

Chapitre2 : Capteurs intelligents

I.	Introduction.....	18
II.	Définition.....	18
III.	Structure interne d'un capteur intelligent	18
IV.	Classifications par rapport à la complexité du capteur	21
1.	Capteur en forme simple.....	21
2.	Capteur en forme complexe.....	21
V.	Architecture matérielle	21
VI.	Fusion de données multicapteurs	22
VII.	Fonctionnalités des capteurs intelligents.....	22
1.	Fonctionnalités Métrologiques	23
2.	Fonctionnalités de maintenance	25
3.	Fonctionnalité de mise en service configuration à distance	27
VIII.	Structure de Software	27
1.	Langages	27
2.	Mode de traitement de données	28
3.	Exemple d'applications classiques :.....	28
IX.	Capteurs intelligents et communication	28
1.	De type point à point.....	28
2.	De type Réseaux locaux.....	30
X.	Exemples de capteurs intelligents.....	31

I. Introduction

Les capteurs intelligents trouvent une vaste application dans différents domaines : transports et logistiques, systèmes de contrôle d'énergie, domaine médical, surveillance et sécurité, applications industrielles, agriculture de précisions, ...

Dans le domaine d'énergie, l'emploi d'un capteur intelligent auprès des consommateurs a permis le suivi instantané de la consommation de l'énergie.

II. Définition

Un capteur intelligent possède en plus d'un capteur classique une sorte d'intelligence qui permet de:

- Connaître (par les transducteurs)
- S'adapter aux situations (avec des organes internes de calcul)
- Communiquer (par des interfaces de communication)

Par conséquent, un capteur intelligent doit comporter un:

- Microprocesseur embarqué.
- Interface de communication bidirectionnelle.

Différence Capteur intelligent / capteur classique

- Capacité de calcul interne
- Interface de communication bidirectionnelle

III. Structure interne d'un capteur intelligent

La figure 1 montre la structure simplifiée de base d'un capteur intelligent. Elle est constituée d'un ensemble de capteurs pour détecter des grandeurs physiques à mesurandes m_1, m_2, \dots, m_i influencées par les grandeurs d'influence g_1, g_2, \dots, g_k . Une fois collectés par les capteurs, le circuit conditionnement et d'amplification intervient pour les rendre les signaux électriques prêts à être traités. Un convertisseur analogique numérique CAN transforme le signal électrique analogique en format qui peut être traité numériquement. Le signal numérique arrive l'organe de traitement et de calcul qui est composé principalement d'un microprocesseur pour effectuer les traitements et les calculs nécessaires. Via le bus bidirectionnel une communication possible avec le calculateur central afin de prendre une ou plusieurs décisions adéquates à la situation

en question et en activant les actionneurs convenables des changements physiques sur le terrain vont être apportés.

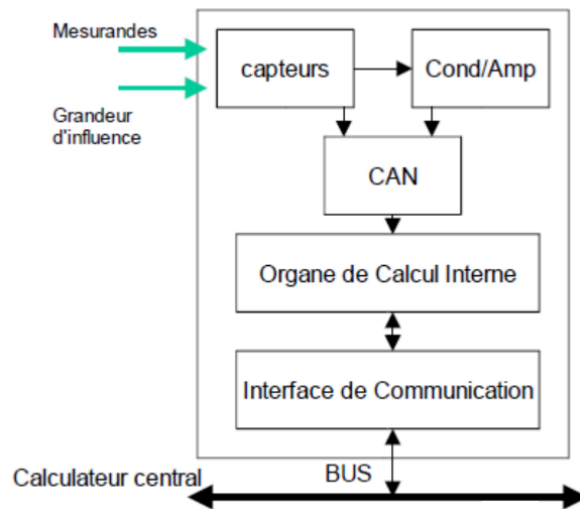


Figure 1 Structure simplifiée de base d'un capteur intelligent

La constitution des futurs capteurs intelligents résultera de l'Intégration notamment des critères suivants :

- cahier contenant les caractéristiques métrologique et fonctionnelle;
- Contraintes technologiques (environnement, alimentation, transmission);
- architecture du système sur lequel seront raccordés les capteurs intelligents.

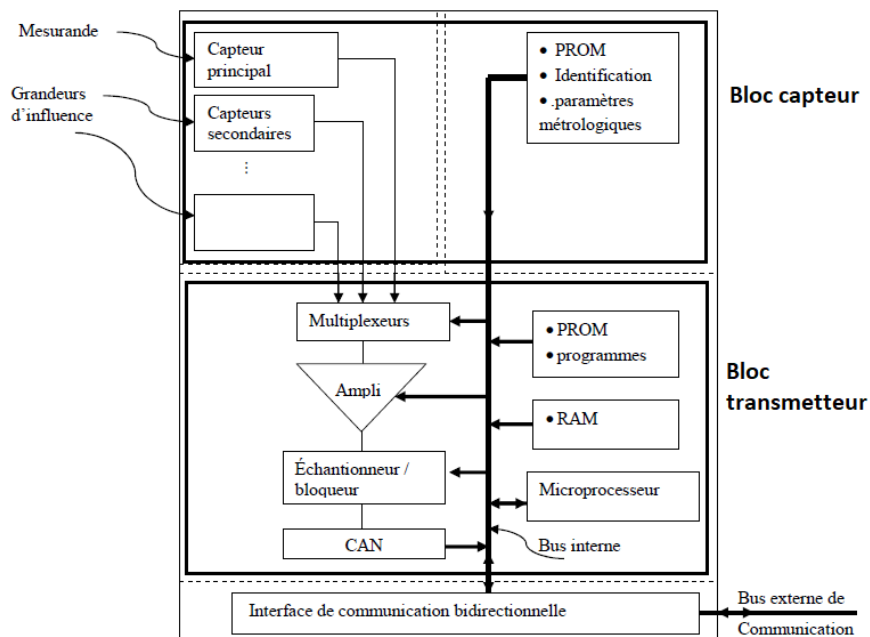


Figure 2 Structure détaillée de base d'un capteur intelligent

La chaîne de mesure est être décomposée en deux blocs (figure 2.) : un bloc capteur et un bloc transmetteur.

Le bloc Capteur comporte

- Le capteur principal spécifique du mesurande étudié, et identifiable par un code stocké en PROM.
- Les capteurs secondaires propres aux grandeurs d'influence susceptibles d'affecter la réponse du capteur principal.

Le bloc transmetteur comporte

- alimentation de tous les composants;
- Conditionneurs de signaux : Les dispositifs classiques permettant l'obtention sous forme numérique de la grandeur de sortie de chaque capteur (conditionneur, multiplexeur, amplificateur, échantionneur -bloqueur, convertisseur analogique-numérique).
- Organe de calcul interne Un microprocesseur assurant les tâches suivantes : gestion de l'acquisition, correction de l'effet des grandeurs d'influence au moyen des paramètres stockés en PROM et des données fournies par les capteurs secondaire, linéarisation, diagnostic des capteurs

L'interface de communication bidirectionnelle assure la liaison du capteur à un ordinateur central via un bus partagé entre plusieurs capteurs intelligents

Les messages porteurs du code du capteur concerné transitent par l'interface

- Soit dans le sens ordinateur vers capteur : configuration, auto étalonnage....
- Soit dans le sens capteur vers ordinateur : résultats de mesure, état de la chaîne (étendue de mesure, dépassements de gamme du mesurande ou d'une grandeur d'influence ...).

Le capteur intelligent offre des avantages spécifiques : configurabilité à distance ; crédibilité accrue des mesures et aide à la maintenance grâce aux informations d'état fournies ; réparation des tâches, déchargeant le ordinateur central.

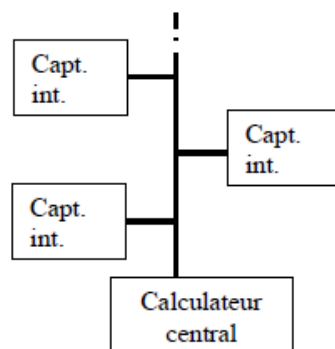


Figure 3 Liaison par bus d'un ensemble de capteurs intelligents à un ordinateur central.

IV. Classifications par rapport à la complexité du capteur

Le capteur intelligent peut avoir une structure simple ou une structure complexe.

1. Capteur en forme simple

Ce type de capteur est composé principalement d'un capteur et le circuit de compensation aux grandeurs d'influences associées (exemple : température) et une unité de calcul tel qu'il est représenté dans la figure ci-dessous.

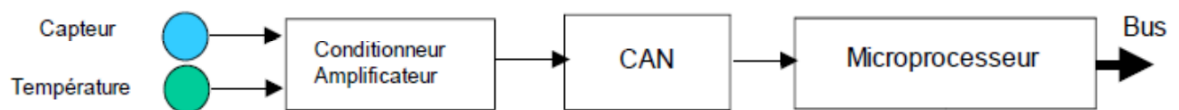


Figure 4 Structure simple d'un capteur intelligent

2. Capteur en forme complexe

Dans ce type de capteur un ajout d'une boucle fermée pour l'ajustement de paramètres tel que le gain d'un amplificateur est essentiel. Cette structure est montrée dans la figure ci-dessous.

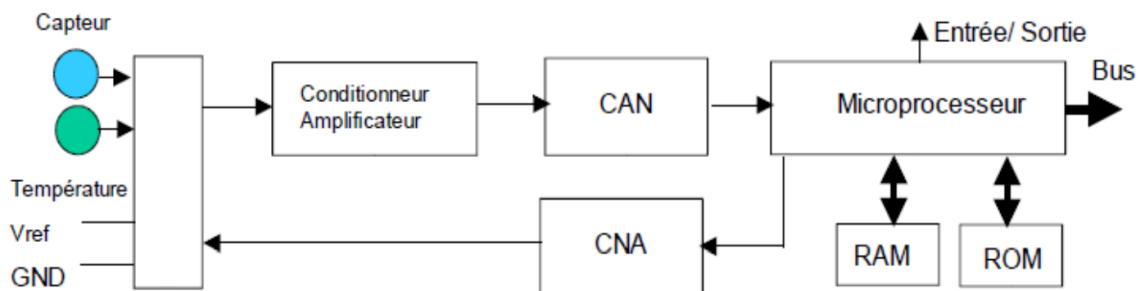


Figure 5 Structure complexe d'un capteur intelligent

Remarque : Dans l'absence de l'Unité de Traitement et de Calcul UTC de l'architecture du capteur il est automatiquement appelé « capteur classique ». La présence de l'UTC rend le capteur intelligent.

Objectif : Miniaturisation et un seul boîtier

V. Architecture matérielle

applicable à la plupart des capteurs intelligents est proposée sur la figure 6.

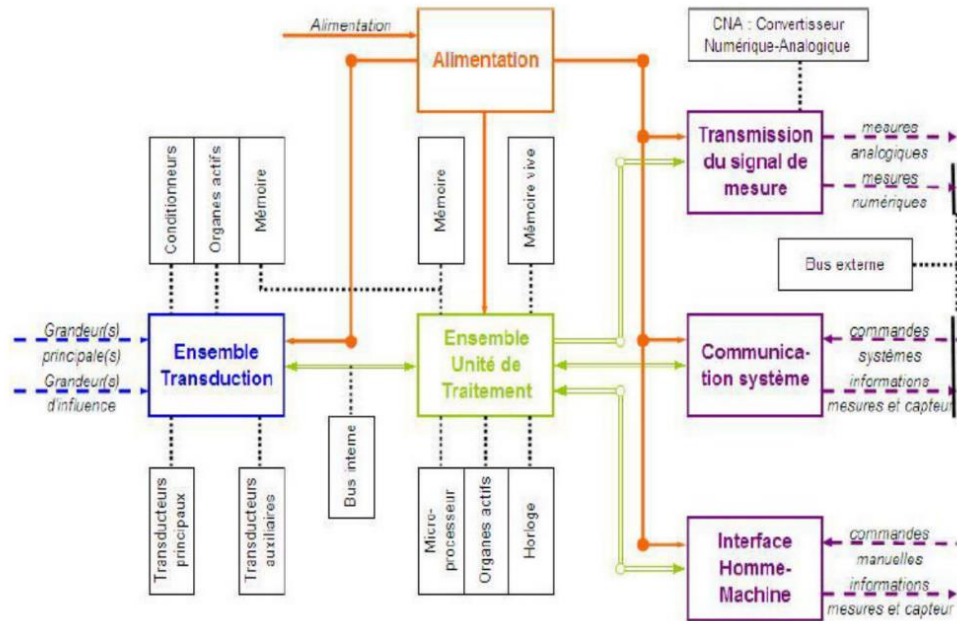


Figure 6 Architecture matérielle d'un capteur intelligent

VI. Fusion de données multicapteurs

L'objectif de la mesure est de formuler un diagnostic, produire une décision ou une classification. Or un système de décision repose toujours sur l'analyse pondérée d'un faisceau d'informations. En terme de système de mesure cela se traduit par une approche multicapteurs, passant par la mise en réseau de capteurs suivant l'une des 2 stratégies suivantes (ou une solution hybride) :

- La redondance en multipliant le nombre de capteurs de même modalité travaillant en parallèle, suivi d'un vote ou du calcul d'une moyenne pondérée (barycentre)
- L'association de capteurs de modalités différentes Cette notion passionnante de « fusion multicapteurs » sera abordée en plusieurs endroits de ce document, et discutée plus en détails.

VII. Fonctionnalités des capteurs intelligents

Le capteur intelligent est un système d'acquisition qui, contrairement au système d'acquisition classique, n'apporte pas que des services de nature métrologique. Il offre en particulier tout un ensemble de fonctionnalités nécessaires à une instrumentation industrielle. Ces fonctionnalités propres au capteur intelligent sont regroupées sous trois rubriques :

- **Métrologie** : auto-adaptabilité, Remplacement des données manquantes, précision et validation des mesures, traitement du signal ;

- **Maintenance** : surveillance à distance, autodiagnostic ;
- **Mise en service** : Configuration à distance ;

1. Fonctionnalités Métrologiques

Cette fonctionnalité comprend : auto adaptabilité, remplacement des données manquantes, précision et validation de mesure et traitement de signal. Le processeur a la possibilité de choisir seul les gammes les mieux adaptées aux mesures.

1.1. Auto-adaptabilité

L'auto adaptabilité est la capacité du capteur intelligent à s'adapter au signal mesuré.

Exemples

- Amplificateur à gain variable Dans cet exemple, le gain de l'amplificateur est variable, pour s'adapter au signal mesuré comme le montre la figure 3.

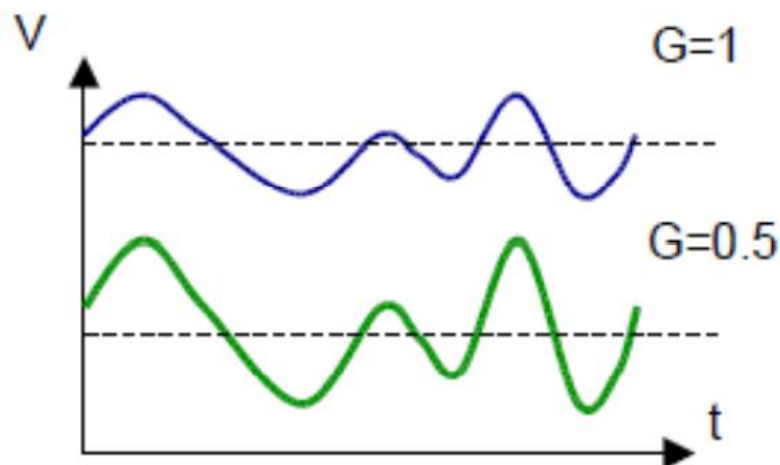


Figure 7 Gain variable d'un amplificateur.

- Filtre à fréquence de coupure, la fréquence de coupure du filtre varie en fonction de la fréquence du signal mesuré pour détecter entièrement sa bande de fréquence comportant des informations nécessaires du signal mesurés pour un traitement ultérieur.

1.2. Remplacement des données manquantes

Une défaillance ponctuelle du capteur implique des données non disponibles à un temps t . D'où une technique permettant d'estimer les données manquantes à partir des données disponibles. Des algorithmes intelligents peuvent faire ce travail. Exemple : une donnée de température qui est en dehors de l'intervalle de fonctionnement du capteur de température est une donnée manquante. Dans cette situation cette donnée doit être remplacée en faisant appel à un algorithme intelligent (algorithme génétique, réseaux de neurones, ...) dont

l'apprentissage des données est fait à partir de l'historique des données issues de ce capteur. Par conséquent, les données manquantes sont ou bien en dehors de l'intervalle de fonctionnement du capteur qui signifie en premier ordre un dysfonctionnement du capteur ou des données réellement manquantes dans le cas de l'arrêt définitif du capteur.

Défaillance ponctuelle du capteur => données non disponibles à un instant t.

Technique permettant d'estimer les données manquantes à partir des données disponibles.

1.3. Précision et validation des mesures

- La précision est la prise en compte et la compensation des grandeurs d'influence telles que la température, la pression ...C'est les facteurs externes par rapport à la grandeur à mesurer qui interviennent par les modifications qu'elles apportent aux caractéristiques métrologiques des capteurs. Autrement dit cette fonctionnalité permet de récupérer le signal réel mesuré en appréhendant ces grandeurs physiques, par un ou plusieurs capteurs auxiliaires.
- La validation des mesures signifie l'évaluation de la qualité de la mesure et la détection de mesures aberrantes (Mesures aberrantes telles que des mesure en dehors de l'intervalle de fonctionnement du capteur,...). La validation des mesures accompagne ainsi les valeurs numériques par un bit indicateur par exemple, qui prend la valeur 1 lorsque la mesure est réalisée dans des conditions normales de fonctionnement, et qui prend la valeur 0, invalidant ainsi la mesure, lorsqu'un des paramètres d'influence est hors limite.

La précision des mesures est principalement obtenue par la prise en compte des grandeurs d'influence.

La validation des mesures signifie l'évaluation de la qualité de la mesure et la détection de mesures aberrantes

1.4. Traitement du signal

Mise en place d'un système de traitement de l'information à proximité de la source de données pour le filtrage des résultats pour n'obtenir que l'information utile. L'information inutile peut être une information aberrante à écarter du traitement.

Le prétraitement des données, qui peut être appliqué avant un traitement plus complexe, est destiné à filtrer les résultats obtenus pour ne garder que l'information utile (exemple : pour

un spectre, ne conserver que la valeur des fréquences des n pics les plus élevés). Le calculateur maître ne manipule alors qu'un faible volume de valeurs, ce qui accélère notablement les analyses ultérieures, qui peuvent devenir très sophistiquées (exemple : comparaison entre plusieurs spectres d'amplitude fournis par des cartes d'acquisition provenant de différents capteurs, pour repérer l'origine d'une anomalie).

2. Fonctionnalités de maintenance

Ces fonctionnalités comportent : surveillance à distance et l'autodiagnostic

2.1. Surveillance à distance

La fonctionnalité « surveillance à distance » permet la détection d'anomalie pour ordonner le déclenchement d'une alarme.

Détection d'anomalie → déclenchement d'une alarme

2.2. Autodiagnostic

l'autodiagnostic, Caractéristique importante d'un capteur intelligent, est bien entendu la capacité d'un capteur à effectuer l'évaluation de son état de fonctionnement et de diagnostiquer l'élément éventuellement en dysfonctionnement.

Cette détection permet la recherche des causes possibles de l'anomalie, en analysant les relations de cause à effet entre l'anomalie et sa cause

a. Exemple de montage pour autodiagnostic

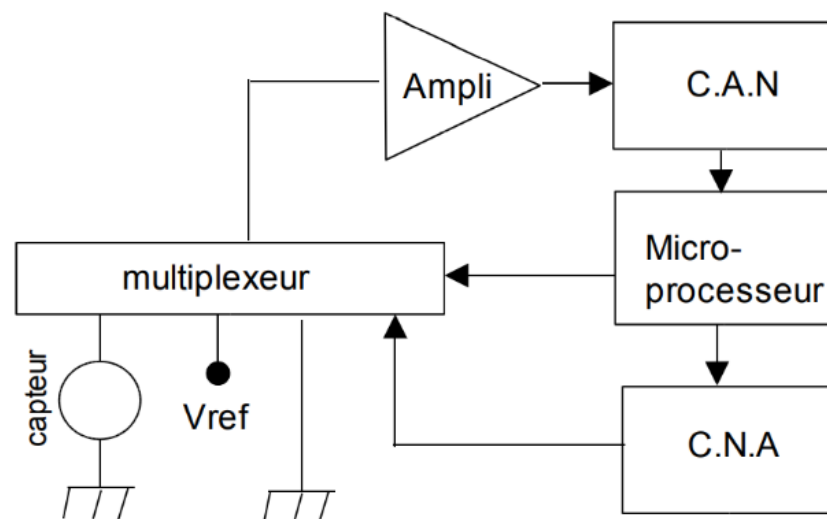


Figure 8 montage autodiagnostic

- Mise à la masse de l'entrée => mesure d'une tension de décalage
- Entrée mise à une tension de référence => mesure du gain
- Contrôle de l'entrée via un CNA => validation du bon fonctionnement du CAN et CNA

Les organes actifs (montage autodiagnostic) permettent d'appliquer en entrée du capteur un signal connu. Des paramètres internes sont alors ajustés pour faire correspondre les résultats de sorti avec ceux attendus. Avec un signal d'entrée nul (relié à la terre), l'ajustement du zéro est obtenu en soustrayant numériquement la valeur du biais observé. Par commutation sur un signal connu et non nul, l'ajustement du gain s'obtient avec des coefficients multiplicateurs. De même, en générant numériquement un signal d'entrée croissant ou échelonné à quelques valeurs connues, il est possible de contrôler la linéarité.

b. Auto-diagnostic d'un amplificateur différentiel :

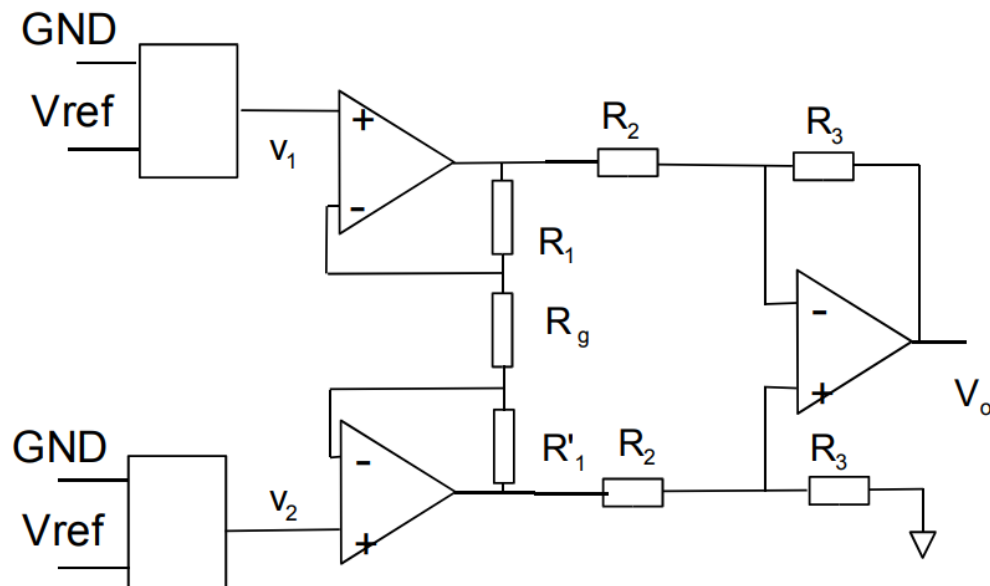


Figure 9 montage autodiagnostic d'un amplificateur différentiel

- 1- $V_1 = 0 \quad V_2 = 0$
- 2- $V_1 = V_{ref} \quad V_2 = 0$
- 3- $V_1 = 0 \quad V_2 = V_{ref}$
- 4- $V_1 = V_{ref} \quad V_2 = 0$

Validation du G différentiel et du Taux de réjections du mode commun

c. Auto-dagnostic des capteurs

Difficile, car il faudrait appliquer au capteur une grandeur physique d'amplitude connu.

Questions

- La grandeur mesurée est -elle comprise dans l'EM?
- La grandeur mesurée est elle compatible avec l'historique?
- La rapidité de variation de la grandeur mesurée est elle raisonnable?
- Est ce que la grandeur mesurée fluctue?

➔ Solution simple : Duplication ou Tripllication des capteurs.

Lorsqu'il y a redondance des capteurs, des ajustages par comparaison des résultats de mesure sont également envisageables. Dans certains cas, par exemple si des dérives importantes sont observées, un auto-ajustage peut être commandé par le capteur lui-même ou le système de contrôle, d'après les informations d'autodiagnostic.

d. Analyse statistique

- test d'hypothèses, calcul d'estimée et comparaison avec des données réelles.

La connaissance des propriétés statistiques du bruit est importante puisqu'elle permet de mieux modéliser les aléas du signal

3. Fonctionnalité de mise en service configuration à distance

Dans un capteur intelligent la présence de la communication bidirectionnelle en conjonction avec le traitement numérique des données mène à une flexibilité instrumentale. D'où la fonctionnalité de configuration à distance est possible. Exemples La transmission d'un fichier d'initialisation ou d'un programme de traitement approprié sont deux exemples de la fonctionnalité « Configuration à distance ».

VIII. Structure de Software**1. Langages**

Dans la plupart des cas, on utilise le langage machine propre au micro-processeur (Texas, Motorola...) , sinon on utilise le C.

Avantages du langage machine : optimisation en vitesse et en mémoire.

Avantages du C : Langage généraliste, code portable.

2. Mode de traitement de données

- Bloc : attente d'un certain nombre de données avant de lancer un traitement Exemple : moyenne statistique sur les 100 dernières valeurs
- Flux: traitement des données à l'arrivée de chaque donnée. Exemple : test de validité des données.

3. Exemple d'applications classiques :

- Transformée de Fourier
- Filtrage
- Etude de l'onde de forme (classification, reconnaissance)

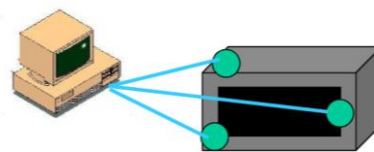
IX. Capteurs intelligents et communication

Le raccordement des capteurs industriels s'effectue selon deux schémas :

- liaison point à point (un seul interlocuteur);
- liaison réseau (en bus de terrain).

1. De type point à point

- Communication parallèle ou série,
- Courte Distance (20 m),
- Protocoles classique (RS232,...)
- Mini réseau par liaisons privées
- Mini réseau possible



Mini réseau par liaisons privées

Figure 10 Communication du capteur intelligent

L'information délivrée par un capteur intelligent peut être, suivant la version :

- analogique 4-20mA+ protocole HART ;
- numérique pour être utilisée dans un contexte bus de terrain.

1.1.Liaison analogique 4-20mA

Dans le premier cas, le signal délivré par l'instrument est analogique de type : 4-20 mA (standard industriel) ;

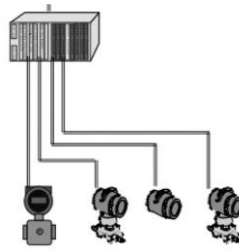


Figure 11 Principe de raccordement de capteurs industriels sur un automate

Le signal 4-20 mA est, encore aujourd'hui, une solution très utilisée dans les applications industrielles de mesure et de régulation. Selon les cas, il sert de vecteur au transport d'une grandeur physique ou pour commander un organe de réglage.

Ce signal présente une très bonne immunité aux parasites. Il peut être transporté sur des distances importantes et simplifie le raccordement des capteurs : un simple câble biconducteur permet d'acheminer la tension d'alimentation et le signal de mesure.

Le 4-20 mA permet la détection des dysfonctionnements : si le signal est en dehors de cette plage – inférieur à 4 mA ou supérieur à 20 mA – il y a anomalie.

La portion entre 0 et 4 mA sert au passage de l'énergie d'alimentation.

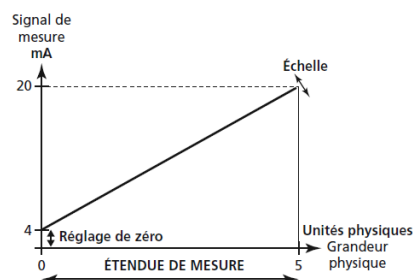


Figure 12 Correspondance entre le signal normalisé 4-20 mA et l'étendue de mesure d'un capteur.

1.2.Liaison numérique

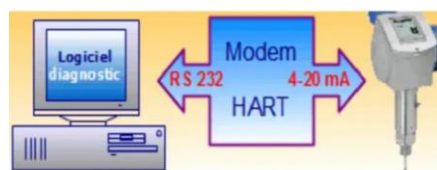


Figure 13 Liaison point à point (un seul interlocuteur)

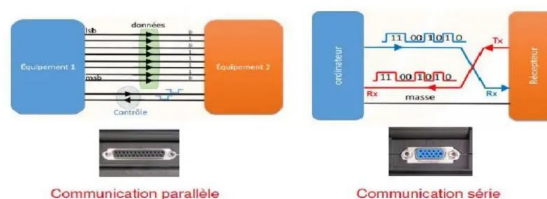


Figure 14 Communication parallèle ou série

Protocoles de communication classiques (RS232, RS485, ...):

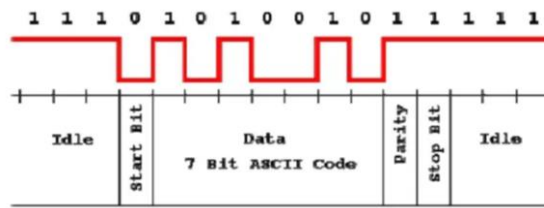


Figure 15 exemple d'une trame de donnée pour une liaison série RS232

Avantages:

- Mise en œuvre simple et peu coûteuse.

Inconvénients:

- Débit faible et décroissant en fonction de la longueur de la liaison.
- Distance limitée (20m maxi).
- Nombre de capteurs limité

Simple à mettre en œuvre, mais faible débit, distance limité, et nombre de capteurs limités

2. De type Réseaux locaux

L'ensemble des capteurs forment un réseau local sous un protocole de communication et une topologie prédéfinie.

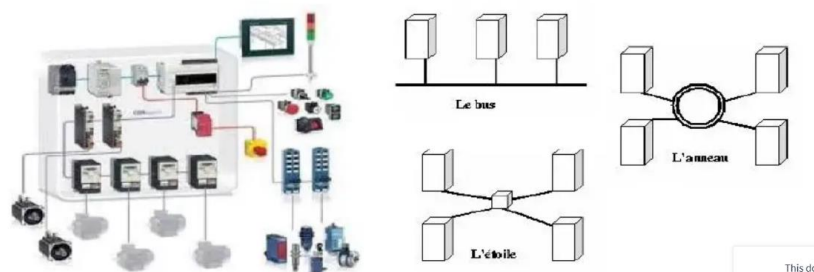


Figure 16 Réseaux locaux

Avantages:

- Nombre élevé de capteurs (selon type de réseau) avec possibilité d'extension/suppression,
- Diffusion rapide de l'information,
- Transport fiable des données sous forme numérique (temps de réponse < 100ms),
- Longues distances,
- Câblage simplifié.

Inconvénients:

- Technologies plus complexes,

- Coûts logistiques supplémentaires,
- Manque de compatibilité entre constructeurs.

Par ailleurs, Il existe des réseaux spécifiques à la communication de systèmes industriels : les réseaux de terrains

X. Exemples de capteurs intelligents

Projet : Système de monitoring de fuel et de géolocalisation de véhicule.

- Problème
 - Vol de carburant
 - Perte de carburant suite à une fuite
 - Changement d'itinéraires des camionneurs
- Conséquence
 - Inefficacité de l'activité de l'entreprise
 - Augmentation des couts d'exploitation solution
- solutions
 - Surveiller les véhicules à distances
 - Géolocaliser les véhicules
 - Maitriser les couts
 - Pilote les activités
 - Prises de décision suite aux données reçues
- Architecture du système
 - Un controleur (Raspberry Pi3)
 - Un capteur de niveau pour la mesure de fuel (capteur ultrason HC-SR04)
 - Un capteur GPS pour la géolocalisation (adfruit ultimate GPS)
 - Une clé 3G pour la connexion 3G
 - Une plateforme de visualisation des résultats

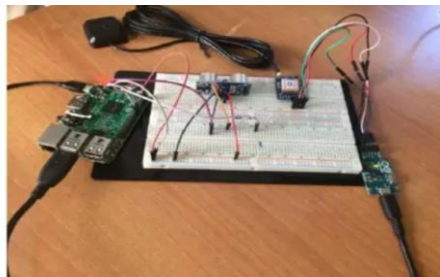


Figure 17 Système de monitoring de fuel et de géolocalisation de véhicule

L'industrie automobile est fortement consommatrice de capteurs intelligents, et truffent les voitures de ces systèmes.

- Niveau d'essence

→ capteur traditionnel "Mesure de profondeur"

Volume \propto profondeur mais fonction monotone croissante de la profondeur

Solution intelligente :

Mesure de profondeur + Microprocesseur pour calcul de la fonction

- ABS

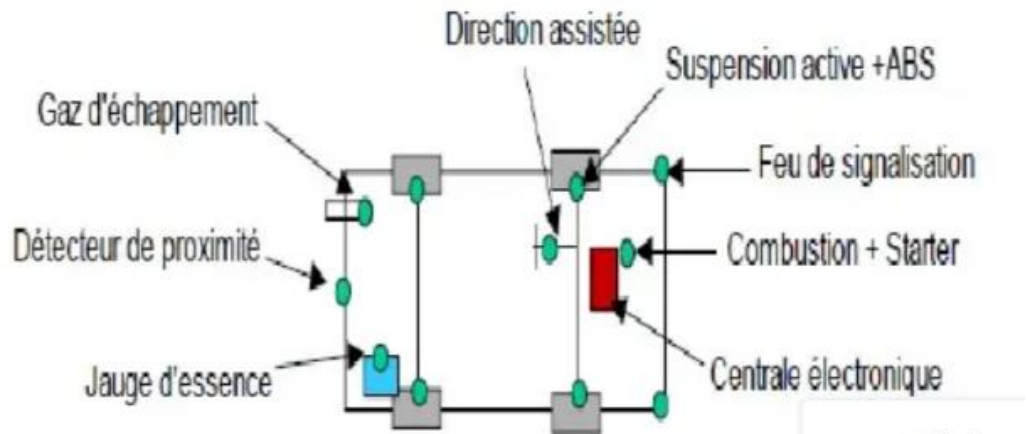
Mesure de la vitesse de rotations des roues (codeur) et de la vitesse du véhicule (effet Doppler)

Si non concordance entre les vitesses \Rightarrow dérapage

→ communication entre capteurs et superviseur

pour la mesure de la vitesse du véhicule (effet Doppler)

age



This docur

Connexions : 2 Solutions 1 bus par capteur ou réseaux

Système ABS

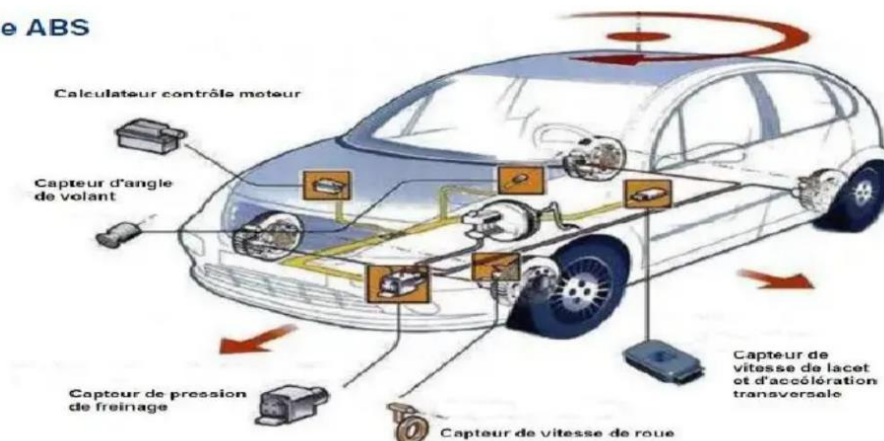


Figure 18