

Raport Științific și Tehnic

SAGE: O Simbioză între Verificarea Satisfiabilității, Rețele Neuronale pe Grafuri și Calculul Simbolic

Conform cerințelor publicate pe site-ul UEFISCDI (<https://uefiscdi.gov.ro/proiecte-de-cercetare-pentru-stimularea-tinerelor-echipe-independente>),

prezentul raport trebuie să îndeplinească următoarele cerințe:

1. să aibă max. 20 pag;
2. să conțină descrierea științifică cu punerea în evidență a rezultatelor etapei anuale și gradul de realizare a obiectivelor;
3. să prezinte un sumar al progresului (livrabile realizate, indicatori de rezultat, diseminarea rezultatelor, justificare diferențe, dacă e cazul);
4. Să includă un rezumat executiv al activităților realizate în perioada de implementare (max. 1 pag.). Acesta poate fi publicat de către Autoritatea Contractantă în pagina web a competiției.

Itemii 1-3 sunt abordați în descrierea aferentă raportului științific și tehnic, iar itemul 4 este realizat în Anexa 1 fiind un document de sine stătător.

Identificare

Contractor: Universitatea de Vest din Timișoara (UVT)

Director de proiect: Mădălina Erașcu

Cod: PN-III-P1-1.1-TE-2021-0676

Etapa 1: Septembrie - Decembrie 2022

Pagina web: <https://merascu.github.io/links/SAGE.html>

Echipă proiect

Conf. Dr. Mădălina Erașcu - director de proiect

Conf. Dr. Adrian Crăciun - cercetător

Inf. Andreea Postovan - cercetător junior (membru masterand)

Inf. Ioan-Vlad Luca - cercetător junior (membru masterand)

Colaboratori externi

Inf. Eduard Laitin - cercetător junior (membru masterand)

Inf. Marcus Ilisie - cercetător junior (membru masterand)

Obiectivele Proiectului

Obiectivul general proiectului este de a avansa teoria de ultimă generație și algoritmi de verificare a satisfiabilității, calcul simbolic și rețele neuronale binarizate pentru rezolvarea problemelor de satisfacere a constrângerilor pe scară largă. Ne propunem să:

(O1) oferim o explicație a simetriilor **(O1.1)** și asemănărilor **(O1.2)** pentru probleme practice importante, cum ar fi (a) *gestionarea resurselor în cloud*, (b) *verificarea rețelelor neuronale binarizate* **(O2)** dezvoltăm metode **(O2.1)** pentru spargerea simetriilor în, și **(O2.2)** pentru învățarea șabloanelor din problemele enumerate mai sus.

(O3) inventăm teorie și algoritmi pentru (O3.1) abstractizarea simetriilor acestor studii de caz și pentru descrierea tehnicilor de rupere a simetriei folosind teoria grupurilor invariante și rezolvarea SAT/SMT; (O3.2) învățarea șabloanelor de probleme prin formalizarea problemei ca rețea neuronală pe grafuri și aplicarea bibliotecilor existente de rețele neuronale pe grafuri pentru diferite predicții (O4) studiem eficiența computațională a tehnicilor de rupere a simetriei și a șabloanelor nou dezvoltate; (O5) pentru, în cele din urmă, rezolvarea automată a problemelor de satisfacție a constrângerilor la scară largă.

Rezumatul Etapei 1

Obiectivele etapei 1 (septembrie - decembrie 2022) au fost varianta preliminară pentru:

- Identificarea de simetrii și metodele de rupere a simetriilor, precum și de a învăța șabloane de probleme pentru două cazuri de utilizare relevante: *managementului resurselor Cloud* și *rețele neuronale binarizate* (obiectiv O1)
- Formularea problemei de managementului resurselor Cloud ca o problemă de rețele neuronale pe grafuri pentru a învăța șabloane de probleme pentru care găsirea optimului este mai ușor de găsit, deoarece poate fi prezis în prealabil (obiectiv O2).

Activitățile aferente îndeplinirii obiectivelor sunt:

Activitate 1.1	Identificarea simetriilor și investigarea tehnicilor de rupere a simetriei pentru studiul de caz: management al resurselor în Cloud (varianta intermediară)
Activitate 1.2	Identificarea simetriilor și investigarea tehnicilor de rupere a simetriei pentru studiul de caz: verificarea proprietăților rețelelor neuronale binarizate (varianta intermediară)
Activitate 1.3	Identificarea asemănărilor și investigarea modului în care șabloanele de învățare sunt aplicabile pentru studiul de caz: managementul resurselor în Cloud (varianta preliminară)
Activitate 1.4	Creare site web

Gradul de îndeplinire a obiectivelor etapei

Obiectivul științific și tehnic al etapei a fost îndeplinit în totalitate, cum vom prezenta în secțiunea **Descriere științifică și tehnică**.

Descriere științifică și tehnică

Reamintim pachetele de lucru și sarcinile stabilite pentru etapa 1 a proiectului în descrierea inițială. După cum se observă, la momentul actual activități aferente WP1 și WP2 sunt active. Acestea sunt activitățile 1.1 - 1.4 enumerate mai sus, iar activitățile din WP2 vor începe la 1 decembrie deci nu putem raporta rezultate asupra lor la momentul actual.

WP / Task	Name	Start Month	End Month
WP1	Case Studies Analysis		
T1.1	Identification of symmetries and investigation of the symmetry breaking techniques for the Case Study A (resource provisioning in the Cloud)	M01	M12
T1.2	Identification of symmetries and investigation of the symmetry breaking	M01	M12

	techniques for the Case Study B (property verification of BNNs)		
T1.3	Identification of similarities and investigation of how the learning templates are applicable for Case Study A (resource provisioning in the Cloud)	M01	M12
WP2	Theoretical and Algorithmic Framework		
T2.1	Suitable abstraction techniques for symmetries and symmetry breaking	M03	M18
T2.2	Theoretical framework for symmetry breaking	M03	M18
T2.3	Algorithmic framework for template learning	M03	M18
WP3	Integrated Framework		
T3.1	Architecture definition and support tools	M06	M12
T3.2	Implementation of the symmetry breaking framework	M09	M21
T3.3	Integration of the learning templates	M09	M21
T3.4	Validation of the implementation	M12	M24
WP4	Dissemination and Project Management		
T4.1	Dissemination, communication, exploitation	M01	M24
T4.2	Project Management	M01	M24

Activitatea 1.1 Identificarea simetriilor și investigarea tehnicilor de rupere a simetriei pentru studiul de caz: management al resurselor în Cloud (varianta intermediară)

Activitatea 1.1, începută conform planului la 1 septembrie, se desfășoară pe 3 direcții:

- Împreună cu masterandul Marcus Ilisie (colaborator extern al proiectului) am încercat timp de 2 luni să îmbunătățim codificarea în CPLEX [1] a studiului de caz privind managementul resurselor în Cloud. Aceasta a fost o extensie naturală a lucrării [2] mai ales că rezultatele obținute cu CPLEX au fost semnificativ inferioare celor cu Z3 [3] deși CPLEX este folosit în context industrial. Motivele pentru care CPLEX este inferior computațional sunt că (1) toolul introduce automat variabile auxiliare iar (2) unele echivalențe logice introduse explicit de noi nu sunt necesare ci este suficient să fie înlocuite cu implicații. Astfel că (1) am căutat în documentație/manuale de utilizare motivele pentru care se introduc aceste variabile și (2) să înlocuim comenzile care introduc echivalențe cu comenzi care introduc implicații logice. Pentru (1) nu am găsit nicio referință și nu am primit răspuns pe forumul dedicat toolului. Pentru (2), am încercat utilizarea a 2 variante (`add_if_then` și `add_indicator`) [4] dar care nu au putut fi integrate în model obținând erori de compilare. După 2 luni și jumătate în care masterandul s-a familiarizat cu toolul deja existent [5] și am încercat împreună îmbunătățirea codificării, am decis să renunțăm la această direcție fiindcă nu părea să ducă la niciun rezultat nou și care să îmbunătățească semnificativ pe cele existente. Continuăm cu identificarea simetriilor, investigarea tehnicilor de rupere a simetriei și implementarea lor în toolul Z3 pentru care până în prezent [6] am obținut cele mai eficiente rezultate din punct de vedere computațional.
- Împreună cu masterandul Eduard Laitin (colaborator extern al proiectului) suntem în proces de adaptare a tehnicilor de rupere a simetriilor dezvoltate în [2] în mediul Kubernetes utilizat la scară largă în automatizarea găzduirii aplicațiilor containerizate în Cloud, scalarea și managementul acestora. Ținta este să facem o comparație între scheduler-ul Kubernetes [7] care este rapid însă neoptim (se bazează pe euristici) și un scheduler bazat pe rezultatele din [2] din punct de vedere computațional, metodele din [2] fiind optime. Activitățile derulate până în prezent au fost familiarizarea cu toolul [2] care va trebui adaptat pentru Kubernetes și înțelegerea conceptelor Kubernetes. În perioada următoare vom începe implementarea scheduler-ului și testarea lui pe un studiu de caz simplu (se exemplu Secure Web Container din [2]).

3. Împreună cu cercetătorul Adrian Crăciun am început realizarea unui cadru formal de descriere a simetriilor problemei de management al resurselor în Cloud. Până la momentul actual am citit și înțeles cum se aplica teoria invariantilor pentru problema noastră [8,9]. Problema pe care trebuie să o rezolvăm este, simplificată pentru exemplificare, următoarea: dându-se, de exemplu, funcția de optimizare $f = p_1 \cdot (a_{11} + a_{21}) + p_2 \cdot (a_{21} + a_{22})$, pentru a aplica teoria invariantilor trebuie să lucrăm într-un inel de polinoame. În funcția f , p_1 și p_2 sunt prețurile a 2 mașini virtuale care vor fi achiziționate iar a_{ij} sunt valori booleene cu semnificația $a_{ij}=1$ dacă componenta i este pe mașina j și 0 în caz contrar. Operația $+$ din $a_{11} + a_{21}$ și $a_{21} + a_{22}$ este de fapt un sau logic, adică $a_{11} + a_{21} \leq 1$, chiar dacă $a_{11} + a_{21} = 1$. Cu alte cuvinte, plătești prețul mașinii o dată, chiar dacă mașina găzduiește mai multe componente. Astfel că inelul cu care lucrăm nu este cel clasic cu operațiile $+$ și $*$ ci conține operațiile $+$ și sau logic. Teoria invariantilor lucrează cu inelul cu operațiile $+$ și $*$ astfel că invariantii obținuți sunt exprimați cu aceste operații care nu știm cum să le interpretăm în cadrul nostru $*$ și sau logic. În prezent lucrăm la aspectul care implică structura algebrică cu operațiile $+$ și sau logic și interpretarea invariantilor obținuți pentru problema de management al resurselor în Cloud.

Activitatea 1.2 Identificarea simetriilor și investigarea tehnicilor de rupere a simetriei pentru studiul de caz: verificarea proprietăților rețelelor neuronale binarizate (varianta intermediară)

În această activitate sunt implicate masteranda Andreea Postovan și directorul de proiect Mădălina Erașcu. Activitatea a început în 1 septembrie 2022 conform planului inițial.

Rețele neuronale binarizate (BNNs) [10] sunt rețele neuronale profunde cu greutatea (weights) și activări (activations) binare în timpul rulării. Acestea reduc substanțial dimensiunea și accesul la memorie și înlocuiesc majoritatea operațiilor aritmetice cu operații pe biți, deci sunt utile în a fi utilizate pe dispozitive cu memorie și spațiu limitate, de exemplu dispozitivele din vehicule care facilitează condusul autonom.

Până în acest moment:

- Am analizat literatura referitoare la verificarea rețelelor neuronale binarizate ([11,12] fiind doar câteva). Din lucrările analizate și din comunicare prin email cu unii dintre autorii acestor lucrări a rezultat necesitatea de a reproduce rezultatele acestor lucrări deoarece modelele nu au fost puse la dispoziție publicului. Acest lucru nu a fost prevăzut inițial printre activitățile proiectului. Am reușit să reproducem rezultatele menționate în lucrări. Totuși, pentru seturi de date conținând semne de circulație (recunoașterea unui semn de circulație este deosebit de importantă în condusul autonom), modelele reproduse din lucrările existente au acuratețe scăzută, astfel că a trebuit să construim unele noi.
- Am realizat un studiu numit ablation study pentru determinarea unor arhitecturi cât mai simple dar a căror acuratețe, atunci când sunt testate cu semne de circulație, să fie peste 90%. Setul de date folosit pentru antrenare și validare a fost cel aferent semnelor de circulație germane dar, în prezent lucrăm la modificarea arhitecturii astfel încât să obținem o acuratețe bună și pentru alte seturi de date pentru semne de circulație, de exemplu <https://github.com/citlag/European-Traffic-Signs>. Planul este să terminăm această activitate cel târziu la sfârșitul lui ianuarie 2023 pentru a ne concentra pe activitatea de verificare a rețelelor neuronale binarizate care este de fapt scopul în proiect.

Activitatea 1.3 Identificarea asemănărilor și investigarea modului în care șabloanele de învățare sunt aplicabile pentru studiul de caz: managementul resurselor în Cloud (varianta preliminară)

În propunerea de proiect, pentru această activitate era prevăzută o poziție de doctorand însă nu s-a reușit recrutarea unui candidat după admiterea din luna septembrie. Pentru a nu întârzia activitățile, am cerut transformarea poziției într-una de masterand pentru un an, reușind angajarea masterandului Vlad-Ioan Luca începând din 15 noiembrie. Activitatea a început totuși de la 1 septembrie fiind realizată de către directorul de proiect. Până în prezent am investigat cum am putea aplica șabloanele de învățare prin consultarea literaturii (1) de învățare automată (machine learning), în general, și rețele neuronale pe grafuri (graph neural networks), în particular, în conjuncție cu probleme de satisfacere a constrângerilor (constraint satisfaction problems) [13], (2) studii de caz ale rețelelor neuronale pe grafuri, în particular problema comis-voiajorului [14]. Ca și direcție, ne focusăm pe:

- (2), adică vom încerca să adaptăm metodele din [14] pentru realizarea unei arhitecturi de rețea neuronală pe grafuri care să prezică, pe baza datelor istorice, legăturile dintre noduri, în cazul nostru, asignarea de componente pe mașini virtuale. O astfel de arhitectură poate fi folosită ulterior în ghidarea unui solver de rezolvare cu constrângeri (constraint satisfaction solver) pentru a obține rezultate computaționale mai rapide decât solvele ce utilizează metode exacte (de exemplu, Z3 [3]).
- Investigăm utilitatea librăriilor existente (de exemplu dgl) pentru a fi adaptate pentru problema de management al resurselor în Cloud [15].

Activitatea 1.4

Site-ul web al proiectului este la adresa: <https://merascu.github.io/links/SAGE.html>.

Diseminare

Conferințe

Înainte de începerea proiectului, în 12 august 2022, am participat la *7th International Workshop on Satisfiability Checking and Symbolic Computation, August 12, 2022, Haifa, Israel, Part of IJCAR 22, at FLOC 2022*. În prezent pregătim versiunea de lucrare pentru a fi publicată în proceedings electronice ale conferinței (see <http://ceur-ws.org/>): *Bogdan David and Madalina Erascu - Automatic Deployment of Component-based Applications in the Cloud*.

Alte tipuri de diseminare

- Mădălina Erașcu și Andreea Postovan vor prezenta în cadrul seminarului științific al Departamentului de Informatică, Universitatea de Vest din Timișoara (7 decembrie, ora 18) despre Verificarea Rețelelor Neuronale Binarizate (<http://research.info.uvt.ro/wiki/ScientificSeminar>); în legătură cu O1 și O2, studiul de caz verificarea proprietăților rețelelor neuronale binarizate).
- Mădălina Erașcu va fi membru al comitetului de program al celei de-a 16-a ediții a Conference on Intelligent Computer Mathematics (CICM 2023), 4 - 8 septembrie 2023, Cambridge, Marea Britanie (<https://cicm-conference.org/2023/cicm.php>).
- Am fost selectați să prezentăm la Demo Day a ADRVest Accel (<https://www.adrvestaccel.ro>), pe 11 noiembrie. Principalul feedback a fost că trebuie să ne găsim piața și să ne definim mai

bine avantajul competitiv. Anterior, în septembrie fusesem selectați în programul de accelerare ADRVest Accel, primul accelerator susținut de Agenția de Dezvoltare Regională de Vest. Scopul nostru a fost să verificăm oportunitatea de afaceri a unei soluții SaaS pentru planificarea/implementarea automată a resurselor pentru companiile care doresc să-și mute aplicațiile bazate pe componente în Cloud pentru a-și reduce costurile, timpul și greșelile de planificare/ implementare; în legătură cu O1 și O2, studiul de caz managementului resurselor Cloud.

- Începând cu octombrie 2022, Mădălina Erașcu este președintele WG3 (Program Verification) al acțiunii COST EuroProofNet - European Research Network on Formal Proofs (<https://europroofnet.github.io>).
- Mădălina Erașcu va fi speaker invitat la Seminarul Dagstuhl 23401 Automated mathematics: integrating proofs, algorithms and data, 1-6 octombrie 2023, Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik în Germania (<https://www.dagstuhl.de/en/program/calendar/semhp/?semnr=23401>)
- Mădălina Erașcu a fost chair al comitetului de program al Programului de Doctorat din cadrul celei de-a 15-a ediții a Conference on Intelligent Computer Mathematics (CICM 2022), 19 - 23 septembrie 2022, Tbilisi, Georgia (<https://cicm-conference.org/2022/cicm.php>).
- Mădălina Erașcu a fost membru în comitetul de program al celei de-a 15-a ediții a Conference on Intelligent Computer Mathematics (CICM 2022), 19-23 septembrie 2022, Tbilisi, Georgia (<https://cicm-conference.org/2022/cicm.php>).

Buget

Costurile de personal sunt conforme cu efortul depus și estimările inițiale, cu observația că echipa a devenit completă de la 15 noiembrie 2022 când poziția inițială de membru doctorand a fost transformată într-una de masterand pentru o perioadă de 1 an din cauza imposibilității de a găsi un student doctorand interesat de rețele neuronale pe grafuri (directorul de proiect nu are teza de abilitare) și a nu întârzia prea mult activitățile proiectului.

Concluzii

- Obiectivele etapei au fost îndeplinite în totalitate.
- Implementarea conceptelor este în faza incipientă.
- Cooptarea în echipa de proiect a membrului care să lucreze în activitățile legate de rețele neuronale pe grafuri de la 15 noiembrie, și nu din 1 septembrie, nu este reflectată în întârzieri în activități.
- Abaterile de la buget (ordonanță ministerială prin care 5% din bugetul din 2022 este transferat în 2023) nu sunt reflectate în întârzieri de activități.
- Au existat activități de diseminare variate.

Referințe

[1] IBM ILOG CPLEX Optimizer - <https://www.ibm.com/products/ilog-cplex-optimization-studio/cplex-optimizer>

[2] M Erașcu, F Micota, D Zaharie. *Scalable optimal deployment in the cloud of component-based applications using optimization modulo theory, mathematical programming and symmetry breaking*. Journal of Logical and Algebraic Methods in Programming 121, 100664

- [3] L. De Moura and N. Bjørner. *Z3: An Efficient SMT Solver*. in Proceedings of the Theory and Practice of Software, 14th International Conference on Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems (TACAS'08/ETAPS'08), 2008, pp. 337–340.
- [4] IBM ILOG CPLEX Optimizer -
<https://ibmdecisionoptimization.github.io/docplex-doc/mp/docplex.mp.model.html>
- [5] <https://github.com/BogdanD02/Cloud-Resource-Provisioning>
- [6] B. David and M. Eraşcu. *Benchmarking Optimization Solvers and Symmetry Breakers for the Automated Deployment of Component-based Applications in the Cloud*. To appear in Proceedings of the 7th International Workshop on Satisfiability Checking and Symbolic Computation August 12, 2022, Haifa, Israel. Part of IJCAR 22, at FLOC 2022
- [7] <https://kubernetes.io>
- [8] B. Sturmfels, B. *Algorithms in invariant theory*. Springer Science & Business Media (2008).
- [9] D. Cox, J. Little, & D. OShea. *Ideals, varieties, and algorithms: an introduction to computational algebraic geometry and commutative algebra*. Springer Science & Business Media (2013).
- [10] I. Hubara, M. Courbariaux, D. Soudry, R. El-Yaniv, and Y. Bengio. *Binarized neural networks*. In Advances in Neural Information Processing Systems, 2016.
- [11] N. Narodytska, S. Kasiviswanathan, L. Ryzhyk, M. Sagiv, & T. Walsh. *Verifying Properties of Binarized Deep Neural Networks*. Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, 32(1), (2018). <https://doi.org/10.1609/aaai.v32i1.12206>
- [12] G. Amir, H. Wu, C. Barrett, & G. Katz. *An SMT-based approach for verifying binarized neural networks*. In International Conference on Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems (pp. 203-222), 2021. Springer, Cham.
- [13] Q. Cappart, D. Chételat, E. Khalil, A. Lodi, C. Morris, & P. Veličković . *Combinatorial optimization and reasoning with graph neural networks*. (2021) *arXiv preprint arXiv:2102.09544*.
- [14] C. K. Joshi, T. Laurent, & X. Bresson. *An efficient graph convolutional network technique for the travelling salesman problem*. (2019) *arXiv preprint arXiv:1906.01227*.
- [15] <https://docs.dgl.ai/index.html>

Anexa 1

Rezumat executiv al activităților realizate în cadrul proiectului *SAGE: O Simbioză între Verificarea Satisfiabilității, Rețele Neuronale pe Grafuri și Calculul Simbolic*

Contractor: Universitatea de Vest din Timișoara (UVT)

Cod: PN-III-P1-1.1-TE-2021-0676

Etapa 1: Septembrie - Decembrie 2022

Pagina web: <https://merascu.github.io/links/SAGE.html>

Echipa proiectului

Conf. Dr. Mădălina Erașcu - director de proiect

Conf. Dr. Adrian Crăciun - cercetător

Inf. Andreea Postovan - cercetător junior (membru masterand)

Inf. Ioan-Vlad Luca - cercetător junior (membru masterand)

Colaboratori externi

Inf. Eduard Laitin - cercetător junior (membru masterand)

Inf. Marcus Ilisie - cercetător junior (membru masterand)

Problemă

Viața noastră depinde de software și sisteme care folosesc software. În zilele noastre, software-ul este complex și, prin urmare, este predispus la erori. Pentru a depăși această problemă, avem nevoie de metode pentru a sprijini dezvoltarea software-ului.

Soluție

Acest proiect abordează problema provocatoare a analizei software prin dezvoltarea de tehnici matematice riguroase care se ocupă de părțile complexe ale software-ului. În acest scop, vom folosi, rafina și combina metode de verificare a satisfacerii de constrângeri, rețele neuronale pe grafuri și calcul simbolic. Acestea vor face posibilă analiza software-ului care depășește puterea metodelor existente, deoarece tehnici avansate de calcul simbolic (teoria invarianților), rețele neuronale pe grafuri și combinarea lor cu metode de satisfacere de constrângeri (unelte SAT/SMT) nu este exploatată în literatură.

Metodologie

Vom dezvolta noi teorii și algoritmi care detectează simetrii ale problemei și similitudini între probleme din aceeași familie prin combinarea teoriei invarianților, a rețelelor neuronale pe grafuri și a metodelor SAT/SMT care, spre deosebire de metodele curente, ar permite rezolvarea eficientă a problemelor intractabile din punct de vedere teoretic.

Proiectul nostru de cercetare vizează analiza software-ului complex și urmărește trei direcții principale de cercetare: (1) Metode de eliminare a simetriilor și de învățare a similitudinilor între probleme, (2) Teorie și algoritmi, (3) Instrumente și evaluări.

Activități aferente Etapei 1 (septembrie - decembrie 2022)

- *Activitate 1.1. Identificarea simetriilor și investigarea tehnicilor de rupere a simetriei pentru studiul de caz: management al resurselor în Cloud (varianta intermediară).*
- *Activitate 1.2. Identificarea simetriilor și investigarea tehnicilor de rupere a simetriei pentru studiul de caz: verificarea proprietăților rețelelor neuronale binarizate (varianta intermediară)*
- *Activitate 1.3. Identificarea asemănărilor și investigarea modului în care șabloanele de învățare sunt aplicabile pentru studiul de caz: managementul resurselor în Cloud (varianta preliminară)*
- *Activitate 1.4. Creare site web.* Acesta este accesibil la <https://merascu.github.io/links/SAGE.html>.

Concluziile Etapei 1

- Obiectivele etapei au fost îndeplinite în totalitate.
- Implementarea conceptelor este în faza incipientă.
- Cooptarea în echipa de proiect a membrului care să lucreze în activitățile legate de rețele neuronale pe grafuri de la 15 noiembrie, și nu din 1 septembrie, nu este reflectată în întârzieri în activități.
- Abaterile de la buget (ordonanță ministerială prin care 5% din bugetul din 2022 este transferat în 2023) nu sunt reflectate în întârzieri de activități.
- Au existat activități de diseminare variate.