Gépi látás

Márton Arnold
xdt7oo

Széchenyi István Egyetem

Tartalomjegyzék

Bevezetés

A projekt célja a Rubik-kocka állapotának felismerése fényképek alapján, és a felismert állapot prezentálása. A script képes feldolgozni a Rubik-kockáról készített fényképeket, azonosítani a színeket, majd az eredményeket egy Excel táblázatban megjeleníteni. A dokumentáció célja bemutatni az elkészült python script működését és használatát.

Eszközök és technológiák ismertetése

A projekt megvalósításához az alábbi eszközöket és technológiákat használtam:

Python: A projekt fő programozási nyelve.

A Python egy magas szintű, általános célú programozási nyelv, amelyet Guido van Rossum alkotott meg, és először 1991-ben jelent meg. A Python tervezésénél nagy hangsúlyt fektettek a kód olvashatóságára és egyszerű szintaxisára, amely lehetővé teszi a programozók számára, hogy kevesebb kódsorral fejezzék ki az ötleteiket. Ennek köszönhetően a Python egy rendkívül hatékony és könnyen tanulható nyelv, amely széles körben elterjedt mind az iparban, mind az oktatásban.

OpenCV: A képfeldolgozáshoz és színazonosításhoz használt könyvtár.

Az OpenCV (Open Source Computer Vision Library) egy nyílt forráskódú számítógépes látás könyvtár, amelyet az Intel hozott létre 1999-ben, és ma széles körben használják különféle képfeldolgozási és számítógépes látási feladatok megoldására. Az OpenCV C++, Python és Java nyelveken is elérhető, de a Python interfész az egyik legnépszerűbb a könnyű használhatóságának és rugalmasságának köszönhetően.

NumPy: A numerikus számításokhoz és tömbkezeléshez használt python könyvtár.

Openpyxl: Az eredmények Excel táblázatba történő írásához használt python könyvtár.

Műszaki dokumentáció

Az elkészült verzió elérhetősége

repository: https://github.com/Arnold0802/gepilatas24

python fájl: rubik9.py

A githubra feltöltött repository tartalmazza a működő scriptet, a párhuzamos próbálkozásokat, a fejlesztés folyamán használt segéd állományokat, tesztek eredményeit, valamint a 23 mappát melyek a script működésének kiértékelésénél voltak mintaként felhasználva.

Felhasznált könyvtárak

- OpenCV (cv2):
  - Képfeldolgozás, gamma korrekció, kontúrok keresése, színek megállapítása/összehasonlítása.
- NumPy:
  - Tömbműveletek, színek átlagolása.
- openpyxl:
  - Excel fájl létrehozása, Rubik-kocka ábrázolása, megállapított értékek megjelenítése

Definiált segédfüggvények

adjust_gamma(image, gamma):

Ez a függvény egy kép gamma-korrekcióját végzi el. A gamma-korrekció egy képfeldolgozási művelet, amelynek célja a kép fényességének módosítása anélkül, hogy a színeket aránytalanul befolyásolná. A gamma értékének megváltoztatásával sötétíthetjük vagy világosíthatjuk a képet.

Paraméterek:

image: A bemeneti kép, amelyen a gamma-korrekciót végre kell hajtani.

gamma: A gamma korrekciós értéke. Alapértelmezés szerint 1,5. Ha gamma < 1, a kép sötétebb lesz, ha gamma > 1, a kép világosabb lesz.

find_closest_color(color, colors):
Megkeresi a legközelebbi színt az előre definiált színek közül.

rgb_to_hex(rgb):
RGB színkódot hexadecimális formátumba konvertál.

A script lépései

Gamma érték beállítása

A képfeldolgozás során nagyon fontos a megfelelő színek használata, így a scriptet kiegészítettem egy külső ciklussal.

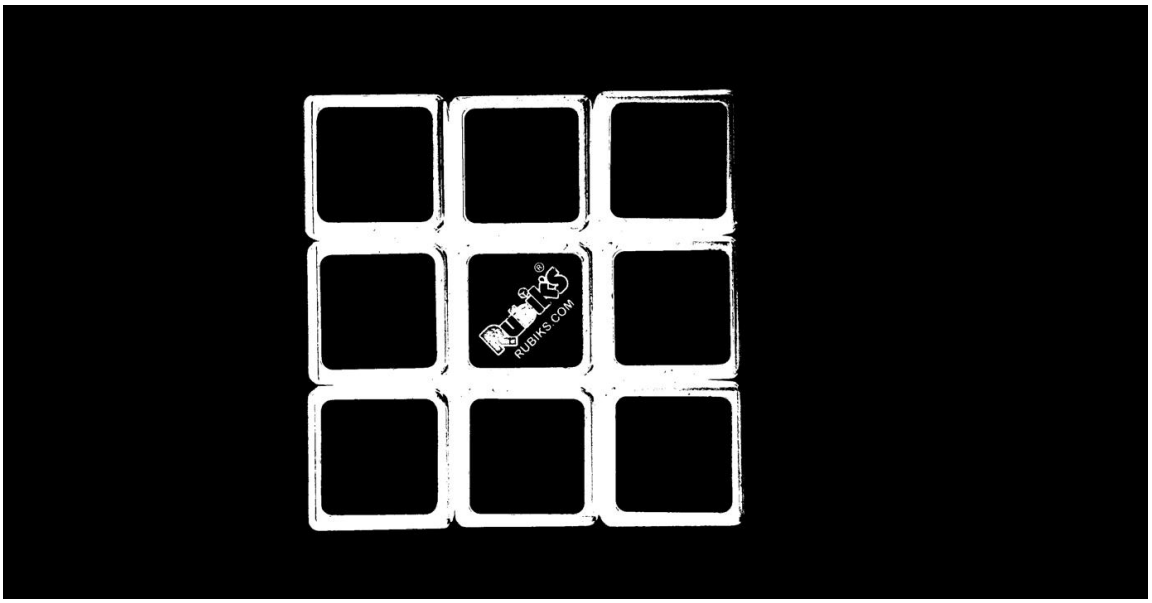
Ez a ciklus egy nagyon magas (2,5) gamma értéket állít be kezdőértékként, és a Rubik-kocka oldalairól készült képeket ezzel a gamma-korrekciós értékkel dolgozza fel. A cél az, hogy minden színből 9 darabot találjon. Ha nem jár sikerrel, csökkenti a gamma értékét 0,1-el, majd újra feldolgozza a Rubik-kockáról készült képeket az új gamma értékkel. Mindezt addig ismétli, amíg nem lesz sikeres a színek felismerése, vagy el nem ér egy túl alacsony, 0,1 alatti gamma értéket. Túl alacsony érték esetén egy „flag” beállításával jelzi, hogy a script képfeldolgozó része egy utolsó alkalommal fog lefutni, az alapértelmezett 1,0 gamma-érték használatával. A kimeneti fájl az 1,0 gamma érték használatával megállapított színek alapján készül el (1. forráskód részlet).

```
    if all_nines or flag:
        go=0
    else:
        if gammavalue < 0.1:
            gammavalue = 1
            flag = 1
        else:
            gammavalue = gammavalue - 0.1
```

1. forráskód részlet: Gamma korrekciós ciklus feltételei

Kép beolvasása és előfeldolgozása

A beolvasott képet a script először olyan képpé alakítja, ami csak fekete vagy fehér képpontokból áll (1. ábra). Ez a lépés azért szükséges, mert így sokkal könnyebb megtalálni a fényképen a Rubik-kocka kontúrjait.



1. ábra: fekete-fehér Rubik-kocka.

A bináris kép az alábbi módon készült (2. forráskód részlet):

A bemeneti képet először szürkeárnyalatos képpé alakítja a script, majd a szürkeárnyalatos képen a megadott küszöbérték alapján minden pixelről eldönti, hogy fehér vagy fekete színű lesz a visszaadott képen. Ehhez az OpenCV küszöbérték függvényét használtam (cv2.threshold) mely az alábbi módon működik:

A cv2.threshold függvény két értéket ad vissza: a küszöbértéket, amit nem használtam, ezért aláhúzással helyettesítem ('_'), és a küszöbértékelt képet ('thresholded_image').

Azok a pixelek a `gray_image` képen, amelyeknek értéke 50 vagy annál kisebb, 255 értéket kapják (fehérek lesznek), valamint azok a pixelek, amelyeknek az értéke 50-nél nagyobb, 0 értéket kapnak (feketék lesznek).

Ez a küszöbértékelt kép (`thresholded_image`) egy bináris kép lesz, ahol a fehér (255) és a fekete (0) pixelek képviselik az eredeti kép alapján a küszöbértékelt területeket.

Példa:

Tegyük fel, hogy van egy szürkeárnyalatos képünk, amelynek néhány pixelértéke 30, 70, és 120. A küszöbértékelés eredményeként:

- A 30-as értékű pixelek 255-öt kapnak (fehér).
- A 70-es és 120-as értékű pixelek 0-át kapnak (fekete).

Ez az eljárás hasznos lehet olyan képfeldolgozási feladatokhoz, ahol a képből ki szeretnénk emelni bizonyos területeket, például objektumokat vagy alakzatokat, amelyek megkülönböztethetők a környezetüktől.

```
  gray_image = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
  _, thresholded_image = cv2.threshold(gray_image, 50, 255,
cv2.THRESH_BINARY_INV)
```

2. forráskód részlet: bináris kép elkészítése

A megtalált kontúrok segítségével egy bounding box megrajzolása következik, ami pontosan meghatározza a képen a Rubik-kocka helyzetét (2. ábra), majd ezeknek az értékeknek a felhasználásával az eredeti képből kivágja a hasznos területet, így a kép többi részével nem kell a későbbiekben foglalkozni.

2. ábra: Kontúrok és bounding Box.

A bounding box meghatározásához az OpenCV **boundingRect** függvényét használtam (3. forráskód részlet).

A függvény megkeresi a legkisebb téglalapot, amely teljesen körülzárja a megadott kontúrt, így a Rubik-kocka köré rajzolt szabálytalan alakzat alapján egy szabályos téglalapot kaptam. A függvény által visszaadott értékek:

- bal felső sarok x és y koordinátái
- téglalap szélessége és magassága

```
# Bounding box meghatározása
x, y, w, h = cv2.boundingRect(largest_contour)
```

3. forráskód részlet: boundingRect használata

A kivágott Rubik-kocka képének feldolgozása

Miután elkészült a kivágott kép, a script alkalmazza erre a képre a gamma-korrekciós függvényt. A gamma-korrekció után a képet 2 vízszintes és 2 függőleges vonal segítségével a script 9 egyenlő részre osztja (3. ábra), majd ezeket a képrészleteket egyesével, külön képekként dolgozza fel (4. ábra).

3. ábra: 9 egyenlő területre osztás.

4. ábra: a 9 különálló cella.

A Rubik-kocka fehér oldalán középen található a termék logója. Ez a színekkel teli logó vezetett ahhoz a megoldáshoz, hogy mind a 9 képből egy kisebb részletet vág ki a script a bal felső részből, a cella színének megállapításához. (És ahhoz is, hogy kötött a kockáról készült képek elkészítésének módja.)

Színek felismerése

Miután megvan a kilenc színminta, a mintán található színek átlagolása történik, a kimenete pedig egy RGB színkód.

A kapott RGB értéket a script összehasonlítja a Rubik-kocka színeit tartalmazó előre definiált színtáblázattal (4. forráskód részlet), majd megállapítja, hogy melyik színkódhoz áll a legközelebb. A megtalált színt eltárolja egy numpy tömbben.

```
# Definiáljuk a 6 szín RGB kódját
colors = {
    'red': np.array([173, 44, 72]),
    'green': np.array([38, 145, 92]),
    'blue': np.array([16, 103, 168]),
    'yellow': np.array([204, 193, 44]),
    'orange': np.array([197, 129, 18]),
    'white': np.array([216, 204, 200])
}
```

4. forráskód részlet: színkódok

A színkódok meghatározásához a Rubik-kockáról készült első felvételsorozatot használtam. A színek 9 példányának RGB értékeit egy Excel táblázatban rögzítettem (5. ábra), majd az értékek átlagait használtam fel a „colors” értékeinek megadásához. (repo\ színértékek.xlsx)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1	kék				zöld				piros				narancs				citrom				fehér		
2	B	G	R		B	G	R		B	G	R		B	G	R		B	G	R		B	G	R
3	196	126	36		107	164	78		72	42	178		8	126	191		72	201	211		227	216	212
4	188	119	33		94	144	66		70	34	181		16	119	185		60	201	210		232	221	217
5	159	96	6		83	142	15		64	30	165		32	146	218		34	193	203		223	209	204
6	167	102	5		98	149	62		62	28	162		34	131	203		4	177	187		214	202	197
7	181	116	50		83	133	21		88	76	176		7	120	185		7	180	189		196	183	178
8	160	95	6		87	146	14		57	20	158		45	139	211		68	202	214		211	199	194
9	158	94	4		101	154	67		67	35	170		6	130	200		33	191	202		228	217	215
10	153	91	7		87	141	7		69	42	174		6	114	180		85	206	217		203	189	184
11	149	88	1		84	135	11		99	86	192		6	133	203		35	190	201		214	202	199
12	168	103	16		92	145	38		72	44	173		18	129	197		44	193	204		216	204	200
13																							
14																							

5. ábra: Excel tábla a színkódok megállapításához.

Miután mind a hat kép feldolgozása megtörtént, minden színből kilenc darabnak kell lennie, valamint a hat középső cellának mind egyedi színnel kell rendelkeznie, itt nem lehet színismétlődés.

Log fájl készítése

Kiegészítettem a scriptet egy szöveges dokumentum elkészítésével, amiben megtalálható a felismert színek adatstruktúrája két verzióban. Az első a színek RGB kódjait tartalmazza, míg a második a színek neveit.

A log fájl továbbá tartalmazza a megtalált színek darabszámát, a középső cellák színeit és egyediségét, valamint a színfelismerés során használt gamma értéket.

Eredmény prezentálása Excel táblázat használatával

A script az utolsó fázisában készít egy Excel fájlt, ahol a teljes Rubik-kocka ábrázolása történik 2 dimenzióban.

Az eredmény ellenőrzésének, hibák keresésének megkönnyítése érdekében három módon jeleníti meg a megállapított értékeket.

Az első részben a cellákat az RGB színkódnak megfelelő színnel tölti fel a script, a második rész a színek neveit tartalmazza, a harmadik rész pedig az RGB színkódot.

A „kiterített kocka” alatt a színösszesítés és a feldolgozás során használt gamma érték is megtalálható.

Az Excel fájl elkészítése után a script a futtatásának végéhez ér.

A script használata

A Rubik-kocka fényképezése

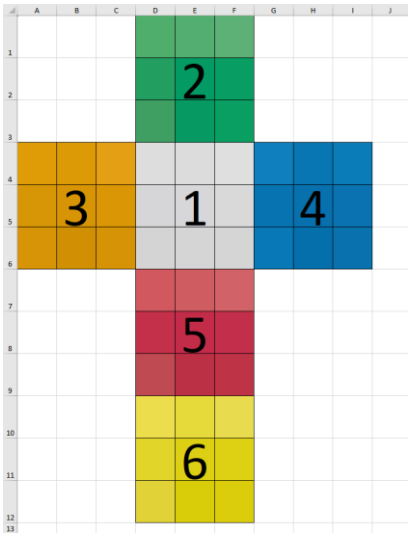
A script használatához szükség van a Rubik-kocka hat oldaláról készült fényképekre. A fényképeknek egységes színű háttérrel kell rendelkeznie, a nagyon erős árnyékok, színátmenetek, mintázatok hatására a kontúrok megtalálása nehézkessé válhat.

A „kiterített kocka” ábrázolásmódnak megfelelően kell elkészíteni a képeket a Rubik-kockáról, viszont az első képnek a logóval ellátott fehér oldalnak kell lennie.

A zöld, narancssárga, piros és kék oldalak csak a teljesen kirakott esetben vannak a 7. ábrán látható pozíciókban, a kocka más állapotában más pozícióban is lehetnek.

Fehér oldal helyes tájolása (6. ábra):

6. ábra: Rubik's logó tájolása.



7. ábra: 2D-s ábrázolás, "kiterített kocka"

A fényképek elkészítésének folyamata:

1. kép: a fehér oldal, a Rubik’s logó a 8. ábrán látható tájolásban van.

2. kép: a fehér oldal fölötti rész, a kockán egyet kell fordítani magunk felé.

3. kép: a fehér oldal a kiinduló pont, a balra eső oldalról kell képet készíteni, ehhez a kockán jobbra kell fordítani egyet.

4. kép: a fehér oldal ismét a kiinduló pont, a jobbra eső oldalról kell képet készíteni, ehhez a kockán balra kell fordítani egyet.

5. kép: a fehér oldal alatti oldal, a kockán a fehér oldaltól számítva egyet kell fordítani fölfelé.

6. kép: a sárga oldal, a kocka alja (ha a fehér oldalt tekintjük a tetejének). A fehér oldaltól számítva kettőt kell fordítani a kockán fölfelé.

Képfájlok elhelyezése

A képek számára létre kell hozni egy mappát, majd a mappában a kép sorszámának megfelelően kell a képet elnevezni. (pl: 1.jpg, 2.jpg, 3.jpg, 4.jpg, 5.jpg, 6.jpg)

A scriptben meg kell adni a mappa nevét a 69. sorban található mappa változóban (3. forráskód részlet).

```
mappa = 23
```

3. forráskód részlet: mappa változó értékének megadása

Script futtatása

A script futtatásához szükség van a python telepítésére, valamint pip segítségével telepíteni kell az opencv-python könyvtárat (ez telepíti a numpy-t is) és az openpyxl könyvtárat.

Ehhez Command prompt-ban az alábbi sorokat kell beírni:

```
pip install openpyxl
pip install opencv-python
```

Eltérő telepítés esetén a futtatás eltérhet, Windows-os környezetben a Command prompt-ból a futtatás történhet az alábbi módon:

```
python rubik9.py
```

A script futtatásának végén a Command prompt ablakban a „kész” felirat jelenik meg.

A log fájl és az eredményt tartalmazó Excel fájl a képeket tartalmazó mappába kerül.

A színfelismerés kiértékelése

Táblázat a felismerési arányról

Rubik-kocka felismerésének eredménye

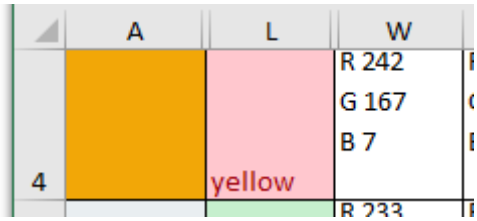
Vizsgálat	Minták száma	Sikeres felismerés	Sikertelen felismerés	Felismerési arány
teljes kocka	23	20	3	87%
piros szín	207	198	9	96%
zöld szín	207	198	9	96%
kék szín	207	198	9	96%
narancssárga szín	207	197	10	95%
citromsárga szín	207	196	11	95%
fehér szín	207	198	9	96%

Felismerés értékelése

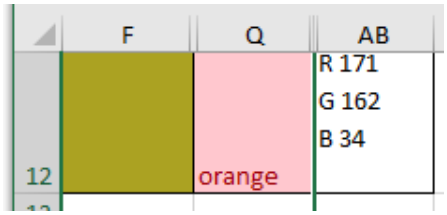
A teljes kocka felismerése a 23 mintából mindössze 3 alkalommal nem volt sikeres, ez annak köszönhető, hogy tudatosan próbáltam keresni a határait a képfeldolgozó scriptnek.

A hármas számú mintánál egy érdekes hiba jött elő, itt ugyanis a színek darabszáma megfelelt az elvárásoknak, mivel 2 hibás szín is volt, egy citromsárga helyett narancssárga és egy narancssárga helyett citromsárga. Az eredmények vizsgálatánál kiderült, hogy nagyon sötét volt a fényképeken a Rubik-kocka árnyéka, és olyan pozícióban helyezkedett el a kockához képest, hogy szabályos négyszöget sikerült felismerni a képeken úgy, hogy a kocka az árnyékával együtt szerepelt a kivágott képen. Emiatt a cellákra bontás is elcsúszott, így a színfelismeréshez rossz helyről történt a mintavételezés.

A hibás színek a 3-as mintán (8. és 9. ábra):



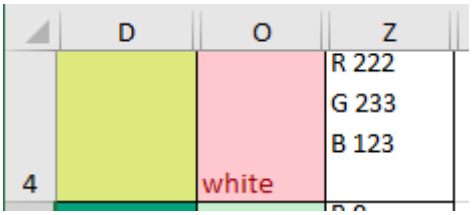
8. ábra narancssárga



9. ábra: citromsárga

Az RGB kód táblázatos közelítése önmagában nem adott itt jó megoldást, viszont ha a script figyelembe venné az R és G csatorna közötti különbséget, az is segítene a citromsárga és narancssárga színek megkülönböztetésében.

A hetes számú minta rossz fényviszonyok között készült, itt a fehér színek is elég kékes árnyalatúak voltak, de a legközelebbi szín továbbra is a fehér volt, így a felismerés sikeres volt. Itt egy hiba volt, egy sárga színt fehérnek ismert fel a script (10. ábra).

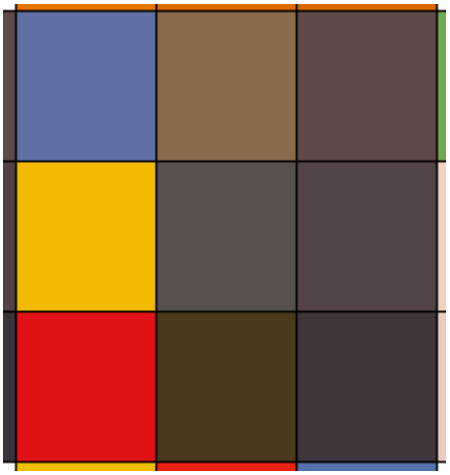


10. ábra: "fehér"

Itt a megoldás hasonló lehetne az előző hibáknál említetthez, ha figyelembe venné a script, hogy a B csatorna értéke jóval alacsonyabb az R és G csatorna értékénél, kiderülne, hogy ez a szín valószínűleg nem a fehér.

A nyolcas számú mintát teljesen értékelhetetlennek minősítettem. Az eltalált színek itt a véletlennek köszönhetőek (11. és 12. ábra). Bekapcsolt, sötét hátterű képernyő előtt fényképeztem a Rubik-kockát, meglepő lett volna, ha így is sikeres lesz a felismerés. Sajnos a Rubik-kockát nem sikerült megtalálni a képeken. Ennek a mintának köszönhető, hogy semelyik színfelismerés nem érte el a 100%-os értéket.

11. ábra: fehér oldal



12. ábra: hibás felismerés

Az ötös számú minta a hibátlan felismerések közé tartozik, a 13. ábrán látható az egyik oldal fényképe, és a 14. ábrán látható a script általi felismerése ennek a képnek. Ezen a képen jól megfigyelhető mind a 6 szín.

13. ábra: 6 szín egy oldalon

	D	E	F	O	P	Q	Z	AA	AB
4				white	red	green	R 241 G 239 B 244	R 221 G 65 B 67	R 77 G 158 B 76
5				blue	white	white	R 44 G 119 B 212	R 203 G 208 B 217	R 201 G 206 B 215
6				orange	yellow	red	R 243 G 144 B 41	R 229 G 211 B 41	R 190 G 16 B 30

14. ábra: példa egy hibátlan oldalfelismerésre

További fejlesztési lehetőségek

A scriptet további funkciókkal lehetne kiegészíteni a jövőben, az egyik hasznos kiegészítés a grafikus felület lenne, ami szerencsére a python programnyelv esetén egyszerűen kivitelezhető.

Egy másik hasznos dolog lenne a script kiegészítése argumentumokkal. Meg lehetne adni argumentumokkal a mintaképeket tartalmazó mappa nevét, valamint argumentumok alapján lehetne módosítani a script futásán. Ötletek a módosított futtatásra:

- nem teljes Rubik-kockát próbál meg felismeri, csupán egy megadott oldalt vizsgál,
- futás közben minden lépésnél egy ablakban megmutatja, épp mi történik a képpel,
- fix gamma-értékkel fut le.

Két bonyolultabb funkció kiegészítési lehetőség:

1. A felismert képek elemzése, ami alapján a script el tudná dönteni, hogy melyik oldal hogyan csatlakozik a többihez, így nem lenne szükség a fényképek kötött módon való elkészítésének. Valamint hibás/lehetetlen állapot felismerése esetén a felhasználó figyelmeztetése.

2. A felismert Rubik-kocka állapot alapján elkészíteni a kirakáshoz szükséges lépések listáját.

Összefoglaló

A fejlesztési folyamat során sok funkciót kipróbáltam az opencv lehetőségei közül, viszont az újratervezések során sok lépés feleslegessé vált. A repoban továbbra is megtalálható a korábbi próbálkozásaim több verziója is. Kísérleteztem a színek élénkítésével, használtam maszkolást a nem használt részek elfedésére, ez a szintén használaton kívül esett leggyakoribb szín megtalálása függvényhez volt hasznos.

Én elégedett vagyok a script teljesítményével, a korai verziókhoz képest sokkal magabiztosabb lett a felismerés, ami két fontos résznek köszönhető: a Rubik-kocka valódi színei alapján elkészített színérték táblázat, valamint a scriptben alkalmazott gamma-érték léptetés, a felismert színek darabszáma alapján. Ennek segítségével lehetett a különböző fényviszonyok között készült képeken a sárga területeket megkülönböztetni a narancssárga színű területektől.

Források

[1.] https://docs.opencv.org/4.x/d6/d00/tutorial_py_root.html

[2.] https://hu.wikipedia.org/wiki/Rubik-kocka

[3.] https://openpyxl.readthedocs.io/en/stable/