

Sisteme Încorporate

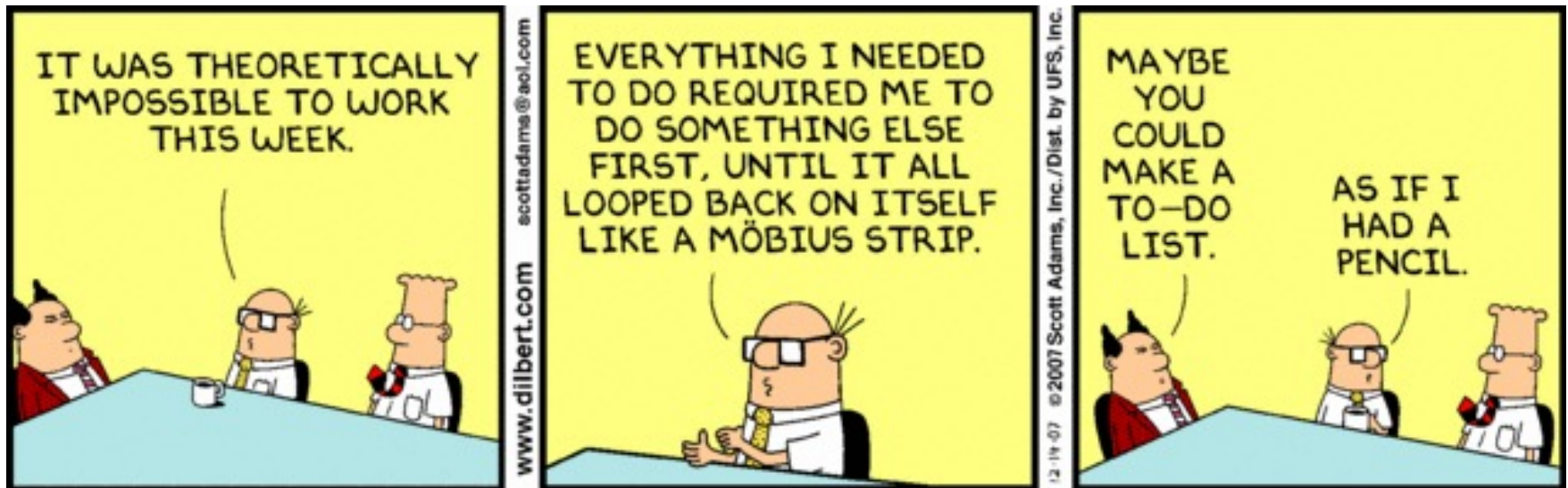
Cursul 9

Software de timp real

Sisteme de operare de timp real

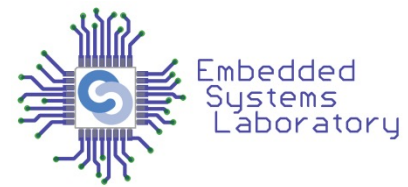
Planificare

Facultatea de Automatică și Calculatoare
Universitatea Politehnica București



<http://dilbert.com/strips/comic/2007-12-14/>

Definitie: Sisteme de timp real



- Un sistem embedded care monitorizeaza, raspunde la stimuli sau controleaza mediul extern in timp real (**sisteme reactive**)
- Exemple:
 - Vehicule (automobil, avion, ...)
 - Controlul traficului (autostrada, aerian, cai ferate, ...)
 - Controlul proceselor (uzina electrica, chimica, ...)
 - Sisteme medicale (terapia prin iradiere, ...)
 - Telefonie, radio, comunicatii prin satelit
 - Jocuri de calculator

- Constrangeri de timp/termen limita
 - Corectitudine temporala si functionala
- Hard deadline
 - Trebuie sa respecte termenul **intotdeauna**
 - Controller pentru traficul aerian
- Soft deadline
 - Trebuie sa respecte termenul **frecvent**
 - Decoder MPEG
- Concurenta (procese multiple)
 - Face fata la semnale multiple de intrare si iesire
- Fiabilitate
 - Cat de des se defecteaza sistemul
- Toleranta la defecte
 - Recunoasterea si tratarea erorilor si defectelor
- **Sisteme Critice**
 - Cost mare al unui defect
 - Sistem hard real time \Rightarrow sistem critic

- Abordari tipice:
 - Sincron
 - O singura bucla de program
 - Asincron
 - Sistem foreground/background
 - Multitasking

- Ce este un sistem de operare?
- O colectie organizata de extensii software a hardware-ului care indeplinesc urmatoarele functii:
 - Rutine de control pentru operarea sistemului (permit accesul la resursele calculatorului: file-system, I/O, memorie etc)
 - Un mediu pentru executia de programe

Serviciile unui SO

Program
Interface



*The range and extent
of services depends
upon needs
and characteristics of
target environment*

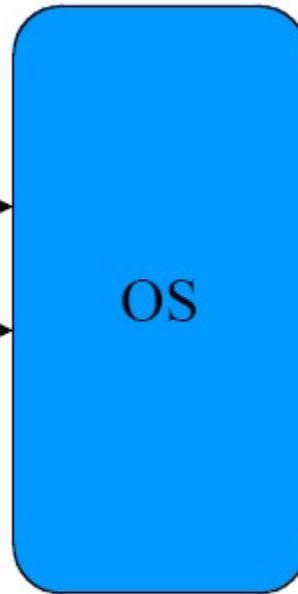
OS Call

copy file

User
Interface

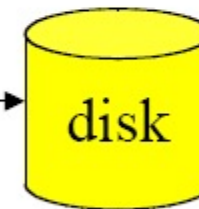


perry - 4/23/01



(also a program)

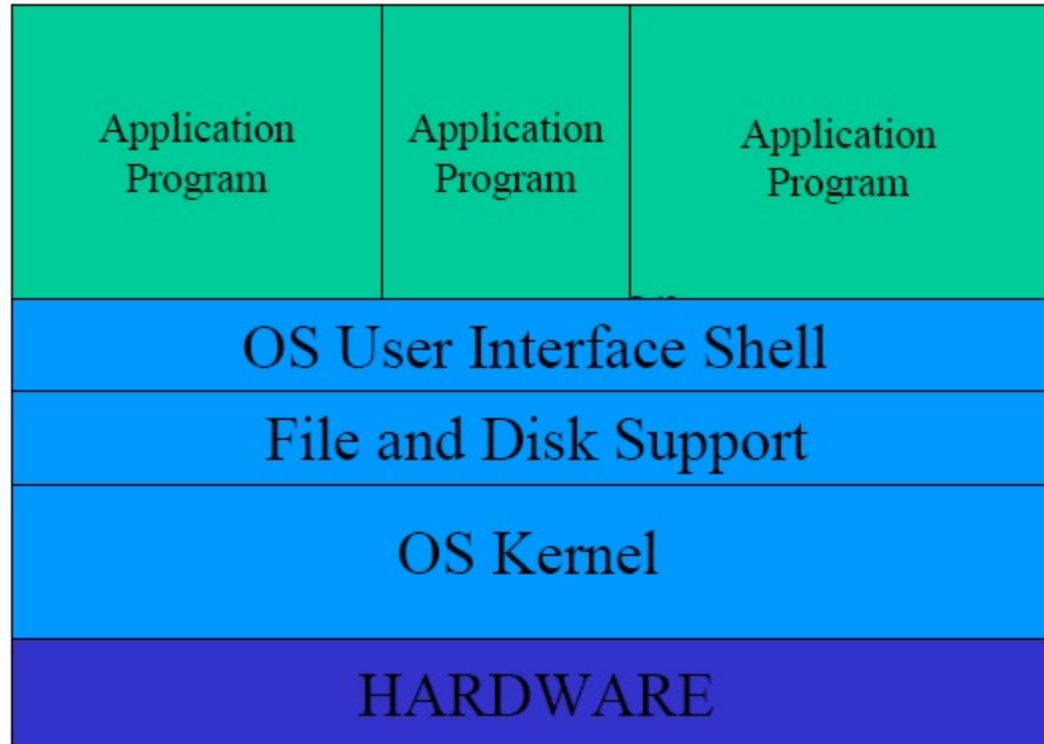
1000100100101100...



OS - General Purpose Computer

- Ce face defapt un sistem de operare?
- Administreaza resursele de sistem (procesor, memorie, I/O, etc.)
 - Tine evidenta asupra statusului si “proprietarului” fiecarei resurse
 - Decide cine primeste resursa
 - Decide cat de mult timp resursa poate fi alocata
- In sisteme cu executie concurenta
 - Arbitreaza si rezolva conflictele de resurse
 - Optimizeaza performantele in contextul utilizatorilor multipli
- Ganditi-va la un SO ca la proprietarul unei carti pe care toti studentii de la acest curs trebuie s-o citeasca
 - Care sunt problemele care apar?

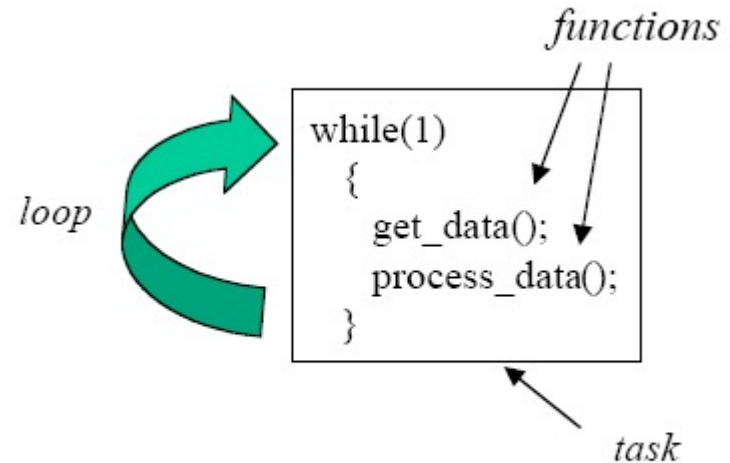
SO - Ierarhie



- Tipuri de sisteme de operare
 - Cele mai simple = kernel de dimensiuni mici pe un procesor embedded
 - Complexe = SO comercial Full-Featured
 - Securitate
 - Utilizatori multipli
 - Suport grafic
 - Suport pentru retea
 - Drivere comunicatie cu o gama larga de periferice
 - Programe cu executie concurenta

Taskuri si Functii

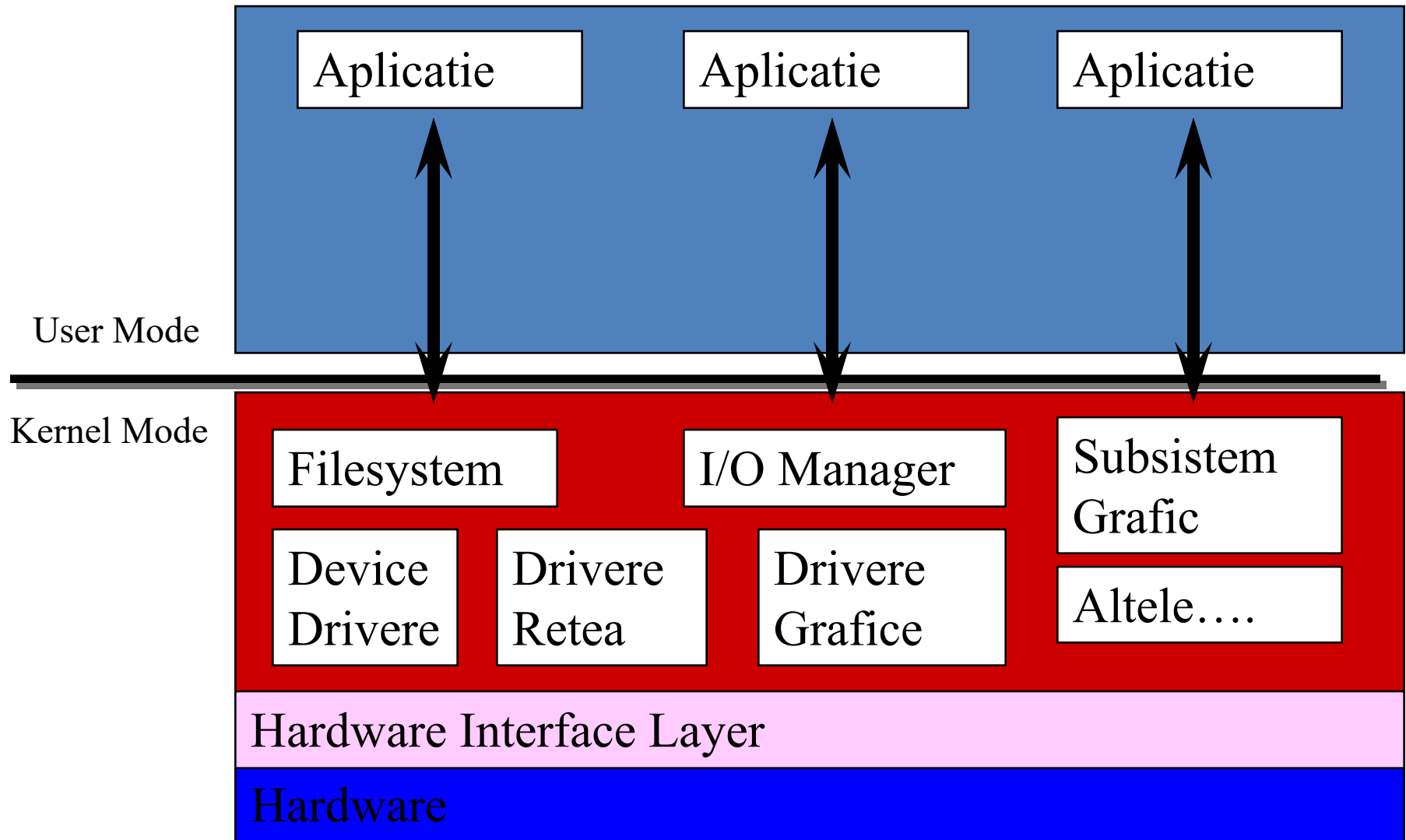
- Un task este un proces repetitiv
 - Bucla infinita
 - Conceptul de baza in sistemele de operare de timp real (RTOS).
- O functie este o procedura care poate fi apelata. Aceasta ruleaza apoi intoarce o valoare la terminarea executiei.
 - `process_data();`
 - `int add_two_numbers(int x, int y);`



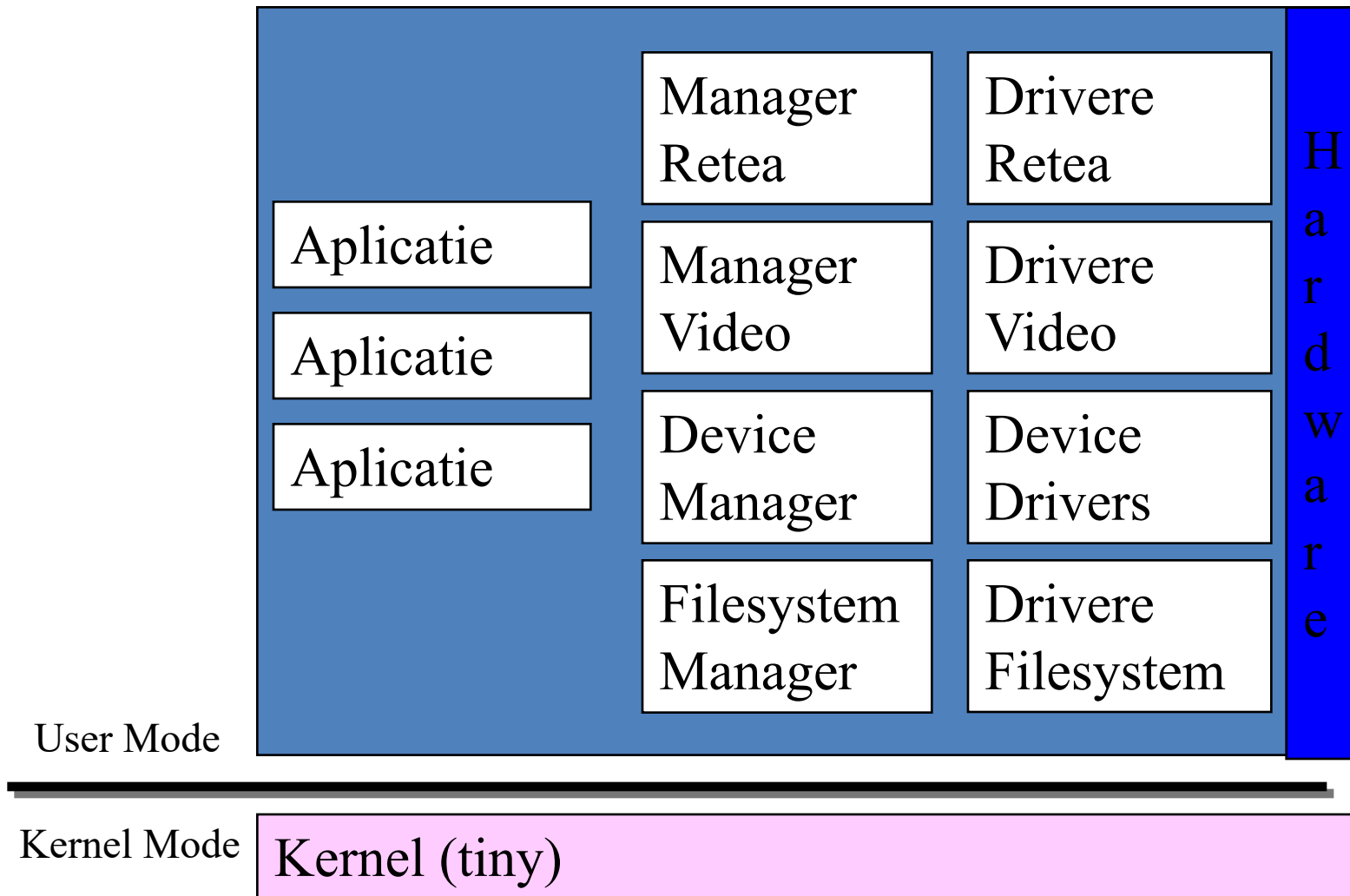
- In majoritatea cazurilor, RTOS = OS Kernel
 - Un sistem embedded este proiectat pentru un singur scop asa ca majoritatea functionalitatilor unui SO comercial sunt redundante (consola, interfata grafica, suport tastatura, mouse etc.).
 - RTOS permite controlul ferm asupra resurselor sistemului
 - Nu exista procese de background inutile
 - Numar maxim de task-uri care pot rula pe sistem
 - RTOS permite controlul temporizarii proceselor
 - Manipularea prioritatii task-urilor
 - Optiuni de setare a mecanismului de planificare

- Nuclee mici si rapide
- Extensii de timp real la sisteme de operare comerciale
- Sisteme de operare experimentale
- Parte din run-time-ul unor limbaje de programare
 - Java (embedded real-time Java)
- Kernel monolitic vs. Microkernel

Organizarea unui kernel monolitic



Organizarea unui microkernel



- Kernel-ul OS indeplineste 3 functii:
 - **Task Scheduler** : Determina care task va rula in cuanta de timp urmatoare pentru un sistem multitasking.
 - **Task Dispatcher**: Produce informatia necesara in contextul pornirii unui task
 - **Intertask Communication**: Implementeaza un mecanism de comunicatie intre doua procese

- Daca ne intoarcem la analogia cu cartea
 - **Task Scheduler:** Cine primeste cartea si cand?
 - **Task Dispatcher:** Managementul transportului cartii de la o persoana la alta
 - **Intertask Communication:** Ce se intampla daca un student vrea sa vorbeasca cu altul? Doar un singur student poate avea cartea la un moment dat.

- Strategii de design pentru nucleul RTOS
 - Polled Loop Systems
 - Sisteme Interrupt Driven
 - Sisteme Foreground / Background
 - Multi-tasking
 - Full Featured RTOS

Polled Loop System

- Cel mai simplu nucleu real-time
- O singura instructiune repetitiva testeaza un flag care indica daca un eveniment s-a produs sau nu.
- Nu este nevoie de comunicatie intre task-uri sau mecanisme de planificare – avem un singur task.
- Se comporta excelent in cazul canalelor de viteza mare de transmisie a datelor.
 - Evenimentele se petrec la intervale de timp uniforme (si relativ mari)
 - Procesorul se ocupa numai de canalul de date

- Un automat programabil care trebuie sa indeplineasca urmatoarele functii
 - La fiecare 20ms trebuie sa actualizeze ceasul sistemului
 - La fiecare 40ms ruleaza un modul de control
 - Inca trei module fara constrangeri puternice de timp
 - » Actualizarea ecranului operatorului
 - » Primirea de comenzi de la operator
 - » Inregistrarea unui istoric de evenimente si comenzi

Program cu o singura bucla de control

```
while (1) {  
    wait_clock_tick();  
    if(time_for_clock) update_clock();  
    if (time_for_control) do_control();  
    else if (time_for display update) refresh_display();  
    else if (time_for_input) get_input();  
    else if (time_for_log) save_log();  
}
```



- Trebuie ca: $t1 + \max(t2, t3, t4, t5) \leq 20 \text{ ms}$
 - Se preteaza la programe simple, cu numar limitat de functii si constrangeri

Alt Exemplu

```
int main(void) {
    Init_All();
    for (;;) {
        IO_Scan();
        IO_ProcessOutputs();
        KBD_Scan();
        PRN_Print();
        LCD_Update();
        RS232_Receive();
        RS232_Send();
        TMR_Process();
    }
    // n-ar trebui sa ajunga aici
    printf("Eroare...");
    return (0);
}
```

- Fiecare functie apelata in bucla infinita se executa independent
- Fiecare functie trebuie sa-si inceteze executia dupa un timp rezonabil, indiferent de codul executat.
- Nu se stie frecventa la care se executa bucla principala
 - Frecventa poate varia in functie de evolutia sistemului si de starea curenta
- Bucla contine si functii periodice si functii executabile la anumite evenimente
 - Majoritatea task-urilor sunt event-driven
 - ex. IO_ProcessOutputs este event-driven
 - De obicei au asociate la intrare cozi de mesaje
 - Ex. IO_ProcessOutputs primeste evenimente de la IO_Scan, RS232_Receive si KBD_Scan cand o iesire trebuie activata
 - Celelalte sunt periodice
 - Nu raspund la evenimente dar pot avea perioade diferite si isi pot schimba in timp perioada de executie

Observatii (cont.)

- Trebuie implementate niste metode simple de comunicatie inter-task
 - Ex. Vrem sa nu mai citim intrarile dupa ce s-a apasat o anumita tasta sau sa repornim citirea la alta apasare
 - Cerere de la KBD_scan() la IO_scan()
 - Ex. Vrem sa restrictionam executia anumitor rutine in functie de circumstante
 - Apare o avalansa de schimbari de stare la intrarile sistemului si legatura RS232 nu poate sa le trimita pe toate
 - Reducem perioada IO_scan() a.i. transmisia sa fie completa
- Uneori este nevoie sa se execute cateva operatii simple dar prioritare
 - Ex. Micsoreaza luminozitatea LCD-ului dupa un timp de la ultima apasare, clipeste cursorul la pozitia curenta pe ecran cu o anumita frecventa fixa.
 - De cele mai multe ori aceste procese nu au functii dedicate (sunt prea simple) ci sunt executate sincron de o rutina de timer

- Pro:
 - Foarte simplu de implementat in cod si de depanat
 - Timpul de raspuns este foarte usor de determinat
- Contra:
 - Poate sa cedeze la evenimente in rafala
 - In general, nu are suficiente functionalitati pentru controlul sistemelor complexe
 - Cicli de ceas pierduti, mai ales daca evenimentul din bucla se petrece foarte rar

- Ce este o intrerupere?
- Un semnal hardware care initiaza un eveniment
- La receptia unei intreruperi, procesorul:
 - Finalizeaza instructiunea curenta
 - Salveaza Program Counter (ca sa se intoarca de unde a pornit)
 - Incarca in PC adresa de inceput a rutinei de tratare a intreruperii
 - Executa RTI
- De obicei, sistemele de timp real pot sa trateze mai multe intreruperi simultan prin implementarea unui mecanism de prioritati
 - Intreruperile pot fi pornite/oprite
 - Intreruperile cu cea mai mare prioritate sunt tratate primele

Implementarea unei rutine event-driven

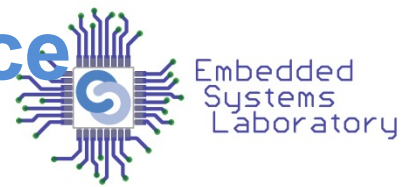
Fiecare rutina are atasata o coada de evenimente

Ex. Lista circulara cu doua metode: GetEvent si PutEvent

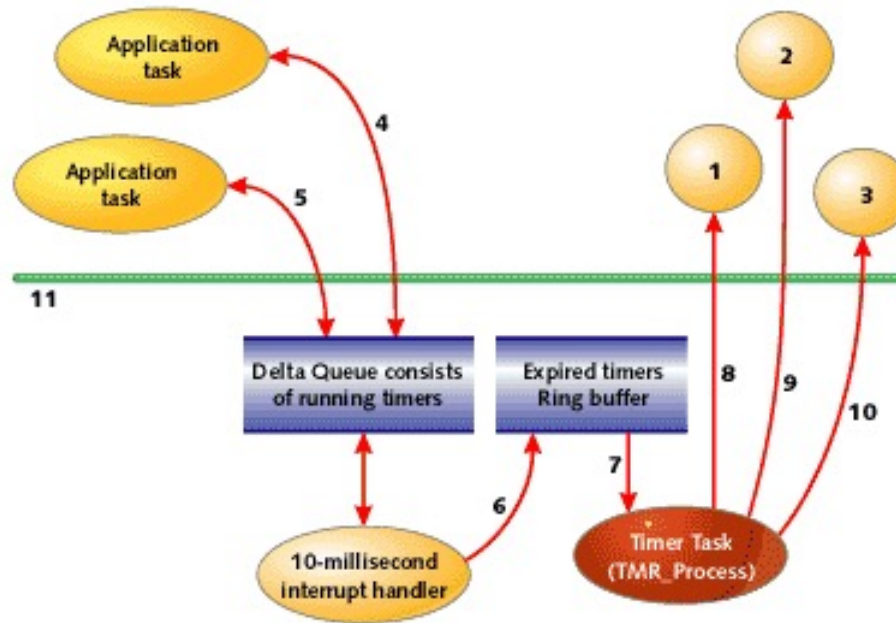
- Trimiterea si primirea de evenimente

```
void IO_ProcessOutputs(void) {
    int ret;
    EVENT_TYPE OutputEvent;
    OutputEvent.NewState = 1;
    OutputEvent.Number = 1;
    PutEvent(&OutputEvent); // insereaza un eveniment in coada
    // .....
    if ((ret = GetEvent(&OutputEvent) != EMPTY)
        {
            // am primit un eveniment; proceseaza
            IO_OutputChange(OutputEvent.Number, OutputEvent.NewState)
        }
    }
```

Implementarea operatiilor periodice simple

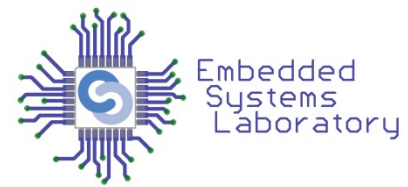


- Mai multe actiuni trebuie executate cu exactitate sau periodic
 - Afisarea cursorului
 - O iesire care trebuie inchisa/deschisa periodic
 - Afiseaza un mesaj la o anumita ora sau periodic
 - Ilumineaza/stinge LCD-ul dupa un timp
- E mai dificil de implementat cate o functie pentru fiecare
 - Se aloca mai multe variabile de incrementare in rutina de intrerupere a timerului
- O solutie: timer software



- Pentru fiecare timer folosit se definește o funcție care se execută la expirarea intervalului
- Rutine de TMR_Start și TMR_Stop
- Toate timerele din sistem sunt ținute în “coada delta” în ordinea expirării lor.
 - Timerele care expiră peste 10, 60, & 200 tick-uri de ceas vor fi stocate:
 - 10 50 (= 60 - 10) 140 (= 200 - 60)

Sisteme Foreground/Background



- Cea mai comun intalnita solutie hibrida pentru aplicatiile embedded simple
- Foloseste un fir de executie interrupt-driven (foreground) SI un fir de executie in bucla principala (background)
- Toate solutiile real-time sunt niste cazuri speciale de sisteme foreground/background
- Polled loops = Sistem Background-only
- Sisteme Interrupt-only = Sisteme Foreground-only
- Tot ce nu este time-critical trebuie sa fie in fundal
- Background este procesul cu prioritatea cea mai mica

Foreground (interrupt) *(t1)*

```
on interrupt {  
    do_clock_module();  
    if(time_for_control) do_control();  
}
```

Background *(t2)*

```
while (1) {  
    if (time_for_display_update) do_display();  
    else if (time_for_operator_input) do_operator();  
    else if (time_for_request) do_request();  
}
```

- Departajarea relaxeaza constrangerile: $t1 + t2 \leq 20 \text{ ms}$

Abordarea Multi-Tasking

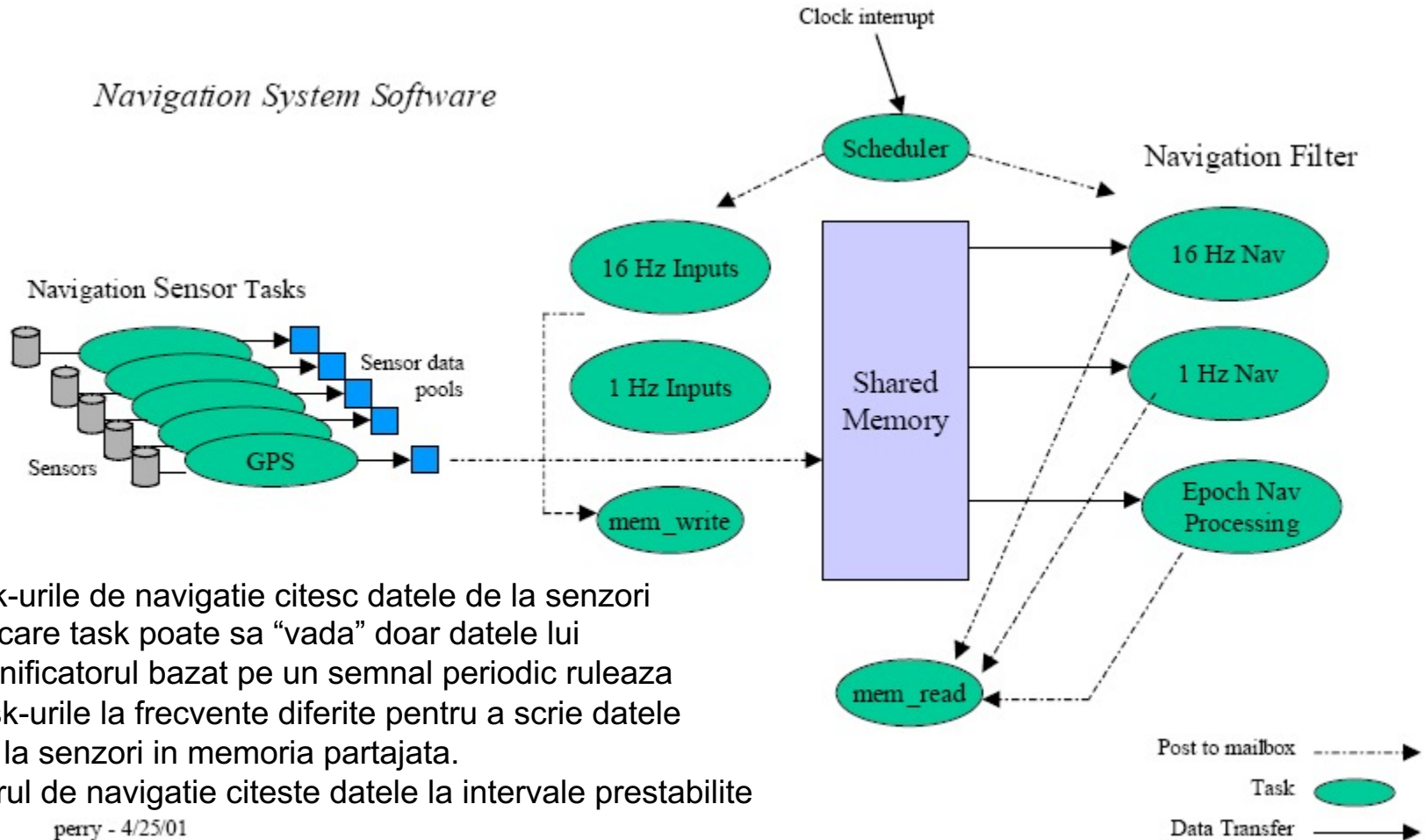
- O bucla de control: un singur “task”
- Foreground/background: doua task-uri
- Generalizare: task-uri multiple
 - Numite si procese, thread-uri
 - Fiecare proces se executa in paralel
 - Procesele interactioneaza simultan cu elementele externe
 - Monitorizeaza senzorii, controleaza efectoarele, trateaza , IO etc.
 - Creeaza iluzia paralelismului
 - Cerinte
 - Planificarea proceselor
 - Partajarea datelor intre procese concurente

- Ce inseamna Multitasking?
 - Procese separate impart acelasi procesor (sau procesoare)
 - Fiecare task se executa in contextul propriu
 - Detine procesorul pentru cuanta curenta de timp
 - Are variabile proprii
 - Poate fi intrerupt
- Mai multe task-uri pot interactiona si functiona ca un program unitar.

- Un proces poate avea
 - Cerinte de resurse
 - Prioritate atasata
 - Relatii de precedenta
 - Cerinte de comunicare
 - Si, cel mai important, constrangeri de timp
 - » Specificarea momentului de timp la care sa se execute sau sa se termine o actiune
 - » Ex. Perioada unui proces periodic
 - » Sau deadline pentru un proces neperiodic

Exemplu Multitasking

Navigation System Software



- Task-urile de navigatie citesc datele de la senzori
- Fiecare task poate sa “vada” doar datele lui
 - Planificatorul bazat pe un semnal periodic ruleaza task-urile la frecvente diferite pentru a scrie datele de la senzori in memoria partajata.
 - Filtrul de navigatie citeste datele la intervale prestabilite

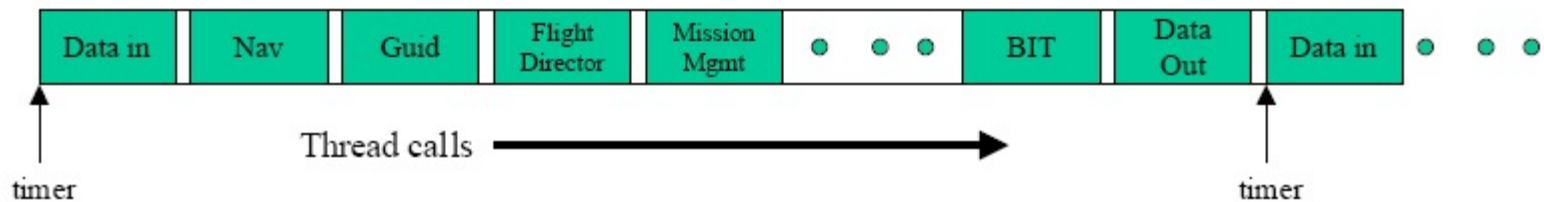
perry - 4/25/01
4

- Context switching
 - Atunci cand CPU-ul schimba un fir de executie cu un altul se face o schimbare de context
 - Se salveaza MINIMUL de informatii menite sa refaca procesul intrerupt la o apelare ulterioara
 - Exemplul cu cartea: De ce e nevoie? (*nume, pagina, paragraf, cuvantul_nr.*)
 - Intr-un sistem de calucul MINIMUL este, de cele mai multe ori
 - Continutul registrelor
 - Continutul PC
 - Continutul registrelor de coprocesor (daca e cazul)
 - Adresa paginii de memorie
 - Adresele I/O-urilor mapate in memorie
 - Variabile speciale
 - In timpul schimbarii contextului, intreruperile sunt dezactivate
 - Sistemele de timp real trebuie sa aiba timpi minimi pentru context-switching.

- Cate task-uri impart acelasi procesor?
 - Sisteme cu executie ciclica
 - Sisteme round-robin
 - Sisteme preemptive

Sisteme cu executie ciclica

- Foloseste o planificare statica pentru a ordona toate firele de executie

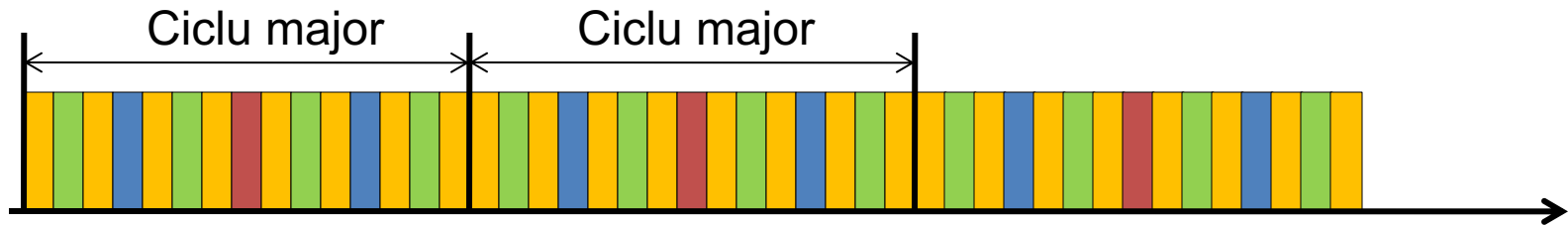



- Pro:
 - Usor de implementat (folosite in sisteme critice si de mentinere a vietii)
- Contra:
 - Nu sunt foarte eficiente d.p.d.v. al folosirii CPU
 - Nu permit un timp de raspuns optim (intotdeauna, unele sarcini au prioritate mai mare)


- Procesele se executa secvential pana la finalizarea tuturor
- De multe ori in conjunctie cu o schema de executie ciclica
- Fiecarui task ii este alocata o cuanta de timp.
- Exista un timer de sistem care genereza o intrerupere la expirarea fiecarei cuante de timp
- Task-ul se executa pana la finalizare sau pana la terminarea cuantei de timp alocate lui.
- Contextul este salvat sau refacut la fiecare iesire/intrare a procesului intr-o cuanta de executie.


- Aplicabila la task-urile periodice
- Se construiește o tabela și fiecare proces are alocată o cuanta de timp
- Prezivibil dar inflexibil
 - Tabela este total refacută când un singur proces își modifică timpul de execuție
- Timpul este împărțit în cicli minori (o cuanta) și un timer declanșează execuția procesului planificat pentru cuanta respectivă de timp.
- Un set de cicli minori constituie un ciclu major care se repetă continuu.
- Operațiile sunt implementate ca niște proceduri și sunt incluse în liste de execuție pentru fiecare ciclu minor
- La începutul unui ciclu minor timerul apelează în ordine fiecare procedură din lista respectivă.
- Fără preempție: operațiile lungi trebuie “sparte” pentru a putea încapa într-un ciclu minor.


- Patru functii care se executa la 50, 25, 12.5 si 6.25Hz (20,40,80 si 160ms) pot fi planificate intr-o executie ciclica cu un ciclu minor de 10ms:



 Functia 1
(odata la 2 cadre)

 Functia 2
(odata la 4 cadre)

 Functia 3
(odata la 8 cadre)

 Functia 4
(odata la 16 cadre)

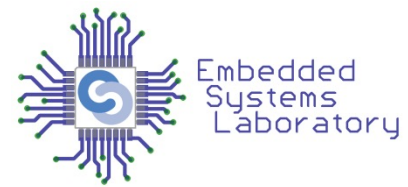
- Un task cu prioritate mai mare poate sa preempteze pe un al doilea, daca acesta din urma este in executie in cuanta curenta de timp
- Prioritatile alocate fiecarui task sunt bazate pe urgenta executiei fiecarui task in parte
- Prioritatile pot sa fie fixe sau dinamice

- Non-preemptive: procesul, odata pornit nu se opreste decat dupa ce si-a terminat executia
 - » Ex.: N task-uri, fiecare task j apelat la un interval T_j are nevoie de un timp C_j de executie
atunci: $T_j \geq C_1 + C_2 + \dots + C_N$ in cel mai rau caz (toate celelalte N-1 task-uri sunt si ele gata)
- Preemptive: un proces poate fi oprit pentru rulara altui proces
 - Complica implementarea
 - Dar putem face mai bine planificare

Planificarea (scheduling)

- Date de intrare
 - Unul sau mai multe procese
 - Timpii de activare, executie si deadline pentru fiecare proces
- **Algoritm de planificare:** politica de alocare a proceselor pe unul sau mai multe procesoare
- **Planificare fezabila:** daca algoritmul de planificare poate satisface toate constrangerile
- **Algoritm optim:** Un algoritm de planificare care produce un rezultat fezabil (daca acesta exista)

Evaluarea performantelor algoritmilor de planificare

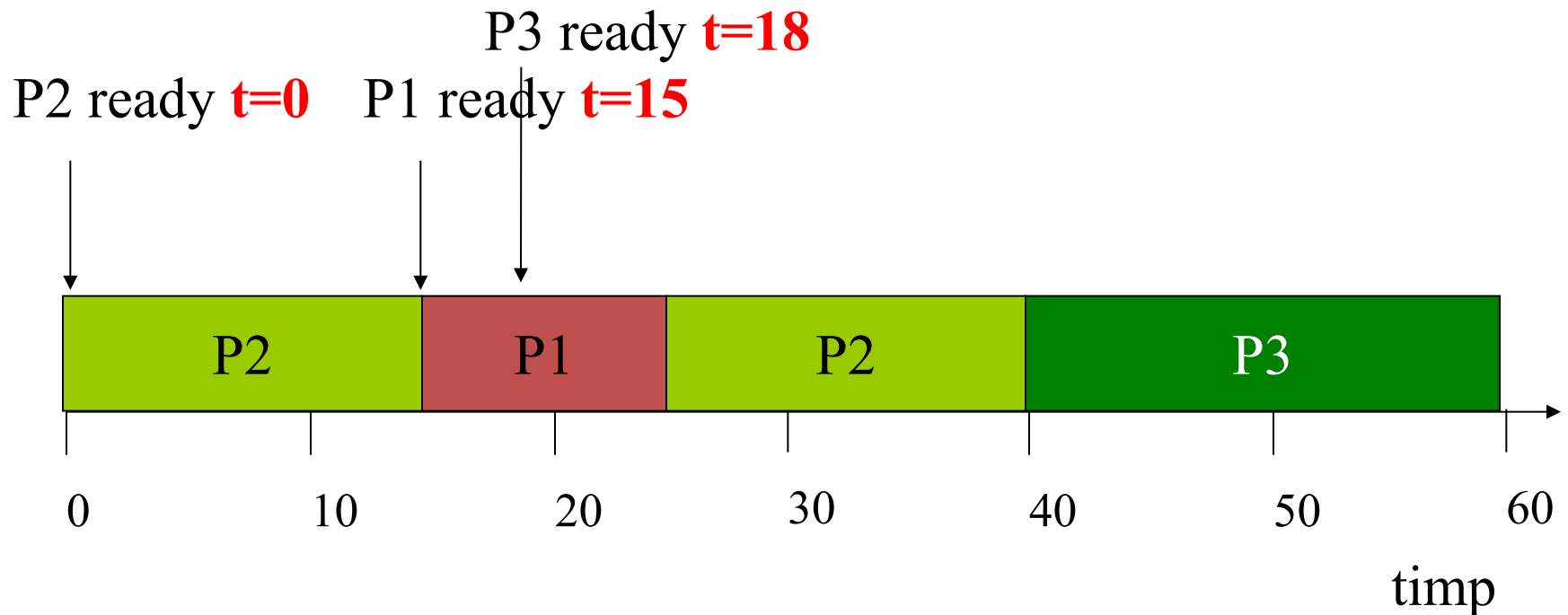


- Cazul static: planificare off-line care asigura ca toate deadline-urile sunt satisfacute
 - Metrica secundara:
 - » Maximizarea numarului mediu de sosiri devreme
 - » Minimizarea numarului mediu de intarzieri
- Cazul dinamic: nici o garantie a priori ca termenul limita va fi satisfacut
 - metrica:
 - » Maximizarea numarului de procese care satisfac termenul limita
- Pentru amandoua cazurile:
 - **Overhead de planificare minim**

- Fiecarui proces i se atribuie o prioritate (static sau dinamic)
 - Atribuirea prioritatii se face tinandu-se cont de constrangerile de timp
 - Prioritatea statica: atragatoare pentru un sistem simplu (ieftin si nu necesita recalculari)
- La un moment de timp, ruleaza sarcina cu cea mai mare prioritate
 - Daca ruleaza un proces cu prioritate mica, si soseste un altul cu prioritate mai mare, primul proces este preemptat
- Atribuirea unor prioritati corespunzatoare permite tratarea anumitor situatii in timp real.

Exemplu

- P1: prioritate 1, timp executie 10
- P2: prioritate 2, timp executie 30
- P3: prioritate 3, timp executie 20



- Rate Monotonic Scheduling
 - Prioritati statice bazate pe perioade de timp
 - » Prioritate mai mare pentru perioade mai scurte
 - Optim, intre toti algoritmi de prioritizare statica
- Earliest-Deadline First
 - Atribuire dinamica
 - Cu cat e mai aproape termenul unui proces, cu atat e mai mare prioritatea
 - Aplicabil atat pentru sarcinile periodice, cat si pentru cele neperiodice
 - Se recalculeaza prioritatile la sosirea unei sarcini noi
 - » Mai costisitor in privinta overhead-ului obtinut la rulare

Planificarea constransa de toleranta la defecte

- Exemplu: mecanism de impunere a unui termen limita pentru a garanta terminarea executiei unei sarcini principale daca nu exista nici un defect si alocarea unei perioade suplimentare de timp pentru intrarea in executie a unei sarcini alternative (de precizie mai mica) in cazul unei avarii.
 - Daca nu se produce avaria, timpul suplimentar alocat este reutilizat
- Alta abordare: scenariu de rezerva prevazut in algoritmul de planificare normal si activat la producerea unei defectiuni

- Sunt variatii in timpii de executie ai unui proces
 - Unele sarcini pot sa termine mai devreme decat era planificat
- Dispecerul de sarcini poate sa realoce acest timp pentru alte sarcini
 - Ex. Sarcinile care nu sunt de timp real pot fi rulate in intervalele realocate (idle slot)
 - Si mai bine: foloseste timpul suplimentar pentru a garanta terminarea sarcinilor cu constrangeri de timp

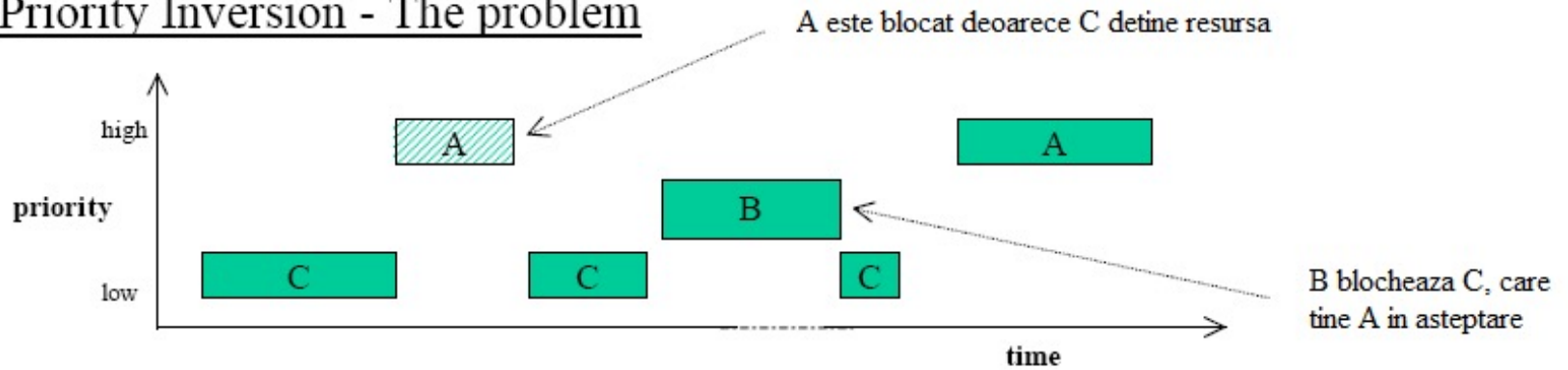
- Ideea principala: aranjeaza calculele a.i. sa se produca rezultate mai precise daca este mai mult timp la dispozitie
 - Daca nu este suficient timp exista totusi un rezultat de calitate mai proasta in loc de nimic
- Poate fi cuplata cu optimizarea consumului de energie (vezi cursurile anterioare)

- Multitasking-ul nu este perfect
 - Task-urile de prioritate mare acapareaza resursele si “infometeaza” task-urile cu prioritate mica
 - Task-urile cu prioritate mica impart aceeaasi resursa cu cele de prioritate mare si le blocheaza pe acestea din urma
- Cum trateaza un RTOS aceste probleme?
 - Rate Monotonic Systems (frecventa de executie mare = prioritate mare)
 - Mostenirea prioritatii

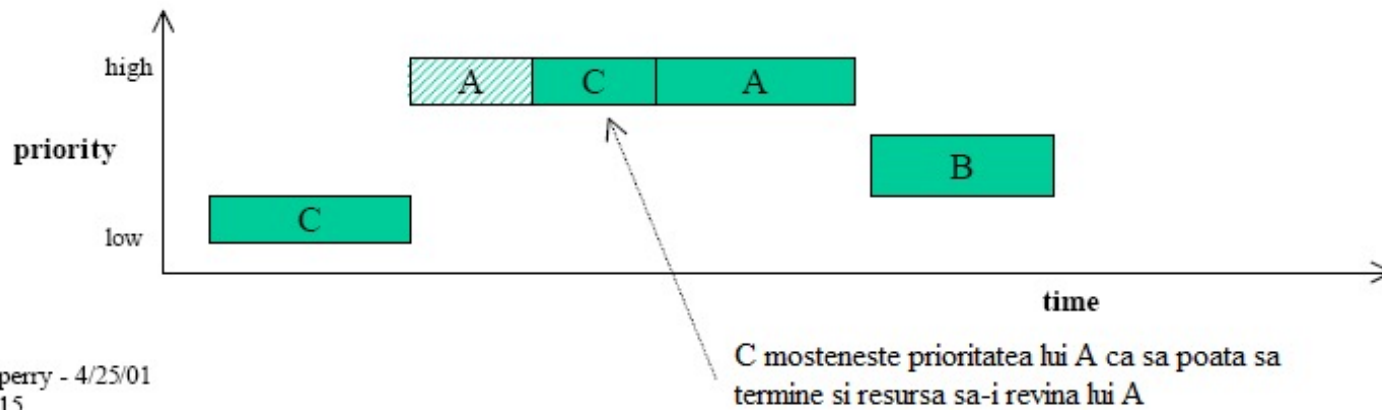
- Priority Inversion / Priority Inheritance
 - Task A si Task C impart aceeasi resursa
 - Task A este High Priority
 - Task C este Low Priority
 - Task A este blocat cand Task C se executa (adica A ajunge sa aiba prioritatea lui C - **Priority Inversion**)
 - Task A va fi blocat pentru si mai mult timp daca Task B de prioritate medie vine si blocheaza Task C inainte ca acesta sa termine
 - Un RTOS bun detecteaza aceasta conditie si promoveaza temporar Task C la High Priority a Task A (**Priority Inheritance**)

Priority Inversion/Inheritance

Priority Inversion - The problem



Priority Inheritance - A solution



perry - 4/25/01
15

- Extind solutiile foreground/background
 - Adauga:
 - Interfete de retea
 - Drivere dispozitive
 - Solutii complexe pentru debugging
- Sunt alegerea cel mai des intalnita pentru sistemele complexe
- Foarte multe sisteme de operare disponibile deja pe piata.

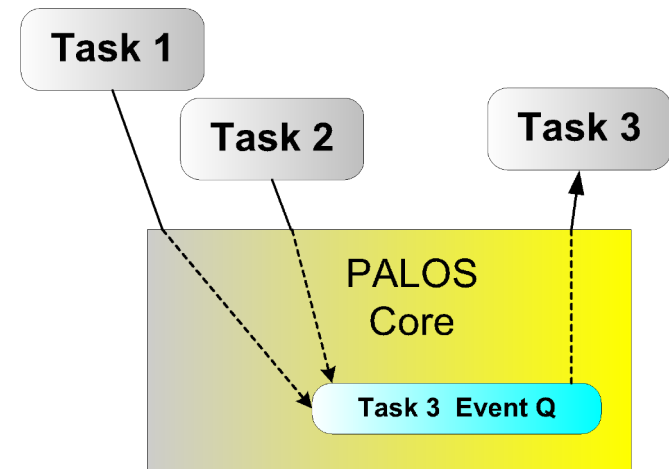
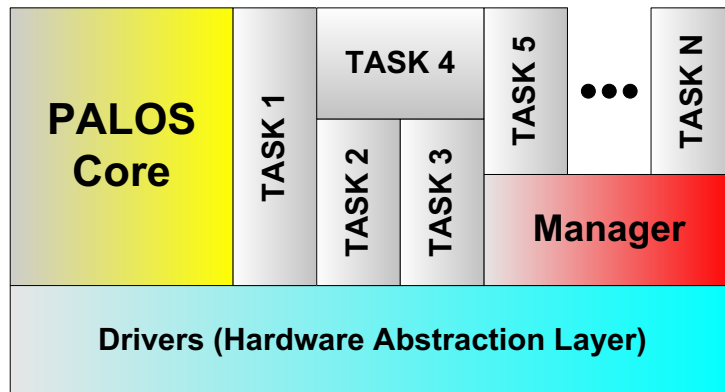
Cateva exemple de RTOS

- Pentru sisteme mici
 - PALOS (UCLA)
 - TinyOS (Berkeley)
- Sisteme medii
 - μ COS-II
 - eCos
- Sisteme complexe
 - VxWorks
 - Real-time Linux

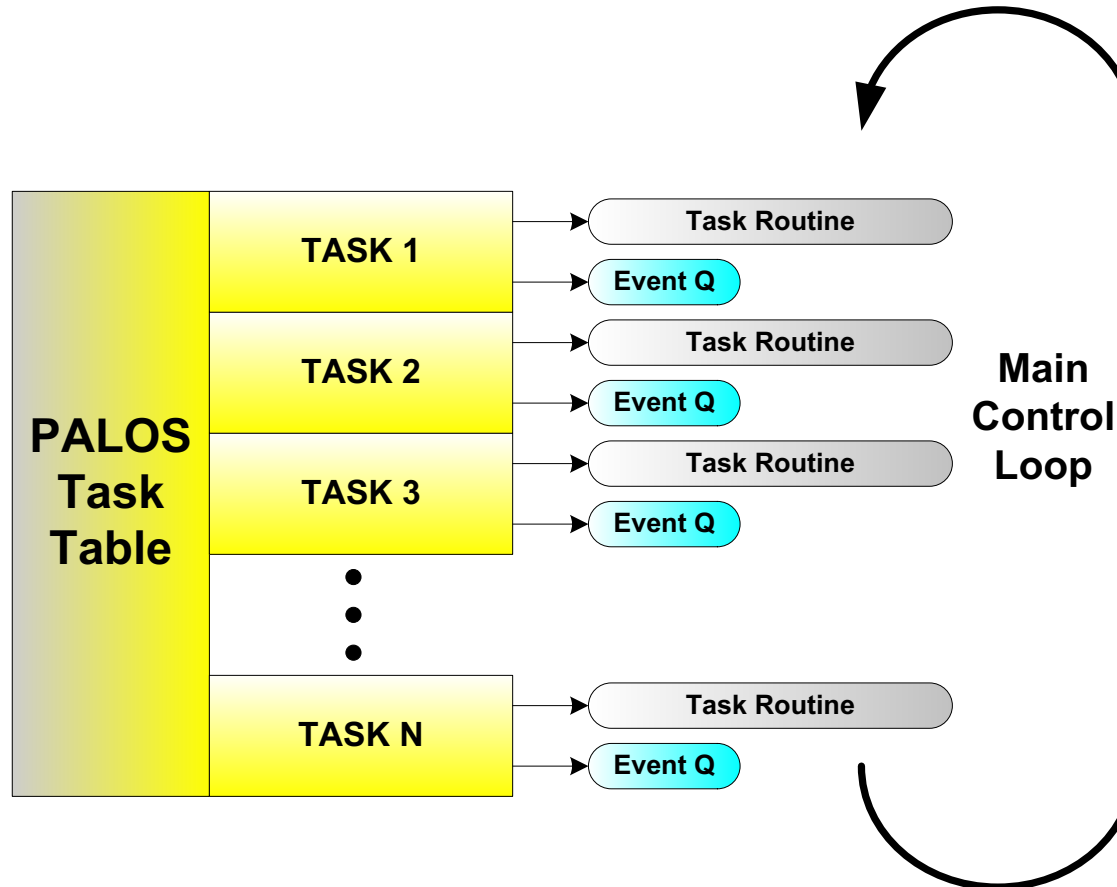
Exemplul I: PALOS

- Structura – PALOS Core, Drivere, Managere, si Task-uri definite de utilizator
- PALOS Core
 - Task control: incetinirea, oprirea si reluarea unui task
 - Handlere periodice si neperiodice
 - Comunicatie Inter-task prin cozi de evenimente
 - Task-uri Event-driven: handlerul proceseaza evenimentele stocate in coada de evenimente

```
while (eventQ != isEmpty) {dequeue event; process event;}
```
- Drivere
 - Processor-specific: UART, SPI, Timere..
 - Platform-specific: Radio, LED-uri, Senzori

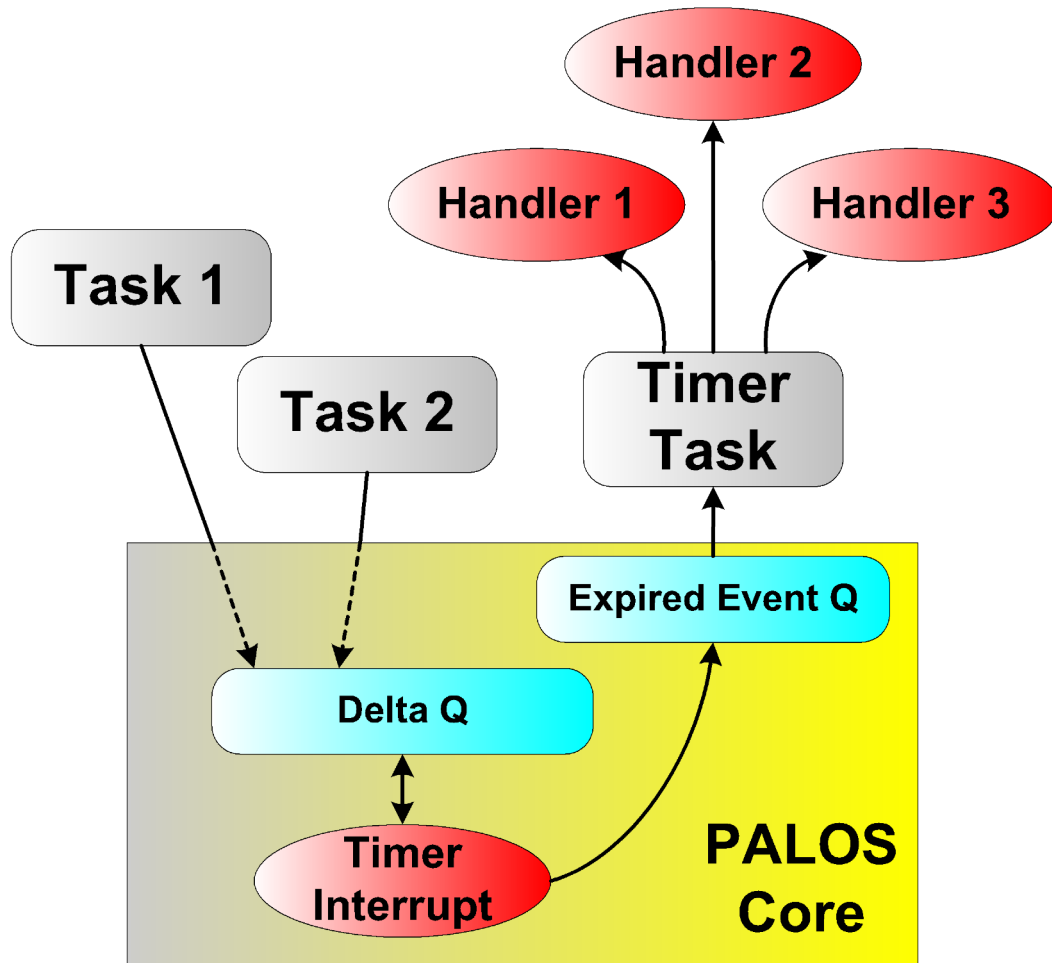


Implementarea proceselor PALOS



- Orice task apartine buclei principale
- Fiecare task impreuna cu coada lui de evenimente are o intrare dedicata intr-un tabel de procese
- Controlul executiei
 - Se asociaza un contor fiecarui task
 - Contoarele sunt initializate la valori pre-determinate
 - 0: normal
 - Intreg pozitiv: slowdown
 - -1: stop
 - Non-negativ: restart
 - Contoarele sunt decrementate
 - La fiecare iteratie a buclei de control (timing relativ)
 - La fiecare intrerupere de timer (timing exact)
 - Atunci cand contorul atinge valoarea zero, rutina de executie a task-ului este apelata. Dupa executie contorul este resetat.

Event Handlere in PALOS



- Evenimentele periodice sau neperiodice pot fi planificate folosind o schema Delta Q sau o intrerupere de timer
- La expirarea evenimentului este apelat event handler-ul respectiv

PALOS - Caracteristici

- Portabilitate
 - CPU: ATmega103, ATmega128L, TMS320, SStrongThumb
 - Placi de dezvoltare: MICA, iBadge, MK2
- Amprenta mica de memorie
 - Core (compilat pentru ATMega128L)
 - Cod: 956 Bytes , Memorie: 548 Bytes
 - Aplicatie tipica(3 drivere, 3 task-uri)
 - Cod: 8 Kbytes, Memorie: 1.3 Kbytes
- Controlul executiei task-urilor
 - Pune la dispozitie mijloace de-a controla executia proceselor (incetinire, oprire, reluare)
- Planificator: Apelarea de functii periodice si neperiodice
- Versiunea preliminara de pe Sourceforge (2002)
https://sourceforge.net/project/showfiles.php?group_id=61125

Exemplul II: μ COS-II

- RTOS portabil, scalabil, preemptiv, multitasking
 - Suporta pana la 63 de procese declarate static
- Servicii
 - Semafoare, event flags, mailbox, cozi de mesaje, task management, fixed-size memory block management, time management
- Sursa disponibila pentru uz non-comercial
 - <http://www.micrium.com/products/rtos/kernel/rtos.html>
 - GUI, stiva TCP/IP etc.
 - Simulator Win32 <http://wsim.pc.cz/introduction.php>
 - Carte “MicroC/OS-II: The Real-Time Kernel”

Exemplul III: Real-time Linux

- Microcontroller (MMU-less) :
 - uClinux - (kernel < 512KB) cu implementare full TCP/IP
- VxWorks
 - Multitasking
 - IPC – mutex, cozi de mesaje
 - Sistem de fisiere
 - IPV6
 - VxSim – simulator
 - Sisteme care folosesc VxWorks:
 - Boeing 787
 - ASIMO
 - Linksys WRT54G
 - F18 - Super Hornet
 - Mars Reconnaissance Orbiter
 - Spirit & Opportunity Mars Exploration Rovers
 - Deep impact, Stardust

Alegerea unui RTOS

- De unde stiu care este cea mai buna solutie pentru aplicatia mea?
- Un indiciu important il primesc de la modul cum ajung datele in sistemul meu
 - Neregulat (o secventa stiuta dar variabila de intervale in care primesc date sau evenimente)
 - Rafala (secventa arbitrara limitata la un numar maxim de evenimente simultane)
 - Limitat (interval minim intre doua intrari succesive de date)
 - Limitat cu rata medie (intervale imprezibile dar apropiate de o medie globala)
 - Nelimitat (pot sa fac doar o predictie statistica)
- Care este I/O-ul critic?
- Exista termene limita absolute?

- Exemple din viata reala:
 - Vehicul reutilizabil pentru lansarea satelitilor pe orbita
 - Vectorul de control pentru propulsie necesita date care estimeaza altitudinea odata la 40msec sau racheta devine instabila
 - *Executie ciclica.*
 - Navigatia si controlul unui submarin.
 - Interfata cu senzori multipli care sunt esantionati cu rate diferite
 - Informatia de la unitatea inertiala de referinta este cruciala dar temporizarea exacta a datelor de intrare nu este esentiala
 - *Schema de executie preemptiva de pe un RTOS comercial. Task-urile importante au prioritatea cea mai mare.*

- Sistem de control avionica – are nevoie de date de la suprafetele de control al zborului si de la echipamentul de navigatie la fiecare 50ms
 - *Executie ciclica. Fiecare task ruleaza pana la finalizare. Toate task-urile ruleaza in serie.*
 - *Ultimele task-uri s-ar putea sa nu termine executia pana la aparitia intreruperii de 50ms.*
- Microcontroller care opereaza antene radar si comuta intre ele pentru a determina pozitia unui obiect. Daca primeste semnal, alimenteaza circuitul de procesare a semnalului.
 - *Polled loop.*

- Multi-tasking implica partajarea resurselor de catre mai multe procese
- Fiecare task are contextul propriu de executie
- Mai multe task-uri se pot combina pentru a forma un program
- Sunt mai multe cai de a implementa multi-taskingul
 - Cyclic Executive
 - Round Robin
 - Sisteme bazate pe prioritati
- Unele sisteme sunt construite prin combinarea mai multor concepte RTOS
- Nu exista o singura cale care sa fie garantat buna pentru implementarea unui sistem embedded dar exista cu siguranta cai gresite. Alegeti-va RTOS-ul potrivit aplicatiei!