

TD 1 Aquisition de données, capteurs

Jean-Marie Moureaux et Vincent Nivoliers

30 avril 2010

1 Convertisseur analogique – numérique

1.1 Cours

Le rôle d'un convertisseur analogique numérique (CAN) est de quantifier un signal d'entrée pour l'exprimer sous forme de nombres, afin d'en permettre le traitement numérique.

Le signal d'entrée est représenté par une tension électrique, qui varie dans une plage déterminée, définie par la *tension pleine échelle* U_p . Un convertisseur monopolaire travaillera sur la plage $[0, U_p]$, un bipolaire sur $[-\frac{U_p}{2}, \frac{U_p}{2}]$.

La sortie est un nombre exprimé en binaire sur un certain nombre de *digits* ou *bits*. La valeur numérique maximale N_{max} d'un convertisseur sur n digits est donc $2^n - 1$. La résolution du capteur r correspond à l'écart de tension représenté par une différence de 1 en sortie. On l'obtient simplement par l'expression $r = \frac{U_p}{N_{max}}$.

1.2 Application

source : scientillula.net

1.2.1 CAN

On souhaite s'équiper de cartes d'acquisition pouvant mesurer des tensions allant de 0 à 4,5V à 10mV près. Le modèle le moins cher trouvé sur le marché contient un CAN 8 digits monopolaire de calibre 5,0V.

1. Déterminer sa résolution. Ce modèle correspondrait-il aux spécifications ?
2. En ayant la même gamme, combien de digits faut-il pour que la précision soit suffisante ?

1.2.2 Multimètre

Un multimètre numérique contient un CAN 16 bits.

1. Quelle est la valeur numérique de sortie maximale de ce CAN ?
2. Calculer la résolution du CAN quand il est utilisé sur la gamme $[-20V, 20V]$ (calibre 20V du multimètre).
3. Pour ce calibre 20V le multimètre affiche un résultat avec 2 chiffres avant la virgule et trois chiffres après. Ce format d'affichage est-il approprié par rapport à la résolution du CAN ?
4. Pour ce calibre la précision du multimètre serait-elle moins bonne, identique, ou meilleure dans chacun des cas suivants :
 - ▷ si le résultat de la mesure était affiché avec seulement deux chiffres après la virgule ?
 - ▷ si le résultat de la mesure était affiché avec 4 chiffres après la virgule ?
5. Les calibres du multimètre et les formats d'affichage correspondants sont affichés dans le tableau ci-dessous. Le compléter.

Calibre	Affichage	Précision	Résolution du CAN
200V	xxx,xx		
20V	xx,xxx		
2V	x,xxxx		
200mV	xxx,xx		
20mV	xx,xxx		

2 Ondes sonores

2.1 Cours

Le son est une onde longitudinale correspondant à une variation rapide de la pression atmosphérique. Il s'agit d'un signal unidimensionnel : l'amplitude varie en fonction du temps.

On mesure le niveau sonore en *décibels* (dB) sous forme d'un gain par rapport à un triplet de référence (I_0, p_0, P_0) d'intensité, de pression et de puissance acoustique. Ce triplet correspond au minimum nécessaire pour percevoir un son de 1000Hz . On peut donc mesurer les trois gains suivants (en décibels) :

- ▷ $L_I = 10\log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right)$ avec $I_0 = 10^{-12}\text{Wm}^{-2}$
- ▷ $L_P = 10\log_{10}\left(\frac{P}{P_0}\right)$ avec $P_0 = 10^{-12}\text{W}$
- ▷ $L_p = 20\log_{10}\left(\frac{p}{p_0}\right)$ avec $p_0 = 2.10^{-5}\text{Pa}$

Le décibel est une unité physique de définition rigoureuse, mais en relation avec la réalité psychophysiologique car la sensation varie comme le logarithme de l'intensité de l'excitation (Loi de Frechner).

La décroissance du niveau sonore en fonction de la distance dépend du type de source :

- ▷ 6dB lorsque la distance à la source double dans le cas d'une source ponctuelle (avion en vol)
- ▷ 3dB lorsque la distance à la source double dans le cas d'une source étendue (autoroute, atelier)

2.2 Application

1. On mesure le bruit d'une autoroute à 1m à 80dB. Calculez le bruit provoqué par cette autoroute sur une terrasse située à 64 m.
2. Sur la terrasse une personne parle avec une intensité de 70dB à 1m. Calculez le son de la personne à 4m.
3. On place un microphone entre l'autoroute (à 64m) et la personne (à 4m). Calculez le niveau sonore total au niveau du micro.
4. Le micro perçoit le son de la même façon dans toutes les directions (omnidirectionnel). Sa sensibilité est de 8mV/Pa . Calculez la tension de sortie.

3 Étalonnage indirect, régression linéaire

3.1 Cours

La régression linéaire est une technique d'optimisation linéaire consistant à trouver la droite approximant le mieux un ensemble de points, au sens des moindres carrés. Cela revient à minimiser pour chaque point le carré de la distance verticale le séparant de la droite. Mathématiquement pour un ensemble d'échantillons $(x_i, y_i)_{i=1}^N$, on cherche la droite d'équation $y = ax + b$ de telle sorte que la fonction objectif suivante soit minimale :

$$F(a, b) = \sum_{i=1}^N (y_i - ax_i - b)^2$$

On peut ramener ce problème à un système linéaire en annulant les dérivées de F :

$$\frac{\partial F}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^N x_i (y_i - ax_i - b) = 0$$

$$\frac{\partial F}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^N (y_i - ax_i - b) = 0$$

On obtient ainsi un système de deux équations à deux inconnues dont la solution peut être aisément extraite :

$$\begin{pmatrix} \sum_{i=1}^N x_i^2 & \sum_{i=1}^N x_i \\ \sum_{i=1}^N x_i & N \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^N x_i y_i \\ \sum_{i=1}^N y_i \end{pmatrix}$$

$$a = \frac{N \sum_{i=1}^N x_i y_i - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N x_i\right)^2}, b = \frac{\sum_{i=1}^N x_i^2 \sum_{i=1}^N y_i - \sum_{i=1}^N x_i y_i \sum_{i=1}^N x_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N x_i\right)^2}$$

3.2 Application

source : Les capteurs, Pascal Dassonville, éditions Dunod

On réalise une sonde de température à partir d'un capteur de température bas coût. Cette sonde délivre une tension $V_{mes}(t)$ fonction de la température t (exprimée en $^{\circ}C$) à laquelle elle est soumise. Pour étalonner cette sonde, on la place dans une enceinte thermostatée dont on fait varier la température sur l'étendue de mesure $E.M. = [0^{\circ}C; 100^{\circ}C]$. La température est mesurée à l'aide d'une sonde thermométrique Pt100 de précision. On réalise ainsi un étalonnage indirect pour lequel on considère que la température donnée par la sonde Pt100 est parfaitement exacte. Les mesures sont présentées dans le tableau 1

$t \text{ } ^{\circ}C$	3,35	8,80	11,66	17,66	22,12	30,11	31,83	36,44	38,81	39,86
V_{mes}	26	83	120	168	215	302	328	355	390	390
$t \text{ } ^{\circ}C$	43,00	45,20	47,19	49,95	51,83	59,59	59,86	61,67	64,10	67,84
V_{mes}	424	443	476	500	497	583	592	594	627	660
$t \text{ } ^{\circ}C$	68,26	77,33	78,18	80,18	82,82	82,91	85,69	91,76	92,51	99,59
V_{mes}	671	745	759	773	790	799	823	878	884	936

TABLE 1 – Étalonnage de la sonde thermique

1. Sur l'étendue de mesure E.M., on cherche à modéliser le comportement de la sonde par l'approximation linéaire $V_{mes} = V_{mes0} + \alpha t$. Déterminer les expressions V_{mes0} et α obtenues à partir des N points expérimentaux $(t_i, V_{mes,i})_{i=1}^N$ donnés dans le tableau et en calculer la valeur par régression linéaire à l'aide de Matlab, et visualiser le résultat.
2. Estimer la sensibilité $S = \frac{dV_{mes}}{dt}$.
3. Donner l'écart de linéarité ϵ , le plus grand écart sur l'étendue de mesure entre la caractéristique réelle et l'approximation linéaire donnée par la droite.
4. Calculer l'erreur de linéarité err , écart de linéarité normalisé à l'excursion de $V_{mes}(t)$ sur l'étendue de mesure E.M.