

Spletna aplikacija za prepoznavanje čmrljev na podlagi zvoka

Anton Gradišek, Gasper Slapničar, Jure Šorn, Mitja Luštrek,
Matjaž Gams, Janez Grad

Čmrlji (rod *Bombus* iz družine čebel – Apidae, ki sodi v red kožekrilcev – Hymenoptera) so pomembni opraševalci rastlin in imajo kot taki ključno vlogo v ekosistemu. Pri tem se razlikujejo od drugih čebel, saj so zaradi drugačne telesne zgradbe lahko dejavni tudi v slabem vremenu. Nekatere rastlinske vrste oprašujejo izključno čmrlji, med njimi pa najdemo tudi take, ki so vezane le na eno samo vrsto čmrlja. Poleg tega čmrlji oprašujejo tudi vrsto kulturnih rastlin, uporabljajo jih denimo v rastlinjakih za opraševanje paradiznika. Zaradi intenzivnega kmetijstva in uničevanja življenjskega okolja je veliko vrst čmrljev ogroženih. Nedavna študija Evropske unije je ugotovila, da skoraj četrtini od triinšestdesetih evropskih vrst grozi izumrtje, če ne bomo poskrbeli za njih. Tudi marsikatero druge vrste rastlin in živali v Sloveniji in po svetu so izjemno ogrožene (Gams, 2015). Poleg znanih težav z domačimi in tujimi čebelami (pesticidi, okolje, paraziti, glivice) so raziskave pokazale, da se čmrlji tudi težje prilagajajo na spremembe okolja zaradi globalnega segrevanja ozračja, kar vpliva predvsem na vrste, ki so omejene na specifične življenjske prostore. Pomemben korak za zaščito teh pomembnih žuželk je spremljanje njihove biotske raznolikosti, kar omogoča v prispevku predstavljena aplikacija za prepoznavanje vrst čmrljev na podlagi zvoka brenčanja.

V Sloveniji je bilo do sedaj dokumentiranih 35 vrst čmrljev (Grad in drugi, 2010), od tega je nekaj vrst maloštevilnih, nekaj pa jih je znanih le iz starejših virov. Bolj realistično gledano lahko pri nas tako srečamo

približno 20 različnih vrst. Čmrlje lahko med seboj najenostavneje ločimo po barvnih vzorcih dlačic, s katerimi so porasčeni. Tipične barvne kombinacije so črna-rumena-bela, črna-rumena-rdeča, črna-rdeča oziroma oranžna, svetlo/temno rjava, siva in črna. Določene vrste imajo tri različne tipe osebkov – matice, delavke in samčke –, nekatere pa samo dva tipa – matice in samčke (to so zajedavski ali kukavičji čmrlji). Tudi tipi osebkov se med seboj razlikujejo, na primer po velikosti telesa, dolžini rilčka, dolžini tipalnic in barvi. Čmrlje lahko torej prepoznamo vizualno – čmrlja fotografiramo in skušamo kasneje na spletu ugotoviti vrsto in tip. Na spletnih straneh Prirodoslovnega muzeja Slovenije najdemo *Ključ za določanje pogostih vrst čmrljev* (Trilar, 2014), ki nam pri tem pomaga. Je pa ta postopek kar zamuden, poleg tega na podlagi fotografij hitro naletimo na probleme, kot so neenakomerna osvetlitev, kot, pod katerim je čmrlj slikan, ozadje in druge motnje (kar predstavlja težave tudi, ko uporabljamo programe za avtomatsko prepoznavanje slik).

Vrste in tipi čmrljev se razlikujejo tudi po brenčanju. To je odvisno od velikosti in strukture kril, pa tudi od obnašanja – čmrlj, ki leta od cveta do cveta in nabira med, bo brenčal drugače kot tak, ki je razdražen in se brani pred vsiljivci. Redki strokovnjaki so po zaslugi dolgoletnih izkušenj sposobni razpoznavati čmrlje na podlagi zvoka brenčanja, vendar je za povprečnega državljana to pretežka naloga. Zato smo se na Inštitutu Jožef Stefan lotili razvoja aplikacije, ki na podlagi zvočnega posnetka lahko prepozna, za katero vrsto čmrlja gre ter ali ima-

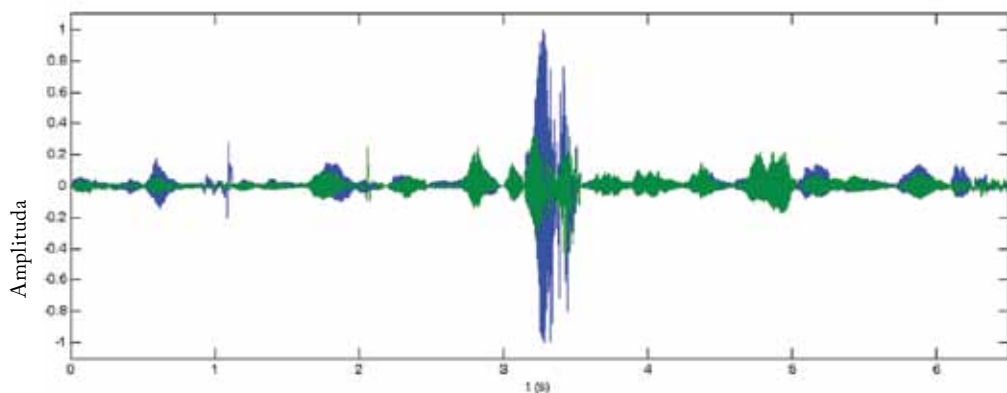
mo opraviti z matico ali z delavko (Gradišek in drugi, 2016). Naloga je torej preprosta: z mobilnim telefonom posnamemo zvok in ga prenesemo v spletno aplikacijo, ki posnetek avtomatsko razvrsti in za dodatno varovalko prikaže tudi slike najbolj verjetnih drugih možnosti. Torej imamo sliko in posnetek in lahko na dva načina preverimo skladnost oziroma pravilnost razvrstitve (ali slika najbolj verjetnih vrst ustreza posneti sliki neznanega čmrlja). Če določitev s pomočjo zvoka ne pokaže primernih kandidatov, imamo morda opravka z redko vrsto, za katero še nimamo posnetka v bazi. Ta posnetek lahko kasneje v spletno bazo dodamo sami, opažanje neznanе vrste pa lahko sporočimo strokovnjakom. Aplikacija nam tudi pomaga, da primerno reagiramo z namenom varovanja redke vrste, če denimo na travniku pred košnjo opazimo gnezdo čmrljev in bi radi ugotovili, koliko truda je smotrno vložiti v njegovo varovanje.

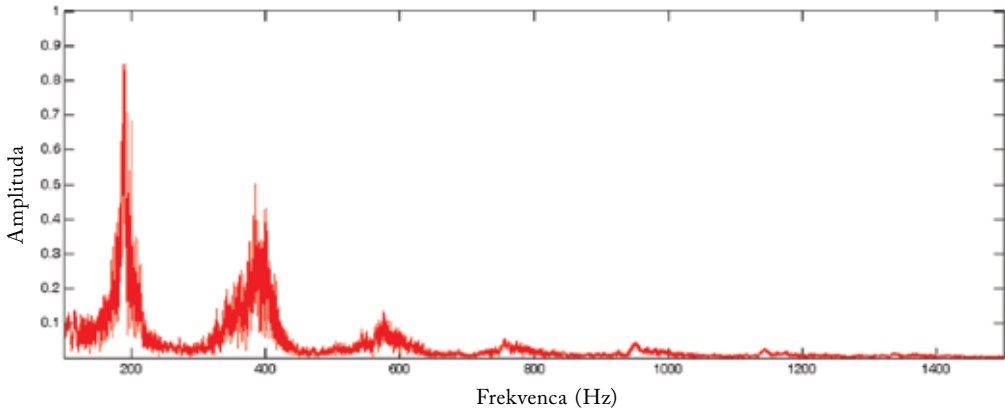
Aplikacija temelji na metodi strojnega učenja, najuspešnejšem področju umetne inteligence (Russel in Norvig, 2003), kjer se računalniški program na podlagi posnetkov znanih vrst čmrljev nauči prepoznavati vrsto na novem posnetku, ki ga vnese uporabnik. Prva koraka pri gradnji aplikacije sta bila

zbiranje in obdelava posnetkov znanih vrst čmrljev. Zbrali smo posnetke čmrljev dvanajstih najpogostejših vrst, in sicer: *Bombus hortorum*, *B. humilis*, *B. hypnorum*, *B. jonellus*, *B. lapidarius*, *B. lucorum*, *B. pascuorum*, *B. pratorum*, *B. sylvarum*, *B. argillaceus*, *B. terrestris* in *B. ruderarius*. Pri večini vrst smo uspeli dobiti posnetke tako matic kot delavk. Posnetki so bili najprej ročno obdelani. Z visokopasovnim in nizkopasovnim filtrom smo odstranili šume s frekvencami, bistveno nižjimi in višjimi od tipičnih frekvenc brenčanj, ter izrezali dele posnetkov, na katerih ni bilo brenčanja. Potem smo prečiščene posnetke razbili na nekajsekundne segmente, ki so nam služili kot učna množica. Na tem mestu je treba poudariti, da smo se osredotočili le na brenčanje, kot ga pričakujemo od čmrljev na travniku – ko se torej čmrlj pase na cvetlicah in ne, ko se brani pred vsiljivci. Na ta način se hkrati tudi izognemo morebitnim sistemskim motnjam, denimo odmevu, ki bi ga dobili, če bi snemali čmrlja v kozarcu.

Za uspešno delovanje algoritma je pomembno, da imamo na razpolago večje število učnih primerov v vsakem razredu (kjer razred predstavlja denimo »matica *Bombus humilis*«). Če se učimo le na majhnem

Zvočni posnetek delavke Bombus humilis, ki se pase na cvetlicah (posneto v stereo tehniki, modra in zelena predstavljata dva kanala mikrofona).





*Fourierjeva transformacija (frekvenčni spekter) zvočnega posnetka delavke *Bombus humilis* (absolutna vrednost kompleksnega signala). Dobro so vidne osnovna frekvenca brenčanja in višje harmonske frekvence.*

številu primerov, se bo namreč algoritem naučil zelo dobro prepoznavati te konkretne primere, pri novih primerih pa bo lahko hitro odpovedal. Za učno množico smo tako uporabili več kot tisoč primerov v skupno 20 razredih.

Sledeči korak je strojno učenje na učni množici. To, kot smo že omenili, predstavljajo nekajsekundni posnetki, ki so urejeni glede na vrsto in tip čmrlja. Za pravilno razvrščanje je poskrbel avtor posnetkov, ki je poznavalec čmrljev. Pri strojnem učenju računalniški program za vsak posnetek izračuna vrsto značilk (atributov), torej določenih lastnosti vsakega zvočnega posnetka. Pri tem si med drugim pomagamo z metodo MFCC (Mel-frequency cepstrum coefficients), ki s pomočjo Fourierjeve transformacije predela posnetek v porazdelitev signalov pri različnih frekvencah in to porazdelitev pretvori v številčno vrednost. Takih značilk je lahko več kot tisoč. Razvrščevalni algoritem nato pregleda, v katerih značilkah se posamezne vrste in tipi čmrljev najbolj razlikujejo, in na podlagi teh podatkov zgradi model za prepoznavanje čmrljev. Za najboljši razvrščevalni algoritem se je pokazal Random Forest (naključni gozd). Ta algoritem na naključno izbranih podmnožicah učne množice zgradi

več odločitvenih dreves in z vsakim od njih poskuša razvrstiti nov posnetek. Končni rezultat je tisti, ki ga izbere največ dreves.

Zadnji korak je bil razvoj spletne aplikacije. Ta deluje takole: ko naložimo posnetek neznanе vrste, algoritem najprej prefiltrira signal in izlušči le brenčanje, nato pa izračuna značilke in na podlagi odločitvenega drevesa določi, za katero vrsto in tip čmrlja gre.

Seveda je bilo treba delovanje aplikacije tudi testirati. V ta namen smo zbrane podatke razdelili v dve skupini, in sicer 80 odstotkov primerov v učno, ostalih 20 odstotkov pa v testno množico. Paziti je bilo treba, da se noben posnetek ni pojavil v obeh množicah, saj tak test ne bi bil verodostojen. Z metodo navzkrižnega preverjanja smo tudi ugotovili, katere tipe čmrljev algoritem včasih zameša med seboj. Da bi izboljšali prepoznavanje, poleg končnega rezultata ponudimo še eno ali dve s fotografijami opremljeni možnosti, ker iz prejšnjih testiranj vemo, da aplikacija nekatere vrste pogosto zameša med seboj. Pokazalo se je, da je pravilno razvrstila 86 odstotkov posnetkov v učni množici. Nekatere vrste smo določili z izredno visoko natančnostjo, delavke *Bombus hypnorum* de-

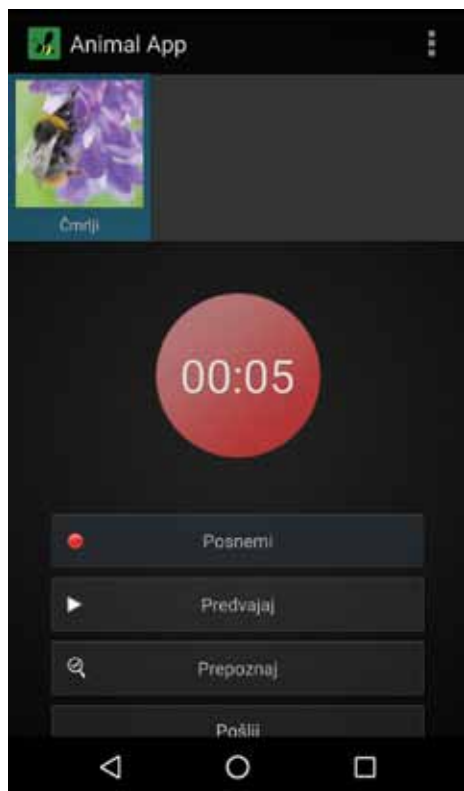
Opomnik: zvočni posnetek mora biti v .wav formatu

NOV POSNETEK...

<p>1. najbolj verjeten rezultat je: <i>Sylvarum-delavka</i> (90.0%)</p> 	<p>2. najbolj verjeten rezultat je: <i>Pratorum-delavka</i> (3.00%)</p> 	<p>3. najbolj verjeten rezultat je: <i>Pascuorum-delavka</i> (2.00%)</p> 
---	---	---

Primer rezultata razvrščanja novega posnetka. Program je pravilno določil, da gre za delavko vrste *B. sylvarum*.

Mobilna različica aplikacije za prepoznavanje čmrljev nam omogoča, da čmrlja posnamemo, posnetek predvajamo, ga prepoznamo ali naložimo v bazo čmrljev.



nimo kar v 100 odstotkih in delavke *Bombus sylvarum* v 98 odstotkih primerov. Metoda se je, pravzaprav pričakovano, slabše odrezala pri razredih, kjer smo v učni množici imeli le majhno število posnetkov, saj se algoritem ni mogel dobro naučiti prepoznavati teh primerov.

Do aplikacije lahko dostopamo prek spletne strani *animal-sounds.ijs.si* ali pa si jo naložimo na pametni telefon. Mobilna aplikacija nam omogoča, da čmrlja posnamemo kar s telefonom in posnetek prek podatkovne povezave pošljemo na inštitutski strežnik, ta pa nam pove, za katero vrsto in tip čmrlja gre.

Da bi aplikacijo naredili čim bolj uporabno za ljubitelje čmrljev, smo poleg prepoznavanja posnetkov na spletni strani dodali tudi možnost, da (ekspertni) uporabniki sami dodajajo svoje posnetke. Na ta način bomo lahko aplikacijo razširili, tako da bo, denimo, vsebovala tudi druge evropske vrste čmrljev (Rasmond in drugi, 2010), ki jih ni v Sloveniji in jih v naši raziskavi nismo zajeli. Poleg tega bomo lahko dodali več posnetkov za vrste, ki jih algoritem trenutno

slabše prepoznavna. Ko se bo nabralo dovolj dodatnih posnetkov, bomo algoritem naučili na izboljšani učni množici in tako povečali natančnost prepoznavanja.

Pri našem pristopu pa seveda nismo omejeni le na čmrlje, s to metodo bi lahko prepoznali tudi druge žuželke. Nekoliko večji izziv, ki pa se ga tudi nameravamo lotiti, je prepoznavanje živali z bolj strukturiranim oglašanjem. V naslednjem koraku se bomo lotili prepoznavanja ptic in žab, že sedaj pa vabimo zainteresirane, ki lahko pridobijo posnetke oglašanja živali, da z našo pomočjo zgradijo bazo za prepoznavanje čedalje več vrst slovenskih živali. Na ta način bomo omogočili preprosto avtomatsko prepoznavanje skupin živali na podlagi zvoka vsem prebivalcem Slovenije, s tem pa povečali zanimanje za živalski svet in morda kaj pripomogli k njegovemu varovanju.

Literatura:

Aplikacija je dosegljiva na animal-sounds.ijs.si in na Google Play Store kot »Animal App«.

Gams, M., 2015: Slovence izumirajo. <http://dis.ijs.si/Mezi/>.

Grad, J., Gogala, A., Kozmus, P., Jenič, A., Bevk, D., 2010: Pomembni in ogroženi opravevalci – Čmrlji v Sloveniji. Lukovica: Čebelarstva zveza Slovenije.

Gradišek, A., Slapničar, G., Šorn, J., Luštrek, M., Gams, M., Grad, J., 2016:

Predicting species identity of bumblebees through analysis of flight buzzing sounds. Bioacoustics, http://dx.doi.org/10.1080/09524622.2016.1190946.

Rasmont, P., Iserbyt, S., 2010: *Atlas of the European Bees: genus Bombus, Project STEP Status and Trends of European Pollinators. http://www.zoologie.umh.ac.be/hymenoptera/page.asp?ID=169.*

Russel, S., Norvig, P., 2003: *Artificial intelligence: A Modern Approach. Englewood Cliffs, New Jersey: Hall.*

Trilar, T., 2014: Ključ za določanje pogostih vrst čmrljev. <http://www2.pms-lj.si/kljuci/cmrlji/>.

Paleontologija • Železnodobni zbiralci fosilov iz Vač!

Železnodobni zbiralci fosilov z Vač

Matija Križnar, Boštjan Labarnar

Odkrivanje in zbiranje fosilov nista samo področji delovanja današnjih paleontologov, ampak so na njihove ostanke naleteli tudi že naši človeški predniki, na primer neandertalci in kasneje tudi prva ljudstva oziroma civilizacije. V svetu je znanih več primerkov, ko na grobiščih ali drugih arheoloških najdiščih, od paleolitika do srednjega veka, odkrivajo različne okamnele morske ježke, belemnite, amonite, kosti in zobe morskih psov. V Sloveniji, če izvzamemo jantar, so najdbe fosilnih ostankov na arheoloških najdiščih¹ nepoznane. Paleontologi smo za zanimiv primer izvedeli povsem po na-

ključju, čeprav je bila najdba fosilnega zoba morskega psa že objavljena. Zato je prav, da jo predstavimo tudi z naravoslovnega vidika in jo prikazemo tudi kot paleontološko dediščino.

Nenavadni arheološki predmet

Prazgodovinskih arheoloških najdišč pri Vačah gotovo ni treba posebej predstavljati, saj gre za eno od najbogatejših arheoloških območij v Sloveniji. Vače so bile posebej pomembne v starejši železni dobi, to je med 8. in 4. stoletjem pred našim štetjem. Takrat je bila zgrajena velika utrjena naselbina na Zgornji kroni. Njeni prebivalci so umrle pokopavali na več grobiščih, ki so ležala

¹ Tukaj so mišljena najdišča po pleistocenu, predvsem v kovinski dobi in kasneje.