

Szitakötőszárnyak elemzése

Szeghalmy Szilvia¹, Szalay Petra Éva², Dévai György², Fazekas Attila¹, Kis Olga², Szabó László József², Miskolczi Margit²

¹ Informatikai Kar, Debrecen,

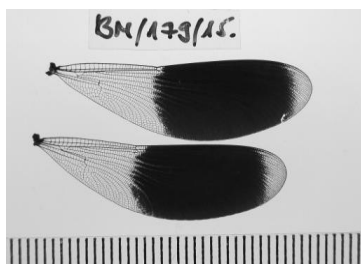
² Hidrobiológiai Tanszék, Debrecen,

Absztrakt. Az ökológiai vizsgálatok során fontos információ, hogy egy adott területen élő egyed milyen alfajhoz tartozik. A Kárpát-medence sokféle élőlény esetében tölti be egyfajta genetikai olvasztótégely szerepét, ezért a szitakötőkkel kapcsolatosan is joggal merülhet fel az a kérdés, hogy a hazánkban előforduló sávós szitakötő (*Calopteryx splendens*) mely alfaja/alfajai vannak jelen.[1][8]. A kutatás végső célja olyan külső jegyek azonosítása, melyek alapján DNS vizsgálat nélkül is lehetségessé válik a példányok alfajának azonosítása, jelen cikk témája azonban csak bizonyos jellemzők automatikus kinyerésének módja.

1. Bevezetés

Az elemzéseknél és a program jelenlegi verziójának tesztelésénél felhasznált szitakötők különböző, magyarországi helyszínekről származnak. A Konyári-Kálló környékéről gyűjtött egyedek populációs mintának számítanak, míg az egyéb helyeken történt gyűjtésnél határozott cél volt, hogy minél változatosabb egyedek kerüljenek be a hálóba.

A digitalizálás során a dögök szárnyai leválasztásra kerülnek, majd egy erre a célra kialakított állványon fotó készül a szitakötők jobb oldali szárnyairól. A felvétel készítése során állandó elrendezést használtunk (lásd 1. ábra) és a szárnyakat alulról világítottuk meg, ezzel segítve az érhálózat előtűnését. A 4288×3216 felbontású CCD képek a rendelkezésre álló Fujifilm Finepix S2950-es fényképezőgéppel készültek jpg formátumban (az eszköz a RAW formátumot nem támogatja). A feldolgozás előtt a képeket szűrkeskálássá konvertáltuk.



1. ábra: Egy felnőtt *Calopteryx splendens* példányról készült felvétel kicsinyített mása. Felül a gyűjtés helyére, idejére utaló címke, alatta a példány jobb felső és jobb alsó szárnya.

2. Alapvető jellemzők

Ebben a fejezetben ismertetjük a szárnyak, illetve a szárnyfolt kiemelését, a szárnybüttyök, szárnytőpont detektálását. Utóbbi két jellemző kiemelt szerepet játszik a szárnyak feldolgozása és elemzése során is, ugyanis minden szitakötőszárnyon megtalálható, stabilan detektálható pontokról van szó, ezért a mérések során referenciapontként szolgálhatnak, így a szitakötő populációk szárnyainak morfológiai elemzésénél is megjelennek [3][5][7].

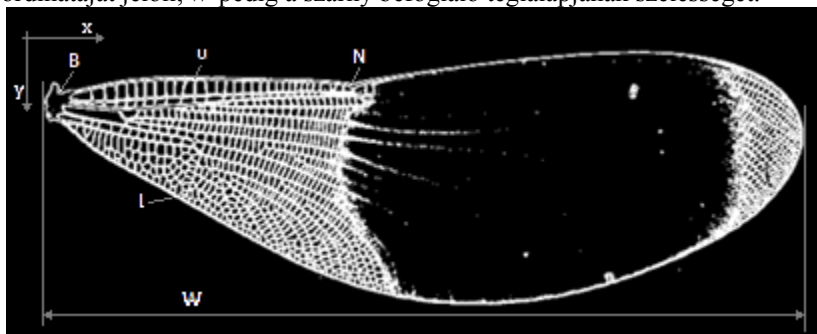
2.1. Szárny maszkjának előállítás

Köszönhetően a felvételi viszonyok állandóságának, a szárnyak pontjainak meghatározása egészen egyszerű feladat. Sobel operátor segítségével kiemeljük az éleket, majd küszöbölést hajtunk végre konstans (128-as) határral. A küszöb alatti értékeket előtérnek, a többi pontot háttérpontnak tekintjük. Ez a két lépés megfelelően kiadja a szárnyak körvonalát, ahogy az a 2. ábrán is látható.

Lyukfeltöltés után a két legnagyobb területű, a kép szélével nem érintkező komponens alkotja a szárnyak maszkját. (3. ábra)

2.2. Szárnybüttyök és szárnytő

A továbbiakban $u(x)$ és $l(x)$ a szárny felső, illetve alsó kontúrponjtjának x -hez tartozó y koordinátáját jelöli, W pedig a szárny befoglaló téglalapjának szélességét.



2. ábra: A felső szárny élkeresés és vágás után. A képen található jelölések: B a felső szárnytőpont, N a szárnybüttyök(node), u a szárny felső kontúrja, l a szárny alsó kontúrja, W szárny befoglaló téglalapjának szélessége.

A *szárnytőpont* a törzs és a szárny csatlakozásánál lévő rész legkeskenyebb pontja. Ez nem feltétlenül egyezik meg a szárny első harmadában talált legkeskenyebb résszel, ugyanis a szárny törzstől való leválasztásánál különböző méretű és formájú rész maradhat a szárny végén.

A felső szárnytőpont (B) a minimális x koordinátával rendelkező pont, azon $P(x,y)$ pontok közül, melyre teljesülnek az alábbi feltételek:

1. $y = u(x)$,
2. $u(x)$ lokális maximum (képi koordináta-rendszert tekintve),
3. bármely $0 < x < x_2 < x_3 < 0.3W$ esetén $l(x_2) - u(x_2) \leq l(x_3) - u(x_3)$.

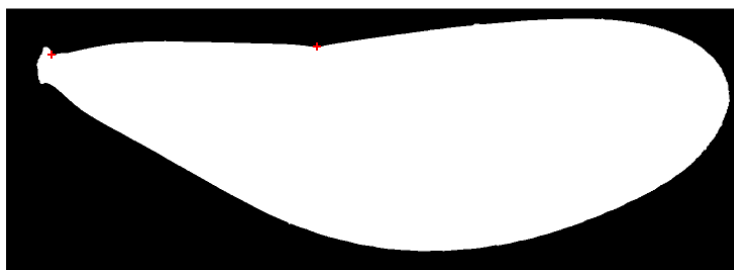
A *szárnybütyök* a szegélyér (u) közepe tájékán található homorú, bemélyedésnél helyezkedik el, melynek keresése előtt a szárnybütyöktől balra lévő pontokat ideiglenesen töröljük a maszkról.

A *szárnybütyök* az a $N(x, y)$ pont, melyre teljesülnek az alábbi feltételek:

1. $y = u(x)$,
2. $0.33W < x < 0.66W$,
3. a szárny felső részére illesztett konvex buroktól mért távolsága maximális.

Egy P pont és egy C konvex burok távolságán az alábbi értéket értjük:

$$\min_{Q \in C} (\|\overline{PQ}\|_2), \text{ ahol } Q \text{ a konvex burok egy tetszőleges pontja.}$$

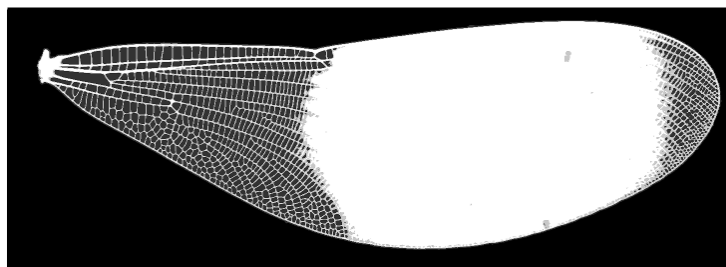


3. ábra: A felső szárny maszka. A keresztek a felső szárnytőpontot és a szárnybütyköt jelölik.

2.3. Szárnyfolt

A hím szitakötők szárnya foltot tartalmaz, ami az 1. ábrán is jól megfigyelhető. Dumont és társai foglalkoznak a folt kezdetének és végének digitális meghatározásával [5], a leírás viszont kissé elnagyolt, ami lehetetlenné teszi az algoritmusok pontos, rekonstrukcióját, ezért az ott „megadott” helyett, az alább bemutatásra kerülő módszert használtuk a folt kiemeléséhez.

A maszka alá eső pontokra háromszintű Otsu vágást alkalmaztunk [6]. Ezt az indokolja, hogy a fiatalabb egyedeknél a folt és az érhálózat, intenzitás értékeit tekintve, szinte teljesen elkülönül egymástól. A felső határtól világosabb képpontokat háttérnek tekintjük, a többi előtérnek, ahogy az a 4. ábrán látható.



4. ábra: Szárnyfolt és érhálózat.

Jelölje az előbb kapott eredményképet E . Az erek eltüntetése morfológiai operátorok segítségével történt. Az erózió és dilatació szükséges száma a kép felbontásától függ, a „felezett” képeken ötszöri erózió, hétszeri dilatació bizonyult megfelelőnek 3×3 -as csupa 1-es struktúraelemmel. A kapott képet E -vel éselve a folt és a szárnytő pontjait kapjuk meg (5. ábra). Utóbbit méret vagy helyzet alapján könnyedén eltüntethetjük.



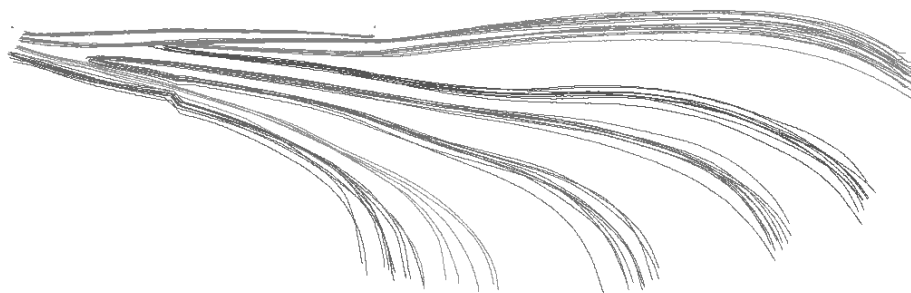
5. ábra: A szárnytő egy részének (balra) és a foltnak (jobbra) a maszkja.

Utolsó lépésként a kép és a maszkok elforgatásra kerülnek a szárnytőpont körül, úgy, hogy a szárnytő és a szárnybütők y koordinátája megegyezzen.

A feldolgozás után számos jellemzőt számítottunk: a szárny illetve a folt befoglaló téglalapjának szélessége és magassága, folt alatti terület átlagos intenzitása, folt alatti terület, szárnybütők és szárnytőpont távolsága, a folt minimális x koordinátájának és a szárnybütők x koordinátájának különbsége, stb. Ezek egy része más szerzők munkáiban is előfordul. A jellemzők kiválasztásánál építettünk Sadeghi [7] és Adamović, Ž..R., Vijatov [1] korábbi műveire.

3. Érhálózat keresése

A szitakötő szárnyának felépítése jellegzetes mintázatot alkot. A teljes érhálózata rendkívül változatos, azonban a szárnytőtől hosszanti irányban végigfutó erek, illetve ezekből kiinduló, szintén hosszanti irányba futó erek számra és formára nagy hasonlóságot mutatnak (6. ábra.) Sadeghi és társai 2009-ben közölt cikke azonban rávilágított arra, hogy az erek végpontjai a populációk jellemzésében is szerepet játszhatnak. [7]



6. ábra: Több szitakötő szárnyának hosszanti erei egy képre másolva. Fentről lefelé rendre: szegély alatti ér, 1.–5. sugáreerek, középér, hónaljtóér, tőér. (Utóbbi detektálásával egyelőre nem foglalkoztunk.)

A fiatal egyedeknél az érhálózat intenzitása elűt a folt és a szárny többi része intenzitásától, ezért az erek tisztán kiemelhetők. A példányok korosodásával azonban a folt sötétedése miatt a folt és ér intenzitásainak tartománya egyre inkább átfedésbe kerül egymással, így a különféle élkeresők (Sobel, Canny, LoG, Kirsch [9]), adaptív vágások rendkívül zajos eredményt adnak a folt alatti részen, ami a folt szélén jelentkező átmenetnél tovább fokozódik.

Az erek lefutásának hasonlósága miatt ésszerűnek tűnt, hogy egy modell érhálózatot igazítsunk a képre. Az aktív kontúrok, ill. hasonló jellegű megoldások használatát a sűrű érhálózat és a folton belüli viszonylag egységes mintázat miatt kizártuk.

3.1. A modell

A modell alapja egy kézzel bejelölt érhálózat egy már előkészített képen (forgatás után). A modell tartalmazza a felső szárnytőpont és a szárnybütyök koordinátáit, az alsó és felső kontúrponatok koordinátáit, valamint a keresett hosszanti erek pontjait. Ezen pontok a felső és alsó kontúrtól mért távolságuk arányával vannak megadva.

3.2. A modell transzformálása

Az előkészített képeken az érhálózat keresése erenként történik. Ennek első lépése a modell pontjainak transzformálása az aktuális képnek megfelelően. Egy (x, y) modellpont képe a következő lesz:

$$y' = u(x') + s_y(l(x') - u(x'))$$

$$x' = \begin{cases} s_x x + t_x, & \text{ha } N_x > x, \\ s_x N_x + (s_a(x - N_x)) + t_x, & \text{különben,} \end{cases}$$

ahol

$$t_x = B_x - B_{x0}$$

a modellpontok eltolása,

$$s_y = \frac{H_0}{H}, \quad s_x = \frac{N_x - B_x}{N_{x0} - B_{x0}}, \quad s_a = \frac{W - N_x}{W_0 - N_{x0}}$$

pedig a modell átméretezéséhez alkalmazott paraméterek. B_x, N_x, H, W az aktuális szárny, B_{x0}, N_{x0}, H_0, W_0 a modellszárny szárnytőpontja, szárnybütyökpontja és szárnyat tartalmazó befoglaló téglalap magassága és szélessége. Amennyiben két eredetileg szomszédos pont képei nem szomszédosak, a keletkezett hézagot lineáris interpolációval pótoljuk.

3.3. Szögtérkép

Legyen A egy, az előkészített képpel azonos méretű mátrix, L a keresett élnek megfelelő ér a transzformált modellben és Q az él egy tetszőleges pontja. Az ér P pontjához hozzárendeljük a r . megelőző pontját és r . rákövetkező pontját összekötő szakasz x tengellyel bezárt szögét ($-90^\circ < \alpha(P) < 90^\circ$).

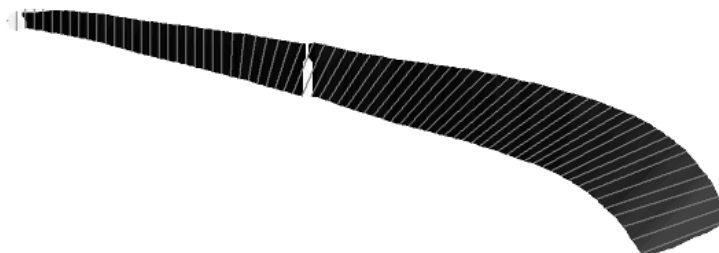
A szögtérkép előállítás:

$$A(P) = \begin{cases} \alpha(P), & \text{ha } P \in L, \\ A\left(\underset{Q \in L}{\operatorname{argmin}} \|\overline{PQ}\|_2\right), & \text{ha } P \notin L \text{ és } \|\overline{PQ}\|_2 < d, \\ \infty, & \text{különben} \end{cases}$$

A d paraméter értéke szabályozza, hogy a modell vonaltól milyen távolságra lévő pontokat tekintünk még lehetséges érponthoz.

3.4. Gráf felépítése

A gráf felépítése mintavételezéssel, rétegesen történik. Minden csúcstól kizárólag a rákövetkező rétegbe tartozó csúcstól lehet kapcsolatban. A gráf első rétegét a szárny külső kontúrjának pontjai közül azok adják, ahol a szögtérkép azonos koordinátáján érvényes, vagyis végtelentől eltérő érték áll. A további rétegek felépítéséhez meghatározzuk a szögtérkép érvényes pontjainak modellvonal alá, ill. modellvonal fölé eső kontúrját, előbbi esetén leszámítva azon részeket, ahol a kontúr és a szárny körvonala egybeesik. A kapott kontúrokból balról jobbra haladva azonos számú pontot választunk ki. (A kiválasztást érdemes úgy megtenni, hogy az egymás melletti pontok távolsága nagyjából megfeleljen a szögek számítása során használt távolságnak.) Az alsó és felső kontúron kijelölt i . pontokat összekötő szakasz pontjai kerülhetnek be a gráf $(i+1)$. rétegébe. (7. ábra.) Arról, hogy egy pont végül valóban bekerül-e a gráfba a ponthoz tartozó hibaérték alapján döntünk.



7. ábra: Egy sugárér szögtérképe. A vonalazott részen kívül eső fehér terület az érvénytelen pontokat, a vonalak a gráf lehetséges pontjait jelzik.

A gráf csúcspontjainak meghatározása után az élek, illetve az élek hibájának meghatározása következik. P pontból Q pontba akkor vezet él, ha a vonal hibája (I_{err}), illetve a szög modelltől való eltérése ($P(A)$) egy rögzített t_e határ alatt van.

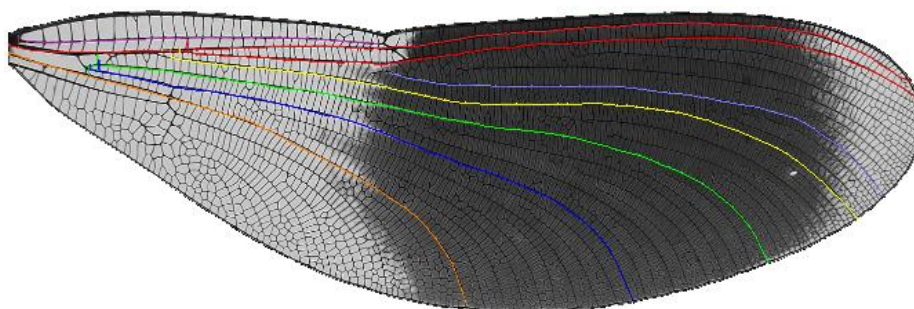
$$I_{err}(P, Q) = \frac{1}{n} \sum_{X \in \overline{PQ}} I(X),$$

ahol n a PQ digitális szakasz pontjainak száma, I egy hibaterkép.

3.5. Legrövidebb út keresés

Az út keresése alapvetően a Dijkstra algoritmus [4] bináris kupacot használó változatával történik, az algoritmus hibaszámítását azonban kiegészítettük. Egy u -val szomszédos v csúcstól szokásos hibájához, amennyiben u -nak van megelőző eleme, hozzáadódik az u -ba vezető él és az u -ból v -be vezető él szögének abszolút értékben

vett eltérése egy előre rögzített súllyal. A keresés során a kezdőpontok halmazát a gráf első rétege jelenti. A végpontok halmaza azon pontok összessége, melyekből nem vezet él, és a modellvonal végétől mért távolságuk egy rögzített értéken belül van.



8. ábra: A program által detektált hosszanti erek egy közepesen sötét folttal rendelkező szárny esetén.

3.6. Iteráció

Amennyiben az ér keresése nem járt sikerrel, mert nem létezik kezdőpontból végpontba vezető út, vagy hibája irreálisan nagy, akkor a lehetséges élek keresésétől ismételjük az algoritmust a t_e értéket megemelve.

3.7. Hibatérkép

A fiatalabb és az idősebb egyedeknél eltérő hibatérképet használunk. A fiatalabb egyedeknél a Bradley és társai által publikált [2] adaptív vágás segítségével az érhálózat és a szárny egyéb pontjai szinte tökéletesen elkülöníthetők. A vágás után 3×3 -as maszkkal eróziót hajtunk végre, ezzel kissé kiszélesítve a helyenként csak 1 pixel széles ereket. A háttér (érhálózat) értékét nullán hagyjuk, az előtér értékeknek $t_e/(k+3)$ értéket állítunk be, ahol k a végrehajtott iterációk száma. Ezzel biztosítjuk, hogy ha nem volt út, akkor a következő lépésben nagyobb szakadásokat is áthidalhasson egy-egy él.

Az idősebb egyedeknél a folton kívüli erek megtalálása azonos módon történik. A folton belül a következő képlet határozza meg a hibát:

$$I_{\text{err}}(P) = \begin{cases} \min(I(P) * G_{\beta}) & , \text{ ha } |A(P) - \beta| < 45, \beta \in [-90^\circ, 90^\circ] \\ t_e/(k+3) & , \text{ különben} \end{cases}$$

ahol I az előkészített kép, és G_{β} 1D-s β szöggel elforgatott Gauss kernel.

3.8. Eredmények és jövőbeli tervek

A programot 179 ép felső szárnyat tartalmazó képen teszteltük. A szárnyakat, szárnytövet és szárnybütyköt minden esetben helyesen azonosította a program. Azoknál az egyedeknél, ahol az érhálózat kisebb szakadásokkal jól detektálható, a keresett erek megtalálása szinte hiba nélkül zajlik le. Az idős példányoknál azonban problémás az ér és szárnypontok elkülönítése a kép minősége, valamint a folt és ér

intenzitásának hasonlósága miatt. Amennyiben az ér detektálásánál nagyobb hézagok, és/vagy több kisebb hézag keletkezik, míg egy mellette futó ér tisztábban kivethető, akkor a módszer hajlamos az ér detektálása során a keresett érrel szomszédos érre „átfutni”.

Terveink szerint a fiatal egyedekre kapott eredmények alapján a jelenlegi modellt statisztikai leírókkal (pont átlagos helyzete, szórás, tartomány, jellemző továbbhaladási irány, stb.) egészítjük ki. Reméljük, ezen információk felhasználásával csökkenthető az algoritmus által használt paraméterek és az előbb vázolt hibák száma.

Irodalom

1. Adamović, Ž.R., Vijatov, S.T.: *Morphometric examination of Calopteryx balcanica Fudakowsky, 1930 and C.splendens ancilla Selys, 1853 (Zygoptera: Calopterygidae)*, Odonatologica, 25(2) (1996) 109-118.
2. Bradley, D., Roth, G.: *Adaptive thresholding using the integral image*, Journal of Graphics Tools 12 (2) (2007), 13–21.
3. Demayo, C. G., Harun, S. A., Torres, M. A. J.: *Procrustes Analysis of Wing Shape Divergence among Sibling Species of Neurothemis Dragonflies*, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(6): 748-759, 2011, ISSN 1991-8178
4. Dijkstra, E.: *A note on two problems in connexion with graphs*, Numerische Mathematik 1 (1959) 269–271.
5. Dumont, H.J., Mertens, J., De Coster, W.: *The Calopteryx-splendens-cline in southwestern France, analysed by quantitative wingspot analysis (Zygoptera: Calopterygidae)*, Odonatologica 22(3) (1993) 345-351.
6. Ping-Sung, L. Tse-Sheng, C., Pau-Choo, C.: *A fast algorithm for multilevel thresholding*, Journal of Information science and Engineering 17 (2001), 713–727.
7. Sadeghi, S., Adreaens, D., Dumont H. J.: *Wing shape variation in European Calopteryx splendens*, Odonatologica 38 (4) (2009) 343-360
8. Schmidh, E.G.: *Ein dunkelflügliges Weibchen von Calopteryx splendens bei Wesel/Niederrhein mit Diskussion der östlichen ssp. ancilla (Selys, 1853)*, Beiträge zur Entomologie 56 (2) (2006) 422–432.
9. Sonka, M., Hlavac, V., Boyle, R.: *Image processing, analysis, and machine vision*, 3rd ed. Toronto, Thompson Learning, 2008.