



Îmbunătățirea calității sistemelor software folosind modele de învățare profundă pentru predicția și detecția defectelor

Raport științific și tehnic 2021

COD PROIECT: PN-III-P4-ID-PCE-2020-0800

CONTRACT: PCE 92/2021

2021

REZUMATUL ETAPEI

Tema proiectului este aceea de predicție și detecție a defectelor în sisteme software și prezintă un interes internațional major, fiind de mare relevanță în timpul dezvoltării, testării și întreținerii sistemelor software. Predicția exactă a defectelor în versiuni noi de software ar îmbunătăți semnificativ performanța procesului de dezvoltare a software-ului în ceea ce privește costul, timpul și calitatea acestuia. Predicția defectelor în sisteme informatice, ajută la detectarea, urmărirea și rezolvarea anomaliilor din sistem care ar putea avea efecte negative asupra siguranței și vieții umane, în special în cazul sistemelor software critice. Predicția defectelor permite efectuarea modificărilor în stadii incipiente ale ciclului de viață a sistemului, ducând astfel la costuri mai mici și îmbunătățind satisfacția clienților sistemului software. Proiectul își propune dezvoltarea de tehnici de învățare profundă pentru predicția defectelor software, o problemă de importanță majoră în domeniul Ingineriei Software, în special în ceea ce privește ingineria software bazată pe căutare. Scopul principal este îmbunătățirea calității sistemelor software prin identificarea timpurie și precisă a modulelor software defecte, folosind modele și tehnici de învățare profundă. Astfel, obiectivul principal al acestui proiect este de a facilita activitățile de întreținere și evoluție a software-ului, cum ar fi testarea, revizuirea codului și evaluarea calității software-ului, prin identificarea automată a defectelor.

Obiectivul major al proiectului este îmbunătățirea calității sistemelor software folosind modele de învățare profundă pentru predicția și detectarea automată a defectelor software. Scopul specific al proiectului este creșterea acurateții în predicția defectelor software într-o nouă versiune a unui sistem software (predicția defectelor în cadrul aceleiași proiect software) și în principal reducerea proporției de defecte neidentificate (rata de rezultate fals negative). Considerăm două direcții principale de cercetare: (1) îmbunătățirea etapei de creare a reprezentărilor prin selectarea caracteristicilor măsurabile relevante pentru tipuri specifice de defecte (de exemplu, proprietăți semantice, metrici bazate pe coeziune sau cuplare conceptuală) și (2) extragerea automată a caracteristicilor semantice semnificative din reprezentările codului sursă (altele decât cele bazate pe AST).

Rezultatele estimate ale proiectului sunt: (1) rapoarte științifice și tehnice care conțin metodele originale de învățare automată dezvoltate pentru predicția defectelor software; (2) publicații științifice pentru diseminarea rezultatelor științifice obținute; (3) module software (incluse în sistemul software QuaDeep) care implementează modelele de învățare automată dezvoltate pentru predicția entităților software cu defecte.

În prezentul raport vom prezenta rezultatele originale obținute în urma cercetărilor efectuate în cadrul proiectului în scopul îndeplinirii obiectivelor științifice și tehnice propuse în planul de realizare a proiectului pe anul 2021. Vom indica stadiul curent al implementării proiectului, modul în care au fost îndeplinite activitățile asumate în planul de lucru precum și modalitatea în care au fost diseminate rezultate obținute în cadrul etapei 2021. Pentru a sumariza, rezultatele obținute în cadrul proiectului pe anul 2021 sunt:

- Studiul literaturii în direcția predicției defectelor software, taxonomii de tipuri de defecte și evaluarea mentenabilității sistemelor software.
- Stabilirea arhitecturii sistemului QuaDeep.
- Pagina web a proiectului (www.cs.ubbcluj.ro/quadeep).
- 7 articole științifice: 2 publicații în reviste cotate ISI (Web of Science, WoS), cu factor de impact (conform JCR 2020) 1.696 și respectiv 2.258; 5 publicații în volume ale unor conferințe internaționale indexate WoS.

Considerăm că obiectivele proiectului aferente anului 2021 au fost atinse, lucru dovedit de prezentul raport de cercetare. Obiectivele planificate pe anul 2021, cât și activitățile aferente acestora au fost realizate în totalitate, și desfășurate conform cu planul de realizare al proiectului. De asemenea, criteriul minim de performanță prevăzut pe anul 2021 în ceea ce privește diseminarea rezultatelor (cel puțin un articol acceptat pentru publicare într-un jurnal ISI/WoS cu factor mare de impact și cel puțin 3 publicații) a fost îndeplinit.

1 INTRODUCERE

1.1 PROIECTUL QUADDEEP

Proiectul se concentrează pe dezvoltarea de tehnici de învățare profundă pentru *predicția defectelor software* (eng. *Software defect prediction - SDP*), o problemă de importanță majoră în domeniul Ingineriei Software, în special în ceea ce privește ingineria software bazată pe căutare. Scopul principal este îmbunătățirea calității sistemelor software prin identificarea timpurie și precisă a modulelor software defecte, folosind modele și tehnici de învățare profundă. Astfel, obiectivul principal al acestui proiect este de a facilita activitățile de întreținere și evoluție a software-ului, cum ar fi testarea, revizuirea codului și evaluarea calității software-ului, prin identificarea automată a defectelor. Tema proiectului prezintă un interes internațional major, fiind de mare relevanță în timpul dezvoltării, testării și întreținerii sistemelor software. Predicția exactă a defectelor în versiuni noi de software ar îmbunătăți semnificativ performanța procesului de dezvoltare a software-ului în ceea ce privește costul, timpul și calitatea acestuia. Proiectul prevede o soluție software, QuaDeep, care va integra noi metode de învățare profundă pentru identificarea defectelor software. Pentru a crește specificitatea modelelor, metodele de învățare vizate vor fi dezvoltate specific pentru tipuri de defecte. QuaDeep va oferi asistență dezvoltatorilor de software în predicția cu exactitate a defectelor software, contribuind astfel la îmbunătățirea calității software-ului și la facilitarea întreținerii și evoluției acestuia.

1.2 OBIECTIVE ȘTIINȚIFICE

Obiectivul principal al acestui proiect este îmbunătățirea calității sistemelor software folosind modele de învățare profundă pentru predicția și detectarea automată a defectelor software. Scopul specific este de a crește acuratețea predicției defectelor software într-o nouă versiune a unui sistem software și, în principal, de a reduce proporția de defecte care nu sunt detectate (rata fals negative). Proiectul este aplicativ și interdisciplinar, având următoarele obiective științifice și tehnice:

O1. Dezvoltarea și validarea științifică a unor metode originale bazate pe învățarea profundă pentru determinarea caracteristicilor relevante în predicția defectelor software. Taxonomii existente ale tipurilor de defecte (de exemplu, ODC, CWE, CVE) vor fi utilizate pentru identificarea caracteristicilor (atributelor) relevante care sunt specifice anumitor clase de defecte. Modelele de învățare profundă, cum ar fi *autoencoderii* (AE), *rețele neuronale convoluționale* (CNN) și *rețele Long Short Term Memory* (LSTM), vor fi aplicate pentru a învăța automat caracteristicile semantice și sintactice din reprezentările codului sursă generate de Doc2Vec, *token-urile AST* (eng. *abstract syntax tree* - arbore de analiză abstractă a codului), Code2Vec și combinații ale acestora. Noi metrici software pentru predicția defectelor, bazate pe coeziune și cuplare, vor fi definite folosind metrici software existente și reprezentări semantice ale codului sursă, reprezentări generate de Doc2Vec, Latent Semantic Indexing (LSI) și Graph2Vec.

O2. Dezvoltarea și validarea științifică a unor modele și tehnici originale de învățare automată pentru predicția defectelor software. Modelele de învățare automată vor fi adaptate pentru anumite tipuri de defecte (vizate în O1) și astfel specificitatea modelelor va fi crescută, deoarece vor învăța să prezică doar o anumită clasă de defecte. Mai precis, metodele de clasificare într-o singură clasă (OCC) și de învățare de tip *one-shot* (OSL) sunt avute în vedere pentru a gestiona problema principală a datelor dezechilibrate. Ca și clasificatori pentru o singură clasă (detectorii de anomalii) ne propunem să folosim autoencodere (AE), reguli de asociere relațională (RAR), RAR graduale (GRAR) și un clasificator hibrid bazat pe GRAR (HyGRAR). Pentru învățarea de tip *one-shot* (OSL) se vor aplica OSL cu rețele siameze, OSL Bayesian și N-Shot.

03. Dezvoltarea și validarea modulelor software QuaDeepP. Furnizat sub formă de module software, QuaDeepP va oferi o soluție pentru a asista dezvoltatorii, testerii și managerii de software în activitățile de întreținerea și evoluția software-ului, oferind informații care permit părților interesate să identifice posibilele defecte ale software-ului.

04. Contribuții la dezvoltarea cunoștințelor științifice prin diseminarea rezultatelor obținute în publicații științifice și pe site-ul web al proiectului.

2 DISEMINARE

2.1 SITE-UL WEB AL PROIECTULUI

Site-ul web al proiectului este dedicat prezentării proiectului, a echipei de cercetare și a rezultatelor obținute, putând fi accesate două versiuni: una în limba engleză (<http://www.cs.ubbcluj.ro/quadeep/>) și una în limba română (<http://www.cs.ubbcluj.ro/quadeep/ro/about-romana/>).

În ceea ce privește structura site-ului, acesta este împărțit după cum urmează: o pagină de prezentare a proiectului (**About/Despre**), o descriere succintă a planului de lucru (**Project Plan/Planul Proiectului**), o pagină de prezentare a echipei de cercetare (**Project Team/Echipea**) și o secțiune dedicată diseminării rezultatelor științifice și tehnice obținute (**Dissemination/Diseminare**), împărțită la rândul ei în pagini care conțin lista de publicații din cadrul proiectului (**Publications/Publicații**), rapoartele științifice și tehnice anuale (**Annual Reports/Rapoarte Anuale**) și prezentările din cadrul conferințelor (**Presentations/Prezentări**). De asemenea, pe site sunt incluse detaliile de contact pentru coordonatorul proiectului (pagina **Contact**).

Pe prima pagină a site-ului (**About/Despre**) se regăsește o scurtă descriere a proiectului și o prezentare a obiectivelor definite în cadrul acestuia. Pagina **Project Plan/Planul Proiectului** detaliază planul de lucru al proiectului, fiind precizate task-urile din cadrul fiecăruia din cele cinci pachete de lucru în care este împărțit planul. Prezentarea echipei de cercetare se regăsește pe pagina **Project Team/Echipea**, unde este inclusă o scurtă biografie academică pentru fiecare membru al echipei și link-ul către profilul său Google Scholar.

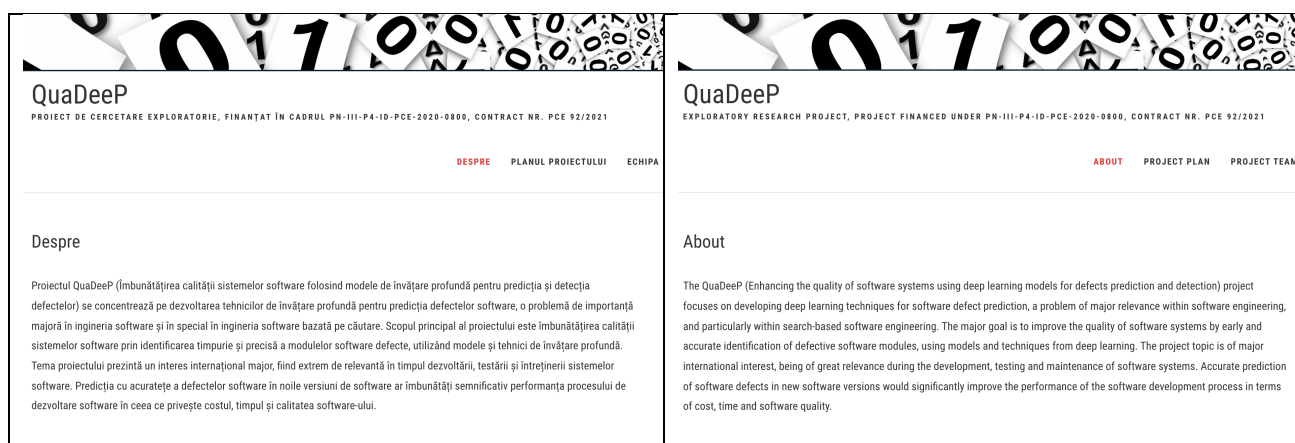


Figura 1 - Prima pagină a site-ului proiectului, versiunea în limba română (stânga) și engleză (dreapta)

Secțiunea dedicată diseminării cuprinde: (1) o listă a publicațiilor din cadrul proiectului și a publicațiilor conexe, permanent actualizată cu cele mai recente publicații (pagina **Publications/Publicații**), (2) o pagină în care vor fi introduse rapoartele științifice și tehnice anuale (**Annual Reports/Rapoarte Anuale**) și (3) materiale utilizate pentru prezentările din cadrul conferințelor (documente și clipuri video, unde sunt disponibile - pagina **Presentations/Prezentări**).

2.2 PUBLICAȚII ȘTIINȚIFICE

Tabelul de mai jos prezintă lista publicațiilor științifice în cadrul proiectului QuaDeep. Anexa acestui raport prezintă și lista publicațiilor conexe proiectului, care au furnizat ideea proiectului și direcțiile de cercetare.

[L1]	Anamaria Briciu, Gabriela Czibula, Mihaiela Lupea – <u>“AutoAt: A deep autoencoder-based classification model for supervised authorship attribution”</u> , 25th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (KES 2021), September 8-10, 2021, Procedia Computer Science 192, pp. 397-406 (B-ranked, indexed WoS)
[L2]	Vlad-Ioan Tomescu, Gabriela Czibula, Ștefan Nițică – <u>“A study on using deep autoencoders for imbalanced binary classification”</u> , 25th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (KES 2021), September 8-10, 2021, Procedia Computer Science 192, pp. 119-128 (B-ranked, indexed WoS)
[L3]	George Ciubotariu, Vlad-Ioan Tomescu, Gabriela Czibula – <u>“Enhancing the performance of image classification through features automatically learned from depth-maps”</u> , 13th International Conference on Computer Vision Systems, September 22-24, 2021, LNCS 12899, pp. 68-81 (C-ranked)
[L4]	Diana-Lucia Miholca – <u>“New Conceptual Cohesion Metrics: Assessment for Software Defect Prediction”</u> , 23rd International Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing, SYNASC 2021, acceptat spre publicare (D-ranked, indexed WoS)
[L5]	Zsuzsanna Oneț-Marian, Gabriela Czibula, Mariana Maier – <u>“Using self-organizing maps for comparing students’ academic performance in online and traditional learning environments”</u> , Studies in Informatics and Control (SIC) journal, 30(4), 2021, pp. 17-28 (C-ranked, indexed WoS, IF 2020=1.649)
[L6]	Maria-Mădălina Mircea, Rareș Boian, Gabriela Czibula – <u>“A machine learning approach for data protection in virtual reality therapy applications”</u> , 2021 IEEE 17th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing, 2021, acceptat spre publicare (D-ranked, indexed WoS)
[L7]	Mariana-Ioana Maier, Gabriela Czibula, Zsuzsanna Oneț-Marian – <u>“Towards Using Deep Autoencoders for Comparing Traditional and Synchronous Online Learning in Assessing Students’ Academic Performance”</u> , Mathematics, Engineering Mathematics – special issue on Didactics and Technology in Mathematical Education, 2021, 9(22), 2870 (A-ranked, 2020 IF=2.258, Q1)

Tabel 1 - Lista publicațiilor științifice în cadrul proiectului QuaDeep

2.3 PREZENTĂRI

George Ciubotariu, Vlad-Ioan Tomescu, Gabriela Czibula – <u>“Enhancing the performance of image classification through features automatically learned from depth-maps”</u> , 13th International Conference on Computer Vision Systems, September 22-24, 2021.
Vlad-Ioan Tomescu, Gabriela Czibula, Ștefan Nițică – <u>“A study on using deep autoencoders for imbalanced binary classification”</u> , 25th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (KES 2021), September 8-10, 2021. video YouTube: https://www.youtube.com/watch?v=Ha_kzQkRizI
Anamaria Briciu, Gabriela Czibula, Mihaiela Lupea – <u>“AutoAt: A deep autoencoder-based classification model for supervised authorship attribution”</u> , 25th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (KES 2021), September 8-10, 2021. video YouTube: https://www.youtube.com/watch?v=tG65I7wkqWI

Tabel 2 - Prezentările din cadrul conferințelor aferente publicațiilor din secțiunea anterioară.

3 CONCLUZII

În prezentul raport au fost prezentate rezultatele originale obținute în urma cercetărilor efectuate în cadrul proiectului în scopul îndeplinirii obiectivelor științifice și tehnice propuse în planul de realizare pe anul 2021 (Etapa 1). Pentru fiecare obiectiv prevăzut în planul de realizare pe anul 2021, am indicat modul în care au fost îndeplinite activitățile aferente.

Sintetizăm rezultatele obținute în cadrul proiectului pe anul 2021 ca fiind următoarele: (1) studiul literaturii în direcția predicției defectelor software, taxonomii de tipuri de defecte și evaluarea mentenabilității sistemelor software; (2) stabilirea arhitecturii sistemului QuaDeep; (3) pagina web a proiectului (<http://www.cs.ubbcluj.ro/quadeep>); (4) raport științific și tehnic anual; (5) articole științifice prin care s-au diseminat rezultatele originale obținute în cadrul Etapei 1 de implementare a proiectului.

Diseminarea rezultatelor obținute în cadrul proiectului în anul 2021 a fost realizată prin publicarea a 7 articole științifice: 2 publicații în reviste cotate ISI (WoS), cu factori de impact (conform JCR 2020) 1.696 și 2.258; 5 publicații în volume ale unor conferințe internaționale indexate WoS.

Ca urmare, criteriul minim de performanță prevăzut (cel puțin un articol acceptat pentru publicare într-un jurnal ISI cu factor mare de impact și cel puțin 3 publicații) a fost îndeplinit. De asemenea, obiectivele planificate pe anul 2021, cât și activitățile aferente acestora au fost realizate în totalitate, și desfășurate conform cu planul de realizare al proiectului.