Virtuális Egér

2. mérföldkő

1. Feladat kiírás

Egy olyan rendszer megvalósítása, melyben kamera értelmezi a kéz és az ujjak mozgását. Ezek a mozgások megfeleltethetőek egy igazi egér eseményeinek, mintha egy touch pad-ot kezelnénk. Kamera elhelyezhető a monitor tetején, vagy egyéb helyen.

2. Megvalósítás

Olcsó webkamera segítségével, mely felülről figyeli a kéz gesztusait.

- *Kéz alapértelmezett állapota*: mutató ujj előre felé, kinyújtott helyzetben. A kéz mozgása megfeleltethető az egérmutató mozgásának.
- *Bal klikk esemény:* Hüvelyk ujj kinyitása egy bizonyos küszöb szög feletti állásba, a mutató ujjhoz képest.
- *Bal gomb dupla kattintás esemény:* Hüvelyk ujj kinyitása egy időintervallumon belül kétszer, a küszöb szög fölé.
- *Bal gomb nyomva tartás esemény:* Hüvelyk ujj kinyitása a küszöb szög fölé és a szög fölött tartása egy meghatározott időn túl.
- *Jobb klikk esemény:* Még nincs rá működő megoldás

A programozáshoz Microsoft Visual Studio 2010-et és OpenCV-t használunk (c++).

3. Algoritmusterv

1. kamera inicializálása (felbontás, fps)
2. minden frame-re:
3. szegmentálás (2D normalizált szintéren alapuló, vagy HSV szintéren alapuló)
4. ujjhegyek meghatározása (kontúr és konvex burok segítségével)
5. kurzor új pozícióba mozgatása
6. ha a kézgesztusból következik: kattintás
7. amíg a felhasználó le nem állítja a programot

4. Szegmentálás

Az algoritmus egyik legfontosabb lépése a szegmentálás. Az a cél, hogy egy olyan bináris képet kapjunk, amely már csak a kéz pixeleit tartalmazza vagy tökéletesen elkülöníthető a kéz más, zavaró

objektumoktól. Ez egy nehéz feladatnak bizonyult és nem is sikerült tökéletes megoldást adni rá. Két féle bőr alapú szegmentálást implementáltunk:

- 2D normalizált szintéren alapulót és
- HSV színtéren alapulót

A legnagyobb gondot a fényviszonyok jelentik, hiszen a bőr máshogy néz ki homályos szobában, mint jól megvilágított helyiségben, így borzasztóan fontos a megfelelő megvilágítás. Ezért a következő megkötésekkel kell élni:

- Lehetőleg világos háttér legyen, de semmiképpen sem bőrhöz hasonló színű.
- Ne legyen túl erősen megvilágítva kéz.
- Ne legyen sötét a szoba (talán a LED-es webkamera feloldja ezt a megkötést)

4.1. HSV szintéren alapuló szegmentálás

Az algoritmus első lépése egy RGB -> HSV szintér konverzió, amelyet a *cvCvtColor(RGBImg, HSVImg, CV_BGR2HSV)* OpenCV függvény segítségével végzek el. Ezt követően egy intervallumos szegmentálást hajtok végre minden csatornára a *cvInRangeS (hsvImg, hsv_min, hsv_max, hsv_mask)* függvény segítségével, ahol a *hsv_min* és *hsv_max* paraméterek vektorok, amelyek megadják a szegmentálási intervallumokat:

$$X = \begin{cases} 255 & ha\ hsv\_\min[0] \le hue(x,y) \le hsv\_\max[0] \\ 0 & egyébként \end{cases}$$

$$Y = \begin{cases} 255 & ha\ hsv\_\min[1] \le saturation(x,y) \le hsv\_\max[1] \\ 0 & egyébként \end{cases}$$

$$Z = \begin{cases} 255 & ha\ hsv\_\min[2] \le value(x,y) \le hsv\_\max[2] \\ 0 & egyébként \end{cases}$$

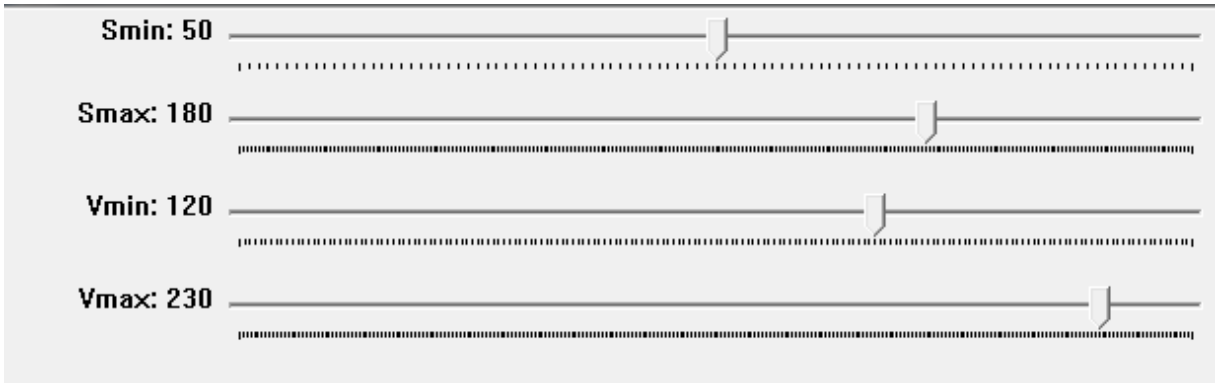
$$hsv\_mask(x,y) = \begin{cases} 0 & ha\ X \cdot Y \cdot Z = 0 \\ 255 & egyébként \end{cases}$$

Az intervallumok a következő 3 kép alapján alakultak ki:

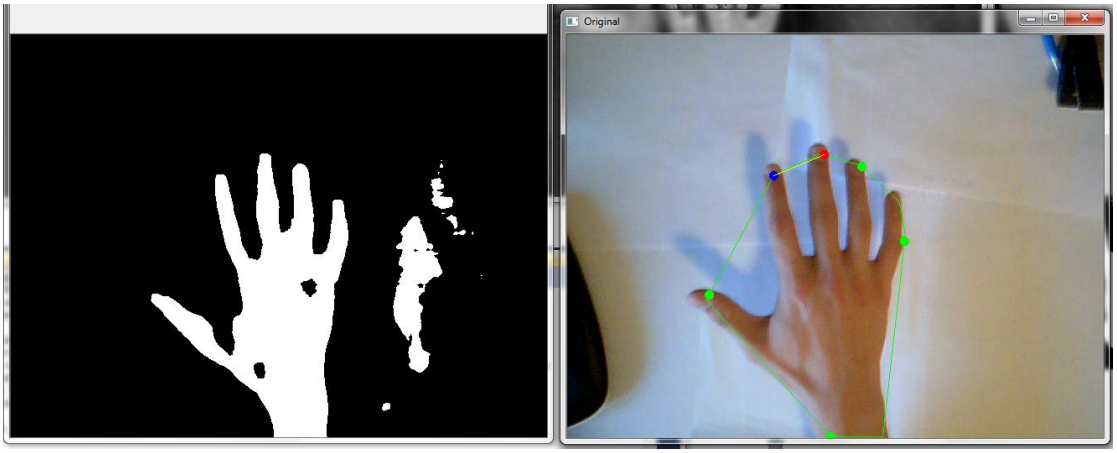
H, S és V csatornák

Jól látszik, hogy a H csatornán nagyon alacsony pixelértékeken található bőr, így akkor találtunk bőr-pixelt, ha 0 és 20 közötti a pixelérték. Az S csatornánál ez az [50, 180] intervallumra adódott, míg a V csatornán [120, 230] intervallumra.

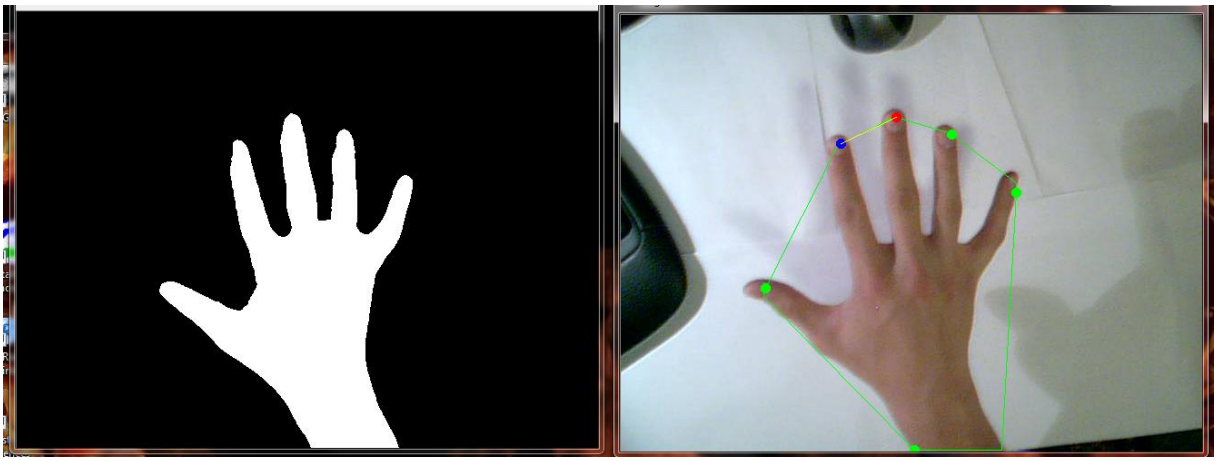
Természetesen nagyon komoly faktor a megvilágítás és az illető bőrárnyalata ezért a szegmentálás paraméterei egy csúszka segítségével változtathatóak az aktuális környezetnek megfelelően:



Utolsó lépésként pedig egy mediánszűrést hajtok végre 27-es ablakmérettel, hogy a fölösleg pontokat eltávolítsam. Ez a szegmentálási eljárás a következő eredményt hozta :



Gyenge fényviszonyok mellett.

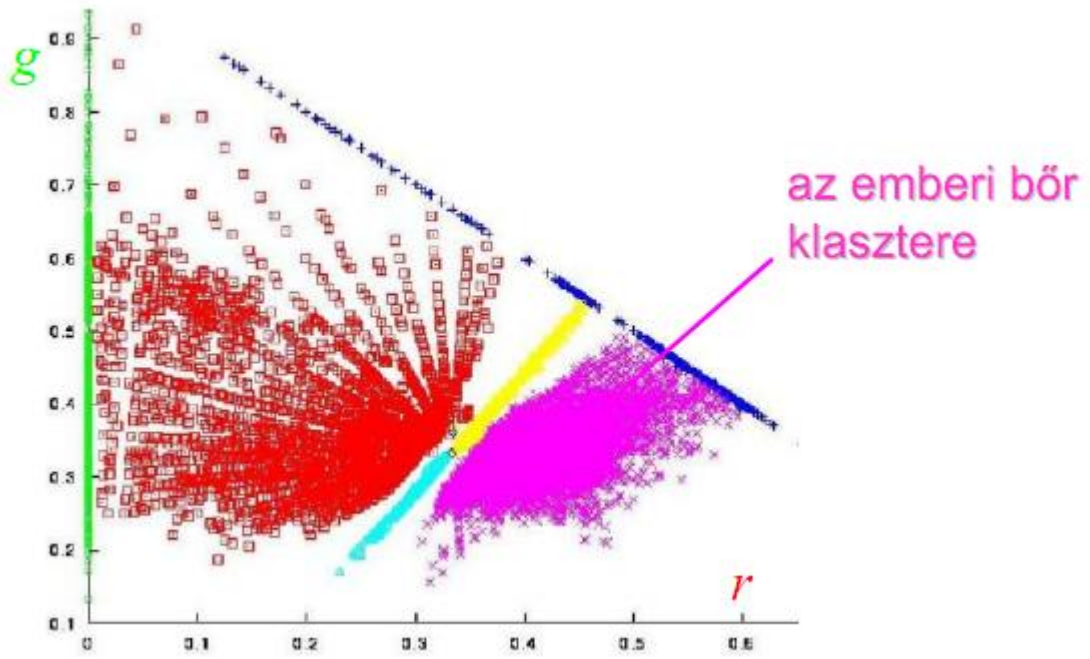


Jó fényviszonyok mellett (mesterséges fény)

4.2. 2D normalizált színtéren alapuló szegmentálás

RGB -> 2D normalizált szintér konverziót hajtunk végre:

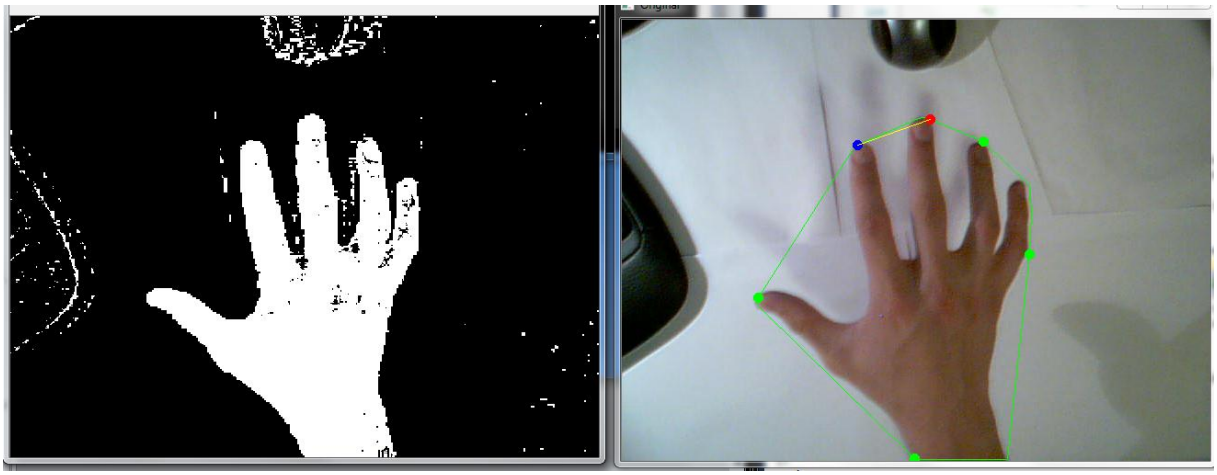
$$r = \frac{R}{R+G+B}, g = \frac{G}{R+G+B}$$



Az emberi bőr a [0.25, 0.4] g intervallumon és a [0.35, 0.55] r intervallumon helyezkedik el:

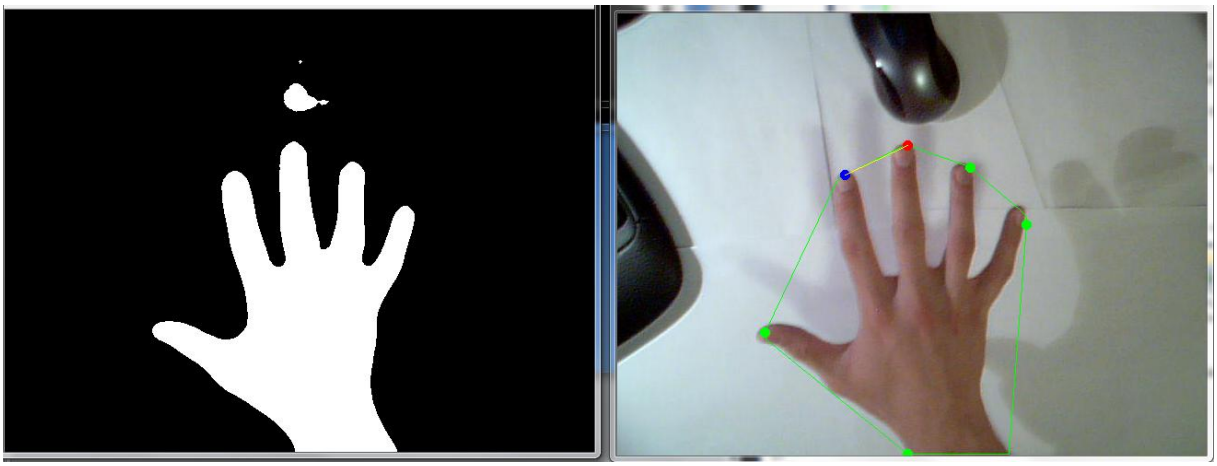
$$dst(x,y) = \begin{cases} 255 & ha\ 0.25 \le g(x,y) \le 0.4\ és\ \ 0.35 \le r(x,y) \le 0.55 \\ 0 & egyébként \end{cases}$$

Miután a fenti képletet leprogramoztam a következő eredményt kaptam:



RG szintérben történő szegmentálás (mesterséges fény mellett)

Szemmel láthatóan sok olyan objektum maradt a képen, ami közel sem bőr. Egy 25-ös ablakméretű mediánszűrés után a következő eredményt kaptam:



A szegmentált kép mediánszűrés után

4.3. Összegzés

A tesztek során az aktuális körülmények függvényében mindkét módszer szerepelt jól és rosszul is. Ezért arra az elhatározásra jutottam, hogy mindkét módszer belekerül a programba és a felhasználó döntése lesz, hogy melyiket használja. Az „r” gomb lenyomására a program a színteret vált (HSV az alapértelmezett).

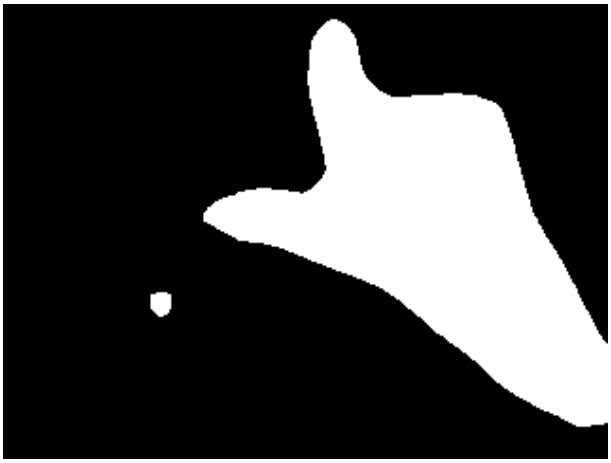
Nagyon fontos, hogy az algoritmus megfelelő, jól elkülöníthető hátteret és megfelelő megvilágítást feltételez, ezek hiányában előfordulhat rendellenes működés.

5. Kontúr, konvex burok, ujjhegyek

5.1. Kéz kontúrvonalának meghatározása

Ha a szegmentált kép már adott, akkor következő lépésben megkeressük a kontúrokat. Ezt OpenCV-ben a cvFindContours függvénnyel tehetjük meg. A függvénynek többek között megadjuk a szegmentált képet, majd egy szekvenciában visszakapjuk a kontúrokat. Azért többet, mert a szegmentált képen a kezet szimbolizáló fehér területen kívül lehetnek még más területek is, mivel teljesen tökéletes szegmentálás a legtöbb esetben nem lehetséges. Ezen alakzatok területe tapasztalataink alapján azonban sokkal kisebb, mint a kéz területe. Ezt kihasználva adhatunk egy alsó korlátot a kontúrok által határolt területekre, ami alatt nem vesszük figyelembe az alakzathoz tartozó kotúrt. Így biztos, hogy csak a kéz kontúrvonalát kapjuk vissza. Terület számítására a cvContourArea eljárást alkalmaztuk.

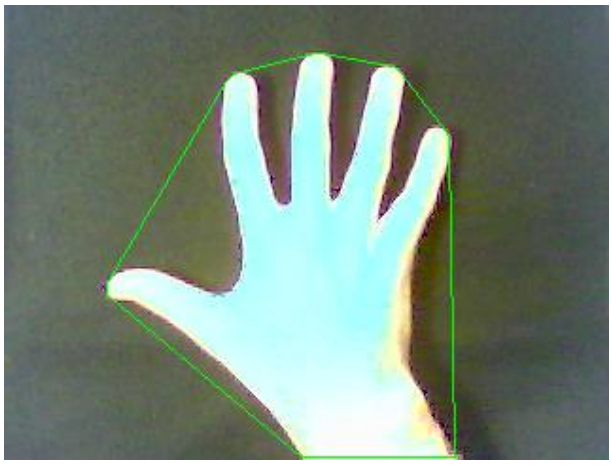
A kéz kontúrja



A kézen kívül más objektum is látható

5.2. Konvex burok számítása

Konvex burok számításához nincs másra szükségünk, mint az előbb meghatározott, a kézhez tartozó kontúrvonalra. OpenCV-ben a cvConvexHull2 paranccsal tehetjük ezt meg, melynek egy paramétere van: a kontúrokat tartalmazó szekvencia.



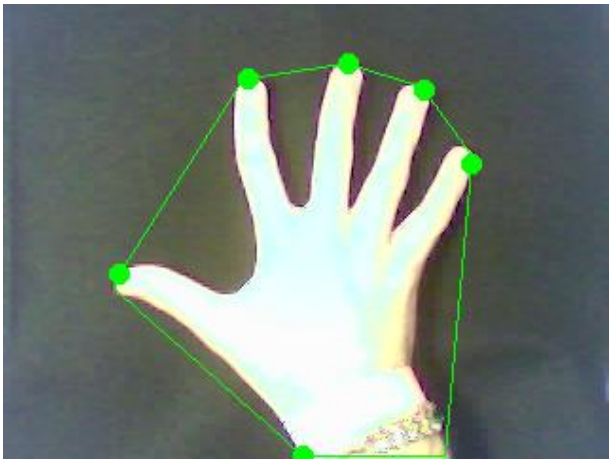
Konvex burok

A konvex burok gyakorlati hasznát a következő pontban tárgyaljuk.

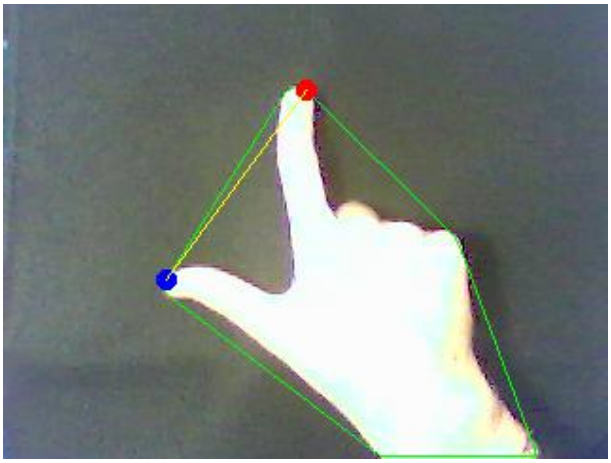
5.3. Ujjhegyek keresése

Ujjhegyek keresésénél felhasználjuk a kéz kontúrvonalára illesztett konvex burkot. Olyan helyeken, mint például az ujjak hegyei, biztosak lehetünk abban, hogy a burok töréspontokat tartalmaz. Egy ujjhegyre azonban több töréspont is jut, ezért a pontokat „kiritkítjuk”. Jelen esetben ez úgy történik, hogy ha egy pont a következőtől adott távolságon belül van, akkor figyelmen kívül hagyjuk. Ezenkívül többféleképpen történhetne még a ritkítás, például klaszterezéssel.

A ritkítás után már minden ujjhegyet csak egy pont szimbolizál (természetesen nem kizárt, hogy ezeken a pontokon kívül lesznek még más pontok is). Ezeket a pontokat tároljuk (jelen esetben egy veremben), a legkisebb y koordinátájú pont lesz a kinyújtott mutatóujj ujjhegye, az őt megelőző pont pedig a hüvelykujj ujjhegye.



Ritkítás után



Mutatóujj és hüvelykujj

6. Kurzor mozgása és kattintás

6.1. Mozgatás:

SetCursorPos() segítségével, melynek meg kell adni paraméterként a képernyő egy pontját, az x és y koordinátákat.

Az x, y koordináták kiszámítása a következő:

1. szegmentált mutató ujj koordinátáinak megkeresése:
   a konvex burok legkisebb y koordinátájú pontjának koordinátája lesz a mutató ujj egy pontja
2. a megtalált pont felskálázása a képernyőre:
   x koordináta:
   (Xmin*képernyő szélesség)/kamera szélesség
   y koordináta:
   (Ymin* képernyő magasság)/kamera magasság
   (Xmin és Ymin a mutató ujj kordinátái)
3. Apró remegés kiküszöbölése:
   x és y irányban, ha az elmozdulás nagysága egy megadott küszöb alatt van, akkor, változatlanul hagyjuk a koordinátákat.

Függvény meghívása után az egér kurzor a megadott koordinátára ugrik.

6.2. Klikkelés:

Az egér klikk eseményt a *mouse_event()* függvény végzi el. Az első paraméterben adhatjuk meg, h ogy milyen gombnyomás eseményt szeretnénk meghívni. Van külön gomb lenyomás és gomb felenge dés.

Gomb események, melyekre szükségünk lesz a következőek:

MOUSEEVENTF_LEFTDOWN	-	bal gomb lenyomva
MOUSEEVENTF_LEFTUP	-	bal gomb felengedve
MOUSEEVENTF_RIGHTDOWN	-	jobb gomb lenyomva
MOUSEEVENTF_RIGHTUP	-	jobb gomb felengedve

Az eseményeket kombinálva megoldható az egérkezelés.

Egy szimpla bal gomb lenyomás művelet a MOUSEEVENTF_LEFTDOWN esemény. Ezzel az eseménnyel objektumokat is megragadhatunk, elengedéshez pedig meg kell hívni a MOUSEEVENTF_LEFTUP-t.

A bal klikk a MOUSEEVENTF_LEFTDOWN és a MOUSEEVENTF_LEFTUP egymás utáni meghívása. A dupla kattintás e két esemény egymás utáni meghívásának kétszeri megismétlése egy adott időn belül. Ezt az adott operációs rendszer szabja meg.

Jobb klikk elvégzése hasonlóan a bal klikkhez történik.

Bal gomb esemény megvalósításai:

Az esemény bekövetkezése a hüvelykujj kinyújtásával szabályozható. A mutató ujj és a hüvelykujj konvex burok béli koordinátái ismertek, ezért a két pont között számolhatunk távolságot.($távolság = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$). A távolság alapján megadunk egy küszöböt, aminél nagyobb távolság érték gomb lenyomásnak, azaz egy MOUSEEVENTF_LEFTDOWN-nek fog megfelelni. A hüvelykujj visszazárása, tehát a távolság érték küszöbnél kisebb értéke meg fog hívni egy MOUSEEVENTF_LEFTUP eseményt. Természetesen nem akarjuk, hogy az esemény a küszöb alatt állandóan bekövetkezzen, ezért egy boolean értékkel figyeljük, hogy volt-e előtte gomb lenyomás vagy sem.

Gombnyomás közben a kéz kicsit elmozdul, ezért, ezt kompenzálandó, ha lenyomjuk a bal gombot 1 másodpercre letiltjuk az egér elmozdulását, timer segítségével. Ez főleg a dupla kattintáskor segít sokat.

6.3. Hiányosságok:

- az egérkurzor mozgatásának pontossága
  - kézremegés
  - szegmentálásból adódó hibák
- a webkamera felbontás→ képernyő felbontás felskálázás során a webkamera képe nem használható ki teljes terjedelmében
  - konvex burok eltűnik, ha nincs megadott nagyságú kéz terület a képen
  - előző pont miatt, csak a kamera felső része használható pozícionálásra
  - a kép szélein pontatlan a burok illesztés
- kattintás során a kéz bemozdul
- jobb klikk kivitelezés

Hivatkozások

1. G. Bradski, A. Kaehler. Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library (The OpenCV book)

2. S. Malik, J. Laszlo. Visual Touchpad: A Two-Handed Gestural Input Device. *ICMI '04: Proceedings of the 6th international conference on Multimodal interfaces (2004), pp. 289-296.*

3. Z. Zhang, Y. Wu, Y. Shang. Visual Panel: Virtual Mouse, Keyboard and 3D Controller with an Ordinary Piece of Paper. *Workshop on Perceptive User Interfaces (PUI 2001), Nov. 15-16, 2001. Orlando, Florida.*

4. V. I. Pavlovic, R. Sharma, T. S. Huang. Visual Interpretation of Hand Gestures for Human-Computer Interaction: A Review. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (1997), pp. 677-695*

5. Paláhyi Kálmán: Képfeldolgozás haladóknak 2. előadás

6. Hand detection: http://www.andol.info/hci/830.htm
7. Számos YouTube-on elérhető videó, kulcsszavak: virtual mouse, hand detection