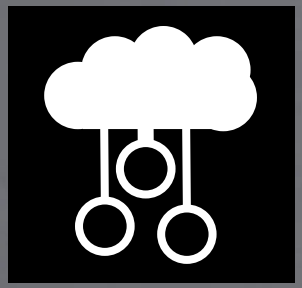


Internet of Things

architectures et technologies

janvier 2021 - master *Big Data* - Telecom Paristech

Chapitre #1
Hardware

?

Qu’est-ce qu’un “objet connecté”? Comment le concevoir?


PASTEL
ECHO EC-S


Livebox


nest
IN 20 MIN
73


78

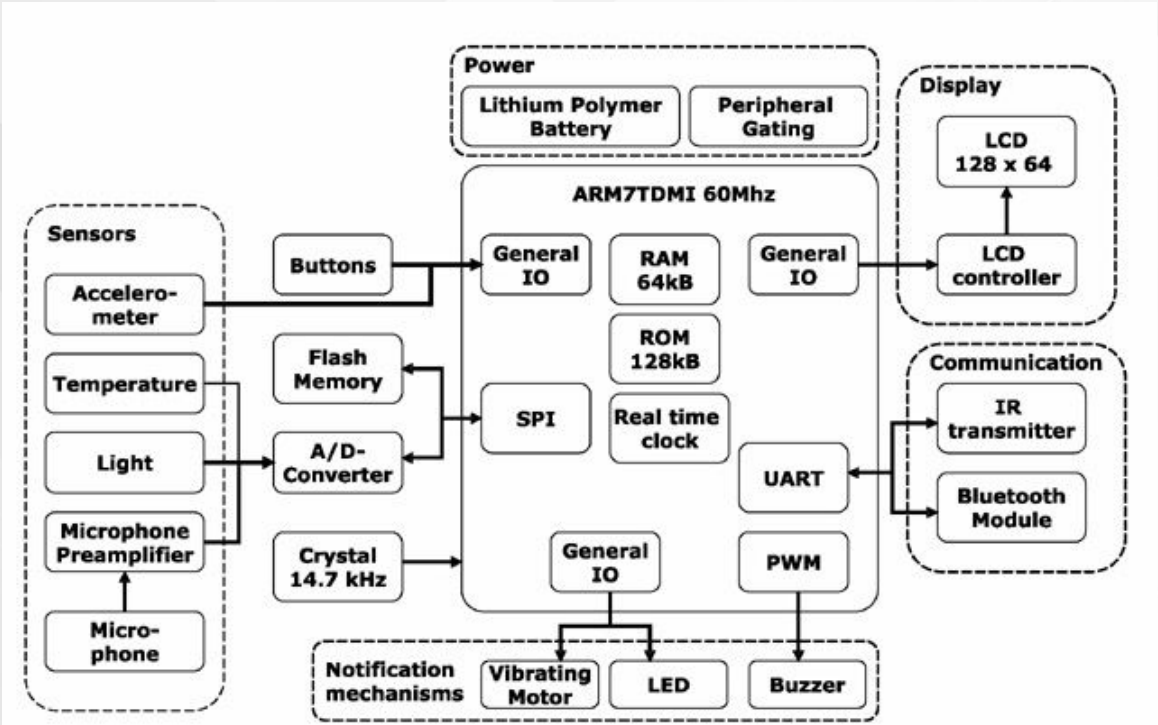

Moocall


poc AIR


Control Unit
Tegis

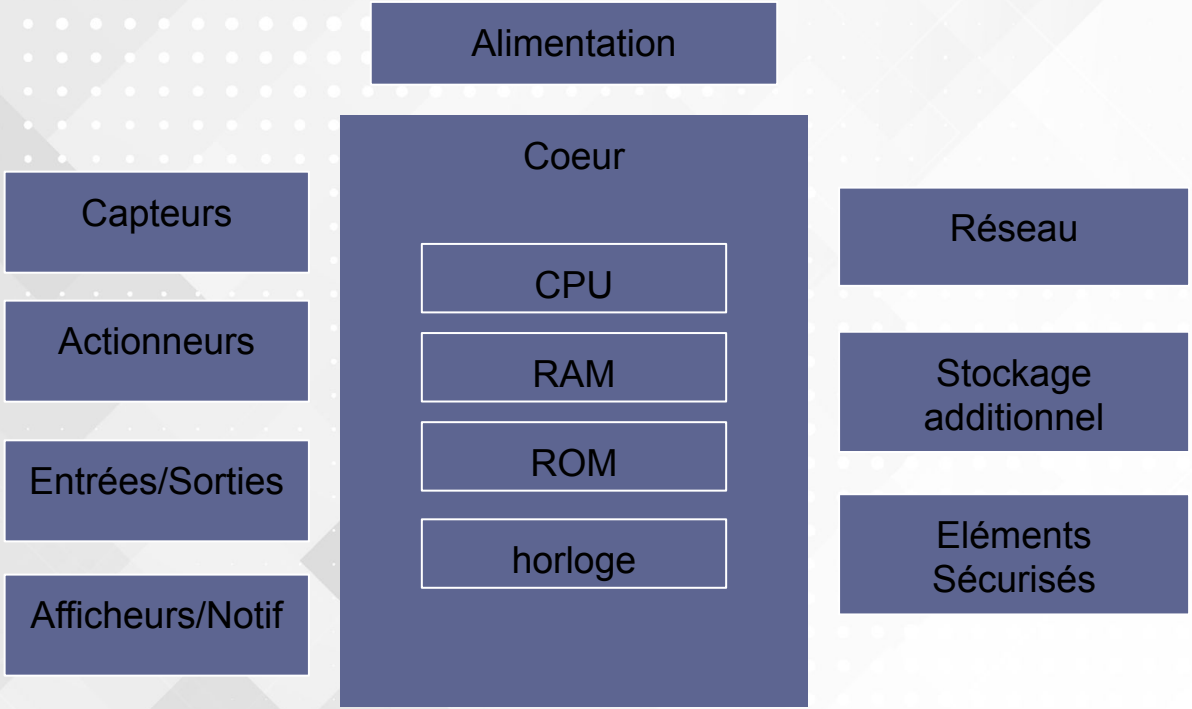

FLOID

Anatomie d'un équipement connecté (exemple)

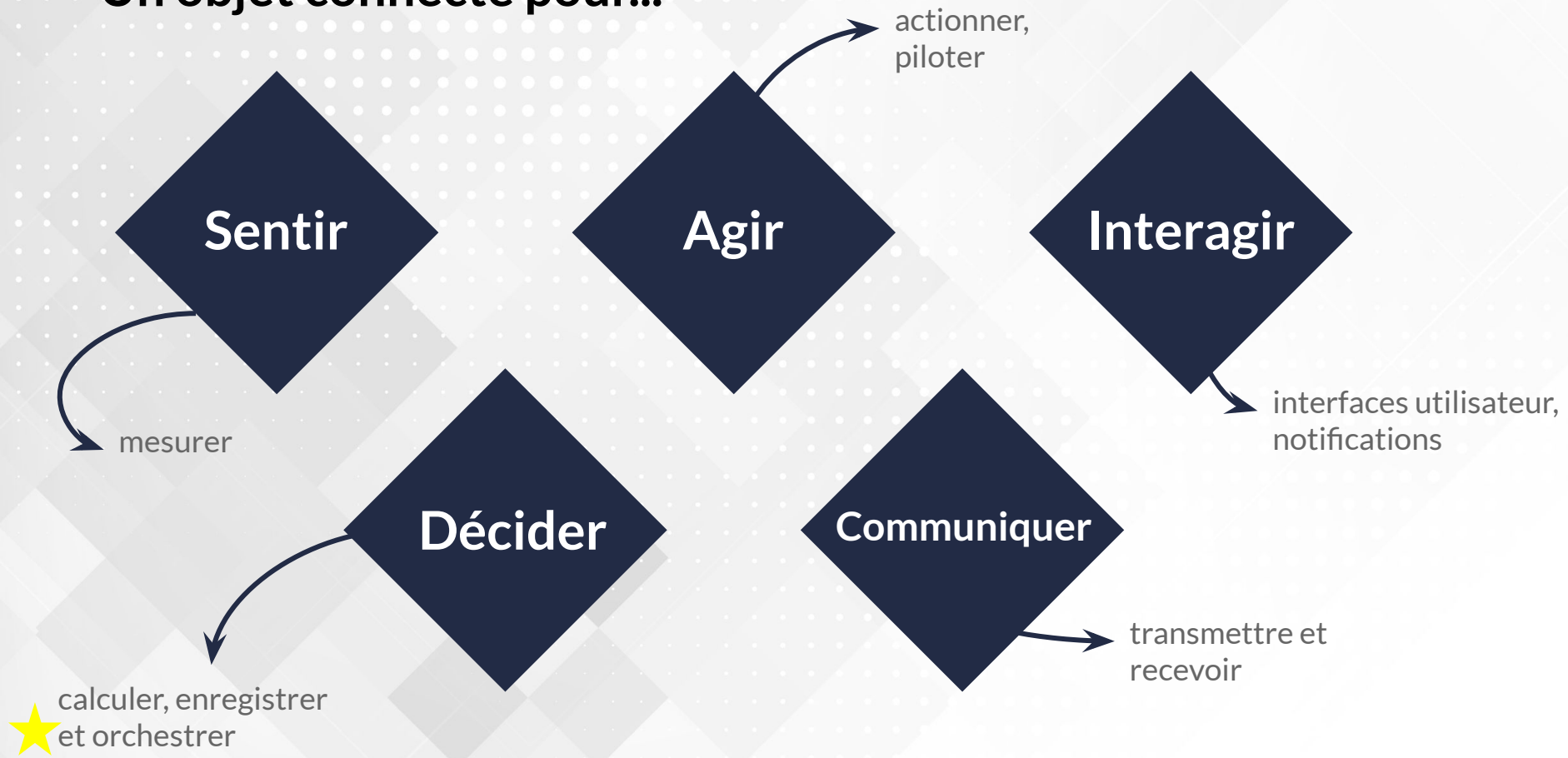


source: https://users.ece.cmu.edu/~agr/old/old-projects/ewatch/hardware.html

Plus schématiquement



Un objet connecté pour...



“Sentir” > Capteurs

Comment mesurer le réel?

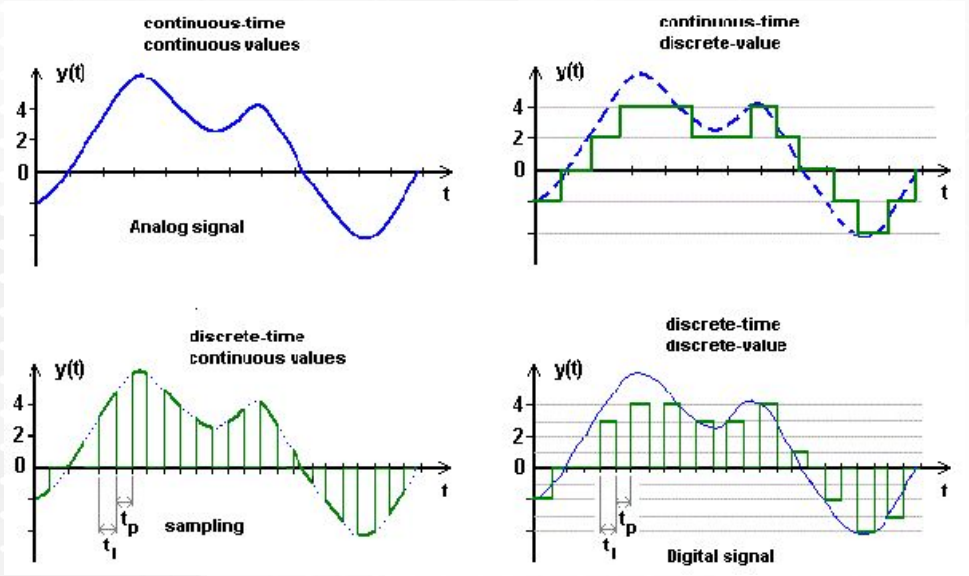
principe - Analogique vs Numérique

grandeur physique = mesure <u>continue</u>

valeur numérique = <u>discrète</u>

on réalise un "*échantillonnage*" du signal analogique en un signal numérique de <u>pas</u> (=fréquence d'échantillonnage) et <u>définition</u> (en général nombre de *bits* d'encodage) donné

CAN = conversion analogique > numérique
CNA = conversion numérique > analogique



principe - Analogique vs Numérique

Exemple: spec. technique d'une "*audio interface*"

SUPPORTED SAMPLE RATES	MICROP
44.1kHz, 48kHz, 88.2kHz, 96kHz, 176.4kHz, 192kHz	

We've been making mic preamps for 30 years, and the 3rd Gen mic pre is the
has ever heard. The 24-bit/192kHz converters give your recordings clarity an
mode breathes life into vocals, adding unique high-end detail. Our decades o
mean Scarlett sounds just like you.

Frequency Response	20Hz		
Dynamic Range	111d		
THD+N	<0.0		
Noise EIN	-128		
	9dBu		
	56dB		
	3kΩ		

INSTRUMENT INPUTS		LINE/MON	
Frequency Response	20Hz - 20kHz ± 0.1dB	Dynamic Range (Line Outputs)	108d
Dynamic Range	110dB (A-weighted)		

Capteurs - exemples

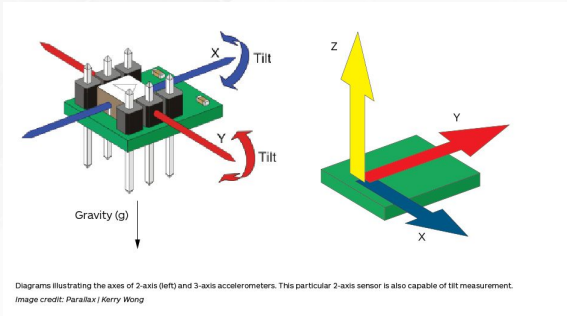
accéléromètre:
accélération par axe (X,Y,Z) (unité: m/s^2)

gyroscope:
rotation sur différents axe (Y,Y,Z) (unité: rad/sec)

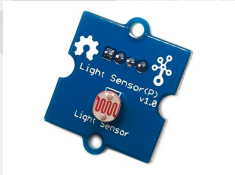
magnétomètre:
“boussole”, indique champ magnétique par axe (X,Y,Z) (unité: uTesla)

thermomètre:
température ambiante (unité: °C/°F/°K)

luxmètre:
illumination (unité: lux)



Diagrams illustrating the axes of 2-axis (left) and 3-axis accelerometers. This particular 2-axis sensor is also capable of tilt measurement.
Image credit: Parallax | Kerry Wong



sources: http://insights.globalspec.com/article/1263/specifying-an-accelerometer-function-and-applications / http://wiki.seeed.cc/Grove-Light_Sensor/

Capteurs - exemples

capteur de distance:
distance à l'obstacle le plus proche (unité: m)
(ex: infra-rouge, ultra-sons)

manomètre:
mesure la pression (unité: hPa)

humidité:
(unité: %)

Capteurs - exemples

détecteurs de gaz:

capteurs électrochimiques (méthane, butane, alcohol, ethanol, monoxide, hydrogen, ozone…)
(unit: ppm)

source: http://playground.arduino.cc/Main/MQGasSensors

Capteurs - exemples

capteur optique:
détection de coupure de faisceau

capteur de position:
via codeur rotatif, interrupteur à lame souple

capteur de contact:
microrupteur / bouton poussoir

microphone:
(onde acoustique)

caméra:
image / flux vidéo

plus d'info: http://philippe.berger2.free.fr/automatique/cours/cpt/les_capteurs.htm

Capteurs - critères

- plage de mesure
- précision / sensibilité
- réactivité / fréquence de rafraîchissement
- conditions de fonctionnement
- encombrement
- consommation électrique

Exemple:

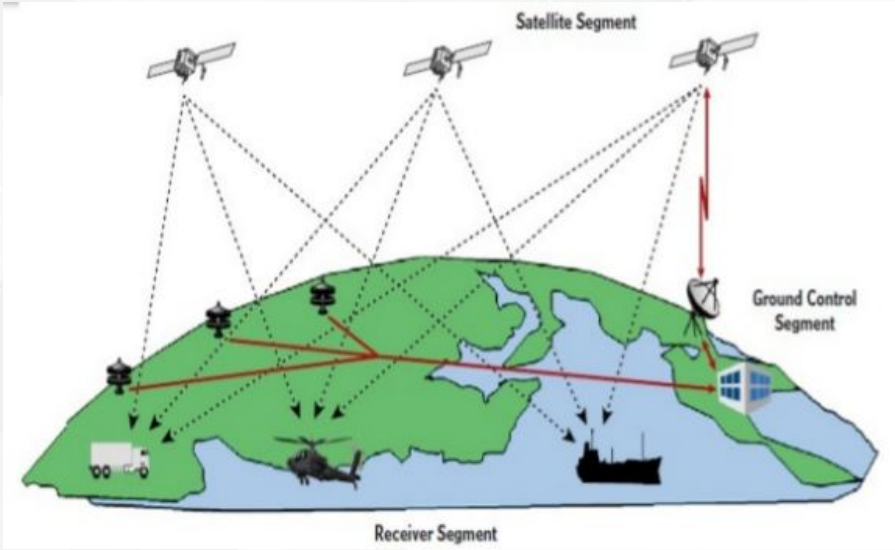
- Accuracy for temperature:
  -< +/-0.5°C from 0° to +65°C
  -< +/-1°C from -30°C to 0°C and from +65°C to +90°C
  -< +/-2°C below -30°C and above +90°C
- Accuracy for relative humidity:
  -< +/- 3% from 20% to 80%
  -< +/- 5% below 20% and above 80%
- Measurement range: -40 to 120°C and 0 to 100% for relative humidity
- Resolutions: 1/100°C for temperature and 4/100% for relative humidity.
- Luminosity indicator: in % of the luminosity level.

Un “sens” particulier:

la géo-localisation

Géolocalisation

GPS (ex-“Navstar”)
(Global Positioning System)
USA (DoD), 24 satellites
disponible depuis 1994
1575 MHz
précision: ~20m



Améliorable via SBAS (Satellite based augmentation system),
en Europe: EGNOS

plus d’info: http://fr.slideshare.net/richard_craig/global-positioning-system-gps

Géolocalisation

GLONASS
- Russie,
- à nouveau disponible depuis 2010
- même propriétés que GPS

Galileo:
- Europe,
- gratuit: même précision que GPS,
- commercial: ~10cm
- fin de déploiement 2020

Beidou / COMPASS:
- Chine, disponibilité 2020

Géolocalisation

Ce principe de “triangulation” peut s’appliquer avec un référentiel fixe:

- Réseaux mobile: utilisation des identité des relais (BTS) + information de niveau de signal (RSSI)
- Réseaux Wifi: identifications via les SSIDs
  (cf. https://wigle.net/)
- En intérieur: déploiement de “beacons” (ex: bluetooth/BLE, RFID, …) qui émettent en boucle leur identité

“Agir” > Actionneurs

Comment agir sur le réel?

Actionneurs - examples

relais:

contrôler un courant important

moteur / moteur pas-à-pas / servo-moteur

source: http://playground.arduino.cc/Main/MQGasSensors

“Interagir” > User-Interfaces

Comment informer/avertir un utilisateur ou lui offrir des contrôles?

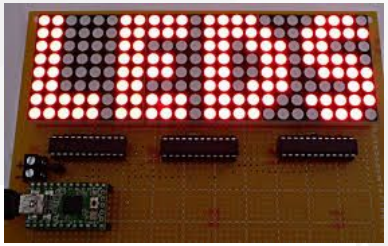
Signaler à l'utilisateur

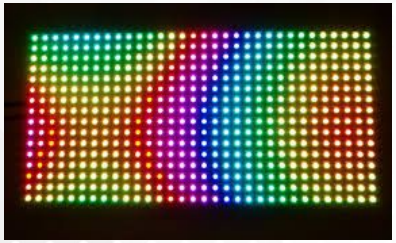
voyants / LEDs

buzzer / audio

Signaler à l'utilisateur

afficheurs (LCD, LED, e-paper)





vibreur

Contrôles

boutons poussoir / interrupteurs



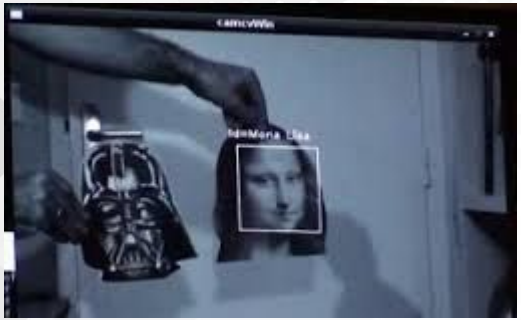

Potentiomètres:



Contrôles

écran tactile

autre...



“Décider” > CPU et mémoires

Histoire de l'électronique en (très) bref

1800 - pile électrique (Volta)
1827 - loi d'Ohm (Ohm), début électromagnétisme (Ampère)
1846 - induction électromagnétique (Faraday)
1873 - équations de Maxwell
1876 - téléphone (Bell)
1879 - ampoule (Joseph Swan)
1890 - cohéreur de Branly (détection onde)
1895 - transmission à distance sans fil (Marconi et Popov)
1904 - premier tube électronique (Fleming)
1907 - tube triode (Lee De Forest)
1918 - premier additionneur binaire (Bloch et Abraham)
1947 - transistor à pointes
1954 - premiers ordinateurs à transistors
1959 - procédé de fabrication planar (Noyce)
1959 - circuits intégrés (Kilby)
1969 - mémoire 64 bits (Intel)
1971 - premier microprocesseur (intel: 4004)
1975 - RISC (IBM)

John Bardeen, William Shockley et Walter Brattain (Laboratoires Bell)

mémoires

RAM = Random Access Memory / “mémoire vive”:

mémoire volatile, très performante
(DRAM, SRAM, MRAM)

ROM = Read Only Memory / “mémoire morte”:

mémoire non volatile, lecture seul, sauf opération de “programmation”
(EEPROM)

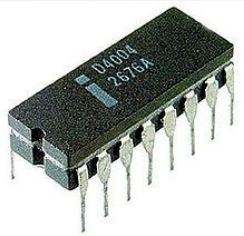
Flash:

mémoire réinscriptible, sorte d’EEPROM éditable/réinitialisable par zone
(NOR, NAND)

microprocesseur VS microcontrôleur

microprocesseur =

unité de calcul générique dans un seul boîtier



micro-contrôleur =

une seule puce comprenant microprocesseur + mémoire + I/O + timer...

Exemple:

Atmel ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V

8-bit Atmel Microcontroller with 16/32/64KB In-System Programmable Flash

DATASHEET

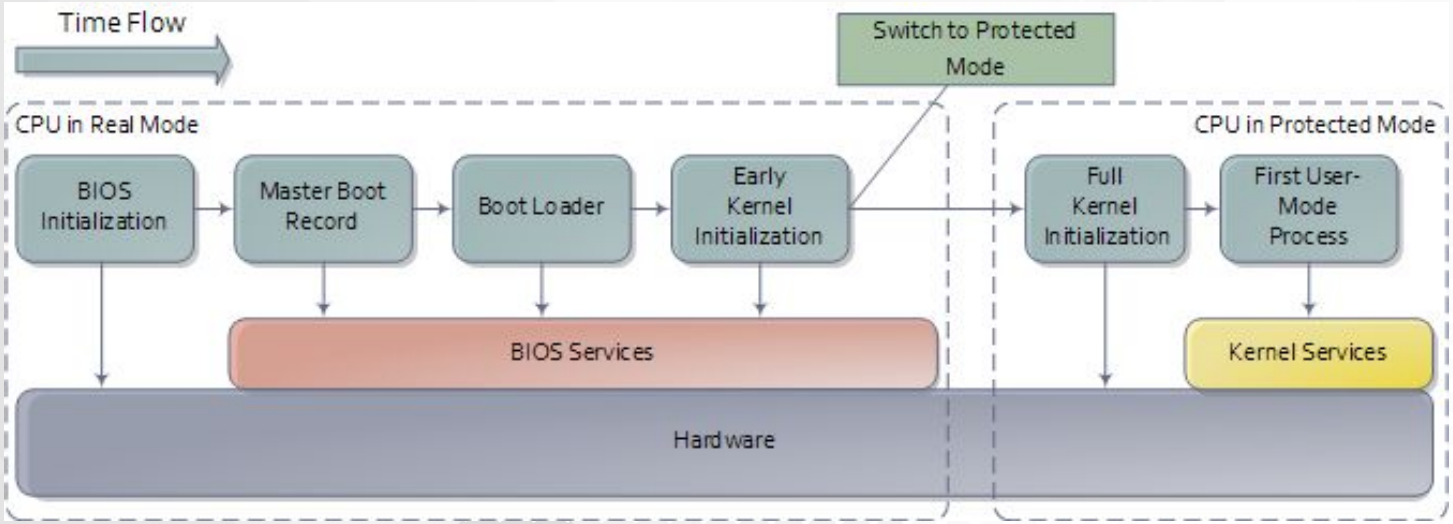
Features

- High Performance, Low Power Atmel® AVR® 8-Bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
  - 135 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
  - 32 x 8 General Purpose Working Registers
  - Fully Static Operation
  - Up to 16 MIPS Throughput at 16MHz
  - On-Chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
  - 64K/128K/256KBytes of In-System Self-Programmable Flash
  - 4Kbytes EEPROM
  - 8Kbytes Internal SRAM
  - Write/Erase Cycles:10,000 Flash/100,000 EEPROM
  - Data retention: 20 years at 85°C/ 100 years at 25°C
  - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
    - In-System Programming by On-chip Boot Program
    - True Read-While-Write Operation
  - Programming Lock for Software Security
    - Endurance: Up to 64Kbytes Optional External Memory Space
- Atmel® QTouch® library support
  - Capacitive touch buttons, sliders and wheels
  - QTouch and QMatrix acquisition
  - Up to 64 sense channels
- JTAG (IEEE® std. 1149.1 compliant) Interface
  - Boundary-scan Capabilities According to the JTAG Standard
  - Extensive On-chip Debug Support
  - Programming of Flash, EEPROM, Fuses, and Lock Bits through the JTAG Interface

Exemple

- Peripheral Features
  - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
  - Four 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare- and Capture Mode
  - Real Time Counter with Separate Oscillator
  - Four 8-bit PWM Channels
  - Six/Twelve PWM Channels with Programmable Resolution from 2 to 16 Bits (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
  - Output Compare Modulator
  - 8/16-channel, 10-bit ADC (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
  - Two/Four Programmable Serial USART (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
  - Master/Slave SPI Serial Interface
  - Byte Oriented 2-wire Serial Interface
  - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
  - On-chip Analog Comparator
  - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- Special Microcontroller Features
  - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
  - Internal Calibrated Oscillator
  - External and Internal Interrupt Sources
  - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- I/O and Packages
  - 54/86 Programmable I/O Lines (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
  - 64-pad QFN/MLF, 64-lead TQFP (ATmega1281/2561)
  - 100-lead TQFP, 100-ball CBGA (ATmega640/1280/2560)
  - RoHS/Fully Green
- Temperature Range:
  - -40°C to 85°C Industrial
- Ultra-Low Power Consumption
  - Active Mode: 1MHz, 1.8V: 500µA
  - Power-down Mode: 0.1µA at 1.8V
- Speed Grade:
  - ATmega640V/ATmega1280V/ATmega1281V:
    - 0 - 4MHz @ 1.8V - 5.5V, 0 - 8MHz @ 2.7V - 5.5V
  - ATmega2560V/ATmega2561V:
    - 0 - 2MHz @ 1.8V - 5.5V, 0 - 8MHz @ 2.7V - 5.5V
  - ATmega640/ATmega1280/ATmega1281:
    - 0 - 8MHz @ 2.7V - 5.5V, 0 - 16MHz @ 4.5V - 5.5V
  - ATmega2560/ATmega2561:
    - 0 - 16MHz @ 4.5V - 5.5V

Séquence de boot d'un ordinateur



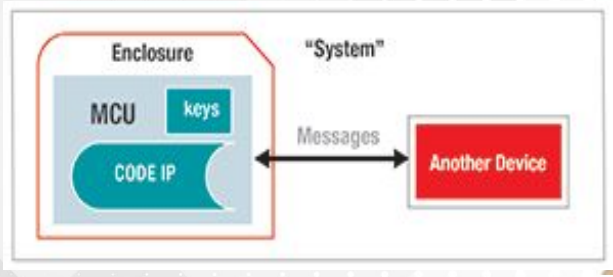
source: http://duartes.org/gustavo/blog/post/how-computers-boot-up/

Élément Sécurisé (SE)

"Puce" = circuit intégré avec contacts exposés

"Elément sécurisé" = plate-forme matérielle inviolable, peut contenir mémoire, processeur (typiquement processeur cryptographique + registre de secrets)

Exemple: carte SIM



Alimentation

Alimentation externe (secteur, générateur…):
pas de problématique d'autonomie

Alimentation autonome:
contrôler la consommation et le niveau d'énergie disponible devient un enjeu critique.

Batterie ("accu"):
chimique (lithium, nickel - NiMH, alcaline), capacitors…
varient en densité, tenue de charge, comportement en haute/b température

Énergie ambiante ("harvesting"):
soleil, chaleur, mouvement, radio (ex: WiFi)...

Environnement

Indices de Protection (IP)

établis par “Commission électrotechnique Internationale” (CEI / IEC)

Elément	Chiffres ou lettres	Signification pour la protection du *matériel*	Signification pour la protection des *personnes*	Réf.
Code letters	IP	–	–	–
Premier chiffre caractéristique	0 1 2 3 4 5 6	Contre la pénétration de corps solides étrangers (non protégé) de diamètre ≥ 50 mm de diamètre ≥ 12,5 mm de diamètre ≥ 2,5 mm de diamètre ≥ 1,0 mm protégé contre la poussière étanche à la poussière	Contre l'accès aux parties dange-reuses avec: (non protégé) dos de la main doigt outil fil fil fil	Art. 5
Deuxième chiffre caractéristique	0 1 2 3 4 5 6 7 8	Contre la pénétration de l'eau avec effets nuisibles (non protégé) Gouttes d'eau verticales Gouttes d'eau (15° d'inclinaison) Pluie Projection d'eau Projection.à la lance Projection puissante à la lance Immersion temporaire Immersion prolongée	–	Art. 6

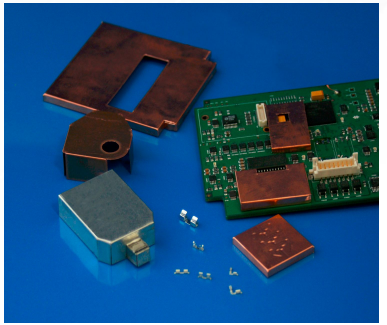
source: https://fr.wikipedia.org/wiki/Indice_de_protection
ref: http://www.parstasis.com/wp-content/uploads/2015/04/IEC-60529-IP-Code.pdf

Conditions opérationnelles

Equipements “Durcis” - capables de fonctionner dans des conditions extrêmes:

- Vibrations
- Ondes EM / particules (nucléaire, espace)
- Basses/hautes températures

- Commercial: 0 °C to 85 °C
- Industrial: −40 °C to 100 °C
- Automotive: −40 °C to 125 °C
- Extended: −40 °C to 125 °C
- Military: −55 °C to 125 °C



source: https://en.wikipedia.org/wiki/Operating_temperature

Software “embarqué”

Software “embarqué” - (“firmware”)

La complexité du logiciel exécuté par un équipement embarqué est très variable:
d’une simple “boucle for” qui joue une séquence figée
… à un *operating system* (OS) complet faisant tourner “drivers” et multiples processus en parallèle.

Il existe des OS spécifiques aux contextes “embarqués:
OS temps-réel (Contiki, FreeRTOS, QNX…) ou non (Linux - Yocto, Android - Brillio, W10 for IoT…).

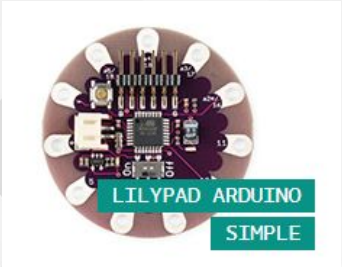
Plateformes \ Arduino (Genuino)

Architecture matérielle libre, à base de microcontrôleur Atmel,

programmation: langage dédié (simili C, basé sur Wiring) via des outils (IDE) open-source et cross-platform,

coût: < 50$

plusieurs dizaines de modèles (différents form-factors et fonctions)



ref: https://www.arduino.cc/

Plateformes \ Raspberry PI

“nano-ordinateur” (taille carte de crédit) à processeur ARM, à très bas coût.
Support audio/video

lancement: 2012

cible: éducation / bricolage (DIY) / multi-media,

coût: 20$ - 40$

OS: Linux et plus

	Raspberry Pi 3 Model B	Raspberry Pi 2 Model B v1.2
Processor Chipset	Broadcom BCM2837 64Bit Quad Core Processor powered Single Board Computer running at 1.2GHz	Broadcom BCM2837 64Bit Quad Core Processor powered Single Board Computer running at 900MHz
Processor Speed	QUAD Core @1.2 GHz	QUAD Core @900 MHz
RAM	1GB SDRAM @ 400 MHz	1GB SDRAM @ 400 MHz
Storage	MicroSD	MicroSD
USB 2.0	4x USB Ports	4x USB Ports
Max Power Draw/voltage	2.5A @ 5V	1.8A @ 5V
GPIO	40 pin	40 pin
Ethernet Port	Yes	Yes
WiFi	Built in	No
Bluetooth LE	Built in	No

ref: https://www.raspberrypi.org/

Plateformes \ BeagleBone (Texas Instruments)

mini-ordinateur, hardware open-source (CC)
basse consommation

- lancement: 2008
- cible: éducation / bricolage (DIY)
- coût: 70-160$
- OS: Linux et plus

ref: http://beagleboard.org/bone

Comparatif

Name	Arduino Uno	Raspberry Pi	BeagleBone
Model Tested	R3	Model B	Rev A5
Price	$29.95	$35	$89
Size	2.95"x2.10"	3.37"x2.125"	3.4"x2.1"
Processor	ATMega 328	ARM11	ARM Cortex-A8
Clock Speed	16MHz	700MHz	700MHz
RAM	2KB	256MB	256MB
Flash	32KB	(SD Card)	4GB(microSD)
EEPROM	1KB		
Input Voltage	7-12v	5v	5v
Min Power	42mA (.3W)	700mA (3.5W)	170mA (.85W)
Digital GPIO	14	8	66
Analog Input	6 10-bit	N/A	7 12-bit
PWM	6		8
TWI/I2C	2	1	2
SPI	1	1	1
UART	1	1	5
Dev IDE	Arduino Tool	IDLE, Scratch, Squeak/Linux	Python, Scratch, Squeak, Cloud9/Linux
Ethernet	N/A	10/100	10/100
USB Master	N/A	2 USB 2.0	1 USB 2.0
Video Out	N/A	HDMI, Composite	N/A
Audio Output	N/A	HDMI, Analog	Analog

Brand	Models	CPU	RAM	+	Price	Type	Connectivity
Arduino	20+ and many clones (Spark, Intel, and so on)	ATmega, 8–64 MHz, Intel Curie, Linino	16 KB–64 MB	Largest community	~30 USD	RTOS, Linux, hobbyists	Pluggable extension boards (Wi-Fi, GPRS, BLE, Zigbee, and so on)
Raspberry Pi	A, A+, B, B+, 2, 3, Zero	ARMv6 or v7, 700 MHz -1.2 GHz	256–1 GB	Full Linux, GPU, large community	~5-35 USD	Linux, hobbyists	Ethernet, extension through USB, BLE (Pi3)
Intel	Edison	Intel Atom 500 MHz	1 GB	X86, full Linux	~50 USD	Linux, hobbyist to industrial	Wi-Fi, BLE
BeagleBoard	BeagleBone Black, X15, and so on	AM335x 1 GHz ARMv7	512 MB–2 GB	Stability, full Linux, SDK	~50 USD	Linux, hobbyist to industrial	Ethernet, extension through USB and shields
Texas Instruments	CC3200, SoC IoT, and so on	ARM 80 MHz, etc.	from 256 KB	Cost, Wi-Fi	<10 USD	RTOS, industrial	Wi-Fi, BLE, Zigbee
Marvell	88MC200, SoC IoT, and so on	ARM 200 MHz, etc.	from 256 KB	Cost, Wi-Fi, SDK	<10 USD	RTOS, industrial	Wi-Fi, BLE, Zigbee
Broadcom	WICED, and so on (also at the heart of the Raspberry PIs)	ARM 120 MHz, and so on	from 256 KB	Cost, Wi-Fi, SDK	<10 USD	RTOS, industrial	Wi-Fi, BLE, Zigbee, Thread

Source: Building the Web of Things: book.webofthings.io

Plateformes \ Android (Google)

Système d'exploitation basé sur noyau Linux.

- cible principale: smartphones, tablettes
- OS le plus utilisé dans le monde (>80% des smartphones)

Plateformes \ mbed (ARM)

Système d'exploitation pour équipements basés sur processeur ARM Cortex-M (32bits)

- Programmation: C/C++, SDK, IDE en ligne
- OS "temps réel"
- plateforme cloud / services...

Plateformes \ Contiki (open-source)

Système d'exploitation open-source, pour microcontrôleurs
Développement C, programmation événementielle (séquentiel)

Contiki

The Open Source OS for the Internet of Things

Hello world

```
/* Declare the process */
PROCESS(hello_world_process, "Hello world");

/* Make the process start when the module is loaded */
AUTOSTART_PROCESSES(&hello_world_process);

/* Define the process code */
PROCESS_THREAD(hello_world_process, ev, data) {
    PROCESS_BEGIN(); /* Must always come first */
    printf("Hello, world!\n"); /* Initialization code goes here */
    while(1) { /* Loop for ever */
        PROCESS_WAIT_EVENT(); /* Wait for something to happen */
    }
    PROCESS_END(); /* Must always come last */
}
```

Sensortag

CC2650

ref: www.contiki-os.org / http://fr.slideshare.net/DingxinXu/contiki-introduction-i

Contraintes d’un projet "hardware"

- Cycles de développements plus long
- Réutilisation de composants >> forte dépendance aux fournisseurs
- Tests manuels + besoin de qualifier pour des conditions d'utilisation variées
- Besoin de certification pour usage radio, grand public, etc.
- Besoin d'anticiper sourcing, procédés de fabrication en masse, QA, SAV

⇒ Coût et durée beaucoup plus importants que pour du soft.

⇒ Faire gain à partir de "plateformes" existantes, et réutiliser des composants maîtrisés et éprouvés.

Conclusion:
les grands enjeux de la conception embarquée

Fonctions

Quelles grandeurs à mesurer?
Sur quoi agir?
Avec quoi s'interfacer?

Autonomie

Source d'énergie externe?
Quelle durée de vie sans maintenance/recharge?

Coût ($)

Le cas d'application est-il rentable?

Conditions opérationnelles

Quel environnement de fonctionnement?
Quel contexte légal (certifications…)?

Sécurité

Manipule-t-on des informations personnelles ou sensibles?
Quel est l'impact d'un dysfonctionnement?

Merci.

DES QUESTIONS?

charly@rtone.fr

Annexes

Differences between Hardware and Software Development

- Software is easier to change than hardware. The cost of change is much higher for hardware than for software.
- Software products evolve through multiple releases by adding new features and re-writing existing logic to support the new features. Hardware products consist of physical components that cannot be "refactored" after manufacturing, and cannot add new capabilities that require hardware changes.
- Designs for new hardware is often based upon earlier-generation products, but commonly rely on next-generation components not yet present.
- Hardware designs are constrained by the need to incorporate standard parts.
- Specialized hardware components can have much longer lead times for acquisition than is true for software.
- Hardware design is driven by architectural decisions. More of the architectural work must be done up front compared to software products.
- The cost of development for software products is relatively flat over time. However, the cost of hardware development rises rapidly towards the end of the development cycle. Testing software commonly requires developing thousands of test cases. Hardware testing involves far fewer tests.
- Software testing is done by specialized Quality Assurance (QA) engineers, while hardware testing is commonly done by the engineers who are creating the product.
- Hardware must be designed and tested to work over a range of time and environmental conditions, which is not the case for software.
- Hardware development incorporates four parallel, synchronized projects:

1) The detailed design of the manufacturable product 2) the manufacturing process and tooling 3) the test and inspection process and equipment; and 4) the supply chain for purchased parts. In software development, the detailed design is the product, and production deployment consists of moving the product into a context where it can be used. Due to many of the above factors, it is possible to make major changes in direction for a planned software-product upgrade in mid-development, without massive disruption and waste. Attempts to make such changes in hardware development come at a much higher cost, in terms of sunk costs wasted, and shipping schedules postponed. As a result, major changes must either be deferred to a future product upgrade, or are done when an assessment is made that the impact is justified by the magnitude of the benefits. Ready to learn more about Agile for Hardware development?

SENTIR = capter de l'information

via capteurs de différentes natures,
souvent fournissent une information analogique qui doit être convertie en donnée numérique.
Parfois s'appuie sur systèmes externes, ex: GPS.

INTERAGIR = interface utilisateur

un utilisateur à proximité de l'objet peut être notifié (sens: visuel, audio, vibration),

des « contrôles » peuvent lui être fournis

AGIR = agir sur l'environnement

via « actionneurs »,

souvent nécessite de s'appuyer sur des système complémentaires au cœur (électronique basse tension): monde de l' « électronique de puissance ».

DECIDER

on trouve au cœur de l'objet un processeur / microcontrôleur qui exécute un programme en charge de l'orchestration des mesures/actions et communications, ce programme s'appuie sur des mémoires (ROM/RAM/Flash) pour stocker un état.

COMMUNIQUER

l'objet transmet de l'information à distance ou bien est télé-opéré

les enjeux de la conception embarquée

- Fonctionnel: choix périphérique, puissance, mode de communication,
- Autonomie: mode alimentation, consommation des différents composants, fréquence de leur utilisation
  (ex: limiter les communications)
- Contraintes opérationnelles: compatibilité avec environnement/usage ciblé
  (cf. Indices de Protection, certification electro-magnetique)
- Sécurité: protéger les secrets
- Coût ($)

les enjeux de la conception embarquée

- Développer un nouveau « hardware » est long et coûteux,

- De nombreuses solutions « ouvertes » permettent un prototypage à moindre coût,

- La réutilisation de composants déjà pré-intégré (ex: « board » complet CPU+mémoire+comm…) limite la partie « custom » à son stricte nécessaire.