



УНИВЕРЗИТЕТ
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија
Деканат: 021 6350-413; 021 450-810; Централна: 021 485 2000
Рачуноводство: 021 458-220; Студентска служба: 021 6350-763
Телефакс: 021 458-133; e-mail: ftn@cam.ac.rs

ИНТЕРНАЦИОНАЛНИ
СИСТЕМ
СЕРТИФИКАЦИЈА
СОЦИЈАЛНИХ ОД



Наши број: 01-200/44-3/2
Ваш број: _____
Датум: 2011.12.03

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Новом Саду, на 28. редовној седници одржаној дана 30.11.2011. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

Тачка 13. Питања научноистраживачког рада и међународне сарадње

На основу извештаја рецензента прихвата се
Техничко решење – Софтвер (М85) под називом:

СОФТВЕР ЗА АУТОМАТСКУ КЛАСИФИКАЦИЈУ ЛЕТЕЉИХ ИНСЕКТА НА ОСНОВУ МОРФОЛОШКИХ КАРАКТЕРИСТИКА КРИЛА СА ПРИМЕНОМ У ИСПИТИВАЊУ БИОДИВЕРЗИТЕТА ЕКОСИСТЕМА

Аутори: Бранко Брклјач, Марко Пашић, Сања Брдар, Владан Минић, Дубравко
Пулибрк, Драган Летић, Владимир Црнојевић

Техничко решење је развијено у оквиру пројекта **НИИ-43002**

-непотребно изостављено-

Записник водио:

Тачност података проверио:
Секретар

Јасмина Димић, дипл. правник

Иван Нешковић, дипл. правник



РЕЦЕНЗИЈА ПРЕДЛОЖЕНОГ ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Софтвер: Софтвер за аутоматску класификацију летећих инсеката на основу морфолошких карактеристика крила са применом у испитивању биодиверзитета екосистема

Основни подаци:

Назив пројекта: Биосенсинг технологије и глобални систем за континуирана истраживања и интегрисано управљање екосистемима

Број пројекта: ИИИ - 43002

Руководилац пројекта: Мирослав Весковић

Аутори решења: Бранко Брклјач, Марко Панић, Сања Брдар, Владан Минајић,
Дубравко Тулибрк, Драган Летић, Владимир Црнојевић
Факултет техничких наука, Нови Сад

Мишљење рецензента:

Предложен је софтвер за аутоматску класификацију летећих инсеката на основу слике крила инсекта. Програм се заснива на новом методу за детекцију венских спојева у венској нерватури крила чији положај се након детекције користи за класификацију инсекта на нивоу врсте или рода. Програм је имплементиран у програмском језику C++ коришћењем алгоритама дигиталне обраде слике и статистичког препознавања облика. Софтвер олакшава прикупљање података о присуству полинатора на неком подручју од интереса и може се користити у истраживању биодиверзитета екосистема. Коришћење програма захтева претходну обуку помоћу графичког корисничког интерфејса на довољно великој бази електронских слика крила, чија класификација је претходно извршена од стране експерта. Стога је програм првенствено намењен истраживачким институцијама које поседују довољно велике базе слика. Програм поседује одређене предности у односу на постојеће системе сличне намене који користе другачије технике за издвајање карактеристичних структура са слике крила и класификацију на основу њих. Захваљујући већој робустности примењеног метода, програм је мање осетљив на недостатке који се појављују у слици услед присуства нечистоћа, оштећења као последице неадекватног руковања и припреме узорака и неуниформног осветљења. Програм се састоји из неколико повезаних функционалних целина:

1. Модула за претпроцесирање слике, који врши уклањање шума и побољшање слике.
2. Модула за претрагу венских спојева у слици. Претрага се врши помоћу клизајућег прозора и унапред обученог детектора венских спојева, при чему се обука обавља ручно коришћењем графичког корисничког интерфејса и довољно велике базе класификованих слика крила.
3. Модула за одређивање положаја венских спојева на основу прикупљених вишеструких детекција, чији резултат се може користити независно од даље класификације као помоћни алат за аутоматско означавање карактеристичних тачака у слици.
4. Модула за класификацију слике крила инсекта на основу положаја карактеристичних тачака у слици. Класификација се врши помоћу класификатора који такође захтева претходну обуку кроз процес надгледаног учења.

Обука и тестирање програма је извршена помоћу базе слика осолених мува са Природно математичког факултета у Новом Саду, а програм за разлику од сличних решења уз додатну обуку омогућава примену и на друге врсте инсеката.

Техничко решење је оригинално. Текст техничког решења садржи све потребне компоненте: кратак опис са техничким карактеристикама и проценом техничких могућности, преглед тренутног стања у свету, као и детаљан опис самог техничког решења. Рецензент је мишљења да предложено техничко решење треба прихватити.

У Београду,
10. новембар 2011. год.

Др Славица Боштанчић Ракас
Институт Михајло Пупин
Вољгина 15, Београд

РЕЦЕНЗИЈА ПРЕДЛОЖЕНОГ ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Софтвер: Софтвер за аутоматску класификацију летећих инсеката на основу морфолошких карактеристика крила са применом у испитивању биодиверзитета екосистема

Основни подаци:

Назив пројекта: Биосенсинг технологије и глобални систем за континуирана истраживања и интегрисано управљање екосистемима

Број пројекта: ИИИ - 43002

Руководилац пројекта: Мирослав Весковић

Аутори решења: Бранко Брљач, Марко Панић, Сања Брдар, Владан Минић,
Дубравко Тулибрк, Драган Јетић, Владимир Црнојевић
Факултет техничких наука, Нови Сад

Мишљење рецензента:

Предложено софтверско решење поседује следеће особине: могућност аутоматске класификације летећих инсеката на основу слике крила уз претходну обуку програма на довољно великој бази ручно класификованих слика, детекцију положаја карактеристичних тачака (венских спојева) на венској нерватури крила и графички интерфејс за ручно означавање карактеристичних тачака приликом обуке програма. Примена програма је умерена на истраживачке институције које поседују одговарајуће базе слика за обуку и које имају интерес да користе програм као додатни алат у прикупљању релевантних података о присуству одређених врста на неком подручју, а који су неопходни за испитивање биодиверзитета екосистема. Програм је имплементиран у програмском језику C++ уз коришћење библиотеке отвореног кода OpenCV 2.0 која садржи готове имплементације алгоритама за компјутерску визију. Главно језгро програма представља нов метод за детекцију венских спојева који примењује дигиталну обраду слике и надгледано учење. Поред наведеног бинарног класификатора саставни део програма чини и додатни класификатор који врши класификацију инсекта на нивоу врсте или рода. Обука и тестирање програма је извршено на неколико врста осолених мува и при томе је постигнута просечна тачност класификације на нивоу врсте од 71% и просечна тачност класификације на нивоу рода од 96%. Предност предложеног програма у односу на слична решења је могућност примене и на друге врсте летећих инсеката након обуке на одговарајућој електронској бази слика. Робустност програма, захваљујући примени поменутог метода детекције који се заснива на препознавању облика венског споја, се огледа у мањој осетљивости на недостатке који се појављују у слици због присуства нечистоћа приликом прављења препарата, оштећења услед лошег руковања са узорцима и неуниформног позадинског осветљења приликом фотографисања крила. Програм чине следеће функционалне целине:

1. Модул за уклањање шума и побољшање слике.
2. Модул за детекцију венских спојева у слици на нивоу клизајућег прозора фиксних димензија.
3. Модул за одређивање координата венских спојева на основу прикупљених вишеструких детекција и меких вредности одзива детектора.
4. Модул за класификацију инсекта на основу координата спојева у слици применом унапред обученог класификатора.

Текст техничког решења садржи све потребне компоненте: кратак опис са техничким карактеристикама и проценом техничких могућности, преглед тренутног стања у свету, као и детаљан опис самог техничког решења. Поред тога решење је у великој мери ново. Стога је рецензент мишљења да предложено техничко решење треба прихватити.

У Београду,
10. новембар 2011. год.

др Косовић Ана

Мр Ана Кабовић
Институт Михајло Пупин
Волгина 15, Београд

ИИИ - 43002

**Биосенсинг технологије и глобални систем за континуирана
истраживања и интегрисано управљање екосистемима**

**Софтвер: Софтвер за аутоматску класификацију летећих инсеката на
основу морфолошких карактеристика крила са применом у
испитивању биодиверзитета екосистема**

Руководилац пројекта: Мирослав Весковић

Одговорно лице: Бранко Бркљач

Аутори: Бранко Бркљач, Марко Панић, Сања Брдар, Владан Минић,
Дубравко Ђулибрк, Драган Летић, Владимир Црнојевић

Развијено: у оквиру пројекта ИИИ - 43002

Година: 2011.

Примена од: 18.10.2011.

Кратак опис

Софтвер омогућава аутоматску класификацију летећих инсеката на основу слике крила инсекта применом техника дигиталне обраде слике и статистичког препознавања облика. Класификација се врши на нивоу врсте или рода. Коришћење програма подразумева претходну обуку програма на довољно великој електронској бази података која садржи слике крила датих инсеката, при чему су слике у бази унапред разврстане по врстама и родовима од стране експерта. Након почетне обуке програм се користи независно од коришћене базе. Обука се врши само једном и подразумева ручни унос података помоћу показивача коришћењем графичког корисничког интерфејса. Програм је првенствено развијан за потребе испитивања биодиверзитета екосистема где би имао улогу у прикупљању релевантних података о постојању одређених полинатора на неком подручју од интереса. Примена се састоји у убрзавању и олакшавању класификације прикупљених летећих инсеката, која се тренутно обавља ручно и захтева присуство експерта што значајно отежава ефикасно прикупљање релевантних података. Програм је обучен и тестиран на сликама крила неколико врста осолених мува из фамилије Syrphidae, које су обезбеђене захваљујући колегама са Департмана за биологију и екологију Природно математичког факултета у Новом Саду.

Техничке карактеристике

Програм је имплементиран у програмском језику C++ уз коришћење OpenCV библиотеке намењене развоју програма за компјутерску визију. Поред програма имплементиран је и графички кориснички интерфејс који се користи приликом обуке. У оквиру програма развијен је нов алгоритам за аутоматску детекцију карактеристичних тачака на слици крила које су од интереса за класификацију. Примена унапред обученог детектора се заснива на методи клизајућег прозора у слици.

Техничке могућности

Аутоматска класификација летећих инсеката на основу слике крила, уз унапред извршену почетну обуку програма на довољно великој бази ручно класификованих слика крила. Аутоматска детекција положаја карактеристичних тачака на венској нерватури крила, које се користе као улазне вредности алгоритма за класификацију. Графички интерфејс за ручно означавање карактеристичних тачака приликом обуке.

Реализатор

Biosense центар, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду

Корисници

Департман за биологију и екологију, Природно математички факултет у Новом Саду; пољопривредни институти; еколози;

Подтип решења

Софтвер (М85)

Стање у свету

Класификација, мерење и праћење инсеката представљају важан сегмент испитивања биодиверзитета екосистема. Њихов циљ је обично да се идентификује присуство или промена у бројности неког карактеристичног инсекта или неке његове особине, што се касније користи као улазни податак у даљој анализи. Технички проблем са којим се еколози и други истраживачи при томе сусрећу је веома велики број врста или других класификационих категорија и релативно мали број доступних експерата који су у стању да изврше класификацију прикупљених узорака. У случају полинатора углавном се ради о летећим инсектима који се унутар сличних категорија могу разликовати на нивоу врсте или рода на основу карактеристичног облика венске нерватуре на крилу.

Методе компјутерске визије пружају прецизно и погодно решење, када је природа проблема таква да је њихова примена могућа. Постоје различити приступи класификацији инсеката на основу слика крила. Дискриминативна информација која омогућава класификацију може бити садржана у облику крила, али је у већини случајева садржана у релативном односу карактеристичних тачака на крилу, које одговарају венским спојевима. Поред тога, њихов релативни положај није условљен величином јединке или дејством неких других спољашњих фактора, који могу да утичу на особине као што су боја или пигментација крила, већ је одлика посматране категорије. Такође, карактеристична нерватура се не мења са временом, што омогућава и каснију класификацију раније прикупљених узорака.

У прошлости је најчешћи поступак класификације летећих инсеката био дескриптивни метод, који се показао недовољно добар у случају веома сличних категорија и који је замењен морфометријским методама. Морфометријске методе које се најчешће користе у класификацији на основу крила се углавном ослањају на рачунарске програме који кроз графички кориснички интерфејс омогућавају ручно означавање положаја карактеристичних тачака на слици крила и након тога, на основу мерења одређених

карактеристичних растојања између њих и одговарајуће морфометријске анализе, врше класификацију инсекта у неку од унапред одређених категорија. Поред класификације, оваква мерења на довољно великом узорку уз одговарајућу статистичку анализу омогућавају и откривање нових категорија.

Наведени програмски алати спадају у класу полуаутоматских система. Као последица, тренутно су актуелни различити покушаји да се процес класификације, како летећих тако и осталих инсеката од интереса, у што већој мери аутоматизује. При томе постоје и другачији приступи који не подразумевају класификацију на основу фотографије инсекта, већ примењују неке друге методе као што је днк анализа. Међутим овакви приступи нису толико заступљени, услед значајно већих трошкова у поређењу са сличним системима који се заснивају на дигиталној обради слике и најчешће нису прилагођени теренском раду. Стога и даље постоји снажан интерес за развој система за класификацију инсеката на бази слика уз примену алгоритама дигиталне обраде слике и статистичког препознавања облика.

Такви системи се обично састоје од опреме за ручну припрему прикупљених узорака, компоненти за аквизицију слике и одговарајућег софтвера који може захтевати активно учешће оператера или је ређе у потпуности аутоматизован. Наведени софтвер кроз одговарајућу обраду слике трага за информацијама од интереса у слици које се разликују у зависности од: врсте слике (крило или читаво тело инсекта) и конкретног метода класификације. Већина решења је углавном уско прилагођена конкретном задатку и не омогућава примену на сличне проблеме уз једноставне измене.

Постоје и системи за класификацију инсеката на бази слике читавог тела инсекта, али се у случају летећих инсеката класификација у већини случајева заснива на анализи слике крила. Пример система који врши анализу слике читавог тела инсекта је недавно развијен систем за класификацију водених ларви који је предвиђени за рад у релативно неконтролисаним условима, док је већина система за класификацију летећих инсеката заснована на анализи слике крила и у већини случајева захтева одговарајућу припрему узорака и контролисане услове рада.

Методе у анализи слике које се углавном примењују се заснивају на издвајању линија које одговарају нерватури крила, што је често сложен задатак услед: неуниформног позадинског осветљења, присуства шума у слици као последице нечистоћа или пигментације и присуства оштећења на нерватури крила услед неадекватног руковања или складиштења узорака. Крила се углавном стављају у микроскопске препарате при чему може доћи до додатних оштећења или недовољно доброг пријањања крила на плочицу препарата што може унети додатне тешкоће приликом покушаја издвајања линија. Стога је за већину алгоритама карактеристично да поседују нека специфична прилагођења која су зависна од конкретног проблема. Заједнички елементи ових метода су углавном неколико фаза које обухватају: претпроцесирање слике, сегментацију нерватуре и скелетализацију. Након тога или се врши претрага добијеног скелета како би се одредио положај карактеристичних тачака, на местима рачвања односно венских спојева, или се читава добијена структура скелета на одговарајући начин моделује и користи приликом класификације. У оба случаја добијене структуре (координате тачака или модели стабла) се затим користе за формирање одговарајућих обележја. Издвојена обележја се након тога употребљавају у току надгледане обуке класификатора на скупу

слика намењених за обуку или се у случају већ обученог класификатора користе при препознавању класе којој припада дата слика. Конкретан избор обележја и класификатора је уско повезан и у великој мери утиче на перформансе програма за препознавање. Са друге стране он је на одређен начин и ограничен претходним избором метода у анализи слике и коришћеног модела крила. Основни задатак који се у овим ситуацијама поставља пред програм који врши аутоматску класификацију је исправно издвајање нерватуре са слике крила, односно што тачније одређивање положаја карактеристичних тачака.

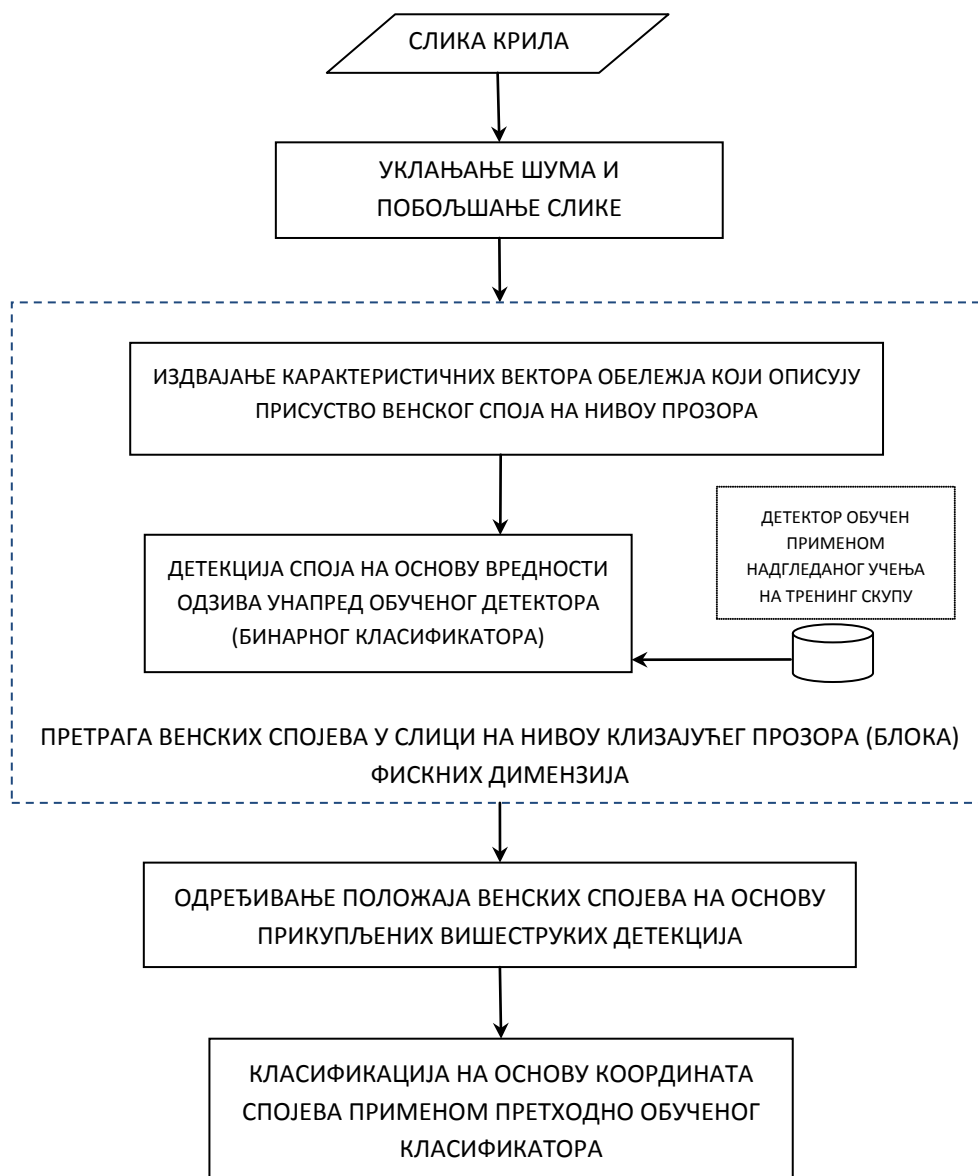
Рачунарски програми који су до сада развијени су настали као резултат мултидисциплинарних истраживања и наменски су прављени за: класификацију неких врста пчела; помоћ при морфометријским анализама крила кроз аутоматско означавање, односно аутоматску детекцију, венских спојева на сликама крила пчела, комараца и мува; класификацију различитих врста мољаца и лептирова на основу слика које садрже оба крила и користе и информације садржане у шарама, боји и облику спољашње контуре крила. Поред примена наведених система заснованих на дигиталној обради слике, на једном универзитету је рађено и експериментално истраживање у којем је покушана детекција присуства одређеног инсекта на неком подручју на основу карактеристичног звука који инсект испушта уз примену метода дигиталне обраде сигнала и препознавања облика. Што се тиче система који класификацију базирају на сликама крила недавно је у Енглеској покренут пројекат у сарадњи са природњачким музејом у Лондону да се развије интернет портал на коме би корисници могли да доставе фотографије крила инсеката и добију повратну информацију који инсект је у питању. У те сврхе је настављен развој на већ постојећем комерцијалном рачунарском програму за класификацију кроз подршку природњачког музеја који поседује велике збирке инсеката, што је важан предуслов за конструкцију поузданог класификатора.

У светлу свега наведеног направљен је рачунарски програм за аутоматску класификацију неких врста осолених мува, који се заснива на новом методу за детекцију венских спојева у слици крила и који се у општем случају може користити за аутоматско одређивање положаја венских спојева на слици крила.

Дизајн

За имплементацију програма одабран је програмски језик C++ и OpenCV програмска библиотека отвореног кода намењена развоју софтвера који се заснива на примени метода компјутерске визије. Наведена библиотека садржи значајан број имплементираних алгоритама који су на располагању кориснику. У развоју програма коришћен је нов метод за детекцију венских спојева на сликама крила, предложен од стране аутора. Метод се заснива на специфичној анализи делова слике, издвајању карактеристичних обележја и конструкцији одговарајућег класификатора који врши детекцију венских спојева у слици, односно бинарну класификацију. Тако добијене вишеструке детекције се затим групишу и служе за одређивање положаја венских спојева у слици крила, након чега се користи модул намењен за одређивање категорије којој припада инсект на основу координата детектованих спојева, применом додатног класификатора који је такође, попут раније поменутог детектора венских спојева,

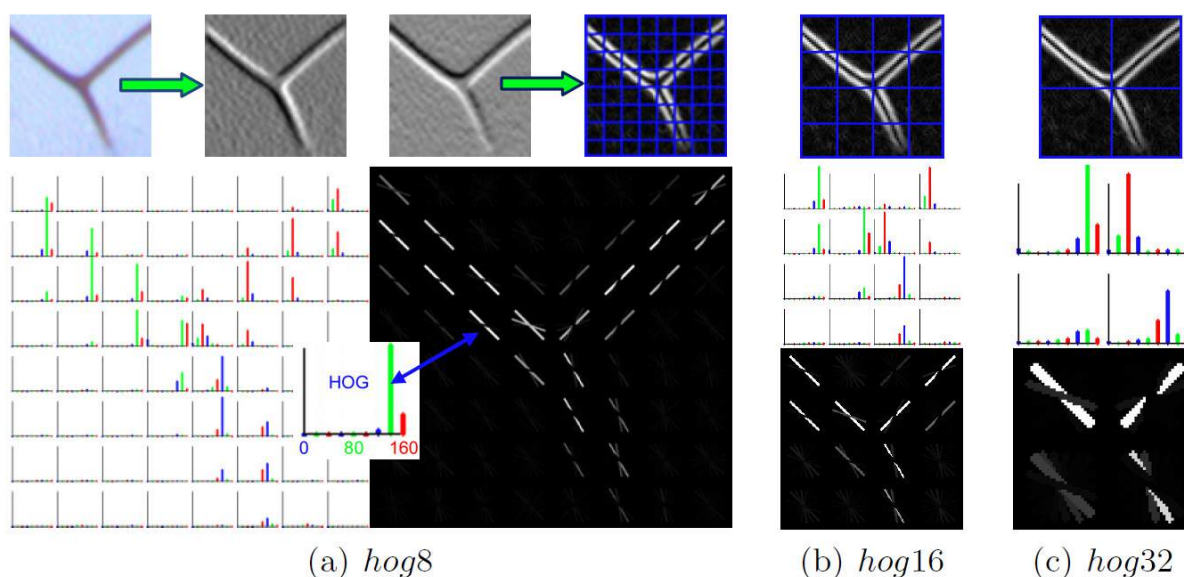
унапред обучен на довољно великом тренинг скупу слика применом метода надгледаног учења. На сл. 1 је приказана функционална блок шема програма за аутоматску класификацију инсеката на основу слика крила.



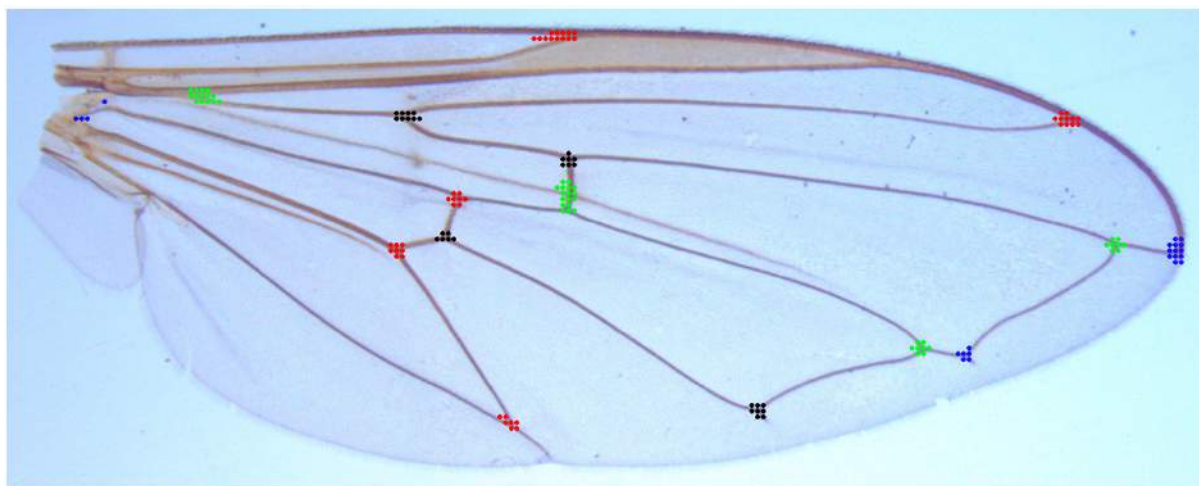
Сл. 1. Функционална блок шема програма.

Након припреме препарата, крило се фотографише помоћу камере високе резолуције са одговарајућим објективом и позадинским осветљењем. Добијена слика крила се прослеђује програму као улазна величина. Врши се претпроцесирање слике које за циљ има уклањање недостатака у мери у којој је то могуће. Након тога побољшана слика се секвенцијално претражује помоћу прозора фиксних димензија са фиксним кораком. Обрада слике и анализа која се врши на нивоу прозора приказана је у оквиру функционалног блока означеног испрекиданим линијама на сл. 1. Издвајају се карактеристична обележја која описују присуство ивица и текстуру у прозору и у облику јединственог вектора се прослеђују на улаз бинарног класификатора. Бинарни

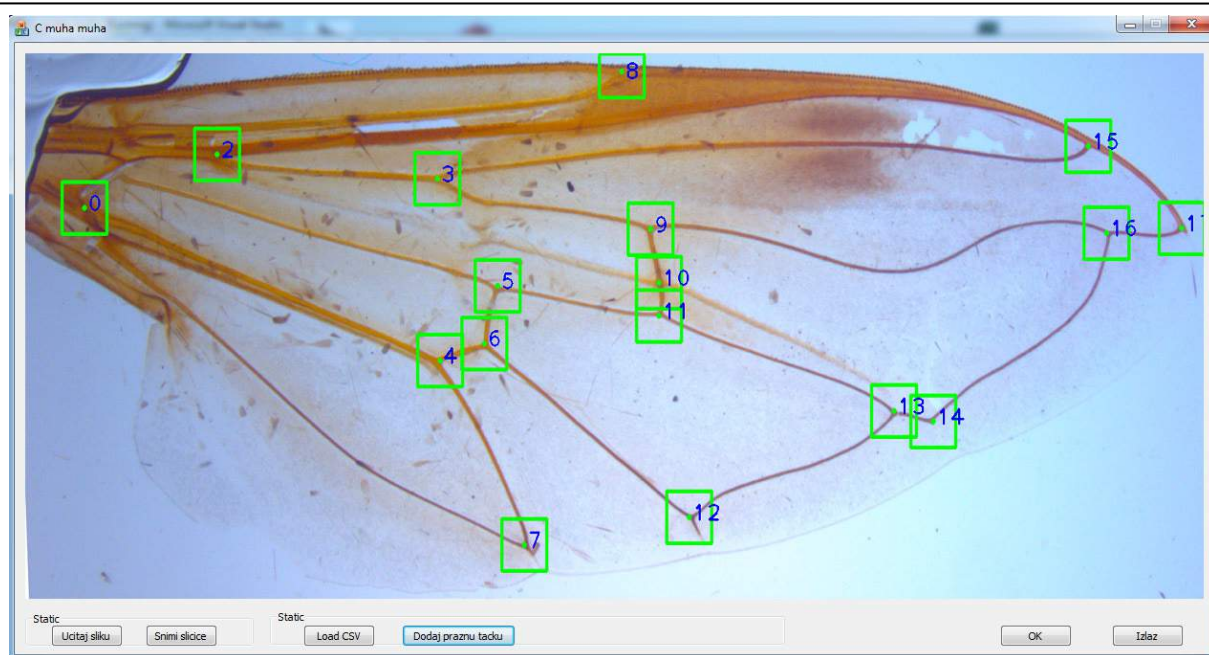
класификатор је унапред обучен коришћењем ручно означених прозора са и без венских спојева применом надгледаног учења на тренинг скупу слика. Детектор на излазу у случају позитивног одзива даје меке вредности које се уз текуће координате прозора у том случају прослеђују наредном блоку који врши коначно одређивање положаја венских спојева. Вишеструке детекције истог споја се пондеришу са вредностима одзива детектора и користе за израчунавање положаја споја. Координате детектованих спојева се затим прослеђују другом класификатору, који је такође претходно обучен на тренинг скупу слика и који као вредност враћа род и врсту инсекта коме припада улазна слика. На сл. 2 је илустрован процес издвајања обележја на нивоу прозора, док су на сл. 3 различитим бојама приказане вишеструке детекције венских спојева које се добијају на излазу функционалног блока означеног испрекиданим линијама на сл. 1. Изглед корисничког интерфејса током обуке бинарног класификатора, детектора, је приказан на сл. 4.



Сл. 2. Илустрација издвајања обележја на нивоу прозора; користи се комбинација дескриптора ивица (б) и дескр. текстуре; на сл. је приказан само дескр. ивица.



Сл. 3. Вишеструке детекције након претраге помоћу клизајућег прозора.



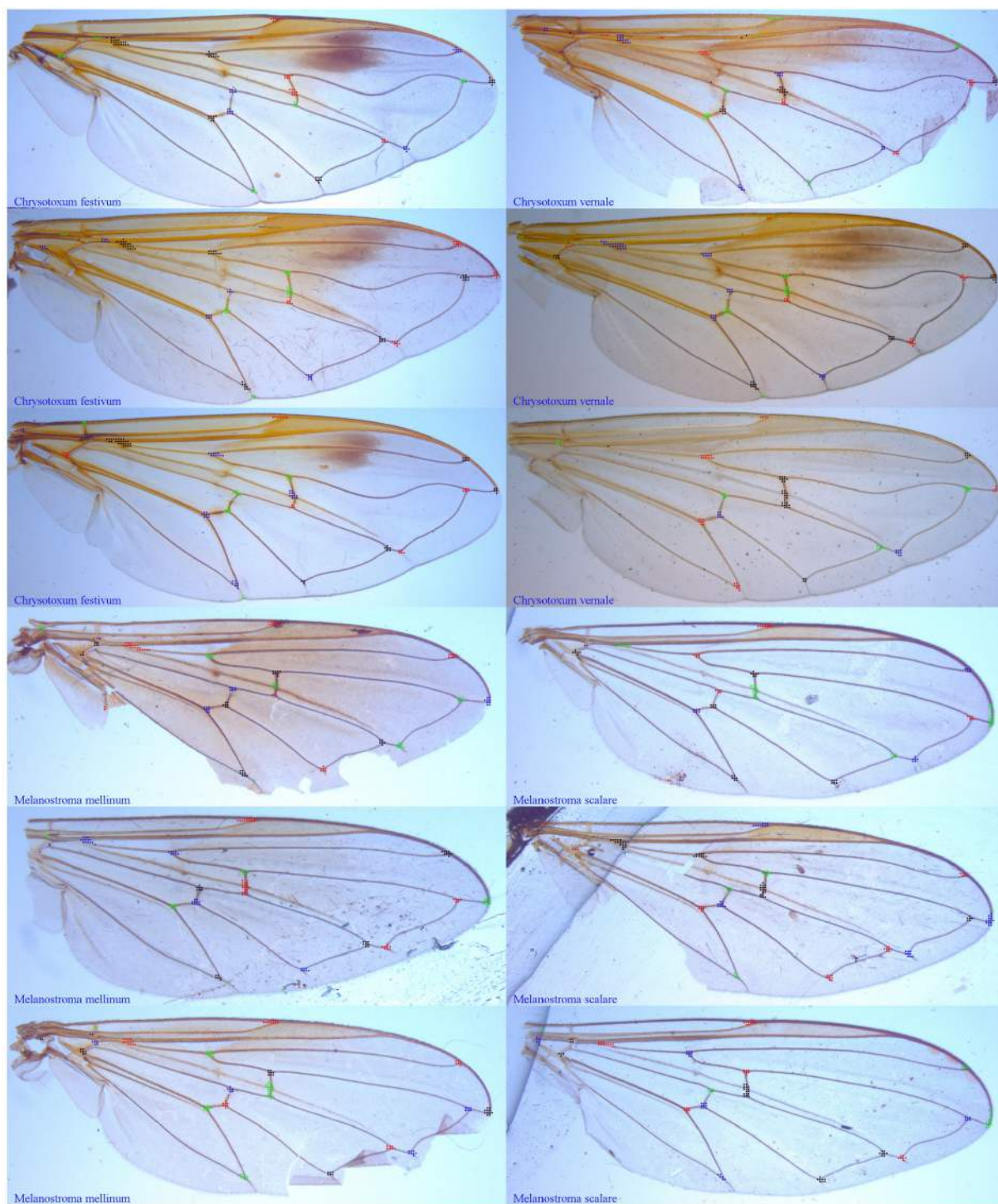
Сл. 4. Ручно означавање венских спојева током обуке детектора.

Примена

Предложени метод за детекцију спојева имплементиран у програму поседује одређене предности у односу на већ постојеће методе за издвајање карактеристичних тачака на слици крила, које програм чине нарочито погодним за примену у класификацији инсеката. Под тиме се подразумева већа робустност у односу на: присуство шума у слици услед нечистоћа, озбиљна оштећења крила до којих долази приликом руковања, неуниформно осветљење, лоше пријањање крила приликом прављења препарата. При томе програм, као резултат примене предложеног метода детекције, поседује могућност генерализације на друге врсте летећих инсеката која не постоји у случају других сличних система. Потребан услов за његову примену је постојање одговарајуће базе која садржи довољан број узорака крила инсеката за чију класификацију се програм обучава. Стога је примена програма пре свега усмерена на истраживачке институције које поседују такве базе и које имају интерес да користе програм као додатни алат у прикупљању релевантних података неопходних за испитивање биодиверзитета екосистема. На сл. 4 су графички приказани резултати рада програма.

Техничке карактеристике

- програмски језик C++
- програмска библиотека OpenCV верзија 2.0
- класификација инсеката на основу слике крила
- извршена обука програма за неколико врста из фамилије Syrphidae
- просечна тачност класификације на нивоу врсте од 71% и просечна тачност класификације на нивоу рода од 96%
- могућност примене на друге врсте летећих инсеката кроз ручну обуку коришћењем графичког интерфејса на одговарајућој електронској бази слика
- аутоматско означавање карактеристичних тачака на слици крила



Сл. 5. Примери слика из електронске базе крила осоликих мува из фамилије Syrphidae; приказане слике су коришћене за тестирање и на њима су различитим бојама уцртане вишеструке детекције спојева.