

QUATRIEME COLLOQUE SUR LE
TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

Nice 7 au 12 mai 1973

Nouveaux domaines d'étude en Transmission

D. LOMBARD

RESUME

L'auteur envisage successivement les différents éléments d'une chaîne de transmission et donne les tendances actuelles des études entreprises à leurs sujets. Il développe en particulier les propriétés des modulations hybrides, modulation plus efficace que les modulations analogiques classiques.

SUMMARY

The different elements of a Transmission link are considered and the new trends of the studies in these fields are described. In particular, the main properties of hybrid modulation are given ; (their efficiency is higher than that of classical analog modulation).

Nouveaux domaines d'étude en Transmission

par

D. LOMBARD

I - INTRODUCTION :

La "transmission" utilise un ensemble de techniques qui est en perpétuel enrichissement. A la différence de la plupart des domaines de "l'art" de l'ingénieur, l'apparition de nouvelles techniques de transmission ne marque pas l'obsolescence des procédés traditionnels. L'évolution est orientée vers un élargissement de la panoplie des moyens offerts au transmetteur.

Cette évolution est stimulée par deux types de facteurs ; d'une part l'apparition de besoins nouveaux auxquels les systèmes existants ne sont pas adaptés (le visiophone en est un exemple très actuel) ; d'autre part, les possibilités nouvelles de la technologie qui rendent abordable pour un réseau commercial des procédés jusqu'alors réservés à des expériences scientifiques coûteuses (comme par exemple la transmission d'information en provenance de l'Espace lointain).

Sans prétendu être exhaustif, nous allons envisager successivement les différents éléments d'une chaîne de transmission pour donner les tendances actuelles des études entreprises à leurs sujets.

II - LES SOURCES DE SIGNAL : réduction de l'information à transmettre.

2.1. La réduction de l'information à transmettre n'avait pas été jusqu'à présent envisagée au niveau des signaux individuels (pour un réseau commercial). Le premier système en exploitation qui a réduit l'information à transmettre utilisait le fait que sur un ensemble de circuits la moitié de voies au moins sont inactives à un instant donné (les deux interlocuteurs ne parlent en général pas simultanément). Il est donc possible d'utiliser les temps d'inactivité des circuits pour acheminer d'autres conversations sur un même support. Ainsi le système TASI permet de transmettre plus de 60 voies sur 30 canaux.

Des dispositifs plus modernes sont en cours

.../...



d'étude [1], l'effort porte particulièrement sur la réalisation de détecteurs de parole qui soient peu sensibles au bruit sans introduire pour autant de distorsions du signal.

On peut également réduire le débit d'information nécessaire pour un ensemble de voies en faisant un codage MIC différentiel ; toutes les voies à transmettre sont codées en MIC, un échantillon n'est transmis que s'il diffère du précédent de plus de ϵ . Un canal auxiliaire de signalisation indique la correspondance entre les échantillons transmis et les voies [2]. Ce dispositif traite le signal de parole lui-même, il risque donc de ne pas être très populaire auprès des organismes consultatifs internationaux chargés des télécommunications.

2.2. Les dispositifs décrits ci-dessus sont utilisés pour augmenter l'efficacité de supports de transmission très coûteux (câbles sous-marins ou satellites). Les systèmes de transmission d'image pose le problème de la réduction d'information en d'autres termes. Il s'agit de réduire l'information d'un signal "unitaire" dès la source pour permettre sa transmission dans un réseau. Dès lors, le traitement correspondant doit être très efficace et bon marché.

Les ordres de grandeur associés au visiophone sont les suivants :

| | | |
|---|---|-------|
| Bande de fréquence du signal analogique à coder | : | 1 MHz |
| Nombre d'images par seconde | : | 30 |
| Nombre de lignes par image | : | 267 |
| Fréquence ligne | : | 8 kHz |

Ce signal échantillonné à 2 MHz et codé linéairement à 6 bits conduirait à débit numérique de 12 Mbits/s. Ce débit est beaucoup trop élevé. On souhaite le réduire à 2 Mbits/s

Une image animée est très redondante ; d'abord, dans une image fixe, des points voisins n'ont pas généralement des différences très grandes de niveau de gris ; seuls les contours des objets et des personnages présentent de grandes variations de teinte. De plus, d'image en image, les changements de niveau de gris n'ont lieu pour un grand nombre de points qu'en cas de mouvements rapides ou de changements des conditions d'éclairage et de mise au point. Utilisant ces deux propriétés, une maquette d'un système de codage d'images animées a été réalisée dans les laboratoires du CNET. Elle permet une transmission à 2 Mbits/s (1 bit par point) d'une image très satisfaisante

[3] , [4] .

.../...

III - LES CODAGES CORRECTEURS D'ERREURS :

Les performances théoriques des codes correcteurs d'erreurs très élaborées ont toujours laissé sceptiques les transmetteurs de grands débits d'information. A la rigueur, acceptaient-ils que certaines informations précieuses pour le bon fonctionnement de leurs systèmes subissent un codage mais il n'était pas question de traiter les informations elles-mêmes. Ces points de vues ont tendance à se nuancer sous l'influence du développement des techniques numériques de transmission. Tout d'abord, les taux d'erreurs à ne pas dépasser pour transmettre de la téléphonie ou des données sont très différents (10^{-4} pour de la téléphonie, 10^{-6} ou 10^{-7} pour des données). Concevoir un système de téléphonie avec des performances lui permettant d'acheminer des données serait trop cher, s'interdire la transmission de données serait inacceptable ; il faut donc protéger le train de données contre les erreurs. Les codes convolutionnels qui semblent réalisables à des coûts raisonnables arrivent à point nommé pour remplir cette fonction. Ils seront utilisé prochainement [5] pour former des canaux de transmission de données à 50 kbits/s sur un support dont le taux d'erreur garanti est de 10^{-4} .

On ne s'arrêtera peut-être pas là :

Les modulations numériques offrent un nombre discret de possibilités pour charger un canal (suivant le nombre de bits transmis par symbole). Ceci ne permet pas toujours de parfaitement s'adapter à la puissance et la bande disponible sur le canal utilisé. Or, certains projets envisagent d'utiliser des codeurs convolutionnels pour améliorer l'efficacité des systèmes ; il s'agirait alors de coder un débit de 50 Mbits/s .

IV - RECHERCHE DE MODULATIONS PLUS EFFICACES :

Les modulations numériques se développent très rapidement ; un grand nombre d'études portent sur les propriétés de telles modulations quand elles sont utilisées avec des canaux réels [6] .

Certaines tentatives sont faites par ailleurs pour trouver des modulations plus efficaces que les modulations analogiques, ou que les modulations numériques "classiques" (modulation par déplacement de phase par exemple). Sans dépenser plus de puissance, on pourrait transmettre la même information dans une bande de fréquence plus réduite.

On a donné en annexe 1, un exemple de telles tentatives ; une modulation hybride d'impulsions en amplitude et en phase [7] [8] .

.../...



Il semble que cette économie de puissance et d'encombrement spectral se fasse aux prix de contraintes accrues (en particulier de linéarité) portant sur les éléments du canal de transmission.

V - LES ANTENNES :

De façon à réduire l'encombrement de l'espace radioélectrique, on peut envisager de réduire le rayonnement à la zone où l'information est réellement nécessaire. La figure 1 représente un projet de zone de couverture "formée" proposée pour un futur satellite INTELSAT. Ce résultat est obtenu avec des antennes à plusieurs sources.

La réutilisation de fréquence sur des polarisations orthogonales permettrait également de retarder la saturation des certaines bandes de fréquences. Difficile à réaliser avec des modulations analogiques assez sensibles aux brouillages, il semble que cette possibilité soit réaliste avec des modulations numériques.

VI - RECHERCHE DE NOUVEAUX DOMAINES DE FREQUENCES.

Une fois les bandes actuelles saturées, il faudra bien "monter" en fréquence. Des études très complètes sont entreprises sur le domaine des fréquences supérieures à 10 GHz.

L'influence des précipitations sur la propagation à ces fréquences est un problème majeur. Le CNET a entrepris un programme d'études théoriques et de mesures sur ce sujet [9]. Un modèle théorique de la fonction de répartition de l'intensité locale de précipitation d'un modèle théorique de la répartition spatiale de cette intensité à l'intérieur d'une cellule de pluie ont été mis au point. On en a déduit l'affaiblissement dû aux précipitations, subi par les ondes électromagnétiques sur un trajet de longueur donnée. Les premiers résultats de mesure obtenus semblent valider ces modèles.

CONCLUSION

Réduction d'information, codage, modulations, antennes, propagation, tous ces sujets sont en perpétuel renouvellement. Les besoins accrues de communications dans les civilisations contemporaines ne font qu'accélérer et diversifier la demande en ces domaines.

.../...

"L'homme est le plus malheureux de tous les animaux, parce qu'il est le seul qui ne soit pas content de son sort, et qui cherche à sortir du cercle dont la nature a circonscrit tous ses facultés"

-Eloge de la folie- Erasme.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] E. PENICAUD, Y. SALLE, P. GUILLARME - Concentration numérique de circuits téléphoniques à grande capacité pour station AMRT. Onde Electrique - Janvier 1973
- [2] S.J. CAMPANELLA, J.A. SCIULLI - Speech predictive encoded communications - Colloque sur les télécommunications numériques par satellite PARIS 28-30 Novembre 72.
- [3] M. HUET - Système de codage d'images animées - une méthode de réduction de la redondance temporelle - application en temps réel au visiophone.
Journée d'Etude CNES . "Traitement des images".
- [4] H. SEGUIN - Picture coding for vidiophone transmission on digital telecommunication links . A paraître dans ICC 73
- [5] W.W.WU Applications of error-coding techniques to satellite communications - Comsat review vol 1 N° 1.
- [6] M. JOINDOT - Calcul du taux d'erreur en modulation différentielle à quatre états.
Communication à ce colloque
- [7] G.R. WELTI Pulse Amplitude and Phase Modulation - Colloque sur les télécommunications numériques par satellite - PARIS 28 - 30 Novembre 72.
- [8] D. Mc RAE Performance Evaluation of a New Modulation Technique IEEE Trans on Com Tec - Aout 71.
- [9] G. LEFRANCOIS - Modèle théorique de précipitation équivalente sur un trajet radioélectrique. Application à la propagation des ondes de fréquence supérieure à 10 GHz.
Annales des télécommunications - Nov. Dec. 71



Annexe 1

Un exemple de modulation analogique d'impulsions :

La modulation d'impulsions en amplitude et en phase

1 - DEFINITION

Soit un signal $s(t)$ à bande limitée b ; on se propose de transmettre les échantillons $s(kT)$, ($T = \frac{1}{2b}$) à l'aide d'une modulation hybride d'amplitude et de phase. ^{2b}

A toute valeur s_k de $s(kT)$, on fait correspondre un point $z_k = (x_k, y_k)$ et on transmet le signal modulé

$$\sum_{k=-\infty}^{+\infty} x_k \cos \omega t + y_k \sin \omega t$$

Les fonctions $x(s)$ et $y(s)$ qui définissent la modulation, constituent une représentation paramétrique d'une courbe appelée ligne de signal. Cette représentation paramétrique n'est pas quelconque.

- a) La correspondance entre un point de la ligne et une valeur de s doit être biunivoque.
- b) La ligne de signal peut être discontinue et être constituée de plusieurs "feuilletts" ; mais sur chaque feuillet l'ordre des points doit être le même que celui des valeurs de s .
- c) Le rapport de la distance entre deux points $z(s_1)$, $z(s_2)$ (mesurée sur la ligne de signal) à la différence $(s_2 - s_1)$ des valeurs des paramètres correspondants doit être constant.
- d) La distance minimale entre deux feuilletts distincts de la ligne de signal est d .
- f) Le rayon de courbure minimal d'un contour est $d/2$.
- g) La longueur totale de la ligne de signal est grande devant d .

.../...

II - STRUCTURE DU DEMODULATEUR

Si on suppose le canal de transmission perturbé par un bruit additif, le récepteur disposera d'un point $(x_k + n_{ck}, y_k + n_{sk})$ pour estimer (x_k, y_k) . n_{ck}, n_{sk} étant les composantes du bruit en phase et en quadrature avec la porteuse $\cos \omega t$. Le démodulateur cherchera alors le point de la ligne de signal se trouvant le plus près du point représentant le signal reçu. Il déterminera donc s qui minimise :

$$[x_k + n_{ck} - x(s)]^2 + [y_k + n_{sk} - y(s)]^2$$

Si la ligne de signal choisie à une longueur supérieure à la plage initiale de variation de s , on peut espérer que ce type de transmission assurera un certain gain de modulation.

De fait, les meilleurs dispositifs de modulation d'impulsion en amplitude et en phase permettent de réaliser un gain du même ordre que la modulation de fréquence avec une bande de fréquence utilisée bien plus réduite (figure A-2)

III - PERFORMANCES DE LA MODULATION D'IMPULSION EN AMPLITUDE ET EN PHASE.

Celles-ci dépendent bien sûr de la statistique du signal à transmettre et de la ligne de signal choisi. La détermination de la ligne de signal optimale pour un type donné de signal modulant n'est pas résolue. Cependant, de nombreuses études ont été faites dans le cas des signaux gaussiens. Il semble qu'une ligne de signal en forme de spirale donne les meilleures performances (figure A-3). La figure (A-4) en donne l'allure en fonction du nombre de demi-tour de spirale de la ligne de signal utilisée.

On note sur ce schéma un phénomène de seuil : pour un rapport porteur à bruit inférieur à une certaine limite, le rapport signal sur bruit après démodulation se dégrade très rapidement.

Ceci correspond à l'arrivée d'un grand nombre d'erreurs franches de démodulation, génératrices de "clics" ;

.../...



Un bruit trop grand ayant éloigné le signal reçu du feuillet occupé par le signal modulé, le démodulateur projette le signal reçu sur un feuillet erroné de la ligne de signal (figure A.1).

Plus le gain de modulation est grand, plus la distance entre les feuillets de la ligne de signal est réduite ; On retrouve la propriété générale des modulations : Le seuil apparaît pour des bruits moins grands avec des modulations à grand gain.

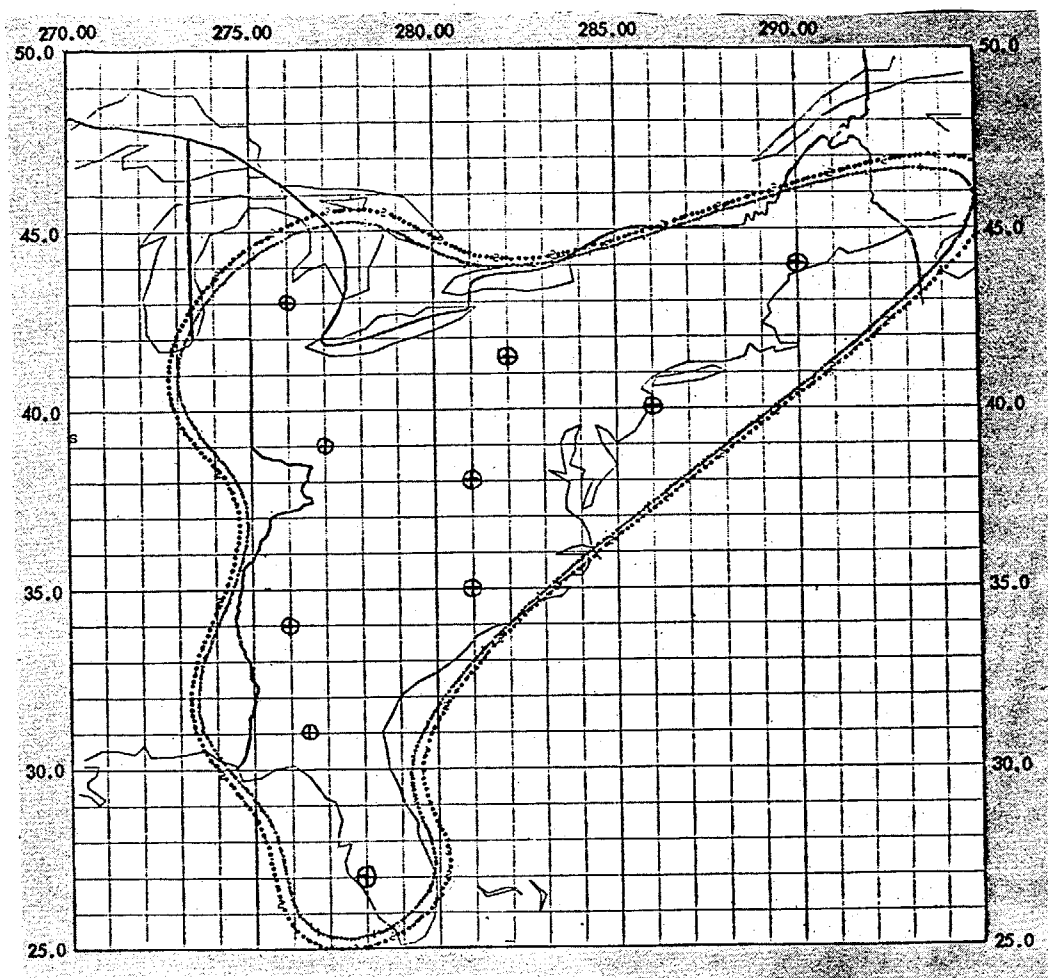


Figure 1 : Zone de couverture "formée" obtenue avec une antenne à 10 sources (proposée pour un satellite INTELSAT)

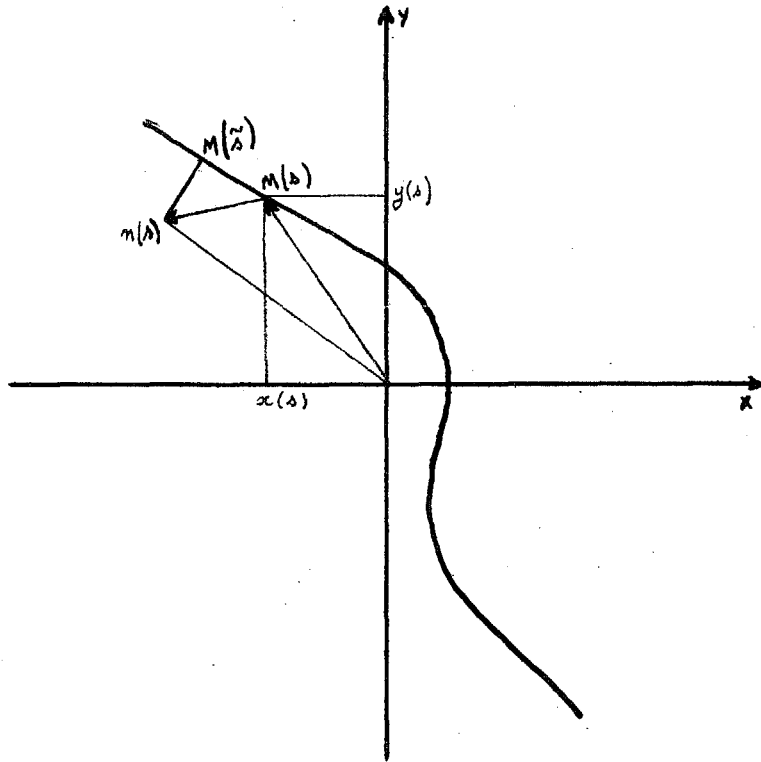


Figure A-1 : Une ligne de Signal

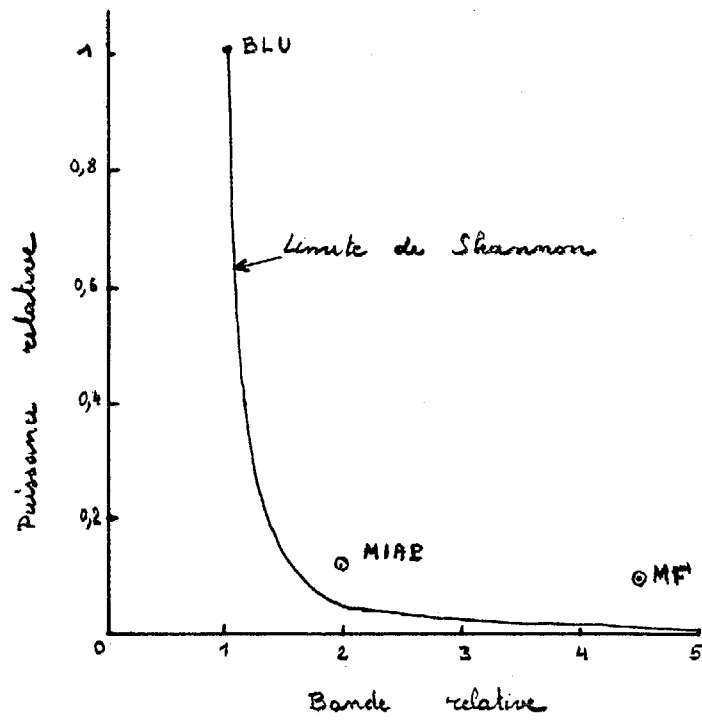


Figure A2 : Compromis bande-puissance de divers procédés de modulation.

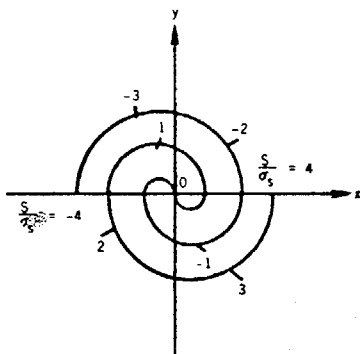


Figure A-3 : Ligne de Signal en double Spirale

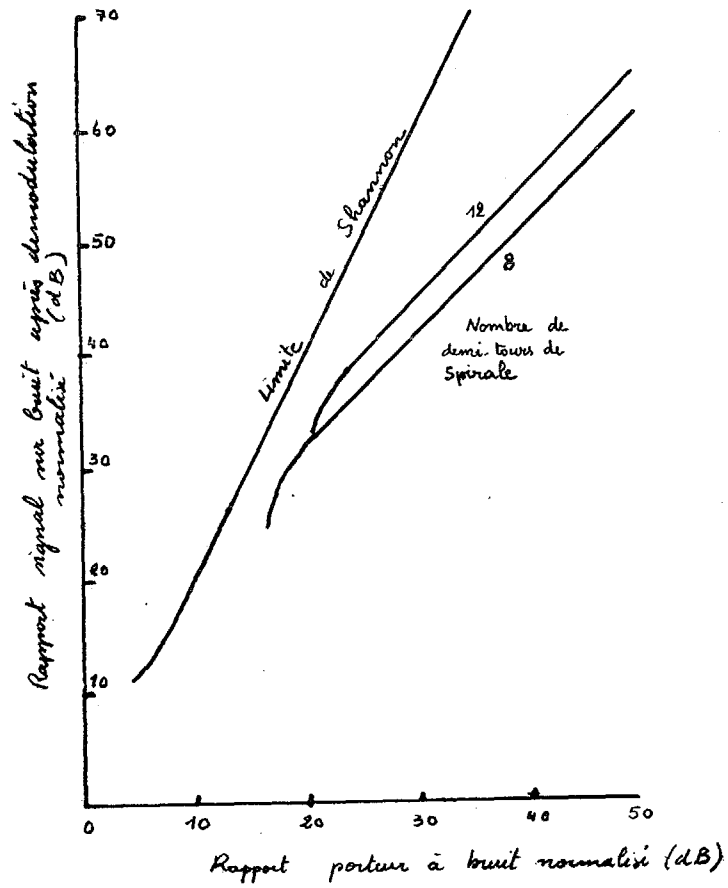


Figure A-4 : Performance de la modulation d'impulsion en amplitude et phase en présence de bruit Gaussien.