

# CYBER-PHYSICAL-SYSTEMS (CPS) – FACTOR DETERMINANT ÎN ECONOMIA BAZATĂ PE INOVARE ȘI CUNOȘTINȚE

**Ioan Dumitrache**

ioan.dumitrache@acse.pub.ro

Institutul Național de Cercetare - Dezvoltare în Informatică, ICI, București

**Rezumat:** Ca urmare a evoluției științei și tehnologiei calculatoarelor, automaticii și comunicațiilor, rețelele globale, împreună cu arhitecturile înglobate în interacțiuni cu procesele fizice au impus în ultimii ani un nou concept cunoscut ca Cyber-Physical-Systems (Sistemele de Sisteme). Spre deosebire de sistemele convenționale, care păstrează identitatea fiecăreia dintre componente, în cadrul CPS se realizează un proces de înglobare a acestora, asigurând noi capacități ca siguranța superioară în funcționare, costuri mai reduse, eficiență sporită și capacitate de interconectare în cadrul unor structuri complexe. CPS, ca sisteme cu un potențial inovativ ridicat, au aplicabilitate în toate domeniile activității umane (de la automobile autonome la sisteme integrate de transport, clădiri, orașe, întreprinderi și sisteme de transport inteligente, rețele inteligente (smart grids), telemedicină și asistare medicală, în sectorul de afaceri, în economia ecosistemelor etc.), sunt colaborative, adaptabile și caracterizate de interoperabilitate pe toate nivelurile de abstractizare (tehnic, arhitectural și funcțional).

**Cuvinte cheie:** Cyber-Physical-Systems, economie bazată pe cunoaștere, management.

**Abstract:** Following the evolution of computer science and technology, computer engineering and communications, global networks, along with the embedded architectures in interaction with physical processes have paved the way in recent years for the emergence of a new concept known as Cyber-Physical-Systems (Systems of Systems). Unlike conventional systems, which preserve the identity of every component, CPS-s embed their components, enabling new capabilities such as an enhanced functional safety, lower costs, a higher efficiency and an interconnection capacity within complex structures. CPS-s, as highly innovative systems, are applicable in all fields of human activity (from autonomous cars to integrated transport systems, intelligent buildings, cities, companies and transportation systems, smart grids, telemedicine and medical assistance, business, the economy of ecosystems etc.), they are collaborative, adaptable and interoperable at all levels of abstraction (technical, architectural and functional).

**Keywords:** Cyber-Physical-Systems, smart grids, global networks, knowledge-based economy, management.

## 1. Introducere

Știința și tehnologia au jucat de-a lungul timpului un rol esențial în evoluția speciei umane, atât prin asigurarea condițiilor existențiale, cât și prin dezvoltarea capacităților intelectuale și civilizației umane. Trecerea de la etapa folosirii mușchilor la etapa folosirii minții, a cunoștințelor, respectiv trecerea prin revoluția industrială la societatea bazată pe cunoaștere, reprezintă elemente definitorii pentru caracterizarea evoluției științei și tehnologiei și a impactului major asupra civilizației și, în general, asupra evoluției omenirii.

Secolul al XX-lea și începutul secolului al XXI-lea se pot considera cele mai dinamice și prolifere perioade în care știința și tehnologia au cunoscut salturi spectaculoase, cu impact major asupra creșterii economice și, implicit, asupra calității vieții. Printre cele mai reprezentative și dinamice domenii ale științei și tehnologiei în ultimii 60 de ani, se remarcă știința și tehnologia calculatoarelor, automatizația și comunicațiile. Aceste domenii, prin contribuțiile fundamentale și realizările tehnologice fără precedent, au contribuit esențial la regândirea sistemelor de fabricație, la optimizarea sistemelor de transport, la optimizarea proceselor de producție și transport al energiei electrice, la creșterea eficienței proceselor de prelucrare a produselor petrochimice, la optimizarea regimurilor de funcționare a motoarelor cu ardere internă, creșterea siguranței traficului aerian și terestru și nu în ultimul rând, la creșterea calității vieții.

Progresele în aceste domenii au un impact major asupra dezvoltării altor domenii ale științei și tehnologiei prin instrumentele și metodologiile avansate de achiziție, transmitere și prelucrare a informațiilor și cunoștințelor furnizate. Se poate aprecia că aceste domenii ale științei și tehnologiei - calculatoarele, automatizația și comunicațiile - contribuie la înnoirea proceselor, la creșterea

performanțelor lor și, în același timp, contribuie la creșterea calității resurselor umane, chemate să răspundă acestor provocări.

Trecerea de la paradigma „Calculatorul pentru conducerea de proces” (C<sub>2</sub>), la paradigma „Calculatoare și Comunicații pentru Conducere” (C<sub>3</sub>) și mai departe la paradigma „Calculatoare, Comunicații și Cunoștințe pentru Control” (C<sub>4</sub>) evidențiază etape importante în procesul de integrare a calculatoarelor și conducerea proceselor. Trecerea de la calculatoare de proces la structurile de conducere înglobate (embedded controllers) și interconectarea acestora în arhitecturi de sisteme de conducere în rețele, au la bază atât rezultatele deosebite obținute în domeniul conceperii și proiectării sistemelor avansate de prelucrare a informațiilor, cât și cele mai avansate rezultate în domeniul conducerii robuste, adaptive sau inteligente a proceselor. Progresele din domeniul tehnologiei senzorilor și al elementelor de execuție, au permis dezvoltarea de rețele de senzori și elemente de execuție și, implicit, a arhitecturilor de sisteme de conducere în rețea – Networked Controlled Systems (NCS).

Evoluția spectaculoasă a sistemelor de comunicație, creșterea vitezei și a capacității de comunicare, a condus în ultimii 10 ani la schimbarea modului de interacțiune cu lumea reală, de comunicare individuală și globală.

Conceperea și realizarea de sisteme integrate de prelucrare a datelor și informațiilor, a unor pachete software inteligente înglobate cu autonomie ridicată, conduce la schimbări radicale în existența și evoluția noastră ca producători sau/și utilizatori ai acestor sisteme.

Rețelele globale ca „Internet of Things” (IoT), „Internet of Services” (IoS) împreună cu arhitecturile înglobate în interacțiune cu procesele fizice prin rețele complexe de senzori și elemente de execuție au impus în ultimii ani un nou concept cunoscut ca „Cyber-Physical-Systems” (CPS). Integrarea proceselor și sistemelor fizice cu rețele de prelucrare și comunicare a condus în mod natural la o nouă generație de sisteme cu reale capacități emergente și noi capacități pentru sistemele fizice. Aceste sisteme integrate „CPS” se regăsesc în aplicații de dimensiuni foarte mici (pacemakers) până la aplicații de dimensiuni foarte mari, spre exemplu sistemul național energetic.

Spre deosebire de sistemele convenționale, unde sistemele de calcul și comunicațiile sunt adăugate proceselor fizice, cu păstrarea identității fiecăreia dintre componente, în cazul CPS se realizează un proces de înglobare a tuturor componentelor care asigură noi capacități ca: siguranță superioară în funcționare, costuri mai reduse, eficiență ridicată și capacitate de interconectare în cadrul unor structuri complexe.

O nouă abordare sistemică se impune în conceperea și realizarea CPS, care presupune considerarea particularităților energetice și dinamice ale proceselor fizice la alegerea și dimensionarea sistemelor de calcul și a comunicațiilor și tratarea ansamblului ca un sistem integrat cu performanțe superioare oricărui ansamblu de componente considerate individual. Sistemele integrate CPS reprezintă o reală schimbare de paradigmă în știință și tehnologie, prin impactul economic pe care-l pot avea, prin potențialul inovativ și prin provocările generate pentru o nouă știință a sistemelor de sisteme. Interconectarea sistemelor înglobate în arhitecturi de sisteme de conducere complexe cu multiple rețele de senzori și elemente de execuție, conduce în mod natural la o nouă clasă de sisteme de mare complexitate – „Sisteme de Sisteme”.

Tehnologiile avansate de procesare a informațiilor și de comunicații, a strategiilor avansate de conducere sunt integrate în mod natural în oricare domeniu socio-economic, cu beneficii majore pentru calitatea produselor și, implicit, pentru calitatea vieții. Conectarea sistemelor înglobate în rețele globale facilitează soluții și aplicații pentru toate cerințele existenței de zi cu zi. Integrarea lumii reale a proceselor fizice cu lumea virtuală a calculatoarelor și comunicațiilor, generează schimbări de substanță ale mediului cu care interacționăm, iar nivelul de inteligență al acestuia impune precauții suplimentare.

Noul concept CPS va fi regăsit practic în toate sectoarele de activitate, de la automobile autonome, la sisteme inteligente de transport, la clădiri inteligente și orașe inteligente, la întreprinderi inteligente, rețele inteligente de transport al energiei electrice ș.a. Viața de zi cu zi devine tot mai dependentă de asemenea sisteme.

CPS impun o nouă paradigmă de modelare ce promovează o viziune holistică asupra lumii reale, iar proiectarea acestor sisteme pentru diferite aplicații, presupune considerarea constrângerilor de timp real, securitatea și siguranța în funcționare, precizia și robustețea într-o abordare unitară a calității serviciilor și conducerii (Quality of services (QoS) and Quality of Control (QoC)). În cadrul fiecărei aplicații funcția de prelucrare a informațiilor este definită prin efectul asupra procesului fizic care, în acest caz, nu este numai un mediu, însă este o componentă a aplicației proiectate.

CPS prin concepție și dezvoltare tehnologică reprezintă o nouă provocare pentru economia bazată pe cunoaștere, iar potențialul inovativ al acestor sisteme poate contribui la soluționarea problemelor majore cu care se confruntă omenirea: reducerea continuă a resurselor energetice, reducerea resurselor de hrană și apă, schimbările climatice și îmbătrânirea populației.

Evoluția tehnologiilor informației și comunicațiilor (ICT) și integrarea acestora în lumea reală schimbă radical viața și evoluția noastră ca beneficiari și producători de sisteme de comunicație, sisteme de procesare a datelor, informațiilor și cunoștințelor tot mai inteligente și sisteme software înglobate cu autonomie ridicată.

Creșterea exponențială a performanțelor sistemelor numerice de prelucrare a informației, coroborată cu viteza și capacitatea ridicată de comunicare în cadrul unor rețele globale, stimulează inovația tehnologică, creșterea competitivității economice și, implicit, schimbări sociale.

CPS, prin însăși natura lor ca sisteme cu software înglobat ca parte a dispozitivelor, mijloacelor de transport, sistemelor de fabricație, proceselor logistice de coordonare și management etc., utilizează senzori și elemente de execuție în conexiune cu procesele fizice, evaluează și salvează datele înregistrate și interacționează activ și reactiv cu lumea fizică și digitală, sunt conectate între ele și în rețele globale și dispun de interfețe multi-modale de comunicare om-mașină.

Potențialul inovativ ridicat al sistemelor CPS va permite o schimbare de paradigma în domeniul sistemelor de fabricație și, evident, o transformare radicală a economiei digitale. Industria automobilelor este un exemplu concludent în ceea ce privește impactul CPS asupra evoluției acesteia.

Astfel, dacă prin utilizarea sistemelor înglobate s-a realizat creșterea siguranței, confortului și eficienței, în viitor, prin utilizarea CPS se vor dezvolta rețele de vehicule, care vor interacționa unul cu altul, și/sau cu dispozitive, date și servicii din afara vehiculelor. Se poate anticipa realizarea de sisteme de navigație cu autonomie ridicată în rețele complexe de transport.

Asigurarea unui sistem integrat de transport cu automatizarea tuturor operațiilor, inclusiv ale celor de sincronizare și monitorizare a transportului rutier, aerian și naval poate conduce la un salt calitativ în monitorizare, optimizare și eficientizare prin intermediul unor probleme hardware – software integrate în CPS.

CPS vor juca un rol esențial în cadrul sistemelor inteligente de transport al energiei (smart - grids). Managementul rețelei, optimizarea consumului și planificarea producției în prezența multiplelor surse de energie regenerabilă se poate realiza numai prin sisteme interconectate în cadrul cărora noua paradigmă CPS este regăsită în mod necesar.

Automatizarea complexă a sistemelor de producție presupune interconectarea diferitelor sisteme înglobate în arhitecturi de sisteme inteligente de fabricație, iar conceptul de “Întreprindere Inteligentă” devine o realitate în contextul utilizării CPS. Agricultură reprezintă de asemenea un domeniu de aplicare a CPS, cu efecte majore asupra eficienței proceselor agricole și utilizării optime a solului cu accent pe responsabilitatea ecologică. Sistemele inteligente de comunicație permit localizarea poziției, monitorizarea tehnologiilor prin rețele de senzori, pentru a determina starea curentă a terenurilor agricole și pentru a asigura suport producătorilor pentru fertilizarea optimă a câmpurilor agricole.

Integrarea rețelelor de senzori și elemente de execuție conectate la procese diverse din domeniul agriculturii și conectare prin rețele de comunicație la sisteme avansate de procesare a informațiilor și cunoștințelor conduce spre un nou tip de fermă sau întreprindere agricolă inteligentă. Agricultură de precizie impune în mod natural considerarea noului concept – CPS.

Prin aplicarea noului concept în diferite domenii socio-economice putem vorbi de schimbări de substanță ale mediului de lucru, ale condițiilor de viață și nu în ultimul rând, ale posibilităților de comunicare între membrii societății. Viitoarele aplicații ale CPS sunt mult mai transformativă decât revoluția IT din ultimele trei decenii.

CPS reprezintă un suport esențial pentru automatizarea și eficientizarea exploatarea clădirilor. Conceptul „Smart Building” și „Smart City” au ca suport inovațiile tehnologice în sistemele de măsurare, reglare și conducere, precum și în sistemele de management al serviciilor și al surselor de energie.

Cyber-Physical-Systems reprezintă în fapt interconectarea în rețele complexe a sistemelor înglobate și a Internet of Things, Data and Services.

## 2. Caracteristici ale CPS

Factorii esențiali care contribuie la dezvoltarea și extinderea sistemelor CPS în diferite domenii de activitate, sunt:

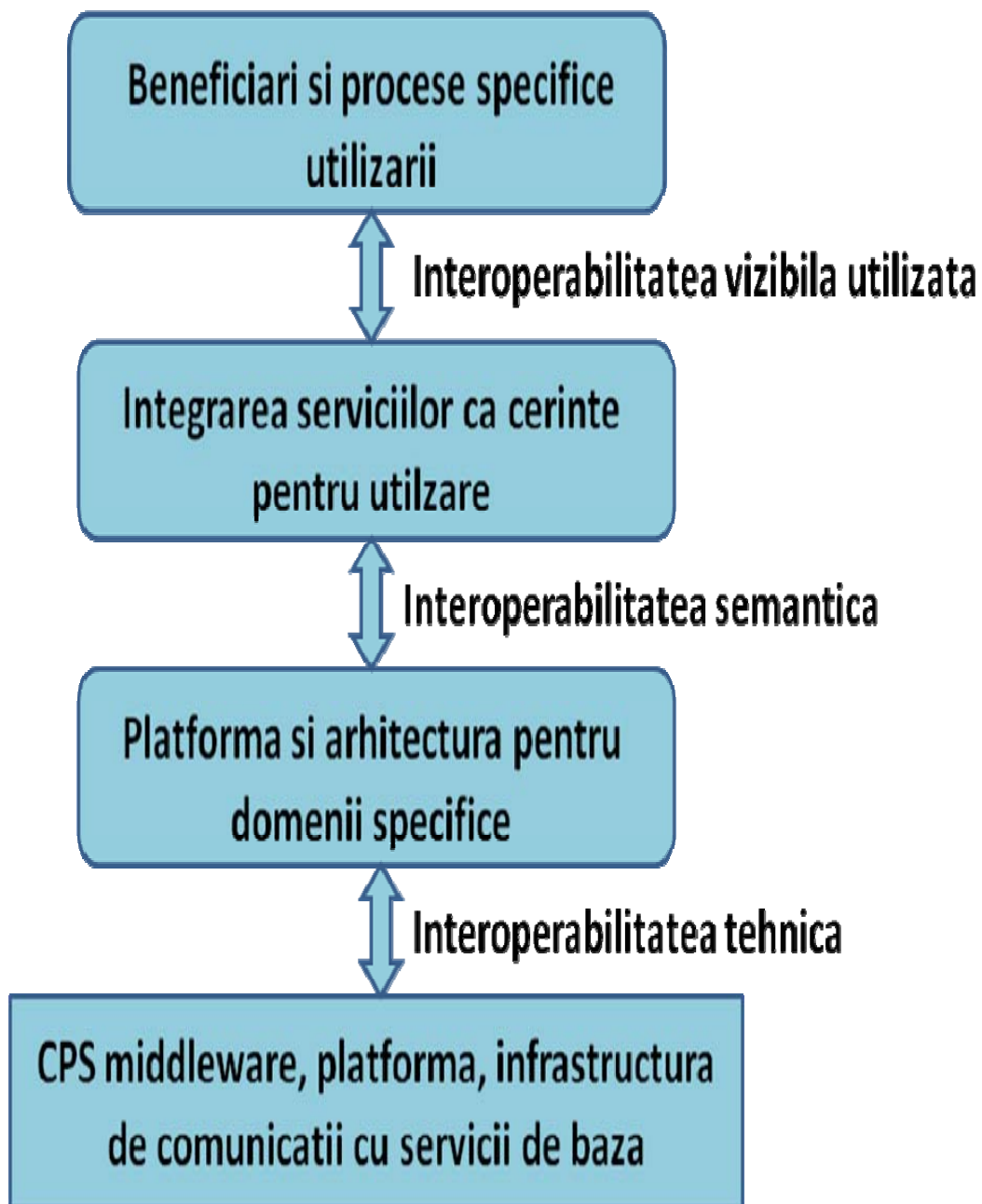
- sistemele înglobate inteligente, serviciile mobile și “ubiquitous” computing. Serviciile localizate și funcțiile de asistență existente deja în multe domenii ca industria automobilelor și aeronautica, telecomunicații, automatizări și fabricație vor fi extinse prin creșterea interacțiunilor, a cooperării prin servicii de mobilitate devenind mai versatile și complexe;
- procesele de afaceri bazate pe internet, unde obiectele “inteligente” și interconectate se adaptează flexibil la procesele de afaceri controlate software. Astfel, sistemele înglobate pot fi folosite ca servicii via Internet, care facilitează o serie de modele de afaceri bazate web;
- rețele sociale și de comunicații (web 2.0) care pot accesa cantități importante de date, informații și cunoștințe facilitează crearea de grupuri de creatori și dezvoltatori de sisteme integrate, complexe, cu largă aplicabilitate într-o economie bazată pe cunoștințe.

Potențialul inovativ al CPS, având la bază cele trei tendințe, va conduce la schimbări rapide în piețe, în sectoarele industriale și de afaceri, precum și schimbări ale modelelor de afaceri în economia ecosistemelor. Sistemele CPS integrează senzori, elemente de execuție, procese fizice (mecanice, hidraulice, termice, electrice și altele), dispozitive electronice și software într-o asemenea măsură încât ICT, ingineria software și ingineria fabricației permit realizarea de sisteme puternic interconectate, cu reale capacități emergente. Caracterul profund interdisciplinar, cooperarea în cadrul unor rețele de comunicații și clustere dedicată inovației presupune ingineria comprehensivă a sistemelor prin administrarea corporatistă a strategiilor și platformelor de cooperare în cadrul unui ecosistem economic.

CPS evoluează prin interconectarea infrastructurilor existente cu tehnologia informației, înglobate cu ajutorul Internetului, serviciilor mobile de comunicații și a soluțiilor “cloud”. Performanțele și complexitatea CPS sunt ușor de evidențiat în cazul interconectării a două sau mai multe domenii. De remarcat faptul că utilizatorul și sistemele deschise interacționează într-o manieră ad-hoc, ceea ce reprezintă o reală provocare pentru proiectarea acestor sisteme.

CPS interoperabile și compatibile, componentele și serviciile cu interfețe relevante și protocoale necesită o fixare graduală a infrastructurilor standardizate, flexibile și a platformelor de comunicații.

Între aceste straturi se asigură interoperabilitatea vizibilă la utilizator (User-visible interoperability), interoperabilitatea semantică (semantic interoperability) și interoperabilitatea tehnică (Technical interoperability).



**Figura 1. Arhitectura multistrat pentru CPS**

Pot fi stabilite platformele pentru aplicații specifice care schimbă datele prin interfețe, iar serviciile pentru accesul orientat sunt furnizate de aceste platforme. Interoperabilitatea tehnică este necesară pentru a garanta interpretarea consistentă a datelor între servicii. Stratul superior arată aplicația accesată de utilizatori. Esențial pentru interconectarea CPS este ca informațiile din diferite aplicații să fie semantic compatibile, “Interoperabilitatea semantică”, permite cuplarea și schimbul de informații între aplicații.

O analiză atentă a acestui concept „CPS” evidențiază câteva caracteristici esențiale care stau la baza dezvoltării și aplicării acestora. Astfel, CPS sunt caracterizate ca “Sisteme de Sisteme” ( S<sub>o</sub>S) ca urmare a interconectării sistemelor înglobate legate la mediul fizic prin rețele de senzori și elemente de execuție. Aceste sisteme sunt colaborative, au autonomie parțială și capacitate de adaptare, precum și o cooperare om-mașină avansată.

### 3. Perspective și tendințe în domeniul CPS

CPS contribuie la găsirea răspunsurilor la marile provocări ale acestui secol, fiind relevante pentru numeroasele industrii și câmpuri de aplicații. Au impact major atât la nivel de companii prin optimizarea consumului de energie, eficientizarea producției, reducerea emisiilor de CO<sub>2</sub> și altele, cât și la nivelul utilizatorilor prin creșterea confortului, siguranței transportului, asistenței medicale.

Pot fi identificate câteva domenii de aplicabilitate a CPS, cu relevanță semnificativă pentru dezvoltarea unei societăți durabile în prezența unor provocări majore, cum sunt: diminuarea resurselor naturale, încălzirea globală și schimbările climatice, îmbătrânirea populației, urbanizarea și creșterea mobilității, precum și reducerea resurselor de apă și alimentație a populației.

Astfel, o atenție deosebită va trebui acordată domeniilor energie, sănătate, mobilitate, agricultura și industrie, unde CPS pot juca un rol esențial pentru dezvoltarea și eficientizarea acestora.

#### Cyber-Physical-Systems for smart grids

##### a) CPS pentru rețele inteligente

Includerea în sistemele de alimentare cu energie a resurselor regenerabile, energie eoliană și energie solară presupune existența unor sisteme avansate de control a producerii, transportului și distribuției, ca urmare a dependenței de timp, de vreme și de consum în diferite sezoane și regiuni.

Producerea descentralizată a energiei și disponibilitatea volatilă a acesteia necesită un management avansat și un sistem de control cu multiple facilități pentru prognoza consumului, al disponibilității de putere, al calculului prețului energiei, al optimizării procesului de producție a energiei.

Generarea producerii și transportului sigur de energie presupune ca întreg ansamblul de procese de producție, transport și distribuție să fie astfel controlate, încât adaptabilitatea și reconfigurarea dinamică să reprezinte cerințe esențiale în cadrul unor sisteme interconectate.

Astfel, se poate atașa conceptul de sistem autonom în care producătorii, transportul și stocarea de energie, împreună cu consumatorii reprezintă o arhitectură de sistem inteligent, impunându-se implementarea conceptului “E-Energy” și “Internet of Energy”.

Dezvoltarea rețelelor inteligente (Smart Grids) va facilita implementarea unor noi funcții și servicii care să asigure stabilitatea alimentării cu energie. Pentru asemenea rețele CPS reprezintă baza tehnologică fundamentală iar dezvoltarea acestor rețele este un exemplu concludent al aplicării conceptului CPS. Extinderea utilizării resurselor regenerabile la nivel de consumator și asigurarea unor comunicații inteligente pot caracteriza o nouă revoluție industrială.

##### b) CPS pentru mobilitate în rețea

Includerea în rețea a diferitelor mijloace de transport și asigurarea unui sistem flexibil este posibilă numai prin utilizarea CPS. Acestea se aplică vehiculelor individuale și utilizatorilor de drumuri, precum și întregii infrastructuri de transport. Interconectarea în CPS crează noi căi de evitare a accidentelor cu respectarea resurselor limitate de energie și reducerea poluării mediului. În domeniul electromobilității CPS joacă un rol important prin asigurarea managementului încărcării bateriilor și un control asupra proceselor de stocare a energiei.

CPS pot asigura planificarea și coordonarea traficului prin schimbul continuu și sigur de informații privind situațiile de transport, coliziunile, încărcarea autostrăzilor, etc.

Prin intermediul unui sistem distribuit de management al traficului pot fi interconectate toate tipurile de mijloace de transport.

Este de remarcat impactul pe care-l poate avea CPS asupra sistemelor de transport prin:

- creșterea siguranței prin recunoașterea riscurilor și obstacolelor, managementul optimal al transportului și astfel evitarea șocurilor în trafic;

- creșterea gradului de confort pentru utilizatorii de șosele prin economisirea timpului și asistență inteligentă;
- îmbunătățirea echilibrului ecologic prin poluare mai redusă a mediului, ca rezultat al eficienței managementului de transport;
- reducerea emisiilor de CO<sub>2</sub> prin consumul mai redus de combustibil;
- exploatare mai eficientă a mijloacelor de transport și a infrastructurilor de transport, precum și reducerea accidentelor și evitarea ambuteiajelor, cu impact economic substanțial.

### **c) CPS în telemedicină și pentru asistare medicală**

Dezvoltarea unor sisteme inteligente pentru sănătate, va permite o mai bună interrelaționare medici-pacienți, monitorizarea sănătății, precum și asigurarea unei asistențe avansate pentru pacienții mai în vârstă. Achiziția de date medicale prin senzori corespunzători pentru prelucrare și evaluare în timp real, va face posibilă tratarea medicală individuală a pacienților cu boli cronice de lungă durată.

Cu ajutorul CPS, cetățenii în vârstă continuă să trăiască acasă, fiind sub continua supraveghere și asistați prin sisteme de telemedicină. Situațiile de urgență sunt analizate și soluționate cu mai mare precizie, ca urmare a existenței datelor furnizate și prelucrate de sisteme inteligente în colaborare cu medici și personalul medical.

Portalele CPS de sănătate pot oferi consultanță medicală extensivă și suport în tratamente mult mai consistent decât forumurile de informare.

### **d) CPS și întreprinderea viitorului**

Sistemele de producție vor fi concepute în viitor astfel încât să reacționeze virtual în timp real la schimbările pieței și ale lanțurilor de aprovizionare, apelând la CPS. Producția va fi orientată rapid spre nevoile și specificațiile individuale ale consumatorilor, va fi optimizată printr-o rețea globală de producție colaborativă, adaptivă și cu auto-organizare, aparținând diversilor operatori. Întreprinderea inteligentă și sistemele inteligente de fabricație capabile de adaptare rapidă și reconfigurare dinamică, în funcție de cerințele pieței vor reprezenta noua generație de sisteme de producție – *întreprinderea viitorului*- în cadrul cărora CPS va juca rolul esențial.

O asemenea viziune presupune noi procese robuste de producție, modele corecte ale producției, mașini stabile cu proprietăți predictibile, modele adecvate și proceduri de simulare pentru procese și mașini, securitate și siguranță în rețele și capacitate ridicată de prelucrare în timp real.

Integrarea CPS în sistemele de producție va facilita comunicarea între unitățile întreprinderii inteligente care cunosc domeniile lor de activitate, posibilitățile de configurare și condițiile de producție, în vederea optimizării proceselor de producție. Sistemele cognitive de fabricație vor facilita emergența cu auto-organizarea ca atribute importante ale sistemelor inteligente de fabricație.

### **e) CPS pentru agricultură**

Printr-o prelucrare integrată a datelor referitoare la starea culturilor, a soiurilor și a producției agricole se poate asigura exploatarea eficientă a terenurilor agricole, o tratare corespunzătoare a solului precum și o hidratare optimală a acestora prin controlul în timp real al umidității. CPS vor juca un rol esențial în asigurarea optimizării producțiilor agricole și a controlului ecologic al acestora, prin interconectarea unor rețele de sisteme inteligente de monitorizare și control al producțiilor agricole.

De asemenea, în domeniul logisticii transportului de bunuri, prin utilizarea CPS vor fi deschise noi oportunități pentru utilizarea CPS pentru aplicații cu obiecte inteligente active, asigurându-se monitorizarea în timp real a stării și localizării bunurilor transportate, cu largă deschidere pentru planificarea și optimizarea procesului de livrare a produselor agricole și alimentare.

## 4. Provocări ale CPS pentru știință și tehnologie

Extinderea rețelelor de senzori și elemente de execuție, integrarea acestora în rețele complexe de prelucrare și transmitere a informațiilor și cunoștințelor în strânsă interacțiune cu procesele fizice, facilitează crearea noilor generații de sisteme inteligente cu autonomie ridicată în medii supuse schimbărilor stocastice.

Procesele fizice cuplate strâns cu elemente de prelucrare a informațiilor și cunoștințelor, cu includerea adesea în buclă a operatorului uman se constituie ca sisteme cu inteligență încorporată, cunoscute deja ca Cyber-Physical-Systems.

Viața de zi cu zi devine tot mai dependentă de asemenea sisteme, iar capacitatea de adaptare la asemenea sisteme inteligente se impune a fi continuu îmbunătățită prin educație și antrenare. Tendința de creștere a inteligenței computaționale, a gradului de automatizare și control a unor procese sau activități complexe dar bine definite, impune regândirea rolului operatorului uman și formarea pentru noi abilități și acțiuni.

Viitoarele aplicații ale CPS sunt mult mai transformativă decât revoluția IT din ultimile trei decade. Noile generații de CPS vor fi capabile să execute activități complexe, care încă nu sunt de imaginat la nivelul cunoașterii actuale. Integrarea inteligenței umane cu sisteme avansate de prelucrare și lumea fizică și medii dinamice reprezintă o reală provocare multidisciplinară pentru inginerie. Infrastructurile complexe integrate la multiple scale spațio-temporale, multi-domeniale și multistrat vor impune dezvoltarea unor noi fundamente în știința sistemelor și inginerie, elaborarea unei teorii a “sistemelor de sisteme” în care eterogenitatea, compozabilitatea și emergența sunt caracteristici definitorii.

Dezvoltarea și utilizarea CPS va genera oportunități unice pentru creșterea economică prin inovare, pentru crearea de locuri de muncă pe termen lung și pentru îmbunătățirea calității vieții.

Principalele provocări științifice și tehnice generate de CPS au în vedere: eterogenitatea componentelor și complexitatea care necesită noi modele și limbaje de reprezentare care să permită interoperabilitate și compoziționalitate, interacțiunea agenților naturali (operatori umani) cu agenți hardware și software inteligenți; incertitudinile în sisteme complexe introduse de procesele fizice și rețelele de comunicație respectiv, pachetele software complexe; sistemele de verificare și măsurare a performanțelor, cu elaborarea unor metrici care să includă complexitatea, adaptabilitatea, securitatea, siguranța, reziliența și fabricabilitatea.

Știința și ingineria CPS sunt interdisciplinare în natură, necesitând expertiză în știința calculatoarelor, matematică, statistică, inginerie și în întreg spectrul științelor fizice cu extindere chiar în arte, etică și psihologie.

Complexitatea sistemelor nou create, eterogenitatea, distribuția în spațiu și timp a entităților micro și macro interconectate în rețele de comunicație impune o nouă viziune sistemică asupra arhitecturilor complexe CPS.

Managementul acestor noi sisteme complexe necesită un nou suport teoretic care facilitează integrarea modelelor clasice din ingineria mecanică, electrică, termică etc. cu modele digitale din știința calculatoarelor și modele spațio-temporale din domeniul comunicațiilor.

Modelele abstracte pentru procesarea informațiilor și cunoștințelor create de experți în domeniul calculatoarelor trebuie să fie integrate cu modele din lumea fizică, cu considerarea timpului și spațiului, precum și a aspectelor energetice. Cerințele sistemelor înglobate închise, ca reacțiile în timp-real și funcționarea sigură și toleranța totală la defecte, trebuie combinate cu proprietățile și restricțiile sistemelor deschise, ca disponibilitate restrictivă, expandabilitate și reconfigurare dinamică.

CPS pot fi dezvoltate eficient cu ajutorul unor modele și metode de proiectare pentru sistemele interconectate. Aceste sisteme complexe includ noi funcționalități ca: adaptabilitatea sistemelor, învățarea funcțiilor, auto-organizarea și emergența acestora.

Dezvoltarea suportului formal calitativ și cantitativ pentru analiza și sinteza acestor sisteme



impune o abordare interdisciplinară și o conectare a diferitelor ramuri ale științei.

O strânsă colaborare între inginerie și știința calculatoarelor cu alte discipline, ca științele cognitive și managementul afacerilor se impune a fi realizată în vederea conceperii și dezvoltării sistemelor CPS.

O abordare sistemică care să permită managementul principalelor probleme legate de cerințele de proiectare cu luarea în considerație a interfețelor, interoperabilității, a standardelor, a modelelor și instrumentelor specifice domeniilor incluse în arhitectura CPS, se impune în faza de elaborare și dezvoltare funcțională a acestor sisteme.

Proiectarea arhitecturală a CPS include problemele topologiei rețelelor de comunicare, arhitecturi de referință deschise și modulare. De o importanță deosebită sunt problemele legate de siguranță, securitate, mentenanță, urgență și altele.

Problematica implementării tehnice, cu luarea în considerare a rețelelor de senzori și elemente de execuție, alimentarea cu energie a rețelelor de comunicare prin fir sau/și radio, reprezintă de asemenea o provocare pentru inginerii de sistem. Managementul dezvoltării și ingineria CPS necesită modele și metode integrate pentru componentele fizice, electronice și software și o abordare distribuită cu considerarea proceselor și metodelor specifice diferitelor domenii implicate în arhitectura CPS.

Aceste sisteme aplicate în diferite domenii presupun interconectarea ușoară și rapidă, ceea ce impune interoperabilitatea pe toate nivelurile de abstractizare, nivel tehnic (protocoale, compatibilitate electronică și electromecanică,) nivel arhitectural (cuplarea diverselor componente, proiectarea logică) și, în special, la nivel funcțional. Interoperabilitatea sistemelor deschise la nivel funcțional și semantic necesită tehnici de “raționament automat”, “reprezentarea cunoștințelor”, “semantic web” și “interpretare semantică a datelor și sarcinilor”. Acesta este încă un argument în a asocia sistemelor CPS atributul de autonomie parțială sau totală asigurată prin încorporarea unor funcții cognitive în arhitectura funcțională a CPS. Se poate considera că noua generație de sisteme CPS pot fi ICPS (Intelligent Cyber-Physical-Systems).

Virtualitatea CPS arată că funcțiile acestora în multe sectoare sunt independente de lumea fizică-materială, locații și dispozitive, detașate de restricții fizice, creând astfel o imagine a realității. Conectarea celor două lumi “reală” și “virtuală” reprezintă o provocare reală pentru inginerie, cu observația că lumea fizică (reală) este factorul determinant în dezvoltarea CPS.

CPS suportă și accelerează economia prin conectarea flexibilă a entităților de dezvoltare și producție în structuri de companii cu servicii globale, prin crearea unor noi modele de afaceri care impun noi platforme și standarde create prin CPS. Platformele de schimb create prin CPS permit companiilor și utilizatorilor de produse să se găsească și să comunice ușor în cadrul unei piețe create într-o piață corporatistă competitivă.

Impactul social al dezvoltării și implementării acestui concept CPS este legat pe de o parte de credibilitatea și eficiența acestora asupra activității zilnice a cetățenilor, iar pe de altă parte de capacitatea de înțelegere și de a accepta rolul unor decidenți autonomi în existența lor. În esență, apare în mod firesc problema compatibilității sau altfel spus, compatibilitatea cetățenilor sau a grupurilor sociale de cetățeni cu mediul care devine progresiv inteligent.

În acest context, apare necesitatea unui discurs care să promoveze aceste sisteme, în vederea creșterii gradului de acceptanță a acestora de către utilizatori. Creșterea inteligenței obiectelor fizice, crearea și implementarea agenților inteligenți impun o nouă viziune asupra colaborării agenților inteligenți naturali cu cei artificiali în cadrul unor societăți de agenți colaborativi.

O nouă știință a proiectării CPS va permite să concepem și să realizăm noi mașini cu dinamică complexă și maximă siguranță în funcționare, să aplicăm principiile CPS noilor industrii și aplicațiilor în mod eficient și sigur. Această nouă știință care integrează științele fizicii și ale informaticii impune o nouă viziune asupra formării viitoarelor generații de ingineri, o nouă viziune asupra sistemelor de producție.

## 5. Direcții de cercetare și dezvoltare tehnologică

Dezvoltarea și extinderea CPS presupune fundamentarea științifică și tehnologică a sistemelor dinamice complexe eterogene, în care lumea fizică și cea computațională se integrează funcțional, arhitectural și tehnologic. O nouă știință a CPS va permite conceperea și proiectarea de sisteme mai eficiente prin utilizarea și integrarea cunoștințelor abstracte cu instrumente și tehnologii concrete. Noua știință va integra concepte fundamentale din domeniul calculatoarelor și ingineriei și va injecta idei noi în fiecare din aceste domenii.

Crearea fundamentelor științifice și tehnologice ale CPS poate fi ghidată de câteva direcții de acțiune cum ar fi:

- în procesul de proiectare a CPS abstractizările computaționale trebuie să includă concepte fizice ca timpul și energia. Abstractizările dezvoltate pentru descrierea dinamicii proceselor fizice trebuie extinse pentru includerea incertitudinilor la implementarea platformelor determinate de întârzierile aleatoare care apar în rețelele de comunicație, lungimea finită a cuvintelor, pierderea de informații și erorile de rotunjire;
- pentru descrierea diferitelor procese fizice și logice se impune dezvoltarea fundamentelor semantice pentru compunerea de modele eterogene și limbaje de modelare. Se cere crearea unor formalisme matematice care să facă semanticile nu numai precise matematic ci și explicite, inteligibile pentru dezvoltatorii de sisteme;
- pentru a considera atât proprietățile fizice cât și computaționale ale sistemelor nou create trebuie o nouă înțelegere a compoziționalității în mediul eterogen. Se impune dezvoltarea unor tehnologii pentru realizarea predictibilității sistemelor cu proprietăți compoziționale parțiale:
  - fundamente științifice și tehnologice bazate pe modele, precizie și predictibilitate vor transforma integrarea sistemelor dintr-o practică inginerescă de risc înalt într-o disciplină inginerescă fundamentată științific;
  - se impune dezvoltarea de teorii și metode pentru certificarea compozițională a CPS. Dezvoltarea unor sisteme complexe CPS și certificarea lor presupune reutilizarea certificării componentelor. Astfel, pot fi create și dezvoltate arhitecturi și instrumente care să permită crearea și dezvoltarea de sisteme CPS sigure, din componente nesigure;
  - verificarea, certificarea și validarea sistemelor complexe CPS necesită conceperea și dezvoltarea unor platforme și sisteme software complexe, capabile să valideze robustețea CPS în prezența incertitudinilor și rezistența la atacuri cibernetice și tehnice.

Extinderea aplicațiilor conceptului CPS presupune stabilirea unui program strategic care să vizeze, pe de o parte crearea suportului științific strategic și tehnologic pentru dezvoltarea de CPS robuste, eficient predictibile cu un potențial ridicat de inovare, iar pe de altă parte, crearea suportului de accept necesar pentru implementarea acestor sisteme în toate sectoarele socio-economice, cu impact major asupra cetățenilor și asupra societății în ansamblu.

Printre direcțiile de acțiune identificate, notăm:

- extinderea rețelelor de senzori și elemente de execuție care să asigure accesul la Internet mobil și rute de acces la infrastructura de comunicații inteligente;
- crearea de arhitecturi de sisteme cuprinzătoare și interoperabilitatea arhitecturilor de aplicații specifice prin dezvoltarea de standarde relevante inter-domenii, cu luarea în considerare a aspectelor de siguranță și securitate tehnologică;
- acceptanța durabilă a CPS cu considerarea factorilor umani, presupune realizarea unor sisteme de interacțiune om-mașină evaluate care să faciliteze comunicarea și înțelegerea soluțiilor și a implicațiilor dezvoltării mediilor inteligente;

- considerarea mediului economic la formularea și dezvoltarea de proiecte de CPS cu concentrare pe dezvoltarea de modele de afaceri pentru noi produse și servicii, dezvoltarea de software corporatist pentru CPS și altele;
- extinderea CPS în producție și dezvoltarea conceptului de întreprindere inteligentă prin utilizarea de metode inovative și crearea de noi procese de producție robuste, rapide și eficiente, crearea de mașini stabile cu proprietăți predictibile și comportare adaptivă în mediu incert, dezvoltarea de modele și proceduri de simulare pentru procese și mașini, inclusiv modele hibride și arhitecturi pentru proiectarea durabilă a producției;
- crearea de modele de afaceri inteligente, cu luarea în considerație a managementului cunoștințelor, a managementului organizațional și a managementului de risc într-o viziune strategică de dezvoltare a întreprinderii viitorului care integrează CPS;
- extinderea programelor de cercetare pentru modelarea interdisciplinară a sistemelor hibride cu luarea în considerare a proprietăților fizice și a abstractizărilor computaționale incluse în CPS;
- regândirea întregului sistem de educație atât pentru pregătirea populației pentru acceptanță durabilă a CPS în toate sectoarele socio-economice, cât și pentru formarea viitorilor experți pentru cercetare, dezvoltare tehnologică, aplicare și exploatare a platformelor complexe CPS. Pregătirea fundamentală, interdisciplinitatea și complexitatea sunt elemente prioritare în formarea experților în domeniul CPS;
- potențialul deosebit al CPS pentru inovare și competitivitate atât la nivelul companiilor, cât și la nivel național și global presupune o atenție deosebită din partea factorilor decizionali și, în consecință, necesitatea elaborării unui program strategic pentru conceperea, dezvoltarea și implementarea conceptului CPS, în cel puțin cinci mari domenii ca: energie, transport, sănătate, agricultură și producție de bunuri materiale.

## 6. Concluzii

Noul concept CPS pătrunde rapid și sigur în toate sectoarele socio-economice, având un impact major asupra calității vieții. Provocările pentru știință și tehnologie, coroborate cu efectul major asupra evoluției tuturor sectoarelor industriale, impun o atenție deosebită atât din partea creatorilor de CPS, dar și din partea beneficiarilor.

Se prefigurează o nouă societate în care partea virtuală și cea reală colaborează intens, iar agenții inteligenți, împreună cu operatorii umani se constituie într-o lume puternic integrată în realitate. Se impune o pregătire avansată pentru această nouă societate, în care inteligența ambientală impune un nivel ridicat de cunoaștere și reală capacitate de adaptare.

## BIBLIOGRAFIE

1. **SONG HAN:** Architecture of a Cyberphysical Avatar.
2. **ALAYSIUS K. MOK, ș.a.:** The proceedings of 4<sup>th</sup> ACM/IEEE International Conference on Cyber-Physical-Systems - 2013.
3. \*\*\* The acatech STUDY agenda CPS – Integrated Research Agenda for Cyber-Physical-Systems -2012.
4. \*\*\* Cyber-Physical-Systems (CPS) – Program Solicitation NSF 12-520.
5. **DUMITRACHE, I.:** Cyber-Physical-Systems – New Challenges for Science and Technology – The preprint of the first International Workshop on Cyber-Physical-Systems – 2012.

6. **DUMITRACHE, I.:** Some challenges for the Cyber-Physical-Energy.
7. **CONSTANTIN, N.:** Systems” – The Proceedings of ICPS 13 – IFAC.
8. **STOICA, O.:** Workshop – pp. 3-8.
9. [http://events.energetics.com/NIST-CPS Workshop/downloads.html](http://events.energetics.com/NIST-CPS%20Workshop/downloads.html).
10. [http://www.acatech.de/acatech-POSITION\\_CPS\\_E](http://www.acatech.de/acatech-POSITION_CPS_E)