

COLLOQUE NATIONAL SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 16 au 21 JUIN 75



LA TELECOPIE NUMERIQUE : TERMINAUX - CODAGE

C.Roux

G.Tsalkovitch

C.C.E.T.T. 2,rue de la Mabilais BP 1266 35013 Rennes CEDEX

RESUME

Après une définition de la télécopie, quelques éléments de comparaison entre les systèmes analogiques et numériques sont présentés.

La mise en oeuvre de la télécopie numérique se décompose en problèmes d'analyse et de restitution, et en problèmes de codage.

Les modèles de lisibilité de Arps sont comparés aux résultats d'études du CCETT. Faut-il une analyse à 4 points par millimètre? Pas de réponse décisive.

Quelques remarques sont faites sur les difficultés de décision noir/blanc, pour la télécopie à 2 niveaux.

Une revue des techniques d'analyse et de restitution suit.

En ce qui concerne le codage, deux codes sont proposés, qui semblent de bons compromis.

SUMMARY

After a definition of "telecopy", we present some comparisons between analog and digital systems.

We split the telecopy problems in: scanning/printing, and coding aspects.

Arps legibility models are compared with results from the CCETT studies. Do we need 4 lines per millimeter? No answer!

In the case of 2 levels telecopy we consider black/white decision problems.

There is a short survey of technologies.

We propose two run-length codes which seem to be good compromises.



I. VUE GENERALE

Parmi les moyens de transmission d'images, la télégraphie fac-similé (transmission et restitution assez fidèle d'un document, par télégraphie) trouve présentement un regain d'intérêt avec ce que l'on appelle la "télécopie" : il n'y a pas une définition universellement admise de ce terme, mais on peut admettre qu'il s'agit d'une "télégraphie fac-similé moderne"; les préoccupations sont d'aboutir soit à des machines de bureau, soit à de véritables terminaux informatiques. On cherche habituellement à transmettre des papiers d'affaires, vite et pas trop cher: c'est le format A4 (210 x 297 mm) qui est le plus souvent pris en compte; la qualité du document restitué n'est pas élevée.

II. ANALOGIQUE ET NUMERIQUE

A l'heure actuelle ce sont des télécopieurs analogiques principalement qui sont sur le marché. Les techniques numériques présentent de l'intérêt pour l'avenir du fait du développement des réseaux de transmission de données et des implantations de systèmes informatiques.

QUELQUES POINTS DE COMPARAISON

Le principe général reste l'analyse du document en balayage ligne par ligne. Une grosse différence est que les appareils numériques nécessitent un échantillonnage le long d'une ligne, puis une quantification et que pour des raisons de débit numérique et de prix de revient des terminaux, la tendance est de se limiter à la représentation de 2 niveaux (noir et blanc) seuls. C'est un point faible, mais la télécopie étant orientée vers les documents "au trait" ce défaut n'est pas si marquant.

En ce qui concerne les caractéristiques d'analyse, le C.C.I.T.T. a pour l'instant recommandé de façon générale une finesse d'environ 4 lignes par millimètre (3,85 par mm).

Durée de transmission:

- la première génération de systèmes analogiques utilisés sur les réseaux téléphoniques commutés demande 6 minutes pour le format A4 avec des techniques simples de modulation (exemple: modulation de fréquence avec une variation de 800 Hz du noir au blanc)
- la technique numérique dans les mêmes conditions (format A4; 4 lignes/mm; 4 points/mm avec 2 niveaux de gris) conduit à transmettre 10^6 points d'image; si l'on code chaque point par un élément binaire (eb) et si, sur le réseau téléphonique on utilise une transmission

à 1200 eb/s, le document passe en 14 minutes. Ceci indique qu'il est hautement souhaitable de chercher un codage permettant une réduction de redondance, puisque le temps de transmission est un facteur important du prix de revient.

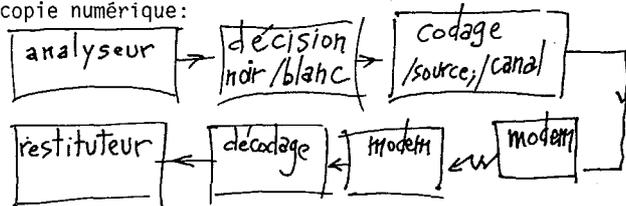
Les prix des appareils: le télécopieur numérique serait environ 4 fois plus cher que l'analogique qui coûterait lui-même quelques 20 000 francs.

Effets des bruits et erreurs:

on peut dire que les résultats visuels de la présence de bruits sont très différents (défauts plus répartis en analogique qu'en numérique) mais qu'une comparaison quantitative ne semble pas avoir été faite. En théorie les techniques numériques permettent de n'avoir que de faibles dégradations sur de longues distances, mais à quel prix ?

III. MISE EN OEUVRE DE LA TELECOPIE NUMERIQUE

Voici un synoptique simple d'une liaison de télécopie numérique:



On peut décomposer les problèmes en deux catégories: caractéristiques d'analyse et de restitution- méthodes de codage. Les moyens de transmission ne seront pas considérés ici, étant des techniques générales.

III.1. Analyse et restitution.

Le schéma ci-dessus comporte un système de décision noir/blanc: il s'agit de télécopie à 2 niveaux. Nous envisagerons cette question après celle de l'échantillonnage.

Echantillonnage: la télécopie numérique suppose un échantillonnage à deux dimensions. La question est évidemment: quel est la grille d'échantillonnage optimale? D'un point de vue théorique on pense immédiatement aux théorèmes de Shannon ("l'information contenue dans un signal $x(t)$, possédant un spectre $F_x(f)$ à support borné par B, est entièrement conservée lorsqu'on remplace $x(t)$ par des échantillons dont les intervalles sont $\leq 1/2B$ ". En pratique il est clair que l'opération d'échantillonnage comporte toujours en même temps un filtrage créé par l'ouverture d'analyse: il s'agit d'un passe-bas; si l'ouverture est de a millimètre, la bande passante (à 40 dB par exemple) est comprise entre $1/2a$ et $1/a$ périodes par millimètre.



LA TELECOPIE NUMERIQUE
TERMINAUX - CODAGE

Ainsi dans le cas d'une analyse à 4 points par millimètre, la bande passante est comprise entre 2 et 4 périodes par mm. On voit ainsi que de telles ouvertures sont juste à la limite pour prendre en compte des traits assez fins. En se référant aux techniques de la télévision, on est tenté de dire qu'une analyse jointive d'ouverture à mm permet de restituer des barres d'épaisseur 0,7 a (facteur de Kell). Il ne faut pas oublier qu'en télévision on effectue une correction d'ouverture pour compenser partiellement le filtre passe-bas. Que conclure? Certainement que ce sont des tests de lisibilité qui seront décisifs, car les traits que l'on trouve sur les documents sont de l'ordre de 0,2 mm et au-delà.

Les modèles de R.B.Arps.

Arps a proposé un modèle théorique et un autre statistique pour calculer la lisibilité des documents en fonction de la finesse d'analyse.

Modèle théorique:

On suppose que le document ne contient que des traits noirs parfaits (transition instantanée du blanc au noir). Si la réflectance du document est $R(x,y)$ et la réponse d'ouverture $O(x,y)$, le résultat du balayage est la convolution $R(x,y) * O(x,y)$. Dans le cas présent il est équivalent de filtrer puis échantillonner ou d'échantillonner puis filtrer. Il est alors facile de calculer la probabilité qu'un trait d'épaisseur E soit pris en compte. La remarque importante est qu'il est possible de restituer entièrement un trait après balayage si l'ouverture est au plus $E/2$: il suffit de mettre un seuil à la demi-amplitude pour décider du noir et du blanc. Ceci indique que la probabilité de prise en compte est aussi la probabilité de restitution correcte, si l'analyse est jointive.

L'introduction d'une fréquence normalisée f^* représentant (en horizontal ou en vertical) le nombre de points échantillonnés par trait du document, simplifie l'énoncé des résultats.

Si $f < 1/2$ la probabilité de détection est nulle

-- $f = 1/2$ -- ----- -- ----- --- 1/2

-- $f \geq 1$ -- ----- -- ----- --- 1

-- $f \leq 1$ -- ----- -- ----- --- $E/\text{ouverture}$

Ce modèle est-il utilisable? Une fois encore il faut des résultats de lisibilité pour décider.

Modèle statistique:

Arps a donc effectué des tests de lisibilité sur des caractères de machines à écrire spéciaux (de tailles variables): bien que les caractères fussent à épaisseur de trait constante et bien imprimés, l'utilisation d'un appareil de fac-similé pour l'analyse et la restitu-

tion amène des résultats différents de ceux prévus par le premier modèle: la lisibilité est inférieure à celle prévue. Par ajustement statistique Arps propose donc comme second modèle la formule:

$$L = 1 - \exp(-1/c \left((f_h^* - a_{hv}) (f_v^* - a_{hv}) \right)^{1/2})$$

où L est la lisibilité, définie comme le rapport du nombre de caractères reconnus au nombre total de caractères présentés,

c est un paramètre dépendant des types de caractères (Arps cite des valeurs de 0,16 à 0,31),

f_h^* (f_v^*) est la fréquence normalisée horizontale (verticale),

a_{hv} est un paramètre que Arps choisit finalement égal à 0,5.

Comparaison des résultats de Arps avec d'autres.

Nous avons fait des essais de lisibilité et de qualité sur un ensemble comportant:

- des caractères dactylographiques isolés
- des caractères typographiques conventionnels ISO (recommandation ISO-R435 1965)
- un texte typographique (Helvetica corps 7)
- pour les tests de qualité, des mots et un texte dactylographiques, ainsi qu'un manuscrit; une échelle de qualité à 5 notes était utilisée (avis AAI du CCIR).

Le principe était de faire l'analyse des documents avec une haute définition (40 points par millimètre) en mesurant la densité optique; une analyse carrée moins fine était simulée en regroupant les points; la densité moyenne était comparée à un seuil fixe égal à 0,3 fois la densité maximale (2D, soit 100).

La restitution était faite sur film (puis sur papier), le point noir étant un disque constitué d'un ensemble de points carrés élémentaires (25 microns); la distance entre les disques est égale au pas de l'analyse simulée; le rayon peut prendre deux valeurs: disques jointifs ou avec recouvrement.

Les résultats:

- l'utilisation du modèle statistique de Arps oblige à changer les paramètres c et a_{hv} , suivant les documents

caractères ISO	$c=0,14$	$a_{hv}=0,95$
texte typo	$c=0,27$	$a_{hv}=0,8 \text{ à } 1,0$

- en choisissant les cas les plus comparables, les résultats de lisibilité pour une analyse 4 points/mm carrée, sont les suivants:



		épaisseur du trait	% de lisibilité
A R P S	TYPO Mid Century	0,25 mm	96,5
	dactylo Dual Gothic	0,25	85,4
C E T	texte typo	0,29	94
	dactylo Elite	0,28	99
	ISO	0,30 0,28 0,26	99 94 85,4

analyse 4pts/mm 4 lignes/mm

Ces résultats ne sont pas convaincants quant à l'intérêt qu'il y a de choisir la finesse de 4 points par millimètre: mis à part les disparités, se pose la question- quel pourcentage de lisibilité faut-il atteindre? Si l'on admet près de 4% de caractères erronés par inattention, il n'est pas nécessaire de faire mieux que 96% de lisibilité (avec une variance faible sur ce résultat); il apparaîtrait alors que 4 points par millimètre n'est pas une finesse suffisante.

Un autre élément est l'importance du recouvrement des points à la restitution: le résultat plutôt étonnant est qu'il vaut mieux que les disques soient jointifs et non recouverts; à 4 points par millimètre cela joue sur 1,5% de lisibilité... mais à 3,5/mm cela passe à 6%, et à 5/mm c'est 0,3% .

Les tests de qualité montrent en moyenne (avec un contraste assez bon et constant) que 4/mm est jugé "Assez bon" , et qu'il faut atteindre 5/mm pour avoir "Bon". Le recouvrement joue très peu sur la qualité.

Conclusion:

- les modèles de lisibilité de Arps semblent intéressants si l'on ne cherche pas un résultat précis ou si l'on peut ajuster les paramètres,
- la finesse d'analyse de 4/mm en télécopie numérique semble faible: d'autres essais sont en cours pour arriver à une conclusion plus utile.

N.B. : Arps a trouvé que l'analyse carrée est la plus efficace, toutes choses égales par ailleurs; c'est à dire pour une surface donnée du point d'analyse. Nos résultats ont été obtenus en suivant cette idée, pour limiter le volume des données à traiter. Cette condition pose un problème en télécopie numérique, à propos du codage: la recherche du plus faible débit

moyen envoyé en ligne, amène à essayer de réduire le nombre de points analysés, et à chercher un codage efficace (réduction de redondance + réalisation simple). Si l'on codait chaque point par leib, l'analyse carrée serait la plus efficace; or, on utilise habituellement un codage plus savant travaillant le long de la ligne analysée: il est clair que le débit est alors proportionnel à la finesse d'analyse, en lignes par millimètre; par contre, le débit le long de la ligne peut croître moins vite (logarithmiquement?) que la finesse en points par millimètre. On est alors tenté d'augmenter la finesse le long de la ligne, pour améliorer la lisibilité. En ce qui concerne l'analyse 4/mm, nous n'avons pas encore conclu.

LES DIFFICULTES DE LA DECISION NOIR/ BLANC

En pratique, les documents ne sont pas parfaits: les traits ne sont pas très nets, des zones en grisé existent, des couleurs aussi. D'un autre côté, les dispositifs d'analyse ne sont pas stables: il faut distinguer les systèmes à un seul capteur (genre cellule photoélectrique), et les systèmes à barette, où une rangée de détecteurs permet un balayage électronique, et non mécanique, de la ligne. Les barettes posent le plus de problèmes: on peut résumer les défauts en disant qu'il y a une dispersion des caractéristiques des capteurs le long de la barette; pour décider du noir ou du blanc, il faudrait un seuil adapté à chaque capteur; ceci n'est pas impossible, mais peu praticable; on préfère accepter les défauts de ce type, essayant d'obtenir éclaircissements uniformes et barettes homogènes.

Il reste le problème de la variation des niveaux de "blanc" et "noir", entre documents, et au cours d'une même page. Les méthodes de seuil asservi sur l'amplitude de variation locale le long de la ligne, ne peuvent être parfaites, car la vision est un phénomène de balayage à deux dimensions; il reste que ces procédés semblent efficaces pour des documents "difficiles". Une méthode de seuil asservi qui a été proposée, est de comparer le signal avec la demi-somme des valeurs min et Max locales; cette somme est le seuil asservi.

SYSTEMES D'ANALYSE

La plupart des analyseurs comportent un cylindre sur lequel est enroulé le document: c'est le système "bélino". Cette méthode permet des vitesses d'analyse petites et moyennes; pour aller vite (quelques secondes pour un document A4), il faut un autre principe: par exemple, l'utilisation de barettes, permettant le balayage d'une ligne en une milliseconde environ. Ces barettes sont constituées de photorésistances, de photo-



diodes, de dispositifs à transfert de charges. Ces composants sont récents, coûteux (10 à 20 kF), à fiabilité incertaine.

L'illumination des documents se fait par lampes à incandescence, ponctuelles ou allongées (tubes de photocopie). Ici encore, les systèmes à barettes posent plus de problèmes: les compromis entre la puissance lumineuse installée et l'appareillage optique ne sont pas évidents (objectif photographique, fibres optiques)

LA RESTITUTION

Ce sont les techniques électrostatiques (xérographie, étincelles) qui s'implantent le plus: elles sont soit commodes (étincelles), soit susceptibles de rapidité (xérographie).

Les papiers à étincelles sont recouverts d'un enduit sombre placé sous une couche blanchâtre: la création d'une étincelle entre l'électrode d'écriture et la couche sombre brûle la couche blanchâtre, ce qui inscrit un point noir. Ces types de papier sont fragiles (par frottement les traits s'estompent).

Les papiers électrostatiques sont particulièrement adaptés aux télécopieurs rapides: on peut constituer des peignes d'électrodes, permettant de déposer des charges électriques en chaque point noir; une charge colorée se fixera sur ces points; il faudra fixer également la charge sur le papier: séchage ou cuisson.

Un problème général est la recherche d'un compromis entre la rapidité d'écriture, l'intensité des noirs, la netteté. De même il semble souhaitable de pouvoir travailler avec du papier ordinaire, à la place des papiers spéciaux le plus souvent employés (enregistreurs graphiques, imprimantes).

III.2. Le codage.

Le codage de source

Nous allons nous restreindre au problème de la télécopie à 2 niveaux: le codage du fac-similé en général, est assez différent; on se reportera aux études sur le codage des images (codages différentiels; codages par plages). Nous supposons donc que le document est représenté par un ensemble de points blancs ou noirs. Si l'on dispose d'une voie de transmission à haute capacité, il peut suffire de coder en direct chaque point par un élément binaire. En général, la situation est différente: sur une voie donnée, on cherche à transmettre le document le plus vite possible, sans l'altérer. Parmi tous les codages, un, semble être un juste milieu, c'est:

Le codage par plages.

Il s'agit de coder, le long de la ligne analysée, les longueurs successives des plages: une plage est formée par des points successifs d'une même couleur (blancs ou noirs), le long de la ligne. On voit immédiatement deux choses:

- le document quantifié est parfaitement défini par la succession des longueurs de plages, si la couleur de la première plage est connue;
- s'il y a suffisamment de plages longues, ce codage sera intéressant.

Des études statistiques ont été faites pour connaître la répartition des longueurs de plages: la finesse d'analyse entre en ligne de compte, mais de façon générale, plus les plages sont longues plus elles sont rares. Exception faite pour les lignes blanches: dans le cas d'une analyse 4/mm, elles représentent de 1 à 2% des plages.

Comment coder les longueurs de plages?

La méthode qui semble la plus simple est de coder chaque longueur, par un mot de longueur fixe (n eb). A 4/mm, il y a 840 points dans la ligne: donc, $n=10$. Or, la longueur moyenne de plage est d'une vingtaine de points: le taux de compression serait particulièrement bas... par rapport à celui que nous atteignons par la méthode du codage à mots de longueur variable. Un code très efficace (code de Huffman) a l'inconvénient de nécessiter des codecs complexes; la solution moyenne retenue est différente: on utilise un code à mots de longueur N , variable, mais N est multiple d'un entier n dit de base; ainsi, si $n=3$, le code comprend des mots de longueur 3, 6, 9, 12... ou peut-être 3, 9, 15...

Deux codes envisagés:

Après des simulations de calcul de débit, les codes suivants sont mis en oeuvre:

- $n=2$; soit L la longueur de plage; L est codé en binaire pur; si le nombre d'éléments binaires nécessaire est impair, on rajoute un 0, puis on place en tête K groupes "00"; ceci signifie que le mot de code comprend les K "00", suivis de $K+1$ paires d'éléments binaires. Exemple, si $L=60$, le mot sera "0000111100".

- $n=2$; ici chaque paire d'éléments binaires comporte un eb dit de contrôle; s'il est à "1", cette paire est la dernière du mot de code; les eb autres que ceux de contrôle, sont obtenus en codant L en binaire pur, en ajoutant 1, puis en supprimant l'élément binaire de poids fort. Exemple, si $L=60$, $60 = 111100_2$, le mot est "0101010011".

Les taux de compression obtenus avec ces codes vont de 4 à 10. Il est évident qu'il est assez difficile de donner un résultat "final": cela suppose des mesures réelles en exploitation. On peut néanmoins conclure qu'un taux de l'ordre de 6 est très intéressant. Il apparaît aussi que le principe de codage permet une réalisation pas trop onéreuse.

Remarque: dans ce qui précède, on n'indique pas la couleur des plages. Ce peut être un point faible: le code avec eb de contrôle peut y remédier; cet eb peut représenter la couleur de la plage.

Erreurs, synchronisation.

Le nombre de points dans la ligne est normalement fixe (840; 1024; ...). Une synchronisation ligne n'est théoriquement pas nécessaire: en pratique, pour sauvegarder l'avenir, nous prévoyons un mot de synchro en fin de ligne; en effet des erreurs peuvent s'introduire pendant la transmission; dans ce cas tout un document risquerait d'être inutilisable, à la suite d'une seule erreur. Le mot de synchro permet la plupart du temps de se recalculer à la ligne suivante. Des études sont en cours pour rechercher des compromis entre sécurité vis à vis des erreurs de transmission, et taux de compression.

IV. CONCLUSION

Sur quelles voies de transmission y aura-t-il des télécopieurs numériques?

Il y en a déjà sur les réseaux téléphoniques, mais peu. Le développement des réseaux de transmission de données semble favorable à ces appareils: le réseau Caducée, mais surtout lorsque les artères à 48-64 keb/s seront développées. Avant d'arriver aux débits de 2 et 8,5 Meb/s, la mise en place des réseaux de commutation par paquets (Transpaq) est aussi un champ libre pour cette télécopie.

Remarquons qu'il est intéressant d'avoir des appareils pouvant travailler de façon asynchrone, s'ils doivent s'intégrer dans des réseaux informatiques. La régulation des débits est alors plus facile.

V. Bibliographie sommaire

R.B.Arps "Entropy of printed matter at the threshold of legibility for efficient coding in digital image processing". Rapport n°31; juin 1969; Université de Standford.

C.Roux "Etude en simulation de méthodes de codage

de textes dactylographiés en vue d'une application à la télécopie". Rapport CCETT NIM/T/4/73.

M.Leclercq "Un moyen de transmission des papiers d'affaires: la télécopie". l'écho des recherches. CNET. avril 1974.

M.Huet "Le codage et la transmission numérique des documents". l'écho des recherches. CNET. octobre 1974.