

QUATRIEME COLLOQUE SUR LE
TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

Nice 7 au 12 mai 1973

LE TRAITEMENT DU SIGNAL DE TELEVISION
APPLICATIONS AUX CAMERAS SOUS-MARINES

M. Raymond CAHEN
THOMSON - CSF
Division Radio-Télévision

RESUME

- On examine le procédé de traitement à appliquer au signal vidéo de télévision pour améliorer la résolution et le rapport signal sur bruit de l'image qu'il traduit.

Après l'exposé d'une méthode analogique de renforcement des contours particulièrement économe de bruit, on examine son application dans l'exploitation de caméras sous-marines.

SUMMARY

One reviews a television signal video processing intended to improve picture resolution without noise increase. After having stated this analogical method founded on a contour enhancement particularly thrifty of noise, one examines its application to submarine camera application.



LE TRAITEMENT DU SIGNAL DE TELEVISION

APPLICATIONS AUX CAMERAS SOUS-MARINES

M. Raymond CAHEN
THOMSON- CSF - Division Radio-Télévision

S O M M A I R E

- I - Introduction
- II- La nature du signal télévision
- III- Traitement pour augmenter la résolution
 - III.1.- La méthode du contour
 - III.2.- Traitement pour obtenir le signal d'image floue
 - III.3.- L'image floue est aussi débruitée
 - III.4.- L'extraction du signal de contour
 - III.5.- Le traitement du signal de contour
 - III.6.- L'image corrigée
- IV - application aux images de caméras sous-marines
 - IV.1.- Mesure de la baisse de qualité du signal d'une caméra à tube photorésistant sous éclairé.
 - IV.2.- Effet du traitement
- V - Conclusion



M. Raymond CAHEN
THOMSON-CSF - Division Radio-Télévision

LE TRAITEMENT DU SIGNAL DE TELEVISION
APPLICATION AUX CAMERAS SOUS-MARINES

I - INTRODUCTION

Les tubes analyseurs d'image délivrent sur une électrode de sortie, un courant de signal qui traduit les variations de brillance de la scène à transmettre : c'est le signal brut d'analyse. Il convient de faire subir à celui-ci un traitement primaire, autant que classique, pour le faire passer à l'état de signal conventionnel de télévision.

Cela consiste généralement à reconstituer la bande passante de transmission (5 à 6 MHz dans le cas général du standard à 625 lignes et 50 trames) à éliminer les taches le cas échéant, et à procéder à la suppression du signal pendant les temps de retour des balayages horizontaux et verticaux.

Le signal de télévision ainsi élaboré peut être utilisé à la visualisation directe ou à la télétransmission. Il comporte un certain nombre de caractéristiques liées à l'image qu'il représente, et en particulier :

- son amplitude liée au contraste de l'image.
- sa caractéristique de réponse en fréquence, liée à la résolution de l'image.
- son bruit de fond.

Les paramètres ne sont d'ailleurs pas indépendants, comme on le verra plus loin, car le bruit de fond s'accroît pour toute augmentation artificielle de résolution comme pour toute augmentation de contraste.

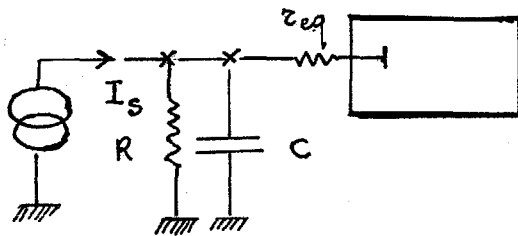
Il est donc nécessaire si on veut améliorer les qualités de l'image, de procéder à un traitement complémentaire du signal de télévision. Celui-ci devant avoir pour but prioritaire d'augmenter la résolution sans dégrader le rapport signal sur bruit.

II - LA NATURE DU SIGNAL DE TELEVISION

La majorité des tubes d'analyse modernes, photorésistants, sont de véritables générateurs de courant d'impédance de sortie très grande.

Ils ne comportent pas de bruit propre en quantité appréciable et le seul générateur de bruit dont il faut tenir compte est issu du préamplificateur.

Le schéma équivalent est celui-ci :



Les ordres de grandeurs classiques.

- $R = 1 \text{ M}\Omega$
- $C = 20 \text{ pF}$
- $Z = 100 \Omega$

- I_s Courant de signal
- R Résistance de charge
- C Capacité parasite de sortie du tube et d'entrée de préamplificateur.
- Z Résistance équivalente de bruit de l'élément actif (triode ou FET)

R est choisi de grande valeur pour extraire un signal important aux fréquences basses d'analyse. La charge décroît de 6 db par octave aux fréquences élevées. Il est donc nécessaire de prévoir, dans la suite des amplificateurs, des circuits de compensation tels que le gain G croisse avec la fréquence, avec la même pente, de façon à reconstituer la bande du signal. Il s'en suit que :

- le rapport signal sur bruit diminue avec la fréquence.

.../...



-on n'a pas, à la sortie de la chaîne un bruit blanc, mais un bruit dit triangulaire.

Son expression en puissance a une fréquence f est de la forme :

$$dW = 4KT \Delta f \cdot G^2 \text{ ou } V_B^2 = \int_0^F 4KT G^2 z_{eq} df$$

$$V_B^2 = \int_0^F 4KT G^2 z_{eq} df$$

z_{eq} étant la résistance globale ramenée en série entre préamplificateur et masse.

En négligeant les fréquences basses où le rapport signal sur bruit est excellent et le gain faible

$$z_{eq} \neq z$$

$$G_E \neq G$$

on trouve $V_B^2 = 4KT \int_0^F z_{eq} G^2 df$

ou $V_{B\text{eff}} = K' \cdot F^{3/2}$

Cette opération est pleinement justifiée par l'expérience, car le bruit est d'autant plus important qu'il est plus fin et moins visible.

Dans le signal de télévision en sortie de chaîne, la réponse en fréquence reste constante, la seule perte venant des limites de résolution du tube d'analyse lui-même ou des limitations de l'optique.

III - LE TRAITEMENT POUR AUGMENTER LA RESOLUTION

Le premier procédé évident consisterait à relever la courbe amplitude fréquence. Ceci est tout à fait **prohibé**, car il s'ensuivrait des distorsions de phase et des suroscillations strictement inadmissibles. D'autre part la remontée de la courbe accentuerait le caractère linéaire du bruit ce qui n'est pas souhaitable.

Un second procédé qui est souvent utilisé, la correction d'ouverture horizontale permet par un traitement symétrique, telle que la dérivée seconde du signal, d'échapper à la distorsion de phase. Mais outre la dégradation du bruit l'augmentation apparente de résolution ne se manifeste que sur l'axe horizontal de l'image ce qui n'est pas suffisant.

C'est pourquoi on a recherché une méthode plus complète de traitement de renforcement des transitions, c'est la correction de contour omnidirectionnelle.

III. 1. - La méthode du contour -

Cette méthode est assez générale et pourrait sans doute être appliquée dans des techniques très différentes de visualisation, telle que la photographie etc ...

Elle consiste à extraire les contours d'une image pour pouvoir les renforcer par rapport au reste de l'image.

Les contours peuvent être définis comme la différence entre une image quelconque et sa transformée en image floue (ou défocalisée).
.../...



Si le signal d'image d'origine S est transformé en signal d'image défocalisé S_d , le contour C devient :

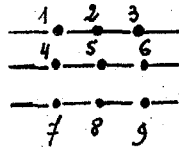
$$C = S - S_d$$

Le signal final pourra ensuite être enrichi en signal de contour à volonté.

.../...

III. 2. - Traitement pour obtenir le signal d'image floue.

A un instant donné t le signal représente l'amplitude de la brillance d'un point de l'image analysée. Pour créer le flou il convient de connaître les 8 points qui l'entourent et de les moyenner avec lui.



L'analyse télévision étant séquentielle il faut obtenir simultanément les 9 points.

Il faut donc disposer de lignes à retard suffisantes pour retarder le signal de deux lignes et deux points.

Le retard du point τ représente un très petit effet de l'ordre de 150 ns. Par contre, le retard d'une ligne $H = 64 \mu s$ est une opération délicate, complexe et précise.

L'expression mathématique du signal flou v_f en régime sinusoïdal peut s'exprimer simplement de la façon suivante. Pour le signal d'origine :

$$v = a \sin \omega t$$

on obtient :

$$v_f = \frac{a}{9} [(1 + 2 \cos \omega H) (1 + 2 \cos \omega \tau)] \sin \omega t$$

L'amplitude du signal d'origine est donc modulée par l'expression $(1 + 2 \cos \omega H)$ dont l'amplitude passe par un maximum pour

$$\cos \omega H = 1 \text{ au } f = \frac{v}{H} = \frac{v}{L}$$

.../...



qui sont les fréquences harmoniques de la fréquence ligne. Il s'agit donc d'un filtre en peigne accordé sur les harmoniques fondamentaux du spectre du signal.

De la même façon, le coefficient $(1+2 \cos \omega T)$ représente un filtrage en peigne dont le premier zéro correspond à

$$\cos \omega T = \frac{1}{2} \quad \text{ou} \quad \omega T = \frac{2\pi}{3}$$

$$\text{ou} \quad f = \frac{1}{3T}$$

Avec la valeur du point choisie autour de 150 ns, ce zéro conduit à une fréquence de 2,2 MHz, ce qui correspond à un flou de bande de coupe non négligeable.

Physiquement le flou obtenu est bien omnidirectionnel puisque la résolution est coupée dans le sens horizontal par la bande passante et dans le sens vertical par le filtre en peigne qui ne laisse passer que les harmoniques de la fréquence ligne.

III. 3.- L'image floue est aussi débruitée

On conçoit que le fait de faire la moyenne de 9 points d'image, chacun porteur de son bruit propre, a pour effet de moyenniser ce bruit et donc de le filtrer. On peut faire une estimation du gain en bruit de la façon suivante :

a/ dans le sens vertical : le bruit des 3 lignes successives est entièrement décorrélé. Le bruit de trois points verticaux s'ajoute quadratiquement alors qu'une
 .../...

moyenne divisé par 3. Le seul gain vertical représente donc $\frac{1}{\sqrt{3}}$ soit plus de 4 db.

b/ dans le sens horizontal :

la coupure de bande intervenant autour de 2,2 MHz assure aussi une réduction du bruit triangulaire dans la zone la plus élevée, correspondant à un gain de 10 db environ. Ceci est tout de même un peu théorique, car comme le bruit fin est moins gênant, il conviendrait de raisonner par rapport à un bruit pondéré où l'avantage serait moins net. Il n'en reste pas moins que l'image floue est très largement débarassée de son bruit parasite.

III. 4. -L'extraction du signal de contour

On a vu que ce signal de correction se présente comme la différence entre le signal d'origine et le signal défocalisé.

Sa loi est donc comparable, bien que changée de signe, à celle de l'image focalisée -

Il comporte :

- les signaux verticaux des "trous" du peigne.
- les signaux de détails horizontaux.
- le bruit qui les accompagnait.

Si on veut pouvoir utiliser au mieux ce signal de contour, il est donc nécessaire de le traiter à son tour pour tenter de réduire son bruit.

.../...

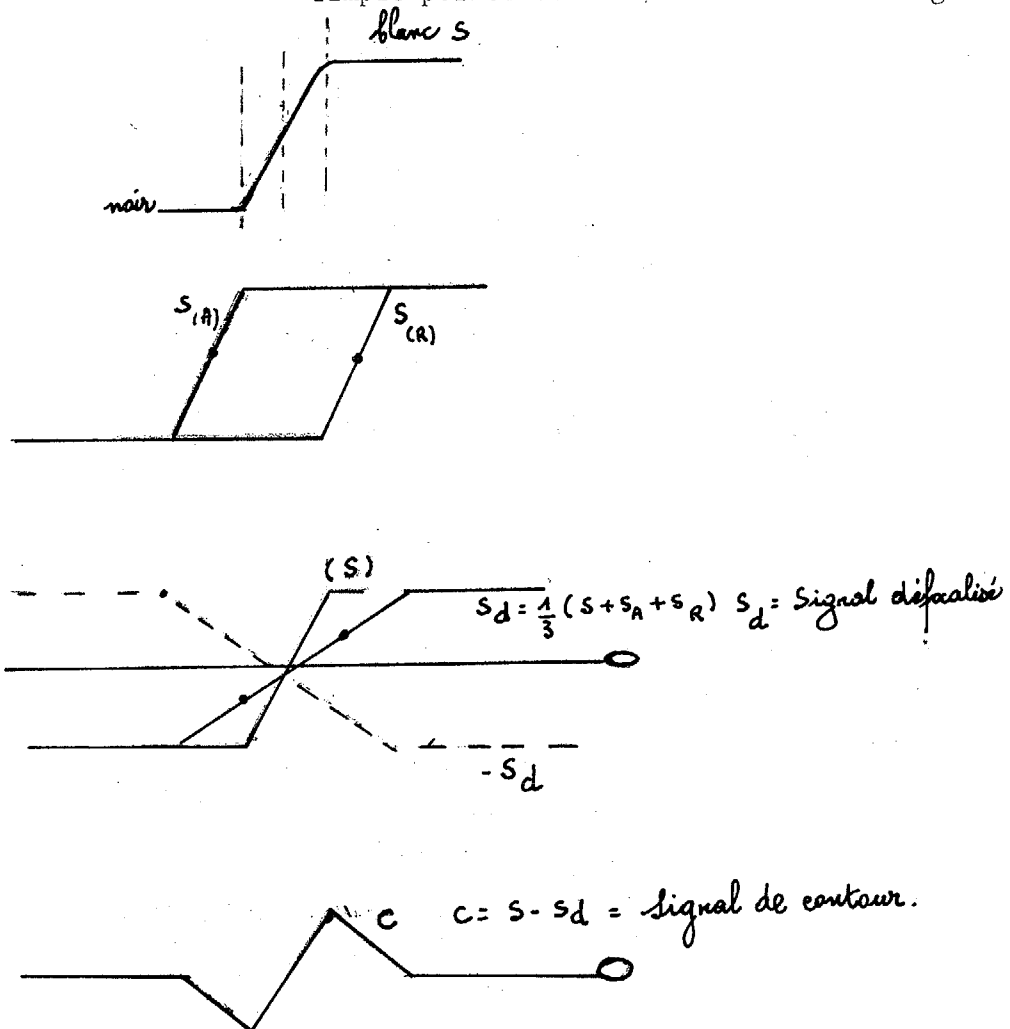


III. 5. - Le traitement du signal de contour

Heureusement, du fait de l'équilibre de phase dû au flou omnidirectionnel, le signal de contour est symétrique par rapport à sa moyenne.

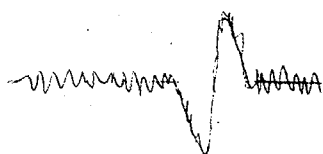
Une transition d'image horizontale ou verticale se traduit par des impulsions successives positives et négatives ou inversement.

Si on observe le signal de contour d'une transition noir-blanc S , une construction simple permet de déduire la forme du signal:

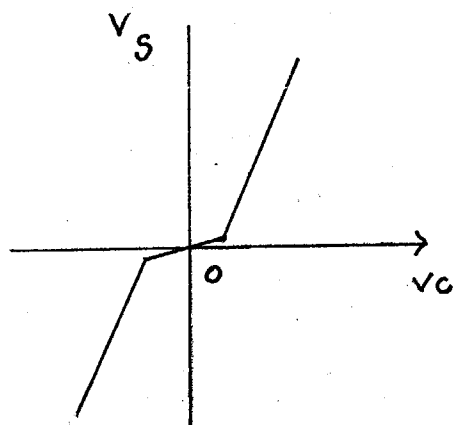




On voit par cet exemple très simple que le signal est bien symétrique. On pourrait de la même façon construire un signal de contour d'une transition verticale.



On voit donc qu'avant et après la transition le signal des plages uniformes correspond à un potentiel relatif nul. En fait, le bruit de fond va s'ajouter au signal de contour et se répartir autour de l'axe du signal



Il devient, dans ces conditions, possible d'éliminer le bruit des plages larges par une transmission non linéaire du signal qui élimine les faibles variations autour du potentiel central.

Si on constitue un quadripôle non linéaire ayant la réponse amplitude-amplitude représentée sur le graphique, le bruit du contour ne sera pratiquement pas transmis.



Seules les crêtes de signal pourront vaincre la barrière et constitueront un bruit presque invisible.

.../...



D'autres traitements de filtrage en fréquence peuvent aussi être effectués, variables en fonction du signal à transmettre.

III. 6.-L'image corrigée

Pour obtenir l'image de qualité résultant de ces traitements, on peut procéder de deux façons distinctes :

1°/ En ajoutant du signal de contour au signal d'origine.

Cette méthode permet d'obtenir une amélioration sensible de la résolution, sans accroître trop le bruit, mais ceci n'est possible que lorsque l'image d'analyse elle-même n'est pas trop entachée de bruit.

2°/ En ajoutant une quantité supérieure de signal de contour à l'intérieur du signal défocalisé et débruité. Dans ce cas on obtient une augmentation sensible de résolution mais avec une atténuation plus sensible encore du bruit.

IV - APPLICATIONS AUX IMAGES DE CAMERAS SOUS-MARINES -

Dans la plupart des cas, les caméras sous-marines fonctionnent avec des tubes du genre Vidicon basés sur le principe de la photo-résistance.

Ces tubes s'inscrivent assez bien dans le schéma précédent. C'est le cas de la caméra "Océane" développée pour les besoins de l'exploitation pétrolière off-shore.

L'image naturelle obtenue d'une telle caméra est d'ailleurs excellente dans de bonnes conditions de prise de vue. Ces dernières ne sont pas forcément toujours remplies : en cas de manque d'éclairage de la scène à transmettre par exemple, soit par manque de lumière ou par atténuation de celle-ci dans de l'eau polluée.

Dans ces conditions, la caméra ne peut plus travailler dans ses conditions optimales. L'objectif doit être très couvert, perdant ainsi sa profondeur de champ et une partie de sa finesse. D'autre part si le tube reste malgré tout sous-alimenté en lumière, le courant de signal se réduit, à bruit constant, et le rapport signal sur bruit se détériore lorsque le contraste de l'image est rétabli à une valeur acceptable pour la visualisation.

Il reste certes la possibilité de choisir un tube plus sensible, mais dans tous les cas, il arrive qu'on soit amené à exploiter à la limite du système lorsque les conditions ne sont pas favorables.



IV. 1. - Mesure de la baisse de qualité du signal d'une caméra à tube photorésistant sous éclairé.

Il convient de chiffrer tout d'abord les paramètres du fonctionnement optimal :

Eclairage de la scène	1000 lux
Ouverture de l'objectif	f : 4
Eclairage du tube (eau claire)	4 lux environ
Courant de signal	300 nA.
Rapport signal sur bruit	(Crête à crête 30 db (efficace 46 db
Taux de modulation à 5 MHz	: 50%

On procédera ensuite à la comparaison de ceux obtenus d'un fonctionnement dégradé par insuffisance d'éclairage.

Eclairage de la scène	50 lux
Ouverture de l'objectif	f : 2
Eau claire, éclairage du tube	0,8 lux
Courant de signal	60 nA
Rapport signal sur bruit	(crête à crête 16 db (efficace 32 db
Taux de modulation moyen	25 %

On remarque dans cet exemple pratique une perte de résolution de 6 db à 5 MHz liée à un accroissement de bruit de 14 db.

.../...

IV. 2. - Effet du traitement

Si on dispose d'un ensemble de traitement conforme à ce qui a été exposé précédemment, on pourra l'utiliser de deux façons différentes dans les deux cas :

a/ avec le signal de qualité

Dans ce cas le tube rend le service attendu mais il a ses limites propres puisqu'il n'assure que 50% de modulation.

Le système de traitement permet sans augmentation pratique de bruit d'obtenir les 100% de modulation souhaitable. Le traitement agit pour transformer une bonne image en image de grande qualité.

b/ avec le signal dégradé

Les réglages seront repris pour assurer une modulation améliorée de 6 db dans les grandes transitions mais en s'efforçant de limiter le bruit au mieux par les dispositifs à seuils ou filtres. On pourra dans ces conditions obtenir, avec l'augmentation de 6 db de résolution, une amélioration de 3 à 4 db du rapport signal sur bruit.



V - CONCLUSION

On a pu exposer une solution de traitement analogique permettant d'utiliser les redondances de l'image télévisée pour améliorer la qualité de son signal.

L'emploi de deux filtres en peigne, horizontal ou vertical a permis cette réalisation.

On pourrait sans doute à l'avenir améliorer encore cette technique en utilisant un troisième filtre agissant de trame à trame. Mais la complexité des mémoires de trame actuelles impose une limite pratique à ces progrès possibles.

