

Universitatea Politehnică Timișoara, Romania  
Facultatea de Automatică și Calculatoare  
Departamentul Calculatoare și Tehnologia Informației

# SISTEME ÎNCORPORATE

---

Ș.L. DR. ING. SERGIU NIMARĂ; SERGIU.NIMARA@CS.UPT.RO

CONF. DR. ING. RĂZVAN BOGDAN; RAZVAN.BOGDAN@CS.UPT.RO

# Sisteme Încorporate

## Conținut:

- **1. Introducere**
  - Ce sunt sistemele încorporate (SI)?
  - Domenii de aplicabilitate

---
- Caracteristici și cerințe
- Direcții în studiul SI
- SI și “ubiquitous and pervasive computing”
- Caracteristici de piață
- Internet of Things
- Structura tipică a unui SI
- **2. Arhitecturi de microcontrolere**
  - Arhitectura 8051
  - Conectarea memoriei externe
    - Conectarea memoriei de program
    - Conectarea memoriei de date
- **3. Programarea microcontrolerelor**
  - Limbajul de asamblare si limbajul C
- **4. Aplicații**
- **5. Arhitectura Atmel328**
- **6. Testarea Sistemelor Incorporate**

# Sisteme Încorporate

---

## Bibliografie:

- M. Popa, *Sisteme cu microcontrolere orientate pe aplicații*; Orizonturi Universitare, Timișoara, 2003
- Mahesh Walunjkar, *Handbook of 8051 Microcontroller*; Lambert Academic Publishing, 2015
- David Russell, *Introduction to Embedded Systems using ANSI C and the Arduino Development Environment*, Morgan & Claypool Publishers, 2010

# MOOCs

---

- Massive Open Online Courses (MOOCs)
- MOOCs allow large numbers of people across the world to take university courses for free, on many different topics, and to access the course materials at a time and place which is convenient for them.
- There are several different types of MOOC, some requiring participants to sign up, others with content and activities openly available to anyone with a web connection. Some are based around watching video lectures and reading articles, some emphasize the use of social media, such as blogs and Twitter, and most make use of some form of discussion among participants.
  - Source: <https://www.brookes.ac.uk/Studying-at-Brookes/courses/Open-Online/What-are-MOOCs/>

# MOOCs

---

Coursera: <https://www.coursera.org/courses?languages=en>

Udemy: <https://www.udemy.com/courses/>

Udacity: <https://www.udacity.com/>

Khan Academy: <https://www.khanacademy.org/>

- <https://www.mooc-list.com/?static=true>
- <https://www.futurelearn.com/>

Example:

- **Coursera:** An Introduction to Programming the Internet of Things (IOT) Specialization
- Introduction to the Internet of Things and Embedded Systems (4 weeks)
- The Arduino Platform and C Programming (4 weeks)
- The Raspberry Pi Platform and Python Programming for the Raspberry Pi (4 weeks)
- <https://www.class-central.com/search?q=embedded+systems>
- Minimum 60% of 1 such course / specialization => 2 points for exam

# Ce aveți de făcut (1)

---

Alegeți un curs cu tematica Sisteme încorporate (Embedded Systems)

Șeful de an va crea un tabel Google Docs în care fiecare student va completa cursul ales

Fiecare student va trebui să se înscrie la cursul ales

Fiecare student va trebui să parcurgă materialele aferente cursului ales: prezentări, teme, întrebări, etc

La finalul semestrului va trebui să:

- Realizați o prezentare despre experiența voastră de învățare prin tehnologii de tip MOOC
- Prezentarea va conține detalii despre progresul vostru, temele realizate, diverse proiecte, noțiuni pe care le-ați învățat și cum ați perceput experiența de învățare prin tehnologii MOOC
- <https://www.dropbox.com/s/8vuqs8ezouz216y/HuseyinBicenSpeech.mp4?dl=0>
- <http://www.slideshare.net/ProfDrAmin/web-20-presentation-tools-a-quick-guide>

Șeful de an va colecta prezentările studenților și va include în Google Docs câte un link către fiecare prezentare

# Ce aveți de făcut (2)

---

Să completați două chestionare:

- About MOOCs and their usage:  
<https://goo.gl/forms/mrGsQcJClr21OJr12>
- About Web 2.0 tools:  
<https://goo.gl/forms/BEvSNsgFa1A7qMH13>

## Obiectivele cursului:

- Cunoașterea definiției, caracteristicilor, structurii și funcționării unui sistem încorporat (SI);
- Studiul problemelor tipice ce apar la proiectarea unui SI bazat pe microcontroler;
- Studiul componentelor și instrumentelor specifice utilizate în proiectarea SI;
- Studiul unor aplicații tipice;
- Dobândirea de cunoștințe în vederea proiectării unui SI bazat pe microcontroler cu o funcționalitate predeterminată.



# Sisteme Încorporate

## 1. Introducere

### 1.1. Ce sunt SI?



## 1. Introducere

---

### 1.1. Ce sunt SI?

- **Definiția 1:** Un SI este un sistem integrând hardware și software și proiectat pentru o anumită funcționalitate.
- **Definiția 2:** Un SI este un sistem de calcul cu scop predefinit inclus într-un dispozitiv pe care îl conduce.
- **Definiția 3:** Un SI este un sistem de calcul cu cerințe specifice. Spre deosebire de calculatorul de uz general, SI execută sarcini predefinite.
- **Definiția 4:** Un SI este un sistem de procesare a informației, parte a unui sistem mai mare sau a unui dispozitiv.
- **Definiția 5:** Un SI este o combinație de hardware și software cu programare și facilități fixe, proiectat pentru un tip de aplicații.

## 1. Introducere

---

### 1.1. Ce sunt SI?

- **Definiția 6:** Un SI este o combinație de hardware și software și, posibil, elemente mecanice sau alte elemente, proiectat pentru a realiza o funcție dedicată. În unele cazuri, SI sunt părți ale unui sistem mai mare sau produs, ca de exemplu sistemul ABS (“Antilock Bracking System”) dintr – un automobil.
- **Definiție actualizată:** SI constituie un subdomeniu al domeniului ingineriei calculatoarelor, bazat pe **circuite logice programabile** de utilizator și orientat pe aplicații de timp real.



## 1. Introducere

### 1.1. Ce sunt SI?

- In general, "embedded system" is not a strictly definable term, as most systems have some element of extensibility or programmability. For example, handheld computers share some elements with embedded systems such as the operating systems and microprocessors that power them, but they allow different applications to be loaded and peripherals to be connected. On a continuum from "general purpose" to "embedded", **large application systems** will have subcomponents at most points even if the system as a whole is "designed to perform one or a few dedicated functions", and **is thus appropriate to call "embedded"**.



# Sisteme Încorporate

---

## Circuite logice programabile de utilizator:

- **Microprocesorul**: un circuit logic programabil de utilizator pentru aplicații de uz general;
- **Microcontrollerul**: un circuit logic programabil de utilizator pentru aplicații de timp real.
- **DSP** - ul: un circuit logic programabil de utilizator pentru procesarea digitală a semnalelor analogice.

## Căi de dezvoltare diferite:

- **Microprocesoarele**: pentru aplicații de procesare (viteză cât mai mare și capacitate de memorie gestionabilă cât mai mare);
- **Microcontrolerele + DSP** - urile: pentru aplicații de uz real (consum mic, dimensiuni mici, cost redus, siguranță mare, fiabilitate mare).

# Sisteme Încorporate

- ❑ SI sunt destinate unei aplicații sau unei familii de aplicații.
- ❑ SI pot conține un microcalculator dar, în general, sunt sisteme de sine – stătătoare incluse în dispozitivul pe care îl conduc.
- ❑ SI se bazează pe **microcontrolere** sau DSP – uri!



# Sisteme Încorporate

Diferențe ale SI față de calculatoarele de uz general:

- **Interfața cu omul:** led – uri, LCD – uri, comutatoare, minitastaturi;
- **Sisteme de intrare/ ieșire** simple, fără periferie;
- Pot include **porturi de diagnosticare**;
- Pot include **FPGA** – uri, **circuite analogice**;

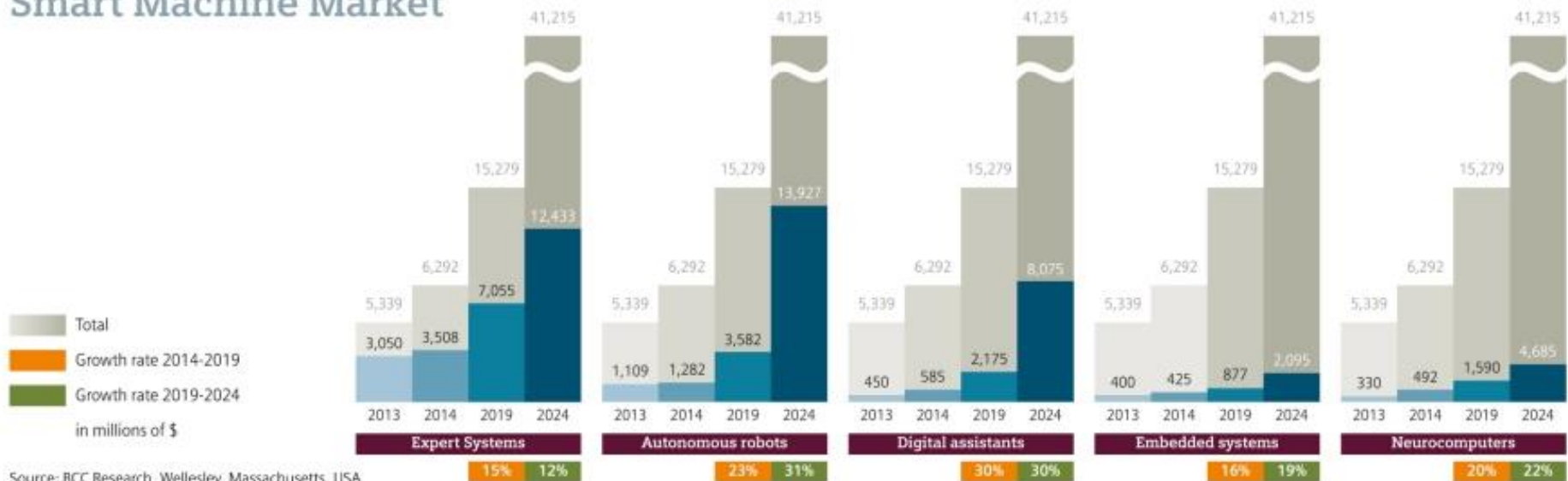




# Sisteme Încorporate

Software – ul are o funcționalitate fixă și specifică aplicației; un calculator de uz general poate executa mai multe programe, alegerea făcând – o utilizatorul, pe când un SI poate executa mai multe programe dar alegerea o face programatorul.

Autonomous Robots to Surpass Expert Systems: Forecast Share of the Smart Machine Market





# Sisteme Încorporate

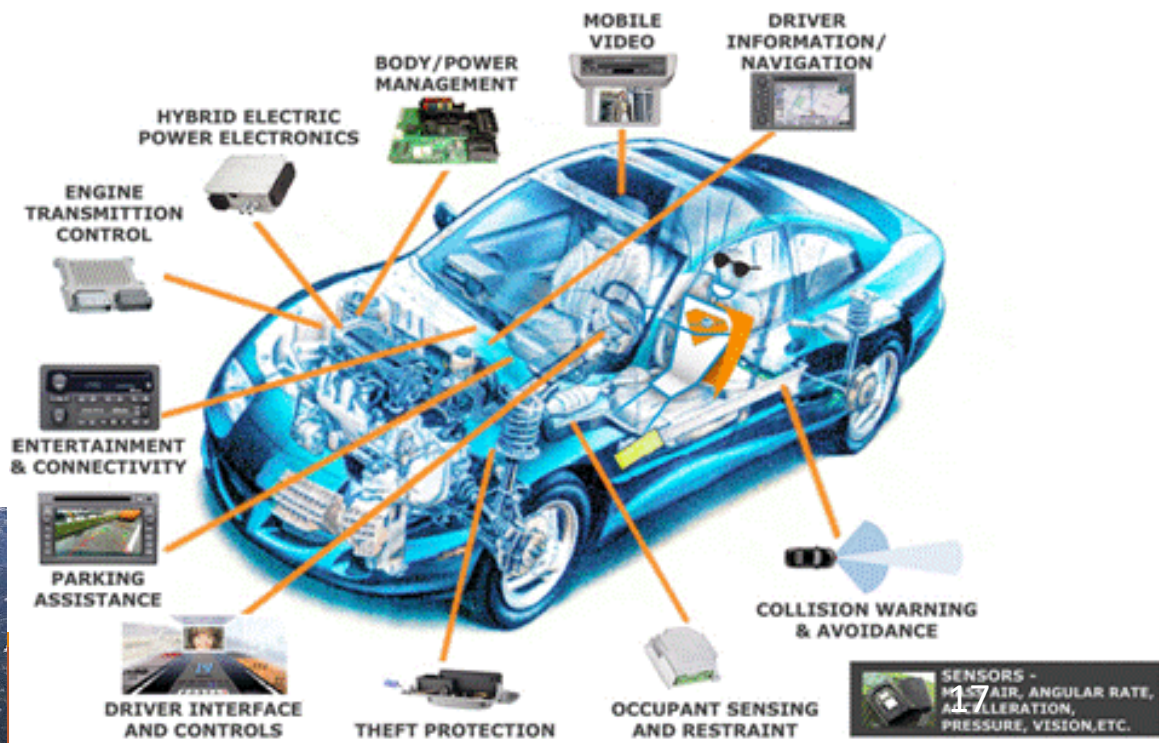
## 1.2. Domenii de aplicabilitate

**Industria automobilelor:** numărul SI în automobile este în continuă creștere, infrastructură (cel puțin 65-100);

**Transporturi:** trenuri, infrastructură, transportul naval;

**Industria aeronautică:** sisteme anticoliziune, sisteme de pilotare, sisteme de control a zborului etc. (Boeing 777: mai mult de 1,200 procesoare și mai mult de 4 milioane linii cod)

**Industria aerospațială:** ...



# Sisteme Încorporate

**Telecomunicații:** telefoane mobile;

**Medicină:** echipament medical, monitorizarea pacienților;

**Aplicații domestice:** aparatură electrocasnică, jucării, aparatură electronică etc.

**Automatizări domestice (“Smart buildings”):** sisteme de alarmă și protecție, sisteme de control a luminii, temperaturii, apei, sisteme multimedia etc.; piața de software pentru case inteligente a crescut de 100 de ori din 2001 pînă în 2006;

**Robotică:** ...

**Industrie:** conducerea proceselor, echipamente de fabricație, echipamente chimice, automate de vânzare, monitorizarea personalului etc.

**Industria hotelieră:** ...

**Industria militară:** ...

**Agricultură:** ...



# Sisteme Încorporate

## 1.3. Caracteristici și cerințe

---

Un SI trebuie să lucreze în condiții mai restrictive decât un calculator de uz general.

Caracteristici și cerințe:

- **Conectare la mediul exterior**, monitorizându – l, prin intermediul senzorilor și comandându – l, prin intermediul actuatorilor. Un actuator poate fi definit ca un dispozitiv care convertește valori numerice în efecte fizice.
- **Funcționare reactivă**: un sistem reactiv este în continuă interacțiune cu mediul înconjurător și execută sarcinile la rata determinată de mediu; un sistem reactiv poate fi gândit ca fiind într – o anumită stare, așteptând o intrare; pentru fiecare intrare execută una sau mai multe operații și generează o ieșire; un asemenea sistem poate fi modelat foarte bine de un automat;
- **Funcționare în timp real**: timpul devine un parametru al execuției operațiilor; există constrângeri de timp hard (produc efecte grave, uneori dezastruoase, la nerespectare) și soft (produc efecte negative la nerespectare);

# Sisteme Încorporate

- **Eficiența:** un SI trebuie să fie eficient; aceasta poate fi evaluată cu următoarele metrici:
  - **Consumul de energie:** trebuie minimizat, mai ales în cazul SI mobile;
  - **Dimensiunea codului:** cod mare → memorie de program mare, posibil externă → circuite suplimentare → dimensiune mai mare a SI, consum mai mare, fiabilitate mai mică;
  - **Execuție implicând minim de circuite;**
  - **Greutate și dimensiune mici;**
  - **Cost redus.**
- **Funcționare în medii grele:** căldură excesivă, vibrații, coroziune, fluctuații ale tensiunii de alimentare;
- **Dependabilitate:** foarte importantă datorită conexiunii cu mediul exterior; cuprinde următoarele aspecte ale unui sistem:
  - **Fiabilitate:** probabilitatea ca un sistem să nu se defecteze;
  - **Mentenabilitate:** probabilitatea ca o defecțiune să poată fi reparată într – un timp anumit;
  - **Siguranță:** probabilitatea ca o defecțiune să nu cauzeze efecte catastrofale;
  - **Disponibilitate:** probabilitatea ca un sistem să fie disponibil.

# Sisteme Încorporate

## 1.4. Direcții în studiul SI

---

Hardware și circuite de bază (microcontrolere, DSP – uri);

Limbaje de programare;

Sisteme de operare;

Rețele de SI;

Modelare, simulare și validare;

Aplicații.

# Sisteme Încorporate

## 1.5. SI și “ubiquitous and pervasive computing”

---

Primul val în domeniul calculatoarelor: calculatoarele mari, 1 calculator - mai mulți oameni;

Al 2 – lea val: PC – urile, 1 calculator – 1 om;

Al 3 – lea val (“post PC era”): “ubiquitous and pervasive computing”, mai multe calculatoare – 1 om.

“Ubiquitous computing” (“ubicom”) și “pervasive computing” (UPC):

- Formulate în perioada 2001 - 2003;
- Este un nou model de calcul, post desktop, în care sistemele de calcul se află în jurul omului, fiind oricând pregătite să proceseze informația;
- Spre deosebire de modelul desktop în care un utilizator folosea un sistem de calcul pentru a realiza o sarcină, în UPC omul determină procesarea informației de către mai multe sisteme, în activitatea sa curentă, fără a fi necesar să fie conștient de acest lucru;
- Se bazează pe sisteme de calcul de dimensiuni mici, de multe ori nesesizate de om, cu anume sarcini, care comunică între ele și, eventual, cu un sistem central; se bazează pe SI;

# Sisteme Încorporate

- Domenii de cercetare necesare în UPC:
  - Sisteme încorporate și rețele de SI,
  - Calcul distribuit,
  - Calcul mobil,
  - Senzori și rețele de senzori,
  - Interacțiune om – mașină,
  - Inteligență artificială.
- UPC se află la intersecția a 3 subdomenii din domeniul TIC:
  - **Procesarea,**
  - **Comunicațiile și**
  - **Interfața cu utilizatorul.**
- **Procesarea:** se bazează pe echipamente; există o gamă largă de la Palmcomputers, telefoane inteligente până la sisteme de dimensiuni foarte mici incluse în mediul înconjurător; se împart în 3 tipuri:
  - **Senzori,**
  - **Procesoare și**
  - **Actuatoare.**





# Sisteme Încorporate

- Echipamentele trebuie să poată lucra singure, să aibă alimentare proprie și să poată comunica.

◦ **Comunicațiile:** echipamentele sunt interconectate, formând rețele, iar comunicarea se poate face:

- **Cu fir**, de ex. Ethernet sau
- **Fără fir**, de ex. cu tehnologiile WiFi, Bluetooth, ZigBee etc.

◦ **Interfața cu utilizatorul:**

- **Activă:** prin voce, recunoașterea fizionomiei etc.
- **Pasivă:** echipamentele sesizează prezența omului, activitatea sa și reacționează a fi necesar ca omul să fie conștient de acest lucru.

◦ **Aplicații în multiple domenii:**

- **Sănătate:** monitorizarea stării pacienților și planificarea medicației → scade numărul zilelor de spitalizare;
- **Monitorizarea și îngrijirea la domiciliu:** în Anglia, acum, 20% din populație are peste 65 ani → va crește la 40% în 2025;
- **Monitorizarea mediului ambiant;**
- **Sisteme de transport inteligente:** pentru creșterea securității, pentru trasee alternative etc.;
- **Case inteligente:** de ex. sistemul de iluminare.





# Sisteme Încorporate

- **Probleme:**

- **Inginerești:** lipsa tehnologiilor ieftine pentru plasarea echipamentelor; lipsa surselor de alimentare potrivite; defecțiunile (depanarea va fi dificilă datorită interconectării);
- **Intimitatea personală (“Privacy”):** are 2 aspecte:
  - Monitorizarea permanentă a omului va afecta intimitatea sa;
  - Transferul de date poate fi interceptat de persoane neautorizate.
- **Securitatea:** monitorizarea permanentă a omului poate arăta punctele slabe din mediul său;
- **Siguranța:** introducerea unor asemenea echipamente poate afecta siguranța omului; de ex. dacă un asemenea echipament este introdus în automobil și omul se folosește de această facilitate, siguranța sa va fi afectată în cazul defectării sale;
- **Mediul:** utilizarea pe scară largă a acestor echipamente ridică probleme de depozitare, reciclare, afectare a mediului;
- **Sănătate:** datorită comunicării fără fir se pune problema radiațiilor, mai ales în condițiile apropierii echipamentelor de corpul uman și funcționării lor continue;
- **Diviziunea digitală:** problema este de natură socială și constă în posibila izolare a celor care din diferite motive nu folosesc UPC

# Sisteme Încorporate

## 1.6. Caracteristici de piață

La nivelul anului 2000, 8 miliarde de procesoare au fost fabricate din care 2% s - au folosit în PC – uri, laptop – uri, servere, stații de lucru iar restul de 98% în SI; 5 miliarde dintre acestea au fost pe 8 biți!

Piața globală a SI era de 45,9 miliarde USD în 2004, o creștere anuală de 14% ajungand la 88 miliarde USD în 2010!

2015 – 158 miliarde USD

**90% din inovațiile din automobile sunt în zona SI!**

Referitor la domeniul domestic există o variantă a legii lui Moore: **“pentru majoritatea produselor din domeniul electronicii de consum capacitatea codului se va dubla la fiecare 2 ani”**, emisă de Vaandrager!

Dacă în 1980 un televizor includea cam 1 Ko de cod, azi include min. 200 Mo de cod!

Un telefon mobil actual (mediu ca posibilități) conține min. 1 milion linii de cod în C!

# Sisteme Încorporate

## 1.7. Ce este Internet of Things și în ce domenii se folosește?



<http://www.getkello.com/#>

GlowCap®

GlowPack™



[www.vitality.net/glowcaps.html](http://www.vitality.net/glowcaps.html)



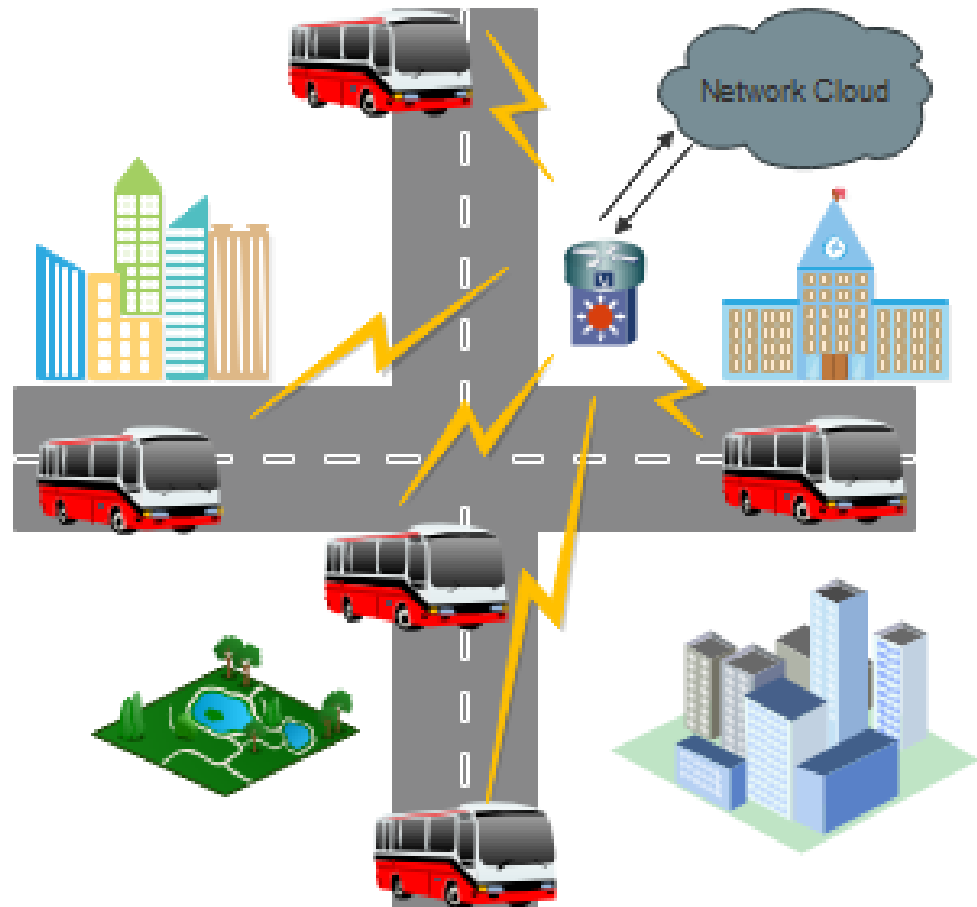
<https://www.philips-hue.com>



# Sisteme Încorporate

## Ce este Internet of Things?

### IoT-Connected Roadways



# Sisteme Încorporate

Ce este Internet of Things?

---

Smart Watches / Fitness Trackers



# Sisteme Încorporate

## Ce este Internet of Things?

Smart Rings (exemple: Oura Ring, RingConn, Evie Ring)

Choose your Oura Ring



### Long Battery Life

Up to 7 days of battery means you can track your health 24/7 without charging every night.



### Pinpoint Accuracy

Oura's research-grade sensors track it all: temperature-trends, heart rate, daily activity and recovery, sleep quality, menstrual cycles, even stress.



### Built to Last

Oura Ring is made of titanium: super strong, non-allergenic, lighter than the average wedding band.



### Always Wearable

Water resistant and tough enough to withstand altitude, heat, and cold, Oura tracks your biometrics wherever adventure takes you.



Brushed Titanium



# Sisteme Încorporate

Care sunt părțile componente ce alcătuiesc un dispozitiv Internet of Things?

Internet



Echipamente

- Un astfel de obiect poate primi diferite semnale de intrare de la mediul înconjurător
- să transforme apoi aceste semnale în date utile ce pot fi trimise către internet pentru a fi stocate și prelucrate

Senzori

- Obține informații pentru echipament, descoperă diferite informații referitoare la mediul exterior

Actuatori

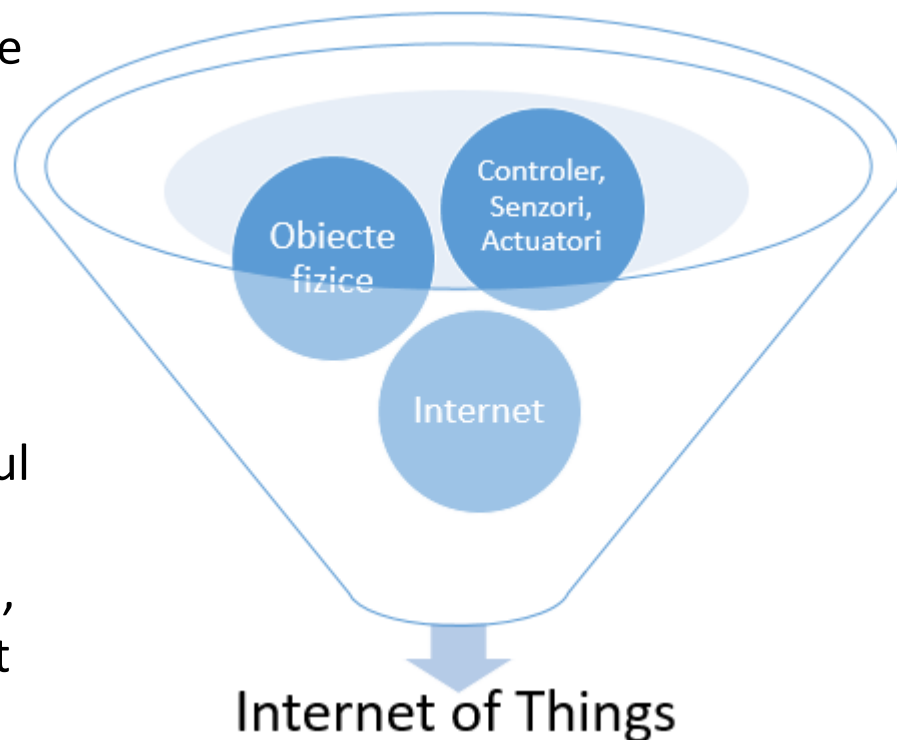
- LED-uri, dispozitive de afișare, motoare etc.



# Sisteme Încorporate

Care sunt părțile componente ce alcătuiesc un dispozitiv Internet of Things?

- Internet of Things, Internetul obiectelor al lucrurilor sau chiar Internetul a tot ce există (internet of Everything)
  - ▣ o rețea de echipamente (sau obiecte) conectate care comunică prin intermediul internetului
  - ▣ Folosind diferiți senzori, astfel de echipamente culeg date de la mediul înconjurător, aceste date sunt procesate într-o manieră controlată, iar rezultatele procesării datelor pot fi vizualizate în exterior prin intermediul acțiunii actuatorilor

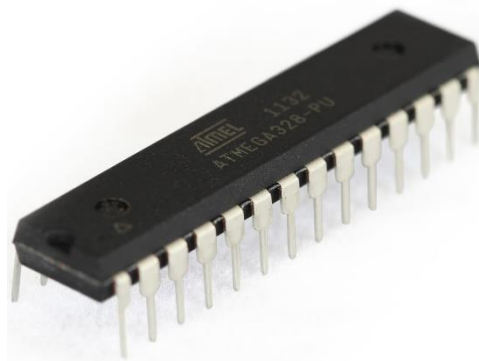




# Sisteme Încorporate

## 1.8. Structura unui SI

Unitatea centrală,  
Memoria,  
Intrări/ ieșiri specifice,  
Software de bază,  
Software aplicativ.



**Unitatea centrală:** pentru a decide dacă un procesor este potrivit pentru un SI trebuie luate în considerare câteva trăsături:

- **Numărul pinilor de I/ E:** numărul pinilor de I/ E trebuie comparat cu cel al liniilor care trebuie monitorizate/ comandate; unii pini de I/ E pot fi multiplexați;
- **Numărul interfețelor;**
- **Cerințele de memorie;**
- **Numărul liniilor de întrerupere;**

# Sisteme Încorporate

- 
- **Facilități de timp – real:** registre de captare/ comparare, PWM etc.; acestea pot fi realizate și fără facilități specifice dar cu prețul timpului;
  - **Viteza:** nu este dată întotdeauna doar de frecvența tactului, trebuie cunoscută și structura internă: de ex. un microcontroler Atmel la 8 MHz este mai rapid decât un microcontroler PIC la 20 MHz;
  - **Setul de instrucțiuni:** RISC sau CISC; subsetul de instrucțiuni de decizie și la nivel de bit are importanță deosebită;
  - **Instrumente de dezvoltare:** decisive în testare și depanare; costul lor trebuie luat în considerare.

## Memoria

- Situația ideală: atunci când memoria internă, de date și de program, este suficientă;
- În caz contrar, este necesară memoria externă;
- Capacitatea de memorie gestionată de un microcontroler este mai mică decât cea gestionată de un microprocesor, fiind în domeniul  $n \times 10$  octeți –  $n \times 10$  Mo, aplicațiile de timp real nu cer, în general, multă memorie.

# Sisteme Încorporate

---

## Intrări/ ieșiri specifice:

- Microcontrolerele includ interfețe și module periferice ca urmare ele nu mai apar de sine – stătătoare în SI;
- SI nu au periferice: harddisk – uri, monitoare, imprimante, mouse etc.
- Intrările/ ieșirile SI sunt specifice:
  - Citesc informația de la senzori analogici sau digitali,
  - Primesc comenzi din exterior, fie pe linii digitale fie de la comutatoare, minitastaturi,
  - Afișează informația pe led – uri, LCD – uri, afișaje cu 7 segmente,
  - Comandă actuatori.
- SI pot comunica pe linii seriale, cu sau fără fir, cu alte SI sau calculatoare de uz general;
- Pot dispune de port serial pentru programare în sistem;
- Pot dispune de port pentru depanare în sistem.

# Sisteme Încorporate

---

## Software de bază:

- Constă în sisteme de operare în timp real (RTOS), necesar pentru SI complexe, de exemplu cele distribuite;
- Exemple de RTOS: NetBSD, eCOS, Windows CE, OSEK etc.
- SI simple, de exemplu majoritatea din aplicațiile domestice, nu necesită software de bază.

## Software aplicativ:

- Implementează funcționalitatea cerută;
- Necesită limbajul de programare și mediul de programare; mediul de programare rulează pe un PC;
- Asigură operații ca: monitorizare, procesare, comandă și control.

# Sisteme Încorporate

---

## RTOS (Real-Time Operating System):

- Sunt proiectate pentru sisteme care sunt caracterizate printr-un control foarte precis al timpului de răspuns și al performanței;
- În cadrul unui RTOS operațiile pot fi prioritizate astfel încât părțile cele mai critice ale aplicației să poată lua controlul asupra procesorului exact în momentul în care este nevoie de acest lucru; TOATE celelalte operații sunt oprite temporar;
- Comportament în timp de tip determinist: serviciile care rulează într-un RTOS consumă doar o anumită perioadă de timp;
- Sunt prevăzute cu mecanisme de prioritizare a taskurilor în funcție de importanța acestora (exemplu: automotive – fire de execuție);
- Sisteme de operare care nu sunt în timp real - pot fi injectate întârzieri aleatoare într-o aplicație ceea ce poate rezulta într-o funcționare cu întârzieri la anumite perioade de timp;

# Sisteme Încorporate

---

## Resurse suplimentare:

- Articolul lui John Anderson, **Choosing a microcontroller:**  
<http://www.electronicsworld.com/Articles/15/05/2006/38623/Choosing-a-microcontroller.htm>
- Revista **Electronica Azi:** <http://www.electronica-azi.ro/revista.php>
- Cartea lui D. Calcutt, F. Cowan, H. Parchizadeh, *8051 Microcontrollers: An Application Based Introduction:*  
<http://ee.sharif.edu/~sakhtar3/books/8051%20Microcontrollers%20An%20Applications%20Based%20Introduction.pdf>
- <https://automic.com/blog/ten-ways-the-internet-of-things-is-transforming-our-lives>
- <https://www.wired.com/insights/2014/11/the-internet-of-things-bigger/>