

1. Privire de ansamblu

Acest raport de cercetare continuă investigarea căilor de modelare a fenomenelor ecologice, începută în cadrul raportului precedent, [NDS07]. După ce, în [NDS07], a fost prezentată o panoplie (destul de largă) a modelelor analitice care pot caracteriza un sistem ecologic, în cadrul acestui raport, abordarea virează către studiul modelelor numerice. Prin acest demers, este asumată în mod deliberat eventuala pierdere de precizie și de semnificație fizică a noilor modele, în speranța obținerii unei eficiențe superioare de prelucrare a datelor. De altfel, modelele analitice sunt destul de puțin adaptabile la seturi de date măsurate și nu permit decât determinarea (sau varierea) unui număr redus de parametri. Mai mult, ele nu iau în considerare zgomotul perturbator care însoțește datele și care este esențial pentru predicție (adică pentru monitorizare). De aceea, este puțin probabil ca o predicție de calitate să fie obținută cu ajutorul numai al modelelor analitice. Rolul acestora este mai degrabă acela de a ilustra corelațiile care există între diferitele mărimi ecologice. De exemplu, în [NDS07], a fost pusă în evidență, cu destul de multă claritate, dependența care există între temperatura unui sistem ecologic (fie în spațiu deschis, fie în spațiu închis) și umiditatea acestuia. Aceste corelații conduc la restrângerea clasei de modele numerice asociate unui anumit sistem ecologic. Desigur, utilitatea modelelor analitice este mai mare. Însă, pentru această etapă a realizării proiectului, corelațiile dintre mărimile ecologice ajută la evitarea încadrării lor la categoria „perturbații”.

Pentru a putea prelucra seturile de date numerice provenite de la fenomene ecologice dinamice este necesară constituirea unei structuri adecvate de achiziție și prelucrare de semnal. În cadrul acestui proiect, această structură are două subsisteme cu roluri și semnificații diferite. Ele au fost reprezentate schematic în **Figurile 1.1 și 1.2**.

Subsistemul principal (ilustrat în **Figura 1.1**) îl constituie configurația de laborator, alcătuită pe două nivele ierarhice, în jurul unei mașini paralele de calcul (nivelul superior). Aceasta are un dublu rol. Pe de o parte, puterea superioară de calcul conferită de cele 4 procesoare cvadruple (echivalentul a 16 procesoare paralele simple) trebuie utilizată pentru prelucrarea datelor cu ajutorul algoritmilor bazați pe undine și dicționare de forme de undă, amintiți atît în descrierea proiectului (reluat în Anexa A), cît și în raportul [NDS07]. Acești algoritmi fac obiectul etapei următoare din realizarea proiectului. În al doilea rînd, mașina paralelă constituie un server de (mini-)rețea alcătuită din cel puțin 4 calculatoare personale (nivelul inferior). Acestea sunt dotate cu cîte un procesor dual (echivalentul a două procesoare simple). Rețeaua poate fi extinsă la mai multe calculatoare personale dacă este necesar. Fiecare dintre procesoarele simple echivalente are capacitatea de a efectua pînă la 40 de milioane de operații pe secundă. Cu alte cuvinte, acest subsistem este orientat către calcul distribuit, avînd în vedere gradul de paralelism și complexitatea algoritmilor care se preconizează a fi implementați în etapa următoare.

Celelalte caracteristici ale calculatoarelor incluse în cadrul subsistemului fix depind de firma furnizoare.

În cazul mașinii paralele de calcul, s-a preferat aducerea ei de peste Oceanul Atlantic, din SUA (prețul de achiziție fiind aproape jumătate din cel oferit de firmele din România, cu tot cu transport și taxe vamale). Firma producătoare este SUPERMICRO Inc. (<http://www.supermicro.com/>). Mașina achiziționată se numește *SUPERMICRO Superserver* și are în componență 4 procesoare cvadruple de tip *Intel XEON MP QC X7350*. Alte caracteristici tehnice ale acesteia sunt următoarele:

- frecvența de operare: 2.93 GHz/procesor
(11.72 GHz, în total, la capacitate maximă);
- 16 plăci de memorie RAM DDR2 de cîte 4 GB fiecare (64 GB în total);

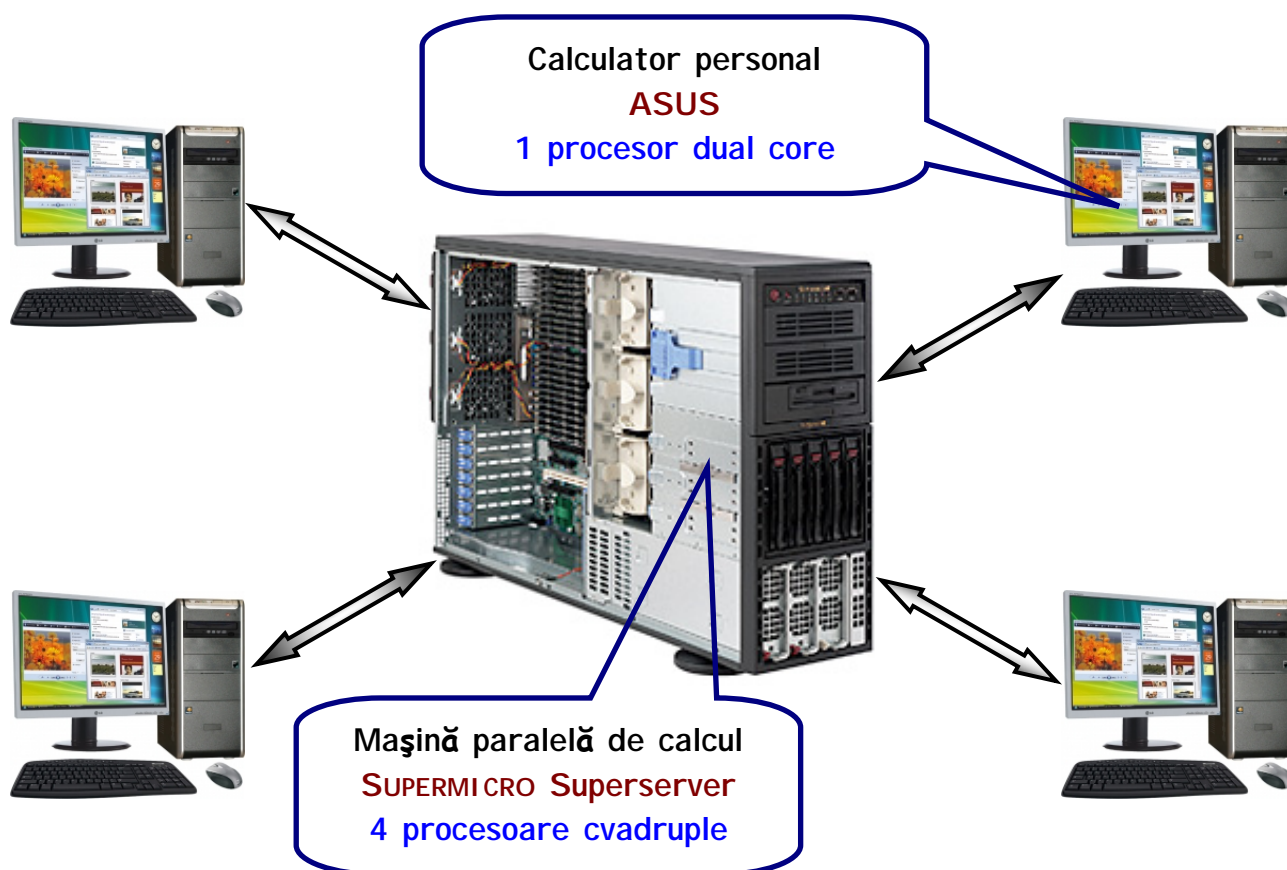


Figura 1.1. Structura minimală a subsistemului fix de calcul, utilizat în laborator.

- un disc dur de capacitate mare (1 TeraByte) și viteză normală (7200 rotații pe minut), cu tampon de memorie de 32 MB;
- un al doilea disc dur de viteză mare (15.000 rotații pe minut) și capacitate normală (147 GB), cu tampon de memorie de 16 MB;
- sistem de operare WINDOWS XP Professional Parallel pe 64 de biți.

Fiecare dintre calculatoarele personale ale (mini-)rețelei (achiziționate din România) sunt de tip ASUS și prezintă următoarele caracteristici tehnice:

- procesor *Intel Pentium IV dual core*, cu frecvența de operare: 3.2 GHz;
- 4 plăci de memorie RAM DDR2 de câte 0.5 GB fiecare (2 GB în total);
- disc dur cu capacitatea de 400 GB;
- sistem de operare WINDOWS XP Professional pe 32 de biți.

Ele au fost achiziționate sub formă de componente și asamblate de către membrii echipei de cercetare-dezvoltare. În ceea ce privește sistemul de operare, a fost utilizată o licență existentă.

Toate calculatoarele subsistemului fix au fost de asemenea dotate cu mediul de programare MATLAB, în versiuni adaptate. Pentru mașina paralelă, mediul de programare achiziționat este dedicat calculului distribuit pe 64 de biți (într-o versiune mai puțin obișnuită). Acesta a fost achiziționat cu bani de la bugetul proiectului, figurând pe lista de achiziții necesare.

Cel de-al doilea subsistem, de tip mobil, este ilustrat în Figura 1.2. Spre deosebire de subsistemul precedent, rolul acestuia este dublu: achiziția de date din sistemul ecologic și predicția preliminară (rapidă) a acestora. De această dată, există 3 nivele ierarhice privind transferul și prelucrarea de date.

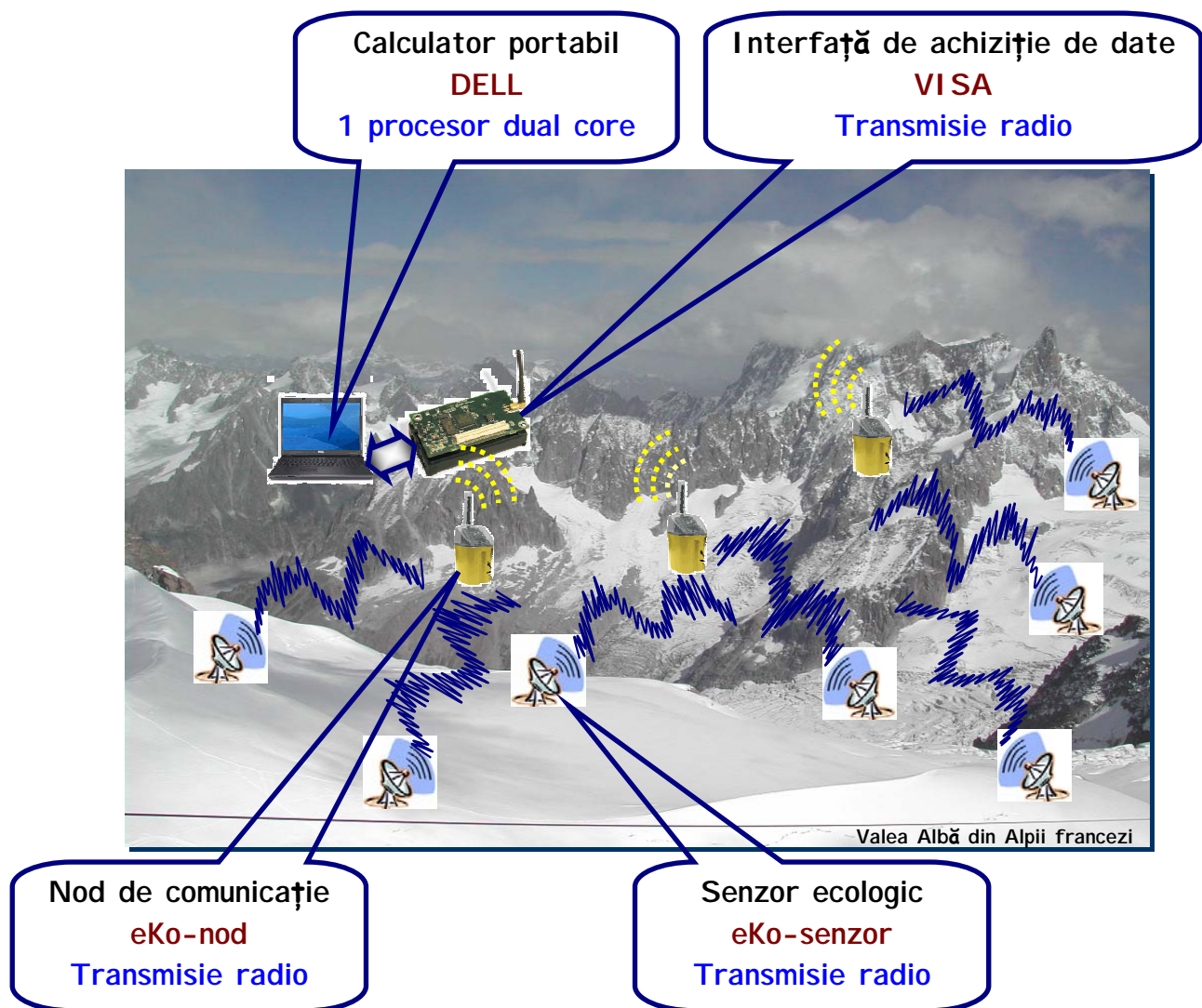


Figura 1.2. Structura minimală a subsistemului mobil de calcul, utilizat în teren.

Nivelul superior – creierul subsistemului – este constituit de un calculator portabil, avînd comunicație radio (wireless) via internet. Pe nivelul median – inima subsistemului – se găsește interfața versatilă de achiziție de date, numită VISA. În fine, pe nivelul inferior sunt grupați senzori ecologici (denumiți *eKo-senzori*), care transmit date prin intermediul unor noduri radio (denumite *eKo-noduri*) către interfața VISA. Denumirile atribuite diferitelor componente ale acestui subsistem au proveniențe relevate în secțiunile următoare. Cert este că interfața de achiziție *acordă viza de trecere* spre calculatorul portabil pentru datele consistente furnizate de către *eKo-senzori* prin intermediul *eKo-nodurilor* (fie direct, fie via internet). Această viză este constituită dintr-o serie de operații preliminare care au rolul principal de a deparazita datele și de a le grupa în baze adecvate, în funcție de natura lor.

Caracteristicile principale ale nivelului median și inferior sunt descrise pe larg în secțiunile următoare. În finalul acestei secțiuni, ne mărginim să enumerăm principalele caracteristici ale calculatorului portabil achiziționat cu fonduri bugetare. Astfel, acesta este produs de firma DELL și are următoarele dotări:

- procesor *Intel Pentium IV dual core mobile*, cu frecvența de operare: 1.6 GHz/core (3.2 GHz în total);
- 4 plăci de memorie RAM DDR2 de câte 0.5 GB fiecare (2 GB în total);
- două discuri dure cu capacitatea de 300 GB fiecare (600 GB în total);
- plăci de rețea cu și fără fir, de viteză mare și rază mare de acțiune (~200 m);

- port de conectare a interfeței de achiziție de date VISA;
- sistem de operare WINDOWS XP Professional pe 32 de biți;
- mediu de programare MATLAB.

Cele două subsisteme descrise succint mai sus alcătuiesc practic sistemul ecologic de monitorizare propus spre realizare în cadrul proiectului. În această etapă, sistemul a fost configurat aproape integral din punctul de vedere al componentelor hardware (vor mai fi achiziționați senzori în etapa următoare, iar interfața VISA va fi îmbunătățită). În ceea ce privește înzestrarea cu software, în afara platformelor deja menționate, au fost proiectați și implementați algoritmi rapizi de predicție, la nivelul calculatorului portabil. De notat totuși că sistemul este *deschis*, în sensul că structura sa permite îmbogățirea cu noi componente hardware și software.

În secțiunile care urmează sunt abordate 4 teme majore (care descriu desfășurarea cercetărilor în cadrul celei de-a doua etape de realizare a proiectului):

- proiectarea interfeței VISA;
- descrierea detaliată a nivelului (eKo-)senzorial;
- prezentarea metodelor și algoritmilor de predicție rapidă a datelor;
- o aplicație de predicție rapidă a datelor, dezvoltată cu ajutorul subsistemului mobil.

2. Interfața versatilă de achiziție a datelor (VISA)

2.1. Arhitectura generală a subsistemului mobil

Așa cum s-a precizat în secțiunea precedentă, subsistemul mobil este organizat pe 3 nivele ierarhice, pe care le vom descrie pe larg în continuare.

Nivelul superior este format din unitatea centrală de prelucrare, identificare și diagnoză de semnal, constituită dintr-un calculator portabil (laptop) și un modul de conectare cu sistemul de achiziție propriu-zis. Calculatorul portabil este responsabil de prelucrarea efectivă a datelor fiind dotat cu sistemul de operare Windows XP Professional și mediul de programare MATLAB. În viitor, acestuia i se vor adăuga mediile LabVIEW și CVI. La nivelul calculatorului portabil au fost implementați algoritmi rapizi de predicție de semnal. Modulul de conectare cu sistemul de achiziție este un dispozitiv special proiectat care funcționează ca o “punte” între calculatorul portabil și restul sistemului de achiziție de date asigurând comunicația permanentă cu dispozitivele aflate la nivelul inferior în scopul citirii informațiilor furnizate de acestea cât și pentru realizarea operațiilor de configurare. Din punct de vedere hardware, modulul de conectare este un microsistem de calcul prevăzut cu interfețe de comunicație corespunzătoare conectării cu calculatorul portabil și cu sistemul de senzori. La nivel software, în cadrul modulului de conectare sunt implementate protocoale de comunicație și mecanisme de gestiune a schimbului de informație.

Nivelul median este format dintr-o serie de module de interfață destinate achiziției de date de la senzori, prelucrării primare a acestora, generării unor semnale de probă (pentru aplicațiile de identificare) precum și transmiterii informației către nivelul superior. Din punct de vedere hardware, un astfel de modul trebuie să conțină un microsistem de calcul, interfețe pentru achiziție și generare de semnal (intrări și ieșiri analogice), interfețe de comunicație și o unitate de gestiune a energiei. La nivel software, modulele de interfață au implementați algoritmi de achiziție și prelucrare primară a datelor (calibrare, filtrare numerică, etc.), algoritmi de generare a semnalelor de probă, protocoale de comunicație și algoritmi de gestiune a energiei.

Nivelul inferior este format din ansamblul de senzori utilizați pentru captarea informației și elementele de acționare necesare transmiterii semnalelor de probă în mediul exterior. Senzorii și elementele de acționare existente în momentul de față sunt disponibile în două variante, în funcție de modul de conectare:

- varianta convențională – folosesc pentru conectare semnal analogic;
- varianta inteligentă – folosesc pentru conectare interfețe de comunicație de date.

În cadrul proiectului, au fost utilizate elemente de acționare convenționale, deoarece acestea sunt disponibile pentru o gamă foarte largă de parametri, au un cost mai redus, iar modulele de interfață preiau funcțiile de prelucrare și transmisie de date specifice variantelor inteligente.

Unitatea mobilă de achiziție este destinată realizării unor determinări și experimente în medii diverse care nu sunt prevăzute cu facilități de măsurare și transmitere a informației. Aceste condiții de funcționare impun unității mobile o serie de caracteristici, după cum urmează:

- existența unei game foarte variate de senzori pentru diferite tipuri de mărimi fizice (eventual chimice) realizați în variante constructive capabile să funcționeze în medii dificile (chimic ostile);
- modulele de interfață existente la nivelul median trebuie să fie capabile de a prelua informația de la orice tip de senzor;
- modulele de interfață trebuie să aibă autonomie energetică pentru a putea funcționa în medii care nu sunt prevăzute cu facilități de alimentare cu energie electrică;
- prelucrarea primară a datelor la nivelul modulelor de interfață trebuie să poată fi configurată în funcție de caracteristicile semnalului achiziționat și cerințelor aplicației de achiziție, prelucrare, identificare și diagnoză;
- modalitatea de transmitere a informației achiziționate de la modulele de interfață către nivelul superior trebuie să fie cât mai flexibilă, pentru a nu impune o pregătire laborioasă a mediului în care urmează să se realizeze achiziția de date;
- trebuie să existe posibilitatea utilizării unei game largi de echipamente de calcul la nivelul superior.

Pornind de la aceste caracteristici, se pot pune în evidență câteva particularități ale diferitelor componente ale unității mobile:

- Modulele de interfață trebuie să fie capabile să preia informație de la o gamă foarte variată de senzori. Pentru a nu fi necesară proiectarea și realizarea unui număr mare de tipuri de module de interfață, este necesar ca interconectarea dintre senzori și aceste module să se realizeze prin intermediul unor semnale electrice unificate (cu caracteristici electrice similare). În practică, există două categorii principale de semnale unificate care transmit informația, prin modificarea unui parametru electric asociat semnalului: valoarea tensiunii sau a curentului. Semnalele unificate care utilizează valoarea curentului ca modalitate de transmitere a informației (cu gama standard de variație între 4 și 20 mA) prezintă o serie de avantaje care le recomandă pentru o gamă largă de aplicații, inclusiv cele vizate de proiectul de față. Dintre aceste avantaje pot fi menționate: imunitatea ridicată la perturbații de natură electromagnetică, posibilitatea alimentării sensorului prin intermediul semnalului de interfață precum și detectarea ușoară a întreruperii conexiunii electrice dintre senzor și modulul de interfață.
- Autonomia energetică a modulelor de interfață impune o proiectare specială a acestor module în vederea reducerii consumului de energie electrică precum și anumite caracteristici tehnice ale senzorilor utilizați. Reducerea consumului modulelor de interfață se poate obține atât prin utilizarea unor componente electronice cu consum scăzut, cât și prin implementarea unor mecanisme de management (gestiune) al (a) consumului bazate pe deconectarea alimentării cu energie electrică a diferitelor părți componente în intervalele de timp în care acestea nu sînt folosite. La nivelul senzorilor, autonomia energetică impune un consum redus al acestora sau posibilitatea de a funcționa în regim intermitent astfel încît senzorul să fie alimentat cu energie electrică doar în momentul în care se realizează achiziția

de date. O altă modalitate de asigurare a autonomiei energetice a modulelor de interfață este dotarea opțională a acestora cu mini-panouri solare care să reîncarce acumulatorii.

- Transmiterea informației de la modulele de interfață la nivelul superior de prelucrare a datelor se poate realiza atât prin intermediul unei conexiuni electrice (magistrală de comunicație), cât și prin intermediul undelor radio. Comunicația prin conexiune electrică prezintă avantaje legate de simplitate, viteză ridicată de comunicație și absența interferențelor radio, dar presupune în schimb realizarea unei infrastructuri de comunicație (cu instalare de cabluri). Comunicația radio elimină acest dezavantaj, permițând instalarea extrem de rapidă a sistemului de achiziție și face posibilă utilizarea acestuia în medii dificile, unde amplasarea de cabluri pentru comunicație este greu sau chiar imposibil de realizat. Dezavantajele comunicației radio se referă în principal la vitezele relativ scăzute de transmisie pe care le oferă, precum și la interferențele radio pe care le generează. Deoarece aria de aplicații vizată de unitatea mobilă de achiziție de date este deosebit de largă, este necesară dotarea echipamentelor cu ambele modalități de comunicație astfel încât să poată fi utilizată varianta cea mai adecvată fiecărei situații în parte.
- Compatibilitatea cu o gamă largă de echipamente de calcul se poate obține prin utilizarea unei interfețe de comunicație standard între calculator și senzori. Analizând tendințele actuale în domeniul echipării calculatoarelor portabile cu diferite tipuri de interfețe, se constată înlocuirea interfețelor clasice de tip serial asincron cu interfețe de tip USB. Din acest motiv, unitatea mobilă de achiziție va fi prevăzută cu o interfață de tip USB pentru conectarea la echipamentul de calcul.

Arhitectura generală a unității mobile este prezentată în **Figura 2.1**.

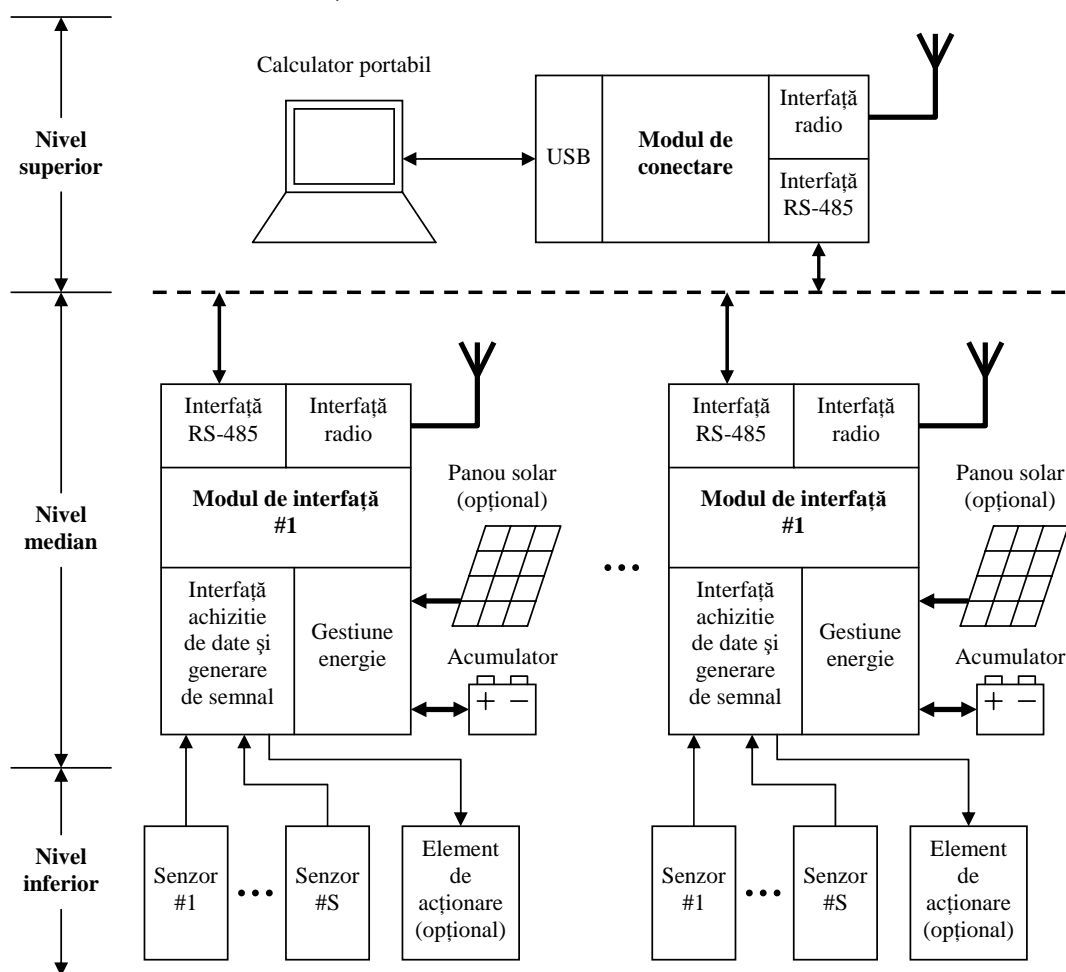


Figura 2.1. Arhitectura generală a unității mobile.

Plecînd de la această schemă, va fi descrisă maniera de proiectare (schemele bloc și principiile de funcționare) și caracteristicile elementelor constitutive.

2.2. Proiectarea modulelor de interfață

Interfața proiectată și realizată în cadrul proiectului a fost denumită **VISA** (*Versatile Interface for Signal Acquisition*). Versatilitatea acesteia constă în capabilitatea de a opera în conexiune cu aproape orice tip de senzor și orice tip de sistem de calcul, de pe nivelele ce o încadrează. Descrierea detaliată care urmează a fost publicată în versiuni succinte în [StPe08a], [StPe08b] și [StPe08c].

Modulele de interfață au trei funcții de bază: achiziția de date, generarea de semnal și comunicația. Funcția de gestiune a energiei, care se adaugă acestora, este auxiliară.

Arhitectura propusă pentru modulul de interfață este prezentată în **Figura 2.2**. Vom descrie, pe rînd, fiecare dintre blocurile componente.

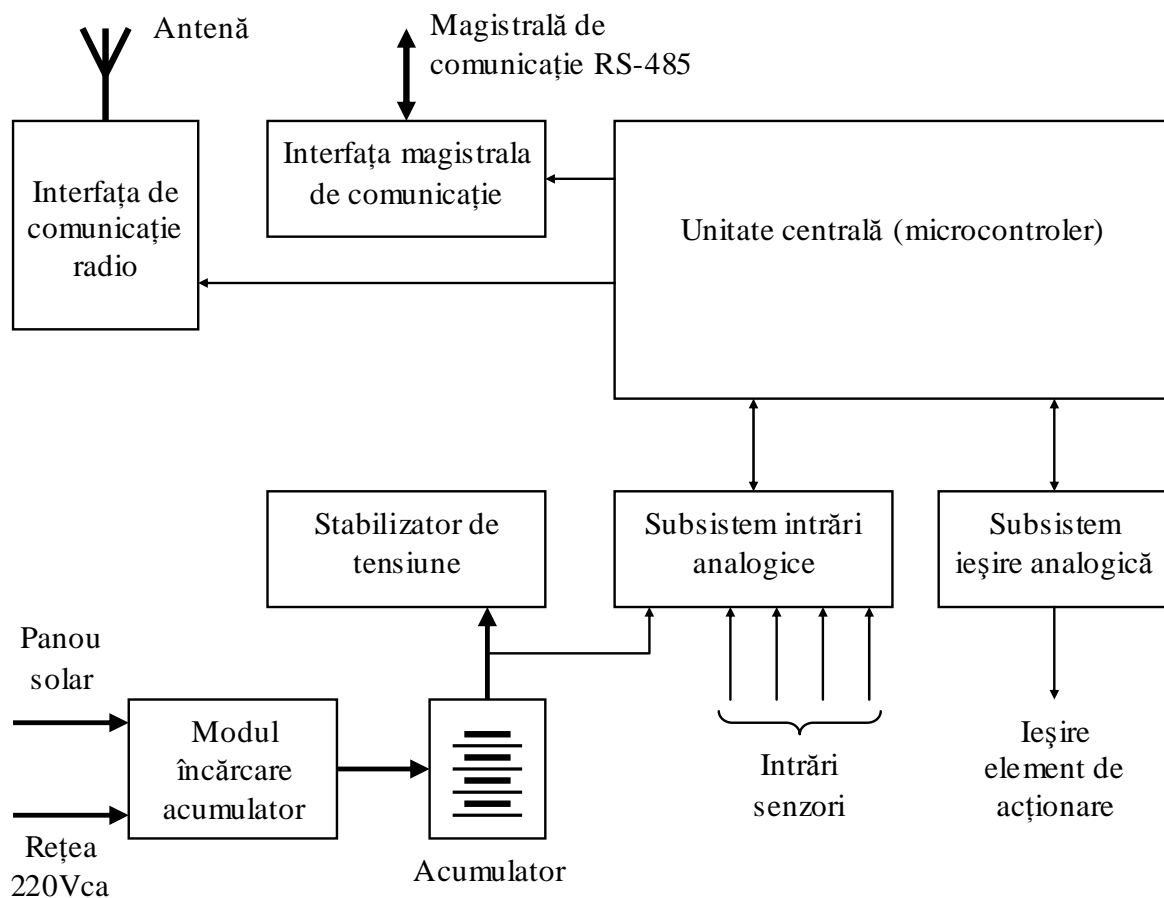


Figura 2.2. Schema bloc a modului de interfață VISA.

2.2.1. Unitatea centrală

Unitatea centrală este elementul care coordonează întreaga activitate a modului de interfață. Realizarea practică a unității centrale face apel la un microcontroler care integrează un microprocesor de uz general, memorii pentru stocarea programelor și datelor, plus o serie de dispozitive periferice. Utilizarea unui microcontroler adecvat simplifică foarte mult proiectarea unui echipament numeric, deoarece, de cele mai multe ori, reduce unitatea centrală și o parte dintre interfețele necesare la un singur circuit integrat.

În cazul modului de interfață, s-a ales un microcontroler de 8 biți din familia 8051: varianta ADUC832 (produs de firma Analog Devices (<http://www.analog.com/>)) [AnD02a].

Alegerea acestui tip de microcontroler a fost favorizată de faptul că el este unul dintre puținele existente în momentul de față care conține în structura sa un *convertor analog-numeric* ([CAN](#)) cu rezoluție de 12 biți. Majoritatea CAN uzual implementate în microcontrolerele actuale au rezoluții de 8 sau 10 biți. Un alt motiv suplimentar este și prezența a două *convertoare numeric-analogice* ([CNA](#)), acest tip de convertor fiind extrem de rar întâlnit în structura microcontrolerelor. Existența acestor două dispozitive periferice integrate în interiorul microcontrolerului a simplificat foarte mult interfațarea cu senzorii și elementele de acționare.

Un alt motiv care a stat la baza alegerii tipului de microcontroler a fost disponibilitatea acestuia pe piața de componente electronice din România (cel puțin 2 distribuitori) la un preț de cost foarte accesibil.

Dintre caracteristicile principale ale acestui tip de microcontroler se pot menționa următoarele:

- unitate centrală pe 8 biți, compatibilă 8051, funcționând la o frecvență de 16.77 MHz;
- memorie de program integrată, având capacitatea de 62 KB, realizată în tehnologie FLASH, capabilă să suporte 100.000 de cicluri de ștergere/reprogramare și capacitate de retenție a datelor timp de minim 100 de ani, la o temperatură de funcționare de 55°C;
- posibilitate de programare de tip “în sistem” ([ISP](#)) a memoriei de program, folosind interfața de comunicație serială asincronă;
- memorie RAM de date integrată, având capacitatea de 2 KB;
- memorie de tip EEPROM integrată, cu capacitatea de 4 KB, pentru stocarea parametrilor de configurare;
- generator de ceas realizat cu un circuit [PLL](#) programabil, pornind de la un cristal de cuarț extern de 32.768 KHz; utilizarea unei frecvențe reduse a oscilatorului extern contribuie la reducerea interferențelor electromagnetice emise de microcontroler;
- 4 porturi de intrare/ieșire de uz general, pe 8 biți;
- 3 timere programabile cu rezoluție de 8 sau 16 biți, cel de-al treilea având și posibilitatea de captură;
- generator [PWM](#) cu două canale și rezoluție de 16 biți;
- ceas de gardă ([WDT](#));
- interfață de comunicație serială asincronă ([UART](#));
- interfață de comunicație I²C;
- interfață de comunicație sincronă ([SPI](#));
- CAN cu 8 intrări multiplexate, rezoluție de 12 biți și viteză maximă de achiziție de 247 Ks/s (kilo-simboli pe secundă);
- 2 convertoare numeric-analogice cu rezoluție de 12 biți;
- referință de tensiune integrată de 2.5 V.

Schema de conectare a microcontrolerului este prezentată în [Figura 2.3](#).

2.2.2. Subsistemul intrărilor analogice

Subsistemul intrărilor analogice este destinat preluării semnalului unificat de curent în gama 4–20 mA de la senzori și adaptării lui din punctul de vedere al caracteristicilor electrice, pentru a fi aplicat CAN prezent în structura microcontrolerului.

Adaptarea semnalului presupune următoarele prelucrări:

- conversia din curent în tensiune;
- filtrarea analogică necesară eliminării fenomenului de aliere în frecvență (*aliasing*) [[OpSc85](#)], [[PrMa96](#)].

Schema electrică a circuitului de adaptare a semnalului achiziționat de la senzori este prezentată în [Figura 2.4](#).

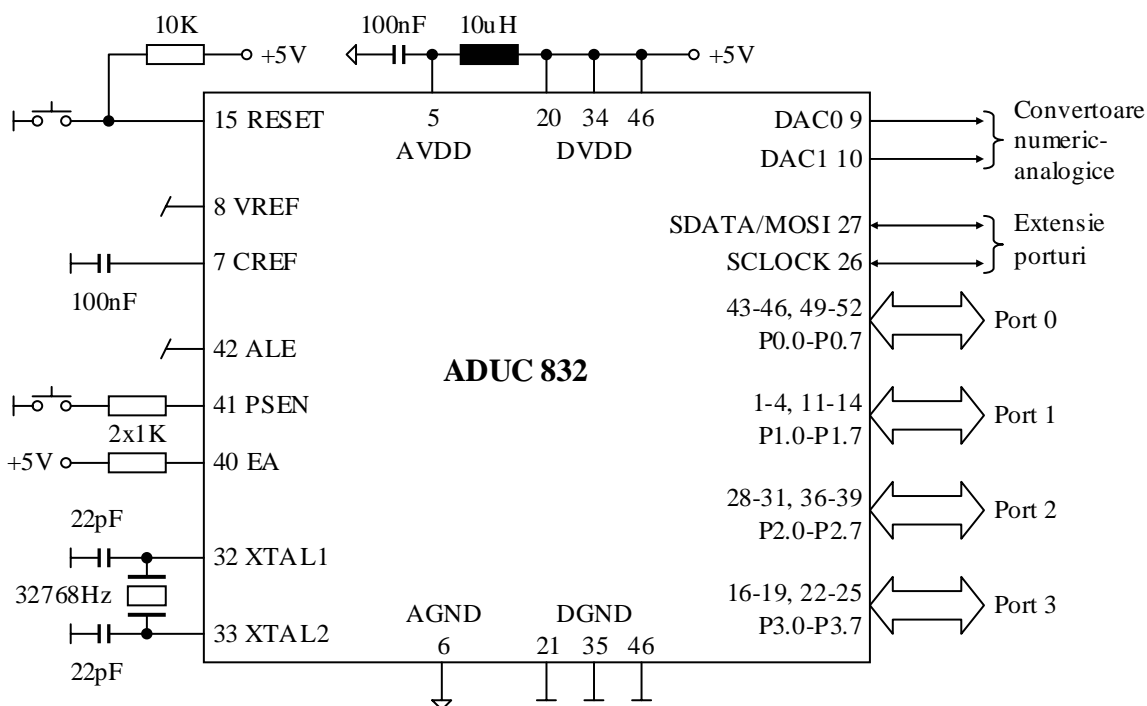


Figura 2.3. Conectarea microcontrolerului ADUC832 în circuit.

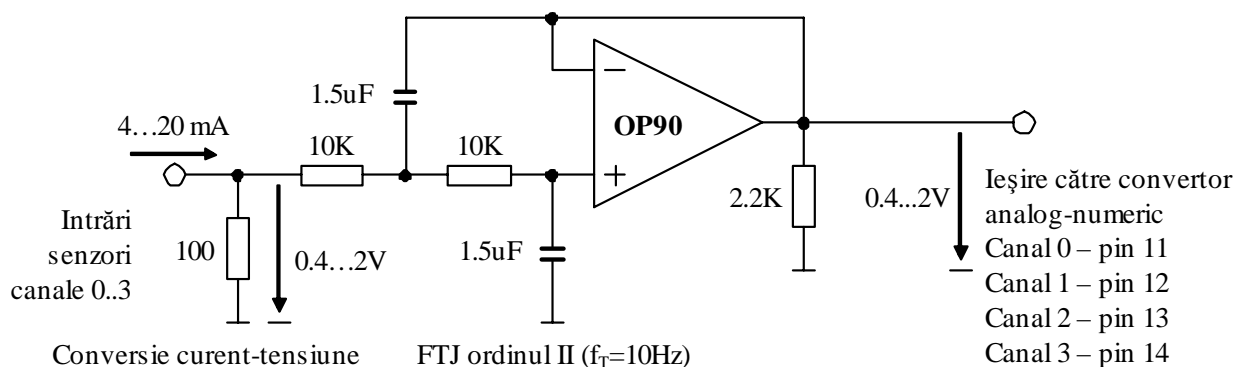


Figura 2.4. Circuitul de adaptare a semnalului achiziționat.

Conversia curent-tensiune este realizată în cel mai simplu mod, prin utilizarea unei rezistențe de 100 Ω . S-a ales această variantă, deoarece, alimentând senzorii din sursa proprie de tensiune (acumulator) prin intermediul unor cabluri scurte, nu apar probleme legate de existența tensiunilor de mod comun pe circuitul de măsură. Valoarea rezistenței asigură un domeniu de variație a tensiunii între 0.4 V și 2 V, pentru un curent de intrare între 4 mA și 20 mA. În plus, acest domeniu de tensiuni este compatibil cu gama de intrare a CAN (0–2.5 V).

Filtrarea semnalului se realizează cu ajutorul unui filtru activ trece-jos de ordinul II, cu frecvența de tăiere de 10 Hz. Amplificatorul operațional utilizat (OP90) [AnD06] poate fi alimentat cu tensiuni de minim la 3 V, lucrează corect cu tensiuni pe intrări între 0 V și 4 V și poate genera tensiuni la ieșire între 0.5 mV și 4.2 V, ceea ce permite alimentarea lui din sursa de tensiune de 5 V prezentă în structura modului de interfață. Tensiunea de offset relativ redusă (de numai 0.125 mV) conferă o precizie bună subsistemului de intrare analogică.

Frecvența de tăiere a filtrului corespunde unei frecvențe de eșantionare de minim 20 Hz. În realitate, semnalul va fi supra-eșantionat la 200 Hz și apoi re-eșantionat prin software la frecvența dorită, după o filtrare numerică corespunzătoare realizată cu un filtru trece-jos de ordin superior.

2.2.3. Subsistemul ieșirii analogice

Subsistemul asociat ieșirii analogice are rolul de a genera un semnal unificat de curent în gama 4–20 mA. Microcontrolerul ADUC832 oferă două canale analogice de ieșire, care corespund celor două CAN integrate. Din acest motiv, subsistemul corespunzător ieșirii analogice va fi format doar dintr-un circuit de adaptare a semnalului, mai exact un convertor tensiune-curent.

Pentru realizarea acestei conversii, se va utiliza un circuit specializat – AD694 [AnD02b] (produs tot de Analog Devices), care este, de fapt, o sursă de curent programabilă prin intermediul unei tensiuni de intrare. Circuitul permite generarea de semnal la ieșire atât în gama 4–20 mA, cât și în gama 0–20 mA, folosind o tensiune la intrare care variază în una dintre gamele 0–10 V sau 0–2 V.

Schema adaptorului de semnal pentru ieșirea analogică este prezentată în **Figura 2.5**.

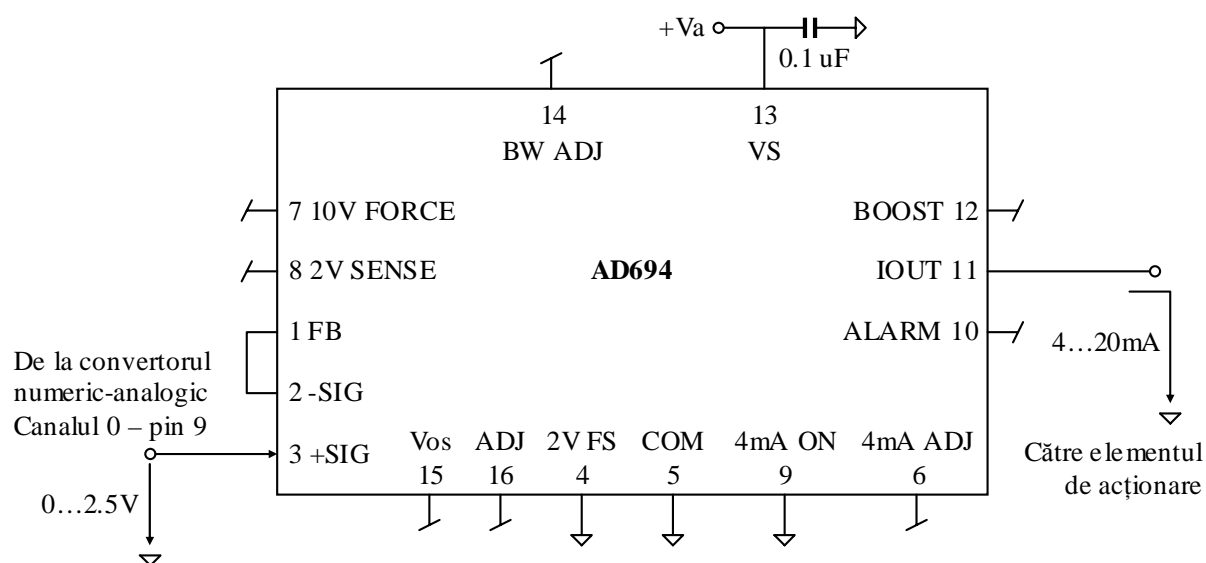


Figura 2.5. Circuitul de adaptare a semnalului pentru ieșirea analogică.

Circuitul AD694 a fost configurat să utilizeze la intrare gama 0–2 V (pentru a fi compatibil cu semnalul generat de convertorul numeric-analogic) și să genereze la ieșire un semnal de curent în gama 4–20mA (semnal standard).

Tensiunea de alimentare utilizată trebuie să fie suficient de mare pentru a permite comanda unor elemente de acționare care au rezistența de intrare mai ridicată. În practică, se consideră suficient dacă este posibilă comanda unui element de acționare cu o rezistență de 500 Ω , ceea ce corespunde unei căderi de tensiune de 10 V. Deoarece circuitul AD694 are valoarea tensiunii de saturație la ieșire de maxim 2 V, rezultă că tensiunea minimă necesară alimentării acestuia pentru a putea comanda elementul de acționare cu rezistența de 500 Ω va fi de 12 V. Această tensiune se va obține direct de la bornele acumulatorului (tensiunea +Va).

2.2.4. Interfața pentru magistrala de comunicație

Comunicația de date între modulele de interfață și modulul de conectare realizată prin intermediul unei conexiuni cablate trebuie să îndeplinească câteva cerințe de bază și anume:

- utilizarea unui număr minim de conexiuni electrice;
- posibilitatea transmiterii informației la distanțe relativ mari (peste 100 m);
- imunitate ridicată la perturbații, pentru a asigura corectitudinea comunicației.

Soluția utilizată în majoritatea aplicațiilor actuale constă în utilizarea unei conexiuni de tip magistrală, realizată cu numai două fire.