

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI**

Cu titlu de manuscris  
C. Z. U: 621.38:004.75:681.5(043)

**BRAGARENCO ANDREI**

**MODELAREA SISTEMELOR ELECTRONICE  
DISTRIBUITE CU GENERAREA AUTOMATĂ A  
CONFIGURAȚIEI**

**122.03 – MODELARE, METODE MATEMATICE, PRODUSE  
PROGRAM**

**Rezumatul tezei de doctor în informatică**

**CHIȘINĂU, 2023**

**Teza a fost elaborată în cadrul departamentului „Informatică și Ingineria Sistemelor”  
a Universității Tehnice a Moldovei**

**Conducător științific:**

**Marusic Galina** – doctor în informatică, conferențiar universitar

**Referenți oficiali:**

**FILOTE Constantin** – doctor în electronică și telecomunicații, profesor universitar,

**COJUHARI Irina** – doctor în informatică, conferențiar universitar.

**Componența Consiliului Științific Specializat:**

**BOSTAN Viorel** – **președinte**, doctor habilitat în științe tehnice, profesor universitar,

**CĂRBUNE Viorel** – **secretar științific**, doctor în științe tehnice,

**GUȚULEAC Emilian** – doctor habilitat în științe tehnice, profesor universitar,

**CĂPĂȚÂNĂ Gheorghe** – doctor în informatică, profesor universitar,

**SECRIERU Nicolae** – doctor în științe tehnice, conferențiar universitar,

**COJOCARU Igor** – doctor în informatică,

**COJOCARU Victor** – doctor în științe tehnice, conferențiar cercetător.

Susținerea va avea loc la 26 ianuarie 2024, ora 15.00, în Ședința Consiliului Științific Specializat D 122.03-23-85 din cadrul Universității Tehnice a Moldovei pe adresa: str. Studenților 9/7, blocul de studii Nr. 3, aud. 208, MD-2045, Chișinău, Republica Moldova.

Teza de doctor și autoreferatul pot fi consultate la Biblioteca tehnico-științifică a Universității Tehnice a Moldovei și pe pagina web a ANACEC ([www.cnaa.md](http://www.cnaa.md)).

Rezumatul tezei de doctor a fost expediat la 08 decembrie 2023

Secretar științific al Consiliului Științific Specializat,


**Cărbune Viorel**, dr.

Conducător științific,

**Marusic Galina**, dr., conf. univ.

Autor

**Bragarenco Andrei**



© Bragarenco Andrei, 2023

## CUPRINS

<b>REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII .....</b>	<b>4</b>
<b>CONȚINUTUL TEZEI.....</b>	<b>9</b>
<b>CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI.....</b>	<b>26</b>
<b>BIBLIOGRAFIE .....</b>	<b>29</b>
<b>LISTA PUBLICAȚIILOR AUTORULUI LA TEMA TEZEI.....</b>	<b>31</b>
<b>ADNOTARE .....</b>	<b>32</b>

## REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII

### Actualitatea temei și importanța problemei abordate

Dezvoltările recente în software, hardware și tehnologii de comunicare au dus la o creștere bruscă a lucrurilor conectate la Internet. Numărul dispozitivelor conectate la Internet a crescut exponențial, la fel și tipul acestora. Reutilizarea soluțiilor Internet of Things (IoT), numită și Internetul Lucrurilor, existente sau a componentelor soluției este crucială pentru a face față cererii mari de noi tipuri de lucruri care să fie conectate la rețea. Este crucială și o abordare arhitecturală bine definită, care implementează reutilizarea. Un mare avantaj îl aduc platformele de dezvoltare de proiecte prin configurare și generare de cod, contribuind la reducerea efortului de adaptare a resurselor reutilizabile în cadrul proiectului și configurarea formală a acestora. În urma utilizării unor asemenea tehnologii de automatizare, efortul de dezvoltare revine satisfacerii cerințelor funcționale ale aplicației de nivel înalt, descriptiv, prin utilizare de metode formale sau metalimbaje. Comunicarea este actul de a transfera informații între entități. Există multe abordări de comunicare arhitecturală care oferă soluții pentru transferul de date de la transmițător la receptor. Chiar și acele soluții vizează domenii diferite, o mulțime de asemănări ar putea fi identificate în arhitecturile lor.

Urmând conceptul IoT ca Internet al Orice, componentele sistemului pot fi grupate după problemele pe care le soluționează: *achiziție și diagnosticare de date*, cum ar fi: stațiile meteorologice, achiziție informație despre temperatură și de umiditate a solului, inspecția cu drone, monitorizarea prin sateliți; *acționare și protecție* – industria de precizie, manipulare obiecte sau chiar agricultura de precizie, roboți autonomi, combinele și tractoarele; *interacțiunea cu utilizatorul* – manipolatoare, aplicațiile mobile, portalurile de Internet, fluxurile de știri, sistemele de notificare; *comunicații și rețele* – accesul la Internet prin intermediul rețelelor precum Ethernet, WiFi sau 3/4/5G; *stocarea informațiilor și clouding* – care este o bază pentru tehnologia big data, statistici, la fel ca și pentru tehnicile de flux de informații Highway; *management și control* – aplicații SW și platformele pentru managementul informațiilor și resurselor; *eficiență energetică* – panoul de energie solară electrică și termică; eoliene; pompele de încălzire subterane; izolarea clădirilor.

Reieșind din importanța problemelor menționate, în teză se propune o generalizare a metodelor de interacțiune într-o arhitectură generică de sistem electronic încorporat și elaborarea unei metodologii de automatizare a procesului de proiectare prin componente configurabile și generare de cod de interacțiune între componente.

### Scopul lucrării:

Proiectarea sistemelor electronice distribuite cu generarea automată a configurației în baza dezvoltării de modele și produse program, utilizând concepte *arhitecturale în straturi* și metode de *organizare a fluxurilor de informație* în lanțuri de comunicare, scop atins prin **următoarele obiective**:

1. Elaborarea conceptului de arhitectură generică a unui sistem electronic încorporat prin evidențierea domeniilor de interacțiune și definirea de componente în straturi.
2. Elaborarea unui concept comun pentru componentele de achiziție a informației și acționare asupra mediului, asociind diagnozele cu achiziția, iar reacțiile de protecție – cu acționarea.
3. Elaborarea unui concept pentru organizarea fluxurilor de informație a componentelor de interacțiune cu mediul și interacțiunea între dispozitivele electronice.

4. Definirea modelului de componentă configurabilă a sistemului, dar și a metodei de adaptare a soluțiilor externe preluate și reutilizate în cadrul sistemului.
5. Elaborarea metodologiei de modelare a sistemelor electronice distribuite prin *modelare arhitecturală* cu metamodele și generarea automată a configurației și a codului sursă.
6. Elaborarea produsului program pentru modelarea și definirea automată a configurațiilor bazată pe metamodele și generare de cod sursă de platformă.
7. Crearea resurselor online de componente reutilizabile ca bază de soluții pentru dezvoltare de sisteme, în scopul optimizării timpului alocat modelării de sisteme în baza de resurse existente.
8. Dezvoltarea aplicațiilor prin metoda de modelare a sistemelor electronice distribuite pentru validarea metodei propuse.
9. Analiza rezultatelor obținute cu scopul adaptării acestora la noile domenii de aplicații.

**Ipoteza de cercetare** are la bază faptul că procesul de comunicare reprezintă actul de transfer de informație între interlocutori, indiferent de forma acestora, fie ființă umană, mediu ambiant, sistem, dispozitiv, componentă electrică sau resursă program. Multitudinea de tehnologii cunoscute vin cu diverse soluții la diferite nivele de abstracție a procesului de comunicare, atât pentru accesarea și interacționarea cu date și informații din cadrul sistemelor informatice, cât și din exteriorul acestora. Acest fapt conduce la ideea definirii unei metode generale automatizate pentru stabilirea de interacțiuni pe toate nivelele de abstractizare. Ipoteza de cercetare se bazează pe următoarele componente:

- un sistem este definit de subsisteme ca un ansamblu de dispozitive electronice, formând împreună un sistem electronic distribuit;
- o anumită interacțiune a sistemului distribuit cu mediul extern poate fi realizată prin intermediul unui singur dispozitiv electronic, totodată poate fi distribuită între mai multe dispozitive ce formează sistemul;
- interacțiunile externe ale aplicațiilor din dispozitivele electronice se realizează cu modele arhitecturale în straturi, care abstractizează diferite nivele, cum ar fi parametrul mediului fizic, semnalul electric, interfața electrică-digitală, informația;
- interacțiunile între participanții la procesul de comunicare se definesc prin fluxuri complexe de informație, în funcție de mediile prin care trece informația respectivă și canalele de comunicare;
- fiecare element al fluxului de informație este definit ca o componentă configurabilă pentru facilitarea transformării informației reprezentată de un metamodel.

#### **Sinteza metodologiei de cercetare și justificarea metodelor de cercetare alese**

##### **Metodele de cercetare utilizate în teză:**

- Abstractizarea – au fost abstractizate: dispozitivele care fac parte din sistemul electronic distribuit, domeniile de interacțiune externă – mediu, utilizator echipamente; nivelele de interacțiune cu mediul, cum ar fi semnal, interfață electrica-digitală, informație; funcțiile de transfer pentru elementele ce formează lanțurile de comunicare; canale de comunicare stabilite între participanții la o interacțiune.
- Formalizarea – s-au formalizat condițiile pe care trebuie să le îndeplinească o componentă pentru a accesa informații de la altă componentă, utilizându-se noțiunile de funcție de transfer, lanț de comunicare sau canal.

- Inducția – au fost făcute raționamente, de la particular la general, și anume: prin generalizare se permite ca modalitatea de interacțiune aplicată între două componente să fie aplicată în construirea de lanțuri complexe de comunicare pentru realizarea interacțiunilor, la fel ca și definirea funcționalităților sistemului în baza de componente cu funcții de transfer specifice cerințelor aplicației.
- Deducția – au fost făcute raționamente, de la general la particular, și anume:
  - de la sistemul electronic distribuit la dispozitivul electronic;
  - de la grupuri de componente la componentă;
  - de la domeniile de interacțiuni la domeniu;
  - de la componenta de interacțiune la nivelul de abstracție;
  - de la canalul de comunicare la lanțul de comunicare;
  - de la lanțul de comunicare la funcție de transfer.
- Clasificarea și tipologia – prin operația logică de divizare a volumului noțiunii, au fost definite clasificări ale interacțiunilor, după mai multe criterii: după modul de implementare (HW, SW); după complexitate (funcții de transfer și canal/lanț de comunicare); după nivele de abstracție (interfață HW-SW, componente electronice-driver, dispozitiv-serviciu); după domenii de interacțiune (mediu, utilizator, dispozitiv/rețea).
- Metoda axiomatică – prin utilizarea de enunțuri afirmative, cu definiții, cum ar fi: sistem electronic distribuit, dispozitiv electronic distribuit, arhitectura în straturi, nivel de abstracție, componentă, domeniu de interacțiune, interacțiune cu mediul, funcție de transfer, lanț de comunicare, canal de comunicare, flux de informație, achiziție, acționare, simptom, diagnoză, reacție, protecție, metamodel, configurație componentă, componentă de platformă, generare automată a configurațiilor.

Utilizând metodologia de cercetare menționată, a fost creată și demonstrată o nouă metodă de proiectare automatizată a sistemelor electronice distribuite.

**Noutatea științifică:** A fost definit un concept generic de arhitectură a unui sistem încorporat. S-au evidențiat modurile de interacțiune cu mediul și similaritatea între condiționarea semnalelor în fluxurile de intrare cu cele de ieșire. A fost elaborat un concept de *lanț de comunicare* comun pentru interacțiunile senzor-actuator și comunicarea cu alte dispozitive. Rezultatele cercetării permit elaborarea unei platforme de modelare a sistemelor electronice distribuite în baza modelelor *arhitecturale în straturi și lanțuri de comunicare*.

**Problema științifică soluționată** constă în dezvoltarea de sisteme electronice distribuite în baza modelării de sistem, produselor program și metodelor moderne de descriere a sistemelor prin metamodele pentru arhitecturi în straturi și gestionare a fluxurilor de informații cu lanțuri de comunicare, fapt care a condus la automatizarea procesului de elaborare, configurare și generare de cod sursă de platformă, ceea ce a permis optimizarea timpului alocat modelării de sisteme și funcționalităților esențiale a acestora.

**Semnificația teoretică:** În urma analizei situației în domeniul modelării sistemelor electronice distribuite prin prisma sistemelor de tip IoT, dar și a proiectării sistemelor încorporate s-a identificat o similitudine în rezolvarea problemelor clasice. Această observație se referă în special la problemele de

tip: interacțiune cu mediul extern; condiționare de semnal; identificare de simptome și stabilirea de diagnoze; abordări de protecție, atât a mediului, cât și a sistemului; transferul sigur al informației;

Aceste cercetări au condus la elaborarea unei metodologii de modelare a sistemelor electronice distribuite cu generarea automată a configurației, în cadrul căreia problemele sunt generalizate și prezentate ca componente predefinite care sunt utilizate în proiectare de aplicații la un înalt nivel de abstracție. În baza modelelor conceptuale de *arhitectură în straturi* și *lanțuri de comunicare* a fost elaborată o metodologie de proiectare a platformelor de resurse programabile pentru sisteme electronice distribuite. Acest concept de modelare a condus la dezvoltarea soluțiilor inovative pentru proiectarea de sisteme electronice distribuite în vederea abstractizării mediului prin care este transmis semnalul între funcțiile de transfer ale sistemului.

**Valoarea aplicativă a lucrării.** Metodologia propusă în teză presupune că toate dispozitivele electronice interconectate sunt abstractizate printr-o arhitectură generică. Întregul sistem distribuit poate fi tratat ca un singur dispozitiv electronic cu componente de interacțiune cu mediul extern de tip senzor și actuator. Componentelor de comunicare în acest dispozitiv le revine rolul de interacțiune între subsisteme. Conceptul propus permite realizarea sistemelor electronice distribuite, făcându-se abstracție de localizarea fizică a echipamentelor care fac parte din sistem sau de unitatea de procesare – în cazul aplicațiilor software. Acest fapt se datorează conceptului de *lanț de comunicare*, care permite componentelor aplicației să acceseze resursele sistemului, indiferent de localizarea acestora, considerându-le ca și locale, accesate prin interfețe sau servicii de sistem. Mecanismele de interacțiune cu mediul extern în metodologia propusă devin subiect de configurare a componentelor cu *arhitectura în straturi* pentru organizarea *lanțului de comunicare*. În cadrul *lanțului de comunicare* are loc gestionarea informației și condiționarea semnalelor, *acest lanț de comunicare* fiind generat automat din definiții de metamodel. În rezultatul unei asemenea generări automate de soluții se obțin resurse software pentru echipamentele hardware incluse în sistem – sistem electronic distribuit, dar și recomandări pentru proiectarea dispozitivelor hardware. În urma aplicării metodologiei propuse se reduce efortul de proiectare pentru interacțiuni cu mediul, efortul principal fiind concentrat pe dezvoltarea aplicației la nivel de sistem.

**Implementarea rezultatelor științifice.** Metodologia propusă a fost utilizată în elaborarea diverselor sisteme electronice distribuite, printre care: sistem de monitorizare a mediului înconjurător, instalație de uscare pentru fructe și legume pe bază de pelete, sistem de control al brațelor robotice, sistem de iluminare a interiorului clădirii, sistem de control a unui frigider inteligent, echipament în scop educațional și comercial.

Rezultatele cercetărilor au fost integrate în procesul de studiu pentru diverse programe de studii în cadrul facultății *Calculatoare, Informatică și Microelectronică*. Cursul *Internetul Lucrurilor* a fost nominalizat câștigător, locul I, în cadrul cursurilor digitale pe platforma educațională ELSE a Universității Tehnice a Moldovei.

**Rezultatele științifice înaintate spre susținere:**

- Metodologie de modelare a sistemelor electronice distribuite bazate pe o arhitectură generică cu componente în straturi.
- Similitudine în realizarea modelelor de gestionare a fluxurilor de achiziții și de acționare.

- Asocierea mecanismelor de diagnoze și protecție cu fluxurile de achiziție și acționare.
- Combinarea modelelor de interacțiune cu mediul extern – achiziție și acționare, cu modelele de interacțiune între dispozitive – comunicare și definirea unui concept unic de gestionare a fluxurilor de informații pentru toate tipurile de interacțiuni.
- Modelare de sisteme electronice distribuite prin definirea de lanțuri de comunicare comun pentru gestionarea fluxurilor de informație.
- Conceptul de proiectare a sistemelor electronice distribuite prin descriere cu metamodele.
- Produs program specializat de configurare și generare automată a codului sursă pentru componentele platformei de proiectare.

**Aprobarea rezultatelor cercetărilor.** Conceptul, metodele și rezultatele principale expuse în teză au fost publicate în reviste internaționale și naționale, precum și publicate în lucrările conferințelor internaționale, inclusiv:

- Journal of Wseas Transactions on Computer Research. vol. 7, 2019, indexată în SCOPUS,
- IEEE IEMTRONICS, Toronto, Canada, 21 - 24 April 2021, indexată în SCOPUS.
- The 24th IEEE ICSTCC, Sinaia, Romania, October 8 - 10, 2020, indexată în Web of Science.
- Journal of Engineering Science. Vol. XXVI (4) 2019. Cat. B+.
- „Akademos”. Nr. 3 (58), 2020. Cat. B.

**Publicații la tema tezei.** La tema tezei au fost publicate 13 lucrări științifice: trei articole în reviste din bazele de date **Web of Science** și **SCOPUS**, dintre care una ca singur autor; două articole în reviste din Registrul National al revistelor de profil, dintre care una ca singur autor; opt articole în culegeri de lucrări ale conferințelor internaționale; volum total de 5,1 coli de autor.

**Structura și volumul lucrării.** Teza este compusă din introducere, trei capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie (179 titluri) și 10 anexe. Conținutul de bază al tezei este expus pe 155 de pagini și inserează 118 de figuri și 3 tabele.

**Cuvinte-cheie:** modelare; sistem electronic distribuit; Internetul lucrurilor (IoT); stivă de componente; arhitectura în straturi; condiționare semnal; lanț de comunicare; generator cod; metamodel; automatizare.

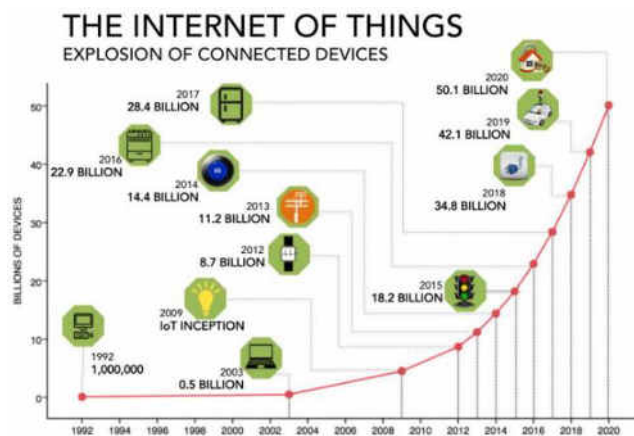


## CONȚINUTUL TEZEI

În **Introducere** sunt prezentate actualitatea și importanța temei de cercetare, scopul și obiectivele tezei, este argumentată noutatea științifică și valoarea practică a lucrării.

**Capitolul 1, Analiza situației în domeniul modelării sistemelor electronice distribuite**, reprezintă o trecere în revistă a problemelor în domeniul sistemelor electronice distribuite prin prisma sistemelor de tip IoT și evoluția aplicațiilor în domeniul sistemelor electronice distribuite. Se identifică cerințele privind comunicarea între componentele unui sistem electronic distribuit și se analizează soluțiile contemporane de interacțiune între componentele acestuia. Se face o introducere în abordările actuale în modelarea sistemelor electronice distribuite prin prisma modelării arhitecturale și comunicare între componentele acestuia, dar și a proiectării bazate pe modelare. Se discută despre importanța automatizării în procesul de proiectare a sistemelor electronice distribuite.

Internetul Lucrurilor sau Internet of Things (IoT) reprezintă o rețea sau un sistem de obiecte sau lucruri fizice, cum ar fi – dispozitive, clădiri, automobile, obiecte de uz casnic și alte unități electrice și mecanice, sisteme biologice, chimice și optice încorporate cu electronică, software, senzori și conexiunea la rețea, permițând acestor dispozitive să comunice între ele și să facă schimb de date. O prognoză recentă făcută de International Data Corporation (IDC) estimează IoT și ecosistemul asociat să fie o piață de 1,7 trilioane de dolari până în 2020, care include 212 miliarde de lucruri conectate. IoT va alimenta o schimbare de paradigmă a unei lumi „cu adevărat conectate”, în care obiectele de zi cu zi devin interconectate și inteligente cu capacitatea de a comunica mai multe tipuri diferite de informații între ele, precum și cu utilizatorii umani. Fig. 1 prezintă un grafic de evoluție a exploziei IoT pentru perioada anilor 1992-2020, conform rapoartelor Cisco [1].



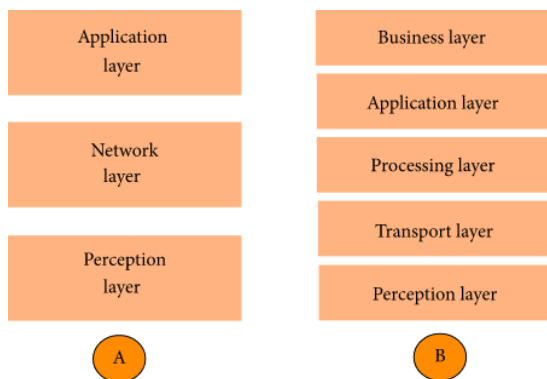
**Fig. 1. Explozia IoT în perioada 1992-2020 [1]**

Indiferent care ar fi scopul unei aplicații cu dispozitive electronice distribuite, este cert faptul că acestea au nevoie de o metodă de a se interconecta, în scopul de a face schimb de informații și utilizare servicii. Comunicarea în aplicațiile IoT cuprinde în mod normal următoarele tipuri de interacțiuni [2]:

- Conexiune People to People (P2P) – transferul de date de la o persoană la alta.
- Conexiune Machine to People (M2P) – transferul de informație între dispozitive și utilizatorul uman.

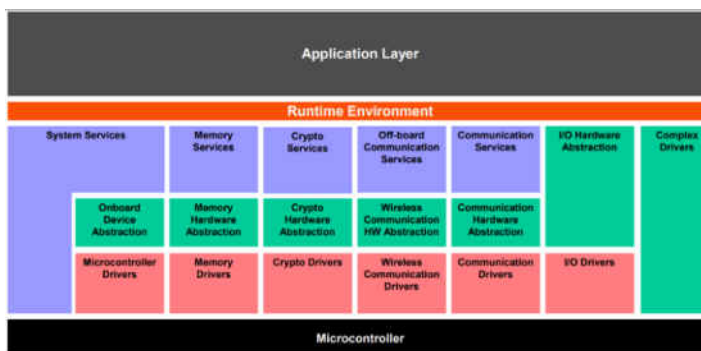
- Conexiune Machine to Machine (M2M) – transferul de date între dispozitive, fără interacțiuni umane.

Nu există un consens unic asupra arhitecturii pentru IoT. Cea mai populară este *arhitectura cu trei straturi*. O altă variantă este *arhitectura cu cinci straturi*, care include adițional straturile de procesare și de business [3, 4, 5, 6, 7], Fig. 2.



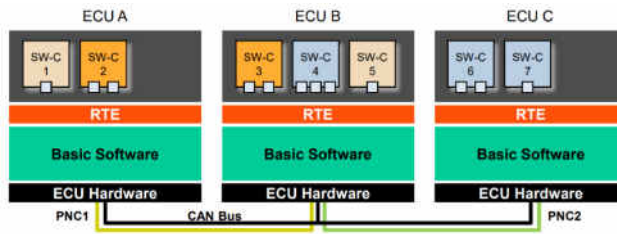
**Fig. 2. Arhitectura IoT (A: trei straturi) (B: cinci straturi) [3]**

Ingineria Bazată pe Modele (Model Driven Engineering – MDE) se concentrează pe un proces de dezvoltare care face ca modelele să fie obiectul central de dezvoltare. Software-ul final livrat este derivat de la aceste modele și nu este niciodată modificat direct. Generarea automată de cod și Ingineria Bazată pe Modele sunt foarte promițătoare, incluzând reducerea de defecte și productivitate sporită [13, 14]. Metamodelul de bază al instrumentelor este de o importanță crucială, deoarece servește ca bază pentru toate etapele ulterioare, cum ar fi generarea de coduri sau gestionarea programată a datelor modelului [15]. Un exemplu excelent al unei arhitecturi bine definite este conceptul AUTomotive Open System ARchitecture (AUTOSAR), Fig. 3. Standardul AUTOSAR definește arhitectura de referință pentru dezvoltarea sistemelor software auto și furnizează limbajul de descriere (metamodelul) pentru modelele arhitecturale [17].



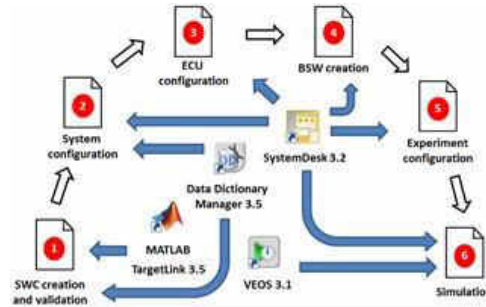
**Fig. 3. Arhitectura în straturi AUTOSAR [17]**

Responsabilitatea de a asigura funcționalitățile și conectivitatea necesare este transferată către componentele din BSW al platformei, Fig. 4.



**Fig. 4. Conceptul de interacțiune componentă AUTOSAR [17]**

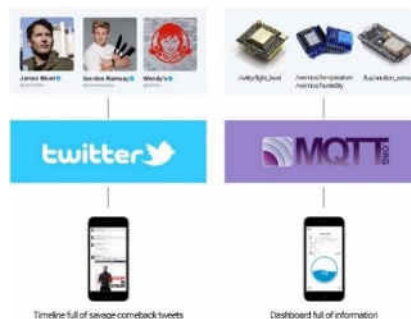
Într-un flux de lucru AUTOSAR s-ar putea găsi o varietate de instrumente pentru a efectua o parte specifică a procesului, Fig. 5. [19].



**Fig. 5. Flux de lucru pentru validarea virtuală AUTOSAR [19]**

*Automobilismul* este unul dintre cele mai critice domenii de siguranță. Un sistem auto tipic constă din mai multe ECU-uri care comunică pe busul de CAN. Stivele de software oferă suport pentru calcule și comunicații, inclusiv sarcini de aplicație, middleware, drivere și periferice de magistrală [18]. Siguranța funcțională a sistemelor încorporate în special pentru domeniul auto este o problemă cheie în timpul procesului de dezvoltare. Lucrarea [20] propune o abordare pentru integrarea și testarea sistemelor critice de siguranță prin utilizarea tehnicilor de modelare a sistemelor.

*Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)* este un protocol special conceput pentru comunicarea „de la mașină la mașină”. Un exemplu bun de referință este instrumentul de rețea socială online Twitter [10]. Dispozitivele sunt ca utilizatorii care la fel cum un utilizator trimite un mesaj către toți urmăritorii, un dispozitiv publică prin MQTT un mesaj către toți abonații săi [11], Fig. 6.



**Fig. 6. MQTT – Twitter pentru dispozitive [11]**

*FiWare* este un cadru de middleware IoT foarte popular, promovat de UE. A fost conceput pentru a ține cont de orașele inteligente, logistica și analiza magazinelor. FiWare conține un corp mare de cod, module reutilizabile și API-uri, la care au contribuit mii de dezvoltatori FiWare. Orice dezvoltator de aplicații poate prelua un subset al acestor componente și își poate crea aplicația IoT [3].

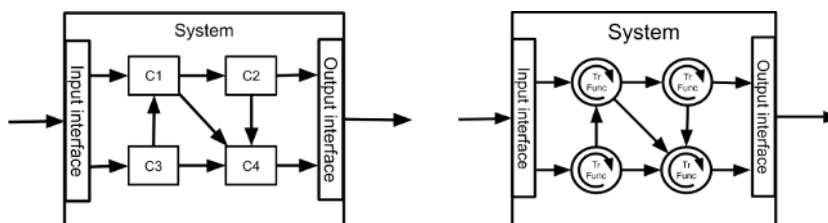
**OpenIoT** este o inițiativă populară Open Source și are la bază șapte straturi diferite [9]. La nivelul cel mai de jos este stratul fizic, care colectează date de pe dispozitivele IoT și face o anumită preprocesare a datelor. Are diferite API-uri pentru interfață cu diferite tipuri de noduri fizice și pentru a obține informații de la acestea [3].

**Robot Operating System (ROS)** este o altă arhitectură de publicare / abonare implementată într-un sistem de operare a unui robot, o colecție de programe care permit unui utilizator să controleze cu ușurință operațiunile mobile ale unui robot [12].

**În Capitolul 2, Metode de modelare a sistemelor electronice distribuite**, sunt expuse considerentele de *modelare arhitecturală* pentru sisteme tip IoT în calitate de sisteme electronice distribuite. Se propune un concept generic de arhitectură a unui sistem electronic încorporat cu definirea componentelor cu modele *arhitecturale în straturi*. Se accentuează importanța componentelor de tip sensor-actuator și se propune un concept de modelare a acestor componente prin definirea fluxurilor de informație, pe care le gestionează aceste componente. Se asociază funcționalitățile de diagnoză cu fluxul de achiziție a datelor și funcționalitățile de protecție cu fluxul de acționare. În ceea ce privește analiza fluxurilor de informație, se propune o metodă de modelare a sistemelor electronice distribuite bazată pe *lanțuri de comunicare* formate din componente specializate și se propune un instrument-platformă de modelare cu metamodele. Componentele de nivelul aplicației sunt calificate ca sursa și destinație a *lanțurilor de comunicare*. Totodată pentru componentele aplicațiilor distribuite pe sisteme electronice distribuite, *lanțurile de comunicare* propuse realizează și abstractizează interacțiunile între componentele.

#### **Considerente de modelare arhitecturală pentru sisteme electronice distribuite**

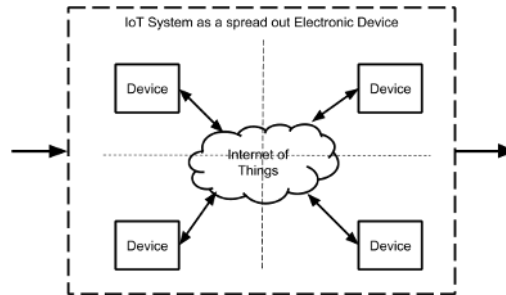
Din punct de vedere structural, sistemul reprezintă o combinație de componente interconectate, Fig. 7. Pentru un dispozitiv IoT, astfel de componente ar putea enumera un senzor, un actuator, interacțiunea cu utilizatorul, comunicarea, baza de date și managementul energiei sau componentele aplicației specifice dispozitivului, așa cum este prezentat în Fig. 9. Din punct de vedere funcțional, sistemul reprezintă combinația de funcții de transfer, prin care un semnal din interfața mediului se propagă prin diferite funcții de transfer până la atingerea ieșirii sistemului, oferind semnale înapoi către mediu.



**Fig. 7. Sistem ca o combinație de componente care îl compun [21]**

În contextul acestei teze *funcție de transfer* se consideră o abstractizare a unei funcționalități care poate fi reprezentată fie printr-o relație matematică, fie printr-un comportament sau algoritm care produce un rezultat în dependență de parametri de intrare. În acest context introducem următoarea definiție – un *sistem electronic distribuit* este un sistem electronic integrat, considerat ca un dispozitiv electronic întreg, părți componente ale căruia sunt detașate și distribuite în spațiul fizic, iar liniile de semnal de transfer al informației sunt restabilite cu tehnologii de comunicare. O rețea de dispozitive

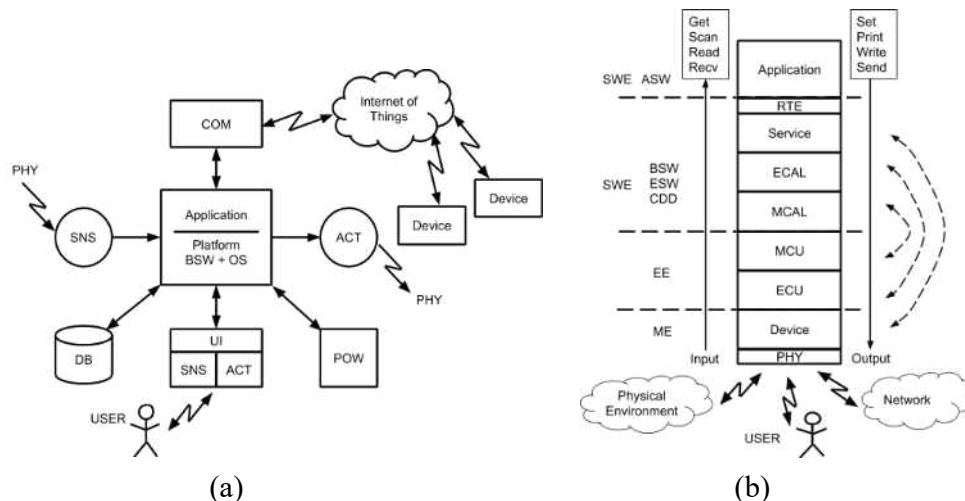
electronice este considerată drept un sistem electronic distribuit, în care rețeaua înlocuiește sau abstractizează conexiunile de semnal, inițial distribuite prin fir, pentru interconectarea componentelor, Fig. 8. Sistemele IoT pot fi abstractizate ca un sistem de dispozitive electronice distribuite, care colectează informații de la intrare și generează reacții la ieșire [21]. O rețea IoT poate fi vizualizată ca parte a unui sistem electronic distribuit complex, în care rețeaua înlocuiește conexiunile prin cablu pentru transmiterea semnalului. O reprezentare grafică a acestui concept poate fi văzută în Fig. 8.



**Fig. 8. Dispozitive electronice distribuite cu interconexiuni tip IoT [21]**

Un dispozitiv electronic ca parte al unui sistem distribuit este reprezentat prin două aspecte: interacțiunile dispozitivului electronic distribuit și componentele ce compun dispozitivul:

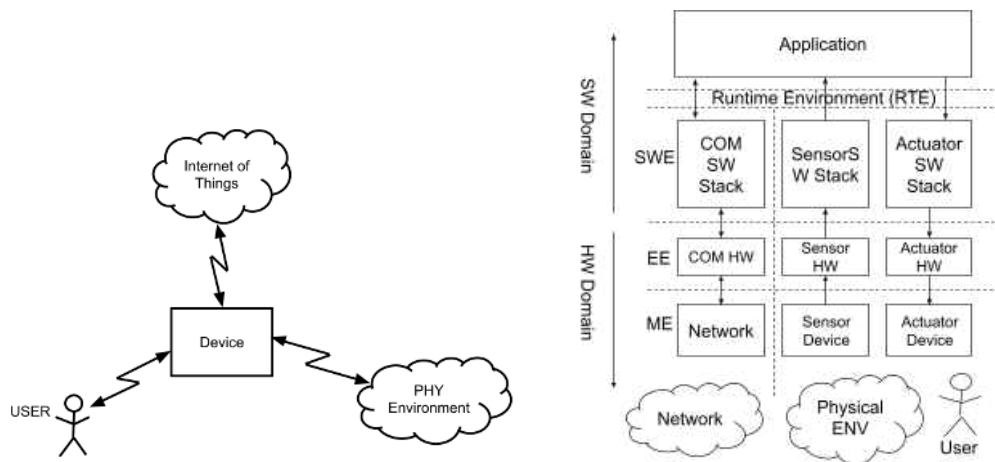
- **Interacțiunile unui dispozitiv electronic distribuit** – reprezintă primul aspect care este tratat din punctul de vedere al interacțiunilor cu componentele și factorii externi. Aceste interacțiuni reprezintă interacțiunea cu mediul înconjurător, interacțiunea cu utilizatorul și comunicarea între dispozitive, Fig. 9(a).
- **Componente generice ale dispozitivului** – este cel de-al doilea aspect, presupune gruparea funcționalităților de bază ale dispozitivului în componente generice după rolul lor în sistem, definind o *arhitectură generică* a dispozitivului. Funcționalitățile sistemului sunt grupate în componente generice specifice, ca părți care se regăsesc în cadrul unui dispozitiv standard. Aceste componente conțin funcționalități în funcție de problema pe care o rezolvă, cum ar fi achiziție, acționare, interacțiune cu utilizatorul, comunicare, stocare de date, gestionare a energiei, platformă sau componente ale sistemului de operare [22], Fig. 9(b).



**Fig. 9. Arhitectura generică a unui dispozitiv electronic IoT (a) și arhitectura în straturi pentru o componentă generică (b) [21, 22]**

Acest model de arhitectură generică al unui sistem electronic distribuit reprezintă o abstractizare simplificată a interacțiunilor sistemului, precum și abstractizarea componentelor funcționale generice. Componentele generice sunt caracteristice atât pentru un dispozitiv electronic, cât și pentru întregul sistem electronic distribuit ce realizează funcționalitatea complexă a sistemului. Fiecare componentă constă din părți implementate de Ingineria Mecanică (ME), Ingineria Electrică (EE) sau Ingineria Software (SWE). Acestea sunt organizate într-o arhitectură în straturi, pentru a asigura interacțiunile între toate domeniile, pentru a facilita transferul sigur și calitativ al semnalului / informațiilor către aplicație și invers, de la aplicație la mediu, utilizator sau alte sisteme, Fig. 9.

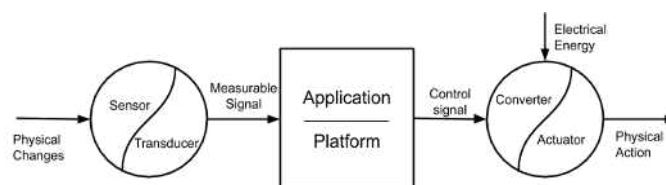
O generalizare suplimentară se poate face considerând că interacțiunea cu utilizatorul și managementul energiei nu este altceva decât totalitatea de senzori și actuatori cu destinație specială, iar managementul datelor – o modalitate de transfer de date asociată comunicării, respectiv se obțin trei tipuri de componente în straturi – senzor, actuator și comunicare. Componentelor de comunicare în sisteme le revine direcționarea fluxurilor de informație prin sistem, interconectarea componentelor. Conceptual acestei idei este prezentată în Fig. 10.



**Fig. 10. Interacțiuni și domenii în conceptul de dispozitiv electronic distribuit [23]**

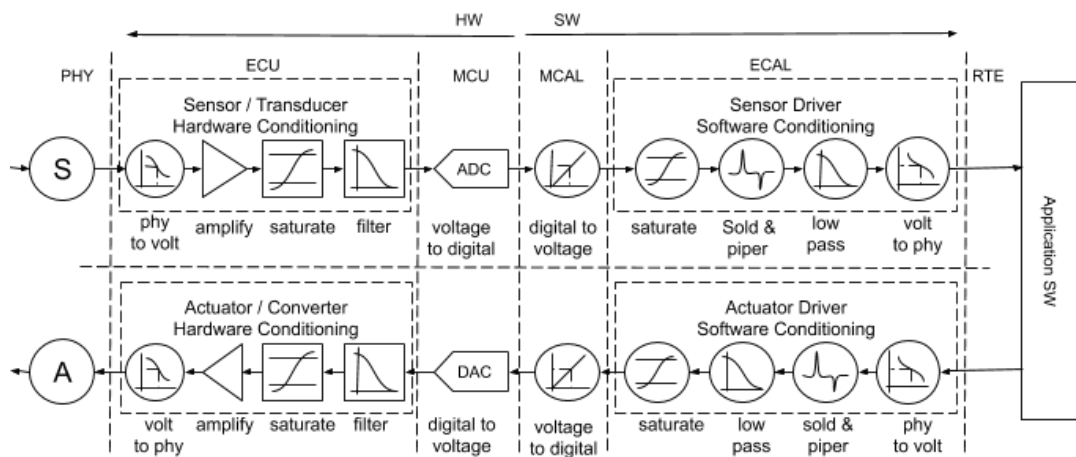
### *Modelarea componentelor de tip senzor-actuator*

Componentele din categoria senzor-actuator constituie elemente esențiale în sistemele electronice distribuite prin faptul că asigură interacțiunile cu mediul pentru a transfera informația din mediul real, fizic și a acționa asupra acestuia pentru a provoca o schimbare. Modelarea componentelor de achiziție și condiționare a semnalului de la senzori reprezintă detectarea modificărilor fizice care apar în împrejurimi și transformarea în mărimi măsurabile. Aceste mărimi sau valori neelectrice nu pot fi utilizate direct și este necesară o condiționare suplimentară cu o funcție care este în responsabilitatea altei componente – traductorul. Traductorul convertește cantitatea neelectrică într-un semnal electric. Deseori, ambele componente – senzorul și traductorul, sunt utilizate pentru a se referi la întreaga pereche, Fig. 11.



**Fig. 11. Conceptul generic de Senzor-Actuator [21, 24]**

Condiționarea semnalului se referă la manipularea unui semnal într-un mod care îl pregătește pentru următoarea etapă de procesare. O cale tipică pe care ar urma-o un semnal pentru o sursă de semnal analogică este de a parcurge domeniul electronic cu condiționare preliminară, după care urmează o condiționare în domeniul software, de exemplu, ca în Fig. 12. Pentru a schimba o stare de mediu, este necesară o acțiune specifică naturii fizice a parametrului de interes al mediului. Natura unei acțiuni este, în majoritatea cazurilor, o natură non-electrică. Deoarece majoritatea echipamentelor contemporane funcționează cu electricitate, este necesară o conversie a energiei electrice în acțiuni non-electrice. Similar cu senzorul, pentru a crea o acțiune, trebuie luate în considerare două componente: controlul convertorului de energie și conversia energiei în acțiune, Fig. 11. Similar scenariului de condiționare a senzorilor [21, 24] semnalul de acțiune generat urmează o cale de condiționare înainte de a deveni o acțiune asupra mediului. Condiționarea se realizează parțial în domeniul software și parțial în domeniul electric, cum e prezentat în Fig. 12.



**Fig. 12. Fluxul de condiționare a semnalului a componentelor Sensor-Actuator [24]**

În cazul unui actuator cu o interfață digitală, de exemplu, o soluție integrată, condiționarea poate fi complet implementată în componența actuatorului. La proiectarea actuatorului, condiționarea trebuie făcută, luând în considerare toate aspectele metodei de conversie și mediul prin care se propagă semnalul înainte de a produce o acțiune fizică. Un exemplu tipic al unei astfel de căi de condiționare cu semnale analogice, în care ordinea funcțiilor depinde de aplicație este prezentat în Fig. 12.

### ***Modelare matematică pentru dezvoltarea de componente de sistem a proiectelor***

Conform conceptului de *arhitectură generică în straturi* a unui dispozitiv electronic prezentat în Fig. 9, sistemele sunt dezvoltate cu componente realizate în domeniul ingineriei software. Aceste componente servesc drept bază pentru realizarea aplicațiilor specifice cerințelor puse față de sistem. Componentele aplicației se vor abstractiza ca și componente cu intrări, ieșiri și funcții de transfer implementate deseori cu modele matematice. Varietatea modelelor matematice este una foarte largă cuprinzând și alte domenii cum ar fi sistemele expert cu logică fuzzy [25] sau inteligența artificială. În teză sunt prezentate câteva modele utilizate în cadrul cercetărilor în scopul obținerii rezultatelor menționate în capitolul 2 din teză. Acestea se refera la modele de evaluare pe bază de interpolare, model de control prin metoda ON-OFF cu histerezis, model de control PID, modele matematice pentru componente control mecatronică, model de control cu Automate Finite.

### Metode de diagnoză și protecție în sistemele electronice distribuite

Diagnosticul este identificarea naturii și a cauzei unui anumit fenomen. Diagnosticul este utilizat în multe discipline diferite, cu variații de utilizare a logicii, analizei și experienței, definind „modelul cauză / efect” adecvat. Simptomul diagnosticului vine ca un indicator de detectare a situației în dimensiunea logică „0”, „1” sau LOW, HIGH. În stratul de servicii se implementează detectarea simptomelor specifice sensorului și calificarea diagnosticului, oferind aceste informații întregului sistem. S-ar putea numi câteva simptome de diagnostic generice pentru senzori, la fel ca metodele de calificare și tipul de reacții asociate, cum ar fi: simptom de prag, simptomul de interval, simptomul de plauzibilitate, simptom blocare în interval. Similar asocierea sensorului cu diagnosticul, actuatorul este asociat cu componente specifice pentru protecție. Scopul acestor componente este de a proteja actuatorul, dispozitivul și mediul ca reacție la simptomele de diagnostic, stările sistemului sau prevenirea situațiilor nedorite prin ajustarea comportamentului actuatorului. O propunere de proiectare pentru asocierea sensor-actuator cu componentele de protecție a diagnosticului este prezentată în Fig. 13.

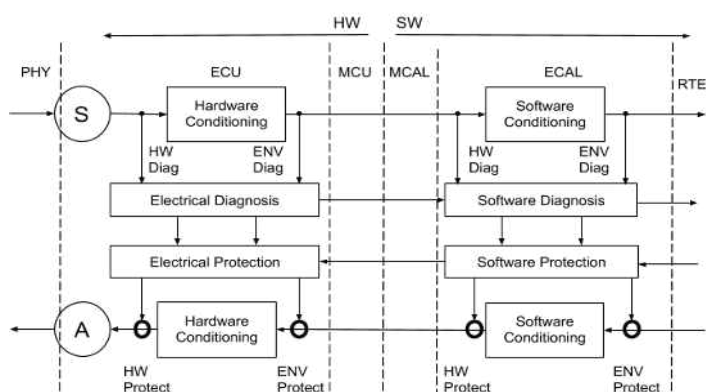


Fig. 13. Asocierea componentelor sensor-actuator cu diagnoză-protecție [24]

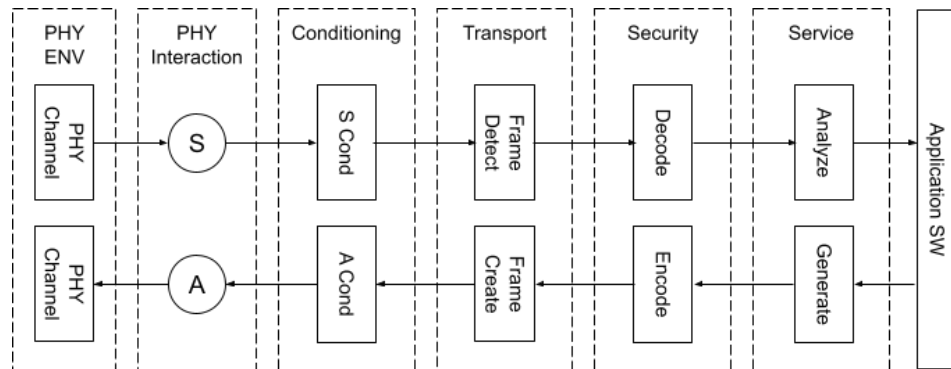
Protecția aplicată semnalului înainte de condiționare este legată de protecția funcțională și vizează acțiunea aplicată manipulării mediului. Protecția aplicată după condiționare vizează protecția internă a sistemului. Diferite tipuri de protecție ar putea fi aplicate unui actuator, dar numai câteva sunt tratate în teză, cum ar fi: protecția prin deratare, protecția prin controlul evoluției traiectoriei parametrilor, protecția prin automat finit.

### Modelarea componentelor de comunicare și modelarea lanțului de comunicare în sistemele electronice distribuite

Comunicarea se referă la procesul de transfer al informațiilor de la sursă la destinație printr-un canal de comunicare. Această afirmație nu se limitează la domenii specifice. O mulțime de asemănări ar putea fi evidențiate în comunicarea interpersonală și comunicarea IT. Luând în considerare conceptele din teză, lanțul de comunicare pentru un dispozitiv IoT va fi constituit din componentele incluse în lanțul de acționare prin detectare combinate cu componentele pentru transferul sau transportul de informații. Prin această ipoteză, colectarea completă a informației prin intermediul componentelor privind procesul de comunicare constă din lanțul de componente (Fig. 14). În funcție de necesitățile aplicației, ar putea fi definite diferite lanțuri de comunicare, în care unele faze de comunicare ar putea fi omise. De exemplu, nu este nevoie de condiționare atunci când se utilizează un

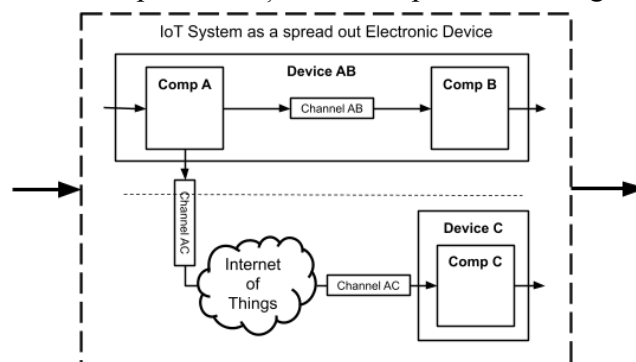


senzor digital și nu este nevoie de detectarea și decodarea cadrelor pentru un senzor analog, dar toate componentele vor fi necesare pentru comunicarea digitală printr-un canal optic.



**Fig. 14. Setul de componente pentru un lanț complet de comunicare [23]**

În setul de componente ale *lanțului de comunicare*, semnalul trece prin multe faze similare, dar complementare pentru procesele de recepție și transmitere. Structural, sistemul reprezintă o colecție de componente interconectate, care cooperează pentru a produce rezultatul [21]. Conform conceptului IoT ca dispozitiv electronic extins menționat mai sus, din punct de vedere fizic, componentele aceluiași sistem ar putea fi amplasate pe oricare dintre dispozitivele IoT, care sunt membre ale sistemului. Un sistem IoT este considerat un dispozitiv complet electronic, care imaginar a fost tăiat în părți, iar liniile de conectivitate rupte sunt înlocuite cu canale de comunicații. În acest fel, vor exista două tipuri primare de interconectări între componente, așa cum este prezentat în Fig. 15.



**Fig. 15. Tipuri de canale de comunicare în sistem tip dispozitiv electronic distribuit [23]**

Presupunând că canalele de comunicații abstractizează localizarea fizică a componentei, la nivel aplatizat, întregul sistem ar putea fi prezentat ca componente cu funcții de transfer interne interconectate cu canale, așa cum este ilustrat în Fig. 16. O colecție de mai multe canale de semnal similare, care oferă valori pentru același domeniu sau parametru în mod logic, ar putea fi combinate într-un grup și operate împreună. În urma conceptului de abonat-editor, publicarea va actualiza semnalul componentei printr-o funcție de transfer, iar abonarea înseamnă conectarea la o interfață componentă specifică printr-un canal de comunicație.

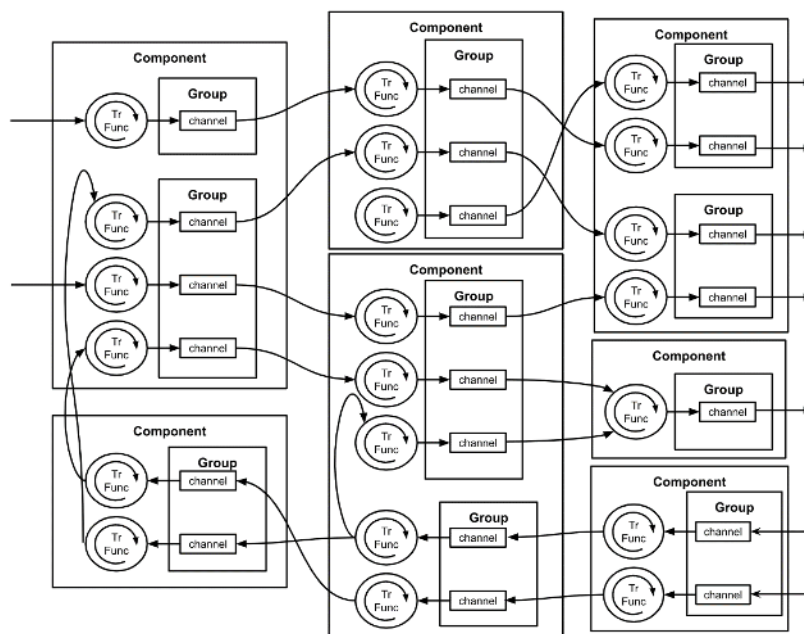


Fig. 16. Componente interconectate prin canale – vedere aplatizată [26]

Termenul de a crea o legătură între componente este utilizat pentru procesul de abonare. În funcție de care capăt al canalului de comunicare joacă rolul de interlocutor activ, sunt posibile două tipuri de legături de canal – push sau pull, Fig. 17.

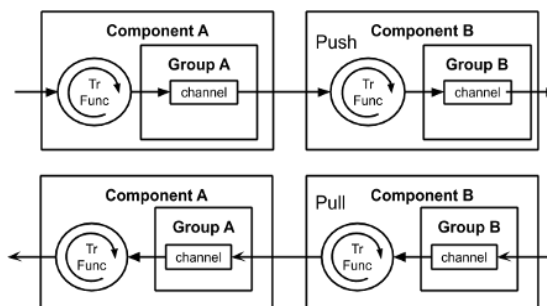


Fig. 17. Canale interconectate prin metode de tip push și pull [26]

O astfel de legătură implică o metodă *push* sau *pull* pentru a opera canalul cu scopul de a transmite sau a extrage informații. Aceeași metodă este utilizată pentru toate canalele incluse în același grup. Push înseamnă că canalele acceptă schimbarea valorii lor printr-o metodă specifică; Pull înseamnă că este evaluat intern și accesibil printr-o metodă la cerere. În [26] se propune o metodă pentru dezvoltarea sistemelor încorporate prin configurații și generarea de cod bazată pe metamodele în formatul JavaScript Object Notation – JSON, folosind conceptul de canal definit mai sus, precum și o propunere de instrument pentru operarea metodologiei.

#### **Modelare sisteme prin meta descriere**

Arhitectura sistemului poate fi descrisă prin definirea unui metamodel utilizând formatul JSON [15]. Conform metodei prezentate în lucrarea [26], în metodologie se propun trei tipuri de fișiere format JSON ale platformei: *manifest de platformă*, *definiții de componente* și *configurații de proiect*. Configurația de proiect se descrie într-un fișier `<project_name>.JSON` localizat în directoriul principal

al proiectului. Pentru demonstrarea metodei urmează un exemplu de interconectare a două componente, după exemplul din Fig. 17. reprezentat de fișierului de configurare din Fig. 18.

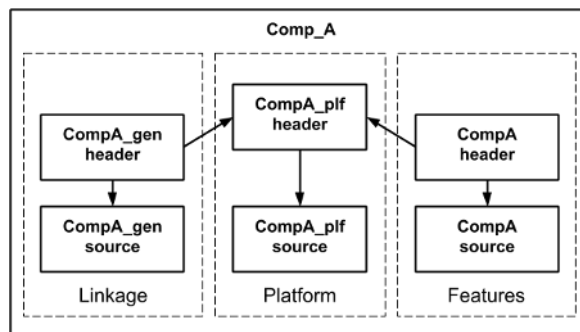
```

{
  "Type": "Configuration",
  "Components": {
    "Comp_A": {
      "git": "https://<path_to_git>.git",
      "Path": "ESW/Comp_A/",
      "Groups": {
        "Group_A": {
          "Dependency": "Comp_B"
          "Channels": {
            "cnl_A_1": "cnl_B_1",
            "cnl_A_2": "cnl_B_2",
          },
          "Pull": "GetB"
        }
      }
    },
    "Comp_B": {
      "git": "https://<path_to_git>.git",
      "Path": "ESW/Comp_B/",
      "Groups": {
        "Group_B": {
          "Dependency": "<a_dep_comp>"
          "Channels": {
            "cnl_B_1": "<channel_link>",
            "cnl_B_2": "<channel_link>"
          },
          "Pull": "<pull_method>"
        }
      }
    }
  }
}

```

**Fig. 18. Exemplu de definire de interconectare**

Metoda expusă în această teză presupune că resursele componenteii sunt compuse din trei părți: funcționalitățile componenteii; adaptor componentă către platformă; configurația de interconectare a componentelor, prezentate în Fig. 19.



**Fig. 19. Infrastructura internă a resurselor soft ale componenteii [26]**

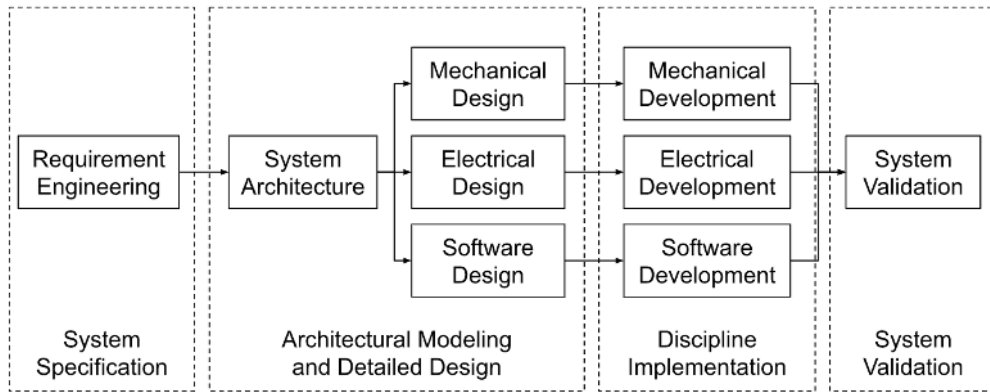
Conform metodei, funcționalitățile componenteii pot fi definite în cadrul procesului de proiectare sau preluate ca resurse externe, celelalte două fiind posibil de generat în procesul de dezvoltare a proiectului, utilizând conceptele platformei.

**În Capitolul 3, Modelarea arhitecturală a sistemelor electronice distribuite. Studii de caz,** este prezentat un instrument de modelare prin metamodele și generare automată de cod sursa pentru componenteii de platformă, produs program specializat realizat ca resursă software pentru punerea în aplicație practică și validare a conceptului propus în aceasta teză. Sunt expuse aplicațiile practice ale metodei de modelare prin lanțuri de comunicare, evidențiindu-se diversitatea domeniilor de aplicare, cum ar fi sistem de monitorizare a parametrilor mediului, sisteme de control a echipamentelor de mecatronică, sistem de control a procesului de producere, dispozitive electronice electrocasnice.

#### ***Procesul de modelare a sistemelor electronice distribuite***

Procesul de dezvoltare a sistemelor electronice distribuite, sau sisteme incorporate, este un proces complex și necesită abordări de modelare arhitecturală și specifice disciplinelor din ingineria mecanică, electrică/electronică și software. Acest proces poate fi împărțit în mai multe etape, fiecare

cu propriile sale cerințe, considerente și instrumente de modelare. Printre cele mai importante etape ale procesului de dezvoltare a sistemelor electronice distribuite se regăsesc cele prezentate în Fig. 20.

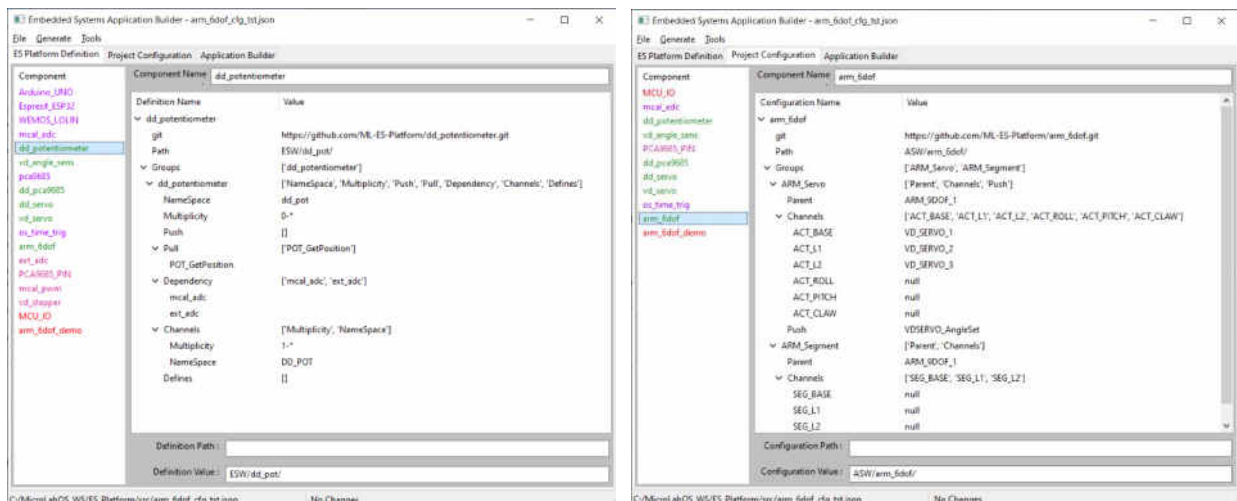


**Fig. 20. Procesul de dezvoltare a sistemelor electronice distribuite**

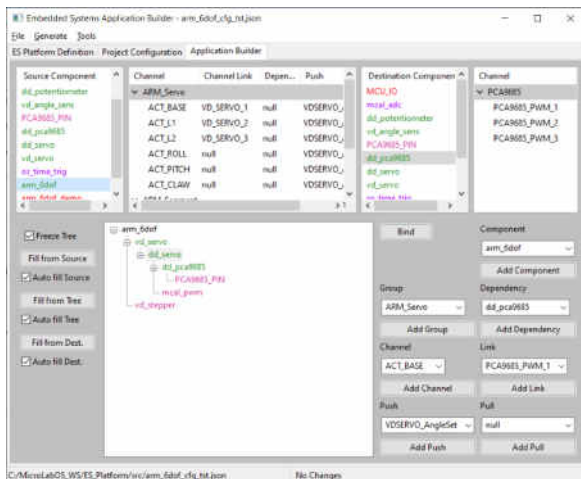
### *Modelarea sistemelor electronice distribuite în baza produsului program*

În scopul demonstrării viabilității metodei prezentate a fost elaborat un produs program specializat pentru crearea și configurarea proiectelor pentru sisteme încorporate. Produsul software menționat este compus din trei secțiuni: secțiunea de gestionare a platformei, secțiunea de gestionare a configurațiilor componentelor modelului și secțiunea de modelare a proiectului.

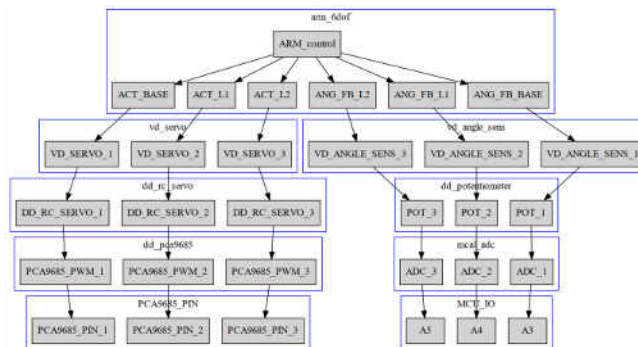
Ca și rezultat al produsului program se vor evidenția: gestionarea definițiilor componentelor Fig. 21(a), gestionarea configurațiilor componentelor Fig. 21(b) și gestionarea interconexiunilor componentelor în Fig. 22(a). Produsul program dezvoltat permite vizualizarea grafică a componentelor și a interconexiunilor prin generare de diagrame arhitecturale, similare cu cea prezentată în Fig. 22(b), în format Graphviz [16].



**Fig. 21. Gestionarea definițiilor (a) și configurațiilor (b) componentelor [26]**



(a)



(b)

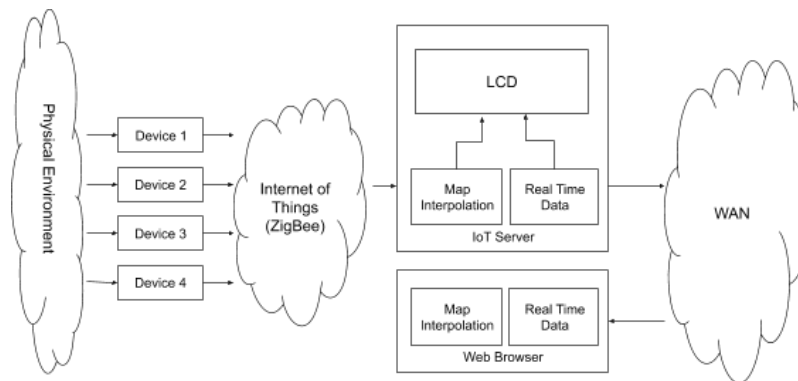
**Fig. 22. Gestionarea interconexiunilor componentelor (a) și vizualizarea grafică a interconexiunilor între canale (b) [26]**

### Rezultatele modelării sistemelor electronice distribuite

În baza cercetărilor efectuate, utilizând conceptele de modelare arhitecturală propuse în teză, au fost proiectate diverse sisteme electronice distribuite: *sistem de monitorizare a mediului înconjurător, instalație de uscare pentru fructe și legume pe bază de pelete, sistem de control al brațelor robotice, sistem de iluminare a interiorului clădirii, sistem de control a unui frigider inteligent*. Sistemele menționate sunt reprezentate prin arhitecturi de sistem ale aplicațiilor și arhitecturi de componente în straturi. Componentele sunt implementate *cu lanțuri de comunicare* pentru interacțiunile aplicației cu mediul extern și dispozitivele ce formează sistemul electronic distribuit. Această abordare permite o mai bună organizare a proiectului, precum și reutilizarea și extensibilitatea componentelor sistemului.

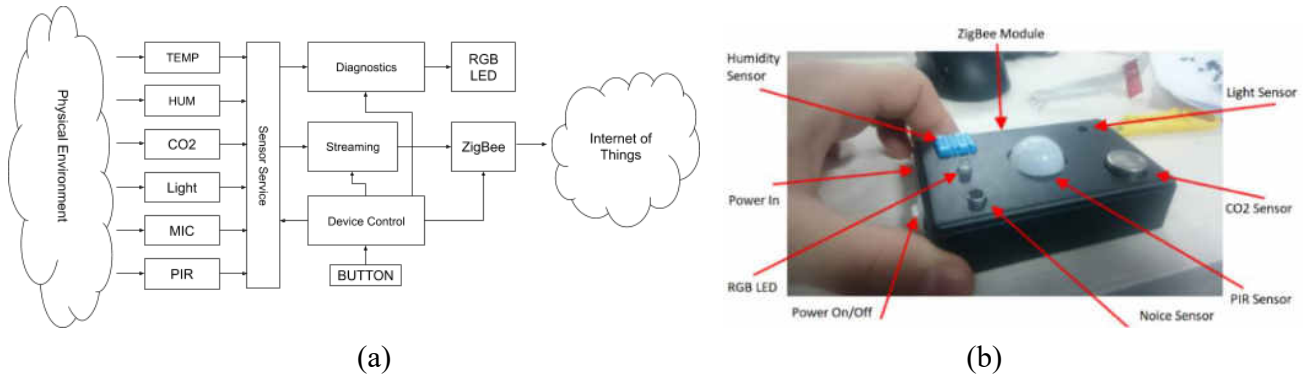
În continuare se prezintă detaliat modelele arhitecturale privind sistemul de monitorizare a mediului și sistemul de control al unui braț robotic la distanță. Modelele arhitecturale ce țin de celelalte sisteme menționate sunt detaliat prezentate în teză.

**Sistemul de monitorizare a mediului** reprezintă un sistem pentru monitorizarea mediului înconjurător, în funcție de parametri de temperatură, umiditate, detectarea prezenței, luminozitatea, zgomotul, detectarea CO<sub>2</sub>, la diferite coordonate geografice. Arhitectura la nivel de sistem este realizată prin diagrama conceptuală (Fig. 23).



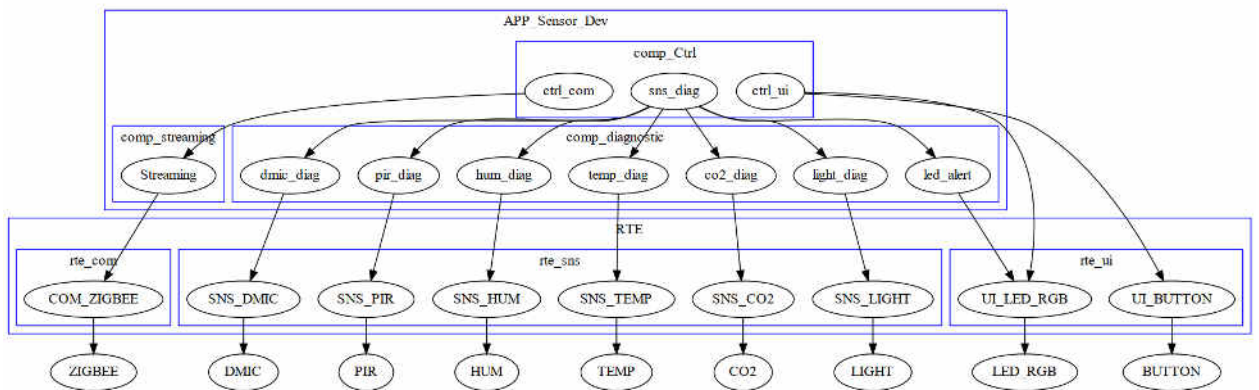
**Fig. 23. Arhitectura generală a sistemului [22]**

Fiecare dintre dispozitive de achiziție din sistemul menționat este responsabil pentru colectarea datelor în zona în care este amplasat, iar datele vor fi prelucrate de alte sisteme pentru care aceste date prezintă interes. Fluxul de date și semnalele de control sunt prezentate în diagrama funcțională din Fig. 24(a). Dispozitivele din cadrul sistemului sunt construite luând în considerație constrângerile de costuri reduse de realizare în producție (Fig. 24(b)), prezentate de către autor în lucrarea [22].



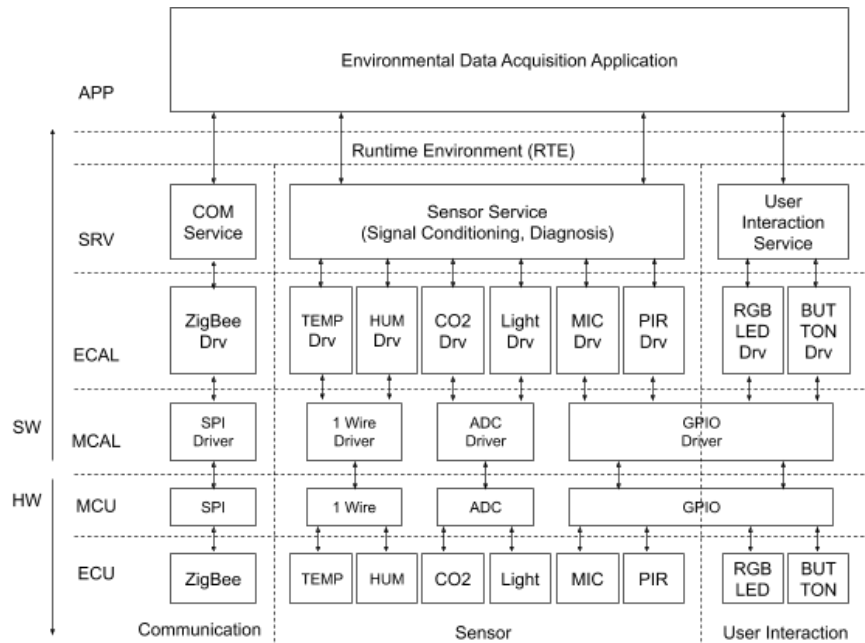
**Fig. 24. Diagrama funcțională și de flux de date (a) pentru dispozitivul IoT(b) [22]**

Pentru componentele de la nivelul de aplicație al dispozitivului de senzori IoT vom avea o arhitectură de sistem generată, după cum urmează în Fig. 25.



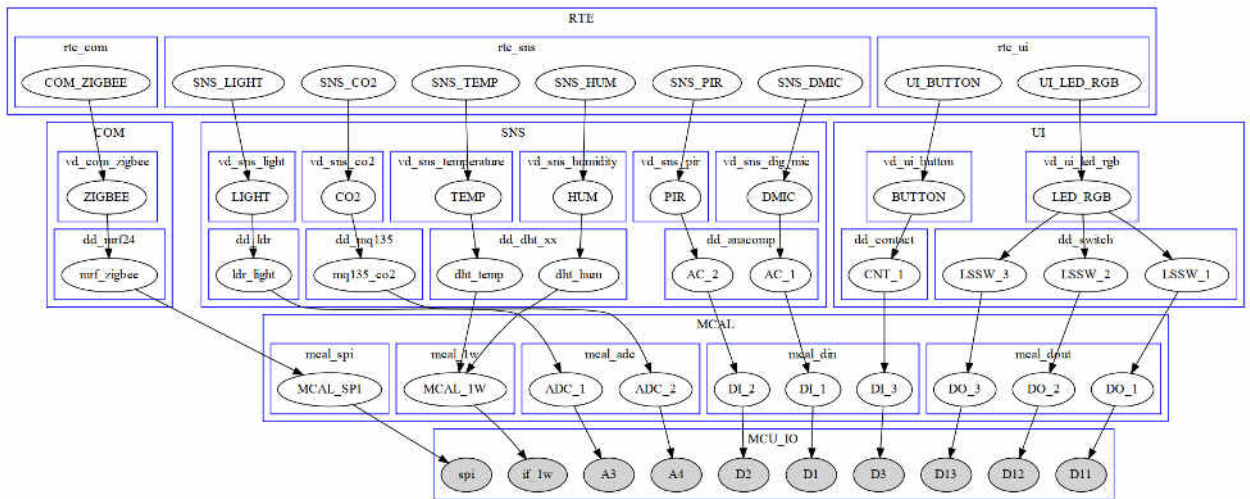
**Fig. 25. Arhitectura sistemului pentru dispozitivul IoT generată conform configurației**

Structural, fiecare componentă a senzorului sau a comunicării este realizată conform conceptului de componentă generică prezentat în teză și are următoarea structură (Fig. 26).



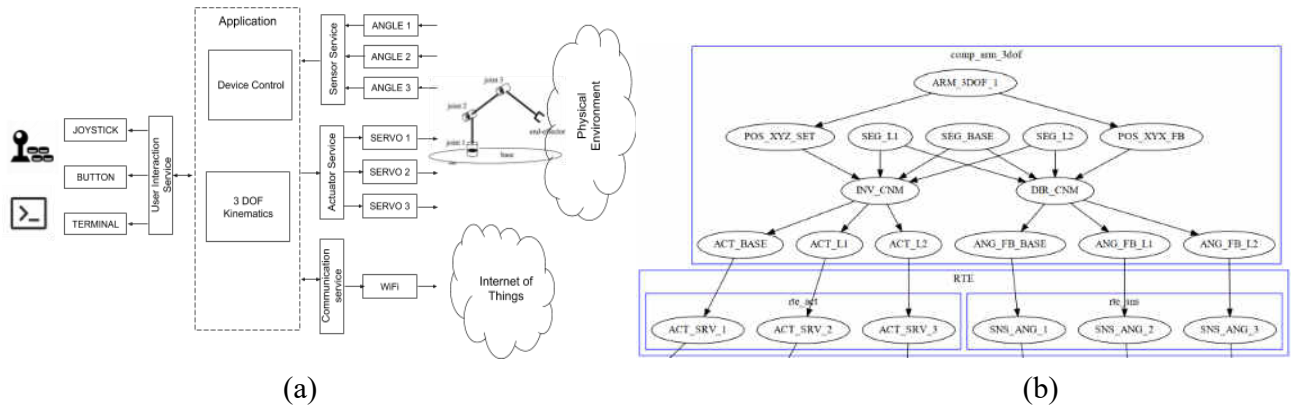
**Fig. 26. Arhitectura în straturi a dispozitivului IoT [22]**

Utilizând instrumentul de configurare și generare prezentat în teză, obținem o *arhitectură în straturi* pentru componentele de platformă, după cum e prezentat în **Fig. 27**.



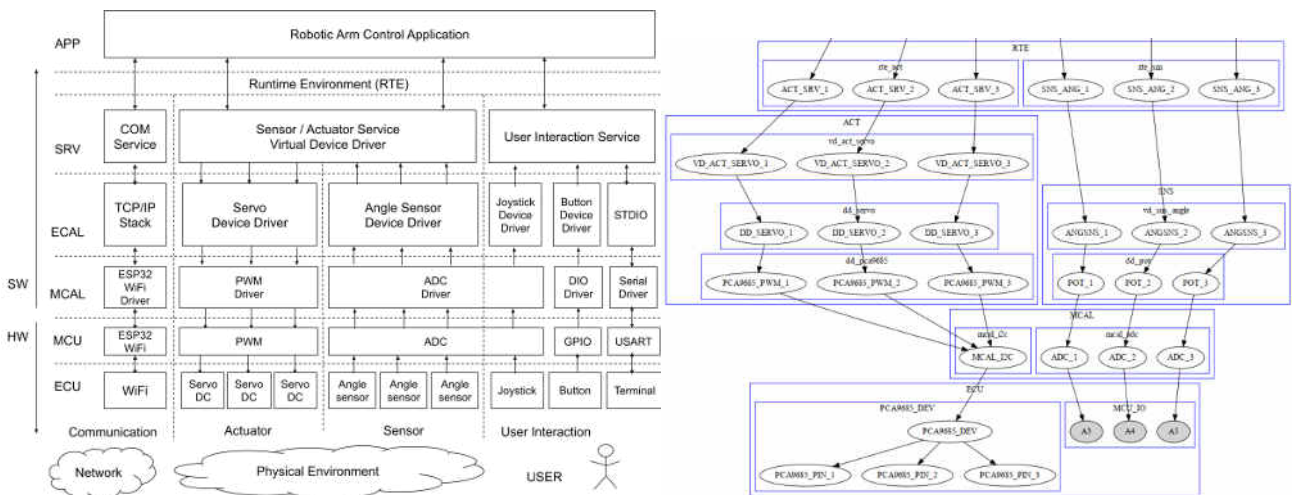
**Fig. 27. Arhitectura în straturi a dispozitivului IoT generată conform configurației**

*Sistemul de control al brațelor robotizate* este un sistem în care are loc gestionarea brațelor atât de pe dispozitivul de control local, cât și gestionarea cu brațul la distanță, cu implementarea de abstractizare prin lanțuri de comunicare. Ca urmare a metodologiei elaborate în teză, se propune o arhitectură pentru un sistem de control al brațelor robotizate, Fig. 28(a). Arhitectura sistemului la nivelul de aplicație generată în urma proiectării cu instrumentul de configurare prezentat în teză va arăta după cum e prezentat în Fig. 28(b).



**Fig. 28. Arhitectura de sistem a aplicației de control a brațului 3-DOF (a) și rezultatul generării conform configurației (b)**

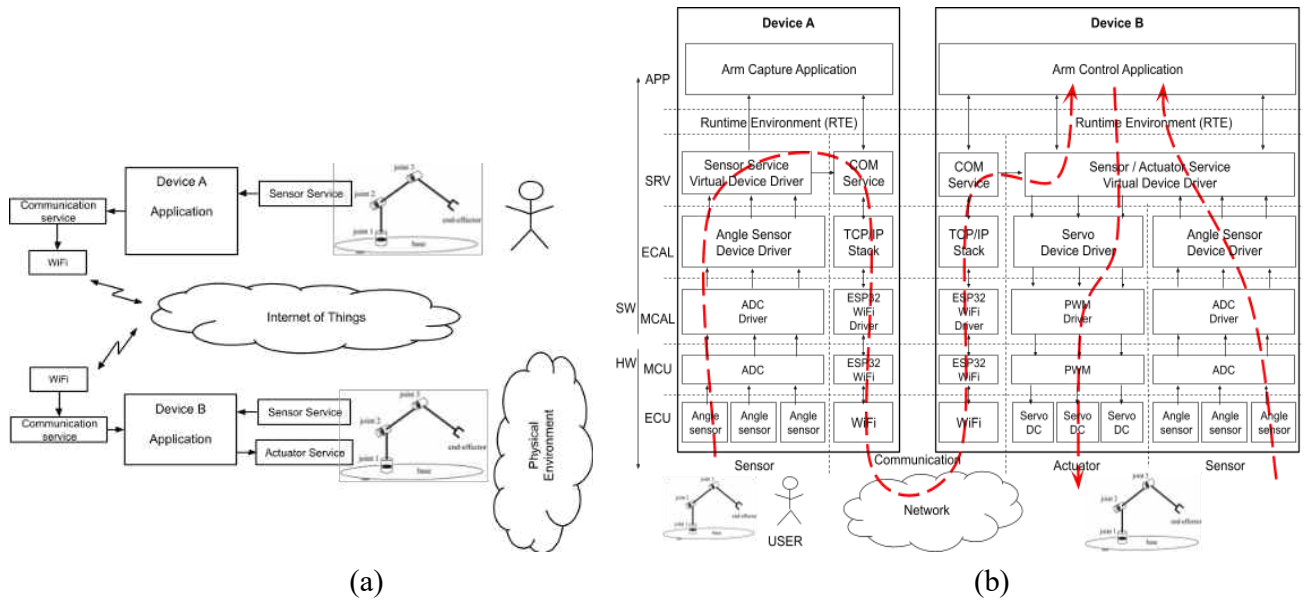
Toate interacțiunile, cum ar fi interacțiunea cu utilizatorul, comunicarea în rețea și senzorul-actuator, sunt implementate urmând principiul de *arhitectură de componente în straturi* propusă în teză, vezi Fig. 29(a). Configurațiile interconexiunilor pentru componentele de senzor-actuator stabilite cu instrumentul de configurare automată prezentat în teză vor arăta conform diagramei arhitecturale generate de produsul program, prezentate în Fig. 29(b).



**Fig. 29. Arhitectura în straturi a aplicației de control a brațului 3-DOF [24] și rezultatul generării conform configurației (b)**

Modulul de control al aplicației acceptă comenzi de la interfețele de interacțiune a utilizatorului, joystick-ul, terminalul și butoane, prin Internet. Urmând conceptul dispozitivelor electronice distribuite, discutat în teză, a fost dezvoltat un sistem mecatronic de manipulare la distanță. Diagrama arhitecturii sistemului conceptual este prezentată în Fig. 30(a). Conform abordărilor de *arhitectura în straturi* și *lanț de comunicare* propuse în teză, semnalul de la brațul de referință de la distanță, colectat de pe senzorii articulațiilor brațului de referință, traversează întregul *lanț de comunicare* și ajung la componentele de servicii ale brațului actuator, cu servomotoarele active. Servomotoarele sunt poziționate conform unghiurilor colectate de la brațul de referință.





**Fig. 30. Arhitectura sistemului pentru controlul manipulatorului de la distanță (a) și Arhitectura în straturi și fluxul de semnal prin lanțul de comunicare (b)**

Conform abordării prezentate, se abstractizează rețeaua și se consideră că senzorul de referință a poziției este conectat direct la dispozitivul de acționare. Diagrama din Fig. 30(b) reprezintă *arhitectura în straturi* a sistemului și fluxurile sau *lanțurile de comunicare* pentru semnalele achiziționate și semnalele de control pentru acționare. Sistemul prezentat permite manipularea unui braț robot 3-DOF prin intermediul copieii sale originale sau a unui model software al brațului. Interacțiunea se realizează prin trimiterea prin rețeaua fără fir a unghiurilor de referință articulare pentru brațul actuator sau a coordonatelor carteziene ale capului atunci când este implicată cinematica inversă.

## CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

În urma studiului abordărilor actuale cu privire la sistemele electronice distribuite în vederea identificării aspectelor comune care le caracterizează, s-a identificat că multe dintre abordări au o tendință de generalizare și modularizare. În această teză s-au luat ca referință trei tehnologii dintre cele mai avansate în dezvoltarea și aplicabilitatea lor, reprezentând sumar toate nivelele de abstracție: echipament, interacțiune și aplicație. O combinație a acestor trei tehnologii în una generalizată permite dezvoltarea de aplicații cu interacțiuni între noduri-componente pe toate nivelele, cum ar fi: conceptul AUTOSAR la nivel de dispozitiv, cu MQTT globalizare, iar cu ROS aplicații la nivel de sistem. Dezvoltarea unui astfel de concept de *modelare arhitecturală în straturi cu lanțuri de comunicare* este unul din obiectivele principale ale acestei teze.

### **Principalele concluzii:**

1. A fost introdus *conceptul de arhitectură generică* a unui dispozitiv electronic încorporat, *ceea ce a condus* la o clasificare a componentelor unui dispozitiv electronic în patru grupuri, în funcție de problema pe care o soluționează – senzori, actuatori, comunicare și interacțiunea cu utilizatorul, fiind completate cu încă două: stocare de date și managementul energiei, indispensabile în funcționarea unui dispozitiv electronic [21].
2. A fost definită o *arhitectură în straturi*, *ceea ce a permis* abstractizarea pe nivele în realizarea componentelor similare pentru toate grupurile de componente unde dispozitivul este asociat cu stratul de servicii, componentele electronice cu stratul de driver, și componenta de interfețe cu microcontrolerul și periferiile [21].
3. A fost introdusă *noțiunea de lanț de comunicare implementat cu funcții de transfer* pentru *achiziția* de informații, *ceea ce a permis* organizarea gestionării și condiționării acestora de la *senzorul fizic* până la componentele aplicației. *A fost demonstrat* că *lanțul de comunicare de acționare* poate fi implementat cu un lanț de funcții de transfer similar cu cel de achiziție, dar invers direcționat [21, 23].
4. *Pentru prima dată* a fost introdus *conceptul de lanț de comunicare comun* pentru organizarea fluxurilor de informație combinând toate tipurile de interacțiuni, cum ar fi *achiziții, acționare și comunicare*, *ceea ce a condus* la conceptul de *lanț universal de comunicare* pentru dispozitive, reieșind din faptul că în *comunicații* prin rețele la recepție are loc un proces de achiziție semnal *similar* componentelor de *senzor*, iar pentru transmitere procesele similare componentelor de *acționare* completându-se cu tehnologiile de transport date [23, 24].
5. Organizând un *lanț de comunicare* într-un ciclu iterativ, și anume: intrare-ieșire-intrare se poate obține abstracția prin care o aplicație de pe un dispozitiv accesează un senzor atașat la alt dispozitiv. Această modalitate de abstractizare a interacțiunilor fiind la baza elaborării conceptului de sisteme electronice distribuite *subiect de noutate al acestei teze* – *realizarea conceptului de acces la orice de oriunde* [24].
6. A fost constatat că *identificarea simptomelor și calificarea de diagnoze* sunt fluxuri de informații derivate asociate achiziției informațiilor, iar *mecanismele de protecție* sunt fluxuri derivate din lanțul de acționare, *fapt care a permis* aplicarea metodologiei descrise în această teză pentru

- proiectarea componentelor specifice pentru asigurarea *siguranței funcționale a sistemelor* [21, 23, 24].
7. A fost folosită noțiunea de *componentă configurabilă* reprezentată de o *colecție de funcții de transfer*, fapt care facilitează *construirea automată a lanțurilor de comunicare*, în baza parametrilor specificați în fișiere de definiție în format JSON [26].
  8. *A fost implementat un mecanism de conectare la servicii de versionare* de resurse software GIT accesibile online pentru o baza de *componente de platformă* oferind posibilități de dezvoltare în grup și schimb de experiență în dezvoltarea pe *resurse reutilizabile*, față de cele dezvoltate în totalitate manual, *acestea aducând* numeroase avantaje - reducerea timpului de realizare, etc. [26].
  9. *A fost elaborat un produs program* în scopul *proiectării sistemelor electronice distribuite*, ceea ce a permis elaborarea unui proces de *modelare automată a configurației* sistemului bazată pe metamodele, în format JSON, cât și a generării ulterioare codului sursa pentru dispozitivele electronice, punând la dispoziție automatizări și recomandări pentru selecția de conexiuni de *lanțuri de comunicare* [26].
  10. *A fost elaborată o metodologie de modelare a sistemelor electronice distribuite* în scopul asigurării cu instrumente de proiectare, *ceea ce a permis validarea conceptului arhitectural în straturi* cu *lanțuri de comunicare* pentru aplicațiile în sisteme din domeniul IoT definit de un set de componente generice [21, 23, 26].
  11. Rezultatele cercetărilor din cadrul tezei au fost folosite la *elaborarea de curricule* pentru următoarele cursuri universitare:
    - *Internetul Lucrurilor* - programele de studiu Sisteme Informaționale, Tehnologii Informaționale, nominalizat câștigător, Locul I, în cadrul concursului cursurilor digitale pe platforma educațională ELSE a Universității Tehnice a Moldovei;
    - *Sisteme Incorporate* - programele de studiu Microelectronica și Nano tehnologii, Inginerie Biomedicală, și Inginerie Software;
    - *Aplicații ale Sistemelor Robotice* - programul de studiu Robotică și Mecatronica, în cadrul facultății Calculatoare Informatică și Microelectronică.
  12. Metodologia propusă a fost utilizată la elaborarea diverselor *sisteme electronice distribuite*, în special:
    - *Sistem de monitorizare a mediului înconjurător* – colectarea diverșilor parametri fizici ai mediului înconjurător, cum ar fi temperatura, umiditate, luminozitate, CO, mișcare, nivel zgomot prin intermediul instalării distribuite a dispozitivelor electronice dotate cu senzori, cu o construire eventuala harților de mediu în baza datelor colectate din rețeaua sistemului electronic distribuit [22];
    - *Sistem de uscare în bază de pelete pentru fructe și legume* - instalație cu capacitatea de 1,5 tone materie primă pentru compania „Viomarix-Plus” SRL, Rep. Moldova. În rezultatul implementării, a fost instalat un sistem de automatizare la instalația de uscare sus numită, care a contribuit la reducerea consumului de energie cu 15%, constituind 51kW/h.;
    - *Sistem de control al brațelor robotice cu 6 grade de libertate*, care permite interacțiunea între mai multe brațe pentru a executa manipulări mecanice complexe [24];

- *Sistem de iluminare a interiorului clădirii* cu lumină ambientală prin intermediul a patru oglinzi situate la colțurile unei clădiri, care au rolul de a urmări mișcarea Soarelui și de a reflecta lumina care intră pe o țintă specificată situată în centru. Sistemul a fost proiectat pentru Pavilionul Republicii Moldova la Expoziția de la Milano, 2015, A.O. Asociația Artelor Alternative „ARTWATT”, Rep. Moldova;
- *Sistem de control al unui frigider inteligent* cu funcționalități de control temperatură în camera frigorifică și protecție motor pompă de căldură, dotat cu sistem multimedia pentru monitorizarea a produselor, recomandări de rețete, prototip elaborat pentru compania Micrologic Design Automation SRL, Chișinău, Rep. Moldova;
- *În scop educațional* a fost elaborată o *placă de dezvoltare*, urmând arhitectura generică a unui sistem încorporat utilizată în procesul de studiu în cadrul lucrărilor de laborator. Echipamente pentru comerț pe piața din Franța, pentru compania Absa-NT – ”PIC Evaluation Board” [21] și ”PIC32 Communication Board” dedicat interfețelor de comunicare. De asemenea, o platforma robotică mobilă educațională ”Road Runner” dotată cu modul GPS și două procesoare, ARM și Raspberry, ce permite experimentare cu sisteme electronice distribuite. Proiectele au fost livrate cu suport software elaborate conform metodologiei propuse în teză.

***Direcții de cercetare pentru viitor:***

Metodologia propusă urmează a fi dezvoltată în continuare, următorii pași fiind îndreptați spre acoperirea necesităților propuse după cum urmează:

- Dezvoltarea metodologiei pentru generarea de configurații pentru toate dispozitivele unui sistem electronic distribuit dintr-un singur model.
- Elaborarea conceptului de dezvoltare a sistemelor în baza cerințelor – ”Requirement based Development” implicând tehnici de inteligență artificială.
- Elaborarea unui concept de autoorganizare a sistemelor electronice distribuite cu o evoluție dinamică a configurațiilor în timp real.

## BIBLIOGRAFIE

1. ZASLAVSKY, Arkady, JAYARAMAN, Prem Prakash. *The Internet of things: Discovery in the Internet of things*. In: Magazine Ubiquity Volume 2015 Issue October, ACM New York, NY, USA. DOI: 10.1145/2822529
2. FARHAN L., KHAREL R., KAIWARTYA, O., QUIROZ-CASTELLANOS M., ALISSA A. and ABDULSALAM, M., *A Concise Review on Internet of Things (IoT) -Problems, Challenges and Opportunities*. In: 2018 11th International Symposium on Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing (CSNDSP), 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/CSNDSP.2018.8471762.
3. SETHI, Pallavi, SARANGI, Smruti R., *Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications*. In: Journal of Electrical and Computer Engineering, vol. 2017, Article ID 9324035, 25 pages, 2017. DOI: 10.1155/2017/9324035
4. MASHAL, I., ALSARYRAH, O., CHUNG, T.Y., YANG C.Z., KUO, W.H., and AGRAWAL, D. P.. *Choices for interaction with things on Internet and underlying issues*. In: Ad Hoc Networks, vol. 28, pp. 68–90, 2015.
5. SAID, O. and MASUD, M.. *Towards Internet of things: survey and future vision*. In: International Journal of Computer Networks, vol. 5, no. 1, pp. 1–17, 2013.
6. WU, M., LU, T.J., LING, F.Y., SUN, J., and DU, H.Y.. *Research on the architecture of Internet of things*. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE '10), vol. 5, pp. V5-484–V5-487, IEEE, Chengdu, China, August 2010.
7. KHAN, R., KHAN, S. U., ZAHEER, R., and KHAN, S.. *Future Internet: the Internet of things architecture, possible applications and key challenges*. In: Proceedings of the 10th International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT '12), pp. 257–260, December 2012.
8. *What is middleware?*. Red Hat Official Site [online]. [citat 21.08.2021]. Disponibil: <https://www.redhat.com/en/topics/middleware/what-is-middleware> -
9. SOLDATOS, J., KEFALAKIS, N., HAUSWIRTH, M. et al.. *Openiot: open source Internet of things in the cloud*. In: Interoperability and Open-Source Solutions for the Internet of Things: International Workshop, FP7 OpenIoT Project, Held in Conjunction with SoftCOM 2014, Split, Croatia, September 18, 2014. Invited Papers, vol. 9001 of Lecture Notes in Computer Science, pp. 13–25, Springer, Berlin, Germany, 2015.
10. MACLEAN, Fiona, JONES, Derek, CARIN-LEVY, Gail and HUNTER, Heather. *Understanding Twitter*. In: British Journal of Occupational Therapy. 76(6):295. (2013). DOI: 10.4276/030802213X13706169933021.
11. *MQTT broker - a Twitter for machines*. <https://medium.com/@noobino/mqtt-broker-a-twitter-for-machines-b624ea2773b1> Disponibil: Jun 20, 2020.
12. ANDERSON, Mike, *Introduction to the Robot Operating System (ROS) Middleware*. In: Embedded Linux Conference & OpenIOT Summit North America March 12-14, 2018 -
13. WEIGERT, Thomas, WEIL, Frank, VAN-DEN-BERG, Aswin, DIETZ, Paul, and MARTH, Kevin. *Automated Code Generation for Industrial-Strength Systems*. In: Proceedings of the 2008 32nd Annual Ieee International Computer Software and Applications Conference. 2008.
14. CICOZZI, Federico, CICHETTI, Antonio, SJÖDIN, Mikael. *Full Code Generation from UML Models for Complex Embedded Systems*, In: Second International Software Technology Exchange Workshop (STEW) Publisher: Swedsoft. 2012.
15. GERHART, Markus, BAYER, Julian, HÖFNER, Jan Moritz and BOGER, Marko. *Approach to Define Highly Scalable Metamodels Based on JSON*. In: Proceedings of the 3rd Workshop on Scalable Model Driven Engineering part of the Software Technologies: Applications and Foundations 2015 federation of conferences, L'Aquila, Italy, July 23, 2015, pp. 11–20.

16. *Graphviz - Graph Visualization Software*. [Online] Disponibil: <https://Graphviz.org/> Disponibil: August 20, 2020.
17. *Layered Software Architecture - AUTOSAR Release 4.2.2*. AUTOSAR Official Site [online]. [citat 16.06.2020] Disponibil: [https://www.autosar.org/fileadmin/user\\_upload/standards/classic/4-3/AUTOSAR\\_EXP\\_LayeredSoftwareArchitecture.pdf](https://www.autosar.org/fileadmin/user_upload/standards/classic/4-3/AUTOSAR_EXP_LayeredSoftwareArchitecture.pdf)
18. ZENG, H., ZENG, H., NATALE, M. D., GIUSTO, P., and SANGIOVANNI-VINCENTELLI, A.. *Stochastic Analysis of CAN-Based Real-Time Automotive Systems*. In: IEEE Transactions on Industrial Informatics, 5(4), 2009. 388–401 p. DOI: [10.1109/TII.2009.2032067](https://doi.org/10.1109/TII.2009.2032067)
19. FRANCO, Felipe, NEME, João Henrique, SANTOS, Max, ROSA, Joao and FABBRO. Inacio. In: Workflow and toolchain for developing the automotive software according AUTOSAR standard at a Virtual-ECU. 869-875. (2016). DOI :[10.1109/ISIE.2016.7745004](https://doi.org/10.1109/ISIE.2016.7745004).
20. KRAMMER, M., MARTIN, H., KARNER, M., WATZENIG, D. et al., System Modeling for Integration and Test of Safety-Critical Automotive Embedded Systems, In: SAE Technical Paper 2013-01-0189, 2013, <https://doi.org/10.4271/2013-01-0189>.
21. **BRAGARENCO, Andrei**, MARUSIC, Galina, CIUFUDEAN, Calin. *Layered Architecture Approach of the Sensor Software Component Stack for the Internet of Things Applications*. In: WSEAS Transactions on Computer Research, ISSN / E-ISSN: 1991-8755 / 2415-1521, Volume 7, 2019, Art. #15, pp. 124-135.
22. **BRAGARENCO, Andrei**, MARUSIC, Galina. *Internet of Things System for Environmental Map Acquisition*. In: Journal of Engineering Science, XXVI (4), pp. 88–102. DOI: [10.5281/zenodo.3591594](https://doi.org/10.5281/zenodo.3591594), December 23, 2019
23. **BRAGARENCO A**, MARUSIC G, CIUFUDEAN C. *Communication Chain in the Internet of Things with Spread-out Electronic Device System Abstraction*. In: 2021 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS) (pp. 1-5). IEEE. DOI: [10.1109/IEMTRONICS52119.2021.9422565](https://doi.org/10.1109/IEMTRONICS52119.2021.9422565), Apr 21, 2021, Toronto, ON, Canada
24. **BRAGARENCO, Andrei**. *Sensor-Actuator Software Component Stack for Industrial Internet of Things Applications*. In: 24th International Conference on System Theory, Control and Computing, pp. 540-545, October 8 - 10, 2020, Sinaia, Romania.
25. TROCIN, Caterina, **BRAGARENCO, Andrei**, SONTEA, Victor. *Expert system for Medical Diagnosis. Fuzzy Logic*. In: Proceedings IIS - International Workshop on Intelligent Information Systems. Institutul de matematică și Informatică, Chisinau, Moldova, 13-14 Septembrie 2011, pp. 207-210. ISBN 978-9975-4237-0-0
26. **BRAGARENCO, Andrei**. *Method for Embedded Systems Development by Configurations and Code Generation Based on Json Metamodels*. In: Revista de Știință, Inovare, Cultură și Artă „Akademos” 3(58) / 2020 pp 19-27, ISSN 1857-0461 DOI: [10.5281/zenodo.4269373](https://doi.org/10.5281/zenodo.4269373)

## LISTA PUBLICAȚIILOR AUTORULUI LA TEMA TEZEI

### Articole în diferite reviste științifice:

1. **Andrei Bragarenco**, Galina Marusic, Calin Ciufudean. Communication Chain in the Internet of Things with Spread-out Electronic Device System Abstraction. In: Proceedings of the IEEE IEMTRONICS (International IOT, Electronics and Mechatronics Conference) 2021, pp. 340-344. IEEE. DOI: 10.1109/IEMTRONICS52119.2021.9422565, Toronto, Canada, 21 - 24 April 2021, **(0,3125 c.a.)**. **Indexes în SCOPUS**.
2. **Andrei Bragarenco**. Sensor-Actuator Software Component Stack for Industrial Internet of Things Applications. 24th International Conference on System Theory, Control and Computing, pp. 540-545, IEEE, DOI: 10.1109/ICSTCC50638.2020.9259710, October 8 - 10, 2020, Sinaia, Romania. **(0,375 c.a.) indexed in Clarivate Analytics Web of Science, SCOPUS and other**.
3. **Andrei Bragarenco**, Galina Marusic, Calin Ciufudean. Layered architecture approach of the sensor software component stack for the Internet of Things applications. In: WSEAS Transactions on Computer Research, Volume 7, 2019, pp. 124-135. **(0,75 c.a.) Indexes Copernicus-ICI Journals Master DFAList, Semantic Scholar and other**.
4. **Andrei Bragarenco**, Method for embedded systems development by configurations and code generation based on JSON metamodels. In: Revista de Știință, Inovare, Cultură și Artă „Akademos” 3(58), pp 19-27, ISSN 1857-0461 DOI: 10.5281/zenodo.4269373, December 10, 2020, Chisinau, Moldova, **(0,5625 c.a.) Cat. B**
5. **Andrei Bragarenco**, **Galina Marusic**. Internet of things system for environmental map acquisition. In: Journal of Engineering Science. Vol. XXVI (4) 2019, pp. 88-102. DOI: 10.5281/zenodo.3591594, December 23, 2019 **(0,9375 c.a.) Cat. B+**

### Articole în culegeri științifice:

6. TROCIN, CATERINA; **BRAGARENCO, ANDREI**; SONTEA, VICTOR Expert system for Medical Diagnosis. Fuzzy Logic. In: Proceedings IIS - International Workshop on Intelligent Information Systems, Institutul de matematică și Informatică, Chisinau, Moldova, 13-14 Septembrie 2011, pp. 207-210. ISBN 978-9975-4237-0-0 **(0,25 c.a.)**
7. IAVORSCHI, A.; PAHOMI, V.; PIRTAC, V.; ANGHILOGLU, D.; RAILEAN, S.; **BRAGARENCO, A.**; SCRIPNIC, V. Information system analysis of heart rate variability. In: Proceedings of the International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering (ICNBME-2011), Chisinau, Moldova, July 7-8, 2011, pp.445-447. ISBN 978-9975-66-239-0 **(0,1875 c.a.)**
8. **ȘONTEA, V.**; ARMENCEA, N.; ANGHILOGLU, D.; **BRAGARENCO, A.**; IAVORSCHI, A.; PAHOMI, V. Sistem de înregistrare și prelucrare a fotopletismogramelor. In: Proceedings of The 1st International Conference Radio electronics, informatics, technology, Chisinau, 15-16 October 2008. . pp. 178-183 **(0,375 c.a.)**
9. **ȘONTEA, V.**; ARMENCEA, N.; **BRAGARENCO, A.**; IAVORSCHI, A.; PAHOMI, V.; ZATUȘEVȘCHII, I. Didpozitiv de înregistrare și prelucrare a fotopletismogramelor FPG-1. In: Proceedings of The 2nd International Conference Telecommunications, Electronics and Informatics”, Chisinau, 15-18 May 2008. VI pp. 165-168 **(0,25 c.a.)**
10. **BRAGARENCO, A.**; TEODORESCU, N.; **ȘONTEA, V.** Sistem de achiziție a semnalelor biomedicale. In: Proceedings of the 5 th International Conference on Microelectronics and Computers Science, Chișinau 2007 V.II pp. 34-38 **(0,3125 c.a.)**
11. ARMENCEA, N.; **ȘONTEA, V.**; **BRAGARENCO, A.**; ANGHIOGLU, D.; PAHOMI, V. Dispozitiv pentru înregistrarea și prelucrarea fotopletismogramelor. In: Proceedings of the 5th International Conference on Microelectronics and Computers Science, Chișinau 2007 V.II pp. 24-27 **(0,25 c.a.)**
12. **BRAGARENCO, A.**; SONTEA, V. Evaluation and Control System for a Laboratory Experiment. In: Proceeding of European Conference on the Use of Modern Information and Communication Technologies 2006, Gent, Belgium, 30-31 March 2006, p.362 – 366 **(0,3125 c.a.)**
13. **BRAGARENCO, A.**; PLOTNIC, P.; SONTEA, V. Gas sensors research and control system. In: Proceeding of the 4th International Conference on “Microelectronics and Computer Science”, Chișinău, 2005, v.2, pp.443-446 **(0,25 c.a.)**

## ADNOTARE

**la teza „Modelarea sistemelor electronice distribuite cu generarea automată a configurației” prezentată de către Bragarenco Andrei pentru conferirea titlului științific de doctor în informatică, Chișinău, 2023.**

**Structura tezei:** introducere, 3 capitole, concluzii, bibliografie – 179 titluri, 10 anexe, 155 de pagini text de bază, inclusiv 118 figuri și 3 tabele. Rezultatele sunt publicate în 13 lucrări.

**Cuvinte-cheie:** modelare; sistem electronic distribuit; Internetul lucrurilor (IoT); stivă de componente; arhitectura în straturi; condiționare semnal; lanț de comunicare; generator cod; metamodel; automatizare.

**Domeniul de studiu:** produse program, modelarea sistemelor electronice distribuite, generarea automată a resurselor de program.

**Scopul tezei:** proiectarea sistemelor electronice distribuite cu generarea automată a configurației în baza dezvoltării de modele și produse program, utilizând concepte arhitecturale în straturi și metode de organizare a fluxurilor de informație în lanțuri de comunicare.

**Obiective:** studiul abordărilor actuale cu privire la modelarea sistemelor electronice distribuite; elaborarea conceptului de *arhitectură generică* a unui sistem electronic incorporat; elaborarea unui *concept comun pentru achiziția informației și acționare* asupra mediului; elaborarea unui concept pentru *organizarea fluxurilor de informație*; definirea *modelului de componentă configurabilă* a sistemului; elaborarea metodologiei de modelare a sistemelor electronice distribuite; dezvoltarea *produsului program* pentru modelare și *definirea automată a configurațiilor*; crearea resurselor online de *componente reutilizabile*; dezvoltarea aplicațiilor prin metoda propusă; analiza rezultatelor obținute.

**Noutatea și originalitatea științifică:** a fost definit un concept generic de arhitectură a unui sistem incorporat. S-au evidențiat modurile de interacțiune cu mediul și similaritatea între condiționarea semnalelor în fluxurile de intrare cu cele de ieșire. A fost elaborat un concept de *lanț de comunicare* comun pentru interacțiunile senzor-actuator și comunicarea cu alte dispozitive. Rezultatele cercetării permit elaborarea unei platforme de modelare a sistemelor electronice distribuite în baza modelelor *arhitecturale în straturi* și metode de *organizare a lanțurilor de comunicare*.

**Problema științifică soluționată** constă în dezvoltarea de sisteme electronice distribuite în baza modelării de sistem, produselor program și metodelor moderne de descriere a sistemelor prin metamodele pentru arhitecturi în straturi și gestionare a fluxurilor de informații cu lanțuri de comunicare, fapt care a condus la automatizarea procesului de elaborare, configurare și generare de cod sursă de platformă, ceea ce a permis optimizarea timpului alocat modelării de sisteme și funcționalităților esențiale a acestora.

**Semnificația teoretică:** în baza modelelor conceptuale de *arhitectură în straturi și lanțuri de comunicare* a fost elaborată o metodologie de dezvoltare a platformelor de resurse programabile pentru sisteme electronice distribuite.

**Valoarea aplicativă:** în premieră, au fost construite modele de sisteme electronice distribuite, făcându-se abstracție de mediul de propagare a semnalului, acestea fiind abstractizate prin utilizarea lanțurilor de comunicare, producând interfețe între funcțiile de transfer ale sistemului. Rezultatele cercetării pot fi aplicate pentru elaborarea platformelor de sisteme electronice distribuite în diverse domenii.

**Implementarea rezultatelor științifice** a avut loc în cadrul companiei „Viomarix-Plus” SRL; A.O. „Asociația Artelor Alternative ARTWATT” Rep. Moldova; companiei „Arobs Software” SRL, Rep. Moldova; companiei „ABAS-NT” Franța; programelor de cercetare și dezvoltare din cadrul Universității Tehnice a Moldovei, precum și în diverse proiecte individuale.



## ABSTRACT

**to thesis "Modeling of distributed electronic systems with automatic configuration generation", presented by Bragarenco Andrei for the conferral of the scientific title of doctor in Informatics, Chişinău, 2023.**

**The thesis structure:** introduction, 3 chapters, conclusions, bibliography with 179 titles, 10 appendices, 155 pages of basic text, including 118 figures and 3 tables. The results are published in 13 papers.

**Keywords:** modeling; distributed electronic system; Internet of Things (IoT); component stack; layered architecture; signal conditioning; communication chain; code generator; metamodel; automation.

**The field of the investigation:** software products, modeling of distributed electronic systems, automatic generation of program resources.

**The thesis aim:** design of distributed electronic systems with automatic configuration generation based on the development of models and software products, using layered architectural concepts and methods for organizing information flows in communication chains.

**The objectives:** study of current approaches regarding the modeling of distributed electronic systems; elaboration of the generic architecture concept of an embedded electronic system; development of a common concept for the acquisition of information and action on the environment; development of a concept for organizing information flows; defining the configurable system component model; development of the modeling methodology of distributed electronic systems; development of the software product for modeling and automatic definition of configurations; creating online resources of reusable components; development of applications using the proposed method; analysis of the results obtained.

**Scientific novelty and originality of the results:** A generic concept of an embedded system architecture has been defined. The modes of interaction with the environment and the similarity between the conditioning of signals in the input and output flows have been highlighted. A common communication chain concept has been developed for sensor-actuator interactions and communication with other devices. The research results allow the development of a platform for modeling distributed electronic systems based on layered architectural models and methods for organizing communication chains.

**The scientific problem solved** consists in the development of distributed electronic systems based on system modeling, software products and modern methods of system design through metamodels for layered architectures and management of information flows with communication chains, which led to the automation of the process of development, configuration and platform source code generation, which allowed to optimize the time allocated to the modeling of systems and their essential functionalities.

**The theoretical importance:** based on the conceptual models of architecture in layers and communication chains, a methodology for the development of programmable resource platforms for distributed electronic systems was developed.

**The applied value of the thesis:** for the first time, models of distributed electronic systems have been built, abstracting from the domain of signal propagation, these being abstracted through the use of communication chains, producing interfaces between the transfer functions of the system. The research results can be applied to the development of distributed electronic systems platforms in various fields.

**The scientific results implementation** took place within the company "Viomarix-Plus" SRL; A.O. "Association of Alternative Arts ARTWATT" Rep. Moldova; of the company "Arobs Software" SRL, Rep. Moldova; of the company "ABAS-NT" France; research and development programs within the Technical University of Moldova, as well as in various individual projects.

## АННОТАЦИЯ

к диссертации «Моделирование распределенных электронных систем с автоматической генерацией конфигурации», представленной Брагаренко Андрей на соискание ученой степени доктора наук в информатики, Кишинев, 2023.

**Структура диссертации:** введение, 3 главы, заключение, библиография – 179 названий, 10 приложений, 155 страниц основного текста, в том числе 118 рисунков и 3 таблицы. Результаты опубликованы в 13 статьях.

**Ключевые слова:** моделирование; распределенная электронная система; Интернет вещей (IoT); стек компонентов; многоуровневая архитектура; преобразование сигнала; цепь связи; генератор кода; метамодель; автоматизация.

**Область исследования:** программные продукты, моделирование распределенных электронных систем, автоматическая генерация программных ресурсов.

**Цель диссертации:** проектирование распределенных электронных систем с автоматическим формированием конфигурации на основе разработки моделей и программных продуктов, с использованием многоуровневых архитектурных решений и методов организации информационных потоков с цепочками связи.

**Задачи работы:** изучение современных подходов к моделированию распределенных электронных систем; разработка общей концепции архитектуры встроенной электронной системы; разработка общей концепции получения информации и воздействия на окружающую среду; разработка концепции организации информационных потоков; определение модели конфигурируемого компонента системы; разработка методологии моделирования распределенных электронных систем; разработка программного продукта для моделирования и автоматического определения конфигураций; создание онлайн-ресурсов повторно используемых компонентов; разработка приложений с помощью предлагаемого метода; анализ полученных результатов.

**Научная новизна и оригинальность результатов:** определено общее понятие архитектуры встраиваемой системы. Выделены режимы взаимодействия с окружающей средой и сходство между обработкой сигналов во входном и выходном потоках. Для взаимодействия датчика и исполнительного механизма и связи с другими устройствами была разработана общая концепция цепи связи. Результаты исследований позволяют разработать платформу для моделирования распределенных электронных систем на основе многоуровневых архитектурных моделей и методов организации коммуникационных цепочек.

**Решенная научная проблема** заключается в разработке распределенных электронных систем на основе системного моделирования, программных продуктов и современных методов описания систем посредством метамodelей для многоуровневых архитектур и управления информационными потоками с цепочками связи, что привело к автоматизации процесса разработки, настройки и генерации исходного кода платформы, что позволило оптимизировать время, отведенное на моделирование систем и их основных функций.

**Теоретическая значимость работы:** на основе концептуальных моделей архитектуры слоев и коммуникационных цепочек разработана методология разработки программируемых ресурсных платформ для распределенных электронных систем.

**Практическая значимость работы:** впервые были построены модели распределенных электронных систем, абстрагирующихся от среды распространения сигналов, абстрагирующихся за счет использования коммуникационных цепей, создающих интерфейсы между передаточными функциями системы. Результаты исследования могут быть применены при разработке платформ распределенных электронных систем в различных областях.

**Внедрение научных результатов** происходило в рамках компании "Viomarix-Plus" SRL; АО Ассоциация альтернативных искусств "ARTWATT" Респ. Молдова; компании Arobs Software SRL, респ. Молдова; компания ABAS-NT Франция; программы исследований и разработок в рамках Технического Университета Молдовы, а также в различных индивидуальных проектах.

**BRAGARENCO ANDREI**

**MODELAREA SISTEMELOR ELECTRONICE  
DISTRIBUITE CU GENERAREA AUTOMATĂ A  
CONFIGURAȚIEI**

**122.03 – MODELARE, METODE MATEMATICE, PRODUSE PROGRAM.**

**Rezumatul tezei de doctor în informatică**

---

Aprobat spre tipar: 24.11.2023

Formatul hârtiei 60x84 1/16

Hârtie ofset. Tipar RISO.

Tiraj 60 ex

Coli de tipar: 2,0

Comanda nr. 55

---

UTM, 2004, Chișinău, bd. Ștefan cel Mare, 168

Editura "Tehnica UTM",

MD 2045, mun. Chișinău, str. Studenților