

Rezumat

Această teză de abilitare reunește activitatea pe care am desfășurat-o după obținerea titlului de doctor, în principal la Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București, dar și prin colaborări cu colegi din alte instituții și cu industria. Privind retrospectiv aceste rezultate, observ mai degrabă o linie continuă decât o colecție de proiecte separate. Am început cu noduri de senzori wireless care trebuiau să funcționeze cu resurse energetice foarte limitate, apoi am trecut către sisteme de detecție conectate, implementate în medii reale, dispozitive portabile și măsurători fiziologice, iar mai recent către platforme embedded capabile să interpreteze datele locale folosind metode de învățare automată. Întrebarea centrală care a traversat întreaga mea activitate a fost cum pot fi construite sisteme embedded și IoT utile atunci când energia, memoria, capacitatea de procesare, lățimea de bandă pentru comunicații și accesibilitatea fizică sunt toate limitate.

Prima parte a tezei prezintă activitatea mea științifică. Ea începe cu un rezumat al realizărilor, care plasează articolele selectate din reviste și conferințe în contextul lor mai larg. Contribuțiile mele anterioare au creat fundamente hardware și de rețelistică, în timp ce lucrările ulterioare au dezvoltat aplicații complete în monitorizarea mediului, dispozitive portabile, detecție biomedicală și calcul inteligent la marginea rețelei.

Capitolul 1, *Platforme IoT și rețele de senzori*, descrie fundamentul pe care s-a construit o mare parte din activitatea mea ulterioară. Acesta pornește de la nodul de senzori wireless cu recuperare de energie Sparrow și de la problema operării unei platforme de detecție cu un buget energetic incert și limitat. Apoi prezintă plăci de dezvoltare IoT mai recente și platforme eficiente energetic pentru detecția mediului, în cadrul cărora am investigat consumul de energie, modurile de operare și arhitecturile practice de colectare a datelor. Capitolul abordează, de asemenea, comunicația: CoAP pe noduri de senzori constrânse și comunicația MQTT securizată folosind TLS/SSL în sistemul de operare NuttX. În final, capitolul trece de la dispozitive individuale la sisteme IoT aplicate și la infrastructura lor suport prin BaseHub, IoT Pub și prototipul de coș inteligent de cumpărături. Pentru mine, acest capitol consemnează progresia de la proiectarea unui nod de senzori la proiectarea componentelor hardware, firmware, protocoalelor și componentelor backend necesare pentru un sistem conectat complet.

Capitolul 2, *Monitorizarea mediului și detecție smart-city*, prezintă una dintre

cele mai constante direcții aplicative din cercetarea mea: măsurarea calității aerului acolo unde oamenii trăiesc și se deplasează efectiv. Capitolul discută mai întâi o platformă aeriană autonomă multi-rotor pentru măsurători ale poluării aerului și un dispozitiv mobil de monitorizare a calității aerului, ambele concepute pentru a completa stațiile fixe de monitorizare prin măsurători realizate în poziții diferite și de-a lungul unor trasee. Apoi descrie comunicația în rețele eterogene de senzori și sistemul CityAirQ de urmărire a poluției, care integrează un dispozitiv portabil de detecție, o aplicație mobilă, procesare de date în cloud și evaluare experimentală. Aceste lucrări au fost importante pentru mine deoarece au necesitat parcurgerea întregului traseu, de la proiectarea electronică și achiziția datelor de la senzori până la prezentarea datelor și validarea în teren. Ele au demonstrat, de asemenea, că platformele embedded cu resurse limitate pot contribui la probleme cu relevanță publică directă.

Capitolul 3, *Sisteme embedded deschise și dispozitive portabile*, reflectă interesul meu pentru transformarea platformelor de cercetare embedded în instrumente accesibile, extensibile și utile atât pentru experimentare, cât și pentru educație. Prezint platforma de smartwatch open hardware și open software care a evoluat în linia Hacktor Watch, urmată de portarea sistemului de operare în timp real NuttX și de analiza operării cu consum redus de energie pe un dispozitiv portabil. Capitolul examinează apoi funcții biometrice și de monitorizare a activității fizice implementate sub constrângerile de resurse ale unui smartwatch. Acesta include și activitatea mea în domeniul detecției biomedicale și fiziologice, în special pacemakerul salivar dezvoltat în proiectul MICROSAL și activitatea de brevetare asociată tehnologiilor de măsurare fiziologică. Acest capitol este locul în care se întâlnesc mai multe direcții ale experienței mele profesionale: hardware embedded, firmware cu consum redus de energie, detecție portabilă, colaborarea cu specialiști medicali și cerința ca un dispozitiv destinat unei persoane să fie fiabil și evaluat cu atenție.

Capitolul 4, *Calcul inteligent la marginea rețelei*, descrie trecerea de la colectarea datelor la extragerea informației pe dispozitivul de detecție sau în apropierea acestuia. Mai întâi compar fluxurile de implementare TensorFlow Lite și PyTorch pe platforme embedded folosind o sarcină de predicție care permite măsurarea directă a comportamentului modelului și a utilizării resurselor. Apoi prezint o aplicație de recunoaștere a activității umane și de numărare a pașilor, bazată pe detecție embedded și pe o rețea neuronală convoluțională. În final, capitolul include lucrări privind detectarea vocalizărilor bovinelor prin corelație de spectrograme, eigensounds și embeddings YAMNet. Deși domeniile aplicative diferă, aceste studii împărtășesc aceeași motivație: un sistem embedded devine considerabil mai valoros atunci când poate transforma semnalele brute în decizii rapide și semnificative, fără a depinde continuu de procesare la distanță.

Capitolul 5, *Proiecte de cercetare și granturi*, oferă contextul instituțional și colaborativ în care au fost dezvoltate aceste rezultate. Descriu participarea mea în

proiecte internaționale privind rețele wireless și de detecție de încredere, proiecte naționale privind medii inteligente, monitorizarea calității aerului și dispozitive biomedicale, precum și implicarea mea actuală în monitorizarea bioacustică a bovinelor de lapte. Discut, de asemenea, colaborările mele de cercetare cu Fitbit și Google în domeniul bio-deteției purtabile și al sănătății digitale. Aceste proiecte au făcut mai mult decât să susțină publicații individuale: ele mi-au format capacitatea de a lucra în echipe interdisciplinare, de a conecta prototipurile academice la nevoi realiste și de a dezvolta direcții de cercetare pe o perioadă mai lungă de timp.

Capitolul 6, *Lista lucrărilor și contribuțiilor personale*, reunește rezultatele științifice asociate acestei traiectorii: articole în reviste, cărți, capitole de carte, lucrări la conferințe și brevete. L-am inclus nu doar ca pe o evidență bibliografică, ci ca pe o prezentare transparentă a activității pe care se bazează teza de abilitare. Publicațiile documentează contribuțiile mele în sisteme embedded și IoT, monitorizarea mediului, dispozitive purtabile și biomedicale și inteligență la marginea rețelei, în timp ce brevetele reflectă dimensiunea aplicativă și translațională a cercetării în domeniul detecției fiziologice.

A doua parte a tezei privește activitatea mea academică, pe care o consider strâns legată de activitatea științifică, nu separată de aceasta. Capitolul despre *Cursuri și laboratoare* descrie cursurile pe care le predau, de la Arhitectura Calculatoarelor și Proiectare cu Microprocesoare la Sisteme Embedded și Internet of Things, precum și efortul meu de a menține laboratoare practice în care studenții construiesc și depanează sisteme reale. Capitolul despre *Îndrumarea studenților* prezintă modul în care coordonez studenți de licență și master prin proiecte cu rezultate experimentale concrete, inclusiv platformele PollutionTrack, Hacktor Watch și ESP32-Sparrow. În *Dezvoltarea laboratoarelor și infrastructura educațională*, descriu programele susținute de industrie, bursele, workshopurile și investițiile în laboratoare pe care am contribuit să le aduc în universitate prin Fitbit, Google și Microchip. Capitolul despre *Serviciu academic și implicare în comunitate* discută colaborările mele între facultăți și instituții și intenția mea de a păstra un mediu interdisciplinar pentru studenții care lucrează la tehnologii embedded, purtabile și legate de sănătate.

Partea finală a tezei prezintă modul în care intenționez să dezvolt în continuare această experiență. Capitolul 7, *Direcții viitoare de cercetare*, definește programul de cercetare pe care intenționez să îl urmez după obținerea abilitării: sisteme IoT autonome și conștiente de energie, TinyML și calcul inteligent la marginea rețelei, detecție purtabilă și biometrică, platforme deschise pentru cercetarea datelor de sănătate și comunicație securizată pentru dispozitive constrânse. Capitolul următor, despre *Direcții viitoare de predare*, explică modul în care aceste teme vor fi integrate în cursuri actualizate, laboratoare, proiecte de diplomă și viitoare coordonări doctorale. Îmi doresc ca platformele deschise și metodele experimentale dezvoltate în cercetarea mea

să devină un cadru în care studenții pot învăța să formuleze întrebări, să construiască sisteme funcționale, să le măsoare limitele și să producă rezultate care sunt atât solide din punct de vedere tehnic, cât și relevante în afara laboratorului.

Privite împreună, capitolele acestei teze descriu dezvoltarea mea de la proiectarea nodurilor de detecție cu consum redus de energie la construirea unor sisteme embedded complete, capabile de comunicație securizată, funcționare portabilă și inteligență locală. Ele exprimă, de asemenea, viziunea mea asupra activității academice: cercetarea, predarea și îndrumarea studenților sunt cele mai puternice atunci când împărtășesc platforme reale, experimente măsurabile și probleme care contează în practică.