



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ
САДУ

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ
НАУКА У НОВОМ САДУ




Иван Мршуља

Систем за реверзну претрагу слика

МАСТЕР РАД
- Мастер академске студије -

Нови Сад, 2023

	УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА 21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6	Датум:
	ЗАДАТАК ЗА ИЗРАДУ МАСТЕР РАДА	Лист:
		1/1

(Податке уноси предметни наставник - ментор)

Врста студија:	Мастер академске студије
Студијски програм:	Софтверско инжењерство и информационе технологије
Руководилац студијског програма:	проф. др Мирослав Зарић

Студент:	Иван Мршуља	Број	R2 30/2022
Област:	Електротехничко и рачунарско инжењерство		
Ментор:	Др Драган Ивановић, редовни професор		
НА ОСНОВУ ПОДНЕТЕ ПРИЈАВЕ, ПРИЛОЖЕНЕ ДОКУМЕНТАЦИЈЕ И ОДРЕДБИ СТАТУТА ФАКУЛТЕТА ИЗДАЈЕ СЕ ЗАДАТАК ЗА ДИПЛОМСКИ РАД, СА СЛЕДЕЋИМ ЕЛЕМЕНТИМА: <ul style="list-style-type: none"> - проблем – тема рада; - начин решавања проблема и начин практичне провере резултата рада, ако је таква провера неопходна; - литература 			

НАСЛОВ МАСТЕР РАДА:

Систем за реверзну претрагу слика

ТЕКСТ ЗАДАТКА:

Имплементирати систем за реверзну претрагу слика коришћењем модела машинског учења за извлачење тагова и својстава из слике. Пре имплементације потребно је анализирати стање у области, изградити спецификацију захтева и дизајнирати софтверско решење. Након имплементације систем је потребно тестирати и документовати имплементирано решење.
--

Руководилац студијског програма:	Ментор рада:

Примерак за: <input type="checkbox"/> - Студента; <input type="checkbox"/> - Ментора
--

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР:	
Идентификациони број, ИБР:	
Тип документације, ТД:	монографска публикација
Тип записа, ТЗ:	текстуални штампани документ
Врста рада, ВР:	мастер рад
Аутор, АУ:	Иван Мршуља
Ментор, МН:	др Драган Ивановић, редовни професор
Наслов рада, НР:	Систем за реверзну претрагу слика
Језик публикације, ЈП:	српски
Језик извода, ЈИ:	српски / енглески
Земља публикавања, ЗП:	Србија
Уже географско подручје, УГП:	Војводина
Година, ГО:	2023
Издавач, ИЗ:	ауторски репринт
Место и адреса, МА:	Нови Сад, Факултет техничких наука, Трг Доситеја Обрадовића 6
Физички опис рада, ФО:	9 поглавља / 59 страница / 21 цитата / 1 табела / 19 слика / 0 графикона / 8 прилога
Научна област, НО:	Софтверско инжењерство и информационе технологије
Научна дисциплина, НД:	Софтверско инжењерство
Предметна одредница / кључне речи, ПО:	реверзна претрага слика, машинско учење, компјутерска визија
УДК	
Чува се, ЧУ:	Библиотека Факултета техничких наука, Трг Доситеја Обрадовића 6, Нови Сад
Важна напомена, ВН:	
Извод, ИЗ:	Овај рад предлаже алтернативни приступ реверзној претрази слика коришћењем модела машинског учења за извлачење тагова и својстава из слике. Свођењем векторске претраге на претрагу текста, предложени метод повећава ефикасност и тачност претраге слика.
Датум прихватања теме, ДП:	
Датум одбране, ДО:	
Чланови комисије, КО:	
председник	др Стеван Гостојић, редовни професор
члан	др Лидија Ивановић, ванредни професор
ментор	др Драган Ивановић, редовни професор
Потпис ментора	

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :	
Identification number, INO :	
Document type, DT :	monographic publication
Type of record, TR :	textual material
Contents code, CC :	master thesis
Author, AU :	Ivan Mršulja
Mentor, MN :	Dragan Ivanović, full professor, PhD
Title, TI :	Reverse Image Search System
Language of text, LT :	Serbian
Language of abstract, LA :	Serbian / English
Country of publication, CP :	Serbia
Locality of publication, LP :	Vojvodina
Publication year, PY :	2023
Publisher, PB :	author's reprint
Publication place, PP :	Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovića 6
Physical description, PD :	9 chapters / 59 pages / 21 citations / 1 table / 19 images / 0 graphs / 8 attachments
Scientific field, SF :	Software Engineering and Information Technologies
Scientific discipline, SD :	Software Engineering
Subject / Keywords, S/KW :	Reverse image search, machine learning, computer vision
UDC	
Holding data, HD :	Library of the Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovića 6, Novi Sad
Note, N :	
Abstract, AB :	This paper proposes an alternative approach to reverse image search by leveraging machine learning models to extract tags and features from an image. By reducing vector image search to a full-text search, the proposed method improves the efficiency and accuracy of image retrieval.
Accepted by sci. Board on, ASB :	
Defended on, DE :	
Defense board, DB :	
president	Stevan Gostojić, full professor, PhD
member	Lidija Ivanović, associate professor, PhD
mentor	Dragan Ivanović, full professor., PhD
	Mentor's signature

САДРЖАЈ

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА	4
KEY WORDS DOCUMENTATION	5
1. УВОД.....	9
2. ПРЕГЛЕД СЛИЧНИХ СИСТЕМА И СТАЊА У ОБЛАСТИ Error! Bookmark not defined.	
3. КОРИШЋЕНЕ СОФТВЕРСКЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ, ТЕОРИЈСКИ ПОЈМОВИ И ДЕФИНИЦИЈЕ	11
3.1 Spring	15
3.2 FastAPI.....	16
3.2 Vue3	Error! Bookmark not defined.
3.2 Redis.....	Error! Bookmark not defined.
3.2 Elasticsearch.....	18
3.2 Docker	18
3.2 Docker-Compose.....	18
3.2 Конволутивна неуронска мрежа	19
3.2 YOLOv5.....	22
3.2 Kmeans.....	23
4. СПЕЦИФИКАЦИЈА	25
4.1 Спецификација захтјева.....	25
4.1.1 Функционални захтјеви	25
4.1.2 Нефункционални захтјеви	29
4.2 Дизајн система.....	30
4.2.1 Архитектура система	30
4.2.2 Модел података	31
5. ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА.....	33
6. ДЕМОНСТРАЦИЈА.....	45
7. ЕКСПЕРИМЕНТ	49
8. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА	51
9. ЗАКЉУЧАК.....	53
10. ЛИТЕРАТУРА.....	55
11. БИОГРАФИЈА.....	59

1. УВОД

Реверзна претрага слика (*reverse image search*) је техника претраге која омогућава корисницима да пронађу сличне или идентичне слике на интернету користећи већ постојећу слику као улазни параметар [1]. Умјесто да корисници уносе текстуалне упите, могу отпремити слику или унети *URL* слике како би пронашли друге слике са сличним визуелним карактеристикама [2]. Алгоритми за реверзну претрагу слика анализирају кључне елементе слике, као што су боје, облици, текстуре или други визуелни детаљи, како би пронашли слике са сличним карактеристикама из база података или веб страница широм интернета. Ова техника је корисна у многим ситуацијама, као што су проналажење извора слике, идентификација објеката, проналажење сличних визуелних садржаја, откривање плагијата или проналажење више информација о одређеном објекту на слици. Реверзна претрага слика може бити од помоћи у истраживачким, креативним и безбедносним контекстима, пружајући корисницима могућност да пронађу релевантне слике на основу већ постојеће визуелне референце [2].

У овом раду, рјешаван је проблем имплементације једног оваквог система, гдје корисник може унијети произвољну слику као узорачки упит а систем му за исти враћа слике које најбоље одговарају на њега, поред тога, омогућено је и индексирање слика. Такође, адресиран је и проблем великог броја корисника који би потенцијално користили овај систем, те се развој водио праксама сервисно-орјентисане архитектуре гдје је сваки сервис могуће независно скалирати у произвољном обиму.

Ово софтверско рјешење се састоји из два засебна сервиса:

- **сервиса за претрагу и индексирање** имплементираног у *Java Spring Boot* радном оквиру
- **сервиса за процесирање слике** имплементираног у *Python FastAPI* радном оквиру уз ослонац на *OpenCV* и *NumPy* библиотеке за имплементацију и интеграцију неопходних алгоритама машинског учења који се користе приликом процесирања слике

Поред ова два сервиса битно је напоменути и да постоји одвојени *frontend* слој имплементиран у *Vue3* радном оквиру користећи

JavaScript програмски језик. Сервис за претрагу и индексирање комуницира са сервисом за процесирање слике како би извукао својства (*features*) са слике која је задата као узорак за упит. Поред функције проналажења информација и индексирања овај сервис врши и кеширање својстава слике користећи *Redis key-value* базу података како би убрзао вријеме претраге за више сукцесивних упита са истом сликом (приликом листања пагинираних резултата) што представља веома битан фактор у раду овог система како би био погодан за коришћење. Индексирање као и претрага је имплементирана користећи *Elasticsearch* систем за проналажење информација.

Јединственост овог рјешења лежи у формату својстава која се користе приликом индексирања и претраге. Већина данашњих система се ослањају на векторске репрезентације документа како би имплементирати претрагу. Иако је ово веома ефикасан начин претраге визуелно сличних слика, велики је проблем што се експлицитно у обзир не узимају сви објекти са слике већ се читава слика репрезентује као неки *black-box* скуп својстава. Са друге стране, моје рјешење своди претрагу слика на претрагу текста, моделима машинског учења се препознају објекти, који се посматрају као кључне ријечи, помоћу којих можемо препознати све контекстуално сличне слике са узорком док се простор боја користи као опциони филтер како бисмо могли добити визуелно најсличније слике.

У поглављу 2 биће приказан преглед сличних система, са најугицајнијим рјешењима у овом проблемском домену. У поглављу 3 биће описани теоријски појмови и дефиниције неопходне за разумијевање овог рада као и коришћене софтверске технологије. Поглавље 4 посвећено је опису спецификације самог пројекта. Наредно поглавље, 5, резервисано је за опис имплементације пројекта и дубљи залазак у поједине техничке детаље. У поглављу 6, представљена је кратка демонстрација овог система док је у поглављу 7 представљена поставка експеримента којим су се покушале измјерити перформансе овог система. Прије самог краја, у поглављу 8 износе се и дискутују резултати овог експеримента. На крају, у поглављу 9, даје се закључак рада.

2. ПРЕГЛЕД СЛИЧНИХ СИСТЕМА И СТАЊА У ОБЛАСТИ

У овом поглављу биће представљено пар актуелних система који се баве реверзном претрагом слика (*Web-Scale Responsive Visual Search* и *Similar Looks*). Битно је напоменути да је Pinterest-ов *Similar Looks* био примарна инспирација приликом имплементације овог система. Критеријум за одабир релевантних система је понајвише њихова употребљивост (да ли се успјешно користе у продукцији) али и количина корисника која може бити опслужена као и скалабилност самог система. Такође, с обзиром да је доста комерцијалних система за претрагу слика затвореног кода, доступност информација је играла битну улогу. Како је процесирање у мојем систему само подкуп свих типова процесирања која се користе у великим системима, у пракси нема смисла поредити сам квалитет *information retrieval*-а већ су ови системи само помогли како би се добила иницијална идеја шта све систем треба да подржи и како би се најбоље могла осмислити његова архитектура.

2.1 *Similar Looks (Pinterest)*

Ова функционалност унутар *Pinterest* апликације омогућава корисницима да изаберу предмет унутар слике, стављајући оквир око њега, а затим враћа визуелно сличне слике/предмете. Главни циљ ове функције је помоћи корисницима да пронађу ствари које не могу именовати [2].

Индексирање слика се у овом систему врши по *incremental fingerprinting service (IFS)* систему. Овај систем функционише по принципу да свака слика има свој отисак који се састоји од свих одвојених објеката који се налазе унутар те слике (нпр. чипеле, торбе, чаше итд.). Сваки објекат има ознаку која специфицира име класе којој објекат припада [8].

Приликом претраге, систем користи технологију препознавања објеката да локализује и класификује предмете (објекте) на сликама. Из овако детектованих објеката се извлаче карактеристике и користе се за даљу претрагу. Другим ријечима, скраћује се задатак детекције објеката више класа у класификацију категорија, тако да уместо да се тражи подударање у свим сликама на *Pinterest*-у, прво се добављају слике које су у истој категорији. Ово је одличан приступ јер се упитна

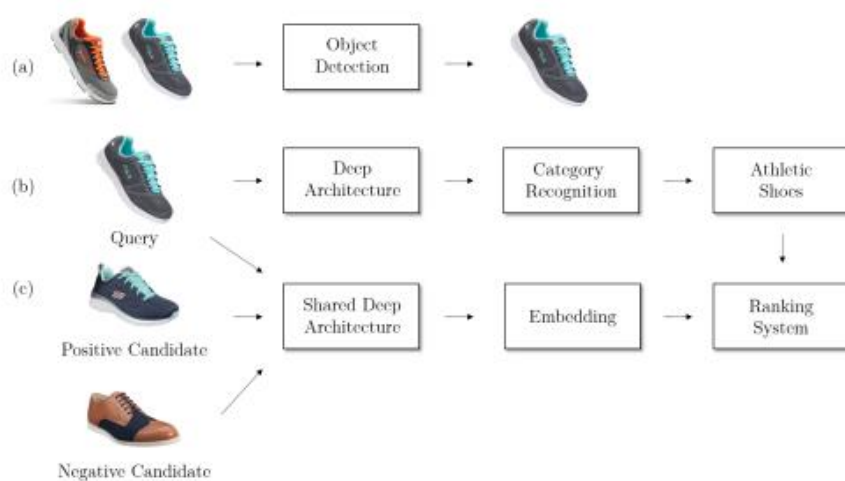
слика упоређује са сликама које имају високу вероватноћу да су сличне. Претходни корак филтрирања повећава стопу тачних позитива. Систем се заснива на концептима дубоког учења, као што су конволутивне неронске мреже (*CNN*) и детектори објеката засновани на дубоком учењу (*Single Shot Detectors, SSD*). Систем је имплементиран коришћењем радног оквира *Caffe* (*Java* технологија). Подаци система се скаладиште на *Amazon S3*-у [2][8].

2.2 Web-Scale Responsive Visual Search (Bing)

Ток рада визуалне претраге је следећи: корисник upload-ује слику или је снима камером, а резултат ће бити сличне слике и предмети; корисник може изабрати да ли жели да купи (слично „*Shopping*“ секцији код *Google* претраживача) или даље истражује предмете [2]. Овај систем обухвата три главне фазе:

1. Обука модела: У систему се користи неколико модела дубоких неронских мрежа како би се побољшала релевантност резултата, као што су *AlexNet*, *ZFSPPNet*, *GoogleNet*, *ResNet*, а такође се користи и заједнички алгоритам *kmeans* како би се изградио инверзни индекс у нивоу-0 подударана, при чему ниво 0 означава најмању сличност са упитном сликом [1].
2. Разумевање упита (слике): Из упитне слике извлаче се различите карактеристике које описују њен садржај, укључујући карактеристике препознавања категорије, препознавања лица, боје и откривања дупликата, енкодере дубоких неронских мрежа (*DNN*) и детекцију објеката (слика 2.1.1).
3. Претрага слика: Проналази визуално сличне слике на основу извучених карактеристика и намера корисника.

Сви модели се тренирају на обучавајућем скупу података који су прикупљени за одређене домене нпр. куповина. За надзор обуке *DNN* користе се више функција губитка, као што су *Softmax*, *Pairwise-loss* и *Triplet-loss* функције [1].



Слика 2.1.1.1 Примјене *DNN* modela који се користе у *Bing*-овом систему

3. КОРИШЋЕНЕ СОФТВЕРСКЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ, ТЕОРИЈСКИ ПОЈМОВИ И ДЕФИНИЦИЈЕ

У овом поглављу биће описане софтверске технологије које су коришћене приликом имплементације система. Такође, осврнућу се на основне теоријске појмове и дефиниције одређених *AI* концепата како би се лакше могло разумјети функционисање као и сама имплементација сервиса за процесирање слика која ће бити представљена у неком од наредних поглавља. У одељку 3.1, 3.2 и 3.3 описани су радни оквири у којима је одрађена имплементација система, конкретно: *Spring Boot*, *FastAPI* и *Vue.js 3* респективно. У одељцима 3.4, 3.5, 3.6 и 3.7 представљене су помоћне технологије и алати који су помогли приликом рјешавања специфичних проблема приликом израде овог софтверског рјешења и његовог деплојмента а то су редом: *Redis*, *Elasticsearch*, *Docker* и *Docker-Compose*. Након тога, у одељку 3.8 дат је кратак увод о конволуционим неуронским мрежама како би се боље разумјела архитектура *YOLOv5* модела, описана у одељку 3.9, који представља срж овог система када говоримо о проблему обраде и извлачењу својстава слике. На крају, у одељку 3.10, дат је опис функционисања *Kmeans* алгоритма који се користи за екстракцију доминантног простора боја приликом процесирања слике.

3.1 *Spring*

Spring је popularan оквир (*framework*) за развој апликација у програмском језику *Java*. Подржава *inversion of control (IoC)* принцип који омогућава да се контрола над креирањем и управљањем објектима пренесе оквиру, што олакшава развој и одржавање апликација. Такође, *Spring* пружа модул за *dependency injection (DI)* који омогућава убризгавање зависности у објекте, чиме се повећава флексибилност и тестабилност апликације. *Spring Boot* је моћна технологија отвореног кода која нуди једноставан и брз начин за развој *Java EE* апликација. Он омогућава програмерима да брзо подигну окружење и фокусирају се на развој функционалности без потребе за комплексном конфигурацијом коју традиционални *Spring Framework* изискује. *Spring Boot* интегрише *Spring Framework* „испод хаубе“ и доноси конвенције о конфигурацији и добрим праксама које значајно убрзавају процес развоја. Омогућава једноставно управљање

зависностима, аутоматско конфигурисање и једноставно подизање микросервисних апликација. *Spring Boot* пружа многобројне модуле и уграђен *Tomcat* сервер за покретање апликација [9].

3.2 FastAPI

FastAPI је модеран *Python* радни оквир за развој веб апликација и *API*-ја. Он се издваја по својој брзини и ефикасности, што га чини идеалним избором за развој напредних и високо перформантних апликација. Са друге стране, *Python* програмски језик је најкоришћенији језик у домену машинског учења те се овај радни оквир користи и за развој сервиса који пружају анализу ресурса коришћењем алгоритама машинског учења. *FastAPI* користи типизацију на основу анотација, што омогућава аутоматску проверу типова и генерисање документације. Поред тога, *FastAPI* подржава асинхрони развој и укључује уграђену подршку за покретање на уграђеним серверима као што су *Uvicorn* и *Hypercorn*. Разлика између *Uvicorn* и *Hypercorn* је у томе како се носи са асинхроним захтевима и руковањем конкретним *HTTP* конекцијама. *Uvicorn* је *ASGI* сервер базиран на *uvloop* библиотеци и користи асинхрони рад заснован на евентима (*event loop*) за обраду више захтева паралелно. Он је изузетно брз и ефикасан за обраду већег броја захтева истовремено. Са друге стране, *Hypercorn* је такође асинхрони *ASGI* (*Asynchronous Server Gateway Interface*) сервер, али користи библиотеку *h2o* која је базирана на *h11* библиотеци за обраду *HTTP/1.1* и *HTTP/2* протокола. *Hypercorn* је дизајниран да буде изузетно брз и ефикасан у руковању асинхроним захтевима, посебно када се користи *HTTP/2* протокол [10].

3.3 Vue3

Vue.js 3 је популаран отворени *JavaScript* радни оквир за изградњу корисничких интерфејса. Он представља еволуцију претходне верзије *Vue.js* и долази са бројним унапређењима и новим функционалностима. *Vue.js 3* је дизајниран да буде још ефикаснији, скалабилнији и једноставнији за коришћење. Једна од кључних новина у *Vue.js 3* је *Composition API*, који омогућава писање компоненти на начин који је флексибилнији и реактивнији. Ово олакшава организацију кода, дељење логике између компоненти и управљање стањем апликације. Такође, *Vue.js 3* доноси и изузетно брз виртуелни *DOM* (*virtual DOM*) који омогућава ефикасно рендеровање компоненти и ажурирање само неопходних делова интерфејса [18]. Ово доприноси

перформансама апликације и побољшава корисничко искуство. *Vue.js 3* такође пружа бољу *TypeScript* подршку, па програмери могу лакше откривати грешке и имати бољу статичку анализу кода (битно је напоменути да у овом пројекту *TypeScript* није коришћен из разлога што је пројекат једноставан са стране корисничког интерфејса и увођење *TS*-а би непотребно компликовало технолошки стек). Битно је поменути да је у изради клијентског слоја коришћена и *Vuetify* библиотека. То је *Vue*-базирана библиотека компоненти која омогућава брзу и ефикасну израду лијепог и респонзивног корисничког интерфејса.

Једна од важних карактеристика *Vuetify*-а је његов *grid* систем. Овај систем омогућава лако позиционирање и организацију компоненти на страницама апликације и заснива се на систему колона и редова, где је могуће одредити колико колона компонента заузима и како се компоненте распоређују унутар истих. Овај *grid* систем је флексибилан и респонзиван, што значи да се компоненте адаптирају на различите екранске величине, што доприноси бољем корисничком искуству на различитим уређајима.

3.4 *Redis*

Redis је брза и флексибилна *key-value* база података у меморији (*in-memory*) која се користи за кеширање, брзи приступ подацима и рјешавање проблема складиштења мање количине података. Ова база података је дизајнирана да би била изузетно ефикасна у упитима и складиштењу података у меморији, што је чини идеалним избором за апликације са високим оптерећењем и захтевима за брзим одзивом. *Redis* пружа широк спектар функционалности, укључујући подршку за различите типове података као што су стрингови, листе, хеш мапе, торке и сортиране скупове. Такође, *Redis* има богат скуп операција које омогућавају манипулацију и приступ подацима на ефикасан начин као и богат екосистем у виду додатних библиотека и алатки које проширују његове могућности. То укључује могућности кеширања, редова (*queue*), претплате на поруке (*pub/sub communication*) и временско истицање података (*expiry*). *Redis* база је моћан алат за упите и складиштење података у меморији, са брзим одзивом и многобројним функционалностима које чине многе апликације бржим, скалабилнијим и робуснијим [11].

3.5 *Elasticsearch*

Elasticsearch је високо скалирајући, дистрибуирани систем за претрагу и анализу података. Он је осмишљен да брзо и ефикасно индексира, чува и претражује велике количине структурираних и неструктурираних података. *Elasticsearch* је базиран на *Apache Lucene* библиотеци, која пружа моћне алгоритме за претрагу. Он такође подржава бројне напредне функционалности као што су претрага пуним текстом (*full-text search*), филтрирање, агрегација, геолокација, анализа текста, векторско индексирање и претрага и још много тога. Осим претраге, *Elasticsearch* такође омогућава анализу података и визуелизацију резултата. Кроз *Kibana* интерфејс, корисници могу приступити богатим визуелизацијама, извештајима и надзору над подацима. *Elasticsearch* је дизајниран да буде отпоран на кварове и пружа могућност репликације података и дистрибуције преко више чворова. Такође подржава хоризонтално и вертикално скалирање, омогућавајући додавање нових чворова како би се постигла боља брзина и отпорност на висока оптерећења, као и унапредила доступност сервиса. Са својом флексибилношћу, скалирањем и моћним алатима за претрагу и анализу, *Elasticsearch* је постао популаран избор за разне примене као што су претрага веб страница, анализа логова и системи за праћење догађаја (*event tracking systems*) [15].

3.6 *Docker*

Docker је популарна *open-source* платформа која омогућава контејнеризацију апликација. Он омогућава лако покретање, паковање и дистрибуцију апликација у изолованом окружењу, познатом као контејнер. *Docker* користи контејнере за смањивање зависности и осигуравање конзистентности окружења између различитих система [12].

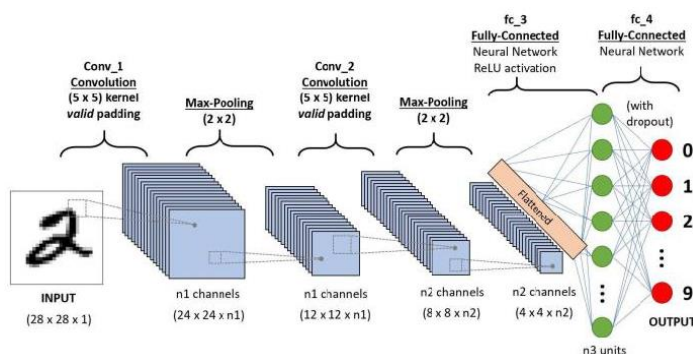
3.7 *Docker-Compose*

Docker-Compose је алат која се користи за дефинисање и покретање мулти-контејнерског окружења користећи *Docker*. Омогућава дефинисање сервиса, мрежа и контејнера у конфигурационом *YAML* фајлу. Са *Docker-Compose*-ом, могуће је покренути и управљати више контејнера, мрежа и *volume*-а као са једном апликацијом. Ово олакшава развој, тестирање и деплојмент комплексних апликација са више компоненти. *Docker* омогућава контејнеризацију апликација, док *Docker-Compose* омогућава

дефинисање и покретање мулти-контејнерских окружења. Заједно, ове две технологије пружају моћан начин за паковање, покретање и управљање апликацијама у изолованом окружењу [13].

3.8 Конволутивна неуронска мрежа

У сфери дубоког учења, конволуционе неуронске мреже су класа дубоких неуронских мрежа (*Deep Neural Networks*, DNN) које се најчешће користе за анализу слика. Главни разлог за ово је чињеница да се коришћењем CNN умногоме смањује број параметара у односу на класичне потпуно повезане дубоке неуронске мреже. Узмимо, на примјер, слику димензија $1000 \times 1000 \times 3$. Код обичне потпуно повезане DNN имали бисмо 3 милиона параметара на улазу. Чак иако би први следећи слој имао само 1000 неурона, димензије тежинске матрице $W^{[1]}$ би биле 1000×3 милиона. То би значило да је скоро немогуће наћи скуп података који би био довољно велик да не дође до преприлагођавања на тренинг скуп [4]. За исту димензију улазних података са 3×3 филтером, CNN би произвела свега 9 параметара. У наставку ће бити објашњени главни градивни блокови CNN-а.



Слика 3.8.1 Примјер архитектуре CNN

Главни градивни блокови који чине CNN (Слика 3.2.1) су:

- Конволуциони слој
- Операција испуњавања (*padding*)
- Активациона функција
- Слој сажимања
- Потпуно повезани слој

- Функција губитка (*loss function*).

Конволуциони слој се заснива на математичкој операцији конволуције. За улазну матрицу димензија $N \times N$ и филтер $f \times f$ спроводи се итеративна операција тако што се филтер поставља на почетак слике, те се сваки елемент унутар матрице који се налази „испод“ филтера множи са својим кореспондентним елементом унутар филтера. Добијени производи се тада сабирају и ово представља један елемент резултујуће матрице (*feature map*). Након тога се филтер помијера за одређени корак (*stride*), те се операција понавља све док се не дође до краја слике. Код ове операције, важно је примијетити да су димензије резултујуће матрице мање од димензија полазне матрице. Ово смањење у димензији се може изразити следећом законитошћу: за улазну матрицу димензија $N \times N$ и филтер $f \times f$ са кораком S добијамо матрицу димензија:

$$\left(\frac{N - f}{S}, \frac{N - f}{S}\right).$$

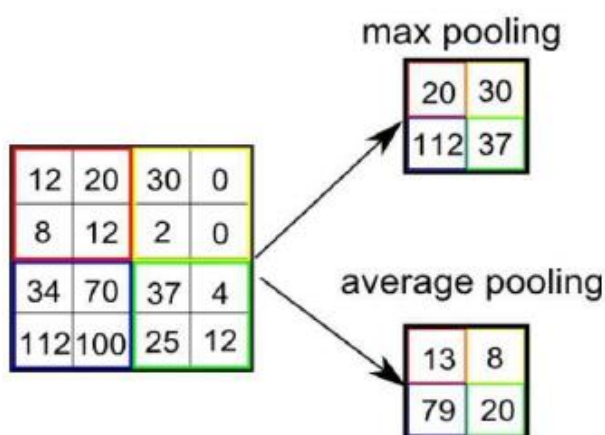
Ово може представљати проблем, поготово код слојева гдје је S велико, јер ће већ након неколико слојева полазна матрица бити превише мала и неупотребљива. Такође, пиксели (елементи матрице) који се налазе на крајевима ће доста мање бити узимани у обзир у односу на елементе који се налазе у средини, јер филтер мање пута прелази преко њих [5]. Као рјешење, уз операцију конволуције најчешће се примјењује и операција испуњавања (*padding*). Идеја је да се матрица прошири ивицом за онолико редова и колона колико је то потребно да резултујућа матрица буде истих димензија као почетна. Елемент који се убацује је 0, одабран тако да се не наруши валидност операције конволуције [4]. Овим се претходно дефинисана законитост мијења, те ће се за *padding* ширине P димензије резултујуће матрице износити:

$$\left(\frac{N + 2P - f}{S}, \frac{N + 2P - f}{S}\right).$$

Након извршене операције конволуције, на *feature map*у се, као и у класичним DNN, додаје вектор пристрасности (*bias vector*) и примјењује се активациона функција. Популарне активационе функције су *ReLU* (*Rectified Linear Unit*), *sigmoid* и *TanH* [5].

Поред конволуционих слојева, CNN често користе и сажимајуће (*pooling*) слојеве како би смањили димензије репрезентације, убрзали рачунање и повећали робусност приликом

детекције одређених особина [6]. *Pooling* слој зависи од *pooling* операције. Као и код конволуционог слоја, филтер димензија $N \times N$ се превлачи преко слике са кораком f , само се умјесто операције конволуције примјењује *pooling* операција. Коју *pooling* операцију ћемо изабрати зависи од архитектуре нашег модела. Данас, је најпопуларнији *max pooling* код кога као излазну вриједност узимамо највећи елемент из региона захваћеног филтером (Слика 3.8.2). Могућа интуиција иза овога је да желимо да само оне особине које су веома изражене уђу у даље разматрање, док се оне слабије изражене занемарују. Други популаран избор *pooling* операцији је *average pooling* који се историјски доста више користио, али је изгубио на популарности јер се *max pooling* показао као бржи и подједнако ефикасан у експериментима [7].



Слика 3.8.2 Разлика између различитих *pooling* алгоритама

Потпуно повезани (*fully connected*) слој представља идентичан слој као у класичној DNN. Ови слојеви се налазе на самом крају CNN. Прелаз између тродимензионалног тензора и једнодимензионалног потпуно повезаног слоја се у литератури назива и „*flattening*“. На самом крају CNN-а налази се *loss layer* који специфицира како тренинг „кажњава“ одступање између предвиђених (излазних) и реалних (лабелираних) ознака у тренинг скупу. Код проблема класификације типично се користи *Softmax loss* док се код предвиђања вјероватноће неког исхода најчешће користи *Sigmoid cross-entropy loss* [11]. На слици 3.8.1 приказан је примјер архитектуре CNN са свим горе поменутих градивним блоковима.

3.9 YOLOv5

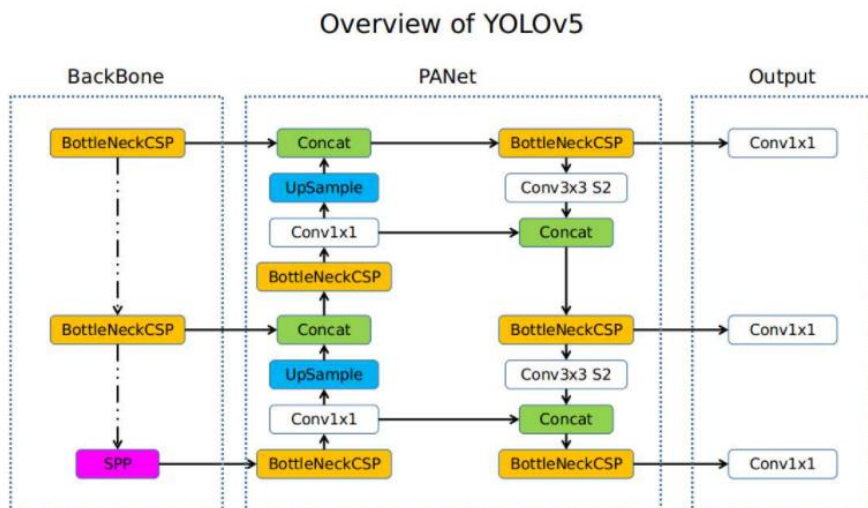
YOLOv5 модел за детекцију објеката базиран је на *end-to-end* (e2e) архитектури и састоји се од три главне компоненте:

1. власничке мреже (*backbone network*)
2. главне мреже (*neck network*)
3. мреже излаза (*output network*)

Власничка мрежа (*backbone*) у YOLOv5 моделу је CSPDarknet53 мрежа, која се базира на конволуционим слојевима. Ова мрежа је модификована верзија оригиналне Darknet53 мреже и пружа бољу репрезентацију својстава и разумевање контекста објеката. Она је одговорна за идентификацију и издвајање битних својстава из улазних слика.

Главна мрежа (*neck network*) је додатни слој између власничке мреже и мреже излаза. Она има за циљ да усаврши својства из власничке мреже и подеси их тако да би лакше детектовала објекте различитих величина и пропорција. У спецификацији YOLOv5 модела, користи се PANet мрежа која је коришћена и у старијем YOLOv4 моделу.

Мрежа излаза (*output network*) представља последњу компоненту модела и садржи конволуционе слојеве који изводи коначне предикције о класама и локацијама објеката. Она преобрађује излазне *featur*-е из главне мреже у *anchor-box*-ове и враћа координате, сигурност и класе детектованих објеката за сваки *bounding-box*. У појединој литератури, овај сегмент у *pipeline*-у модела назива се и *head network* [21]. На слици 3.9.1 приказана је горе описана архитектура.



Слика 3.9.1 Архитектура YOLOv5 модела

Након извршавања *forward pass*-а, на излаз модела се примењује неопходно постпроцесирање. Ово укључује примену non-maximum suppression алгоритма како би се уклонили преклапајући *bounding-box*-ови и задржали само они који задовољавају претходно дефинисан праг сигурности. *YOLOv5* архитектура користи напредне конволуционе мреже и оптимизације у виду конволутивних прескакања (*convolution skips*), *upscale* операција и сличних метода како би брзо и ефикасно детектовала објекте на сликама и у видео снимцима. Ова архитектура је постала популаран избор за брзу и прецизну детекцију објеката у различитим областима примјене [20].

3.10 Kmeans

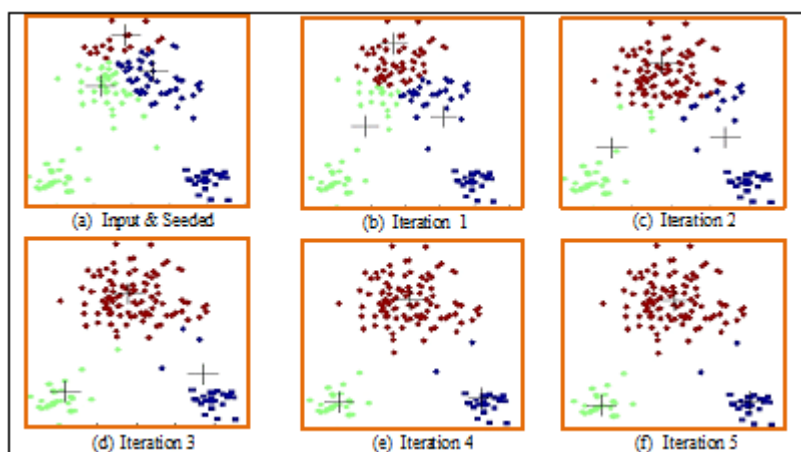
Kmeans алгоритам, је алгоритам за кластеровање података. Основна идеја овог алгоритма је да групише податке у K кластера на основу њихових сличности. Процес почиње са случајним избором K тачака као почетних тачака кластера, које се називају и центроиди. Затим се улазни подаци додељују ближем центроиду на основу еуклидске удаљености или неке друге метрике сличности.

Након тога, пресмештањем центроида и доделом података новим кластерима, алгоритам итеративно конвергира ка конфигурацији у којој се минимизује укупна варијанса унутар кластера. Овај процес се

наставља све док се центроиди више не промењују значајно или док се не достигне максималан број итерација.

На крају, *kmeans* алгоритам даје нам кластере који групишу податке на основу њихових сличности. Он може бити корисан у различитим областима, као што су анализа података, компјутерска визија, препознавање образаца и многим другим.

Важно је напоменути да *kmeans* алгоритам зависи од броја кластера K , који мора бити унапред дефинисан. Избор погодног броја кластера може бити предмет истраживања и експериментисања како би се добили најбољи резултати [19]. На слици 3.10.1 је приказана илустрација рада овог алгоритма.



Слика 3.10.1 Илустрација рада *Kmeans* алгоритма

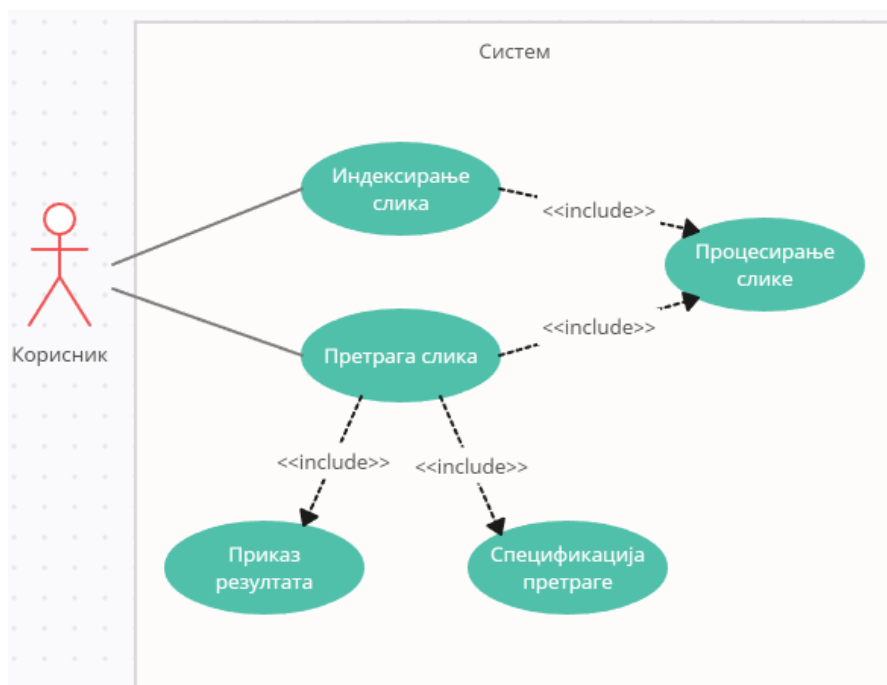
4. СПЕЦИФИКАЦИЈА

4.1 Спецификација захтјева

У овом поглављу биће представљен опис функционалних и нефункционалних захтјева које систем омогућава у одељцима 4.1.1 и 4.1.2 респективно.

4.1.1 Функционални захтјеви

Функционалне захтјеве најбоље је посматрати са *UML (Unified Modeling Language)* дијаграма случајева коришћења (*Use Case Diagram*) који је дат на слици 4.1.1.1



Слика 4.1.1.1 Дијаграм случајева коришћења система

Посебан опис сваког случаја коришћења дат је у наставку:

- Индексирање слика
 - Предуслови: Корисник је позициониран на страницу за индексирање.
 - Кораци: корисник кликом на *index bar* отвара засебан *upload dialog*. Селектовањем једне или више жељених слика и кликом на дугме *select* завршава процес одабира фајлова за индексирање и има преглед имена фајлова у *index bar*-у. Кликком на дугме за индексирање започиње се процес индексирања након чега се кориснику испуцује да ли је индексирање прошло како треба. У току чекања на завршетак процеса индексирања, кориснику се приказује *loader* који има улогу индикатора активности и пружа информацију да у позадини теку релевантни процеси и да апликација још увек функционише исправно.
 - Резултат ове операције је индексирање свих селектованих слика у *search-engine* и могуће их је пронаћи приликом реверзне претраге.
 - Једини могући изузетак је да индексирање није прошло, у том случају слике неће бити индексиране а корисник ће бити обавијештен да је дошло до грешке приликом индексирања.
- Спецификација претраге
 - Предуслови: Корисник је позициониран на страницу за претрагу.
 - Кораци: корисник кликом на *search bar* отвара засебан *upload dialog*. Селектовањем једне жељене слике и кликом на дугме *select* завршава процес одабира слике која служи као узорак за упит и има преглед имена фајла у *search bar*-у. Након селектовања жељене слике, кориснику се поред имена фајла, на екрану приказује

селектована слика како би био сигуран да је одабрао праву слику. Након селектовања жељене слике, корисник може селектовати опције приликом претраге (у случају овог система постоји само „*sort by color space*“).

- Резултат ове операције је селектовање слике која ће у наредним корацима бити коришћена за реверзну претрагу слика.
- Уколико корисник изабере слику која није у .jpg или .png формату, ништа неће бити селектовано и корисник ће морати да понови операцију како би селектовао валидан формат фајла уколико жели да изврши претрагу.

- Претрага слика

- Предуслови: корисник је селектовао слику за реверзну претрагу.
- Кораци: Корисник кликом на дугме за претрагу започиње процес претраге. Кориснику се приказује *loader* који нестаје чим се резултати претраге добију са сервера.
- Резултат ове операције јесте извршена претрага слика као и примјењивање селектованих опција претраге.
- Уколико дође до било каквих грешака приликом претраге, корисник ће о томе бити обавијештен и моћи ће да покуша поново кликом на дугме за претрагу.

- Процесирање слике

- Предуслови: корисник је покренуо операцију претраге или индексирања слике.
- Кораци: Слика се процесира употребом модела машинског учења, извлаче се детектовани објекти као и простор доминантан боја.
- Резултат ове операције јесте извршено процесирање слике.

- Уколико дође до било каквих грешака приликом процесиранја, корисник ће о томе бити обавијештен и моћи ће да покуша поново кликом на дугме за претрагу/индексирање.
- Приказ резултата
 - Предуслови: Корисник је извршио операцију претраге.
 - Кораци: Након извршене претраге, кориснику се на екрану појављују (у зависности од селектованих опција) сортирани резултати претраге. Кликком на pagination bar могуће је истраживати пагиниране резултате уколико број враћених резултата не може стати на једну страницу.
 - Резултат ове операције јесте приказивање релевантних резултата претраге кориснику.
 - Уколико се приликом промјене странице деси нека грешка, корисник ће бити о томе обавијештен и мораће да понови претрагу.

4.1.2 Nefunkcionalni zahtevi

Систем за реверзну претрагу слика би требао да омогући:

- Прихватљиву брзину индексирања датотека (< 5 секунди по датотеци)
- Прихватљиву брзину претраге (< 2 секунде да се прикаже прва страница са резултатима)
- Минималистичан и интуитиван кориснички интерфејс како се кориснику не би одвлачила пажња са приказаних резултата
- Responsive дизајн на *frontend*-у како би корисник могао да приступи апликацији са различитих уређаја
- Систем би требао да буде у великој мери отпоран на грешке јер ће крајњи корисници најчешће бити не-техничка лица и желимо да им обезбидимо што бољи *user-experience*

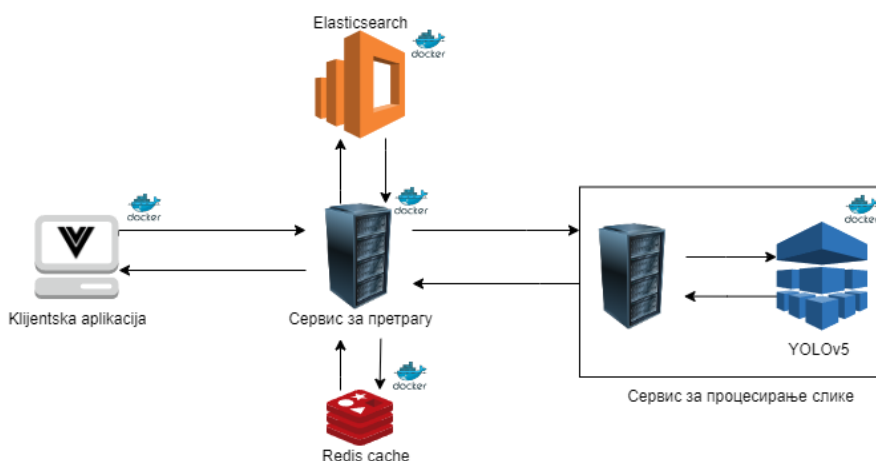
- Доступност система би такође требала бити на високом нивоу с обзиром да код оваквих система, исти губе на популарности јако брзо уколико је сервис дуже времена недоступан

4.2 Дизајн система

У одељку 4.2.1 биће представљена архитектура система. Одељак 4.1.3 садржи опис модела података, са класним дијаграмима за ентитете који служе за индексирање али и онима који служе за кеширање као и за трансфер података између сервиса (*Data Transfer Objects - DTO*).

4.2.1 Arhitektura sistema

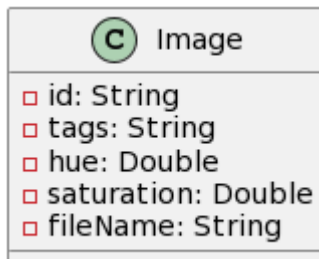
Архитектура цијелог система приказана је дијаграмом размештаја (*deployment diagram*) и дата је на слици 4.2.1.14.1.4.1.



Слика 4.2.1.1 Архитектура система

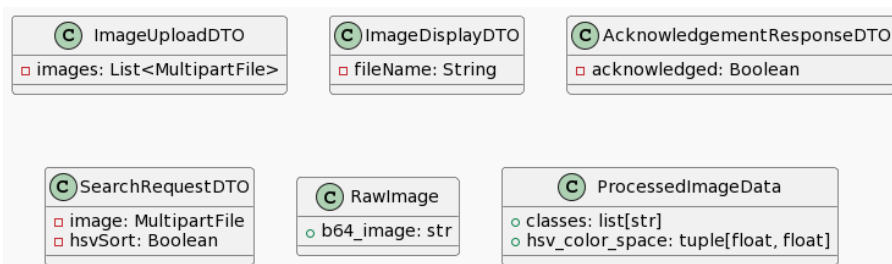
4.2.2 Model podataka

- *Index* модел података представљен је на слици 4.2.2.1.



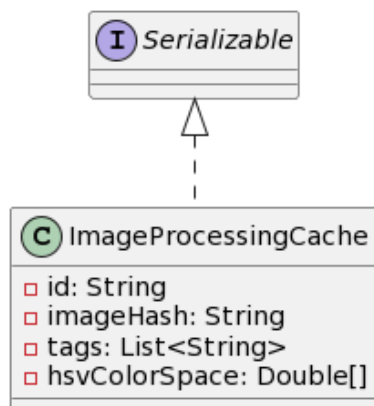
Слика 4.2.2.1 Класни дијаграм модела података за индексирање

- *DTO* модел података представљен је на слици 4.2.2.2.



Слика 4.2.2.2 Класни дијаграм модела података за трансфер података између сервиса

- *Cache* модел података представљен је на слици 4.2.2.3.



Слика 4.2.2.3 Класни дијаграм модела података за кеширање

5. ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА

У овом поглављу представљена је имплементација система за реверзну претрагу слика. Имплементација је подијељена по сервисима гдје сваки одељак описује имплементацију једног сервиса. У одељку 5.1 биће представљен сервис за процесирање слика, док ће у одељцима 5.2 и 5.3 бити представљени сервис за претрагу као и *frontend* апликације респективно.

5.1 Сервис за процесирање слика

Сервис за процесирање слика користи алгоритме и моделе машинског учења (конкретно *kmeans* и *Yolov5* како би извукао својства са задате слике). За имплементацију овог сервиса коришћен је *FastAPI* радни оквир (*uvicorn* сервер) као и библиотеке *NumPy* и *OpenCV* за интегрисање претренираног *YOLOv5* модела и имплементацију неопходних алгоритама за читање резултата из излазног слоја модела. Претренирани *YOLOv5* модел је интегрисан на начин да су са официјалног репозиторијума преузети *.onnx* фајлови за *YOLOv5n* и *YOLOv5s* моделе. *ONNX* (*Open Neural Network Exchange*) је формат датотеке који омогућава пренос и размену модела за машинско учење између различитих окружења и библиотека који између осталог подржава интеграцију са *DNN* модулом *OpenCV* библиотеке. Битно је напоменути да је ова инстанца *YOLOv5* модела претренирана на *ImageNet* скупу података. На листингу 5.1.1 приказана је интеграција *YOLOv5s* модела у систем.

```
def build_model():
    global IS_CUDA

    net = cv2.dnn.readNet("./config_files/yolov5s.onnx")

    if IS_CUDA:
        print("Attempty to use CUDA")
        net.setPreferableBackend(cv2.dnn.DNN_BACKEND_CUDA)
        net.setPreferableTarget(cv2.dnn.DNN_TARGET_CUDA_FP16)
    else:
        print("Running on CPU")
        net.setPreferableBackend(cv2.dnn.DNN_BACKEND_OPENCV)
        net.setPreferableTarget(cv2.dnn.DNN_TARGET_CPU)
    return net
```

Листинг 5.1.1 – Учитавање модела из *ONNX* фајла

Разлог за коришћење *small* модела наспрам регуларног јесте бољи одзив који је показао приликом тестирања као и боље перформансе и ефикасност приликом извршавања на лошијем хардверу.

У листингу 5.1.2 је приказан *handler* који врши процесирање слике (на високом нивоу апстракције) и враћа резултат кориснику:

```
def handle_image_processing_request(image: RawImage, ml_model) -> ProcessedImageData:
    class_list = load_classes()
    image = load_image(image.b64_image)

    input_image = format_yolov5(image)
    outs = detect(input_image, ml_model)

    class_ids, _, _ = wrap_detection(input_image, outs[0])

    classes = {}
    for classid in class_ids:
        try:
            if classes[class_list[classid]] > 1:
                classes[class_list[classid] + "_multiple"] = 1
                classes[class_list[classid]] += 1
        except:
            classes[class_list[classid]] = 1
            continue

    hue, saturation = get_dominant_hue_and_saturation(image)
    return ProcessedImageData(classes=list(classes.keys()),
                               hsv_color_space=(hue, saturation))
```

Листинг 5.1.2 – *Handler* за процесирање слике (висок ниво апстракције)

Овдје можемо видјети да функција `detect` врши једноставан *forward pass* (процес пропагације улазних података кроз слојеве неvronске мреже ради генерисања излазних предвиђања) док се читање излазних слојева обавља у функцији `wrap_detection`. Имплементација ове функције представљала је најсложенији део овог сервиса стога је њен преглед дат у листингу 5.1.3.

```
def wrap_detection(input_image, output_data):
    global CONFIDENCE_THRESHOLD
    global SCORE_THRESHOLD
    global NMS_THRESHOLD

    class_ids = []
    confidences = []
    boxes = []

    rows = output_data.shape[0]
```

```

image_width, image_height, _ = input_image.shape

x_factor = image_width / INPUT_WIDTH
y_factor = image_height / INPUT_HEIGHT

for r in range(rows):
    row = output_data[r]
    confidence = row[4]
    if confidence >= CONFIDENCE_THRESHOLD:

        classes_scores = row[5:]
        _, _, max_indx = cv2.minMaxLoc(classes_scores)
        class_id = max_indx[1]
        if (classes_scores[class_id] > SCORE_THRESHOLD):

            confidences.append(confidence)

            class_ids.append(class_id)

            x, y, w, h = row[0].item(), row[1].item(),
row[2].item(), row[3].item()
            left = int((x - 0.5 * w) * x_factor)
            top = int((y - 0.5 * h) * y_factor)
            width = int(w * x_factor)
            height = int(h * y_factor)
            box = np.array([left, top, width, height])
            boxes.append(box)

indexes = cv2.dnn.NMSBoxes(boxes, confidences, 0.25,
NMS_THRESHOLD)

result_class_ids = []
result_confidences = []
result_boxes = []

for i in indexes:
    result_confidences.append(confidences[i])
    result_class_ids.append(class_ids[i])
    result_boxes.append(boxes[i])

return result_class_ids, result_confidences, result_boxes

```

Листинг 5.1.3 – Декодирње излазног слоја YOLOv5 модела

Детаљно објашњење како ова функција ради дато је у наставку:

1. Креирају се празне листе `class_ids`, `confidences` и `boxes` за чување идентификатора класа, конфиденцијалних оцена и ограничавајућих оквира препознатих објеката.
2. Број редова добија се из низа `output_data`, који представља број препознатих објеката.
3. Издваја се ширина и висина слике `input_image`.

4. Израчунавају се фактори скалирања (`x_factor` и `y_factor`) за конверзију координата ограничавајућих оквира (`bounding boxes`) са величине уноса модела на стварну величину слике.
5. Итерација се обавља за сваки ред у `output_data`.
6. Проверава се да ли је конфицијална оцена препознатог објекта изнад `CONFIDENCE_THRESHOLD`.
7. Проналази се идентификатор класе са највишом сигурношћу применом `cv2.minMaxLoc` на преосталим елементима реда.
8. Ако је оцена за препознату класу изнад `SCORE_THRESHOLD`, сматра се да је детекција валидна.
9. Рачунају се координате ограничавајућег оквира на основу положаја и величине препознатог објекта.
10. Примењују се фактори скалирања на координате како би се прилагодили стварној величини слике.
11. Идентификатор класе, сигурност и ограничавајући оквир се додају у одговарајуће листе.
12. Примењује се `non-maximum suppression (NMS)` помоћу `cv2.dnn.NMSBoxes` да би се уклонили преклапајући гранични оквири са ниским сигурностима. Функција враћа индексе изабраних оквира.
13. На крају, враћају се крајње листе идентификатора класа, оцјена сигурности и ограничавајућих оквира.

На крају, остало је да видимо и како се рачуна доминантан простор боја на слици. Разлог за коришћење доминантног простора боја наспрам просјечног је прост: приступ са рачунањем просечне боје може довести до боје која је различита од најистакнутије визуелне боје [17]. Да би илустровао ово понашање искористићу слику 5.1.1.



Слика 5.1.1 *Lego* коцке разних боја

На лиевом дијелу слике испод приказана је просјечна боја. Јасно се види да прорачуната просјечна боја не одговара правилно садржају боје оригиналне слике. Заправо, у оригиналној слици ниједан пиксел нема ту боју. Десни део слике приказује пет најрепрезентативнијих боја, сортираних од горе ка доље по опадајућем редоследу важности (честоћа појављивања). Ова палета јасно показује да је доминантна боја црвена, што је у складу са чињеницом да највећи регион уједначене боје на оригиналној слици одговара црвеном делу *Lego* коцкице.



Слика 5.1.2 Просјечна и доминантна боја

Функција `get_dominant_color_space` је дата у листингу 5.1.4. Као улазни параметар, ова функција прима слику а као излаз даје торку (tuple) са HSV простором боја доминантне боје на

слици.

```
def get_dominant_color_space(image):
    pixels = np.float32(image.reshape(-1, 3))

    n_colors = 3
    criteria = (cv2.TERM_CRITERIA_EPS +
cv2.TERM_CRITERIA_MAX_ITER, 200, .1)
    flags = cv2.KMEANS_RANDOM_CENTERS

    _, labels, palette = cv2.kmeans(pixels, n_colors, None,
criteria, 10, flags)
    _, counts = np.unique(labels, return_counts=True)

    return palette[np.argmax(counts)]
```

Листинг 5.1.4 – Екстракција HSV простора доминантне боје на слици

Ова функција ради на следећи начин:

1. Претвара улазну слику у низ пиксела користећи `np.float32` и реорганизује пикселе у форму `(-1, 3)`, гдје се 3 односи на RGB вредности боја (OpenCV библиотека ради са BGR форматом).
2. Подешава параметре за извршавање K-means алгоритма, који се користи за груписање пиксела по боји.
3. Позива функцију `cv2.kmeans` и просљеђује низ пиксела, број жељених боја (у овом случају 3), критеријуме за завршетак и почетне центроиде.
4. Добијени резултат груписања се прима и дијели на лабеле (`labels`), палету боја (`palette`) и фреквенцију појава сваке боје (`counts`).
5. На крају, функција враћа боју из палете која има највећи број појава, што представља доминантну боју у слици.

5.2 Сервис за претрагу

Сервис за претрагу служи за обраду упита и индексирање слика. За имплементацију овог сервиса коришћен је *Java Spring Boot* радни оквир. Интеграција са ES-ом одрађена је уз помоћ *ES Java API-a* (*Elasticsearch Java Client*). Сервисна метода за индексирање дата је у листингу 5.2.1.

```
public void indexImage(MultipartFile imageUpload) throws
Exception {
    var fileName = imageService.saveImage(imageUpload);
```

```

        var base64Image =
imageUtil.multipartImageToBase64(imageUpload);

        ProcessedImageDataDTO processedImageData = new
ProcessedImageDataDTO();
        try {
            processedImageData =
imageProcessingClient.processImage(new RawImageDTO(base64Image));
        } catch (Exception e) {
            imageService.deleteSavedImage(fileName);
            throw new ImageProcessingFailedException(
                "Something went wrong when trying to process
image.");
        }

        var image = new Image();

        StringBuilder tags = new StringBuilder();
        for (var tag : processedImageData.getClasses()) {
            tags.append(tag).append(" ");
        }

        image.setFileName(fileName);
        image.setTags(tags.toString());
        image.setHue(processedImageData.getHsvColorSpace()[0]);

image.setSaturation(processedImageData.getHsvColorSpace()[1]);

        elasticsearchClient.index(i -> i
            .index("images")
            .id(image.getId())
            .document(image)
        );
    }
}

```

Листинг 5.2.1 – Метода за индексирање слике

Овај метод прима *MultipartFile* објекат који представља постављену слику. Процес индексирања слике састоји се од следећих корака:

1. Прво се сачува постављена слика на серверу користећи `imageService.saveImage` метод, који враћа име датотеке слике.
2. Затим се слика конвертује у Base64 формат помоћу `imageUtil.multipartImageToBase64` методе.
3. Обрада слике се врши позивом `imageProcessingClient.processImage` методе, који упућује HTTP захтјев сервису за процесирање слика, гдје се шаље објекат `RawImageDTO` са Base64 енкодованом сликом.
4. Након успешне обраде слике, креира се нови `Image` објекат и пролази се кроз све класе (тагове) које су добијене са сервиса за процесирање и додају се у `StringBuilder tags`.

5. Постављају се подаци о слици, као што су име датотеке, тагови, hue и сатурација, користећи податке из `processedImageData`.
6. Индексирање слике се обавља позивом Elasticsearch клијента (`elasticsearchClient.index`) и прослеђивањем имена индекса, идентификатора и података о слици.

Претрага слике је приказана у листингу 5.2.2.

```
public Page<ImageDisplayDTO> searchForImage(SearchRequestDTO
sampleImageUpload,
                                     Pageable
pageable)
    throws IOException {
    var base64Image =
imageUtil.multipartImageToBase64(sampleImageUpload.getImage());
    var imageHash =
DigestUtils.md5Hex(base64Image).toUpperCase();

    ProcessedImageDataDTO processedImageData =
cacheService.retrieveCached(imageHash);
    if (processedImageData == null) {
        try {
            processedImageData =
imageProcessingClient.processImage(new
RawImageDTO(base64Image));
            cacheService.cache(processedImageData,
imageHash);
        } catch (Exception e) {
            throw new ImageProcessingFailedException(
                "Something went wrong when trying to process
image.");
        }
    }

    var queryBuilder =
buildQuery(processedImageData.getClasses());

    var searchQueryBuilder = new NativeSearchQueryBuilder()
        .withQuery(queryBuilder)
        .withPageable(pageable);

    if (sampleImageUpload.getHsvSort()) {
        var script = new Script(
            "Math.sqrt(Math.pow(doc.hue.value - " +
processedImageData.getHsvColorSpace()[0] +
            ", 2) + Math.pow(doc.saturation.value - " +
processedImageData.getHsvColorSpace()[1] +
            ", 2))");
        var sort = new ScriptSortBuilder(script,
ScriptSortBuilder.ScriptSortType.NUMBER);
        searchQueryBuilder.withSorts(sort);
    }
}
```



```

        var searchQuery = searchQueryBuilder.build();

        var searchHits = template
            .search(searchQuery, Image.class,
IndexCoordinates.of("images"));

        var searchHitsPaged =
SearchHitSupport.searchPageFor(searchHits, searchQuery.getPageable());

        var page = (Page<Image>)
SearchHitSupport.unwrapSearchHits(searchHitsPaged);

        return page.map(image -> new
ImageDisplayDTO(image.getFileName()));
    }

```

Листинг 5.2.2 – Метода за претрагу слике

Ова метода ради на следећи начин:

1. Прима `SearchRequestDTO` објекат који садржи узорачку слику и `Pageable` објекат који омогућава страничну претрагу.
2. Претвара постављени примерак слике у Base64 формат помоћу `imageUtil.multipartImageToBase64` методе. Такође, рачуна хеш вриједност слике користећи MD5 алгоритам.
3. Проверава се да ли се обрађени подаци слике налазе у кешу помоћу `cacheService.retrieveCached` методе. Уколико не постоје, врши се обрада слике помоћу `imageProcessingClient.processImage` методе и добијени подаци се чувају у кешу помоћу `cacheService.cache` методе.
4. Конструира се `queryBuilder` на основу класа (тагова) из `processedImageData`.
5. Креира се `searchQueryBuilder` који садржи конфигурацију за претрагу. Додаје се `queryBuilder` и `pageable` у претрагу.
6. Уколико је `hsvSort` постављен на `true` у `sampleImageUpload`, додјељује се скрипта за сортирање на основу *HSV* вредности. Ова скрипта рачуна еуклидско растојање између *HSV* вредности слике и `processedImageData`. Примјењује се сортирање на основу ове скрипте.
7. Креира се `searchQuery` на основу `searchQueryBuilder`-а.

8. Извршава се претрага помоћу `template.search` методе. Добијени резултати се складиште у `searchHits` промјенљивој.
9. Примјењује се постранична обрада резултата помоћу `SearchHitSupport.searchPageFor` и добијени резултати се чувају у `searchHitsPaged` промјенљивој.
10. Промјенљива `searchHitsPaged` се *cast*-ује у `Page<Image>` објекат.
11. Креира се нови `Page<ImageDisplayDTO>` мапирањем сваке слике у `ImageDisplayDTO` објекат (у овом случају, само се преноси име датотеке).
12. Враћа се резултујућа страница са претраженим сликама у облику `Page<ImageDisplayDTO>`.

Битно је нагласити да је комуникација са сервисом за процесирање слика имплементирана помоћу *Open Feign Client* библиотеке, имплементација је дата у листингу 7.

```
@FeignClient(name = "image-processing-client", url =
"http://${image-processing-service.host}:8000")
public interface ImageProcessingClient {

    @PostMapping("/preprocess")
    ProcessedImageDataDTO processImage(@RequestBody RawImageDTO
rawImageDTO);
}
```

Листинг 7 – *OpenFeign* клијент за комуникацију са сервисом за процесирање слике.

5.3 Клијентски део апликације (frontend)

Клијентска апликација у раду је имплементирана у *Vue 3* радном оквиру. За стилизацију и компоненте интерфејса, коришћена је *Vuetify* библиотека. У листингу 5.3.1 дат је примјер коришћења *Vuetify* компоненти и његовог *grid* система.

```
<v-row>
  <v-col sm="11" cols="10">
    <v-file-input
      label="File input"
      filled
      show-size
      prepend-icon="mdi-camera"
      v-model="files"
      @change="onFileSelected"></v-file-input>
```

```

</v-col>
<v-col sm="1" cols="2">
  <v-btn
    style="margin-top: 10px"
    variant="tonal"
    @click="searchImages()">
    Search
  </v-btn>
</v-col>
</v-row>

```

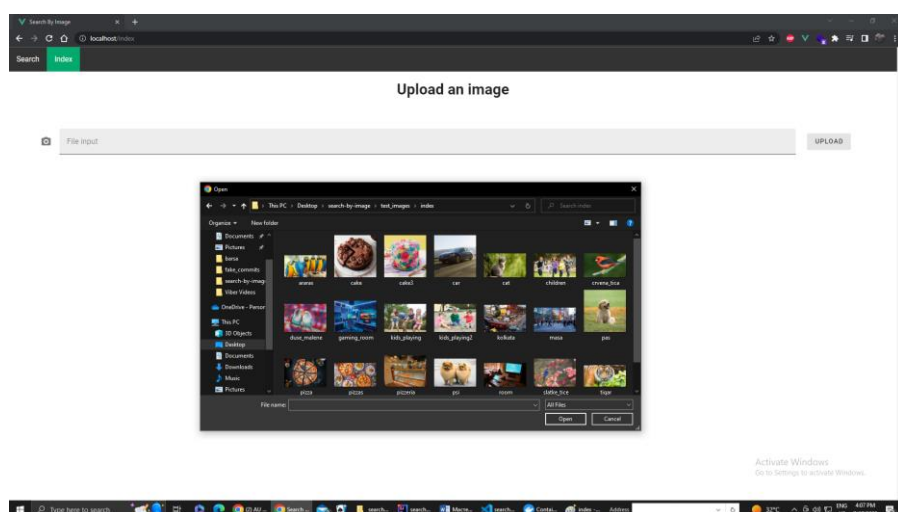
Листинг 5.3.1 – Примјер коришћења *Vuetify* компоненти и уграђеног *grid* система

6. ДЕМОНСТРАЦИЈА

У овом поглављу биће представљена 2 случаја коришћења система: индексирање и реверзна претрага слика.

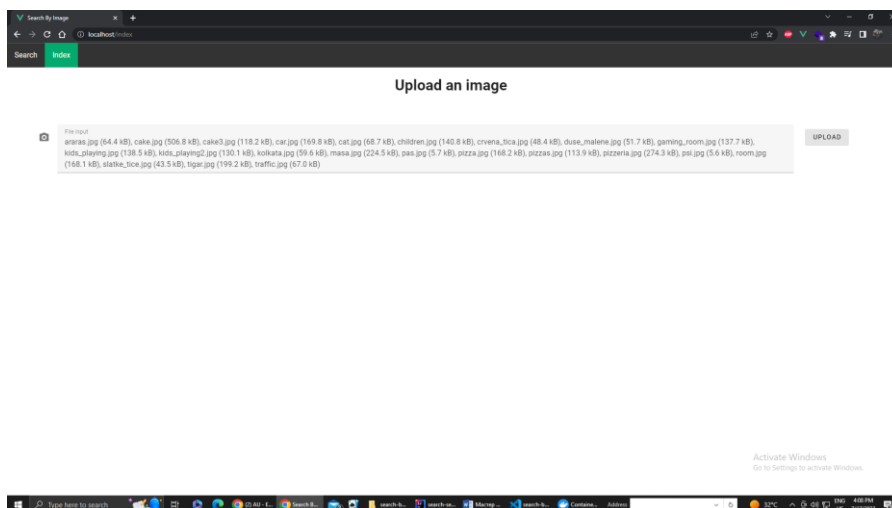
6.1 Индексирање

Корисник почиње случај коришћења тако што се позиционира на страницу за индексирање и кликом на *index bar* отвори *upload dialog* (слика 6.1.1).



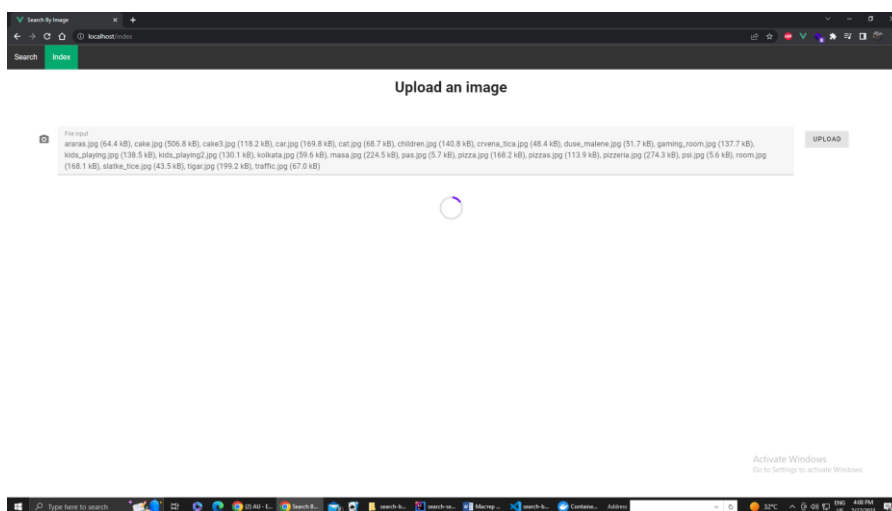
Слика 6.1.1 Селектовање слика за индексирање

Након тога, корисник селекује жељене слике и кликом на дугме „open“ врши селекцију слика за индексирање, имена фајлова и њихове величине су потом приказане у *index bar*-у (слика 6.1.2).

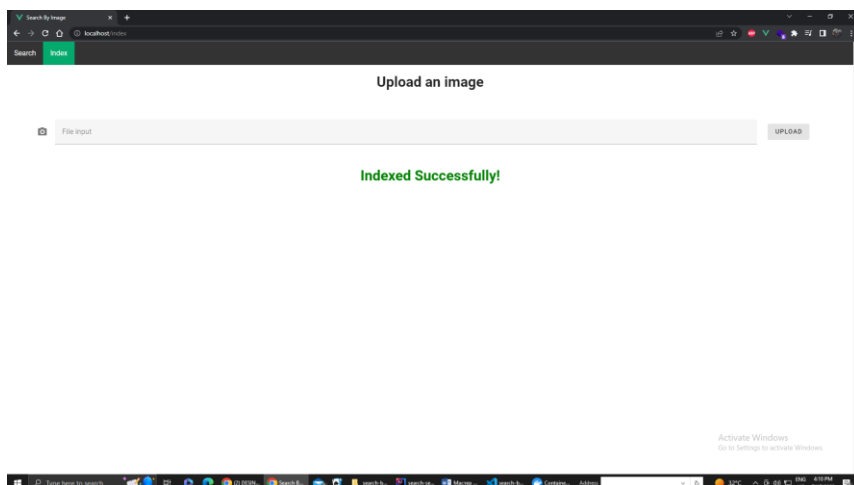


Слика 6.1.2 Селектоване слике

Кликом на дугме „upload“ покреће се процес индексирања, на екрану се врти *loader* све док операција није завршена за све слике (слика 6.1.3). На крају, кориснику се испишује порука о резултату операције, на слици 6.1.4 приказана је порука која обавјештава корисника да је операција индексирања успјешно завршена за све селектоване слике.



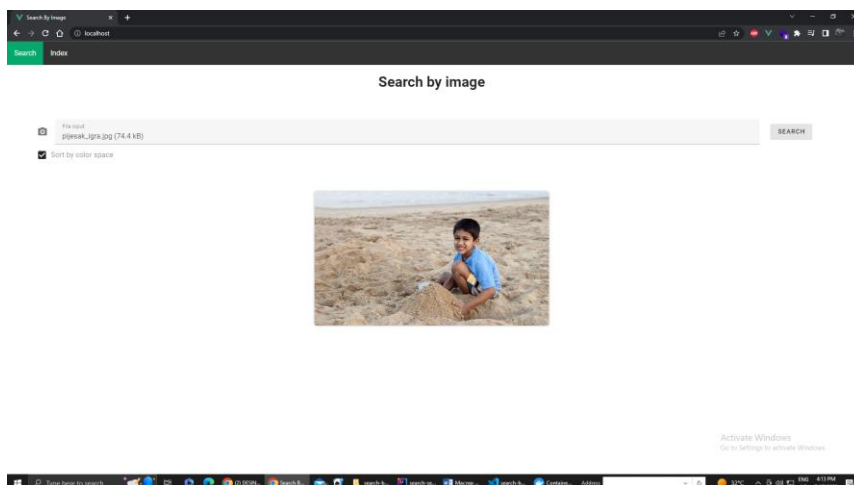
Слика 6.1.3 Изглед *loader*-а док се чека на завршетак операције индексирања селектованих слика



Слика 6.1.4 Порука о успјешно завршеној операцији индексирања

6.2 Претрага

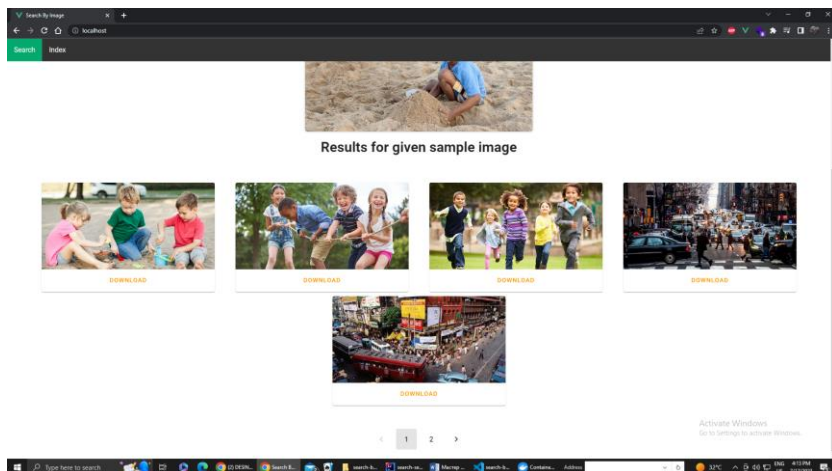
Сценарио почиње тако што се корисник позиционира на страницу за претрагу. Кликом на *search bar* отвора се *upload dialog* и процесом аналогним као у прошлом сценарију корисник селекује узорачку слику за реверзну претрагу након чега се иста приказује кориснику заједно са горе поменутим информацијама (слика 6.2.1).



Слика 6.2.1 Селектована узорачка слика и опција за сортирање уз помоћ простора боја

Следећи корак је опциони одабир сортирања резултата помоћу простора боја, у овом случају коришћења је ова опција селектована (слика 6.2.1).

Кликом на дугме „*search*“ започиње се процес претраге после којег се кориснику приказују резултати претраге. На слици 6.2.2 је пружен приказ резултата претраге кориснику.



Слика 6.2.2 Приказ резултата претраге

7. ЕКСПЕРИМЕНТ

У овом поглављу биће представљен експеримент којим је покушано да се измјере перформансе система. С обзиром да је систем у домену *information retrieval*-а најбољи начин за евалуацију истог је да се спроведе истраживање са што већим бројем корисника који могу да дају субјективну оцјену за његово функционисање (не вриједи нам да имамо перфектан резултат на аутоматизованом тесту уколико је субјективни *user experience* лош). У одељку 7.1 биће детаљно описан експеримент док ће у поглављу 7.2 и 7.3 бити описани коришћени скуп података као и методе евалуације респективно.

7.1 Опис експеримента

Експеримент је спроведен у виду анкете:

1. Сваки учесник првобитно инсталира апликацију коришћењем *docker-compose* алата
2. Након тога, сваки корисник треба да индексира индекс скуп података кроз форму за индексирање
3. На крају, за сваку од слика у упитном скупу података корисник има поље у анкети да оцијени оцјеном од 1 до 5 одзив, редослијед одговора, као и редослијед одговора приликом коришћења опције за сортирање помоћу простора боја

Приликом давања оцјена, корисник има на увид цијели индекс скуп података како би могао сам да донесе одлуку о броју *true positive* инстанци у датом скупу података.

7.2 Скуп података

Тестирање се врши употребом ручно сакупљеног скупа података коришћењем *Google Images* сервиса. Сакупљено је 30 слика за индекс скуп и 10 слика за упитни скуп. Битно је напоменути да су слике изабране тако да постоји велики број слика које могу да одговоре на више од једног упита како би коначна процјена свих метрика била остављена субјективном осјећају корисника.

7.3 Евалуација

Евалуација система се врши на веома једноставан начин. Корисницима је назначено у упитнику да по сопственом нахођењу извуку мјеру одзива и редослијед одговора за сваки од sample упита.

Одзив (*recall*) је мјера која представља колико тачно модел идентификује све позитивне инстанце у односу на све постојеће позитивне инстанце у скупу података. Израчунава се као однос тачно идентификованих позитивних инстанци и укупно постојећих позитивних инстанци.

Редослијед одговора, поред тога што се рачуна за стандардно сортирање *Elasticsearch*-овим уграђеним *value* параметром, рачуна се и за случај када је селековано сортирање помоћу простора боја.

8. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Резултати претходно описаног експеримента представљени су у табели 8.1. За сваку узорачку слику извучене су сљедеће статистике: просјечан одзив код свих испитаника, просјечна прецизност без коришћења додатних филтера, просјечна прецизност приликом коришћења сортирања у простору боја. У испитивању је учествовало 10 кандидата.

Садржај слике	Одзив	Прецизност (default)	Прецизност (HSV sort)
ауто	5	3	3,25
торта	4	3,25	3
мачка	4,5	4,25	4,25
пас	3	4,25	4
игра у пијеску	4,75	2,75	4,25
пица	2,75	2	4,75
птице	5	5	4,25
телевизор	3,25	4	4
улица	4,5	5	4
прибор за јело	3,75	4,25	4,25
Просјек	4,05	3,775	4

Табела 8.1 Резултати експеримента

Из приложених резултата може се закључити да је одзив система задовољавајућ са просјечном оцјеном 4,05 од 5 док је редослијед одговора оцијењен са 3,775 и 4 у зависности од тога да ли је резултат сортиран помоћу уграђеног *value* параметра или уз помоћ простора боја. Најлошији одзив је добијен приликом упита у којем је као узорак коришћена слика са пицом. Када је овај случај детаљније анализиран, дошло се до налазаа да је приликом процесирања слике, пица детектована као колач, стога није враћена велика количина слика на којојима се налазио релевантан објекат. Начин да се овај проблем ријеши јесте додатно дотрениравање *YOLOv5* модела над класом објекта која има највише проблема приликом класификације.

9. ЗАКЉУЧАК

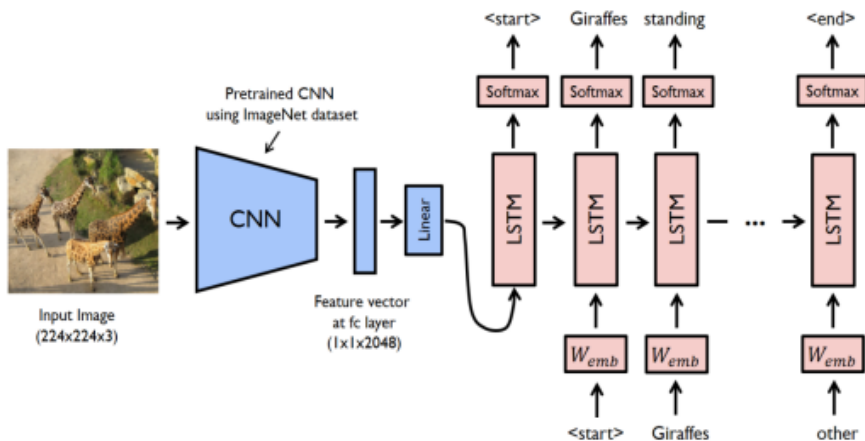
У овом раду видјели смо један начин имплементације система за реверзно претраживање слика. Овакав систем омогућава корисницима да уместо да се ослањају на кључне речи или описе за претрагу слика, на ефикасан начин пронађу жељене информације на основу саме слике. Ово може да има разнородну примену, од помоћи у идентификацији различитих предмета и локација, до потпуног унапређења искуства куповине преко интернета.

Систем се састоји из два одвојена сервиса: сервиса за претрагу који врши индексирање и претрагу користећи *Elasticsearch* систем за проналажење информација као и кеширање користећи *Redis in-memory* базу и сервиса за процесирање слике који користи моћне моделе машинског учења како би извукао својства из слике и представио је у формату који је лако претражив.

За разлику од већине система који врше претрагу користећи векторски начин претраге (нпр. *Web-Scale Responsive Visual Search*), овај систем своди проблем претраге слике на проблем претраге текста гдје се својства извлаче аутоматски насупрот традиционалном приступу гдје су се уносила ручно. Овакав иновативан приступ већ дуго је заступљен у Pinterest-овом Similar Search сервису [8] и веома лако може бити надопуњен ручним уносом описа слике, кључних ријечи итд..

Начини надоградње овог система су многобројни. С обзиром да је имплементиран само подскуп различитих могућности процесирања слике, додавањем било каквог додатног начина процесирања могуће је постићи побољшање система. Једна ствар која највише има смисла је да се постојећи начин претраге укомбинује са векторским начином претраге тако да постојећи начин исфилтрира контекстно релевантне резултате док векторска претрага проналази визуелно најсличнију слику. Олакшавајућа околност код овог приступа је та што *Elasticsearch* подржава векторско индексирање и претрагу *out-of-the-box* [16]. Такође, додавање модула за аутоматско генерисање описа или кључних ријечи из слике коришћењем машинског учења, могуће је побољшати квалитет извучених својстава и проширити домен примјене гдје би се поред реверзне претраге могла имплементирати и стандардна текст базирана претрага. Један од начина на који би ово могло бити уведено је коришћењем *CNN*-а за екстракцију обележја и

рекурентну неуронску мрежу (попут *LSTM*-а) или трансформер за генерисање текста [14] (слика 9.1).



Слика 9.1 Приједлог архитектуре *pipeline*-а за генерисање описа слике

Још један занимљив начин имплементације јесте интеграција овог система са неким *LLM*-ом који може генерисати опис/кључне ријечи слике (нпр. *ChatGPT4*).

10. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Hu, H., Wang, Y., Yang, L., Komlev, P., Huang, L., Chen, X., Huang, J., Wu, Y., Merchant, M. and Sacheti, A., 2018, July. Web-scale responsive visual search at bing. In Proceedings of the 24th ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery & data mining (pp. 359-367).
- [2] Al-Lohibi, H., Alkhamisi, T., Assagran, M., Aljohani, A. and Aljahdali, A.O., 2020. Awjedni: a reverse-image-search application. ADCAIJ: Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal, 9(3), p.49.
- [3] Gaillard, M. and Egyed-Zsigmond, E., 2017. Large scale reverse image search. XXXVème Congrès INFORSID, p.127.
- [4] Rahul, C. and Ghansala, K.K., 2018. Convolutional neural network (CNN) for image detection and recognition. In First International conference on secure cyber computing and communication, IEEE.
- [5] Albawi, S., Mohammed, T.A. and Al-Zawi, S., 2017, August. Understanding of a convolutional neural network. In 2017 International Conference on Engineering and Technology (ICET) (pp. 1-6). Ieee.
- [6] Boureau, Y.L., Ponce, J. and LeCun, Y., 2010. A theoretical analysis of feature pooling in visual recognition. In Proceedings of the 27th international conference on machine learning (ICML-10) (pp. 111-118).
- [7] Hearst, M.A., Dumais, S.T., Osuna, E., Platt, J. and Scholkopf, B., 1998. Support vector machines. IEEE Intelligent Systems and their applications, 13(4), pp.18-28.
- [8] Jing, Y., Liu, D., Kislyuk, D., Zhai, A., Xu, J., Donahue, J. and Tavel, S., 2015, August. Visual search at pinterest. In Proceedings of the 21th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (pp. 1889-1898).
- [9] Boot, S., 2020. Spring Boot.

- [10] Lathkar, M., 2023. Introduction to FastAPI. In High-Performance Web Apps with FastAPI: The Asynchronous Web Framework Based on Modern Python (pp. 1-28). Berkeley, CA: Apress.
- [11] Paksula, M., 2010. Persisting objects in redis key-value database. University of Helsinki, Department of Computer Science, 27.
- [12] Docker, I., 2020. Docker. linea].[Junio de 2017]. Disponible en: <https://www.docker.com/what-docker>.
- [13] Jangla, K. and Jangla, K., 2018. Docker compose. Accelerating Development Velocity Using Docker: Docker Across Microservices, pp.77-98.
- [14] Yadav, A., Vishwakarma, A., Panickar, S. and Kuchiwale, S., 2020. Real time video to text summarization using neural network. Int. Res. J. Eng. Tech, 7, pp.1828-36.
- [15] Elasticsearch, B.V., 2018. Elasticsearch. software, version, 6(1).
- [16] Amato, G., Bolettieri, P., Carrara, F., Falchi, F. and Gennaro, C., 2018, June. Large-scale image retrieval with elasticsearch. In The 41st International ACM SIGIR Conference on Research & Development in Information Retrieval (pp. 925-928).
- [17] Pavan Kumar, I., Hara Gopal, V.P., Ramasubbareddy, S., Nalluri, S. and Govinda, K., 2020. Dominant color palette extraction by K-means clustering algorithm and reconstruction of image. In Data Engineering and Communication Technology: Proceedings of 3rd ICDECT-2K19 (pp. 921-929). Springer Singapore.
- [18] Bielak, K., Borek, B. and Plechawska-Wójcik, M., 2022. Web application performance analysis using Angular, React and Vue. js frameworks. Journal of Computer Sciences Institute, 23, pp.77-83.
- [19] Ikotun, A.M., Ezugwu, A.E., Abualigah, L., Abuhaija, B. and Heming, J., 2022. K-means clustering algorithms: A

comprehensive review, variants analysis, and advances in the era of big data. Information Sciences.

- [20] Jocher, G., Stoken, A., Borovec, J., Chaurasia, A., Changyu, L., Hogan, A., Hajek, J., Diaconu, L., Kwon, Y., Defretin, Y. and Lohia, A., 2021. ultralytics/yolov5: v5. 0-YOLOv5-P6 1280 models, AWS, Supervise. ly and YouTube integrations. Zenodo.
- [21] Zhu, X., Lyu, S., Wang, X. and Zhao, Q., 2021. TPH-YOLOv5: Improved YOLOv5 based on transformer prediction head for object detection on drone-captured scenarios. In Proceedings of the IEEE/CVF international conference on computer vision (pp. 2778-2788).

11. БИОГРАФИЈА

Иван Мршуља је рођен 31.01.2000. у Котору, гдје је стекао основно и средње образовање. Школске 2018/19 године се уписује на Факултет Техничких Наука на студијски програм Софтверско Инжењерство и Информационе Технологије. Положио је све испите предвиђене планом и програмом и дипломирао у септембру 2022 године са завршним радом „Праћење и препознавање геста шаке комбинацијом неуронских мрежа и традиционалних приступа“. Исте године, школске 2022/2023, уписује се на мастер академске студије, на студијски програм Софтверско Инжењерство и Информационе Технологије – Електронско Пословање. Положио је све испите предвиђене планом и програмом и стекао услов за одбрану завршног рада.