

Détermination automatique des paramètres d'une transmission numérique

C. Boudier ; G. Burel ; S. Azou

Laboratoire d'Electronique et Systèmes de Télécommunications - UMR CNRS n°6616 -
6 Av. Le Gorgeu B.P. 809 29285 BREST Cedex

{Celine.Boudier ; Gilles.Burel}@univ-brest.fr
{azou@poseidon.ecole-navale.fr}

1 Introduction

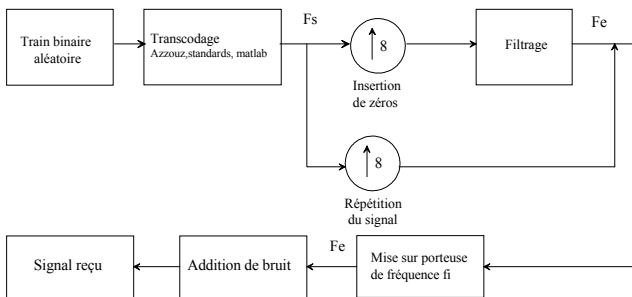
Le travail résumé ci-dessous a été réalisé dans le cadre du stage de DEA d'électronique de C. Boudier [1]. Il s'agit de déterminer automatiquement les paramètres d'une transmission numérique. L'objectif étant de trouver automatiquement le type de modulation (ASK2, ASK4, PSK2, PSK4, FSK2, FSK4), la fréquence porteuse et la fréquence symbole d'un signal reçu ou intercepté.

Cette étude entre dans un cadre militaire pour la surveillance des spectres, comme dans un cadre civil pour la création d'un récepteur capable de s'adapter automatiquement à tous types de signaux.

2 Contexte de l'expérience

Les expériences ont été réalisées dans le cadre d'un filtrage à la réception et éventuellement à l'émission en présence de bruit pour que les résultats soient exploitables en pratique.

Présentation de l'émetteur et du récepteur



Le message initial est à la fréquence symbole de 1MHz. Il subit un transcodage selon le type de modulation choisi. Le signal est ensuite suréchantillonné soit en insérant des zéros, soit en répétant le signal. Suréchantillonner le signal augmente la période dans le domaine fréquentiel, ce qui permet un décalage en fréquence ou une mise sur porteuse ici à 3MHz. On ajoute alors du bruit pour représenter le milieu de transmission. C'est le signal qui est reçu ou intercepté.



Le signal reçu est alors ramené en bande de base ou

démodulé, et filtré de manière à ne conserver que le signal utile.

Modulations étudiées

Les modulations étudiées sont un peu différentes de celles plus couramment utilisées dites 'standards' : elles sont présentées dans l'ouvrage [2]. A partir de ces modulations on calcule des paramètres caractéristiques de chaque modulation.

3 Calcul des paramètres

Cinq paramètres discriminants ont été calculés à partir d'histogrammes des amplitudes, phases et fréquences instantanées du signal ramené en bande de base :

- L'écart type de la valeur absolue de l'amplitude instantanée.
- L'écart type de la valeur absolue de la phase instantanée.
- L'écart type de la phase instantanée.
- L'écart type de la fréquence instantanée.
- Le maximum de la valeur absolue de la densité spectrale de puissance de l'amplitude instantanée.

Chaque modulation est alors représentée par l'ensemble des cinq paramètres qui la caractérisent.

4. Reconnaissance du type de modulation.

La reconnaissance du type de modulation a été orchestrée par une analyse en composantes principales des cinq paramètres et par un réseau de neurones. Chacune de ces deux méthodes prend en compte simultanément tous les paramètres caractéristiques du signal reçu, ce qui permet une analyse rapide de la transmissions numérique.

Analyse en composantes principales

On crée une base de données composée des six modulations à reconnaître, représentées par les cinq paramètres. Chaque exemple sera un point dans un espace à cinq dimensions et l'ensemble des exemples représentatifs d'une modulation formera un nuage de points. Le résultats de l'analyse de données donnera six nuages de points.

L'expérience démontre que les six nuages de points sont séparés les uns des autres, sauf pour deux modulations : PSK4 et FSK4, quelque soit le type de suréchantillonnage

utilisé à l'émission. Les cinq paramètres étudiés sont donc suffisamment discriminants pour reconnaître les modulations.

Résultats du réseau de neurones

Le réseau fonctionne en deux phases : l'une d'apprentissage, l'autre de test. Pour la phase d'apprentissage il est nécessaire de fournir une base de données pour l'entrée du réseau et la base de données correspondantes de sortie. Les bases de données sont construites sur le même principe que celle de l'analyse en composantes principales. Les résultats obtenus sont de l'ordre de 80% de reconnaissance sur la base de test, pour un rapport signal à bruit de 10 dB.

Une étude plus approfondie des cinq paramètres permet de constater qu'un d'entre eux a un ordre de grandeur beaucoup plus grand que les autres, ce qui perturbe le réseau, d'où l'idée de normaliser les paramètres. Les résultats obtenus sont alors de 88%.

Pour généraliser les résultats l'expérience a été réalisée avec les constellations les plus couramment employées, les taux de reconnaissance avoisinent 97%.

Mais avant de pouvoir reconnaître les modulations, il faut déterminer les fréquences porteuse et symbole.

5 Estimation des fréquences porteuse et symbole.

Fréquence porteuse

La fréquence porteuse est déterminée une première fois de manière approximative par la formule de la moyenne appliquée à la densité spectrale de puissance. Une fois cette fréquence déterminée, on peut ramener le signal approximativement en bande de base et affiner l'estimation. Le signal en bande de base a pour expression :

$$S(t) = \sum_k a_k h(t - kT) \exp(i2\pi ft)$$

où f est la correction de fréquence recherchée. Elle est déterminée à partir de l'autocorrélation $R(t)$ du signal reçu :

$$R(t) = \frac{1}{N} \sum_{\tau=1}^N S(t) S^*(t - \tau)$$

La correction de fréquence est : $f = \frac{\arg(R)}{\tau 2\pi}$

Une fois la fréquence porteuse connue, on peut déterminer la fréquence symbole à partir du signal en bande de base.

Fréquence symbole

Le calcul est inspiré de l'article [3].

A partir du signal en bande de base, on calcule un nouveau signal Z :

$$Z(t) = S(t) S^*(t - \tau)$$

On peut démontrer que ce signal possède une composante périodique $R(t) = E(S(t) S^*(t - \tau))$. La transformée de Fourier du signal $Z(t)$ présentera alors des raies

espacées de $\frac{1}{T}$, cette valeur correspondant à la fréquence symbole.

6 Conclusion

Dans l'ensemble, les résultats obtenus pour la reconnaissance du type de modulation et l'estimation des fréquences porteuse et symbole sont fiables jusqu'à un rapport signal à bruit de 10dB, avec des taux de reconnaissance supérieurs à 80%. Le calcul des fréquences permet de démoduler le signal reçu pour le ramener en bande de base et, connaissant la fréquence symbole, de retrouver la séquence émise, une fois le type de modulation déterminé.

De manière à généraliser les résultats, il faudrait prendre en compte un plus grand nombre de modulation, comme les modulations d'amplitude en quadrature, un plus grand nombre d'états, et mieux matérialiser le canal en considérant les échos. Les méthodes mises en oeuvre devraient également pouvoir se généraliser à d'autre type de transmissions comme l'étalement de spectre ou les transmissions OFDM. Ces perspectives seront étudiées dans le cadre de la thèse de C. Boudier.

Références

- [1] C. Boudier, 'Détermination automatique des paramètres d'une modulation numérique', rapport de stage de DEA d'électronique, Université de Bretagne Occidentale. 1998.
- [2] E. Azzouz, A. Nandi 'Automatic modulation recognition of communication signals'. Kluwer Academic Publishers. 1996.
- [3] P. Gournay, P. Nicolas 'Analyse spectrale cyclique et analyse temps-fréquence pour l'identification automatique de transmissions.'. Quinzième colloque GRETSI de Juan-Les-Pins du 18 au 21 septembre 1995.