

Iskanje vzorca šarenice v naravi

Matej Bevec¹[0000–0001–8746–469X]

University of Ljubljana, Mestni trg 12, 1000 Ljubljana, Slovenija
study.info@uni-lj.si



1 Uvod

Podrobne fotografije šarenice človeškega očesa razkrijejo fascinantne, dozdevno unikatne vzorce, ki se razlikujejo od posameznika do posameznika. Pa so ti vzorci res unikatni, ali se pojavljajo tudi drugot v naravi? V izvedeni nalogi poskusimo odgovoriti na to vprašanje z razvojem interaktivno aplikacije, ki zajame sliko subjektovega očesa in poiše fotografije podobnih naravnih struktur. Naloga je del širšega projekta Mojce Radkovič, magistrske študentke Novih medijev, ALUO. V sledenem poročilu najprej predstavimo idejo projekta, nato pa podrobno opišemo implementacijo razvite rešitve.

2 Ideja projekta

Avtorica v svojem projektu raziskuje podobnosti med teksturami šarenice človeškega očesa in raznolikimi vzorci, ki se pojavljajo v naravnem svetu. V okviru projekta bo ustvarjena lastna zbirka kvalitetnih fotografij različnih subjektov v kontroliранem okolju, hkrati pa zbirka različnih vzorcev oz. tekstur, ki se pojavljajo v naravi. Delo bo predstavljeno v obliki fotografiske knjige, kjer bodo izpostavljene jukstapozicije fotografij očes in naravnih vzorcev. Ob vsaki fotografiji očesa bo pozicioniran izbor vzorcev, ki se po presoji avtorice v nekem aspektu vizualno ujemajo z teksturo šarenice.

Pri tem gre za raziskovanje konceptov, kot je univerzalnost naravnih, bodisi organskih ali anorganskih struktur, ki so konec končev produkt enakih fizikalnih

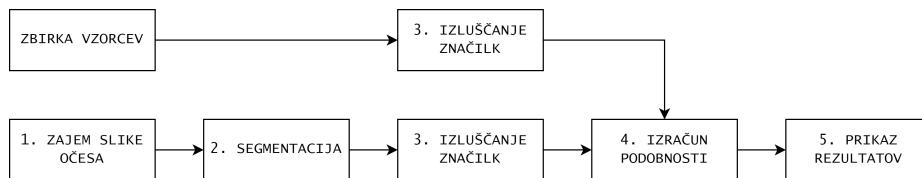
zakonov. Mnogi enaki vzorci se zato, pojavljajo v popolnoma ločenih sferah narave in v različnih velikostnih razredih. V kontrastu pa delo prav tako zastavlja vprašanje t.i. *apofenije*. Apofenija je bil prvotno striktno medicinski termin, ki se pomeni začetne faze akutne shizofrenije, ko pacient začne zaznavati nesmiselne vsebinske povezave in blodnje. Danes pa se izraz pogosto nanaša na univerzalno človeško nagnjenost k pogosto iracionalnem prepoznavanju vzorcev in povezav v naključnem. Gre torej res za ponavljanje vzorcev ali si to le domišljamo kot opazovalci? Je to sploh smiselno vprašanje?

Kaj pa, če iz procesa izključimo človeka in iskanje podobnosti prepustimo računalniku? To idejo materializira sekundarni izdelek projekta in tema pričujočega poročila — avtomatsko iskanje vzorca šarenice v naravnih strukturah na podlagi šarenice subjekta, zajete v realnem času. Gre za inštalacijo, kjer subjekt pristopi k oknu s kamero. Po določenem času, kamera zajame fotografijo subjektovega očesa in jo posreduje računalniku. Tam se najprej izvede segmentacija šarenice, nato pa se na podlagi strojnoučenskih modelov identificira najbolj podobne fotografije iz vnaprej sestavljenih zbirki vzorcev. Subjektu so nato na ekranu predstavljeni rezultati — vzorci, ki najbolj spominjajo na šarenico njenega/njegovega očesa. V sledečih poglavjih podrobno predstavimo implementacijo programske rešitve opisane interaktivne inštalacije.

3 Zbirka referenčnih fotografij

Osnova za pričajočo aplikacijo je seveda zbirka referenčnih fotografij naravnih tekstur, ki na nek način spominjajo na teksturo šarenice. Kot je bilo opisano, bo končni projekt vključeval avtorsko zbirko referenčnih fotografij, ki bo uporabljena tudi v kontekstu aplikacije. Ker ta zbirka trenutno še ni končana, za demonstracijo zberemo množico okoli 70 fotografij iz spleta, ki med drugim fotografije, rečnih delt, zvezdnih meglic, lednikov, morja, površine lista, lubja in reliefnih struktur it ptičje perspektive.

4 Metodologija



Implementirano rešitev lahko opišemo kot cevovod za obdelavo podatkov, t.j. vhodne fotografije očesa in referenčnih fotografij. Cevovod sestavljajo sledeči koraki.

1. Zajem kvalitetne fotografije šarenice v realnem času
2. Segmentacija šarenice
3. Izluščanje značilk iz fotografije šarenice in referenčnih fotografij
4. Izračun podobnosti vseh referenčnih fotografij šarenici
5. Prikaz najpodobnejših fotografij

4.1 Zajem slike očesa

Slika je zajeta preko vmesnika spletnne kamere. Zajem in segmentacija se dogajata v realnem času, in sta tako tudi prikazana uporabniku. Ko program stopi v fazo izluščanja značilk se zajem prekine do konca cevovoda.

V fizični izvedbi inštalacije je vhodna naprava v vlogi spletnne kamere lahko fotoaparat z makro objektivom in ustrezno osvetlitvijo. Ključno je, da je z računalnikom povezan preko vmesnika za zajemanje slike v živo (npr. t.i. CamLink).

Za demonstracijo programske rešitve uporabimo integrirano *spletno kamero*, vnaprej posnet *videoposnetek* in *fotografije* očes.

4.2 Segmentacija

Iz bližnjega posnetka očesa je najprej potrebno izolirati oz. segmentirati območje, ki predstavlja šarenico. Za to nalogo preizkusimo dve različni metodi, eno klasično in eno na osnovi nevronskih mrež.

Daugmanov algoritem [1] je klasična metoda računalniškega vida za segmentacijo šarenice.

MediaPipe [2] je Googlova prostodostopna zbirka modelov globokega učenja za različne naloge na področju računalniškega vida. V našem cevovodu uporabimo t.i. facemesh — model, ki za vhodno fotografijo obraza vrne pozicije vnaprej določenih ključnih točk na obrazu. V našem primeru vzamemo štiri točke, ki skrajno zgornjo, spodnjo, levo in desno točko šarenice. Na podlagi teh točk aproksimiramo območje šarenice.

Ta pristop se izkaže za bolj robustnega in dovolj hitrega za izvajanje v realnem času. Zato kljub eni pomanjkljivosti — omejitvi bližine očesa v kadru — to metodo izberemo za interaktivno aplikacijo.

Rezultat segmentacije sta krožnici, ki predstavljata zunanjo mejo šarenice (z beločnico) in notranjo mejo (z zenico). Ta podlagi dobljenega bi lahko obliko šarenice "izrezali" iz fotografije. Ker pa želimo primerjati le teksturo šarenice, in nas oblika očesa ne zanima (oz. bi bila celo moteča), je bolj smiselno, da območje šarenice "razvijemo" v pravokotno sliko. To dosežemo tako, da daljico v širini šarenice, rotiramo okoli središča (zenice) in po stolpcih sestavljamo sliko iz slikovnih pik, ki se trenutno nahajajo "pod" daljico.

4.3 Izluščanje značilk

Da lahko primerjamo fotografije v smislu vizualne podobnosti, iz njih izluščimo reprezentativne značilke. Vsako sliko torej zakodiramo v n-dimenzionalni vektor, ki na nek način povzame njene lastnosti. Tudi v tem koraku preizkusimo dve metodi.

Local Binary Patterns (LBP) [3] je klasična metoda za primerjanje tekstur. Slika je zakodirana kot histogram frekvenc različnih lokalnih vzorcev, ki se pojavljajo v sliki. Lokalni vzorec pa se nanaša na vzorec sprememb intenzitete okoli dane slikovne točke. To metodo uporabimo, ker je zasnovana prav za nalogu prepoznavanja tekstur. Apliciramo jo na barvno sliko, tako da ima vsak kanal svoje "koše".

CLIP [4] je OpenAI-jev združeni globoki model za vložitve (angl. embeddings) slik in teksta. Sestavljen je iz kodirnika slike in kodirnika teksta, ki sta naučena, da učni par (slika, opis) preslikata v bližnja vektorja. Metoda torej omogoča npr. iskanje podobnih slik ali pa iskanje slik z tekstovno poizvedbo. Pomembno pa je, da je metoda naučena za "razumevanje" visokonivojske vsebine v slikah in in specializirana za teksture.

Tu je vredno omeniti, da nivo podobnosti med vzorcem šarenice in vzorcem iz narave seveda nima stroge ali manj stroge teoretične definicije oz. taka definicija ni smiselna. Kot je opisano v razdelku ((TBA)), gre predvsem za posnehanje človeške subjektivne presoje. Zato je izbira vložitvenega model bolj kot ne kreativna odločitev.

4.4 Izračun podobnosti

Za vektor vsake referenčne slike izračunamo razdaljo do vektorja slike šarenice (i.e. poizvedbe) in dobljeni seznam razdalj sortiramo. Rezultat je rangiranje referenčnih slik po podobnosti poizvedbi. Kot merilo razdalje uporabimo evklidsko razdaljo.

$$d(a, b) = \sqrt{(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + \dots + (a_n - b_n)^2} \quad (1)$$

4.5 Prikaz rezultatov

V zadnjem koraku uporabniku prikažemo k fotografij, ki imajo najmanjšo razdaljo, in torej predstavljajo vizualno najbližje vzorce.

5 Primeri

Slika 1 prikazuje nekatere primere poiskanih vzorcev. Očitno je da, je v večini primerov podobnost (taka ali drugačna) dovoljšna, da jo lahko (človeški) opazovalec "sprejme" oz. si jo zna interpretirati. To velja v smislu same teksture.

Šarenice, kjer so izrazito opazna mišična vlakna so podobna npr. rečnim deltam. Šarenice, ki imajo mehkje prehode z zaplatami barv pa spominjajo na npr. zvezdne meglice. Mnogi primeri se ujemajo tudi barvno. Moderne šarenice so podobne npr. morju in ledenikom, rjave pa lubju in pesku.

Po pričakovanjih se pojavljajo tudi očitne napake, opaziti pa je tudi pogoste ponovitve istih vzorcev, medtem ko nekateri niso nikoli izbrani. Razlog zato je morda da uporabljamo modele, ki niso prilagojeni vzorcem šarenice. Ker je med vzorci šarenic, v primerjavi s prostor vseh mogočih fotografij, le majhna varianca, se lahko zgodi, da so vse po merilih modela najbolj podobne enaki fotografiji.

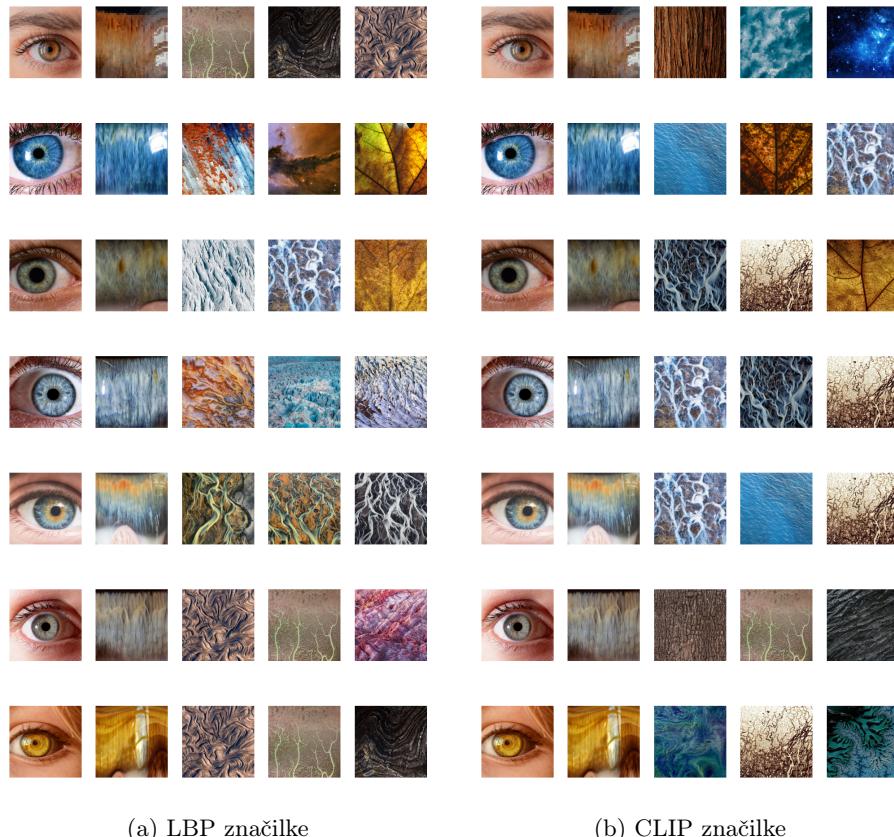


Fig. 1: Najdeni vzorci za različne fotografije očes. Primer na levri uporablja LBP značilke, primer na desni pa CLIP značilke.

6 Uporabniški vmesnik

Rešitev je zasnovana kot interaktivna aplikacija, ki predstavlja programski del fizične inštalacije.

V prvi faziji zajema se subjekt vidi na zaslonu. Segmentacija se opravlja v realnem času, kar je prikazano z rdečo obrobo okoli šarenice. Ko se subjekt v kadru dovolj približa, se začne odštevanje do končnega zajema slike, ki je prikazano s polnjenjem obrobe šarenice, ki je zdaj zelena. Če se v tem času spet ne oddalji, se program premakni v naslednjo fazo. Tu je najprej vizualizirano razvijanje šarenice v pravokotni "trak" in nalaganje referenčnih fotografij. Ko so izračunane podobnosti, je to prikazano z prosojnostjo fotografij. Najmanj prosojne fotografije so najpodobnejše. Sledi zaključni korak, kjer se uporabniku prikaže (in tudi shrani) zaslon z zajeto sliko njenega/njegovega očesa in z tremi najbližjimi referenčnimi fotografijami.

Poleg interaktivnega delovanje preko vmesnika spletna kamera aplikacija omogoča tudi, da uporabnik posreduje direktorij z fotografijami očes.

References

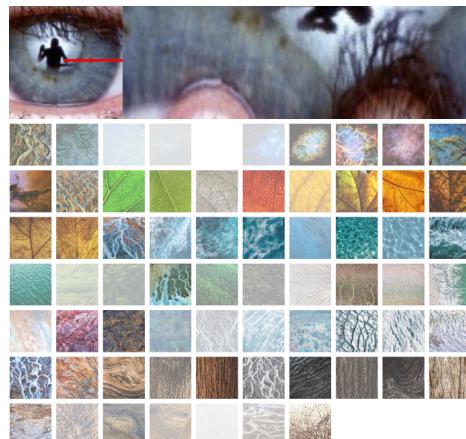
- [1] John G Daugman. 1993. High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 15, 11, 1148–1161.
- [2] Yury Kartynnik, Artyom Ablavatski, Ivan Grishchenko, and Matthias Grundmann. 2019. Real-time facial surface geometry from monocular video on mobile gpus. *arXiv preprint arXiv:1907.06724*.
- [3] Timo Ojala, Matti Pietikäinen, and David Harwood. 1996. A comparative study of texture measures with classification based on featured distributions. *Pattern recognition*, 29, 1, 51–59.
- [4] Alec Radford et al. 2021. Learning transferable visual models from natural language supervision. In *International Conference on Machine Learning*. PMLR, 8748–8763.



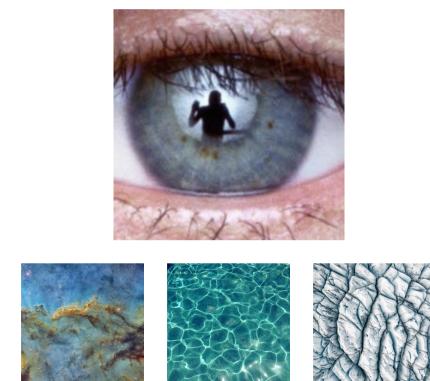
(a) Zajem in sprotna segmentacija



(b) Razvoj območja šarenice



(c) Izračun podobnosti



(d) Prikaz rezultatov