

## REZUMAT

### Al tezei de doctorat “**Visual Modeling of Cyber Physical Systems**” elaborată de d-na. ing. **Gabriela MĂGUREANU**

Teza de doctorat elaborată de d-na. ing. Gabriela MĂGUREANU prezintă o modalitate nouă de modelare pentru sistemele cyber fizice. Această metodologie de modelare vizuală se bazează pe o abordare bazată pe obiectiv la nivelul specificațiilor unor aplicații pentru sisteme cyber fizice, precum și pe arhitectura bazată pe modele, la nivel de design. Lucrarea demonstrează utilitatea unei astfel de abordări la nivel de design a unor sisteme cyber fizice prin studii de caz ce discută aplicații pentru sisteme cyber fizice, din diverse domenii de activitate și cu nivel diferit de dificultate la nivel de cerințe de aplicație.

Teza elaborată de d-na. ing. Gabriela MĂGUREANU aduce o contribuție valoroasă în modelarea sistemelor cyber fizice prin definirea a două profile UML ce permit particularizări ale unor astfel de sisteme, atât pe partea de hardware, cât și pe cea de software, de la nivel de componentă, la nivel de nod și întreg sistem. Autoarea tezei prezintă o soluție originală pentru modelarea aplicațiilor ce folosesc sisteme cyber fizice, prin aplicarea abordării orientate pe obiectiv la nivel de specificare a cerințelor, prin crearea modelelor la nivel de arhitectură și aplicarea particularităților și rafinărilor posibile prin profilele UML.

#### **Abstract**

Sistemele cyber fizice sunt sisteme eterogene, masiv distribuite, ce conțin conexiuni cu fir sau fără fir între componente. La nivel fizic, ele conțin senzori, actuatori, unități de comunicare și unități de decizie. La nivel logic, aceste sisteme sunt organizate în subsisteme, fiecare dintre acestea având de îndeplinit un anumit obiectiv. Fiind un domeniu relativ nou în cercetare, astfel de sisteme prezintă încă unele probleme legate de comunicarea asincronă între subsisteme și influența informației din subsisteme asupra dispozitivelor controlate.

Teza urmărește prezentarea unui model de design și programare pentru aplicații destinate sistemelor cyber fizice, care să fie eficient, intuitiv și ușor de folosit. Utilizatorul unei astfel de metodologii nu trebuie să aibă cunoștințe de programare de nivel scăzut, el trebuind doar să specifice rețeaua la nivel hardware și software, prin selectarea unor componente particularizate cu ajutorul stereotipurilor UML. Obiectivele aplicației se specifică la un nivel înalt de abstractizare, urmând ca traducerea lor în obiective spre nivele inferioare de abstractizare, respectiv spre nivelul fizic să se facă cu ajutorul unui middleware definit.

Metodele existente în literatură, discutate în secțiunea „State of the art” fac apel la cunoștințe specializate din partea utilizatorului unei aplicații de sisteme cyber fizice. Abordarea descrisă în această teză urmărește ridicarea nivelului de abstractizare la nivel de specificații de aplicație, respectiv folosește arhitectura bazată pe model ce facilitează design-ul în cadrul aplicațiilor distribuite complexe.

Validarea metodologiei propuse se realizează la nivel de studii de caz. O altă posibilitate de validare o reprezintă simularea modelelor create. Rezultatele prezentate în cadrul acestei teze demonstrează că această modalitate de modelare se pretează pentru aplicații ale sistemelor cyber fizice din diferite domenii de activitate, de diferite grade de dificultate la nivel de cerințe și unde dimensiunea rețelei poate varia.

Teza de doctorat a d-nei ing. Gabriela MĂGUREANU conține aproximativ 118 pagini, grupate în 7 capitole și 102 referințe bibliografice.

## **1. Introducere**

Capitolul prezintă tema de cercetare în ansamblu, obiectivele ce s-au dorit a fi îndeplinite la începutul cercetării, respectiv câteva idei generale despre modalitatea abordată pentru modelarea vizuală a sistemelor cyber fizice. La acest nivel este prezentată și organizarea tezei pe capitole. Folosirea sistemelor cyber fizice reprezintă o soluție adecvată în aplicații din numeroase domenii (monitorizare de infrastructură, trafic inteligent, sisteme medicale). La ora actuală nu există soluții general valabile referitoare la partea de design, cu toate că folosirea modelelor în design-ul sistemelor cyber fizice se studiază intensiv. Astfel apare necesitatea unui model de design și programare care să permită utilizatorului specificarea cu ușurință a cerințelor aplicației și a modelelor corespunzătoare. Metodologia se pretează sistemelor cyber fizice compuse din senzori, actuatori, unități de comunicare și unități de control, ce pot fi particularizate în cadrul modelelor prin diverse stereotipuri UML, atât pe partea de dispozitiv fizic, cât și la nivel de comportament. Validitatea metodologiei se arată prin câteva studii de caz ce prezintă aplicații pentru sisteme cyber fizice.

## **2. State of the Art**

Capitolul descrie stadiul actual al cercetării legat de toate aspectele ce compun metodologia prezentată în teză. În primul rând, autoarea tezei a studiat modelele de programare din literatură pentru rețelele de senzori deoarece sistemele cyber fizice pot fi văzute parțial și ca rețele de senzori și actuatori. Pentru metodologia abordată, un interes crescut îl reprezintă modelele de programare la nivel de rețea, deoarece implică un nivel crescut de abstractizare, în comparație cu modelele de programare la nivel de nod sau grup. De asemenea, doctoranda a studiat și modalitățile existente în literatura de specialitate pentru programarea sistemelor cyber fizice și abordările din literatură legate de metodologii orientate pe obiectiv. Următoarele subcapitole ale tezei se referă la rezultatele din literatură pentru modelarea vizuală a sistemelor distribuite și abordarea de arhitectură bazată pe modele. Pentru metodologiile prezentate în acest capitol se prezintă motivele pentru care au fost luate în considerare la nivelul tezei iar fiecare subcapitol se încheie cu un tabel ce recapitulează abordările descrise, din punct de vedere al beneficiilor aduse, al anului de apariție și al impactului în această teză.

## **3. Goal-oriented Approach for Cyber Physical Systems**

Capitolul prezintă abordarea propusă de către doctorandă pe partea de specificare a cerințelor și restricțiilor aplicațiilor. Obiectivele și constrângerile aplicațiilor pentru sisteme cyber fizice sunt scrise la nivel pur declarativ. Algoritmii ce vor fi folosiți la procesarea obiectivelor aplicațiilor sunt denumiți strategii și sunt selectați din biblioteci specializate. Descrierea obiectivelor nu include mecanismele de interacțiune între dispozitivele fizice și logice din sistemele cyber fizice iar schema de interacțiune este inferată automat la rulare. De asemenea, la nivel logic, configurarea sistemului este dinamică. Sistemele cyber fizice sunt compuse din subsisteme independente, fiecare având de îndeplinit un anumit obiectiv desprins din obiectivul complex al aplicației.

Autoarea tezei descrie modulele de decizie ca fiind principalele entități în cadrul abordării orientate pe obiectiv. Aceste module de decizie conțin intrări, ieșiri, obiective și constrângeri. Ele mențin comunicarea și controlul între nivelele logice. Nivelele logice computaționale definite de autoarea tezei permit abordarea sistemului la diferite nivele de

abstractizare, pentru fiecare subsistem identificat. Aria reprezintă subsistemul în ansamblu, zona reprezintă un subset de dispozitive fizice localizate în interiorul ariei iar perimetrul pune împreună dispozitive fizice, cuplate la nivel logic (senzori și actuatori) ce acționează asupra aceluiași „punct” din mediul înconjurător.

Utilizatorul stabilește obiectivele aplicației, sub formă de cerințe ce trebuie optimizate, și constrângerile aplicației, sub forma unui sistem de inecuații. Aplicând Linear Programming asupra ecuației de obiectiv și a sistemului de inecuații se obțin valori posibile pentru variabilele din sistem. Utilizatorul stabilește în această manieră obiectivele la nivel de arie. Următoarele nivele logice adaugă cerințe specifice referitoare la îndeplinirea obiectivului, la nivel de zonă, respectiv de perimetru. Modulele de decizie asigură comunicarea între nivelele logice, respectiv transmiterea de obiective.

#### **4. Model Driven Architecture Approach for Cyber Physical System Design**

Capitolul prezintă arhitectura bazată pe modele în design-ul sistemelor cyber fizice, în contextul în care o astfel de arhitectură este o soluție adecvată pentru a trata complexitatea legată de design în sisteme distribuite. Autoarea tezei descrie modelele definite într-o altfel de abordare la nivel de arhitectură și transformările de la un model la următorul. Scopul final al folosirii arhitecturii bazate pe modele îl reprezintă generarea de cod pe rețele fizice.

Modelul independent computațional (CIM) indică sistemul în mediul în care acesta va evolua, fără a da detalii specifice de implementare. Autoarea tezei cuprinde în acest model profilele UML pe care le-a definit, pentru particularizări ale sistemelor cyber fizice, atât pe partea de hardware, cât și pe cea de software.

Modelul independent de platformă (PIM) este constituit din modele UML, definite cu ajutorul stereotipurilor UML. Pentru specificarea pe partea de hardware se folosesc diagrame de deployment, iar specificarea software implică diagrame de componente. Modele UML se constituie la nivel de componentă, nod și rețea, pentru fiecare tip de dispozitiv din componența rețelei, atât la nivel fizic, cât și comportamental.

Modelul specific de platformă (PSM) se definește dintr-un model independent de platformă, verificat și validat, peste care se suprapun restricțiile mediului în care evoluează rețeaua fizică.

#### **5. UML Profiles for Cyber Physical System Applications**

Capitolul descrie în amănunt stereotipurile UML definite pentru sisteme cyber fizice, împreună cu meta atributele și constrângerile OCL. În cele 2 profile, stereotipurile sunt organizate ierarhic, grupate în funcție de tipurile elementelor de particularizat.

Profilul UML definit pentru specificarea la nivel hardware conține un prim nivel de stereotipuri abstracte ce devin bazele următoarelor ierarhii de stereotipuri. Astfel se permit particularizări la nivel de componentă (unit), nod și rețea. Stereotipurile pentru module simple permit particularizări ale unităților pentru senzori, actuatori, module de decizie. Sistemele cyber fizice pot fi implementate cu ajutorul sistemelor programabile pe chip iar această modalitate de implementare este facilitată cu ajutorul stereotipurilor grupate într-o altă ierarhie. Proiectul MiXiM din literatura de specialitate definește modele pentru comunicarea fără fir. În concordanță cu acestea, stereotipurile definite permit obținerea de modele UML independente de platformă pentru sisteme cyber fizice unde comunicarea se realizează fără fir. Stereotipurile pentru module compuse permit particularizări în cazul în care nodul este format din mai multe

componente stereotipizate cu artefacte pentru module simple. Meta atributele asociate stereotipurilor rețin tipul componentelor, respectiv tipurile de porturi folosite pentru comunicare.

Profilul UML pentru specificarea la nivel software este definit în concordanță cu cel pentru specificarea hardware. Fiecare tip de componentă fizică are asociat un comportament logic. Ierarhia de stereotipuri de prim nivel conține artefacte abstracte, ce devin stereotipuri de bază pentru celelalte ierarhizări din profil. Astfel, comportamentul logic se poate defini la nivel de componentă, nod și rețea. Stereotipurile pentru definirea de părți software corespund celor de nivel hardware pentru senzori, actuatori, unități de decizie. Două ierarhii importante de stereotipuri sunt cele pentru strategiile de comportament, respectiv strategiile pentru dispozitive PSoC. O altă ierarhie de stereotipuri grupează stereotipurile legate de comunicare, atât în interiorul nodului, cât și cu celelalte noduri din rețea.

## **6. Approach Validation Using Case Studies**

Capitolul prezintă posibilitățile de validare a metodologiei descrise în teză. Simularea reprezintă un pas important, precursor al instalării rețelei pe dispozitive fizice, deoarece permite testarea și validarea modelului independent de platformă, atât la nivel de topologie a rețelei, cât și la nivel de comportament. O parte semnificativă a acestui capitol este rezervată validării metodologiei propuse prin studii de caz. Sunt considerate 3 aplicații din domenii diferite, cu grad diferit de dificultate la nivel de cerințe. Cele 3 aplicații vizează management-ul unei rețele de distribuție a gazului, management-ul unei rețele de semafoare într-o intersecție, respectiv management-ul sistemului de combustibil dintr-un avion. Pentru fiecare dintre aceste studii de caz se prezintă etapele de urmat în folosirea metodologiei: împărțirea în nivele logice pentru a îndeplini obiectivele aplicației, configurarea aplicației la fiecare nivel computațional, respectiv modelarea obiectivelor la fiecare nivel computațional (prin sisteme de inecuații ce se rezolvă cu Linear Programming).

## **7. Conclusions and Future Work**

Capitolul prezintă contribuțiile tezei, evidențiind importanța lor în modelarea sistemelor cyber fizice. Contribuțiile prezentate, faptul că ele au fost diseminate în cadrul unor conferințe importante arată că obiectivele inițiale ale tezei au fost atinse. Tot în acest capitol se prezintă publicațiile ce stau la baza acestei teze, modul în care rezultatele au fost diseminate în cadrul unor jurnale, conferințe internaționale ISI și IEEE și workshop-uri în cadrul proiectului de Burse Doctorale.

### **Contribuțiile tezei**

Potrivit obiectivelor stabilite în faza incipientă a cercetării doctorale, autoarea a studiat posibilitatea dezvoltării unui model de design și programare pentru sistemele cyber fizice, care să fie eficient, intuitiv și ușor de folosit de către utilizatori fără cunoștințe de programare la nivel scăzut.

Autoarea tezei raportează un studiu cuprinzător și o sistematizare a cercetărilor de specialitate în domeniul modelării sistemelor cyber fizice și a rețelelor de senzori în general. Autoarea a consultat și sintetizat literatura de specialitate și referitor la folosirea profilelor UML, la abordările existente orientate pe obiectivele aplicațiilor, respectiv la abordările existente pentru arhitecturi bazate pe modele.

O contribuție importantă în domeniul modelării sistemelor cyber fizice este cea de definire a două profile UML pentru specificarea hardware, respectiv software a unor astfel de sisteme, la nivel de componentă, nod și rețea. Cele două profile sunt compuse din ierarhii de stereotipuri, gruparea realizându-se în funcție de tipurile elementelor pentru care se permite particularizarea. Împreună cu stereotipurile sunt descrise și meta atributele și constrângerile OCL corespunzătoare.

Definirea de către autoarea tezei a abordării orientate pe obiectiv pentru specificațiile aplicației, respectiv împărțirea logică a sistemelor cyber fizice în subsisteme independente ce îndeplinesc câte un obiectiv în aplicație și împărțirea „pe verticală” în grupări logice de arii, zone și perimetre reprezintă punctele principale ale cercetării autoarei tezei.

Abordarea orientată pe obiectiv este urmată de o altă contribuție semnificativă, arhitectura bazată pe model, definirea modelelor ce fac parte dintr-o astfel de arhitectură, în contextul sistemelor cyber fizice și a aplicațiilor pentru astfel de sisteme.

La nivel teoretic, autoarea tezei identifică de asemenea modalitățile de validarea a modelului independent de platformă pentru sisteme cyber fizice, simularea aplicației la nivel de componentă, nod și rețea, respectiv validarea prin studii de caz.

Ca și aspecte practice, autoarea tezei prezintă pașii de urmat în design pentru a folosi metodologia enunțată prin intermediul a trei studii de caz.

Abordarea orientată pe obiectivele aplicației, modelele ce fac parte din arhitectură, transformările dintre ele, respectiv folosirea stereotipurilor definite în profile UML pentru particularizarea diferitelor aspecte ale aplicației pentru sisteme cyber fizice au fost aplicate toate cele trei studii de caz. S-a evidențiat că o astfel de metodologie este aplicabilă și utilă în cazul:

- sistemelor cyber fizice compuse din senzori, actuatori, unități de comunicare și unități de control (dispozitive regăsite în cadrul tuturor aplicațiilor ce au făcut obiectul studiilor de caz)
- sistemelor cyber fizice de diferite dimensiuni (spre exemplu rețeaua de semafoare are un număr redus de noduri, pe când rețeaua de gaze este formată din numeroși senzori și actuatori)
- aplicațiilor pentru sisteme cyber fizice, unde gradul de dificultate la nivel de cerințe diferă (spre exemplu cerințele la nivel de design pentru rezervorul unui avion implică un grad de risc ridicat)

Rezultatele obținute în cadrul cercetării și actualitatea cercetărilor efectuate sunt susținute și de publicațiile științifice ale autoarei, pe tema de doctorat. Rezultatele s-au concretizat în 15 articole. Primul articol a fost publicat în volumele unei manifestări științifice indexate ISI Proceedings, în afara contractului de doctorat. Pe perioada efectivă a doctoratului, d-na. ing. Gabriela MĂGUREANU a elaborat 7 articole care au fost acceptate în cadrul unor conferințe IEEE internaționale, 2 articole publicate în jurnale BDI iar 3 au fost prezentate în cadrul workshop-urilor POSDRU. Cele mai recente 2 articole vor fi publicate în Lecture Notes în Information Technology pentru care urmează indexarea ISI, respectiv in Journal of Zhejiang University Science C, jurnal cu indexare ISI, factor de impact 0.308 (2011).