

TP ME2 : Conversion analogique-numérique et traitement statistique de données

Objectifs

Le terme « numérique » est devenu, au cours des vingt dernières années, un argument de vente pour un grand nombre de biens de consommation courante. Les appareils photographiques, la vidéo, la télévision ou encore le téléphone utilisent tous aujourd'hui une technologie numérique. Pourtant, les signaux qu'ils captent, analysent, filtrent, amplifient et réémettent sont encore régulièrement analogiques. Comment s'effectue alors le passage du signal analogique au signal numérique ?

L'objectif essentiel de ce TP est d'aborder quelques uns des principaux effets qu'entraîne la conversion analogique-numérique (CAN) sur l'analyse des systèmes et des phénomènes étudiés.

On s'intéressera spécifiquement à la quantification d'un signal numérique suite à la discrétisation par échantillonnage d'un signal analogique. On cherchera dans un premier temps à estimer le nombre de bits de la CAN utilisée. Dans un second temps, on observera et on analysera les fluctuations d'un signal analogique acquis, *a priori* constant. Un traitement statistique des données nous permettra de porter un regard critique sur les mesures obtenues.

À l'issue du TP, il s'agira de maîtriser les capacités suivantes :

- ★ Choisir de façon cohérente la fréquence d'échantillonnage et la durée d'acquisition.
- ★ Établir un protocole visant à déterminer le nombre de bits d'une CAN.
- ★ Traiter des données de mesures et en extraire les caractéristiques statistiques.

I. Présentation du matériel

Le matériel utilisé pour ce TP est, par poste élève :

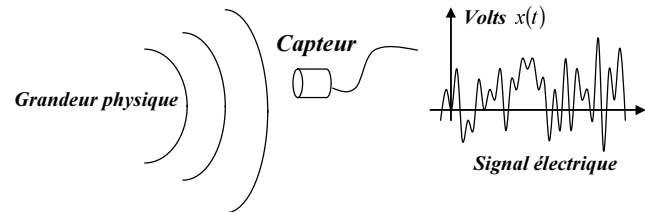
- ☐ un GBF avec tension continue (*offset*) ;
- ☐ un multimètre ;
- ☐ une carte d'acquisition SYSAM SP5 ;
- ☐ un ordinateur muni du logiciel Latis Pro ;

Le professeur disposera du même matériel, ainsi que d'un vidéoprojecteur relié à l'ordinateur.

II. Conversion analogique-numérique du signal

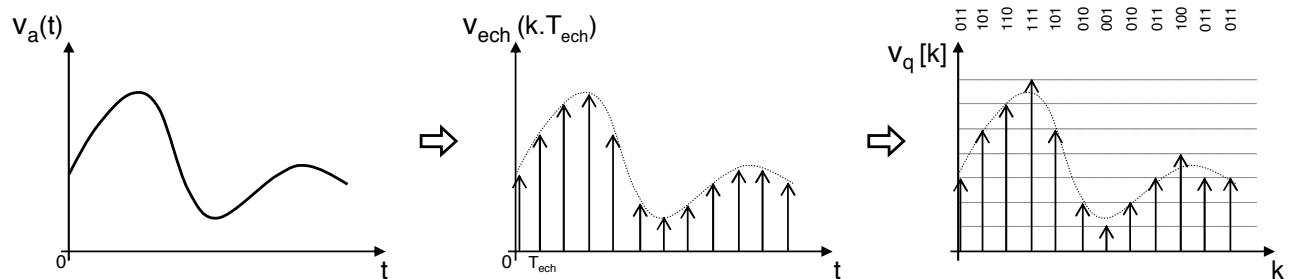
Document 1 : Principe de la conversion analogique-numérique du signal

La grandeur physique à mesurer peut être de nature diverse : onde de pression, sonore, onde électromagnétique, température, ... Il faut la convertir en signal électrique avant de la traiter. C'est le rôle d'un capteur. Le signal est donc une tension électrique en général fonction du temps. Elle est l'image des variations temporelles de la grandeur physique à mesurer.



Ce type de signal est qualifié d'analogique (par opposition aux signaux logiques ou numériques). C'est une fonction continue du temps : $x(t)$. Numériser un tel signal consiste à le remplacer par un ensemble dénombrable de valeurs numériques. Dans le cas d'un signal de durée finie, on passe d'un ensemble non dénombrable de valeurs à un ensemble fini. Les nombres ainsi obtenus sont alors codés en binaire (0 et 1).

Conceptuellement, la conversion analogique-numérique peut être divisée en trois étapes : l'échantillonnage temporel, la **quantification** et le **codage**.



Un signal analogique, $v_a(t)$ continu en temps et en amplitude est échantillonné à une période d'échantillonnage constante T_{ech} . On obtient alors un signal échantillonné $v_{ech}(k.T_{ech})$ discret en temps et continu en amplitude. Ce dernier est ensuite quantifié, on obtient alors un signal numérique $v_q[k]$ discret en temps et en amplitude. La quantification est liée à la résolution du CAN (son nombre de bits) ; dans l'exemple précédent $v_q[k]$ peut prendre huit amplitudes différentes (soit 2^3 , 3 étant le nombre de bits du CAN). La dernière figure présente également le code numérique sur trois bits (en code binaire naturel) associé à $v_q[k]$ en fonction du temps.

Document 2 : Caractéristiques d'une carte d'acquisition

Si la carte d'acquisition, utilisée pour la conversion A-N, code le signal sur un nombre n de bits (à valeur de 0 ou 1), cela donne 2^n valeurs accessibles. Lorsqu'on choisit le calibre $+C/-C$, ces 2^n valeurs sont réparties sur un intervalle allant de $-C$ à $+C$. Si la discrétisation est uniforme, l'intervalle qui sépare deux valeurs discrètes accessibles est donc de $\delta u = 2C/(2^n - 1)$. On en déduit :

$$n = \frac{1}{\ln 2} \ln \left(1 + \frac{2C}{\delta u} \right)$$

La mesure de δu permet donc d'avoir accès au nombre n de *bits* caractéristique de la carte d'acquisition utilisée.

Remarque : n est l'entier le plus proche de la valeur donnée par la formule précédente.

Document 3 : Fluctuations d'un signal continu

Considérons une situation expérimentale dans laquelle on demande à un générateur de délivrer une tension constante de valeur précise. Si l'on tente de mesurer la valeur vraie de la tension délivrée, la valeur réellement mesurée fluctue légèrement autour d'une valeur moyenne et ces fluctuations possèdent diverses origines.

On peut en la matière distinguer d'une part les fluctuations « naturelles » (bruit thermique ou bruit de grenaille) de la tension délivrée, et d'autre part une composante aléatoire de l'erreur introduite lors du processus de mesure. En réalisant une acquisition numérique de ce signal sur un nombre suffisant de points, on peut estimer par une étude statistique la valeur moyenne, ainsi que l'écart-type associé à cette répartition statistique.

III. Manipulations

Réaliser 3 séries de mesures d'une tension continue comprise entre 0 et 1 V avec les 3 calibres suivants : $+5/-5$ V, $+1/-1$ V ; et enfin $+10/-10$ V, à l'aide de la carte d'acquisition SYSAM SP5 et le logiciel Latis-Pro (*se reporter à la notice contenue dans les classeurs rouges*).

Pour chaque calibre, régler les paramètres d'acquisition pour obtenir 5000 points sur une durée totale de 1 s (avec une fréquence inférieure à 1 Hz pour un créneau) et sauvegarder le graphe donnant l'évolution temporelle de la tension présentée sous la forme d'un nuage de points. Exporter les couples de points correspondant au format .TXT.

IV. Exploitation

1. Quantification

✎ Commenter l'allure des graphes donnant l'évolution temporelle de la tension.

2. Détermination du nombre n de *bits* de la carte

✎ Importer dans un fichier Excel le fichier .TXT obtenu pour un calibre de $+5/-5$ V.

✎ Copier-coller dans une colonne vierge des valeurs des tensions et les classer par ordre croissant. Noter dans une nouvelle colonne les valeurs successives distinctes, dans l'ordre croissant, autorisées par la carte d'acquisition. En déduire δu puis le nombre n de bits de la carte (on prendra l'entier le plus

proche).

- ✚ Réitérer les trois étapes précédentes pour des calibres égaux à $+1/-1$ V et $+10/-10$ V.

3. Distribution statistique des données

- ✚ Pour chaque calibre, compter le nombre n_i de fois où apparaît chacune des valeurs autorisées v_i .
- ✚ Pour chacune des séries de mesures, déterminer la valeur moyenne et l'écart-type.
- ✚ Représenter à présent les nuages de points donnant dans chaque cas $n_i = f(v_i)$. Utiliser l'outil de modélisation de Latis Pro pour ajuster le nuage de points par une fonction de Gauss de type :

$$n_i = G(v_i) = n_0 + A \exp\left(-\frac{(v_i - v_0)^2}{2\sigma^2}\right)$$

où n_0 , A , v_0 et σ sont les paramètres de l'ajustement, v_0 correspondant à la valeur moyenne du signal et σ à l'écart type recherché. On commencera par fixer $n_0 = 0$ et on proposera comme valeur initiale de v_0 la valeur moyenne obtenue précédemment.

- ✚ Comparer les valeurs de v_0 et de σ obtenues ici à la valeur moyenne et à l'écart-type obtenus précédemment.

V. Ce qu'il faut retenir

Rédiger sur le cahier de laboratoire, à la suite des notes de TP, une fiche-bilan rappelant :

- ★ *les méthodes expérimentales qui ont été acquises,*
- ★ *les lois physiques qui ont été démontrées ou utilisées,*
- ★ *les nouvelles fonctions des appareils auxquelles on a fait appel. Pour ces dernières, préciser leur rôle et les moyens de les activer.*