

Издавање објеката из сцене у асиметричном систему надзора

Драган Кнежевић, Петар Матавуљ, Зоран Николић

Apstrakt — Пасивно динамичко праћење и препознавање изабраних објеката у дефинисаном простору је сложен мултидисциплинарни проблем, који је посебно изражен у специфичним применама. У зависности од захтева посматране сцене у односу на изабране параметре, као што су величина и динамика кретања објекта од интереса, потребно време за обраду података и њихову процену и др., са једне стране, и са друге од изабраног система за надзор, постоји више решења овог проблема. За рад у реалним просторно – временским условима, најприкладнија је примена пасивних инфрацрвених уређаја и система за даљинску детекцију и праћење. Модели засновани на логичким и скуповним операцијама над дефинисаним областима суседства унутар текућег кадра и неколико наредних успешно решавају проблем лажног аларма и у случају ниско контрастних објеката у посматраној сцени. Примена модела захтева просторно и временско предфилтрирање улазног вектора података пре поступка одређивања координата објеката у оквиру мрежног сензорског система састављеног од више термовизијских система са панорамским приказом, IRST (Infrared Search and Tracking). Предфилтрирање је неопходно, посебно, ако је потребно откривање вишеструких објеката у области претраживања. Ова апликација је развијена за обраду кадра инфрацрвене слике, међутим развијени симулациони нумерички модел се може користити и за обраду слика у видљивом делу спектра.

Кључне речи — издавање објеката, осетљивост, предфилтрирање, скуповне операције, флуктуације, термовизија.

I. УВОД

Класични триангулациони поступци за аквизицију подразумевају поступке издавања објеката који припадају одређеној просторној области и утврђивање пресека детектованих делова простора у којима се објекат налази. Применом операција за обраду дигиталних слика у анализи кретања, који се заснивају на логичким и скуповним операцијама, могуће је извршити предпроцесирање података за триангулацију и утврдити знатно мање колекције података током процедура за утврђивање просторних пресека детектованих објеката на основу добијених сигнала са различитих уређаја са формирањем слике (триангулациони поступак). Код осматрачких система, ове намене, колекција података се издава на основу детекције групе циљних објеката, према утврђеном

критеријуму, у односу на разматрану позадину и подразумевани простор, дефинисан углом од $360^\circ \times 40^\circ$ на основу праћења и поређења информација о:

1. флуктуацијама неба,
2. групама летелица,

које су забележене на добијеним записима суседних кадрава слике.

Мера просторног одступања дефинисаног објекта у односу на суседне кадрове слике се процењује за различите карактеристике позиције, промене позиције и просторну оријентацију појединог објекта (издавање по висини, брзини, особинама промене правца кретања) унутар посматране сцене изабраним термовизијским уређајем од граничног домета детекције до блиских удаљености. Одступања су усклађена са очекиваним одступањима изабраног система за аквизицију.

Постоји доста радова са различитим приступом за откривање и праћење тачкастих циљева и тродимензионалну визуелизацију применом: одговарајућег филтрирања (филтер брзине, тест секвенцијалне хипотезе, динамичко програмирање, [1]), корелација високог реда [2], таласне (wavelet) трансформације [3, 4], критеријума кодираног суседства [5], итд. Најбољи резултати су постигнути у области детекције засноване на таласним трансформацијама, као и изразито dobrim резултатима у израчунавању и чувању података у оквиру сложене и робусне електронике. Други поступци, као што је то метода алгоритама заснованим на суседствима имају ограничења у откривању ниско контрастних објеката. Модификовани алгоритам детекције на основу анализе кретања, треба да омогући издавање размазаног тачкастог циља услед велике брзине кретања, која се уочава у одговарајућим променама током посматрања сукцесивних кадрава. У литератури се могу наћи наводи другачијег приступа, као што су то: алгоритми за откривање тачкастих објеката комбиновањем одговарајућих филтара [6], аналитичке методе откривања тачкастог циља [7], алгоритми за праћење тачкастих циљева хиперспектралним секвенцама слика [8], метод детекције малих ИЦ објеката на основу визуелне теорије Boolean- ових мапа [9], као и алгоритми за пасивно одређивање удаљености објеката од сензорске станице [10]. Модел заснован на логичким и скуповним операцијама је примењен за издавање објеката од интереса

Драган Кнежевић – Војнотехнички институт у Београду, Ратка Ресановића 1, 11030 Београд, Србија (e-mail: dragan.knezevic@vti.rs), [ORCID ID 0000-0003-0624-5474](https://orcid.org/0000-0003-0624-5474)

Петар Матавуљ – Електротехнички факултет, Универзитет у Београду, Булевар краља Александра 73, 11120 Београд, Србија (e-mail: matavulj@etf.bg.ac.rs), [ORCID ID 0000-0001-6635-5152](https://orcid.org/0000-0001-6635-5152)

Зоран Николић – Физички факултет, Универзитет у Београду, Студентски трг 12, 11001 Београд, Србија (e-mail: nizoran@ff.bg.ac.rs)

у посматраној сцени.

II. МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ ГРУПЕ ОБЈЕКТА

Просторни модел распореда објеката, који желе да се издвоје и прате из сцене унутар које се врши надзор за различите предвиђене флукуације температуре и емисивности, формира се у складу са својим особинама дефинисаним законитостима промене одређених вредности задатих параметара. Модел је прилагођен мрежној структури асиметричног сензорског управљачког информационог система, чије чворове представљају сензорске ћелије. Сензорске ћелије су основна сензорска једница мреже за пасивну аквизицију циљева. Постоји технолошка компатибилност унутар ћелија, а ка мрежи само информациона, с обзиром да сензорске ћелије за аквизицију не морају бити исте врсте / истог типа, али излазни податак мора да буде у јединственом формату и правовремено доступан и обнављан у складу са захтевом сензорске мреже. За потребе једног оваквог модела, за сваку ћелију се додељује случајни распоред објеката од интереса које треба издвојити и пратити, тако што се приказују преко улазног вектора података

$$C_p = \{C_{p1}(x_{p1}, y_{p1}, z_{p1}, t_1), \dots, C_{pk}(x_{pk}, y_{pk}, z_{pk}, t_k)\}, \quad (1)$$

где је C_p улазни низ вектора података, описан векторима појединих објеката од интереса C_{pi} , на основу просторних координата и јединственог времена појављивања/детекције у сцени која се посматра [11-15]. У моделу који је разматран, улазни вектор је проширен, тако да по једном објекту има 12 димензија (4 позициона параметра, као и изразу (1), друга 4 су параметри величине - тренутна величина, промена величине и њихове даље промене вишег реда, трећа 4 су параметри осветљености - осветљеност у односу на околину, промена осветљености и њихове даље промене вишег реда). У односу на принцип рада и функционисање то проширење ништа не мења, него су на тај начин само проширени захтеви за селекцију и детерминисање објеката који се издваја, односно софтвер за обраду садржи више података за карактеризацију.

Услед стохастичких промена у реалној сцени, укључујући и особине атмосфере, немогуће је на једнозначан начин пратити локалне промене контраста од сегмента до сегмента слике. Поред ове неодређености, постоји и неодређеност у детекцији (вероватноћа детекције већа од 50%) веома удаљених објеката, која указује на присуство лажног сигнала (сигнала лажног аларма), тако да се на улазу у систем појављују и вектори аларма лажних сигнала у слици:

$$L_p = \{L_1(\alpha_1, \beta_1, t_i), L_2(\alpha_2, \beta_2, t_i), \dots, L_q(\alpha_q, \beta_q, t_i)\}, \quad (2)$$

где L_p представља скуп лажно детектованих објеката L_j , $j=1,2,\dots,q$ у тренутку t_i изнад разматраног дела простора; α_j и β_j су вредности азимута и елевације лажно детектованих објеката.

Генерално, скуп пројектованих слика скупа објеката од интереса, има следећи облик:

$$S_p = \{L_1(\alpha_1, \beta_1, t_i), \dots, L_q(\alpha_q, \beta_q, t_i), C_{p1}(\alpha_{i1}, \beta_{i1}, t_i)P_{i1}, \dots, C_{pk}(\alpha_{ik}, \beta_{ik}, t_i)P_{ik}\}, \quad (3),$$

где је P_{ik} вероватноћа детекције појединачног вектора.

Азимут и елевација се у процесу просторне триангулације узимају и као „адреса потенцијалног објекта“ у меморијској локацији рачунара. На крају процеса, лажни сигнали ће бити потиснути. На основу податка о удаљености летелице од сензора, извршиће се трансформација координата детектованих објеката у Декартове координате, чија ће вредност представљати нову адресу објекта у меморијској локацији рачунара. Поред координата објекта и „системског времена“, са скупом података, шаље се и параметар поузданости за сваки детектовани објекат. Коначно, излазни скуп података објеката од интереса у разматраном простору и временском тренутку унутар једне зоне се представља новим векторским низом:

$$S_p = \{s_{p1}(x_{p1}, y_{p1}, z_{p1}, T_{p1}, t_i), \dots, s_{pm}(x_{pm}, y_{pm}, z_{pm}, T_{pm}, t_i)\}, \quad (4)$$

где су T параметар поузданости, а m коначан број детектованих објеката.

III. ОПИС ПРОЦЕСА

Времена скенирања IRST система за област $360^\circ \times 40^\circ$ траје око једне секунде током формирања панорамске слике. У мрежној апликацији, одређивање координата циља се најједноставније одређује класичним триангулационим поступцима [16], који подразумевају укључивање прорачуна о припадности објекта области у простору и где је неопходно утврдити пресеке детектованих делова простора у којима се објекат налази. У овом раду су приказани резултати тестирања симулационог нумеричког модела развијеног за предфилтрирање, који се заснива на:

1. аналитички добијеним статистичким параметрима инфрацрвене (ИЦ) сигнатуре неба у средњеталасној (MWIR – Medium-wave infrared) области спектра (средњој вредности, стандардној девијацији, скјунесу и куртозису) за измерене карактеристичне сигнатуре летњег неба мерном термовизијском камером SC 7200 FLIR, пред залазак Сунца и после његовог заласка,
2. симулираним случајним вредностима улазног вектора сигнала реалних циљева и лажног аларма, и
3. упоредивим временским параметрима извршења појединих фаза рада симулационог нумеричког модела код два система панорамских претраживача неба са резолуцијом: 33MB (12566 x 1396 x 2 бајта) за тренутно видно поље 0,5mrad и 209MB (31415 x 3490 x 2 бајта) за тренутно видно поље 0,2 mrad.

У оквиру ове методе детекција уоченог објекта, обавља се како примарном екстракцијом по интензитету у односу на позадину, тако и суперконтролом, сагледавањем захваћене површине у кругу до 250 пиксела у односу на положај центра са претходног фрејма. То значи да се практично конструише зона суседства за задати фрејм, а да се у следећем фрејму за сваки објекат у зони суседства са

претходног фрејма сматра да испуњава услов суперконтроле (поновљивости - постојаности). Постојање већег броја објеката у зони суседства не спречава потврду о постојању објекта [17-19]. Зона суседства не разликује растојања до објекта.

Апликација је развијена на сопственом коду, модификацијом кода за карактеризације тачкастих (spot) објеката на снимцима добијеним ултрабрзом видео камером [18]. Разлика није у алгоритму, већ у формату кадра (frame format). Наиме, апликација је била прилагођена обради сигнала видео записа од 1000 fps (224 x 56), редом, 120 fps (640 x 480) итд. где је fps (frame rate per s) брзина формирања кадрова, али у суштини може да обради сигнал било којег видео записа. Генерисани су „видео записи“ формалних димензија (12566 x 1396 и 31415 x 3490), јер су то димензије низа фотографија - кадрова. Појединачни кадар је формиран обрадом постојећег алгоритма и мозаичким придруживањем мноштва малих фрејмова.

Варијанти улазни параметри:

За процену улазног вектора сигнала у раду усвојени су објекти описани ефективним површинама (16m^2 - 100m^2) и ефективним променама температуре у односу на позадину (100K - 200K). Радијансе ових објеката су вариране (различите удаљености од осматрачког система (до 50km), различити услови потискивања и заклањања сигнала) за потребу развоја софтвера за предфилтрирање улазног вектора сигнала. Средња вредност коефицијента слабљења радијансе у атмосфери је варирана уз услов $\sigma = 0,3[\text{km}^{-1}]$.

Вредност изабраних параметра IRST са скенирајућим модом је варирана у односу на литературу [20, 21]: видно поље IRST ($360^\circ \times 20^\circ$, $360^\circ \times 40^\circ$ и $360^\circ \times 60^\circ$), тренутно видно поље ($0,2 \text{ mrad}$, $0,35 \text{ mrad}$ и $0,5 \text{ mrad}$), дужина детекторског низа (1024, 2048 и 4096 детектора) и дефинисано време претраживања видног поља (1 s, 2 s и 4 s). Фиксне вредности параметара су: дијаметар апертуре 254mm , F број је 1, спектрални опсег $3\mu\text{m}$ до $5\mu\text{m}$, NETD < $0,01\text{K}$ (Noise Equivalent Temperature Difference - NETD), MTF > 0,5 (Modulation Transfer Function - MTF) и специфична детективност детектора $2 \cdot 10^{11} \text{ cmHz}^{1/2}/\text{W}$.

A. Испитивање позадине и дефинисање флукуација

Анализом сцене за праћење кретања карактеристичних објеката, неопходно је претходно снимање сцене без присутности карактеристичних објеката и статистички испратити четири момента температурних промена у дводимензионалном простору: средње вредности, стандардне девијације, скјунеса и куртозиса. Ако је позадина сложена, врши се суперпозиција по утицајима, тако што се у нумеричком моделу, уведе слојеви преко фактора сметње у односу на чисту позадину без захваћених објеката.

Средња вредност температуре у зони објеката који се прате је очекивано већа у односу на средњу вредност околине.

Апликација за тестирање мери брзину промене кадра у јединицама fps за задату величину коначног кадра. Поред

тога, на основу задатог параметра, усвојене вредности прага контраста (CTV – contract threshold value), који индиректно одређује број карактеристичних пиксела на основу нивоа сивог (и према околини и у односу на целу слику – два критеријума), пиксели захваћени аквизицијом пролазе овај критеријум ради оцене припадности неком осветљеном објекту. Практично, параметар CTV је сложен улазни параметар у систему одлучивања о прихватљивости сигнала нивоа сивог на пикселу детектора и он интегрално представља:

1. карактеристике камере (осетљивост, контраст, резолуција и др.),
2. карактеристике позадине (контрасти, структура позадине, дистрибуција температуре и др.), као и
3. карактеристике објеката у сцени (број детектованих објеката укључујући лажне аларме, димензије детектованих објеката и др.).

То значи да је у функцији параметра CTV у резултатима дата комплетна анализа и да су добијене изворне зависности. Урађена је и имплицитна анализа међузависности осталих параметара, при чему су добијене битне карактеристике.

B. Предфилтрирање

Поступак детектовања тачкастог објекта у поступку предфилтрирања из предњег и претпоследњег „слоја“, добија се на бази више узастопних слика које пролазе тест са адхеренцијама. Подаци, који су прошли предфилтрирање формирају улазни вектор података за симулациони нумерички модел триангулације у оквиру кога се добија излазни вектор података о циљевима са утрошеним временом за потребна израчунавања.

Анализа објеката на индивидуалном фрејму, подразумева да се издвоји сваки пиксел који се у контрасту истиче у односу на x-y средњу вредност околине за тестирање најближих суседства у испитивању конективности. Тестирани су случајеви координационих бројева 4 и 8 (координациони број 4, подразумева конективност: лево, десно, испред и иза, а координациони број 8 поред тога подразумева и конективности по дијагоналама). Конективност код 4 је реализована, ако је:

$$\text{abs}(i-i') + \text{abs}(j-j') = 1, \quad (5)$$

а ако је конективност 8:

$$\text{abs}(i-i') < 2 \text{ и } \text{abs}(j-j') < 2. \quad (6)$$

Све тачке које рекурзивно испуњавају услов најближег суседства припадају једном истом објекту. Процес сегментирања објеката представља једну од најспоријих компоненти система.

Следећи тест је тест величине објекта, који се примењује на све издвојене објекте мање од 50 пиксела, и сваки од њих, који испуњава овај услов је кандидат за детектовани објекат по индивидуалном фрејму.

Скуповне операције за сетове пиксела детектованих објеката се примењују тако да се дисјунктивним поступком одстрањују лажни аларми. Ово поред сегментирања спада у најспорије операције у детекционом поступку. И варирање стопе раста, зависиће управо од наведене

граничне брзине промене кадра.

За сваки детектовани објекат, који за 4 узастопна фрејма испуњава услов ϵ околине (сукцесивно), сматра се да је детектован, осим уколико парцијално нема маркирање „слоја“ са облацима. Позиције азимута и елевације, као и брзине по азимуту и елевацији, узимају се као параметри улазног вектора по детектованом објекту са последњег фрејма. Брзине, убрзања и промене убрзања, добијају се као параметри у аналитичкој обради позиција добијених са претходно детектованих фрејмова.

IV. СИМУЛАЦИОНИ РЕЗУЛТАТИ

CTV служи за додатно појачање, истицање, сигнала на пикселу. Представља NETD [22, 23] и њиме се индиректно одређује број карактеристичних пиксела за обраду сигнала у оквиру предфилтрирања. CTV је параметар са осомбитним опсегом од 0 до 255. Граница реалне ситуације, при којој шум и артефакти нису виђени високом осетљивошћу камере, је 3500 пиксела по фрејму (сл. 1). У нашој претпоставци та граница је релевантна, с обзиром да подразумева детекцију очекиваног броја тачкастих (spot) објеката у оквиру једног фрејма.

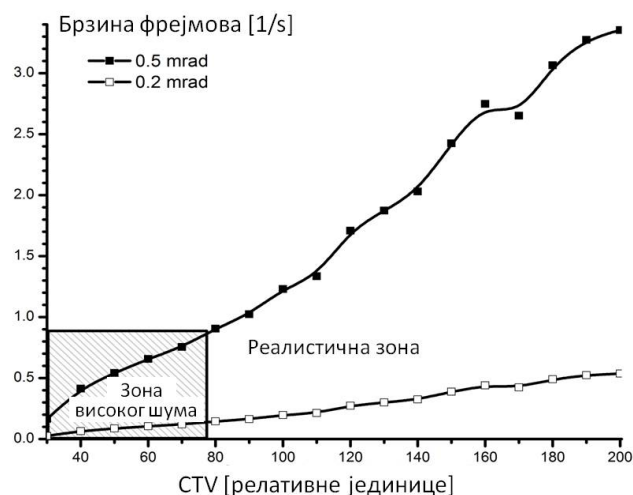


Сл. 1. Број детектованих пиксела по кадру у зависности од CTV у релативним јединицама мерено са контрастом у резолуцији од 8 бита [24]

Како се мења вредности параметра CTV, мења се и температурна осетљивост сензора (NETD), а самим тим и осетљивост система за детекцију тачкастих објеката чији ниво сигнала превазилази ниво шума. Брзина обраде података у реалном времену значајно расте са временским филтрирањем. За случај, када се не примењује временско филтрирање, уочава се да је обрада података у реалном времену изводљива само у зони ниске осетљивости.

У зависности од вредности параметра CTV, обрада података током предфилтрирања, према овом софтверском решењу, одвија се различитим брзинама. Овај параметар значајно утиче на број карактеристичних тачака за анализу (сл. 2). Примећује се такође, да фреквенција слике прелази потребну границу за обраду сигнала током предфилтрирања у реалном времену за реалне услове мерења. За подразумевану брзину скенирања 1 Hz и за

тренутно видно поље 0,5 mrad, свака брзина обраде током предфилтрирања, која је већа или једнака брзини скенирања задовољава услов рада у реалном времену.



Сл. 2. Зависност брзине промене кадра од CTV за тренутно видно поље 0,5mrad и тренутно видно поље 0,2mrad са временским филтрирањем [24]

Брзина обраде података постаје много мања за брзине скенирања видног поља, када је тренутно видно поље 0,2 mrad. На основу теста, процењује се у овом случају да је обрада података у реалном времену могућа само у смислу чистијих сцена са мање објеката и брзином скенирања од 0,5 Hz.

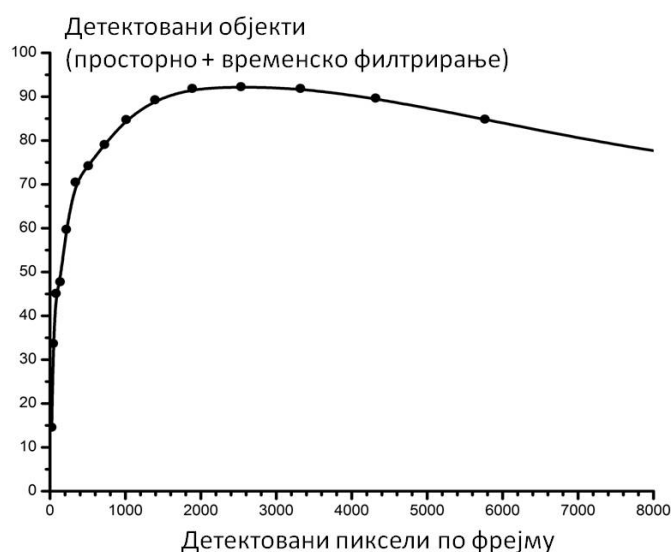


Сл. 3. Зависност броја детектованих објеката од CTV после просторног и временског предфилтрирања [24]

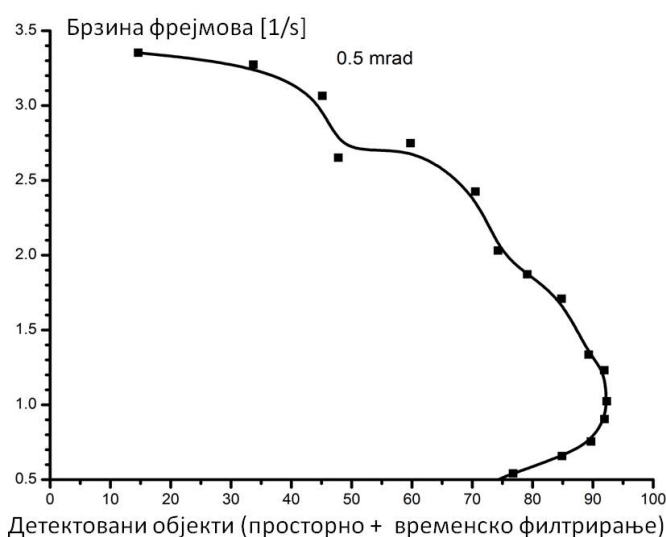
Анализа броја издвојених објеката који су прошли просторни филтер (осветљеност, појављивање у групи) и временски филтер (постојање у 4 узастопна фрејма) може се такође извести у функцији параметра CTV. На сл. 3 је показано да је могуће издвојити до 90 објеката који испуњавају дати услов у реалним оквирима. Код високих вредности CTV, број детектованих објеката се смањује, јер су у задатим условима тада сцене чистије, односно са мање објеката. Из разлога, што у мноштву детектованих тачака

постоји доминантан шум, који не испуњава услов временског филтрирања, код ниских вредности параметра CTV долази до смањења броја објеката. У зони високог шума, због њихове попречне повезаности које са малом променом контраста значајније мењају број детектованих објеката и нису мерно поновљива, могућа су статистички значајна нестационарна понашања у односу на број детектованих објеката. То је разлог појаве „цеп“ на слици. У зони смањеног шума, контраст је повећан, самим тим мања је попречна повезаност објеката) и постоји стационарно стање које је потпуно реално.

Постојање практично линеарног, заравњеног дела функционалне зависности на сл. 4 (платоа), омогућава сигурну анализу задатог броја објеката, као и фину регулацију брзине обраде сигнала, тако да је могуће разликовати детектоване објекте према облику, брзини, надморској висини, итд.



Сл. 4. Зависност броја детектованих објеката од детектованих пиксела по фрејму после просторног и временског предфилтрирања [24]



Сл. 5. Зависност брзине промене кадра од броја детектованих објеката након просторног и временског предфилтрирања [24]

Брзина обраде података у функцији броја детектованих објеката приказана је на сл. 5 у овој анализи. Јасно се примећује да свака обрада података у реалном времену испуњава задате услове (до 90 објеката који испуњавају и просторни и временски услов). Овај број објеката представља реалне објекте добијене издвајањем у процесу предфилтрирања и већи је од физички остваривог броја објеката у зони аквизиције $360^\circ \times 40^\circ$ IRST система за тренутно видно поље $0,5 \text{ mrad}$.

V. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА

Чињеница је да IRST уређаји и системи захтевају више времена за компензацију кашњења током формирања панорамских слика, које износи око једне секунде. С друге стране неопходно је и додатно CPU време, јер обрада података панорамских слика захтева значајне рачунарске ресурсе. Са додатним временом, стварају се нежељена кашњења, а то води ка немогућности обраде у реалном времену. Управо у овој ситуацији, могућност предфилтрирања у каснијој обради слике, може бити од велике користи у укупним анализама динамичке сцене.

Имајући у виду да се поступком предфилтрирања знатно смањује улазни вектор података код уређаја и система за надзор, развијен је симулациони нумерички модел за ту наменом и приказан је један део резултата његовог тестирања који потврђује овај поступак.

Извршено је претпроцесирање (припремна обрада сигнала) вектора улазних података применом логичких и скуповних операција за обраду дигиталних фотографија, у оквиру мрежне апликације за одређивање координата циља објеката, приликом претраживања задатог простора $360^\circ \times 40^\circ$ термовизијским уређајима и системима са тренутним видним пољима од $0,5 \text{ mrad}$ и $0,2 \text{ mrad}$. Тиме се добија у реалном времену знатно мања колекција улазних података, са којом се знатно скраћује време потребно за утврђивање просторних пресека детектованих објеката на различитим камерама.

Потврђена је константност карактеристика неба изнад 50° . Зона неба изнад ових углова елевације одговара захвату објеката, који су изразито близу и налазе се дубоко у зони у којој нису уочљиви у оквиру детекционог система појединачног система (треба их уочити знатно раније), али не и за саму сензорску мрежу. Испод 50° , карактерисано небо има својство експоненцијалног пада температуре са висином (елевацијом) и у области ниског неба има обресе рељефа, чак и у зони до десетак степени изнад хоризонта. Сва термовизијска мерења сигнатуре неба у MWIR спектралној области су рађена на познатом небу поднебља. Током низа мерења показала се неопходност за калибрацијом у односу на небо у пуном опсегу азимута за сваку радну станицу пре почетка рада термовизијског система за осматрање простора $360^\circ \times 40^\circ$.

Главне карактеристике развијене апликације су:

1. границу реалне ситуације представља 3500 пиксела по

- фрејму и подразумева детектовање очекиваног броја тачкастих (spot) објеката у фрејму.
2. За тренутно видно поље од 0,5mrad и брзину скенирања од 1Hz свака брзина обраде података, која је већа или једнака брзини скенирања, задовољава услов рада у реалном времену и могуће је издвојити до 90 објеката у реалним оквирима.
 3. За веће величине фрејмова (тренутно видно поље од 0,2mrad), добија се зависност истог карактера као и са 0,5mrad, тако да је обрада података у реалном времену изводљива за услове чистије сцене са мање објеката при брзини скенирања од 0,5Hz и у том случају је могуће издвојити до 180 објеката у реалним оквирима.
 4. У изузетно чистим сценама постоји јасна контрастна детекција мањег броја објеката, што представља најреалније стање сцене, када је густина присутних објеката у простору мања.
 5. Изводљива је анализа детектованих објеката према другим његовим карактеристикама, као што су облик, брзина, трајекторија итд.

VI. ЗАКЉУЧАК

Праћење вишеструких тачкастих циљева у моделу асиметричног ИЦ сензорског мрежноцентричног система, анализиран је у економски прихватљивом моделу са комерцијално доступном опремом и добром проценом. Потврђена је неопходност просторног и временског предфилтрирања улазног вектора података пре потпуне аквизиције изабраних објеката у области надзора сензорске мреже. Успешно је решен проблем лажног аларма ниско контрастних објеката применом логичких и скуповних операцијама над дефинисаним областима суседства унутар актуелног кадра и неколико следећих. Нумерички експеримент се изводи на сопственом симулационом нумеричком моделу, заснованом на принципима просторне триангулације за ову намену, у којем се нереални случајеви аутоматски елиминишу током процене излазног вектора података. Овде се примењује метода Гаусове расподеле. Просечна израчуната времена, која су резултат симулације, била су краћа од симулираних вредности увећаних за 3 σ .

ЗАХВАЛНИЦА

Аутори се захваљују Лабораторији за оптоелектронику Војнотехничког института у Београду.

Овај рад је подржан од стране српског Министарства науке, технолошког развоја и иновација у 2023. години, евиденциони бројеви су 451-03-47/2023-01/200325 и 451-03-47/2023-01/200103.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] C.E. Cafer, J. Silverman, J.M. Mooney, "Optimisation of point target tracking filters", IEEE Trans. Aero. Elect. Syst., 36(1), 15-25, (2000)
- [2] W.L. New, M.H. Er, V. Ronda, "New method for detection of dim point-targets in infrared images", Proceedings SPIE, 3809, 141- 50, (1999)
- [3] G. Hewer, W. Kuo, C. Kenney, G. Hanson, J. Uobinchak, "Detection of small IR objects using wavelets, matched subspace detectors, and registration. Signal and data processing of small targets", Proceedings SPIE, 4728, 12-23. (2002)
- [4] M.A. Zaveri, A. Malewar, S.N. Merchant, U.B. Desai, "Wavelet-based detection and modified pipeline algorithm for multiple point targets in infrared image sequences", In ICVGIP, (2002)
- [5] F.Y. Hsieh, C.C. Han, N.S. Wu, K.C. Fan, "A novel approach to noise removal and detection of small objects with low contrast", www.fox1.csie.ncu.edu.tw/~Syncaiph/paper/ detection-wiamis04.pdf.
- [6] S. Buganim, S.R. Rotman, "Matched filters for multispectral point target detection", Proceedings SPIE, 6302, (2006)
- [7] S. Adar, S. Buganim, S.R. Rotman, "Analysing point target detection algorithms", Proceedings SPIE, 5987, (2005)
- [8] L. Varsano, S.R. Rotman, "Point target tracking in hyperspectral images", Proceedings SPIE, 5806, 503-10, (2005)
- [9] S. Qi, D. Ming, J. Ma, X. Sun, J. Tian, "Robust method for infrared small-target detection based on Boolean map visual theory", Applied Optics, Vol. 53, No. 18, 3929-3940, (2014)
- [10] M. de Visser, P.U.W. Scherwing, J.F. de Groot, E.A. Hendriks, "Passive ranging using an infrared search and track sensor", Optical Engineering, 45(2), (2006)
- [11] M. Abramowitz, I.A. Stegun, "Handbook of Mathematical Functions", Wiley – Interscience, New York, (1993)
- [12] G. Arfken, "Mathematical Methods For Physicists", Academic Press, New York, (1966)
- [13] M.M. Laban, "Three general principles in mathematical modeling, monograph, Serbian official publishing company for textbooks and teaching aids", Belgrade, (2000)
- [14] J. S. Przemieniecki, "Mathematical Methods in Defense Analyses", AIAA, Washington, (1990)
- [15] S. Sharma, P. Banerjee, "Effect of errors in position coordinates of the receiving antenna on single satellite GPS timing", Indian J Pure & Appl Phys, 48, 429-434, (2010)
- [16] D. Knežević, M. Srećković, S. Kočinac, V. Ibrahimović, "The application of spatial triangulation for instantaneous tracking of flying objects in specified area", Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara – J. of Eng, 5, 93-104, (2007)
- [17] D. Knežević, P. Matavulj, Z. Nikolić, "The possibility of an information processing in the IC picture", Book of Abstracts of 9th Photonics Workshop, Kopaonik, Serbia, 3, (2016)
- [18] T. Mudrinic, Z. Nikolic, Z. Mojovic, Z. Cupic, A. Milutinovic-Nikolic, D. Jovanovic, "In situ videometry monitoring of bubble behavior during the electrocatalytic oxygen evolution reaction", Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis, 115, 81-91, (2015)
- [19] G.V. Ivanov, V.G. Ivanov, "Temperature and emissivity determination of small-size long-range object's using staring thermovision cameras", Infrared Physics and Technology, 60, 161-165, (2013)
- [20] D. Knežević, "Analiza parametara termovizijskih uređaja za detekciju ciljeva u vazduhu", Magistarska teza, ETF Univerziteta u Beogradu, (2001)
- [21] K. Seyrafi, S.A. Hovanessian, "Introduction to Electro – Optical Imaging and Targeting Systems", Artech House Optoelectronic Library, (1993)
- [22] V.P. Vavilov, D.D. Burleigh, "Review of pulsed thermal NDT: Physical principles, theory and data processing", NDT&E International, 73, 28-52, (2015)
- [23] A. Redjimi, N. Jovanović, D. Knežević, Lj. Tomić, "Numerical estimation of the noise equivalent temperature difference of the third generation thermal imagers", Proceedings of 1 st IcETran, Vrnjačka Banja, Serbia, MOI3.1.1-4, (2014)
- [24] D. Knežević, "Karakterizacija termovizijskih sistema sa panoramskim prikazom za nadzor pokretnih objekata", Doktorska disertacija, ETF Univerziteta u Beogradu, (2021)

ABSTRACT

Passive dynamic monitoring and recognition of selected objects in a defined space is a complex multidisciplinary problem, which is especially pronounced in specific applications. Depending on the requirements of the observed scene in relation to the selected parameters - such as the size and dynamics of the object of interest, the time required for data processing and evaluation, etc., on the one hand, and on the other hand, the selected monitoring system - there are more

solutions to this problem. For operation in real space-time conditions, the implementation of passive infrared devices and systems for remote detection and monitoring is the most suitable. Models based on both logical and set operations over defined neighborhood areas within both the current and several subsequent frames successfully solve the false alarm problem even in the case of low-contrast objects in the observed scene. The application of the model requires spatial and temporal pre-filtering of the input data vector before the determination procedure of the objects coordinates within the network sensor system composed of multipleIRST systems. Pre-filtering is necessary, especially, if detection of multiple targets in the search area is required. Although this application was developed

for processing infrared image frames, the developed simulation numerical model can also be used for processing images in the visible part of the optical spectrum.

Extracting objects from the scene in an asymmetric surveillance system

Dragan Knežević, Petar Matavulj, Zoran Nikolić