

PLATFORME IOT – SOLUȚII ACTUALE ȘI TENDINȚE DE EVOLUȚIE

**Gabriel
NEAGU**

gneagu@ici.ro

**Mihnea Horia
VREJOIU**

mihnea@dossvl.ici.ro

**Ștefan Alexandru
PREDA**

stefanalex@ici.ro

**Alexandru
STANCIU**

alex@ici.ro

Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Informatică - ICI București

Rezumat: Internetul obiectelor/lucrurilor (Internet of Things – IoT) a devenit una din paradigmele definitorii ale lumii de azi, element de transformare revoluționară, cantitativă și calitativă, a cunoașterii și interacțiunii noastre cu mediul în care trăim și lucrăm zi de zi. În ultimii ani, au fost dezvoltate numeroase soluții de interconectare a obiectelor inteligente în sisteme cu diferite scale și obiective. Vorbim deja despre orașe inteligente, case inteligente, monitorizare digitală a sănătății, a unor procese industriale sau a poluării mediului etc. Lucrarea de față prezintă o trecere în revistă și o analiză a ofertei existente de platforme IoT, precum și a tendințelor de evoluție în domeniul acestora. Au fost studiate câteva soluții IoT relevante, selectate pe baza rapoartelor și punctelor de vedere publicate în literatura de specialitate și pe site-urile unor companii de consultanță sau publicații specializate. Au fost identificate și selectate criteriile de evaluare comparativă a platformelor IoT hardware și software. Au fost analizate și sunt prezentate de asemenea câteva perspective de evoluție a platformelor IoT pe termen scurt și mediu, atât în contextul dezvoltării tehnologiilor specifice, cât și sub presiunea cerințelor comunităților ecosistemelor IoT.

Cuvinte cheie: platformă IoT, piață IoT, ecosistem IoT, cloud, PaaS, SaaS, protocol de comunicație, API de tip REST, confidențialitate și securitate a datelor.

Abstract: The Internet of Things (IoT) became one of the defining paradigms of today's world, element of revolutionary, quantitative and qualitative transformation of our cognition and interaction with the environment in which we are living and working day by day. In recent years, many solutions to interconnect intelligent objects in systems with various scales and objectives have been developed. We are already talking about smart cities, smart homes, digital health, various industrial processes or environment pollution monitoring etc. This paper presents a review and an analysis of the existing offer of IoT platforms, as well as evolution trends in their field. Several relevant IoT solutions have been studied, selected on the basis of reports and reviews published in specialized literature or on web sites of some specialized consulting companies or publications. Comparative evaluation criteria for IoT hardware and software platforms have been identified and selected. Also, some trends and perspectives on the short and medium term evolution of IoT platforms have been analyzed and are presented, both in the context of the developments of specific technologies and under the pressure of the requirements of the IoT ecosystems communities.

Keywords: IoT ecosystem, IoT platform, IoT marketplace, cloud, PaaS, SaaS, communication protocol, REST API, data confidentiality and security.

1. Introducere

Sintagma „Internet of Things” – IoT (“Internetul obiectelor/lucrurilor”) denumește o rețea de obiecte fizice „inteligente” (smart objects) interconectate, care au încorporată tehnologia necesară pentru a fi capabile de a sesiza și comunica date despre starea lor internă, precum și de a interacționa cu aceasta și cu mediul extern. Explozia IoT actuală are potențialul de a schimba substanțial activitatea industrială, mediul și modul în care oamenii vor lucra și trăi [1]. Se apreciază că până în anul 2020 numărul diverselor obiecte inteligente interconectate va tinde spre circa 200 de miliarde, de la tablete, telefoane, televizoare și alte obiecte electrocasnice inteligente, la dispozitive capabile să monitorizeze și să transmită parametrii de sănătate și mobilitate a oamenilor sau animalelor, de calitate a apei sau aerului, sau la

dispozitive și elemente de monitorizare și control al parametrilor unor echipamente industriale complexe sau al produselor aflate în containere pentru livrare etc. [2]. Prioritatea care se acordă domeniului în ultima perioadă este motivată de acest potențial impresionant de utilizare practică a soluțiilor dezvoltate conform acestui concept.

Schimbarea de viziune pe care o aduce IoT constă în:

- extinderea diversității acestor obiecte prin standardizarea soluțiilor de comunicare și interacțiune;
- valorificarea datelor privind evoluția stării acestor obiecte,
 - prin achiziția, transmiterea și stocarea lor în infrastructuri dedicate, centralizate sau de tip cloud, precum și

- prin analiza avansată a acestora, utilizând servicii specializate, pentru a extrage, sintetiza și utiliza informația relevantă.

În ultimii ani, au fost dezvoltate numeroase soluții de interconectare a obiectelor inteligente în sisteme cu diferite scale și obiective. Se vorbește deja despre orașe inteligente (smart cities), case inteligente (smart homes), monitorizare digitală a sănătății (digital health), a unor procese industriale sau a poluării mediului etc.

Conform [3], principalele funcționalități oferite de sistemele IoT pot fi grupate în 5 categorii, astfel:

- culegerea și pregătirea datelor;
- conectivitate, protocoale de comunicații;
- servicii de monitorizare, control și descoperire dispozitive;
- autentificare, autorizare, controlul integrității și securitatea datelor;
- analiza și procesarea datelor, asigurarea interfeței utilizator pentru acces la funcțiile sistemului.

Principalele tehnologii implicate, care stau la baza dezvoltării soluțiilor IoT, sunt: rețelele de senzori wireless, cloud computing, big data analytics, protocoale de comunicație, dispozitive cu microprocesor încorporat.

Se estimează că următorii ani vor însemna o perioadă de avânt spectaculos pentru sistemele IoT, ale căror complexitate și potențiale utilizări vor crește semnificativ. În Strategia Națională de Cercetare-Inovare 2014-2020 [4], IoT este vizat în 3 din cele 4 sub-domenii prioritare de dezvoltare a TIC ca domeniu de specializare inteligentă: în primul rând în „Internetul viitorului”, dar și în „Analiza și securitatea datelor de mari dimensiuni” și „Calculul de înaltă performanță și noi modele computaționale”. La nivel european, în cadrul Programului de cercetare-inovare „Orizont 2020”, finanțat de Comisia Europeană, IoT este tratat ca domeniu de interes major (focus area), obiectivul fiind asigurarea dezvoltării durabile, pe termen lung, a acestui domeniu [5]. Pentru perioada 2016-2017, abordarea este bazată pe trei componente: proiecte de scară largă, activități suport orizontale, integrare și platforme IoT.

O platformă IoT implementează funcționalitățile și tehnologiile menționate mai sus, având rolul de a susține accelerarea valorificării avantajelor unei soluții IoT pentru organizațiile beneficiare (întreprinderi industriale, unități medicale, unități din domeniul transportului și distribuției de energie etc.). Aceste avantaje constau în faptul că utilizatorul se poate concentra pe conectarea echipamentelor, pe selectarea opțiunilor de care are nevoie (accesul la infrastructura de stocare și regăsire date, selectarea serviciilor de procesare, vizualizare și analiză a datelor) și pe utilizarea efectivă a rezultatelor furnizate de platformă. În același timp însă, acesta trebuie să clarifice modul de integrare a soluției în activitatea proprie și să fie conștient de costurile de exploatare a soluției IoT și a serviciilor de consultanță pe care aceasta le necesită.

Există astăzi o abundență de soluții de platforme IoT (compuse din infrastructură și middleware), care oferă conectivitate la Internet pentru senzori și elemente de acționare (actuators), permițând utilizatorilor finali să interacționeze cu obiectele inteligente dotate cu astfel de senzori și/sau elemente de acționare. Particularitățile și nivelurile tehnologice pe care se bazează, dar și măsura în care aceste platforme sunt capabile să satisfacă cerințele și așteptările diferiților actori din ecosistemul IoT (furnizori de dispozitive, dezvoltatori de aplicații, utilizatori finali etc.), pot constitui atât criterii de evaluare / comparare a lor, cât și elemente pe baza cărora se pot estima și direcțiile de evoluție ale acestora.

Având în vedere toate acestea, în contextul activităților de cercetare derulate de colectivul nostru, lucrarea de față prezintă oferta de platforme IoT existente, criterii de evaluare și tendințe de evoluție a acestora în perioada următoare.

În continuare, lucrarea este structurată după cum urmează: Secțiunea 2 enumeră și descrie sintetic câteva dintre cele mai reprezentative platforme IoT actuale. În secțiunea 3 sunt trecute în revistă seturi de criterii de evaluare pentru analiza platformelor IoT, inclusiv pentru cazul particular al platformelor orientate software. Secțiunea 4 prezintă o serie de estimări privind evoluțiile viitoare ale platformelor IoT, determinate atât de evoluțiile tehnologice în domeniu, cât și de necesitățile și cerințele comunității IoT. În

secțiunea finală a lucrării sunt formulate câteva concluzii.

2. Oferta actuală

Lucrarea [6] prezintă un clasament al primelor 10 platforme IoT, care se disting prin facilitățile oferite pentru dezvoltarea de soluții orientate IoT și pe care le trecem sumar în revistă în cele ce urmează.

1. **Amazon Web Services (AWS) IoT** (<https://aws.amazon.com/iot/>) furnizează ca principale facilități: conectarea facilă a senzorilor pentru o mare varietate de aplicații, pe baza unui kit de dezvoltare software (SDK) pentru dispozitivele suportate, monitorizarea stării dispozitivelor IoT, poartă de acces (gateway) securizată, motor bazat pe reguli pentru evaluarea mesajelor de date recepționate. Există parteneriate cu firme producătoare de dispozitive și echipamente IoT (Intel, Texas Instruments, Broadcom, Qualcomm) pentru crearea de kit-uri compatibile cu platformele acestora.

2. **Microsoft Azure IoT suite** (<https://azure.microsoft.com/en-us/suites/iot-suite/>) include următoarele facilități: monitorizarea stării dispozitivelor IoT, motor bazat pe reguli pentru validare mesaje de intrare, registru de identități, analiză avansată în timp real a unor fluxuri masive de date prin Azure Stream Analytics.

3. **ThingWorx** (<https://www.thingworx.com/>) este considerat soluție IoT leader pentru domeniul industrial, cu următoarele facilități: simplitate în conectarea dispozitivelor la platformă, decuplarea dezvoltării aplicațiilor de întreprindere de detaliile tehnice specifice IoT, partajarea resurselor platformei între dezvoltatori pentru reutilizare și creștere a productivității, soluții de învățare automată pentru Big Data Analytics, versiuni diferite de distribuție (bazate pe cloud, integrate în sisteme de întreprindere, autonome).

4. **IBM Watson IoT** (<http://www.ibm.com/internet-of-things/>) este o platformă bazată pe cloud PaaS Bluemix pentru dezvoltarea facilă de aplicații, care furnizează: managementul dispozitivelor, comunicații sigure, administrarea schimburilor de date în timp real, capacitate de stocare / memorare date.

5. **Cisco IoT Cloud Connect** (<http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/service->

<http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/service-provider/iot-cloud-connect/index.html>) este orientată spre operatori de comunicații mobile și oferă conectivitate de date și de voce, management al ciclului de viață al SIM, controlul sesiunilor de comunicații IP, facturare și raportare.

6. **Salesforce IoT Cloud** (<http://www.salesforce.com/iot-cloud/>) este centrată pe client, pentru care oferă generare de oferte de vânzare, generare de comenzi de service, notificare automată a clienților, analiză a stocurilor disponibile.

7. **Carriots** (<https://www.carriots.com/>) este o platformă PaaS de dezvoltare și găzduire de aplicații IoT, precum și pentru dezvoltare de soluții M2M (Machine to Machine). Oferă facilități de management dispozitive, SDK pentru aplicații, API pentru managementul cheilor de securitate, export date către alte aplicații, managementul utilizatorilor, un tablou de control pentru utilizatori.

8. **Oracle Integrated Cloud IoT** (<https://cloud.oracle.com/iot>) oferă analiză în timp real a datelor IoT, virtualizare dispozitive, managementul punctelor de colectare date, mesagerie de viteză mare, notificarea utilizatorilor cu privire la dispozitivele lor.

9. **General Electric's Predix** (<https://www.ge.com/digital/predix>) este o platformă PaaS pentru suport decizional în timp real, prin dezvoltare de aplicații IoT în sectoare prioritare (sănătate, transporturi, aviație, energie). Predix Machine este destinat nivelului de comunicații între senzori, controlere, platforma cloud și soluțiile de Analytics. Firma colaborează cu Intel, Verizon și Cisco pentru producerea de senzori compatibili Predix.

10. **Kaa** (<http://www.kaaproject.org/>) este o soluție open source destinată să scurteze procesul și să reducă costurile de dezvoltare a soluțiilor IoT. Poate fi utilizată și ca platformă de găzduire pentru o varietate de aplicații IoT. Poate administra un număr foarte mare de dispozitive. Este disponibilă la adresa <http://www.kaaproject.org/download-kaa/>.

Totodată, publicația Computerworld a grupului IDG a prezentat, în februarie 2016, un clasament al primelor șapte platforme IoT pentru mediul de afaceri [7]: **AWS IoT, Microsoft Azure IoT, IBM Watson, Cisco IoT Cloud Connect, Salesforce IoT Cloud, Oracle IoT Cloud Platform, General**

Electric Predix

Într-un alt context, al unei analize a complementarității dintre tehnologiile cloud computing și IoT, lucrarea [8] propune următoarea selecție de platforme IoT, considerate reprezentative pentru integrarea celor două tehnologii: **IoTCloud, OpenIoT, IoT Toolkit, NimBits, openPicus, Xively, Open.Sen.se, ThingSpeak, CloudPlugs, Carriots, NetLab, Intel IoT Analytics, Synapse IoT Cloud, ClouT**. Cu două excepții (openPicus și Synapse IoT Cloud) toate aceste platforme suportă dispozitive de tip „open” pe lângă cele proprietare. Platformele IoTCloud, OpenIoT, IoT Toolkit, NimBits, NetLab, Intel IoT Analytics sunt open source, iar marea majoritate sunt distribuite gratuit (free license). Toate aceste platforme suportă cloud privat, iar OpenIoT, Synapse IoT Cloud și ClouT suportă și cloud public.

În Figura 1 sunt redată arhitectura și legăturile funcționale și de interacțiune pentru (a) o platformă IoT distribuită în cloud și (b) una centralizată / locală (conform [9]).

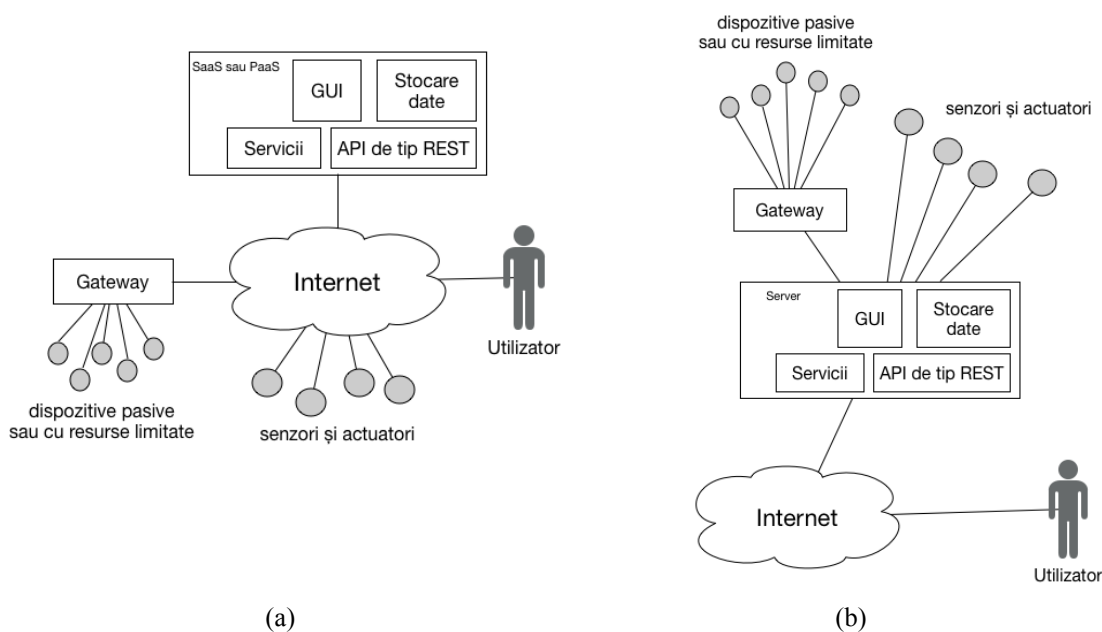


Figura 1. Interacțiunea dintre utilizator, dispozitive inteligente și platforma IoT, în arhitectură (a) de tip cloud și, respectiv, (b) centralizată, (adaptare după [9])

3. Criterii de evaluare

Ca exemplu de bune practici, în [9] sunt prezentate rezultatele analizei efectuate de către specialiști de la universitățile din Helsinki, Oulu și Jyväskylä pe o ofertă de 39

de platforme IoT disponibile, în contextul elaborării programului național IoT din Finlanda [10]. Au fost avute în vedere următoarele criterii de evaluare:

a) **Tipurile de dispozitive suportate de platformă:** platformele care necesită o poartă de acces (gateway) proprietară pentru conectarea dispozitivelor IoT sunt dependente de furnizorii platformelor respective pentru a adopta noi protocoale și a extinde varietatea și numărul de dispozitive IoT eterogene.

b) **Tipul platformei IoT:** în cele mai multe cazuri platformele sunt furnizate dintr-un cloud, fie ca Platform as a Service (PaaS), fie ca Software as a Service (SaaS). În cazul PaaS, platformele furnizează servicii de cloud computing pentru dispozitive IoT și date (de ex. de stocare, management dispozitive, conectivitate dispozitive, mecanisme de backup sau suport online), în timp ce, în cazul SaaS, accentul este pus pe interconectarea surselor de date utilizând capacitățile cloud computing.

c) **Tipul arhitecturii:** arhitecturile de tip centralizat sunt specifice soluțiilor independente, în timp ce cele de tip descentralizat includ mai multe subrețele de senzori și dispozitive de acționare, fiecare

controlată independent (de ex. acestea sunt denumite „site-uri” în cazul LinkSmart sau „hub-uri” în cazul OpenIoT).

Corelația între caracteristicile b) și c) este importantă pentru acoperirea unei mari diversități de cerințe de implementare. Astfel, o soluție de tip PaaS cu arhitectură descentralizată este adecvată pentru un sistem IoT la nivel de locuință, în timp ce o soluție centralizată bazată pe cloud este recomandabilă în cazul unor rețele de mari dimensiuni de senzori și elemente de acționare.

d) **Gradul de deschidere:** platformele open source sunt considerate mai de perspectivă decât alternativele proprietare deoarece permit o mai rapidă integrare a noilor soluții IoT pentru diverse domenii de aplicație și totodată s-a constatat că utilizarea de soluții open source accelerează adoptarea unei tehnologii software în manieră bottom-up. Totodată, s-a observat că soluțiile open source generează efecte economice benefice mai mari pentru domeniile aplicative în care sunt utilizate decât platformele proprietare.

e) **Disponibilitatea unui API de tip REST (REpresentational State Transfer):** sunt puține platformele care nu oferă un API de tip REST, ceea ce demonstrează că serviciile IoT actuale vor tinde să fie similare cu serviciile web tradiționale (Web of Things). În particular, mixarea serviciilor IoT și Data Analytics va reprezenta o orientare cheie de integrare pentru viitoarele tehnologii IoT.

f) **Controlul accesului la date:** este un criteriu relevant pentru platformele care nu arhivează datele local și implementează diverse niveluri de control al accesului la distanță. Există mai multe niveluri de granularitate privind controlul accesului, pornind de la accesul de tip privat / public, până la un control mai nuanțat al accesului atunci când datele pot fi private, protejate, publice sau anonime. Acest din urmă caz conferă flexibilitatea necesară pentru maximizarea reutilizării datelor de către servicii la distanță ale unor terțe părți.

g) **Mecanismele de descoperire a serviciilor:** sunt puțin răspândite la nivelul platformelor IoT actuale și se referă în principal la protocoale de descoperire pentru comunicații M2M cu restricții.

h) **Securitatea și confidențialitatea:** implementarea unor asemenea mecanisme

reprezintă un criteriu fundamental de evaluare pentru platformele IoT. Platformele IoT bazate pe cloud sunt predispușe la atacuri de securitate web și de rețea tradiționale, ca de exemplu: refuzul serviciului (denial of service – DoS), man-in-the-middle, eavesdropping, spoofing și controlling. Pentru asigurarea securității și confidențialității, atât în scenarii centralizate cât și distribuite, sunt necesare protocoale de nivel scăzut (low level). Pentru asigurarea securității în cazul unor configurații extinse de dispozitive imbricate trebuie avută în vedere depășirea limitărilor unor astfel de dispozitive (de ex. memoria, puterea de procesare, comunicația, timpii de răspuns, consumul de energie).

Platformele IoT de tip software prezintă interes pentru accentul pus pe componentele de administrare, analiză avansată și vizualizare a datelor. Datorită complexității acestor componente, oferta de platforme software este mult mai restrânsă decât cea a platformelor hardware, care pun accentul pe infrastructura tehnică de colectare și transmisie a datelor. Pentru evaluarea acestei clase de platforme IoT, în [11] au fost selectate ca reprezentative următoarele criterii:

a) **Administrarea dispozitivelor:** platforma IoT trebuie să administreze o listă cu dispozitivele conectate la aceasta și să urmărească starea lor operațională. Totodată, aceasta trebuie să poată asigura configurarea și actualizarea software-ului pe dispozitive și, de asemenea, să ofere acestora modalități de raportare și rezolvare a erorilor. Astfel, utilizatorii vor avea posibilitatea să obțină prin intermediul platformei statistici individuale pentru fiecare dispozitiv.

b) **Suportul pentru integrare:** interfața de programare (API) trebuie să furnizeze acces la operațiile și datele importante ce necesită să fie descărcate din platforma IoT. De obicei se utilizează API-uri de tip REST pentru a rezolva această problemă.

c) **Securitatea informației:** cerințele de securitate a informației necesare pentru operarea unei platforme IoT de tip software sunt mult mai ridicate decât cele pentru aplicații și servicii software generale. Datorită numărului mare de dispozitive conectate la o platformă IoT, numărul de vulnerabilități crește proporțional cu numărul acestora. În general, conexiunea dintre dispozitivele IoT și platforma IoT de tip software ar trebui să fie

criptată prin mecanisme de criptare puternice, pentru a evita potențialele furturi de date. Deoarece majoritatea dispozitivelor implicate în platformele moderne IoT nu pot susține astfel de cerințe avansate de control pentru accesul la date, platforma IoT trebuie să implementeze soluții alternative care pot îmbunătăți nivelul de securitate.

*d) **Protocoloalele de colectare de date:*** datorită numărului mare de dispozitive IoT și, implicit, volumului mare al datelor transmise către platformă, ar trebui folosite protocoale simple (light) de comunicație de date, pentru economisirea de energie și utilizarea mai eficientă a lărgimii de bandă a rețelei.

*e) **Analiza datelor:*** datele colectate de la senzorii conectați la platforma IoT trebuie să fie analizate într-o manieră inteligentă pentru a obține rezultate semnificative. Există patru tipuri de analiză ce pot fi aplicate datelor de tip IoT: în timp real, pe loturi, predictivă și interactivă. Analiza în timp real se realizează online, pe fluxul de date transmis de către senzori. Analiza pe loturi se face pe totalul de date acumulate, la anumite intervale de timp, și poate dura câteva ore sau zile. Analiza predictivă se concentrează pe generarea de predicții bazându-se pe tehnici statistice și de învățare automată. Analiza interactivă se aplică atât pe fluxul de date transmis, cât și pe loturi.

4. Evoluții viitoare estimate

Se poate estima că evoluțiile platformelor IoT în perioada următoare vor fi determinate în mod predilect de doi factori majori: de dezvoltările și evoluțiile tehnologice în domeniile specifice componentelor implicate, precum și de necesitățile și cerințele comunităților din ecosistemele IoT.

4.1 Evoluții generate de perspectiva tehnologică pe termen scurt

Implementarea funcționalității complexe a unui sistem IoT se bazează pe aportul unui ansamblu de tehnologii TIC a căror evoluție va continua să aibă un impact deosebit asupra domeniilor de utilizare a acestor sisteme și, implicit, asupra strategiilor de afaceri ale organizațiilor beneficiare. Pentru a exemplifica această dimensiune a evoluției sistemelor IoT, în lucrarea [12] este sintetizată viziunea Gartner Research asupra principalelor 10

tehnologii IoT și a cerințelor ce vor trebui rezolvate din perspectiva acestora pentru perioada 2017-2018.

a) Securitatea IoT

IoT introduce o gamă largă de riscuri de securitate și provocări noi, specifice componentelor acestor sisteme: dispozitive, platforme la care sunt conectate dispozitivele, sisteme de operare, rețele de comunicații între aceste componente. Vor fi necesare tehnologii de securitate pentru protejarea dispozitivelor și platformelor IoT la atacuri cibernetice. Acestea vor trebui să creeze comunicațiile interne și să răspundă unor provocări noi, cum ar fi obiectele impoștate sau atacurile de tip denial-of-sleep, care consumă bateriile obiectelor. Asigurarea securității IoT va fi îngreunată de faptul că multe dispozitive folosesc procesoare simple și sisteme de operare ce nu suportă abordări sofisticate de securitate. În plus, există puțini specialiști în securitate IoT, iar soluțiile de securitate sunt momentan fragmentate și implică furnizori multipli. Amenințările de securitate pentru aceste sisteme vor evolua continuu, vor fi lansate noi modalități de a ataca dispozitivele IoT și protocoalele acestora. De aceea este necesar ca soluțiile hardware și software pentru sistemele IoT să fie actualizabile și adaptabile pentru implementarea soluțiilor de securitate adecvate acestor noi amenințări.

b) Analiza datelor IoT

Modalitățile de valorificare a informației colectate de la obiecte se vor diversifica în beneficiul modelelor de afaceri IoT, ca de exemplu: înțelegerea comportamentului unui consumator, furnizarea de servicii, îmbunătățirea produselor și identificarea și valorificarea oportunităților de afaceri. Pentru aceasta sunt necesare noi abordări în domeniul analizei avansate a acestor date (analytics), noi instrumente de analiză și noi algoritmi. Aceste cerințe de diversificare a abordărilor în domeniu se va amplifica în anii următori, având în vedere volumele de date IoT ce vor crește considerabil.

c) Administrarea obiectelor IoT

Obiectele cu viață lungă de utilizare vor necesita administrare și monitorizare. Acesta include monitorizarea dispozitivelor, actualizarea firmware-ului și software-ului, diagnosticarea, raportarea și analiza defectelor, administrarea securității. Evoluția sistemelor

IoT va aduce o nouă dimensiune funcției de administrare a dispozitivelor IoT, cea a scalabilității, în condițiile în care numărul acestora va crește exponențial.

d) Rețelele IoT de putere scăzută și arie locală

Decizia de utilizare a unei rețele de tip wireless pentru un dispozitiv IoT implică luarea în considerare a mai multor cerințe conflictuale, cum ar fi raza de acțiune, durata de viață a bateriei, lărgimea de bandă, densitatea, costul echipamentului și costul de operare. Se apreciază că rețelele de putere scăzută și rază mică de acțiune vor domina conectivitatea IoT de tip wireless până în 2025. Totuși, compromisurile comerciale și tehnice vor permite coexistența mai multor soluții, fără un câștigător predominant, dar cu clustere dezvoltate în jurul anumitor tipuri de tehnologii, aplicații sau ecosisteme ale furnizorilor.

e) Rețelele IoT de putere scăzută și arie largă

Rețelele celulare tradiționale nu furnizează o combinație ideală între caracteristici tehnice și costuri operaționale pentru aplicațiile IoT, care necesită rază mare de acoperire combinată cu cerințe pentru lărgime de bandă relativ scăzută, durată lungă de viață a bateriei, costuri scăzute pentru echipament și operare, densitate de conectare ridicată. Scopul unei rețele IoT de arie largă este de a asigura rate de transmisie a datelor de la biți pe secundă (bps) la zeci de kilobiți pe secundă (kbs), cu arie de acoperire națională, cu o durată de viață a bateriei de până la 10 ani, un cost total hardware în jur de 5\$ și suport pentru conectarea a mii de dispozitive la o stație de lucru. Există deja soluții proprietare, dar pe termen lung este de așteptat ca standarde emergente pentru astfel de rețele, cum ar fi Narrowband IoT (NB-IoT), să ajungă să domine acest spațiu de soluții.

f) Procesoarele IoT

Facilitățile oferite utilizatorilor de dispozitivele IoT depind în mare măsură de caracteristicile procesoarelor utilizate: soluții de securitate și criptare performante, consumul de putere, capacitatea de a suporta un sistem de operare, firmware actualizabil, existența unor agenți încapsulați pentru managementul dispozitivelor. În mod evident, ca în cazul proiectării oricărui echipament de o asemenea complexitate, se pune problema găsirii unui

compromis între diferitele facilități oferite de un asemenea procesor, cum ar fi: costul echipamentului, costul software-ului, software upgradabil. Concluzia este că alegerea procesorului potrivit pentru o implementare va necesita cunoștințe tehnice avansate, pentru a putea evalua toate implicațiile unei asemenea decizii.

g) Sistemele de operare IoT

Sistemele de operare tradiționale cum sunt Windows și iOS nu au fost dezvoltate pentru aplicații IoT. Acestea consumă prea multă energie, necesită procesoare de mare viteză și, în anumite cazuri, nu au caracteristici care să garanteze răspunsuri în timp real. De asemenea, acestea ar putea să nu suporte anumite chip-uri pe care dezvoltatorii de IoT le folosesc. Drept urmare, a fost dezvoltată o gamă largă de sisteme de operare specifice IoT pentru a satisface diverse cerințe, iar această tendință se va menține și în continuare.

h) Procesarea fluxurilor de evenimente

Vor exista aplicații IoT caracterizate prin rate foarte ridicate de generare a datelor ce vor trebui analizate în timp real. Asemenea sisteme care vor genera mii de evenimente pe secundă vor deveni comune, iar în aplicații speciale de telemetrie sau telecomunicații aceste rate pot crește la milioane de evenimente pe secundă. Pentru a face față acestor cerințe au început să apară platforme de calcul distribuit al fluxurilor (distributed stream computing platforms – DSCPs). Acestea folosesc arhitecturi de calcul paralel pentru a procesa fluxuri de date caracterizate prin rate ridicate de generare, capabile să asigure analiza și identificarea în timp real a pattern-urilor.

i) Platformele IoT

Serviciile furnizate de astfel de platforme se împart în trei categorii: control de bază al dispozitivelor și operațiilor, cum ar fi comunicațiile, monitorizarea și administrarea dispozitivelor, securitatea, upgrade-ul firmware; colectarea, transformarea și administrarea datelor IoT; dezvoltarea aplicațiilor IoT, inclusiv logica bazată pe evenimente, programarea aplicațiilor, vizualizarea și analiza avansată a datelor, furnizarea de conectori către sisteme și aplicații de întreprindere. Suportul tehnologic integrat, oferit de platformele IoT va continua să se dezvolte și va deveni dominant în

implementarea soluțiilor IoT performante.

j) **Ecosistemele și standardele IoT**

Ecosistemele și standardele nu sunt de fapt tehnologii; ele se materializează prin furnizarea de interfețe de programare a aplicațiilor (API). Includerea lor în această analiză are în vedere importanța esențială a standardelor și API-urilor specifice pentru evoluția domeniului IoT, în condițiile în care interoperabilitatea și comunicarea între dispozitivele IoT vor asigura suportul pentru cerința de partajare a datelor care va fi specifică modelor de afaceri IoT. Rolul ecosistemelor IoT va crește, iar competiția comercială și tehnică dintre acestea va domina domeniul cum ar fi casa inteligentă, orașul inteligent, serviciile de sănătate. Producătorii de componente ale sistemelor IoT vor fi nevoiți să respecte cerințele impuse de standarde și ecosisteme diferite, precum și să asigure adaptarea și actualizarea permanentă a acestor produse la evoluția și apariția de noi standarde.

4.2 Evoluții determinate de necesități și cerințe utilizator

Conform [9], principalele clase de cerințe utilizator identificate ca relevante pentru evoluția platformelor IoT se referă la:

- suportul pentru tehnologii eterogene utilizate de senzori și dispozitive de acționare;
- proprietatea asupra datelor și implicațiile în ce privește securitatea și confidențialitatea;
- capabilitățile de procesare și accesare a datelor;
- suportul asigurat dezvoltatorilor de aplicații;
- completitudinea unui ecosistem IoT;
- existența unor centre (virtuale) de distribuție/comercializare dedicate IoT.

Analiza decalajelor de surmontat prin evoluția platformelor IoT existente pentru a răspunde necesităților și cerințelor de utilizare, a avut la bază sondarea punctelor de vedere ale diverșilor actori din ecosistemul asociat unei platforme IoT: furnizori de dispozitive, dezvoltatori de aplicații, furnizori de platforme și servicii asociate, utilizatori finali.

Pentru fiecare dintre clasele de cerințe menționate mai sus, sunt detaliate în continuare, pe de o parte, decalajele identificate între necesitățile și așteptările utilizatorilor și nivelul actual oferit de platformele IoT, precum și unele recomandări pentru recuperarea acestor decalaje, dar și principalele probleme care trebuie depășite în acest sens, pe de altă parte.

a) **Suportul pentru dispozitive eterogene**

• Decalaje:

- suport pentru dispozitive cu cerințe particulare de conectare (a-d1);
- modele standardizate pentru dispozitivele IoT (a-d2);
- autentificare securizată (a-d3).

Esența unei platforme IoT este să permită conectarea sigură la Internet a unei multitudini de senzori și elemente de acționare, având diferite restricții și capabilități. În absența unui standard de comunicație de facto, senzorii și elementele de acționare de la diverși producători pot subscrie la modele de interacțiune diferite și pot implementa subseturi diferite ale unor protocoale de comunicație existente. Astfel, valoarea unei platforme IoT crește cu numărul și versatilitatea dispozitivelor suportate. O platformă IoT ideală ar trebui să ofere un set de protocoale de comunicație standardizate din care producătorul dispozitivului să poată selecta protocoalele adecvate.

Soluțiile IoT actuale asigură interfațarea și interoperabilitatea cu dispozitive eterogene fie prin implementarea unor porți de acces (gateway) – extensibile cu plug-in-uri pentru a suporta noi tipuri de dispozitive oricând este necesar, – fie delegând către furnizorii de dispozitive alegerea unui protocol dintr-un set limitat de protocoale suportate. În ceea ce privește porțile de acces utilizate, uneori acestea sunt proprietare (eventual însoțite și de protocoale de transport proprietare), în timp ce altele se bazează pe socket-uri web și protocoale standard de comunicație pentru interconectarea dispozitivelor mai sofisticate la platforma respectivă.

Ca o concluzie generală, fie gradul de eterogenitate al dispozitivelor suportate de platformele IoT actuale este limitat, fie este necesară utilizarea unui gateway (decalajul

a-d1). O posibilă direcție în creșterea capacității de integrare de noi tipuri de dispozitive este integrarea pe scară largă în platformele IoT de modele de obiecte standard pentru dispozitivele IoT (decalajul a-d2). Mai mult, în platformele IoT trebuie integrate mecanisme de securitate care să asigure gestionarea în siguranță a dispozitivelor IoT (decalajul a-d3).

- Probleme:
 - interacțiuni eterogene (a-p1);
 - necesitatea standardizării protocoalelor (a-p2).
- Recomandări:
 - utilizarea de protocoale standardizate, ca de ex. MQTT (a-r1);
 - integrarea celor mai bune protocoale de securitate și confidențialitate (a-r2).

b) Proprietatea asupra datelor

- Decalaje:
 - manipularea datelor la nivelul dispozitivelor de frontieră (edge) (b-d1);
 - autostocarea datelor (b-d2).

Volumul impresionant de date generate în IoT face ca gestionarea acestor date să fie în centrul paradigmei IoT, necesitând totodată menținerea unui grad corespunzător de confidențialitate și securitate. Este de așteptat ca proprietarul datelor să aibă controlul deplin asupra stocării datelor (unde, cum), precum și asupra drepturilor de acces la acestea (cine și la care porțiuni de date are acces).

Platformele IoT actuale bazate pe cloud asigură că datele colectate și stocate pe platformă rămân proprietatea clienților, dar proprietatea deplină asupra datelor este rar garantată. În cele mai multe cazuri, datele sunt transmise către platformă în format brut și sunt stocate necriptat (decalajul b-d1). Majoritatea platformelor actuale necesită utilizarea unor chei de acces sau a altor mecanisme de control al accesului pentru a obține drept de citire sau scriere. Aceste drepturi de acces sunt fie stabilite de utilizatorii finali ai dispozitivelor, prin intermediul unei interfețe web, fie sunt lăsate în sarcina furnizorilor de aplicații pentru a fi definite la implementarea acestora. Pe de altă parte, există platforme care oferă acces la date publice pentru utilizatori anonimi fără a fi

necesară vreo cheie de acces. Astfel de setări, excesiv de stricte sau de relaxate, nu permit un control suficient asupra datelor (decalajul b-d2).

Pentru viitor este recomandabilă existența unor algoritmi și mecanisme prin care proprietarul datelor să poată oferi acces numai la un set predefinit de resurse și care să permită ca datele brute să rămână sub controlul utilizatorului final. De exemplu, dacă proprietarul datelor dorește să arhiveze datele utilizând un serviciu oferit de o PaaS, acesta trebuie să poată să creeze datele sau să le proceseze înainte de a le trimite în cloud. Vizibilitatea detaliată a datelor va trebui cuplată cu funcționalități de stocare locală pentru a consolida dreptul de proprietate al utilizatorilor asupra datelor.

- Probleme:
 - securitatea datelor stocate (b-p1);
 - posibilități reduse ale dispozitivelor IoT de a stoca local datele și de a asigura controlul securizat al accesului la date (b-p2).
- Recomandări:
 - punerea la dispoziția proprietarului datelor de algoritmi și mecanisme pentru limitarea accesului la seturi predefinite de resurse (b-r1).

c) Procesarea și partajarea datelor

- Decalaje:
 - procesarea datelor nu este bine integrată în platformele IoT (c-d1);
 - procesarea eficientă a diverselor formate și modele de date (c-d2);
 - Data Analytics disponibil doar în soluțiile bazate pe cloud (c-d3);
 - lipsesc cataloagele de date (c-d4).

Volumul de date implicate în IoT pot fi foarte mari, iar aplicațiile au cel mai adesea cerințe de timp real. Fluxurile de date IoT (IoT data streams) sunt reprezentate de secvențe nelimitate de elemente de date variabile în timp. Aceste date pot fi adesea nesigure, incomplete, prezintă probleme de calitate provocate de canalul de comunicație. Mai mult, aceste date sunt reprezentate în formate și modele variate. Datele și cunoștințele din spatele acestora reprezintă esența valorii aduse de IoT. Mecanismele de procesare și partajare

a datelor trebuie dezvoltate astfel încât să asigure posibilitatea ca datele IoT să poată fi utilizate cât mai bine în aplicații.

Soluțiile actuale IoT fie nu suportă, fie oferă suport limitat pentru procesarea și partajarea datelor. Deși diferite tipuri de tehnici de procesare a datelor au fost adaptate pentru specificul IoT (data mining, atașarea de semantică la dispozitivele IoT), integrarea acestora în platformele IoT este încă limitată (decalajul c-d1). Există platforme care permit agregarea datelor și dispozitivelor IoT conform conceptului de flux de date (data flow) generând în acest fel conținut “Web of Things” inovativ și îmbogățit. Pe această bază se poate extrapola că integrarea unor astfel de mecanisme în middleware-ul sistemelor IoT ar permite rezolvarea decalajului actual, care constă în procesarea ineficientă a acestor fluxuri (decalajul c-d2). Procesarea eficientă în acest caz ar însemna: (1) procesarea datelor IoT având în vedere capacitățile limitate de procesare, de stocare, de comunicație și de energie ale mediilor IoT; și (2) generarea în timp real de cunoștințe utile pentru aplicațiile IoT (înainte ca acestea să devină depășite). Totodată, pentru a putea opera cu volume mari de date, majoritatea platformelor IoT vor trebui să ofere un randament ridicat de procesare. O posibilă soluție pentru depășirea acestui decalaj o constituie soluțiile de tip Edge Analytics (mai aproape de sursa datelor), cum sunt cloudlets [13]. Prin includerea unor astfel de tehnologii, viitoarele platforme IoT ar putea permite rețelelor locale IoT să implementeze funcționalitate specifică Edge Analytics, care contribuie la maximizarea eficienței energetice, la reducerea amenințărilor de confidențialitate și la minimizarea întâzierilor în furnizarea răspunsurilor. Dispozitivele IoT produc date primare adesea nesigure, incomplete, neordonate. Prin urmare, gestionarea erorilor este foarte importantă pentru platformele IoT. Pe de altă parte, disponibilitatea fluxurilor de date pentru platformele IoT este adesea incertă. Toate acestea generează provocări referitoare la garantarea completitudinii rezultatului procesării (decalajul c-d3). Mai mult, în platformele IoT trebuie dezvoltate mecanisme de detectare a intruziunilor, de prevenire și refacere, pentru a veni în sprijinul entităților IoT în protejarea datelor și serviciilor acestora. În sfârșit, pentru a identifica fluxurile de date relevante disponibile, acestea trebuie listate în cataloage de date dedicate, în care informațiile

de context pot fi utilizate pentru furnizarea de mecanisme eficiente de (re)găsire. Indexarea semantică poate fi utilizată pe aceste cataloage și pe alte metadate disponibile pe dispozitivele IoT. Procesarea eficientă a datelor IoT provenind de la mai multe surse externe este încă o problemă deschisă, iar căutarea prin fluxuri de date de la mai multe platforme nu este practic disponibilă (decalajul c-d4). În această direcție, au fost investite eforturi de cercetare în HyperCat, un catalog simplu de URI-uri bazat pe JSON (Java Script Object Notation, format simplu pentru schimbul de date), în care se regăsesc serviciile oferite de platformele IoT [14].

• Probleme:

- sistem complex de identificare pentru accesul la date (c-p1);
- fuzionarea eficientă a fluxurilor de date (c-p2);
- dispozitivele IoT au capacități de procesare limitate (c-p3).

• Recomandări:

- cataloage de date cu indexare semantică (c-r1);
- modele de date uniforme și interoperabile (c-r2);
- integrarea tehnologiilor de procesare a datelor pe platforme (c-r3);
- soluții de tip cloudlet pentru Edge Analytics (c-r4).

d) Suport pentru dezvoltatori

• Decalaje:

- API-uri pentru combinarea aplicațiilor (d-d1);
- existența limitată a SDK-urilor (d-d2);
- lipsa unui limbaj specific cu primitive de nivel mai înalt de abstractizare (d-d3).

Pentru a permite accelerarea dezvoltării aplicațiilor, este de așteptat ca platformele IoT să pună la dispoziția dezvoltatorilor API-uri cu primitive la un nivel de abstractizare cât mai înalt, aliniate funcționalităților oferite. Mai mult, pentru dezvoltarea de aplicații IoT independente de platformă, aceste API-uri vor trebui să fie cât mai uniforme posibil pentru diferite platforme.

Aproape toate platformele IoT actuale pun la dispoziție un API public pentru accesarea serviciilor web oferite. Aceste API-uri se bazează în general pe principiile arhitecturilor de tip REST, permițând operațiuni simple de tip: PUT, GET, PUSH, DELETE. Aceste operațiuni suportă atât interacțiunea cu dispozitivele conectate, cât și managementul acestor dispozitive. Totuși, aceste API-uri și modelele de date utilizate sunt specifice fiecărei platforme, ceea ce complică combinarea datelor provenite de la mai multe platforme (decalajul d-d1). Multe platforme oferă biblioteci, în unele cazuri de tip open-source, care furnizează extensii ale diferitelor limbaje de programare pentru legarea cu API-urile de tip REST disponibile pe platformele respective. Totuși, aceste biblioteci de legătură nu îmbunătățesc semnificativ suportul pentru dezvoltatorii de aplicații în utilizarea serviciilor oferite de platforme, deoarece includ numai funcționalități de bază, de ex. conectarea la platformă utilizând chei de acces (decalajul d-d2). Unele platforme permit crearea de widgets scrise în Javascript, HTML și CSS, care pot fi distribuite pe platformă altor utilizatori. Pe de altă parte, există și platforme care pun la dispoziția dezvoltatorilor de aplicații un SDK complet. O astfel de abordare ar trebui generalizată pentru soluțiile IoT, pentru maximizarea utilizabilității serviciilor oferite de platformele IoT. Pe lângă API-uri, pentru simplificarea dezvoltării aplicațiilor IoT, ar putea fi definit și un DSL (Domain Specific Language) prin care să fie puse la dispoziție asemenea primitive funcționale care să descrie problema și spațiul soluțiilor la un nivel de abstractizare mai înalt. De exemplu, sunt necesare dezvoltatorilor primitive pentru căutare / regăsire în cataloagele de fluxuri de date, care să fuzioneze și să agreghe datele, pentru accelerarea procesului de dezvoltare a aplicațiilor centrate pe date multiplatformă. Un astfel de DSL nu există la momentul actual (decalajul d-d3).

- Probleme:

- necesitatea standardizării interacțiunilor între aplicațiile dedicate IoT (d-p1);
- lipsa magazinelor de aplicații IoT (d-p2).

- Recomandări:

- platformele IoT trebuie să pună la dispoziție SDK-uri și API-uri care să

maximizeze reutilizarea serviciilor furnizate de platformele respective (d-r1).

e) Dezvoltarea ecosistemului IoT

- Decalaje:

- extensibilitate redusă a platformelor (e-d1);
- posibilități reduse de monetizare (e-d2);
- suport limitat pentru integrarea multiplatformă (e-d3).

Succesul unei platforme IoT depinde de existența unui ecosistem de afaceri compus din firme / companii, în care cumpărătorii, furnizorii și producătorii produselor și serviciilor corespunzătoare, precum și mediul socio-economic, pun împreună la dispoziția utilizatorilor finali o varietate de aplicații, produse și servicii IoT. Nucleul pentru un asemenea ecosistem este reprezentat de un set comun de soluții partajate de membrii ecosistemului și care sunt esențiale pentru produsele și serviciile acestora. Pentru a avea succes economic, pe lângă implementarea funcționalității sale IoT și rezolvarea unor probleme IoT relevante, o platformă IoT trebuie să poată fi ușor extinsă de dezvoltatori cu produse complementare sau aplicații bazate pe aceasta și trebuie să-i motiveze pe aceștia pentru a inova și contribui la dezvoltarea platformei respective. Cu alte cuvinte, platforma trebuie să atragă dezvoltatori de add-on-uri și aplicații, facilitând astfel formarea de jos în sus a ecosistemului în jurul său.

Deși platformele IoT existente declară că rezolvă câteva din problemele esențiale ale dezvoltatorilor și sunt în general deschise pentru furnizorii de aplicații terți, practic numai platformele de tip open-source pot fi extinse rapid pentru a face față apariției și evoluției noilor tehnologii. Platformele proprietare nu permit adăugarea de componente reutilizabile și add-on-uri, cu rare excepții punctuale ale unor anumite instrumente de la terți (decalajul e-d1), iar posibilitățile de valorificare a acestor extensii sunt absente sau limitate la integrarea de servicii (decalajul e-d2). Pentru a permite tratarea domeniilor IoT ca un ecosistem convergent unic, care furnizează produse și servicii inovative și permite o economie pe scară largă, este necesar un broker al fiecărei

platforme IoT. Un astfel de broker va facilita partajarea aplicațiilor și serviciilor în timp și spațiu, precum și între componentele ecosistemului specifice fiecărei platforme IoT. Posibilitatea brokerajului între platforme nu a fost investigată în profunzime și, în consecință, ecosistemul actual reprezintă o mulțime de silozuri verticale IoT fragmentate (decalajul e-d3).

- Probleme:
 - proporția dominantă a soluțiilor dependente de platformă (e-p1);
 - dificultatea agregării datelor într-o singură aplicație de către utilizatori ai mai multor platforme (e-p2).
- Recomandări:
 - oferirea de stimulente financiare pentru dezvoltatori (e-r1);
 - implementarea unui mecanism de brokeraj pentru a facilita integrarea multiplatformă (e-r2);
 - furnizarea de modele pentru definirea contextuală de aplicații IoT și pentru simplificarea descoperirii acestora de către utilizatorul final (e-r3).

f) Piața de desfacere IoT

- Decalaje:
 - disponibilitatea redusă a cataloagelor de aplicații, de date și de dispozitive IoT (f-d1);
 - lipsesc în general posibilitățile de contabilizare a utilizării datelor de către utilizatorii finali pe diverse criterii, de ex. tarife fixe, plată per utilizare etc. (f-d2).

Piețele de desfacere (marketplace) de aplicații software sunt destinate să faciliteze descoperirea, achiziționarea și distribuția aplicațiilor. Exemple de astfel de piețe de desfacere pentru soluții destinate unui hardware specific sau controlate centralizat, sunt: Apple App Store sau Google Play, iar pentru soluții independente de hardware: Good, Handster, Nexva sau SlideMe. Existența unor astfel de piețe este crucială pentru diseminarea inovațiilor în software în general și a celor în IoT în particular. Aceste piețe de desfacere vin în întâmpinarea nevoilor furnizorilor și utilizatorilor de aplicații și, alternativ, ale necesităților

vânzătorilor și operatorilor platformei.

Magazinele tradiționale de aplicații par a avea limitări în ceea ce privește aplicațiile IoT, neasigurând livrarea software-ului achiziționat pe alte dispozitive conectate suportate de platformă în afară de terminalele mobile, telefoane sau tablete (decalajul f-d1). Dintre platformele IoT existente, unele au magazine de aplicații dedicate, dar dintre acestea doar puține permit ca aplicațiile să fie partajate public și promit să permită taxarea utilizatorilor finali pe baza utilizării (decalajul f-d2).

Una dintre provocările principale ale IoT este aceea de a exploata integral datele care sunt produse în mod curent de procesele relevante. Deja sunt colectate volume uriase de date de la senzori, dar acestea sunt utilizate mai cu seamă pentru detectarea anomaliilor și control, deși ar trebui utilizate de asemenea pentru optimizare și predicție, care aduc o valoare mai mare. Cauza principală o constituie lipsa de expertiză necesară pentru analiza avansată a acestor date. Aceasta justifică necesitatea dezvoltării de noi piețe de desfacere pentru datele IoT, care vor genera noi interacțiuni de afaceri (de tipul Business-to-Business – B2B).

Platforma Windows Azure Data Market oferă un exemplu pentru un model de afacere de succes care ar putea rezulta din datele IoT. De exemplu, platforma permite afacerilor să publice gratuit fluxurile de date pe platformă pentru a le face disponibile unui număr mare de dezvoltatori. Platforma oferă posibilitatea taxării consumului de date fie prin abonamente pe o anumită durată, fie după cantitatea de date consumate. Există cataloage ale surselor de date publicate pe platformă care pot fi consultate. Se poate estima că dezvoltarea unor platforme IoT dedicate, similare cu Windows Azure Data Market este o cerință importantă pentru sustenabilitatea soluțiilor IoT.

- Probleme:
 - nivel redus de conștientizare a necesității unei piețe unice de soluții IoT (f-p1).
- Recomandări:
 - implementarea unei funcționalități de tip piață de desfacere la nivelul platformelor IoT (f-r1).

5. Concluzii

Internetul obiectelor/lucrurilor (Internet of Things – IoT) se constituie într-un catalizator de transformare revoluționară, cantitativă și calitativă, a cunoașterii și interacțiunii noastre cu mediul în care trăim și lucrăm zi de zi.

În ultimii ani, au fost dezvoltate numeroase soluții de interconectare a obiectelor inteligente în sisteme cu diferite scale și obiective. Se poate afirma că există astăzi o abundență de soluții de platforme IoT, compuse din infrastructură și middleware, care oferă conectivitate la Internet pentru obiecte inteligente dotate cu senzori și elemente de acționare, permițând utilizatorilor finali să interacționeze cu acestea.

Platformele IoT oferă cadrul de dezvoltare și utilizare pentru soluțiile IoT, implementând funcționalități și facilități pentru:

- culegerea și pregătirea datelor;
- conectivitate, protocoale de comunicații;
- monitorizare, control și descoperire dispozitive;
- securitate autentificare, autorizare, control al integrității și securitate a datelor;
- analiză și procesare a datelor, asigurare a interfeței utilizator pentru acces la funcțiunile sistemului.

Principalele tehnologii utilizate de soluțiile IoT, sunt:

- rețele de senzori wireless;
- Cloud computing;
- Big Data analytics;
- protocoale de comunicație;
- dispozitive cu microprocesor încorporat.

Caracteristicile și funcționalitățile specifice oferite și nivelul tehnologiilor încorporate, pe de o parte, dar și măsura în care pot răspunde necesităților și așteptărilor diferiților actori din ecosistemul IoT (furnizori de dispozitive, dezvoltatori de aplicații și utilizatori finali), pe de altă parte, constituie atât criterii de evaluare / comparare a platformelor IoT, cât și elemente pe baza cărora pot fi estimate direcțiile de evoluție viitoare a acestora.

A fost efectuat un studiu în cadrul căruia a fost analizată și evaluată oferta existentă de

platforme IoT, fiind acoperite soluțiile cele mai relevante, selectate pe baza rapoartelor și punctelor de vedere publicate în literatura de specialitate și pe site-urile unor companii de consultanță sau publicații în domeniu.

Au fost identificate și analizate criteriile de evaluare comparativă a platformelor IoT hardware și software.

Au fost estimate de asemenea perspectivele de evoluție pe termen scurt și mediu a ofertei de platforme IoT, atât în contextul dezvoltării tehnologiilor specifice cât și sub presiunea cerințelor de utilizare.

Din punct de vedere tehnologic au fost avute în vedere tehnologiile considerate esențiale pentru domeniul IoT: securitatea, analiza datelor, administrarea și monitorizarea obiectelor IoT, rețele de putere scăzută pentru arie de acoperire locală sau largă, procesoare IoT, sistemele de operare IoT, procesarea fluxurilor de evenimente în timp real, platformele IoT ca suport tehnologic integrat, ecosisteme și standarde IoT.

Din punct de vedere al cerințelor de utilizare, pe baza studierii literaturii de specialitate, au fost identificate principalele clase de cerințe utilizator, au fost evaluate și fundamentate decalajele între stadiul actual și stadiul țintă de tratare a acestor cerințe pe fiecare clasă, cu identificarea principalelor probleme ce trebuie abordate și soluționate pentru ameliorarea acestor decalaje și au fost sintetizate unele recomandări în acest sens.

Mențiuni

Prezenta lucrare are la bază parte din activitățile și rezultatele proiectului PN 1609-0401 [15], derulat la ICI București (2016-2017) în cadrul Programului național nucleu „COGNOTIC”, finanțat de Ministerul Cercetării și Inovării.

BIBLIOGRAFIE

1. **LEHONG, H.; ALFONSO, V.:** Hype Cycle for the Internet of Things”, Gartner Group, 21.07.2014.
2. **PERERA, C.; ZASLAVSKY, A.; CHRISTEN, P.; GEORGAKOPOULOS, D.:** Sensing as a service model for smart cities supported by Internet of Things.

- Trans. Emerg. Telecommun. Technol., vol. 25, no. 1, 2014, pp. 81-93.
3. **BAHGA, A.; MADISSETTI, V.:** Internet of Things: A Hands-On Approach. Published by Bahga & Madisetti, ISBN: 978-099605515.
 4. **M.E.C.S.:** “Strategia Națională de Cercetare-Inovare 2014-2020 – versiunea tehnică”. Ministerul Educației și Cercetării Științifice, februarie 2014. (http://www.cdi2020.ro/wp-content/uploads/2014/02/STRATEGIA_Versiunea-tehnica_Februarie-2014.pdf).
 5. **EUROPEAN COMMISSION:** Horizon 2020 - Work Programme 2016–2017, (5.i) Information and Communication Technologies. European Commission Decision C (2015) 6776 of 13 October 2015. (http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2016_2017/main/h2020-wp1617-leit-ict_en.pdf).
 6. **SINGH, S.:** Top 10 IoT Platforms. Internet of Things wiki, 08.03.2016. (<http://internetofthingswiki.com/top-10-iot-platforms/634/>).
 7. **MERCER, C.:** Internet of things platforms: Azure, AWS, IBM Watson and more - Which is the best IoT platform for your business? Computerworld, 28.02.2016. (<http://www.computerworlduk.com/galleries/data/-of-best-internet-of-things-platforms-3635185/>).
 8. **BOTTA, A.; DE DONATO, W.; PERSICO, V.; PESCAPÉ, A.:** Integration of Cloud computing and Internet of Things: A survey. Future Generation Computer Systems 56, 2016, Elsevier ScienceDirect, pp. 684–700.
 9. **MINERAUD, J.; MAZHELIS, O.; SU, X.; TARKOMA, S.:** A gap analysis of Internet-of-Things platforms. Computer Communications, 2016, Elsevier ScienceDirect, DOI:10.1016.
 10. **TARKOMA, S.; AILISTO, H.:** The Internet of Things program: the Finnish perspective". IEEE Commun. Mag. 51 (3) 2013, pp. 10–11, DOI: 10.1109/MCOM.2013.6476854. (<http://ieeexplore.ieee.org/document/6476854/>).
 11. **DAYARATHNA, M.:** Comparing 11 IoT Development Platforms. IoT Zone, 04.02.2016. (<https://dzone.com/articles/iot-software-platform-comparison>).
 12. **VAN DER MEULEN, R.; WOODS, V.:** Gartner Identifies the Top 10 Internet of Things Technologies for 2017 and 2018. Garner Research. 23.02.2016. (<http://www.gartner.com/newsroom/id/3221818>).
 13. **LEWIS, G.; ECHEVERRIA, S.; SIMANTA, S.; BRADSHAW, B.; ROOT, J.:** Tactical cloudlets: moving cloud computing to the edge. Proceedings of the IEEE Military Communications Conference (MILCOM), 2014, pp. 1440–1446, doi: 10.1109/MILCOM.2014.238.
 14. **LEA, R.; BLACKSTOCK, M.:** CityHub: a cloud based IoT platform for smart cities. Proceedings of the IEEE 6th International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom), 2014, pp. 799–804, doi: 10.1109/CloudCom.2014.65.
 15. **PREDA, Ș. A.; NEAGU, G.; STANCIU, A.; VREJOIU, M. H.; HĂRȚESCU, F.; FLORIAN, V.; ZAMFIR, M. C.:** Evaluare și experimentare pentru platforme „Internet of Things”. Raport de cercetare etapa 1: Cercetări privind platformele dedicate „Internet of Things”, proiect PN 1609-0401, ICI București, decembrie 2016.