

თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენება პაპირუსის გრაგნილებზე არსებული ხელნაწერების ავტორის იდენტიფიკაციისათვის

აბსტრაქტი. თანამედროვე ეტაპზე კულტურული მემკვიდრეობის აჩვენაქვებიდან ტექსტის გაჩვენადობის პიოცესი, მიმდინაჲობს ვიჲტუადუჲად, ხედოვნუჲი ინტედექტის ტექნოლოგიების გამოყენებით, ჲაც ახადი სამეცნიერო მიღწევაა. ხედოვნუჲი ინტედექტი ასევე შეიძლება იყოს ღიჲებული ინსტრუმენტი პაპირუსის გჲაგნიდებზე აჲსებული ტექსტების ავგოჲების იდენტიფიკაციისათვის. მკვდევეებს შეუძლიათ გამოიყენონ მეთოდოლოგიები, ჲომდებიც მოიცავს გამოსახუდების დამუშავებას, ნიშნების ამოცნობას, მანქანუჲი და ღჲმა სწავდების ადგოჲითმებს აჲსებული მონაცემების გასაანალიზებდად და ინფოჲმიჲებული გადაწყვეტიდებების მისაღებად. ნაშჲომის სამეცნიერო სიახდუა პაპირუსის გჲაგნიდებზე აჲსებული მონაცემების შეფასება და ტექსტების ავგოჲის ამოცნობა, სხვადასხვა მიდგომების გამოყენებით. ექსპერიმენტების შედეგად გამოიკვეთა საუკეთესო კლასიფიკაციის შედეგი, ჲომედიც კონვოლუციუჲი ნეირონუდი ქსედებით (CNN) ResNet50 იქნა მიღებული. აღნიშნუდი პიობდემის გადასაქჲედად შევიმუშავეთ კოდი პიოგჲამუდ უზჲუნვედყოფა python-ში, ჲომედიც შესაძლებელია შესჲუდდეს ნებიემიერო პაპირუსის მოდებზე OMSimulator სიმუდაგოჲზე განსახოჲიელებდად.

საკვანძო სიტყვები: პაპირუსის გრაგნილები, ავტორის იდენტიფიკაცია, კონვოლუციური ნეირონული ქსელი, python.

შესავალი

თანამედროვე ეპოქაში შეიმუშავეს კარგად განსაზღვრული პროგრამული უზრუნველყოფა, რომელსაც შეუძლია დააფიქსიროს არტიკულირებული ენა და გადასცეს იგი მომავალ თაობებს. მისი წყალობით შესაძლებელია წარსული მოვლენების შესახებ ცნობიერების ამაღლება. ისტორიული მასალის რეკონსტრუქციისას ბოლო წლებში წარმოიშვა მრავალი დისციპლინა, რომლებიც ეძღვნება უძველესი ტექსტების წყაროების შესწავლას, რეკონსტრუქციას და ინტერპრეტაციას. ერთ-ერთი მათგანია პაპიროლოგია.

პაპიროლოგიის სფეროში კვლევები არ არის ორიენტირებული მხოლოდ პაპირუსის თითოეული ფრაგმენტის ტრანსკრიფციაზე, არამედ სხვა რთულ ამოცანებზეც, როგორიცაა დიგიტალიზაცია, დოკუმენტის გაუმჯობესება, ავტორის იდენტიფიკაცია, გამოყენებული მასალების ამოცნობა, ტრანსკრიფციის შესრულების ადგილის განსაზღვრა.

განვიხილავთ სხვადასხვა პროექტს, რომელიც მიზნად ისახავს ძველ ბერძნულ პაპირუსის გრაგნილებზე არსებული მონაცემების შეფასებას და ტექსტების ავტორის ამოცნობას, სხვადასხვა მიდგომების გამოყენებით.

2019 წელს, გეტის მუზეუმში ბრენტ სილსის პრეზენტაციაზე წარმოდგენილი იყო ვიდეო, სადაც ნაჩვენები იყო, თუ როგორ გამოიყენეს ჰერკულანიუმის ფრაგმენტი ხელოვნური ინტელექტის ექსპერიმენტში, რათა მიკრო-კომპიუტერული ტომოგრაფიით ზუსტად გამოევლინათ ბერძნული იეროგლიფი. (Gessel et al. 2021).

ერთ-ერთ პროექტში ჯეიმს ბრუსუელამ გამოიყენა 3D კონვოლუციური ნეირონული ქსელი (3DCNN), სადაც ხელოვნური ინტელექტის ინსტრუმენტები მოქმედებდა P.Herc.Paris Objet 59-ის ხილული ფენის ერთ ნახევარზე, ხოლო მეორე მხარე შეფასებისა და პროგნოზირებისათვის იყო განკუთვნილი. (Gibson et al. 2018, 7).

უახლოეს პერიოდში EduceLab-ში შექმნილი ხელოვნური ინტელექტის საწყისი მეთოდი გამოქვეყნდა (Parker et al. 2019). მეცნიერებაში ამ მიდგომის შეჯამებაა საჭირო, განსაკუთრებით იმისათვის, რომ პროცესი პაპიროლოგიური და ციფრული ჰუმანიტარული მეცნიერებების ფართო აუდიტორიისათვის იყოს ხელმისაწვდომი.

ვირჯინიის თანამეგობრობის უნივერსიტეტის პროფესორების ნიკოლ კილიასა და სხვების მიერ განხორციელებულ პროექტში, შემუშავებულ იქნა სისტემა, რომელიც ეყრდნობა ღრმა სწავლების (DL) ტექნიკას, ხელნაწერის მიხედვით ავტორის ამოცნობის პროცესის ავტომატიზაციისათვის. (Cilia, 2024, 347-357).

არსებული პაპირუსები განლაგებულია და გამოფენილია მსოფლიოს სხვადასხვა კუთხეში და წარმოადგენს მნიშვნელოვან დოკუმენტებს მხატვრული და კულტურული მემკვიდრეობის თვალსაზრისით. სურათებს აქვთ სხვადასხვა ზომა და გარჩევადობა.

პაპირუსის ფრაგმენტების უმეტესი ნაწილისათვის გაუარესებული მდგომარეობის გამო, პაპიროლოგიური ტრანსკრიფციისა და იდენტიფიკაციის ამოცანები უკიდურესად რთულია. თითოეული პაპირუსი განსხვავებულია, რადგან თითოეულზე დეგრადაციის გარკვეული დონე მოქმედებს, რაც ავლენს დაკარგულ ნაწილებს.

GRK-პაპირუსები (Mohammed, et al, 2019, 726–31), რომელიც გამოიყენეს ამ პროექტში ავტორის იდენტიფიცირებისათვის, შედგება 122 სურათისგან და განაწილებულია 23 ავტორისათვის.

=	ავტორი	პაპირუსის =
1	აბრაამიოსი	21
2	ამაისი	1
3	ანდრეასი	4
4	ანუფისი	1
5	აპა რასიოსი	4
6	დიოსი	15
7	დიოსკორე	5
8	დაუეიტი	1

9	პერმაუოსი	5
10	იერემიასი	2
11	ისააკი	8
12	კოლოეთოსი	2
13	კონსტანტინოსი	2
14	კიროსი (1)	9
15	კიროსი (2)	1
16	კიროსი (3)	5
17	მინასი	5
18	ფილოთეოსი	3
19	პილატოსი	10
20	ფსატესი	2
21	თეოდოსიოსი	5
22	ვიქტორი (1)	10
23	ვიქტორი (2)	1

ცხრილი 1: ავტორები და მათი კუთვნილი პაპირუსების რაოდენობა

ექსპერიმენტში გამოსახულების წინასწარი დამუშავების ეტაპზე განხორციელდა მონაცემთა ნაკრების პიქსელების განლაგება ნაცრისფერ ტონებში ერთგვაროვანი ფონით. (სურ.1).

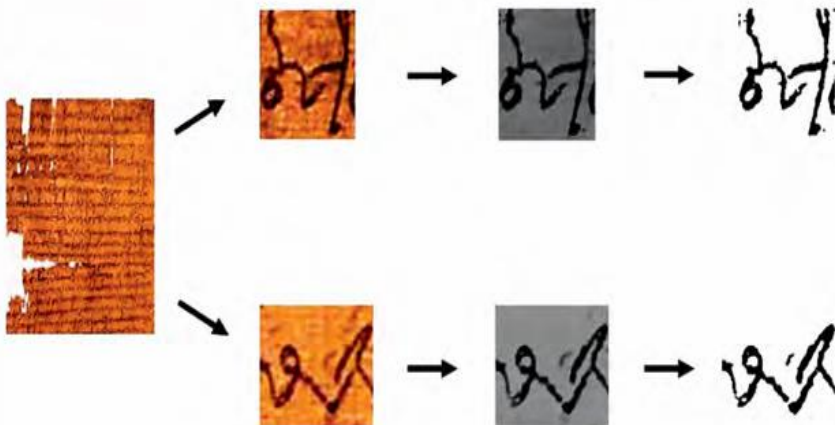


სურ. 1: ორიგინალი სურათების დამუშავება ნაცრისფერ ტონებში.
(Nicole Dalia Cilia – Tiziana D'Alessandro – Claudio De Stefano – Francesco Fontanella).

კლასიფიკაციის ფაზა შესრულდა სურათების ხუთ მონაცემთა ნაკრებზე. სისტემის სტაბილურობისათვის გამოიყენეს K-Fold ჯვარედინი ვალიდაციის სტრატეგია. კონვოლუციური ნეირონული ქსელი (CNN), რომლებიც წინასწარ იყო მომზადებული ImageNet-ის საჯარო მონაცემთა ნაკრებზე, (Deng,2019, 248–55) გამოიყენა DL ტექნიკის საშუალებით.

გამოსახულების წინასწარი დამუშავების პროცედურა განმეორდა თითოეული პაპირუსისთვის Labellmg პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით, რომელმაც შედეგად დააბრუნა .xml ფაილი, რომელიც შეიცავს ინფორმაციას გამოსახულებაზე აღმოჩენილი თითოეული ინტერესის არეალის შესახებ. (სურ.2)

შემდეგ ეტაპზე განხორციელდა მონაცემთა გაუმჯობესება და ბინარიზაცია. დოკუმენტის გაუმჯობესება გულისხმობს სურათების აღქმის ხარისხის გაუმჯობესებას და სურათებიდან დეგრადაციისა და არტეფაქტების მოცილებას. დოკუმენტის ბინარიზაცია კი აცალკევებს ტექსტს მიკუთვნებულ თითოეულ პიქსელს ფონის მიკუთვნებული პიქსელებისგან.



სურ. 2: ორიგინალური ლოკალიზებული ნაწილების(ლაქების) ამოღება.

გაუმჯობესების ეტაპი განხორციელდა DeepOtsu მეთოდის მიხედვით. (He & Schomaker, 2018: 64-74) გაუმჯობესების შედეგის მიხედვით შესაძლებელი იყო მრავალი იტერაციის შესრულება. რამდენიმე იტერაციის შემდეგ, გამოშავალი მონაცემები იყო გაუმჯობესებული და მისი ბინარიზაცია შესაძლებელი იყო კლასიკური ბინარიზაციის ალგორითმების, როგორცაა Otsu, მეშვეობით.

OMSimulator Python API-ის გარემოში გამოსაკვლევი ტექსტის სტრიქონები დინამიურად ინტერპრეტირებულია EASE ჩარჩოს მიერ, რაც საშუალებას იძლევა კოდი პირდაპირ გაეუშვას მომხმარებლის ინტერფეისიდან. კოდი დაწერილია Python-ში და უზრუნველყოფს ამ ინტერპრეტატორის საკუთარ ინტეგრაციას.

ამ მიდგომის გამოწვევა იყო აღწერილი კოდების შესრულების უზრუნველყოფა, როგორც პაპირუსის მოდელზე, ასევე OMSimulator-ზე წვდომით, Jupyter Notebook-ის python-ის ინტერპრეტატორის გამოყენებით, რაც ეფექტურად გამხორციელდა.

კლასიფიკაციის ეს მიდგომა მოიცავდა მხოლოდ ორი ავტორის მონაცემთა ერთობლიობას: ჰერმაუოსს და ისაკს. გამოყენებული იქნა K-Fold ჯვარედინი ვალიდაციის სტრატეგია, წინასწარ მომზადებულ ImageNet საჯარო მონაცემთა ნაკრებზე, რომელიც გამოიცადა ღრმა სწავლების (DL) ტექნიკის - Transfer Learning-ისა და Fine Tuning-ის - გათვალისწინებით. საუკეთესო კლასიფიკაციის შედეგი კონვოლუციური ნეირონული ქსელებით (CNN) ResNet50 იქნა მიღებული, თუმცა სხვა ქსელების შედეგები თითქმის იდენტური იყო.

აღნიშნული პრობლემის გადასაჭრელად შევიმუშავეთ კოდი პროგრამულ უზრუნველყოფა python-ში. (სურ.3).

```

1 # name      : Kun Sherpa Simulation
2 #papyropup  : enableFor(org.eclipse.uml2.uml.Class)
3
4 import os
5 import sys
6 import csv
7
8 loadModule("FMI Module")
9 loadModule("/System/Resources")
10
11 include("platform:/plugin/org.eclipse.papyrus.moka.fmi.ease/script/fmi_util.py")
12 import OMSimulator
13
14
15 project = getProject("SherpaPapyrusTestCase")
16 projectPath = project.getRawLocation().makeAbsolutePath().toOSString()
17
18
19 papyrusSimulatorArchi = getSimulatorHandler(getSelection())
20 identifier = papyrusSimulatorArchi.getName()
21 omSimulator = OMSimulator.OMSimulator()
22
23 instantiateArchitecture(omSimulator, papyrusSimulatorArchi)
24
25 resultFile = os.path.join(projectPath, 'simulationResult.mat')
26
27 #Simulation settings
28 omSimulator.setCommunicationInterval(identifier, 1e-3)
29 omSimulator.setResultFile(identifier, resultFile)
30 omSimulator.setStopTime(identifier, 5)
31
32
33 omSimulator.initialize(identifier)
34 omSimulator.simulate(identifier)
35
36 omSimulator.unloadModel(identifier)
37

```

სურ. 3. Python კოდი სიმულაციისათვის

აღნიშნული კოდი შესაძლებელია შესრულდეს ნებიერი პაპირუსის მოდელზე OMSimulator სიმულატორზე განსახორციელებლად.

დასკვნა

კვლევის მთავარი მიზანი იყო ღრმა სწავლებაზე დაფუძნებული კლასიფიკაციის სისტემის ანალიზი პაპირუსების ავტორების იდენტიფიცირებისათვის. ეს მიდგომა სხვადასხვა ფაქტორების გამო მნიშვნელოვან გამოწვევებს წარმოადგენს. ერთ-ერთი გამოწვევაა ხელმისაწვდომი მონაცემების შეზღუდული რაოდენობა და ხარისხი, რაც აუცილებელია ხელოვნური ინტელექტის მოდელების გამოყენებისათვის. უძველესი პაპირუსები, რომლებიც ამ კვლევის ობიექტს წარმოადგენენ, ხშირად განიცდიან მონაცემთა ხელმისაწვდომობის შეზღუდვებს, რადგან ისინი არ მოიცავს ავტორებისა და სტილისტური ვარიაციების ფართო სპექტრს. გარდა ამისა, ამ ისტორიულ არტეფაქტებთან დაკავშირებული შენახვის საკითხები ართულებს ხელნაწერის მკაფიო და ზუსტი ნიმუშების ამოღებას. ისეთ ფაქტორებს, როგორიცაა მკრთალი მელანი, ლაქები ან მასალის სხვა დაზიანება, შეუძლია დაჩრდილოს ორიგინალური დამწერლობა, რაც ართულებს ხელოვნური ინტელექტის ანალიზს.

მომავალი ძალისხმევა რამდენიმე გაუმჯობესებაზე იქნება ორიენტირებული. პირველ რიგში, ყურადღება გამახვილდება დაბალანსებული მონაცემთა ნაკრების ინტეგრაციაზე, მაშინაც კი, თუ ეს მოითხოვს მრავალი ნიმუშის გარჩევადობას. დანერგილი იქნება დახვეწის პროცესი ხელნაწერი ტექსტების საცავის გამოყენებით. ასევე შესწავლილი იქნება ბინარიზაციის მეტი სტრატეგია, რათა აღმოიფხვრას ფონური ინფორმაცია და ქსელს საშუალება მიეცეს, მხოლოდ ავტორის ხელნაწერის ინდივიდუალობაზე გაამახვილოს ყურადღება.

დამონებანი:

1. Cilia N., D'Alessandro T., De Stefano C. and Fontanella F., Writer Identification from Handwriting on Greek Papyri, De Gruyter, 2024. 347-357;
2. Deng, J. – Dong, W. – Socher, R. – Li, L.-J. – Li, K. – Fei-Fei, L. (2009), Imagenet: A Large-scale Hierarchical Image Database, in 2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (Miami, 20–25 June 2009), Piscataway, 248–55;
3. Fontanella, F. – Colace, F. – Molinara, M. – Scotto Di Freca, A. – Stanco, F. (2020), Pattern Recognition and Artificial Intelligence Techniques for Cultural Heritage, Pattern Recognition Letters 138, 23–39;
4. Fournet, J.-L. (2008), ed., Les archives de Dioscore d'Aphrodité cent ans après leur découverte. Histoire et culture dans l'Égypte byzantine, Paris.;
5. Gibson, A., Piquette, K.E., Bergmann, U., Christens-Barry, W., Davis, G., Endrizzi, M. et al. (2018). “An Assessment of Multimodal Imaging of Subsurface Text in Mummy Cartonnage Using Surrogate Papyrus Phantoms”. *Heritage Science*, 6(1), 7;
6. Gessel, K.; Parsons, S.; Parker, C.S.; Seales, W.B. 2021, “Towards Automating Volumetric Segmentation for Virtual Unwrapping”. *Open Archaeology*;
7. Gupta, A. – Kumar, S. – Gupta, R. – Chaudhury, S. – Joshi, S. (2007), Enhancement of Old Manuscript Images, in Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2007), Piscataway, II, 744–8;

8. He, S. – Schomaker, L. (2019), DeepOtsu: Document Enhancement and Binarization using Iterative Deep Learning, *Pattern Recognition* 91, 379–90.
9. He, K. – Zhang, X. – Ren, S. – Sun, J. (2016), Deep Residual Learning for Image Recognition, in 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (Las Vegas, 27–30 June 2016), Piscataway, 770;
10. He S. and Schomaker L., from the University of Groningen, Deep Adaptive Learning for Writer Identification based on Single Handwritten Word Images, 2018, p. 64-74;
11. Jayanthi, N. – Indu, S. – Hasija, S. – Tripathi, P.: Digitization of Ancient Manuscripts and Inscriptions: A Review, in *Advances in Computing and Data Sciences: First International Conference, ICACDS 2016, Ghaziabad, India, November 11–12, 2016, Revised Selected Papers*, Cham, I, 605–12;
12. Mohammed, H. – Marthot-Santaniello, I. – Märgner, V. (2019), GRK-Papyri: A Dataset of Greek Handwriting on Papyri for the Task of Writer Identification, in 2019 International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR), Sydney, Australia, Piscataway, 726–31;
13. Peer, M. – Sablatnig, R. (2023), Feature Mixing for Writer Retrieval and Identification on Papyri Fragments, in 7th International Workshop on Historical Document Imaging and Processing, San Jose, CA, USA, August 2023, New York;
14. Parker, C.S.; Parsons, S.; Bandy, J.; Chapman, C.; Coppens, F.; Seales, W.B. (2019). “From Invisibility to Readability: Recovering the Ink of Herculaneum”. *Public Library of Science, PLOS ONE*, 14(5).