

HUITIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

651



NICE du 1^{er} au 5 JUIN 1981

ALGORITHME PRAGMATIQUE DE NORMALISATION

F. LEFAUDEUX

GERDSM - ECAN DE TOULON - DTCN

RESUME

On a baptisé du terme de "normalisation" des procédés de régularisation et de stationnarisation du bruit de fond plus élaborés que le simple "contrôle automatique de gain" (CAG) devenu insuffisant, en particulier dans l'optique des systèmes d'extraction automatique.

On présente la démarche pragmatique et intuitive qui a conduit à ces procédés, et on décrit certains d'entre eux.

SUMMARY

The term "Normalisation" covers processes for controlling and stationarizing the background noise, which are more elaborate than the classical Automatic Volume Control (AVC). AVC has become inadequate particularly in the perspective of automatic extraction systems.

The pragmatic and intuitive steps who led to these processes are presented and some of them are described.



Un algorithme pragmatique de normalisation

1. -

Cette recherche a été effectuée il y a de cela plusieurs années. L'expérience acquise dans la pratique ayant confirmé l'intérêt de cet algorithme (et de ses variantes) il nous a paru intéressant de la publier.

2. - La "Normalisation"

La théorie de la détection introduit comme grandeurs significatives de la présence d'un évènement des quantités de la forme $\frac{S}{B}$ ou $\frac{S+B}{B}$

S représentant le signal
B le bruit.

Au plan purement pratique et expérimental, il a été reconnu depuis longtemps que dans les systèmes du genre sonar à très grande dynamique de bruit (selon les conditions météorologiques et océanographiques le niveau de bruit de la mer peut varier de 50 à 60 dB, en sonar actif le paramètre réverbération peut varier au cours d'une séquence de réception dans une fourchette du même ordre), il était indispensable d'utiliser des circuits de régulation tels que CAG (Contrôle automatique de gain) ou TVG (Time Varying Gain) dans le double but :

- de cadrer la dynamique des signaux et bruits dans la dynamique limitée par la technologie des électroniques de réception.
- d'améliorer la présentation des informations aux opérateurs et par là d'augmenter et rendre plus régulières leurs performances de détection.

Dans le cas d'utilisation de logiques décisionnelles automatiques (torpilles, extracteurs sonars...) une telle régulation est un préalable indispensable.

L'introduction des technologies digitales, en particulier programmables, permettant une plus large liberté de conception fonctionnelle nous a conduit à réexaminer les procédés de régulation. L'élargissement des concepts nous a incité à modifier la terminologie et à introduire le mot de "normalisation".

Dans un environnement de bruit "non stationnaire" (les guillemets indiquant qu'il s'agit là d'une description subjective au niveau du langage usuel des phénomènes observés et non de leur description mathématique normative) le but de la normalisation est essentiellement d'estimer localement les paramètres significatifs du bruit (par exemple moments du premier ordre ou moyenne, et du deuxième ordre - variance ou puissance) et d'utiliser ces estimations pour, en l'absence de signal, "stationnariser" le bruit en aval du dispositif.

3. - Concepts utilisés

3.1. - Phénomène de détection

De façon très générale - au moins en sonar - la détection d'un signal est basée sur la constatation d'une anomalie locale des propriétés statistiques du champ de bruit et de signaux reçus.

Ainsi en sonar actif, il s'agira d'une anomalie limitée en temps et éventuellement en gisement si le sonar explore simultanément un champ angulaire étendu, cette anomalie est également limitée en fréquence, les cibles usuelles n'étant pas dispersives en fréquence.

En sonar passif, il s'agira d'une anomalie limitée angulairement et/ou fréquemment, etc...

Dans tous les cas, on supposera que notre connaissance a priori des phénomènes à détecter est suffisante pour définir les bornes inférieures et supérieures de leur support dans l'espace d'observation.

3.2. - Concepts de base de la normalisation

La détection d'un signal dans un bruit n'est possible que s'il existe un certain contraste entre signal et champ de bruit, ceci en moyenne bien entendu : il n'est pas exclu qu'une "pointe" de bruit ressemble à un signal, cependant si systématiquement un signal ressemblait aux "pointes" de bruit aucune détection ne serait possible.

Les algorithmes que nous présentons font l'hypothèse fondamentale que l'étendue du "voisinage" sur lequel les caractéristiques statistiques du bruit restent sinon identiques à elles-mêmes, du moins très proches, est significativement plus grande que la borne supérieure du support du signal.

Cette propriété de proximité des caractéristiques statistiques n'implique pas, au contraire, une corrélation, au sens habituel du terme, des réalisations des bruits en deux points voisins ; de ce point de vue, le bruit pourra très bien être blanc.

Ainsi plaçons nous dans l'hypothèse gaussienne non centrée. Soient deux points A et B. Ils sont "voisins" au sens ci-dessus, si on a les relations suivantes :

.../...

$$m_B = m_a + \Delta m$$

$$\sigma_B = \sigma_A + \Delta \sigma$$

avec $\frac{\Delta m}{m}$ et $\frac{\Delta \sigma}{\sigma}$ petits.

Si ces relations sont satisfaites :

et même si $p(a \text{ et } b) = p(a) p(b)$
(indépendance)

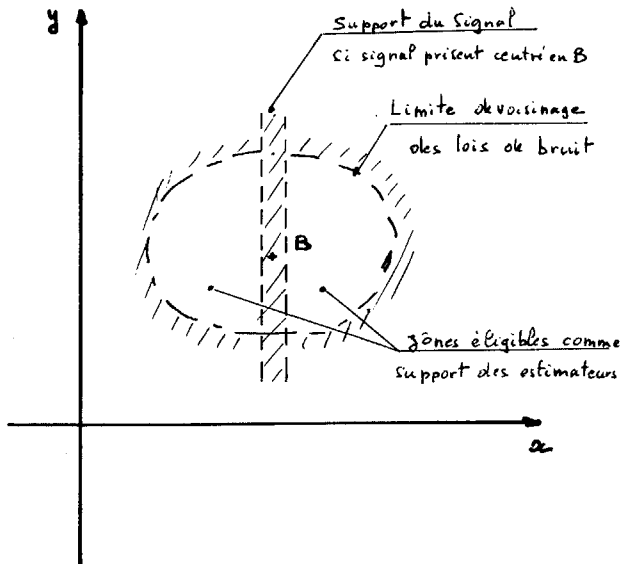
l'observation du bruit au point A permettra de dire quelque chose sur les propriétés statistiques du bruit présent au point B.

Cette propriété sera systématiquement utilisée dans les algorithmes proposés. En particulier - en principe - on n'utilisera pas l'observation du point B pour normer le point B, en effet si cette pratique ne présente pas d'inconvénients si B ne contient que du bruit, en cas de présence de signal en B, ce qui constitue le cas intéressant, l'utilisation du point B revient à diviser le signal, au moins partiellement, par lui-même ce qui est contraire au but recherché. (Dans la pratique, cet inconvénient n'est pas forcément rédhibitoire).

4. - Implantation des algorithmes

Différentes variantes sont à envisager selon l'endroit où en est dans la chaîne de réception. Dans certaines applications plusieurs étapes de normalisation pourront être envisagées, par exemple, une première normalisation au niveau des canaux hydrophoniques, une normalisation finale tous traitements spatiaux, fréquentiels ou temporels faits.

On se limitera ici au principe sans préciser le point d'application. Soit par exemple, en plan défini par deux axes de coordonnées x, y représentant généralement un couple parmi temps, fréquence, gisement.



Le point B à normaliser.

Le support d'un signal hypothétique centré sur B.

Le voisinage de ressemblance des lois de bruit.

Le plan sera supposé échantillonné en D_x, D_y du fait des techniques utilisées (formation de voie en spatial, échantillonnage temporel des signaux, etc...). Le point courant sera noté $M_{x,y}$, x, y entiers.

La normalisation du point B revient à estimer les caractéristiques du bruit présent en B, par exemple, et c'est ce à quoi on se limite habituellement, ses moments du 1er et 2ème ordre. On dispose pour ce faire de l'ensemble des observations $V_{x,y}$. (Le respect de la causalité dans le cas d'un axe temps n'est en général pas un impératif, le délai de décision n'étant que rarement prohibitif).

L'estimateur classique de m par exemple sera :

$$\hat{m}_B = \frac{1}{N} \sum_{xy} V_{xy}$$

N nombre de points pris en compte :

$\sum_{x,y}$ exclura, en principe, les points intérieurs au support du signal hypothétique présent en B.

Reste le problème de l'étendue de cette somme :

- On aura intérêt à avoir N aussi grand que possible, la variance de l'estimée \hat{m}_B étant inversement proportionnelle à \sqrt{N} (si les échantillons sont indépendants) et cette variance bruit d'estimation venant dans les procédures de normalisation augmenter le bruit réellement présent en B.

Par contre, si le domaine de $\sum_{x,y}$ est trop étendu on prendra en compte pour estimer les paramètres du bruit en B des valeurs $V_{x,y}$ correspondant à des tirages de bruits obéissant à des lois sans aucun rapport avec la loi vraie au point B. Il vaudra mieux accepter une estimée \hat{m}_B ayant une certaine variance de bruit que comportant un biais d'estimation inconnu dû à l'utilisation d'échantillons sans rapport avec la loi du bruit en B.

Donc :

- $(x,y) \notin$ [support signal hypothétique en B]
- $(x,y) \notin$ [voisinage significatif de B].

Les simulations faites avec cet algorithme ont mis en évidence un problème nouveau. .../...



En effet, si les résultats étaient satisfaisants en l'absence d'un signal, ou en cas de présence d'un signal en B ils devenaient mauvais.

- s'il existait un signal unique non centré sur B.

- un signal en B, ainsi qu'un ou plusieurs autres signaux dans le domaine d'estimation, or en sonar l'existence de plusieurs signaux proches ne peut être exclue.

La cause de ce mauvais fonctionnement est évidente. Dans ce cas, l'ensemble des $V_{x,y}$ ne peut être considéré comme significatif de la loi de bruit en B et l'estimée n'est pas bonne.

Ce phénomène est bien sûr surtout sensible en cas de signal fort "masquant" un signal faible.

La solution étudiée et finalement retenue consiste dans la suite des $V_{x,y}$ appartenant à l'espace théorique d'estimation à en éliminer les p plus forts, p correspondant à la surface du support d'un signal supplémentaire (ou de deux ou de trois selon les applications et le cardinal N du total des $V_{x,y}$ éligibles).

Dans le cas de présence d'un signal fort dans le domaine d'estimation cette procédure permet de retrouver une estimée sans biais, sa variance est un peu augmentée (puisque estimation portant sur $N-p$ échantillons et non plus sur N).

Dans le cas d'absence de signal outre l'augmentation de variance, cette procédure entraîne un biais systématique par défaut de l'estimée puisque les plus grands échantillons sont éliminés. Cependant si on dispose d'un modèle de bruit - par exemple bruit gaussien - ce biais, systématique, peut être calculé et éventuellement l'estimation corrigée. On n'en a cependant pas à ce jour éprouvé le besoin dans les applications étudiées.

L'estimateur ainsi construit est dit à trou fixe central plus trou adaptatif.

Il vient rapidement à l'esprit qu'au fond il n'est peut-être pas nécessaire de distinguer ces deux trous et qu'un algorithme n'ayant pas de trou fixe central mais ayant un taux d'élimination $p+q/N+q$ plus élevé que dans le cas précédent ($\frac{p}{N}$)

donnerait les mêmes résultats. Cette façon de procéder soulève deux objections de principe.

- Il y a un certain risque de réguler un signal par lui-même (au moins partiellement). Ce risque n'est pas élevé et s'il se produit ses conséquences sont peu graves. En effet, si le signal est fort il sera dans les p échantillons éliminés, s'il est suffisamment faible pour ne pas être éliminé sa contribution énergétique à l'estimation sera faible.

- Le fait d'utiliser un taux d'élimination $p+q/N+q$ plus élevé conduit à un biais d'estimation plus grand (même si la variance d'estimation proportionnelle au nombre n des échantillons retenus reste la même). Ce défaut ne semble pas être rédhibitoire tant que le taux d'élimination reste modeste. L'étude systématique de ce phénomène n'a pas été entreprise. On peut cependant penser que le taux d'élimination maximum possible sans dégradation est fonction monotone lentement décroissante du nombre d'échantillons n réellement utilisés (relation entre le biais acceptable et la variance d'estimation).

5. - Réalisation pratique des algorithmes d'estimation

Au moins en monodimensionnel, l'algorithme de base a pu être rendu itératif, même dans la variante à trou central. Cependant la réalisation en temps réel reste à la limite des possibilités technologiques et suppose l'emploi de machines très rapides.

6. - Utilisation des estimées

6.1. - Algorithme "une passe"

Si on fait l'hypothèse d'un signal gaussien centré, moyenne et écart type se déduisent l'un de l'autre. En conséquence, si par exemple l'hypothèse de bruit "sphériquement invariant" est vérifiée, on peut se limiter à l'estimation de la moyenne et normaliser par la formule

$$\bar{S} = \frac{S}{\hat{m}}$$

\bar{S} signal normé \hat{m} estimée de la moyenne

S signal original.

Si on est en présence d'un signal issu de gaussien centré (par exemple après détection quadratique intégration) le bruit n'est plus ni centré ni gaussien stricto-sensu, mais il reste des relations connues stables entre différents moments.

On pourra alors utiliser des formules de normalisation de la forme

.../...

$$\bar{S} = \frac{S - \hat{m}}{\hat{\sigma}}$$

avec $\hat{\sigma} = k\hat{m}$ k coefficient constant dépendant du traitement.

Dans ces deux cas, on est dans le cadre algorithme "une passe" signifiant par là qu'une seule estimation est faite.

6.2. - Algorithme "deux passes"

Si le caractère gaussien, au moins sous jacent, ne peut être supposé, et si le signal à normer n'est pas centré, il est préférable de normer successivement aux deux premiers ordres.

La moyenne \hat{m} est d'abord estimée et le signal recentré

$$\bar{S}_{(c)} = S - \hat{m} \quad (\text{première passe})$$

Dans une deuxième passe, la variance est estimée, toujours avec un estimateur P/N (mais avec une formule de la forme)

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n} \sum_{n \text{ plus petits parmi } N} S_{(c)}^2$$

et le signal finalement normé par

$$\bar{S} = \frac{\bar{S}_{(c)}}{\hat{\sigma}}$$

permettant ainsi de normer aux deux premiers ordres.

Nota 1 : Dans certains cas, on pourra se contenter de la formule hybride une passe avec

$$\bar{S} = \frac{S - \hat{m}}{\hat{\sigma}}$$

Si le problème traité n'impose que la suppression de la composante continue (centrage de dynamique pour une visualisation par exemple, l'information utile n'étant portée que par la variance).

Nota 2 : De même si on est en présence d'un bruit centré on pourra normer au 2ème ordre avec un algorithme "une passe" estimant $\hat{\sigma}$ et une normalisation de la forme

$$\bar{S} = \frac{S}{\hat{\sigma}}$$

7. - Analyse des résultats obtenus

"Visuellement" les résultats obtenus sont excellents.

Des essais de classification des performances des différents algorithmes présentés ci-dessus, ainsi que d'algorithmes déduits de ceux-ci et qualifiés de "simplifiés", c'est-à-dire modifiés pour en faciliter la réalisation technologique, ou réduire le temps de calcul dans le cas d'utilisation de machines programmables,

ont été réalisés en utilisant comme critère la technique des courbes COR (Caractéristiques opérationnelles des récepteurs).

Ces essais montrent que, généralement, ce sont les algorithmes les plus "complets" qui donnent les meilleurs résultats, cependant certains algorithmes "approchés" donnent des résultats satisfaisants, c'est-à-dire très peu dégradés.

Enfin, on a pu constater que si un bruit stationnaire devait théoriquement donner une probabilité ou un taux de fausse alarme constant lorsque comparé à un seuil fixe, il n'en était pas nécessairement exactement ainsi pour des bruits réels stationnarisés aux deux premiers ordres par les algorithmes présentés. En conséquence, si le problème de la régulation du taux de fausse alarme dans les appareils de détection automatique est très largement réduit par l'utilisation de ces algorithmes il n'est cependant pas nécessairement totalement résolu.

Au plan pratique, le choix dans chaque cas particulier des meilleurs paramètres de normalisation (essentiellement choix des supports d'estimation et de leurs exclusions) reste largement plus un art subjectif qu'un processus quantifiable obéissant à des règles précises.

