

ELEMENTE DE ORGANIZARE ȘI FUNCȚIONARE A SISTEMELOR ÎNCORPORATE

Vitalie Secrieru, Sergiu Zaporozjan, Vasile Gîscă
Universitatea Tehnică a Moldovei
primcast@mail.ru, zaporojan_s@yahoo.com, vgasca@yahoo.com

Abstract. *Today's products represent a new generation of capabilities that fuse together sensors, actuators and electronics. In fact, recent studies show that 2/3rds of manufacturers include embedded systems in their products. Such systems often use a microcontroller to perform all tasks related to the application. However, it would be really hard to solve a computation-intensive application with a low-end or even mid-level microcontroller. Another problem is the lack of free pins. We can take a larger, faster microcontroller, if it tackles our problem. An alternative solution is to use an external CPLD as a bridge to perform all tasks related to the I/O space, thereby freeing up our low-cost microcontroller to perform other operations. There are a lot of embedded structures. Each different approach has its own advantage and disadvantage. This paper is focused on the differences of a few alternatives, which are discussed.*

Cuvinte-cheie: *sistem încorporat, structură, MCU, FPGA/CPLD.*

I. Introducere

Sistemele încorporate sunt sisteme de calcul care sunt părți componente a unor dispozitive speciale. Un sistem încorporat (EmS) poate fi definit ca un sistem informatic de prelucrare a datelor încorporat în cadrul unui produs (dispozitiv special).

Componentele structurale ale unui sistem încorporat sunt similare unui sistem de calcul de uz general. Deosebiriile țin de natura și dimensiunea spațiului de I/O. Intrările-ieșirile sunt mult mai diverse și mai numeroase în cazul sistemelor încorporate decât în cazul unui sistem de calcul de uz general. Rezultă că bazele teoretice de organizare și funcționare a unui EmS sunt, în esență, similare principiilor de organizare și funcționare a unui sistem de calcul de uz general [1].

Cu toate acestea în proiectarea unui sistem încorporat trebuie luate în considerație diferite cerințe specifice impuse asupra sistemului [2-4]. Există o mare diversitate de sisteme încorporate, care realizează funcții foarte diferite. De aceea sunt greu de găsit criterii clare de clasificare a sistemelor EmS. Rezultă din cele expuse o varietate largă de abordări și soluții arhitecturale în spațiul de proiectare a sistemelor încorporate.

Lucrarea dată este o încercare de structurare a diverselor abordări în spațiul de proiectare a aplicațiilor încorporate de volum mediu sau redus, deoarece aceasta este caracteristica unei pieți mici. Este însă și cazul aplicațiilor EmS pe nișe înguste și foarte specifice. Necesitatea studiilor de acest gen rezultă din necesitatea alegerii variantei de implementare hardware, problemă ce trebuie rezolvată rapid și corect la etapa de proiectare a unui sistem EmS.

II. Sisteme încorporate: abordări arhitectural-structurale

În fig.1 este ilustrată arhitectura virtuală a unui sistem încorporat. Trebuie notat că conform definiției clasice un sistem încorporat nu include calculatoare de uz general, fiind înglobat într-un dispozitiv special. Asta nu exclude însă posibilitatea funcțională a unui EmS de a comunica cu un calculator de uz general.

Arhitectura tipică a unui EmS este construită pornind de la cerințele de bază impuse în proiect-

țarea sistemelor încorporate [2-4]. Astfel, un sistem EmS este constituit din diverse componente, care sunt prezentate succint în continuare.

Procesare. Bloc ce reprezintă nucleul fiecărui EmS și îndeplinește următoarele funcții:

- Ø efectuează operații aritmetice și logice asupra operanzilor;
- Ø efectuează operațiuni de dirijare și control;
- Ø recepționează semnalele de comandă de la tastatură;
- Ø memorizează parametri setați de utilizator și regimul de lucru;
- Ø transmite semnalele de comandă blocurilor funcționale periferice;
- Ø etc.

Spațiu I/O analog-numeric. Sunt dispozitivele de interacțiune cu mediul: implementează funcții speciale degrevând unitatea centrală de diverse operații specifice.

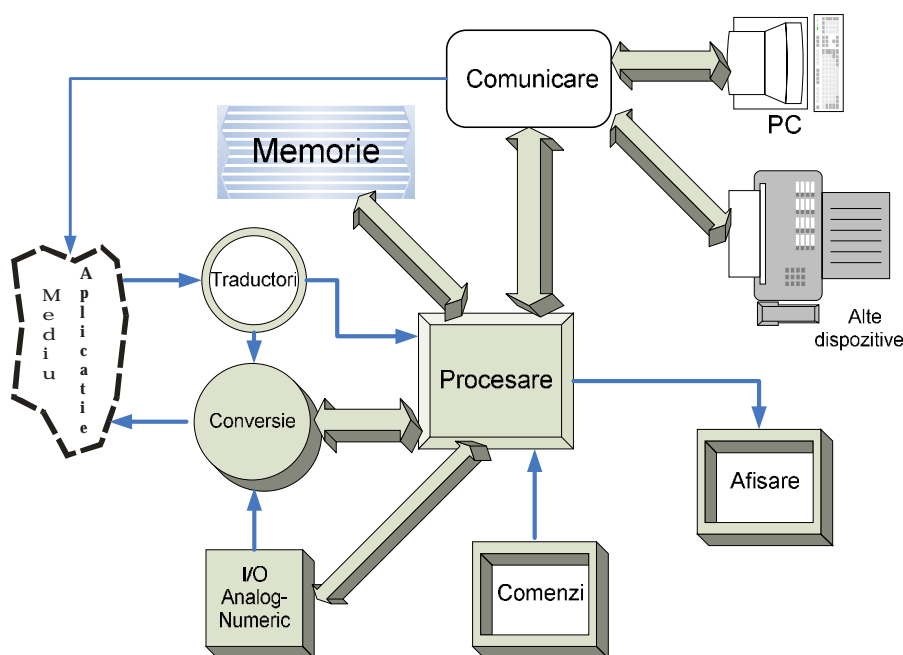


Fig.1 Arhitectura virtuală a unui sistem încorporat

Memorie. Unitatea centrală de prelucrare folosește diverse informații stocate în diferite tipuri de memorii.

Comunicație. Poate fi serială și/sau paralelă:

- Ø Comunicația paralelă. Poate fi asigurată de controler sau de circuite specializate;
- Ø Serială sincronă (SPI, I2C, TWI);
- Ø Serială asincronă (USB, USART, 1WIRE).

Traducători. Traducătorii se clasifică în numerici și analogici. Pot fi specificați senzori de temperatură, de curent, de tensiune, de câmp magnetic, de lumină, de gaze, de poziție, radiație, viteză, accelerație, presiune, nivel (lichid) etc.

Conversie. Conversoarele se utilizează pentru conversia semnalelor/datelor din analog în numeric și invers. Conversia se efectuează fie direct în interiorul unității centrale (prin metode soft sau hard), fie utilizând circuite specializate exterioare.

Comenzi. Cu ajutorul blocului dat se efectuează dirijarea EmS (selectarea regimurilor, modificarea parametrilor de lucru). Reprezintă un set de taste cu ajutorul cărora se programează regimurile de lucru ale dispozitivului și se execută navigarea prin meniul de comenzi a dispozitivului. De asemenea poate fi realizat în forma unei console de dirijare de la distanță prin toate metodele cunoscute în prezent.

Afișare. Se folosesc leduri, ecrane LCD, etc.

Din cele prezentate este evidentă importanța alegerii corecte a unității centrale de prelucrare. Această unitate poate fi realizată cu microprocesor, microcontroler, dispozitive de tip DSP, FPGA, ASIC [2-5]. În figura 2 este prezentată dependența prețului dispozitivelor FPGA și ASIC de volumul de fabricație. Se poate observa că circuitele ASIC reprezintă o alternativă solidă pentru volume mari de produse. Pentru volume mici costul acestor circuite este relativ mare, alt dezavantaj rezultând din timpii mari de proiectare a unui ASIC. Procesoarele DSP acoperă aproape în exclusivitate segmentul specific al aplicațiilor de prelucrare numerică a semnalelor, inclusiv în cazul sistemelor EmS. Microprocesoarele acoperă în mod firesc piața sistemelor de calcul de uz general.

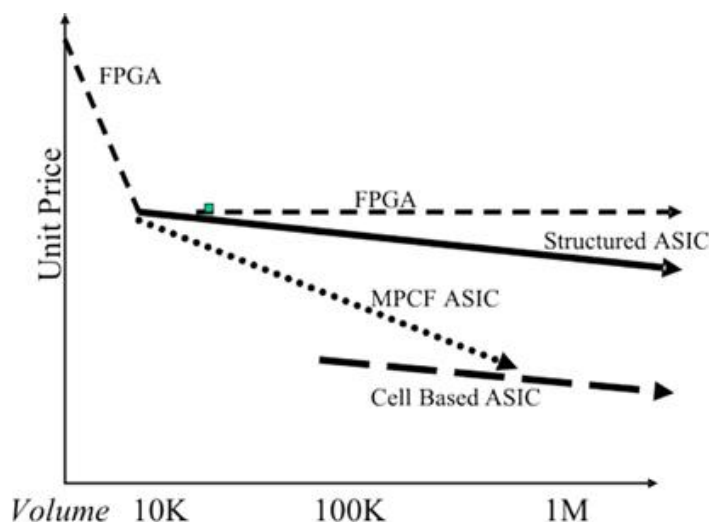


Fig.2. Prețul dispozitivelor FPGA și ASIC versus volum (imagine preluată din [5])

Astfel, pentru spațiul de proiectare a aplicațiilor încorporate de volum mediu sau redus, există două alternative: microcontrolere și dispozitive FPGA/CPLD. La drept vorbind, există și alternativa dispozitivelor de tip FPOA similare oarecum celor de tip FPGA. Însă circuitele FPOA sunt destinate în special pentru aplicații de prelucrare a imaginilor, operând la frecvențe superioare circuitelor FPGA.

La prima vedere pare indiscutabilă alegerea unui microcontroler pentru realizarea unității centrale de prelucrare (UC). În foarte multe cazuri este o alegere corectă și potrivită sub toate aspectele: cost, viteză de lucru, consum de putere. Dacă însă ne amintim că intrările-ieșirile sunt diverse și numeroase în cazul sistemelor încorporate, vom înțelege că alegerea unui microcontroler ar putea fi uneori mai puțin potrivită ori chiar inacceptabilă. Prin aceasta se explică popularitatea structurilor combinate de tip MCU-FPGA/CPLD. În continuare prezentăm câteva structuri EmS ce pot fi considerate generice. Figurile 3 și 4 reflectă două structuri valabile pentru aplicații simple.

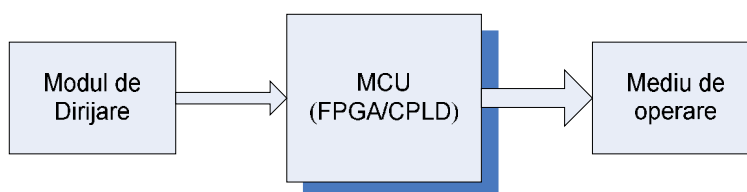


Fig.3. Structură EmS în configurație minimă

Deoarece ambele structuri sunt elementare și conțin un număr redus de elemente, cerințele înaintate față de UC sunt relativ mici. Reieșind din aceste considerente, în ambele structuri UC poate fi realizată fie în bază de MCU, fie în bază de circuite FPGA/CPLD. Atât MCU cât și FPGA/CPLD

vor fi circuite de cost redus, deoarece costurile totale și performanța acestor structuri vor fi comparabile indiferent de circuitul în baza căruia e realizat UC. Oricum, alegerea MCU este de preferat sub aspect de cost, iar alegerea FPGA/CPLD – sub aspectul vitezei de lucru.

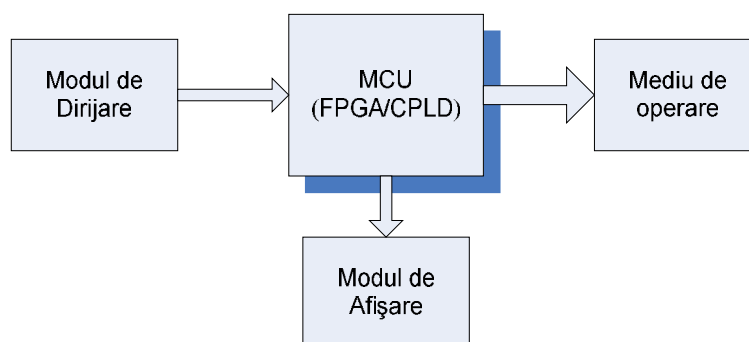


Fig.4. Structură EmS cu modul de afișare

Structura funcțională prezentată în figura 5 presupune prezența unor traductoare analogice și numerice. Reieșind din aceasta, structura funcțională necesită căi de conversie. Convertorul analog-numeric (CAN) e prezentat cu linie întreruptă, deoarece este necesar obligatoriu doar în cazul alegerii FPGA. În cazul alegerii MCU conversia ca regulă este încorporată și se utilizează în cazul în care satisface cerințelor impuse.

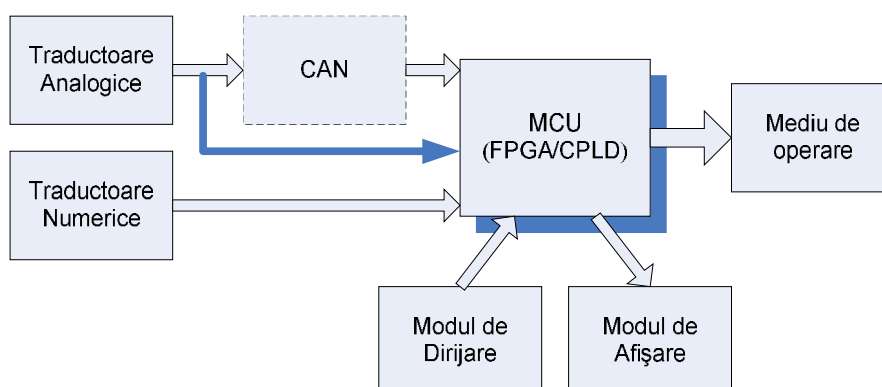


Fig.5. Structură EmS cu canal de conversie analog-numerică

Circuitul CAN utilizat extern poate fi secvențial sau paralel în cazul alegerii FPGA. În cazul realizării UC în bază de MCU e preferabilă conversia secvențială, în caz contrar se poate ajunge în situația când nu sunt suficienți pini, în acest caz impunându-se o multiplexare ceea ce complică structura și afectează fiabilitatea EmS. Ca și în cazurile precedente pot fi utilizate ambele variante cu următoarea precizare: la viteze de execuție și conversie mici trebuie utilizat MCU, la viteze sporite - FPGA.

În cazul când aplicația încorporată solicită un spațiu extins de intrare-ieșire numărul redus de pini de care dispune MCU implică o problemă care poate fi rezolvată combinând realizarea UC pe microcontroler cu utilizarea unui CPLD pentru acoperirea spațiului de intrare-ieșire. Varianta enunțată apare în structura din figura 6a. Ca rezultat costurile structurii vor crește din contul CPLD.

În structura de alternativă din figura 6b unitatea centrală este realizată în bază de FPGA/CPLD, astfel fiind asigurată acoperirea „automată” a spațiului extins de intrare-ieșire, determinând și o fiabilitate mai înaltă.

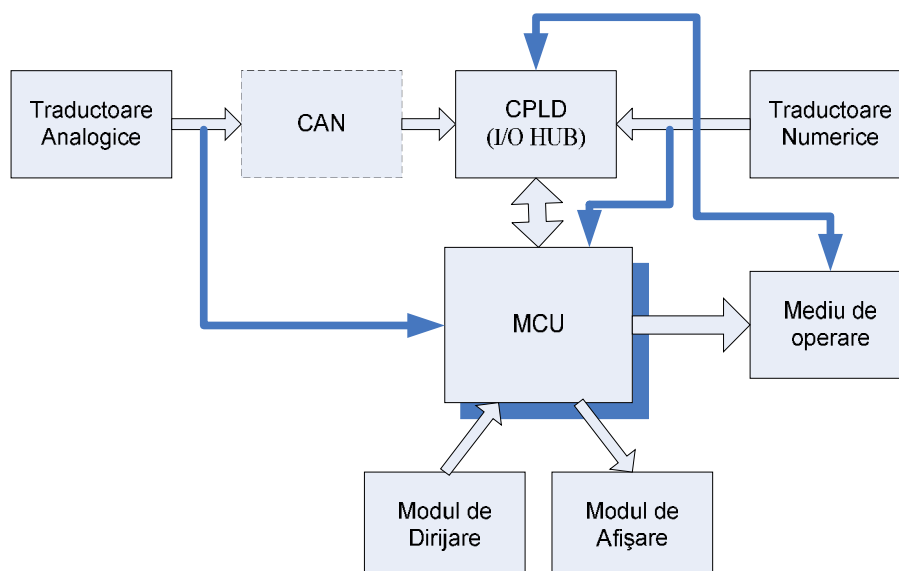


Fig.6a. Variantă de structură EmS cu spațiu extins de intrare-ieșire

Odată cu creșterea vitezei de execuție în aplicații de timp real, structura pe bază de MCU ar putea fi nepotrivită la un moment dat. Soluția de alternativă - structura pe bază de FPGA/CPLD.

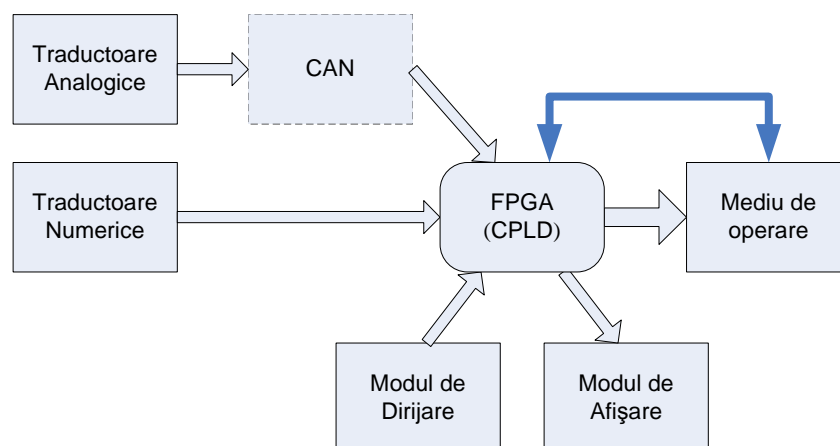


Fig.6b. Variantă de structură EmS cu spațiu extins de intrare-ieșire

Sporirea numărului de intrări permite implicit și mărirea numărului de ieșiri, deaceia în ambele structuri mediul de operare este conectat la UC: prin intermediul CPLD în cazul structurii pe MCU și direct în cazul structurii pe dispozitiv FPGA.

Structurile prezentate în figurile 7 a,b sunt similare celor din figurile 6 a,b cu excepția unui circuit de memorie locală (LMU). În cazul alegerii MCU microcontrolerul poate oferi o cantitate de memorie încorporată și numai în cazul aplicațiilor relativ complexe este necesar un circuit exterior (dreptunghi cu linie întreruptă). În cazul alegerii FPGA afirmația precedentă rămâne valabilă, deoarece dispozitivele FPGA conțin memorii încorporate. Dacă însă UC se va realiza cu un dispozitiv CPLD, apelarea la un circuit de memorie locală devine obligatorie.

Completând structurile din figurile 7a,b cu circuite de comunicație, obținem două structuri cu funcționalități sporite față de precedentele datorită capacității de comunicație.

Pentru structurile cu spațiu extins de intrare-ieșire problema costurilor devine mai sofisticată, necesitând o analiză specială.

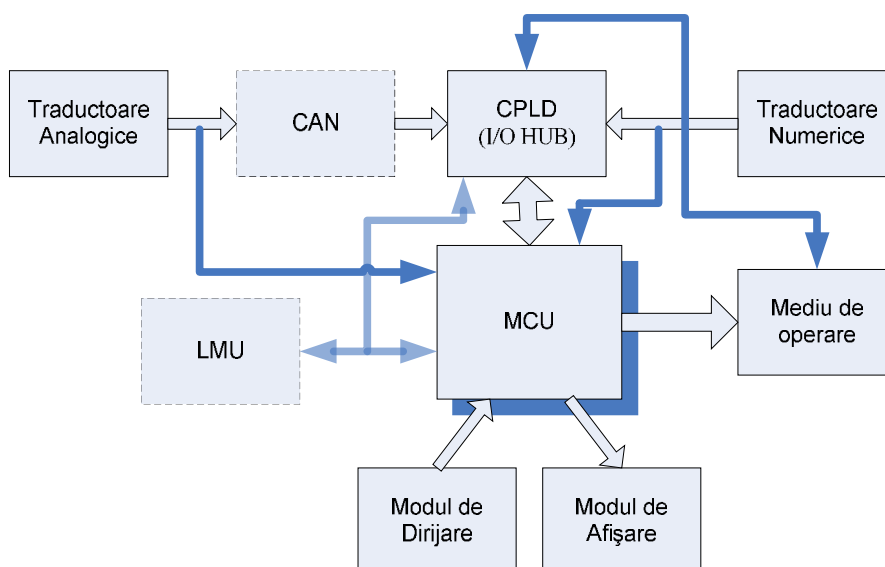


Fig.7a. Variantă de structură EmS cu memorie locală

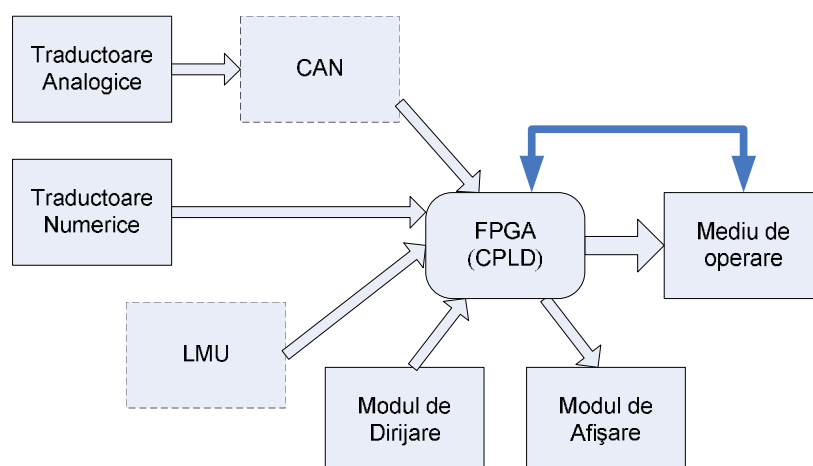


Fig.7b. Variantă de structură EmS cu memorie locală

III. Concluzii

În lucrare au fost analizate sub aspect calitativ câteva structuri ce pot fi considerate tipice în proiectarea multor aplicații încorporate. Analiza efectuată poate fi utilă în alegerea variantei de implementare hardware la etapa de proiectare a unui sistem EmS.

IV. Referințe

1. Stallings W. Computer Organization and Architecture. *Designing for Performance*. Prentice-Hall, 4th edition, 1996.
2. Noergaard T. Embedded Systems Architecture. *A Comprehensive Guide for Engineers and Programmers*. Elsevier, 2005.
3. Berger A.S. Embedded Systems Design. *An Introduction to Processes, Tools and Techniques*. CMP Books, 2002.
4. Wolf W. Computers as Components. *Principles of Embedded computing system design*. Morgan Kaufmann Publishers, 2nd edition, 2008.
5. Johnson J. Using customizable MCUs to bridge the gap between dedicated SoC ASSPs, ASICs and FPGAs: Part 1. Retrieved June 14, 2007, from <http://www.embedded.com>