spatiale à deux dimensions de données de composante d'image sans la dimension temporelle, ou ensemble de telles matrices.

3.14 **reconstitution des gris**

Technique appliquée aux images à plan de bits unique qui donne l'impression «subjective» que l'image à plan de bit unique apparaît comme une image de nature photographique. Lorsqu'on utilise la reconstitution des gris en conjonction avec une résolution d'image constante, le résultat est perçu comme une «augmentation» des niveaux de gris. Toutefois, la résolution de l'image perçue diminue en même temps.

3.15 **codeur**

Dispositif réalisant un processus de codage.

3.16 **processus de codage**

Processus qui reçoit comme entrée une image originale et sort des données d'image comprimées.

3.17 **codeur entropique**

N'importe quelle méthode sans perte qui permet de comprimer les données.

3.18 **mode progressif à résolution fixe**

Processus de codage/décodage d'image progressif grâce auquel la qualité de l'image s'améliore à chaque étape successive alors que la résolution originale de l'image reste inchangée.

3.19 **image en échelle de gris**

Image de nature photographique ne comportant qu’une seule composante.

3.20 **demi-ton**

Processus de coloration artificielle (semblable à la reconstitution des gris) utilisé dans l'impression et appliqué aux plans de bits des composantes de couleur d'impression primaires. Donne lieu à une sortie imprimée qui apparaît subjectivement comme ayant des caractéristiques de couleur de nature photographique.

3.21 **image «sortie sur support papier»**

Image qui a été imprimée sur un dispositif de sortie (on s'attend généralement à obtenir une image fixe à résolution plus élevée).

3.22 **mode progressif hiérarchique**

Processus de codage/décodage progressif durant lequel la résolution de l'image augmente dans le sens horizontal et dans le sens vertical par des facteurs prédéterminés (généralement par 2) car on procède tout d'abord au décodage d'une image à résolution faible, pour appliquer ensuite chaque étape de décodage progressif. Dans la Recommandation T.82, c'est le seul type de mode «progressif» defini.

3.23 **données d'image**

Données d'image source ou données d'image reconstruites.

3.24 **entrelacement**

Echantillonnage des différentes composantes de couleur avec des fréquences d'échantillonnage différentes. Cela conduit à des résolutions d'image différentes pour les différentes composantes de couleur. Si l'entrelacement est correctement appliqué, on obtient un gain de compression considérable.

3.25 **image limitée à quelques niveaux**

Terme utilisé pour indiquer que la précision de spécification de chaque composante de couleur d'une image en couleur, ou de la composante unique d'une image en échelle de gris est limitée à deux à sept bits environ.

3.26 **sans perte**

Terme descriptif des processus de codage et de décodage dans lesquels la sortie de la procédure de décodage est identique (données) aux données d'entrée du processus de codage.

3.27 **avec perte**

Terme descriptif des processus de codage et de décodage qui ne sont pas sans perte, c'est-à-dire que la sortie du processus de décodage (données) n'est pas identique à l'entrée du processus de codage (données). Toutefois, un processus de codage et de décodage avec perte peut produire une image ayant une qualité excellente du point de vue subjectif. On applique souvent la compression de codage avec perte pour obtenir une compression d'image supplémentaire.

3.28 **image à plusieurs niveaux**

Terme utilisé pour décrire la plage de précision des composantes de couleur d'une image en échelle de gris ou en couleur, précision qui part d'environ trois niveaux (bits) jusqu'à huit en général, mais qui peut aller jusqu'à 12, 16, voire plus, pour certaines applications particulières.

3.29 **image**

Représentation délimitée de l'information visuelle.

3.30 **codage d’image**

Présentation sous forme numérique d'une image, notamment pour la mise en mémoire, le transfert ou le traitement.

3.31 **pixel**

Un élément d'image d'une image qui est décrit par une matrice rectangulaire de ces éléments.

3.32 **facteur d'aspect de pixel**

Définition de la forme réelle d'un pixel, tel qu'il est défini par une application fondée sur les Recommandations de la série T.80.

3.33 **codage photographique**

Technique utilisée pour représenter les images à l'aide de pixels, employant une résolution élevée et une gamme étendue de niveaux de gris et/ou de couleurs donnant une apparence naturelle.

3.34 **comportement progressif**

Une technique de codage a un comportement progressif lorsqu'une image est codée d'abord comme une image de couche de résolution inférieure, pour avoir ensuite une résolution successivement augmentée au moyen d'images de couche différentielle.

3.35 **codage progressif**

Méthode visant à décrire l'image entière à partir de la description d'une qualité d'image inférieure (c'est-à-dire une image à résolution moindre ou sans détails) qui se modifie par étapes successives et s'améliore jusqu'à l'obtention de la qualité d'image finale souhaitée (c'est-à-dire résolution d'image finale ou image avec de nombreux détails).

3.36 **codage séquentiel compatible avec le codage progressif**

Méthode de codage d'image conforme à la Recommandation T.82, dans laquelle l'image peut être divisée en bandes codées séquentiellement. A l'intérieur de chaque séquence et à l'intérieur de chaque bande, l'image est codée progressivement jusqu'à sa résolution finale. Ce codage est compatible avec le codage progressif au moyen de l'enregistrement des données de bande/couche.

3.37 **quantification**

Processus de représentation d'un signal source analogique par une valeur numérique appropriée.

3.38 **échantillon**

Un échantillon représente un élément de la matrice bidimensionnelle qui contient une composante. Dans le processus de conversion d'une image source analogique en une image numérique, les «échantillons» sont prélevés ligne par ligne, à intervalles réguliers. Selon le processus d'échantillonnage dépendant de l'application, la relation entre les échantillons et les pixels est déterminée par des facteurs tels que le modèle de couleur, l'entrelacement, la géométrie d'échantillonnage, etc.

3.39 **comportement séquentiel**

Une technique de codage a un comportement séquentiel si les parties de l'image proches du sommet sont entièrement décrites avant toute description des parties inférieures.

3.40 **codage séquentiel**

Méthode utilisée pour décrire une image dans laquelle les portions qui sont situées près du haut de l'image sont entièrement décrites avant même que les portions situées au-dessous aient commencé à l'être.

3.41 **codage séquentiel à progression unique**

Méthode de codage d'image conforme à la Recommandation T.82, dans laquelle l'image est entièrement codée dans une couche de résolution, ligne par ligne, de gauche à droite et de haut en bas, sans aucune référence à n'importe quelle image de résolution inférieure. Si le nombre de couches différentielles est zéro, ce codage est compatible avec le codage progressif et avec le codage séquentiel compatible avec le codage progressif.

3.42 **image pour représentation visuelle**

Image pour écran de visualisation conçu comme dispositif de sortie (on s'attend donc généralement à des résolutions variables plus faibles).

3.43 **résolution spatiale**

Nombre de pixels utilisés pour décrire une région d'une image de format spatial fixe.

3.44 **sous-échantillonnage**

Technique d'échantillonnage dans laquelle la fréquence d'échantillonnage d'une composante de couleur est égale à la moitié, le tiers, le quart, etc., de la fréquence d'échantillonnage d'une autre composante de couleur. Dans la Recommandation 601 du CCIR par exemple, la fréquence d'échantillonnage de la composante de chrominance vaut la moitié de celle de la composante de luminance. La composante de chrominance est donc sous-échantillonnée.

3.45 **«boîte à outils»**

Il s'agit de constituer un ensemble complet de composantes fonctionnelles communes (par exemple, mode d'élaboration progressive, compression avec perte, etc.) pour la compression d'image, qui servira à différentes applications de communication d'image. En général, une application donnée n'utilise qu'un sous-ensemble logique de toute la «boîte d'outils».

4 Abréviations

CPU Unité centrale (*central processing unit*)

MICD Modulation par impulsions et codage différentiel

DCT Transformation en cosinus discret (*discret cosine transform*)

JBIG Groupe mixte sur les images à deux niveaux CCITT-ISO/CEI (*joint bi-level image group*)

JPEG Groupe mixte d'experts en photographie CCITT-ISO/CEI (*joint photographic experts group*)

MMR Code LECTURE modifié modifié (algorithme utilisé dans la Recommandation T.6) (*modified modified READ*)

TP Prédiction type (partie de la Recommandation T.82) (*typical prediction*)

VLSI Intégration à très grande échelle (*very large scale integration*)

5 Spécifications

5.1 *Quantification de données, précision des échantillons*

Les annexes A et B de l'ISO/CEI 9281-1 donnent un aperçu de différents types de données d'image, de formes de présentation ainsi qu'une introduction aux concepts fondamentaux des données d'image.

La présente Recommandation traite des images fixes constituées de deux matrices de pixels à deux dimensions. Les images en mouvement – qui outre les matrices de pixels en deux dimensions comportent aussi une composante de temps – ne font pas l'objet de la présente Recommandation.

L'image source ainsi que l'image finale reconstruite sont présentées par un espace chromatique codé sous la forme d'un signal analogique. Avant d'appliquer un algorithme de compression d'image tel qu'il est décrit dans les Recommandations de la série T.80, il faut convertir sous forme numérique l'image représentée sous forme analogique (par échantillonnage et quantification). Les systèmes de compression décrits dans les Recommandations de la série T.80 portent uniquement sur le codage/décodage numérique des données d'image. Le processus de conversion des données utilisé pour passer de l'analogique au numérique et vice versa ne fait pas partie des systèmes de compression décrits dans les Recommandations de la série T.80.

La nature de la conversion (échantillonnage et quantification) dépend dans une large mesure du type d'image source à comprimer.

Remarque – Si l'on prend le cas d'un document en noir et blanc exploré, on constate que la représentation numérique à deux niveaux (deux étapes) avec seuil d'échelle des gris de 50% est optimale du point de vue de la mise en mémoire (1 bit/pixel dans l'image non comprimée). Pour une image de couleur complète il est souhaitable de recourir à une représentation à plusieurs niveaux (en général 256) par composante de couleur pour élaborer une réplique véritable de l'image source (en général 16-24 bits/pixel pour l'image non comprimée). La question du choix approprié des étapes de quantification (on parle souvent de précision) sort du cadre des techniques décrites dans les Recommandations T.81 et T.82. A titre de directive générale, la Recommandation T.81 se prête mieux aux images de nature photographique à plusieurs niveaux et la Recommandation T.82 aux images à deux niveaux et/ou limitées à quelques niveaux si la compression d'image avec perte suffit elle aussi. Pour les images de couleur sans perte, on peut appliquer indistinctement la Recommandation T.81 ou la Recommandation T.82. Pour les images sans perte à deux niveaux, seule la Recommandation T.82 est applicable. La gamme d'applicabilité éventuelle des Recommandations T.81 et T. 82 est illustrée à titre d'information sur la figure 1/T.80

On développera les deux algorithmes en vue d'obtenir une gamme souple suffisamment étroite ou suffisamment large de précisions qui seront définies et paramétrées pour chaque application. Des détails supplémentaires seront donnés dans les Recommandations T.81 et T.82.

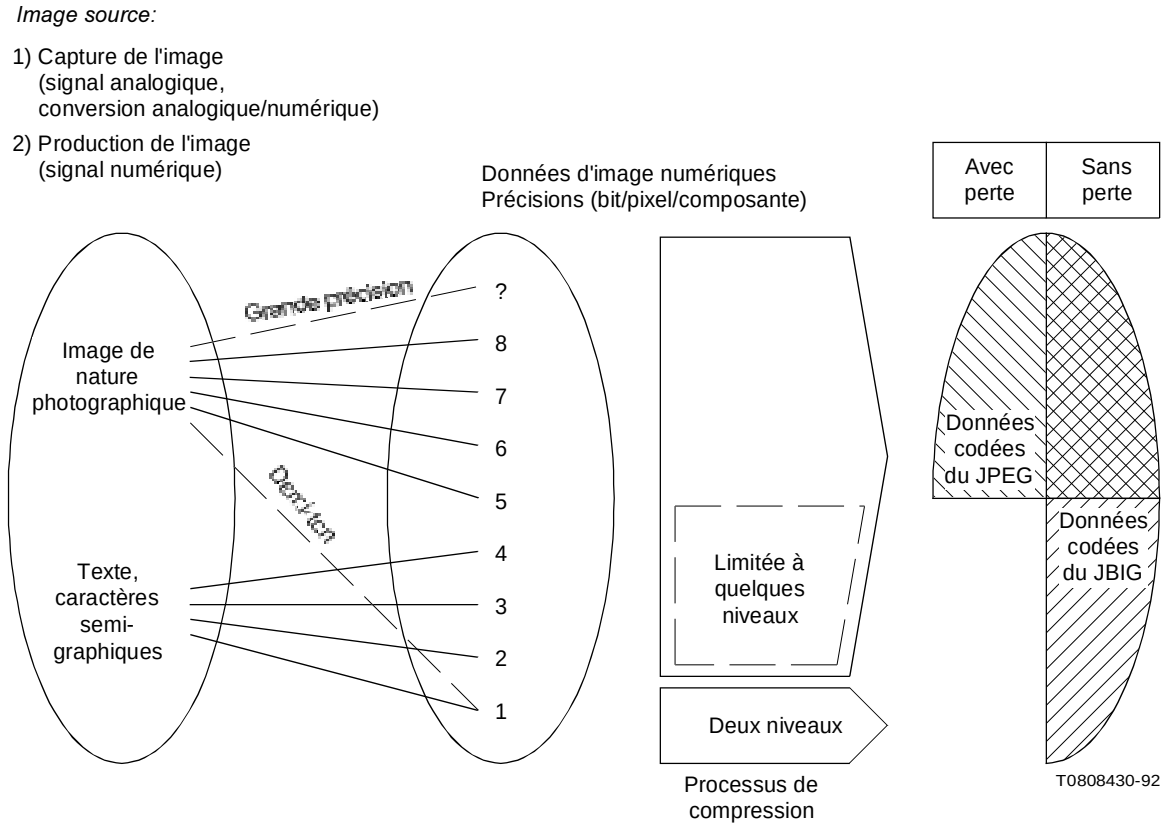

FIGURE 1/T.80

Domaines d'application types des techniques décrites dans les Recommandations T.81 et T.82 en ce qui concerne la quantification numérique/précision des données

5.2 *Résolution de l'image, entrelacement*

La résolution d'une image se définit d'après le nombre de pixels horizontaux et verticaux. Dans les Recommandations T.81 et T.82, la résolution proprement dite doit être un paramètre du système de compression. Quant à la définition de la résolution de l'image, elle est établie par service/application du CCITT à l'aide des

techniques exposées dans la Recommandation T.81 et/ou la Recommandation T.82. La gamme des paramètres de résolution de l'image doit être suffisamment large pour pouvoir tenir compte d'un format réaliste des images. Des détails supplémentaires sont donnés dans les Recommandations T.81 et T.82.

Il faut assurer la capacité d'entrelacement afin de réduire le volume de données nécessaires pour coder une image avec haute fidélité. L'entrelacement des composantes de couleur permet d'obtenir des résolutions d'image de taille différente pour différentes composantes chromatiques. L'échantillonnage et les résolutions effectives des diverses composantes chromatiques sont définis et régis par les services/applications du CCITT utilisant les techniques de compression exposées dans les Recommandations T.81 et T.82. L'établissement de paramètres dans le cadre des Recommandations T.81 et T.82 permettra d'obtenir une grande variété de schémas d'entrelacement. On trouvera des détails supplémentaires dans les Recommandations T.81 et T.82.

5.3 *Reconstitution des gris et demi-tons*

Le traitement adaptatif des images en demi-tons et avec reconstitution des gris doit être assuré dans les Recommandations de la série T.80.

Remarque – Cette spécification est nouvelle. Les méthodes existantes de compression d'image qui sont définies dans les Recommandations T.4 et T.6 se prêtent au texte et aux caractères semi-graphiques mais ne sont pas indiquées pour les images en demi-tons ou avec reconstitution des gris.

5.4 *Compression avec perte et sans perte*

Les Recommandations de la série T.80 indiquent deux classes de processus de codage et de décodage, les processus avec perte et sans perte. Il appartient au service/à l'application du CCITT de définir si une application a besoin d'une compression sans perte ou si une compression avec perte permet aussi de satisfaire aux exigences de qualité de cette application. C'est l'application qui déterminera, dans les Recommandations pertinentes de la série T.80, s'il faut recourir à un codage avec perte et/ou sans perte.

Remarque – A ce stade, la Recommandation T.81 assure à la fois un codage avec perte et sans perte, alors que la Recommandation T.82 ne prévoit que le codage sans perte.

Le processus de codage/décodage sans perte produit un flux de données d'image identique à celui de l'image originale. Par conséquent, le flux des données d'image source et d'image finale doit être identique.

Le processus de codage/décodage avec perte produit un flux de données d'image qui est différent de celui de l'image originale. Toutefois, l'apparence subjective de l'image finale doit être la même ou proche de l'original.

Remarque 1 – L'apparence de l'image finale peut varier, l'image pouvant être «subjectivement identique» à l'original ou «sensiblement différente mais reconnaissable», selon que la compression avec perte est plus ou moins importante. L'apparence telle qu'elle est décrite dans le premier cas se prête à de nombreuses applications et permet d'obtenir une meilleure compression comme dans le cas de la compression sans perte. Le second cas convient pour un premier balayage d'une image progressive, une petite taille d'image de «type icône» ou une image de faible qualité (par exemple, pour des recherches de base de données).

Remarque 2 – Certaines applications, telles que les images médicales, les tirages de haute qualité, les images destinées à un traitement ultérieur de l'image, exigent une compression/décompression sans perte des données. Le taux de compression des images sans perte est toutefois sensiblement inférieur à celui qui s'applique à la même image avec perte. Par conséquent, la qualité de l'image obtenue par un processus de codage/décodage avec perte est inférieure à celle des images sans perte. Il est possible d'améliorer la qualité de l'image par traitement local de l'image mais cette question sort du cadre des Recommandations de la série T.80.

Remarque 3 – La question du choix approprié du paramètre avec perte/sans perte est déterminante pour la compression des données et influe donc sur le temps de transmission et/ou la mise en mémoire nécessaire.

5.5 *Modes de fonctionnement*

Deux modes distincts de fonctionnement sont définis dans les Recommandations de la série T.80: les modes séquentiel et progressif.

Dans un processus de codage/décodage séquentiel, le traitement de l'image (ou composante de couleur de celle-ci) se fait du haut jusqu'en bas. Selon la technique de compression appliquée, on peut procéder par groupe de pixels ou blocs de pixels ou encore par bandes entières de lignes horizontales. Les Recommandations T.81 et T.82 fournissent les détails pertinents. Le mode de fonctionnement séquentiel peut être sans perte ou avec perte.

Remarque – Le «mode de fonctionnement séquentiel», tel qu'il est décrit dans la présente Recommandation, est également défini dans les Recommandations T.81 et T.82 (comportement séquentiel).

La Recommandation T.81 établit une distinction entre les modes de fonctionnement «basé DCT séquentielle» (processus avec perte) et mode «sans perte» (basé MICD).

La Recommandation T.82 définit un mode de fonctionnement à «codage séquentiel à progression unique» qui est compatible avec le codage séquentiel soi-disant «compatible avec la codage progressif» (à condition que le nombre de couches différentielles soit nul). Aucun équivalent de cette fonctionnalité n'est défini/mis en œuvre dans la Recommandation T.81.

Dans un processus de codage/décodage progressif, une image est traitée dans son intégralité et par étapes successives à partir d'une première image de qualité moindre obtenue après chaque étape de décodage, on améliore progressivement la qualité de l'image reconstruite, jusqu'à l'obtention de la qualité de l'image finale. On distingue des processus progressifs qui permettent de produire soit une image finale progressive sans perte (Recommandation T.82), soit une image finale progressive avec perte (Recommandation T.81) seulement.

Il existe deux classes distinctes de modes progressifs: *hiérarchique* et à *résolution fixe*.

Dans le premier mode, après chaque étape progressive, les résolutions horizontale et verticale de l'image sont multipliées par un facteur prédéterminé (en général par 2).

Remarque – Le «mode progressif hiérarchique», tel qu'il est défini dans la présente Recommandation, l'est également dans les Recommandations T.81 et T.82.

On notera toutefois que la Recommandation T.81 n'étiquette pas son «mode hiérarchique» comme type de «mode progressif». Dans cette Recommandation, le terme «progressif» sert à définir ce que la présente Recommandation désigne par l'expression «mode progressif à résolution fixe».

La Recommandation T.82 étiquette son «mode hiérarchique» comme «mode progressif», parce qu'aucune autre forme de progressivité n'est encore définie à ce stade dans cette Recommandation.

Dans le second mode, la résolution de l'image reconstruite reste constante d'un bout à l'autre du processus d'élaboration progressive.

Remarque – Le «mode progressif à résolution fixe», tel qu'il est défini dans la présente Recommandation, l'est aussi dans la Recommandation T.81 (mais pas dans la Recommandation T.82).

La Recommandation T.81 classe son «mode progressif à résolution fixe» comme «mode de fonctionnement basé DTC progressive».

Les modes de fonctionnement sont les paramètres respectifs des techniques de compression définies dans les Recommandations T.81 et T.82, dont le choix incombe aux différents services/applications du CCITT qui utilisent les Recommandations T.81 et T.82.

5.6 *Spécifications du matériel et du logiciel pour les Recommandations T.81 et T.82*

Les techniques de compression définies dans les Recommandations T.81 et T.82 correspondent à un certain nombre de spécifications applicables au matériel et au logiciel, qui ont été établies afin de permettre une large applicabilité des différents algorithmes:

- concept de la «boîte à outils» (composantes communes);
- codage/décodage «symétrique»;
- codage/décodage «parallèle»;
- applications d'images présentées sur «support en papier» et/ou par «visualisation»;
- objectifs de compression;
- complexité des calculs, objectifs de rapidité;
- robustesse de la mise en œuvre.

5.6.1 *Concept de la «boîte à outils» (composantes communes*)

Doit s'appliquer à pratiquement tout type d'image source numérique de nature photographique à plusieurs niveaux, limitée à quelques niveaux, à deux niveaux (à toutes fins utiles, ne doit pas concerner uniquement les images de certaines dimensions, espaces chromatiques,facteurs d'aspect de pixel, etc.) et ne doit pas être limité à des classes de représentation d'image avec des restrictions quant au contenu de la scène (caractères semi-graphiques et/ou texte, dans le cas des Recommandations T.4 et T.6), y compris la complexité, la gamme de couleurs et les propriétés statistiques.

Pour atteindre l'objectif précité, il est indispensable d'utiliser des «composantes communes» provenant d'une «boîte à outils» pour la compression d'image.

Remarque – Avantages:

– il est possible de répondre avec souplesse aux besoins divers de différentes applications de mise en image;

– l'utilisation de composantes communes sur le plan du matériel/du logiciel dans la mise en œuvre des applications de mise en image facilite ce processus et le rend plus économique;

– l'harmonisation des différentes applications de mise en image du CCITT et de l'ISO/CEI s'en trouve facilitée;

– l'interfonctionnement entre les applications de mise en image se fait plus aisément.

Inconvénients:

– les applications de mise en image fondées sur les Recommandations T.81 et/ou T.82 ne sont pas nécessairement compatibles;

– la «boîte à outils» décrite dans les Recommandations de la série T.80 est souple mais très détaillée;

– l'emploi des méthodes de compression que décrivent les Recommandations de la série T.80 dans des applications concrètes (dont le choix des paramètres appropriés, la définition des résolutions, les modèles de couleur, la structure d'entrelacement, le facteur d'aspect de pixel, les protocoles de communication pour la transmission, etc.), est une tâche importante.

5.6.2 *Codage/décodage «symétrique»*

Pour le codage/décodage «symétrique» il faut tenir compte de deux aspects: la complexité de la mise en œuvre et la «symétrie» dans le temps de codage/décodage.

Remarque – Dans la pratique, le premier aspect a été très difficile à spécifier. Afin de pouvoir répondre à tous les types d'application, on s'est efforcé essentiellement de concevoir un processus présentant à peu près la même complexité pour le codeur et pour le décodeur. En revanche, il existe d'autres processus de codage utilisés dans la pratique où le codage est plus complexe que le décodage. Une règle analogue a prévalu pour temps de codage/décodage qui aurait dû être approximativement le même.

5.6.3 *Codage/décodage «parallèle»*

Puisqu'il faut un codage/décodage «parallèle», il est possible de commencer à décoder une image avant la fin du processus de codage.

5.6.4 *Mise en œuvre d'applications «sortie sur support papier» et/ou «présentation visuelle»*

L'obligation de mettre en œuvre des applications «sortie sur support papier» et «présentation visuelle» a été satisfaite, moyennant notamment l'application du mode de fonctionnement «progressif».

5.6.5 *Objectifs en matière de compression*

Il s'agit d'être à la pointe de la technique en ce qui concerne le taux de compression et son corollaire la fidélité de l'image, sur une gamme étendue de notes de la qualité de l'image, dans la gamme «sans perte» et «avec perte» où la fidélité visuelle à l'original est qualifiée d'«excellente», de «bonne» et d'«assez bonne»; de plus, il faut pouvoir déterminer les paramètres du codeur de façon que l'application (ou l'usager) puisse établir le rapport souhaité compression/qualité.

Remarque – Dans la Recommandation T.81, l'objectif visé était de comprimer une image de couleur de nature photographique 4:2:2 conforme à la Recommandation 601 du CCIR (précision de l'image source: 16 bit/pixels) en mode «sans perte» à environ 8 bit/pixels, en une image «avec perte» de qualité «excellente» avec environ 1,5 bit/pixels, en une qualité «bonne» à environ 0,75 bit/pixels et «assez bonne» à 0,3 bit/pixels. Il avait été établi qu'il ne devait pas y avoir de différence significative entre la compression obtenue avec des images en modes séquentiel et progressif.

Pour la Recommandation T.82 il s'agissait de dépasser la technique de compression décrite dans la Recommandation T.6 (codage MMR). Le gain de compression observé sur les images balayées à deux niveaux de texte et de caractères semi-graphiques était compris entre 1,1 et 1,5. Sur les images à deux niveaux produites par ordinateur, dont le texte et les caractères semi-graphiques, les taux de compression étaient de 1,2 à 1,6 fois ceux obtenus avec le codage MMR. Enfin, sur les images où l'échelle des gris ou les tonalités de couleur ont été rendues à l'aide des techniques de demi-tons à deux niveaux ou de la reconstitution des gris, les taux de compression observés étaient de 2 à 30 fois ceux obtenus avec MMR. Il avait été établi qu'il ne devait pas y avoir de différence significative entre la compression obtenue avec des images en modes séquentiel et progressif.

5.6.6 *Complexité des calculs, objectifs de rapidité*

Il faut pouvoir déterminer la complexité des calculs, rendre possible la mise en œuvre du logiciel avec fonctionnement viable sur une série d'unités centrals ainsi que la mise en oeuvre du matériel avec coût viable pour des applications exigeant une qualité élevée.

L'objectif visé était d'atteindre un débit de codage/décodage allant jusqu'à 64 kbit/s.

Remarque – Les essais du matériel ont montré que les mises en œuvre VLSI des algorithmes des Recommandations T.81 et T.82 étaient complexes d'un point de vue pratique et avaient un débit de données nettement supérieur à 64 kbit/s.

Les mises en œuvre de logiciel de la Recommandation T.81 avec images du type 4:2:2 conformes à la Recommandation 601 du CCIR ont montré que les PC actuels types de l'industrie sont en mesure d'offrir un débit de codage/décodage au voisinage de 64 kbit/s. Les mises en oeuvre de logiciel de la Recommandation T.82 sont plus lentes. On peut obtenir une vitesse légèrement supérieure en utilisant les modèles facultatifs optimisés pour les mises en oeuvre à base de logiciels ou en utilisant la prédiction type (TP). Ces deux techniques sont décrites dans la Recommandation T.82.

5.6.7 *Robustesse de la mise en œuvre*

On suppose qu'une application donnée utilisant les techniques définies dans les Recommandations T.81 et T.82 emploiera les moyens appropriés pour assurer l'intégrité des données d'image comprimées au cours de la transmission. Il n'est donc pas nécessaire de disposer d'une protection contre les erreurs. Il faudra toutefois prévoir les moyens d'insérer des codes de marqueur d'application appropriés dans le flux de données comprimées, pour servir de support à un mécanisme de correction d'erreur sous-jacent.

Remarque – Une condition générale était énoncée: à savoir, que les systèmes de compression définis dans les Recommandations T.81 et T.82 doivent être suffisamment robustes pour pouvoir subir le moins d'effets négatifs possibles en cas d'erreur dans la transmission de données. Toutefois, les schémas de compression définis dans les Recommandations T.81 et T.82 ne sont pas suffisamment robustes dans la pratique pour tolérer des erreurs de transmission de données. Il faut donc utiliser des canaux de communication sans erreurs.

Références

[1] Recommandation T.4 du CCITT (1989), *Normalisation des télécopieurs du groupe 3 pour la transmission de documents*.

[2] Recommandation T.6 du CCITT (1989), *Schémas de codage et fonctions de commande de codage de la télécopie pour les télécopieurs du groupe 4*.

[3] Recommandation 601 du CCIR (1990), *Paramètres de codage de télévision numérique pour studios*.

[4] ISO/CEI 9281-1:1990, *Technologie de l'information – Méthodes de codage de l'image – Partie 1: Identification*.

[5] Recommandation T.101 du CCITT (1993), *Interfonctionnement international pour les services vidéotex*.