

Formalisation des Métriques de Détection pour Signaux LPI

Mazouz Reihan

December 12, 2024

1 Introduction

La notion de SNR (signal-to-noise ratio) est souvent définie dans les problématiques de détection de signaux dans du bruit à des fins d'évaluation ou de comparaisons de diverses méthodes de détection. Cependant c'est un concept qui parfois ne permet pas de mesurer correctement la complexité d'une situation. Ce document formalise trois métriques clés utilisées pour évaluer la détection de signaux à faible probabilité d'interception (LPI) : le SNR en termes de rapport d'énergie (*SNER*), le SNR dans une fenêtre de détection (*SNEWER*), et le SNR dans une cellule de la transformée de Fourier à court terme (*SNECR*).

2 Rapport d'énergie de signal et de bruit (*SNER*)

Le *SNER* est une mesure du rapport d'énergie entre le signal et le bruit sur la durée du signal. Il est défini comme suit :

$$SNER = \frac{\int_0^T P_s(t) dt}{\int_0^T P_b(t) dt}$$

où P_s est la puissance du signal de durée T et P_b celle du bruit durant T .

C'est une définition couramment utilisée mais qui n'est pas représentative de la difficulté de détection lorsque le signal est tronqué dans le domaine temporel ou fréquentiel tel que ce peut être le cas dans les systèmes de réception analogique-numérique dépendants d'une fenêtre d'écoute

3 Rapport d'énergie signal bruit dans une Fenêtre de détection (*SNEWER*)

Le *SNEWER* mesure le rapport d'énergie entre le signal et le bruit dans une fenêtre de détection, permettant d'évaluer la capacité de détecter le signal sur un intervalle temporel ou fréquentiel donné. Il est exprimé comme :

$$SNWER = \frac{\int_0^{T_s} P_s(t)dt}{\int_0^{T_w} P_b(t)dt}$$

où T_s est la durée du signal dans la fenêtre et T_w la durée de la fenêtre. Cette définition peut-être intéressante par exemple pour les détecteurs par intégration car avec une fenêtre d'intégration bien dimensionnée, il est possible d'évaluer correctement sa capacité de détection. Cependant, cette définition peut ne pas suffire pour évaluer la détection de signaux LPI, dont les caractéristiques temps-fréquence sont souvent peu connues.

4 Rapport d'énergie signal bruit par cellule (*SNECR*)

Le *SNECR* est le rapport de l'énergie maximale du signal dans une cellule de l'image temps fréquence par rapport à l'énergie moyenne du bruit par cellule de l'image temps fréquence. Il se définit comme :

$$SNECR = \frac{\max_{f,s} |Z_s(t, f)|^2}{\frac{1}{T_w B_w} \int_0^{T_w} \int_0^{B_w} |Z_b(t, f)|^2 df dt}$$

où Z_s et Z_b désignent respectivement une cellule de l'image temps fréquence du signal et une cellule de l'image temps fréquence du bruit. B_w est la largeur de bande de la fenêtre.

5 Conclusion sur l'utilisation des métriques de SNR dans la détection de signaux LPI

Chaque métrique fournit des informations uniques sur la capacité de détecter des signaux sous des conditions spécifiques.

Table 1: Capacités de dissimulation d'un signal LPI selon différentes métriques de SNR

Capacité de dissimulation	SNER	SNEWR	SNECR
Prise en compte de la fenêtre d'acquisition	x	v	v
Dilatation de l'énergie temporelle du signal	v	x	v
Dilatation de l'énergie fréquentielle du signal	x	x	v
Prise en compte de la dimension temporelle du signal	x	v	x
Prise en compte de la dimension fréquentielle du signal	x	x	x

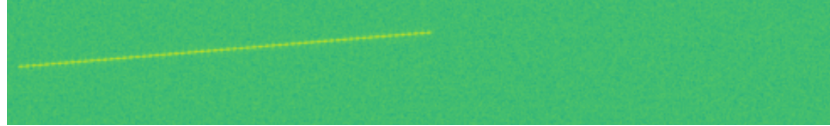
Sur le tableau ci-dessus, nous pouvons observer qu'aucune métrique ne permet d'évaluer entièrement la complexité de détection des signaux LPI. Nous pouvons tout de même remarquer que SNECR permet de mesurer la capacité

de dilatation de l'énergie en temps et en fréquence des signaux LPI tout en considérant la fenêtre d'acquisition d'un système de réception RF. Dans nos expérimentations, on a pu vérifier que la dimension du signal pouvait aussi impacter la capacité de détection de nos algorithmes (choix de la dimension de la grille pour un GLRT par grille, les modèles de types YOLO ne détectent pas aussi bien les petits objets que les gros), de ce fait, il semble important d'avoir aussi une évaluation de la dimension temporelle et fréquentielle de nos signaux.

Pour effectuer une comparaison efficace de nos méthodes de détection, nous proposons l'algorithme suivant pour la génération de notre base de données :

- Définir la taille de la fenêtre d'acquisition du récepteur ainsi que la durée de la fenêtre pour la Transformée de Fourier à Court Terme (STFT).
- Pour chaque valeur de $SNECR$ (Rapport d'Énergie Signal-Bruit dans une cellule d'image temps fréquence) :
 - Pour chaque valeur de T :
 - * Pour chaque valeur de B
 - Simuler n fois une impulsion localisée aléatoirement dans l'image temps-fréquence de la fenêtre d'acquisition d'une durée T et d'une largeur de bande B .

6 Quelques exemples illustratifs



(a) SNPR = -10 dB, SNWER= -9.8 dB, SNECR = -10 dB, T= 100 μs



(b) SNPR = -10 dB, SNWER= -9 dB, SNECR = -10 dB, T= 100 μs



(c) SNPR = -8.5 dB, SNWER= -9 dB, SNECR = -8,53 dB, T= 10 μs

Figure 1: Illustrations des trois métriques de SNR.