

TP 1 ETRS802_ESET

Radar de suivi aérien courte portée

Détection d'un écho RADAR - Processus de base

Application au calcul de distance par intercorrelation de signaux.

But du TP : Déterminer la distance d'une cible (avion) par rapport à la piste d'atterrissage.

Objectifs d'apprentissage :

- Tracer les signaux temporels en utilisant les bonnes échelles, les analyser.
- Manipuler les concepts liés à l'échantillonnage de signaux.
- Etablir les bonnes échelles fréquentiels connaissant la période d'échantillonnage et les durées des signaux.
- Calculer, tracer et analyser les transformées de fourrier des signaux.
- Se familiariser avec la fonction d'intercorrelation et ses applications.

Nota :

- Les Informations de base concernant le fonctionnement des radars disponibles en annexe.
- tous les calculs du TD se feront sous Matlab, quelques info Matlab sont disponibles en annexe.

Base de travail : pour répondre à la plupart des questions du TD, il faudra compléter le fichier Matlab « **TraiteEchoRadar_Etudiant.m** » fourni par l'enseignant.

Figures de la simulation sous Matlab : Chaque figure devra être sauvegardée (demander à l'enseignant comme faire) afin de pouvoir faire des comparaisons entre les différentes parties du TP. Le nom des figures doit reprendre le numéro affecté à la figure (exemple fig111, donne lieu au fichier « **figure111.fig** »)

1) Signal écho RADAR n°1 : écho idéal.

Vous avez à disposition deux fichiers .txt de données :

- « **ImpulsionRadarEmise.txt** » qui contient les valeurs de l'échelle temporelle et celles de tension du signal (impulsion constituée de sinusoides) émis par le radar
- « **SignalEchoRadar1.txt** » qui contient les valeurs de l'échelle temporelle et celles de tension du signal qui s'est réfléchi sur la cible (avion)

Questions 1.1

- a) Chargez les données des deux fichiers sous Matlab et créez respectivement les vecteurs « *Temps* » et amplitudes des signaux : « *ImpRadarEM* » et « *EchoRadar1* »
- b) Tracez sur deux figures séparées (fig111 et fig112) les deux signaux puis ensemble sur la figure 113 ?
- c) Donnez la durée de l'impulsion radar émise et celle de son écho ? idem pour leurs amplitudes ? Commentez ?
- d) Quel est le retard de l'écho par rapport à l'impulsion radar ? Comment faites-vous pour évaluer ce retard, est-il possible de le calculer automatiquement par Matlab au moyen de quelques lignes de code que nous nommerons *AlgoCalculRetard 1* ?
Appelez l'enseignant et expliquez-lui !!
- e) Calculez la distance qu'il existe entre le radar et la cible détectée ? Expliquez le processus suivi pour aboutir au résultat.

Questions 1.2

- a) Connaissant le *pas temporel* (période d'échantillonnage), la *durée des signaux* et leurs nombres de points, établissez un vecteur fréquence « *Freq* » qui contiendra les valeurs d'une échelle de fréquence symétrique par rapport à la fréquence 0 Hz ? Selon vous quelles doivent être les valeurs minimum et maximum de cette échelle ?
- b) Calculez les modules et les phases des transformées de Fourier (TF) bilatérales (échelle de fréquence symétrique par rapport à la fréquence 0 Hz) des signaux « *ImpRadarEM* » et « *EchoRadar1* ».
Affichez les avec la bonne échelle de fréquence et les bonnes amplitudes, respectivement :
 - *module TF de ImpRadarEM sur la figure 121*
 - *phase TF de ImpRadarEM sur la figure 122*
 - *module TF de EchoRadar1 sur la figure 123*
 - *phase TF de Phase EchoRadar1 sur la figure 124*
- c) En observant les figures 121 et 123, quelles sont les fréquences des signaux sinusoïdaux contenus dans l'impulsion Radar émise et dans celui de l'écho Radar ?
Justifiez votre réponse puis Faites une vérification des résultats obtenus en déduisant ces fréquences du domaine temps (figure 113) ?
- d) Comparer les amplitudes des spectres des signaux « *ImpRadarEM* » et « *EchoRadar1* » ainsi que leurs phases ? Commentez ?
- e) Sur les figures « *module* » des transformées de Fourier, en zoomant sur le bas des amplitudes des composantes fréquentielles des deux signaux, expliquez pourquoi vous pouvez observer des lobes ?
Pourquoi les amplitudes ne sont pas en rapport avec celles que l'on observe dans le domaine temps ?
Rappel : $TF[\sin(\omega_0 * t)] = -j * (1/2) * \delta(f - f_0) + j * (1/2) * \delta(f + f_0)$, avec $\omega_0 = 2 \pi f_0$

Questions 1.3

Dans cette partie nous allons réaliser des intercorrelations de signaux dans le domaine temps au moyen de la fonction matlab « **xcorr** ». Intercorrélérer deux signaux permet de quantifier si ces derniers sont très ressemblants ou pas.

Si on réalise une corrélation d'un signal avec lui-même (autocorrélation), le résultat donnera des valeurs très élevées notamment lorsqu'il n'y a pas de décalage temporel τ entre les deux occurrences du signal ($\tau = 0 \Rightarrow$ pic d'intercorrelation) : valeurs élevées de corrélation \Rightarrow signaux très fortement ressemblants.

Si on réalise une corrélation de deux signaux différents (intercorrelation), le résultat peut donner des valeurs plus moins élevées et parfois faibles même lorsqu'il n'y a pas de décalage temporel τ ($\tau = 0$) entre les deux signaux : valeurs d'intercorrelation plus ou moins élevées voire faibles \Rightarrow signaux très différents voire très différents.

La corrélation de signaux permet, entre autre, de détecter la présence d'un signal qu'on recherche dans un second signal (même si le signal recherché n'est pas visible de premier abord dans le second signal).

Nous utiliserons la fonction Matlab **xcorr(... , ...)** pour réaliser les corrélations ; attention la corrélation n'est pas commutative : **xcorr(Signal 1 , Signal2) \neq xcorr(Signal 2 , Signal1)**.

- a) Réalisez une corrélation « **AutoCorr_ImpRadarEM** » du signal « **ImpRadarEM** » avec lui-même (autocorrélation) et une intercorrelation « **InterCorr_ImpRadarEM_EchoRadar1** » du signal « **ImpRadarEM** » avec le signal « **EchoRadar1** ».

Quel est le nombre de points obtenus pour chaque corrélation, comparer avec celui des deux signaux « **ImpRadarEM** » et « **EchoRadar1** » ?

Conclusion ?

- b) Affichez sur une même figure (fig 131) les corrélations « **AutoCorr_ImpRadarEM** » et « **InterCorr_ImpRadarEM_EchoRadar1** » avec la bonne échelle de temps.

Pour chaque corrélation, repérez les PICS de corrélation puis en déduire le temps **T_{coor}** qu'il existe entre ces derniers ?

Comparez T_{coor} avec le retard (retard de l'écho par rapport à l'impulsion radar) trouvé à la question 1.1.d) ?

Conclusion ?

- c) Est-il possible de calculer automatiquement le retard par Matlab au moyen d'intercorrelations et de quelques lignes de code Matlab que nous nommerons

AlgoCalculRetard 2.

Appelez l'enseignant et expliquez-lui !!

- d) A ce stade du TD, avez-vous une idée (ou peut-être pas) sur l'efficacité de **AlgoCalculRetard 1** et de **AlgoCalculRetard 2** ?

Quel Algo choisiriez vous ? En fait la question qui se pose est : faut-il faire une corrélation pour évaluer le retard ou pas.

Appelez l'enseignant et expliquez-lui !!

- e) Sur les résultats (figures) des corrélations, déterminer la fréquence des oscillations observées ? Commentez ?

2) Signal écho RADAR n°2 : écho avec signaux parasites perturbateurs.

Vous avez toujours à disposition le fichier .txt de données :
« *ImpulsionRadarEmise.txt* » qui contient les valeurs de l'échelle temporelle et celles de tension du signal émis par le radar.
Vous allez maintenant utiliser le fichier .txt de données « *SignalEchoRadar2.txt* » qui contient les valeurs de l'échelle temporelle et celles de tension du signal (le même que dans *SignalEchoRadar1.txt*) qui s'est réfléchi sur la cible (avion) et qui est **perturbé par 2 signaux parasites**.

Questions 2.1

- a) Tracez sur deux figures séparées (fig211 et fig212) les deux signaux *ImpRadarEM* et *EchoRadar2* puis ensembles sur la figure 213 ?
- b) Repérez et identifiez les deux signaux parasites ainsi que l'écho radar que l'on souhaite récupérer pour le calcul de la distance avion-radar ?
Est-ce que selon vous, les signaux parasites pourraient compromettre le calcul de la distance avion-radar ? doit-on s'y soustraire ? Si oui comment ?
Appelez l'enseignant et expliquez-lui !!
- c) Pour les 3 signaux (signaux parasites et echo radar), déterminez leur fréquence, leur amplitude, leur durée ? Commentez ces résultats ?
Pour calculer la distance avion-radar, peut-on utiliser AlgoCalculRetard 1 ?
Expliquez ?
- d) Calculez les modules et les phases des transformées de fourrier (TF) bilatérales (échelle de fréquence symétrique par rapport à la fréquence 0 Hz) des signaux « *ImpRadarEM* » et « *EchoRadar2* ».
Affichez les avec la bonne échelle de fréquence et les bonnes amplitudes, respectivement :
 - *module TF de ImpRadarEM sur la figure 214*
 - *phase TF de ImpRadarEM sur la figure 215*
 - *module TF de EchoRadar2 sur la figure 216*
 - *phase TF de Phase EchoRadar2 sur la figure 217*
- e) Comparez les modules de la TF de *EchoRadar1* et de la TF de *EchoRadar2* (figures 123 et 216) ?
Commentez ce que vous observez ?
Au regard, des modules des TF, est-il possible d'éliminer les signaux parasites du signal *EchoRadar2* au moyen d'un filtrage pour ne conserver que l'écho radar ?
Proposez une solution si vous en avez une ?

Questions 2.2

- a) Réalisez une corrélation « *AutoCorr_ImpRadarEM* » du signal « *ImpRadarEM* » avec lui-même (autocorrélation) et une intercorrélation « *InterCorr_ImpRadarEM_EchoRadar2* »

du signal « *ImpRadarEM* » avec le signal « *EchoRadar2* ».

- b) Affichez sur une même figure (fig 221) les corrélations « *AutoCorr_ImpRadarEM* » et « *InterCorr_ImpRadarEM_EchoRadar2* » avec la bonne échelle de temps.
Pour la corrélation « *InterCorr_ImpRadarEM_EchoRadar2* », repérez les 2 zones associées aux signaux parasites et celle associée à l'écho radar ?
- c) Déterminez les amplitudes maximum des trois zones. Si une amplitude est un PIC de corrélation, que cela signifie t'il ?
Déterminez et le moment où ce pic apparaît par rapport au PIC de l'autocorrélation « *AutoCorr_ImpRadarEM* » ?
Commentez les résultats obtenus ?
- d) Pour calculer automatiquement (par Matlab) le retard entre le signal radar émis et l'écho radar quel algorithme doit on utiliser : *AlgoCalculRetard 1* ou *AlgoCalculRetard 2* ?
Appelez l'enseignant et expliquez-lui !!

3) Signal écho RADAR n°3 : écho avec bruit parasite aléatoire

Vous avez toujours à disposition le fichier .txt de données :
« *ImpulsionRadarEmise.txt* » qui contient les valeurs de l'échelle temporelle et celles de tension du signal émis par le radar.
Vous allez maintenant utiliser le fichier .txt de données « *SignalEchoRadar3.txt* » qui contient les valeurs de l'échelle temporelle et celles de tension du signal (le même que dans *SignalEchoRadar1.txt*) qui s'est réfléchi sur la cible (avion) mais qui est **perturbé par du bruit aléatoire**.

Questions 3.1

- a) Tracez sur deux figures séparées (fig311 et fig312) les deux signaux *ImpRadarEM* et *EchoRadar3* puis ensembles sur la figure 313 ?
- b) Commentez ce que vous observez sur le signal *EchoRadar3* ?
Pouvez-vous à l'œil nu déterminer le retard de l'écho par rapport à l'impulsion radar ?
Peut-on utiliser l'algorithme *AlgoCalculRetard 1* pour déterminer automatiquement le retard ou l'algorithme *AlgoCalculRetard 2* ?
- d) Calculez les modules et les phases des transformées de fourrier (TF) bilatérales (échelle de fréquence symétrique par rapport à la fréquence 0 Hz) des signaux « *ImpRadarEM* » et « *EchoRadar3* ».
Affichez les avec la bonne échelle de fréquence et les bonnes amplitudes, respectivement :
 - module TF de *ImpRadarEM* sur la figure 314
 - phase TF de *ImpRadarEM* sur la figure 315
 - module TF de *EchoRadar3* sur la figure 316
 - phase TF de *EchoRadar3* sur la figure 317

- e) Au regard, des modules des TF, est-il possible d'éliminer le bruit au moyen d'un filtrage pour essayer de faire apparaître l'écho radar?
Proposez une solution si vous en avez une ?

Questions 3.2

- a) Réalisez une corrélation « *AutoCorr_ImpRadarEM* » du signal « *ImpRadarEM* » avec lui-même (autocorrelation) et une intercorrélation « *InterCorr_ImpRadarEM_EchoRadar3* » du signal « *ImpRadarEM* » avec le signal « *EchoRadar3* ».
- b) Affichez sur une même figure (fig 321) les corrélations « *AutoCorr_ImpRadarEM* » et « *InterCorr_ImpRadarEM_EchoRadar3* » avec la bonne échelle de temps.
Pour les deux corrélations, repérez les PICS de corrélation et déterminez le temps qu'il existe entre eux ?
Comparer au retard que vous avez obtenu aux questions 1.1.d et 1.3.b ?
Conclure ?

4) Echos radar réels

Sur les échos radar que je vous ai proposés, je n'ai pas tenu compte d'un phénomène important qui dans bien des cas modifie la fréquence du signal écho réfléchi par la cible (avion, ...)

- Quel est ce phénomène que vous devez probablement connaître ?
- En cherchant sur internet, expliquez pourquoi la fréquence de l'écho radar peut changer légèrement ?
- Dans quel cas la fréquence de l'écho radar a peu de chance de changer ? expliquez ?

5)Réflexion sur les traitements réalisés numériquement et le contexte

Tous les traitements et calculs réalisés jusqu' à présent ont pu être effectués grâce au fait que les signaux ont pu être numérisés :

- Echantillonnage
- Quantification
- Stockage en mémoire

et ainsi donner lieu à des informations numériques : des données.

- Pensez - vous qu'il soit possible de réaliser des corrélations temps réels sur des signaux sans traitement numériques ? Argumentez ?
- Pensez- vous qu'il soit possible de numériser les signaux radars que l'on vient de traiter? Argumentez ?

6) Passage en bande de fréquence intermédiaire FI

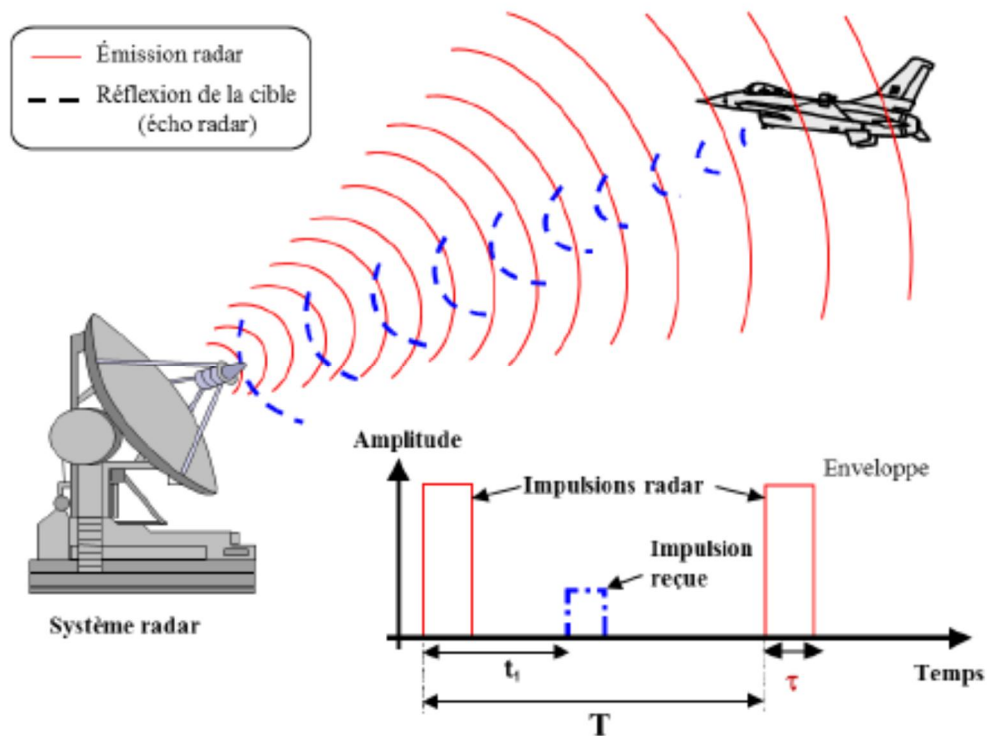
En construction et ouvert à la discussion !!

ANNEXE

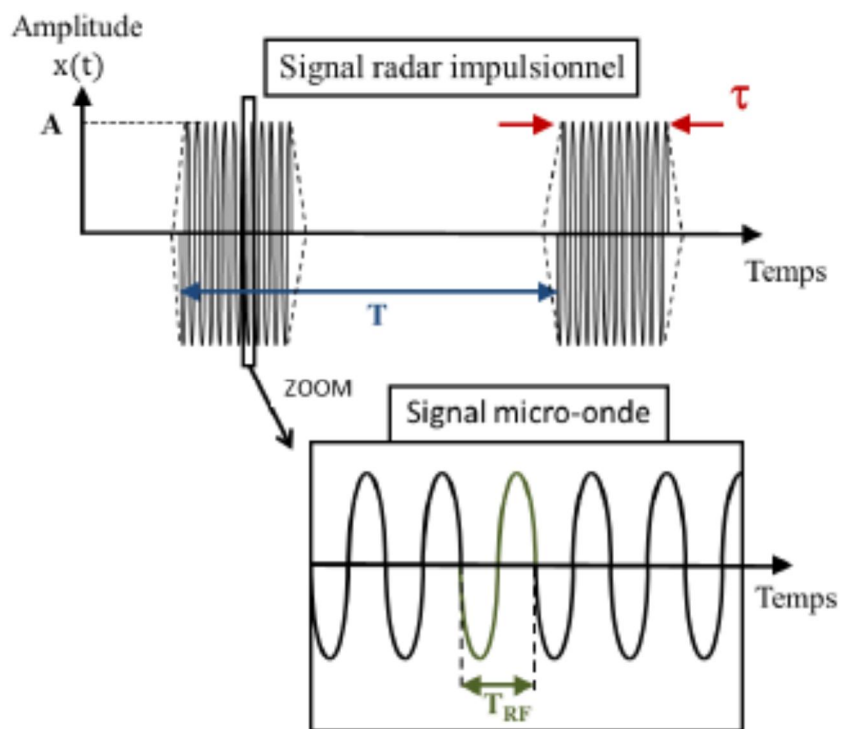
Principales gammes de fréquences porteuses pour applications radar

| Fréquence | IEEE | Types de radars |
|------------|------|---|
| 3-30 MHz | HF | Radars transhorizon, Radars spécifiques (contre avions furtifs) |
| 30-300 MHz | VHF | |
| 0.3-1 GHz | UHF | Radars longue portée : suivi des satellites |
| 1-2 GHz | L | Radars longue portée : suivi du trafic aérien |
| 2-4 GHz | S | Trafic aérien, côtier et météo |
| 4-8 GHz | C | Surveillance aérienne, conduite de tir |
| 8-12 GHz | X | Radars aéroportés, conduites de tir, radar d'atterrissage |
| 12-18 GHz | Ku | |
| 18-27 GHz | K | |
| 27-40 GHz | Ka | |
| 40-75 GHz | V | Auto-Directeurs de missiles |
| 75-110 GHz | W | |

Principe de détection d'une cible avec un radar impulsionnel



Représentation dans le domaine temporel du motif de base du signal radar impulsionnel



Quelques fonctions Matlab qui vous seront peut être utiles :

length(), figure(...), plot(...), min(...), max(...), fft(...), fftshift(...), abs(...), angle(...), xcorr(...),

Petits rappels, sous Matlab :

- $*$ est un produit simple ou un produit MATRICIEL d'un vecteur par un autre vecteur, d'une matrice par une autre matrice ou mixte, si les nombres de lignes ou de colonnes sont bien en correspondance.
- $.*$ est le produit de composantes à composantes de deux vecteurs ou de deux matrices.
- idem pour la division $\Rightarrow /$ et $./$.
- pour passer un vecteur ligne en colonne ou l'inverse $\Rightarrow .'.$