

УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ
ЕЛЕКТРОНСКИ ФАКУЛТЕТ

Дејан С Николић

**НАДГЛЕДАЊЕ ЦИЉЕВА ИЗА ЛИНИЈЕ
ХОРИЗОНТА ИНТЕГРАЦИЈОМ
ПОДАТАКА СА ОТН РАДАРА И ДРУГИХ
МОРНАРИЧКИХ СЕНЗОРА**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Ниш, 2020.



УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ
ЕЛЕКТРОНСКИ ФАКУЛТЕТ



Дејан С Николић

**НАДГЛЕДАЊЕ ЦИЉЕВА ИЗА ЛИНИЈЕ
ХОРИЗОНТА ИНТЕГРАЦИЈОМ
ПОДАТАКА СА ОТН РАДАРА И ДРУГИХ
МОРНАРИЧКИХ СЕНЗОРА**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Ниш, 2020.



UNIVERSITY OF NIŠ
ELECTRONIC FACULTY



Dejan S Nikolic

**MARITIME BEYOND THE HORIZON
TARGET TRACKING BY INTEGRATION
OF DATA RECEIVED FROM OTH RADARS
WITH OTHER NAVAL SENSORS**

DOCTORAL DISSERTATION

Nis, 2020.

Подаци о докторској дисертацији

Ментор: Зоран Станковић, ванредни професор

Наслов: Надгледање циљева иза линије хоризонта интеграцијом података са ОТН радара и других морнаричких сензора

Резиме: Предмет истраживања ове дисертације је интеграција података добијених од сензора који осматрају морску површину иза линије хоризонта. Примарна сензорска мрежа је састављена од ОТН (Over the Horizon) радара, док је секундарни извор података AIS систем (Automated Information system), како сателитски тако и земаљски. Интеграцијом свих прикупљених података формира се јединствена оперативна слика са циљем контроле поморског саобраћаја на отвореном мору. Акцент је на контроли Ексклузивне Економске Зоне ради повећања безбедности пловидбе, очувања природних ресурса и спречавања нелегалних радњи. Са циљем да се проблем интеграције реши на ефикасан начин предложена су и имплементирана два нова алгорита за интеграцију података. У дисертацији је прво представљен алгоритам за ефикасну фузију података са 2 или више ОТН радара. Затим је представљен алгоритам за ефикасну интеграцију ОТН радарских трагова и осталих морнаричких сензора пре свега AIS система. За оба алгорита су приказани резултати њихове примене у реалном надгледању саобраћаја у Гвинејском заливу. На крају ове дисертације предложена је архитектура хибридног емпиријско–неуронског модела за процену броја лажних циљева проузрокованих снажним метеоролошким поремећајима, па и метео-цунамијима и редукцију лажних аларма у ОТН сензорској мрежи. Архитектура овог модела заснована је вештачким неуронским мрежама PNN (Probabilistic Neural Network) класе.

Научна област: Електротехничко и рачунарско инжењерство
Научна дисциплина: Радиолокација

Кључне речи: Радар, Краткоталасни радар, Захоризонтни радар, радарско праћење, AIS, фузија података, морнарички системи

УДК: 621.396.965.8:656.61.052.4/.053]:004.8.032.26(043.3)

CERIF класификација: Т 181 Даљинско опажање

Тип лиценце
Креативне заједнице: **CC BY-NC-SA**

Data on Doctoral Dissertation

| | |
|--------------------------------|---|
| Doctoral Supervisor: | Zoran Stankovic, associate professor |
| Title: | Maritime beyond the horizon target tracking by integration of data received from OTH radars with other naval sensors |
| Abstract: | <p>The subject of this dissertation's research is the integration of data obtained from sensors that monitor the sea surface beyond the line of horizon. The primary sensor network is composed of OTH (Over the Horizon) radars, while the secondary data source is the AIS system (Automated Information System), both satellite and terrestrial. With the integration of all collected data, a unique operational picture is formed in order to control maritime traffic on the high seas. The emphasis is on the control of the Exclusive Economic Zone in order to increase the safety of navigation, preserve natural resources and prevent illegal activities. In order to solve the integration problem in an efficient way, two new algorithms for data integration have been proposed and implemented. The dissertation first presents an algorithm for efficient data fusion within network consisting of 2 or more OTH radars. Then, an algorithm for efficient integration of OTH radar tracks and other naval sensors, primarily AIS systems, was presented. For both algorithms, the results obtained through exploitation in real working environment (the Gulf of Guinea) are presented. At the end of this dissertation, the architecture of a hybrid empirical-neural model is proposed to estimate the number of false targets caused by the strong atmospheric disturbances, including even meteo-tsunamis, and to reduce false alarms in the OTH sensor network. The architecture of this model is based on the PNN (Probabilistic Neural Network).</p> |
| Scientific Field: | Electronic engineering and computer science |
| Scientific Discipline: | Radiolocation |
| Key Words: | Radar; HFSW radar; OTH radar; radar tracking; data fusion; AIS; marine systems |
| UDC: | 621.396.965.8:656.61.052.4/.053]:004.8.032.26(043.3) |
| CERIF Classification: | T 181 Remote sensing |
| Creative Commons License Type: | CC BY-NC-SA |

*Посвећено мојој супрузи Тањи
и нашој деци Стефану и Мили,
као и мојим родитељима
Ангелини и Србиславу.*

Списак слика

| | |
|--|----|
| Слика 2.1. Губици приликом простирања површинског таласа у два смера (од радара до циља и назад) преко морске површине ($\epsilon=80$, $\sigma=4,10$ S/m)..... | 15 |
| Слика 2.2. Процена шума у Гвинејском Заливу за радну фреквенцију радара од 6.8 MHz | 16 |
| Слика 2.3. Ниво шума измерен у лабораторији а) измерене вредности, б)поставка мерења | 17 |
| Слика 2.4. Bonn Express | 20 |
| Слика 2.5. Модел који ће бити коришћен током симулације | 20 |
| Слика 2.6. Дијаграм радарске површине пловила | 21 |
| Слика 2.7. Вероватноћа детекције у функцији SNR – а и вероватноће лажног аларма .. | 25 |
| Слика 2.8. Блок дијаграм пријемних канала..... | 27 |
| Слика 2.9. Дигитална обрада сигнала | 28 |
| Слика 2.10. Облик сигнала након обраде по даљини | 29 |
| Слика 2.11. RD мапа..... | 29 |
| Слика 2.12. Приказ детектованих циљева на радарском екрану | 31 |
| Слика 2.13. Изглед инсталације предајног дела ОТН радара | 32 |
| Слика 2.14. Изглед инсталације предајног дела ОТН радара након удара олује..... | 33 |
| Слика 2.15. Неочекиван извор шума | 36 |
| Слика 2.16. Подручје покривено сензорском мрежом | 37 |
| Слика 3.1. Алгоритам за фузију података са више ОТН радара..... | 40 |
| Слика 3.2. Корак 2. алгоритма за фузију података са више ОТН радара..... | 41 |
| Слика 3.3. Приказ чисте ситуације током праћења пловила | 47 |
| Слика 3.4. Приказ ситуације када се јавља ново ажурирање..... | 48 |
| Слика 3.5. Фузија удаљених и нестабилних ОТН радарских трагова..... | 49 |
| Слика 3.6. Датотека извештаја (Log file)..... | 51 |
| Слика 3.7. Целодневни извештај о процесу фузије | 52 |
| Слика 3.7. Годишња статистика процеса фузије..... | 52 |
| Слика 3.8. Алгоритам за интеграцију фузионисаних трагова и AIS података..... | 55 |
| Слика 3.9. Корак 2. алгоритма за интеграцију фузионисаних трагова и AIS података .. | 56 |
| Слика 3.10. Приказ чисте ситуације током процеса фузије | 60 |
| Слика 3.11. Приказ фузије података у колико пловило маневрише | 61 |
| Слика 3.12. Решавање сложене ситуације – приказани су само МРФТ подаци | 62 |
| Слика 3.13. Решавање сложене ситуације – пловило F_41274 | 63 |
| Слика 3.14. Значајно кашњење AIS података..... | 64 |
| Слика 3.15. Вишеструки AIS подаци унутар радијуса области асоцијације једног МРФТ – а | 66 |
| Слика 3.16. Целодневни извештај о процесу интеграције | 67 |
| Слика 3.17. Целодневни извештај о процесу интеграције | 68 |
| Слика 3.18. Годишња статистика интеграционог процеса..... | 69 |
| Слика 4.1. RD мапа у условима мирног мора..... | 71 |
| Слика 4.2. Детекцијске могућности ОТН радара у условима мирног мора | 72 |
| Слика 4.3. Исечак из листинга долазног фолдера у командном центру..... | 73 |
| Слика 4.4. Невреме над делом зоне осматрања ОТН радарске мреже | 74 |
| Слика 4.5. RD мапа у условима када на отвореном мору дува јак ветар..... | 75 |
| Слика 4.6. Детекцијске могућности ОТН радара у условима када у зони осматрања | 76 |
| дува јак ветар | 76 |

| | |
|--|-----|
| Слика 4.7. Исечак из листинга долазног фолдера у комнадном центру..... | 77 |
| Слика 4.8. Невреме над ОТН радарским положајима које делимично захвата и зону осматрања..... | 78 |
| Слика 4.9. RD мапа у условима када је невреме присутно на ОТН радарским положајима, а које делимично захвата и зону осматрања..... | 79 |
| Слика 4.10. Детекцијске могућности ОТН радара у условима када је невреме присутно на ОТН радарским положајима, а које делимично захвата и зону осматрања | 80 |
| Слика 4.11. Исечак из листинга долазног фолдера у комнадном центру..... | 81 |
| Слика 4.12. Пример лажних трагова проузрокованих метео – цунамијем..... | 86 |
| Слика 4.13. Приказ промене температуре атмосфере, брзине удара ветра као и броја лажних ОТН циљева добијене мерењима током 25. априла 2018. год. | 87 |
| Слика 4.14. Приказ промене температуре атмосфере, брзине удара ветра као и броја лажних ОТН циљева добијене мерењима током 10. октобра 2018. год. | 88 |
| Слика 4.15. Приказ промене температуре атмосфере, брзине удара ветра као и броја лажних ОТН циљева добијене мерењима током 30. јануара 2019. год. | 88 |
| Слика 4.16. Приказ промене температуре атмосфере, брзине удара ветра као и броја лажних ОТН циљева добијене мерењима током 9. фебруара 2019. год. | 89 |
| Слика 4.17. Архитектура хибридног емпиријско-неуронског модела за редукацију лажних аларма | 91 |
| Слика 4.18. Архитектура BLC_AFM модула..... | 93 |
| Слика 4.19. PNN архитектура | 94 |
| Слика 4.20. Архитектура алгорита за ажурирање листе ОТН циљева које треба избрисати из система у режиму рада који обрађује појаву метео-цунамија..... | 100 |
| Слика 4.21. Поређење излаза PNN_BLC неуронске мреже (s) (PNN мрежа без SF корекционог блока) и излаза BLC подмодула (BLC) (PNN мрежа са корекционим блоком) са референтним (тачним) вредностима добијено симулацијом на тест скупу чији узорци припадају скупу мерених резултата који се нису користили у току обуке (T ₁ - Дан 1)..... | 104 |
| Слика 4.22. Поређење излаза PNN_BLC неуронске мреже (s) (PNN мрежа без SF корекционог блока) и излаза BLC подмодула (BLC) (PNN мрежа са корекционим блоком) са референтним (тачним) вредностима добијено симулацијом на тест скупу чији узорци припадају скупу мерених резултата који су се користили у току обуке (T ₃ - Дан 3)..... | 106 |
| Слика 4.23. Изглед жељеног (референтног) окидачког сигнала (TRS) који је био коришћен у току тестирања PNN_AFM неуронске мреже генерисан на основу вредности температуре ваздуха и удара ветра које су мерене током дана 1..... | 108 |
| Слика 4.24. Изглед жељеног (референтног) окидачког сигнала (TRS) који је био коришћен у току обуке PNN_AFM неуронске мреже генерисан на основу вредности температуре ваздуха и удара ветра које су мерене током дана 2. | 108 |
| Слика 4.25. Изглед жељеног (референтног) окидачког сигнала (TRS) који је био коришћен у току обуке PNN_AFM неуронске мреже генерисан на основу вредности температуре ваздуха и удара ветра које су мерене током дана 3. | 109 |
| Слика 4.26. Изглед жељеног (референтног) окидачког сигнала (TRS) који је био коришћен у току обуке PNN_AFM неуронске мреже генерисан на основу вредности температуре ваздуха и удара ветра које су мерене током дана 4. | 109 |
| Слика 4.27. Поређење излаза PNN_AFM неуронске мреже (TRS) са референтним окидачким сигналом добијено симулацијом на тест скупу чији се узорци нису користили у току обуке мреже (Tdif ₁ – Дан1) | 112 |

| | |
|--|-----|
| Слика 4.28. Поређење излаза PNN_AFM неуронске мреже (TRS) са референтним окидачким сигналом добијено симулацијом на тест скупу чији су се узорци користили у обуци мреже (Tdif ₃ – Дан3) | 112 |
| Слика 4.29. Приказ временске промене AFM сигнала и броја лажних ОТН циљева (BLC) у дану 1 добијен симулацијом VLC_AFM модула на тест скупу T ₁ – Дан1 чији се узорци нису користили у процесу обуке неуронских мрежа овог модула, заједно са временском променом температуре ваздуха и удара ветра добијене мерењима у дану 1. | 114 |
| Слика 4.30. Приказ временске промене AFM сигнала и броја лажних ОТН циљева (BLC) у дану 3 добијен симулацијом VLC_AFM модула на тест скупу T ₃ – Дан3 чији су се узорци користили у процесу обуке неуронских мрежа овог модула, заједно са временском променом температуре ваздуха и удара ветра добијене мерењима у дану 3. | 114 |
| Слика А.2. Атенуација површинског таласа фреквенције 5 MHz услед простирања преко немирног мора | 127 |
| Слика А.3. Атенуација површинског таласа фреквенције 20 MHz услед простирања преко немирног мора | 128 |
| Слика Б.1. Блок шема ОТН радара | 129 |

Списак скраћеница

| Скраћеница | Значење |
|-----------------|---|
| AIS | Automatic Identification System |
| AFM | Активациона Функција Модула |
| А / Д конвертор | Аналогно / Дигитални конвертор |
| BER | Bit Error Rate |
| BLC | Брисање Лажних Циљева |
| БРТ | Бруто Регистарска Тона |
| CFAR | Constant False Alarm Ratio |
| ДДС | Директни Дигитални Синтетизатор |
| ЕЕЗ | Ексклузивна Економска Зона |
| ЕМ | Електро Магнетни |
| ЕУ | Европска Унија |
| FMCW | Frequency Modulated Continuous Wave |
| HF band | High Frequency Band (3 – 30 MHz) |
| IALA | The International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities |
| ID | Identification |
| ITU | International Telecommunication Union |
| JPDA | Joint Probabilistic Data Association |
| LAIS | Land AIS |
| MMSE | Minimal Mean Square Error |
| MMSI | Maritime Mobile Service Identity |
| МРФТ | Мулти – (ОТН) Радарски Фузионисани Трагови |

| | |
|--------|------------------------------|
| OTH | Over the Horizon |
| PNN | Probabilistic Neural Network |
| RD | Range – Doppler |
| RDA | Range – Doppler – Azimuth |
| S Band | S band (2 – 4 GHz) |
| S | Satellite AIS |
| SF | Smoothing function |
| SNR | Signal to Noise Ratio |
| TBD | Track Before Detect |
| UKF | Unscented Kalman Filtering |
| УН | Уједињене Нације |
| UPS | Uninterruptible Power Supply |
| X Band | X band (8 – 12 GHz) |

Садржај

| | |
|---|-----------|
| Списак слика | 1 |
| Списак скраћеница | 4 |
| Садржај | 6 |
| Увод | 8 |
| 1.1 Организација дисертације | 11 |
| Архитектура и принцип рада ОТН радара, сензорске мреже и опис околине у којој је ситем инсталиран | 12 |
| 2.1 ОТН радар | 12 |
| 2.1.1. Генерални опис ОТН радара | 12 |
| 2.1.1.1. ОТН Радарска једначина | 13 |
| 2.1.1.2. ОТН радарска површина циља у HF опсегу | 18 |
| 2.1.1.3. Могућности ОТН радара у детекцији циљева | 22 |
| 2.1.2. Опис ОТН радара коришћеног приликом израде ове докторске дисертације | 26 |
| 2.2 Специфичности Гвинејског залива | 32 |
| 2.2.1. Природни изазови | 32 |
| 2.2.2. Изазови проузроковани (не)деловањем људи | 33 |
| 2.3 Организација сензорске мреже у Гвинејском заливу | 36 |
| Алгоритми за фузију података са више ОТН радара и интеграцију тих података са осталим морнаричким сензорима | 38 |
| 3.1. Алгоритам за фузију података са више ОТН радара | 38 |
| 3.1.1. Опис корака алгоритма за фузију података са више ОТН радара | 39 |
| 3.1.2. Процес моделирања трага | 42 |
| 3.1.3. Експериментални резултати | 46 |
| 3.1.4. Статистичка анализа | 50 |
| 3.2. Алгоритам за интеграцију ОТН радарских трагова и осталих морнаричких сензора | 53 |
| 3.2.1. Опис корака алгоритма за интеграцију ОТН радарских трагова и осталих морнаричких сензора | 54 |
| 3.2.2. Експериментални резултати | 58 |
| 3.2.3. Статистичка анализа | 66 |
| Анализа рада сензорске мреже у разним метео – условима и минимизација лажних аларма у присуству снажних олуја или чак метео цунамија у зони осматрања ОТН радара | 70 |
| 4.1. Анализа рада сензорске мреже у разним метео условима | 70 |
| 4.1.1. Анализа рада сензорске мреже у условима "Мирног мора" | 71 |
| 4.1.2. Анализа рада сензорске мреже у условима када на отвореном мору дува јак ветар, док је на положајима ОТН радара ведро | 74 |
| 4.1.3. Невреме (јака киша и ветар) на положајима ОТН радара, а које делимично захвата и зону осматрања | 77 |
| 4.2. Анализа рада сензорске мреже у условима јаким атмосферским поремећаја, па и метео – цунамија | 82 |
| 4.2.1. Појам метео – цунами | 83 |
| 4.2.2. Детекција (метео) цунамија помоћу ОТН радара | 84 |
| 4.2.3. Ефекат метео-цунамија на детекцију пловила | 85 |
| 4.3. Хибридни емпиријско–неуронски модел за редукцију лажних аларма | 86 |
| 4.3.1. Архитектура хибридног емпиријско–неуронског модел за редукцију лажних аларма | 91 |
| 4.3.2. BLC_AFM модул са вештачким неуронским мрежама | 92 |
| 4.3.2.1 PNN (Probabilistic Neural Network) | 94 |
| 4.3.2.2 AFM подмодул | 96 |
| 4.3.2.3 BLC подмодул | 98 |

| | |
|--|-------------------------------------|
| 4.3.3. Процес који врши праћење ОТН циљева и алгоритам за ажурирање листе циљева које треба избрисати из процеса праћења | 99 |
| 4.3.4. Резултати примене хибридног емпиријско–неуронског модел за редукцију лажних аларма | 102 |
| 4.3.4.1 Развој и тестирање VLC подмодула | 102 |
| 4.3.4.2 Развој и тестирање AFM подмодула | 107 |
| 4.3.4.3 Општи осврт на резултате примене хибридног емпиријско–неуронског модел за редукцију лажних аларма | 115 |
| 4.4. Упоредни приказ разматраних метео фактора, утицаја које имају на сензорску мрежу и одговарајућих решења..... | 116 |
| Закључак..... | 117 |
| ЛИТЕРАТУРА..... | 120 |
| Прилози | 126 |
| Прилог А: Пропагација површинског таласа преко морске површине..... | 126 |
| Прилог Б: Блок шема ОТН радара | 129 |
| Биографија аутора..... | 130 |
| Изјаве аутора | Error! Bookmark not defined. |

1

Увод

Последњих година организовани криминал у поморским областима практично је процветао, угрожавајући сигуран проток робе из Ексклузивних Економских Зона (ЕЕЗ) [1], али и живот учесника у поморском саобраћају. Из овог разлога све поморске нације полако бивају присиљене да у потпуности контролишу целу ЕЕЗ, а не само територијалне воде, као што је до скора била пракса. Шта више, у неким деловима света, ситуација је толико озбиљна да је била потребна интервенција од стране УН [2] и / или ЕУ [3], јер државе које имају јурисдикцију над тим водама због својих ограничених средстава нису биле у могућности да се изборе са растућим проблемом. Пошто су ЕЕЗ огромна водена просторства која се могу простирати стотинама хиљада квадратних километара, комплетно надгледање ЕЕЗ је веома сложен проблем чије решавање захтева ангажовање великих људских, хардверских и софтверских ресурса. Дакле, прво питање је како уопште надгледати целу ЕЕЗ?

На основу доступне литературе може се закључити да постоје само два начина за надгледање ЕЕЗ-а, посебно ако су примарни циљеви некооперативна пловила, тј. сва она пловила која не користе аутоматски идентификациони систем (енг. Automatic Identification System – AIS) [4], а по међународним прописима су обавезна да га користе. Први приступ користи оптичке и микроталасне сензоре на платформама као што су сателити и авиони, чиме се избегавају ограничења сензора, али се уводе ограничења платформе. Највећи ограничавајући фактор лежи у доступности података, јер ниједан авион не може константно бити у ваздуху током целе године и приликом свих временских услова, док сателити круже око Земље и и имају ограничено време боравака у зони интереса. Други приступ користи мрежу ОТН радара (енг. Over the Horizon Radar) [5] како би се осигурао стални надзор далеко иза хоризонта. Будући да је цена ОТН радарске мреже знатно мања од укупне цене наведених сензора и потребних платформи, а подаци су стално доступни током целе године, јасно је зашто ови радарски полако постају примарни сензори за поморски надзор на иза линије хоризонта.

Да би се формирала потпуна оперативна слика иза линије хоризонта, податке добијене са ОТН радарске мреже потребно је интегрисати са подацима добијеним од стране AIS система. Али пре него што се приступи интеграцији са AIS системом, подаци добијени са ОТН радарске мреже морају бити обрађени на одговарајући начин. Први корак у обради су алгоритми за праћење. Постоји више различитих типова алгоритама за праћење, који се користе у радарским системима [6-7]. Да би се добили подаци високе тачности и извршила потпуна фузија радарских података, морају се применити два битна алгоритма:

- алгоритам праћења на нивоу једног радара и
- мулти-радарски мулти-таргет алгоритам или другачије речено алгоритам за фузију података са више радара.

Радарска мрежа коришћена за израду ове дисертације састоји се од ОТН радара, односно, прецизније речено, од радара базираних на краткоталасним површинским таласима, те постоје и додатни изазови током дизајна алгоритама за праћење циљева [5], [8-13] који се пре свега односе на лошу резолуцију ових радара, што може проузроковати велике разлике детектованих позиција истог пловила у две сукцесивне детекције. Други проблем произилази из чињенице да ови радарски покривају јако велико морско пространство (неретко и више од 100000 квадратних километара) те се на том просторству може очекивати више различитих метеоролошких зона, које за последицу имају различите нивое таласа. Ово проузрокује различите губитке у простирању ЕМ таласа а самим тим и флукуацију детекција на крајевима зоне осматрања. Конкретан радар који представља основу радарске мреже описан је у [14], док је алгоритам за праћење пловила на нивоу једног радара описан у [15-16]. Овде треба имати на уму да је цео систем инсталиран у Гвинејском заливу, где постоје и додатне отежавајуће околности које ће детаљно бити описане у глави 2.

Примарни циљ истраживања у докторској дисертацији је формирање система који се заснива на ОТН радарској мрежи способног да интегрише податке добијене од више разнородних и истородних сензора који служе за осматрање морске површине иза линије хоризонта. На овај начин биће формирана јединствена оперативна слика на отвореном мору. Главне компоненте поменутог система су два нова алгоритма за интеграцију података са сензора која су представљена у дисертацији. Први алгоритам се бави

проблемом фузије циљева са 2 или више ОТН радара, док се други алгоритам бави интеграцијом трагова добијених са мреже ОТН радара са доступним AIS подацима.

Ефикасност ОТН радарске мреже у откривању и праћењу циљева зависи од метеоролошких услова и физичког стања како мора, тако и атмосфере изнад морске области која се надгледа ОТН радарима. Нагле промене вредности физичких параметара атмосфере доводе до појаве снажних олуја, па и метео-цунамија [17-18]. Ове природне појаве проузрокују настанак карактеристичних таласа на мору који представљају нове расејачко-рефлексионе површине за ЕМ талас израчен ОТН радаром које се од стране радара препознају као нови циљеви. Ови нови циљеви представљају лажне циљеве и стога их је потребно елиминисати из система да не би изазивали лажну узбуну. У ту сврху, као додатни циљ ове дисертације, развијен је и предложен хибридни емпиријско–неуронски модел за процену броја лажних циљева проузрокованих снажним олујама, па и метео-цунамијем и редукцију лажних аларма које ти циљеви проузрокују у ОТН сензорској мрежи. Јасно је да временски тренутак појаве, трајање и број лажних циљева зависи од промене параметара атмосфере. Ова зависност је веома сложена и још недовољно позната. Због тога су за моделовање ове зависности и реализацију горе поменог модела у дисертацији коришћене вештачке неуронске мреже [19-21] PNN (Probabilistic Neural Network) класе [22].

Као главне резултате дисертације, који представљају њен оригинални научни допринос, могу се издвојити следећи:

- Организација сензорске мреже која минимизује зависност од спољних фактора, као што су разни метео фактори, проблеми са конекцијом удаљених положаја и централног система, нередовност (велико кашњење) AIS података итд.
- Развој и имплементација алгоритма за фузију циљева са 2 или више ОТН радара;
- Развој и имплементација алгоритма за интеграцију трагова добијених са мреже ОТН (Over The Horizon) радара са доступним AIS подацима;
- Анализа успешности предложеног приступа у разним метео условима
- Развој и предлог архитектуре хибридног емпиријско–неуронског модела за редукцију лажних аларма у присуству снажних олуја или чак метео цунамија у зони осматрања ОТН радара.

1.1 Организација дисертације

Дисертација се састоји од пет поглаваља. Прво поглавље представља увод у саму дисертацију. У другом поглављу дат је опис околине у којој је цео систем постављен. С обзиром да је реалан систем инсталиран у Гвинејском заливу, ово поглавље ће се фокусирати на специфичности у том делу света, како природне тако и оне проузроковане људским деловањем. У овом поглављу је дат и детаљан опис ОТН радара који представља основу сензорске мреже иза линије хоризонта. На крају поглавља дата је организација сензорске мреже која минимизује зависност од спољних фактора.

Тема трећег поглавља су алгоритми који се користе за фузију података са ОТН радара, као и њихову даљу интеграцију са подацима добијеним са осталих моранаричких сензора.

Четврто поглавље се бави анализом рада сензорске мреже у разним метеоролошким условима. Такође, овде је представљена и архитектура хибридног емпиријско–неуронског модела за процену броја лажних циљева и редукцију лажних аларма у ОТН сензорској мрежи у присуству снажних олуја или чак метео цунамија у зони осматрања ОТН радара. Архитектура овог модела заснована је на вештачким неуронским мрежама PNN (Probabilistic Neural Network) класе.

У закључку (пето поглавље) се сумирају научни доприноси ове дисертације и предлажу даљи правци развоја.

2

Архитектура и принцип рада ОТН радара, сензорске мреже и опис околине у којој је ситем инсталиран

У првом делу овог поглавља дат је опис ОТН радара који представља основу сензорске мреже иза линије хоризонта. У другом делу поглавља представљена је околина у којој је цео систем инсталиран, односно Гвинејски залив. На крају поглавља дата је организација сензорске мреже која минимизује зависност од спољних фактора, као што су разни метео фактори, као и од проблема са конекцијом удаљених положаја и централног система.

2.1 ОТН радар

2.1.1. Генерални опис ОТН радара

Детекција тачкастих циљева на даљинама од више стотина километара па све до више хиљада километара може се постићи радарима који раде у краткоталасном фреквенцијском опсегу (од 3 до 30 MHz). Овако велики домет се добија коришћењем пропагације електромагнетног таласа кроз јоносферске слојеве атмосфере. Са друге стране постоји и ограничење у употреби оваквог вида пропагације, а које се огледа у величини слепе зоне испред самог радара, која се може простирати чак и неколико стотина километара. Радари који користе јоносферску рефлексију се називају ОТН – В радари [5] и налазе своју примену пре свега у тзв. системима за стратешко рано упозоравање. Њихова употреба у циљу откривања пловила унутар ексклузивне економске зоне је пре свега ограничена слепом зоном самог радара. Мада постоје примери како се ови радари могу употребити у сврху надгледања ЕЕЗ [5], то ипак захтева јако велику територију земље корисника система, како би се заобишао проблем слепе зоне. Са друге стране уколико је надгледање ЕЕЗ основни циљ сензорске мреже, примена радара базираних на површинским таласима представља ефектно решење, које нема

слепој зони те не захтева велику унутрашњу територију земље корисника система. С обзиром да је основни домен проблема којим се бави ова дисертације надгледање ЕЕЗ ради повећања безбедности пловидбе, очувања природних ресурса и спречавања нелегалних радњи, на даље ћемо се бавити искључиво радарима базираним на површинским таласима. У даљем тексту под појмом ОТН радар подразумева се краткоталасни радар базиран на површинским таласима.

2.1.1.1. ОТН Радарска једначина

ОТН радарска једначина преузета из [5], представљена је изразом (1):

$$SNR = \frac{S}{N} = \frac{P_t \cdot G_t \cdot G_r \cdot \sigma \cdot T \cdot 4\pi}{N_0 \cdot L_s \cdot L_p^2 \cdot \lambda^2} \quad (1)$$

где су:

- SNR – однос сигнала и шума на улазу у детектор радара, ($SNR = S/N$, S – снага сигнала на улазу у детектор, N – снага шума на улазу у детектор)
- P_t – средња предајна снага у ватима,
- G_t – добитак предајне антене
- G_r – добитак пријемне антене у жељеном правцу,
- σ – ефективна радарска површина циља у квадратним метрима,
- T – ефективно време интеграције у секундама,
- N_0 – укупана густина шума (екстерна и интерна) у ватима по херцу,
- L_s – губици унутар самог радарског система,
- L_p – губици услед простирања површинског таласа у једном смеру од радара до мете и
- λ – таласна дужина у метрима.

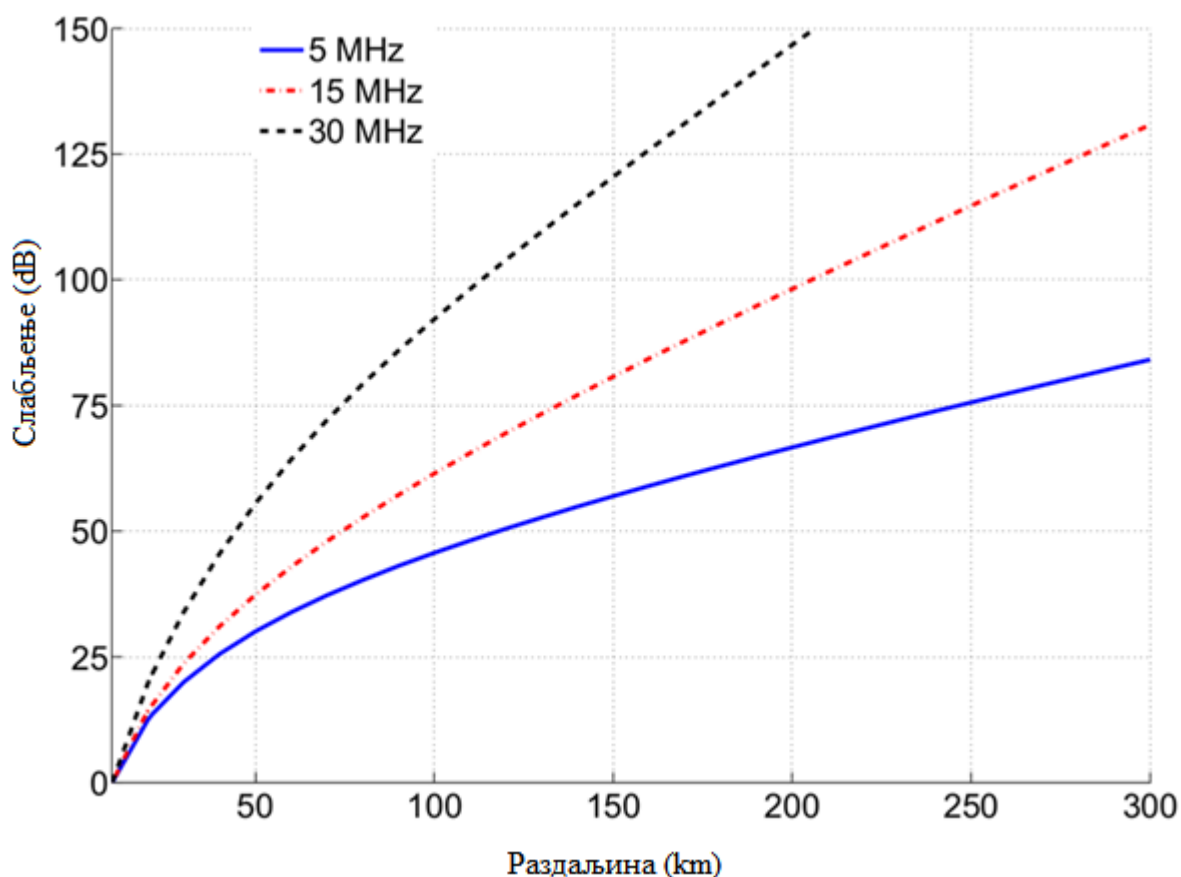
Као што се из једначине (1) може видети ОТН радарска једначина је врло слична уопштеној радарској једначини [23]. Треба напоменути да фактор L_p који код микроталасних радара представља губитке просторног таласа [24] услед простирања кроз слободан простор, овде представља губитке простирања вертикално поларизованог површинског таласа који се могу израчунати помоћу једначине (2):

$$L_p = \left(\frac{4\pi \cdot d}{\lambda \cdot A} \right)^2 \quad (2)$$

У једначини (2) d представља раздаљину између радара и циља, док величина A представља фактор слабљења који зависи од:

- електричних карактеристика површине преко које се електромагнетни талас простире, што практично значи да зависи од салинитета мора,
- хрпавости површине преко које се ЕМ талас простире, тј. практично речено висине таласа на мору и
- таласне дужине ЕМ таласа.

Сви претходно описани параметри прилично веродостојно су интегрисани у софтверски пакет GRWAVE [25], те је на основу досадашњих искустава [26], његова употреба више него пожељна. Треба само имати у виду да се све једначине, графици, па и сам програм односе на пропацију у једном смеру. Како се пропација таласа у случају ОТН радара врши у два смера (од радара до циља и назад), слабљење је потребно рачунати два пута, што је и представљено L_p^2 чланом у једначини (1) и приказано на слици 2.1.

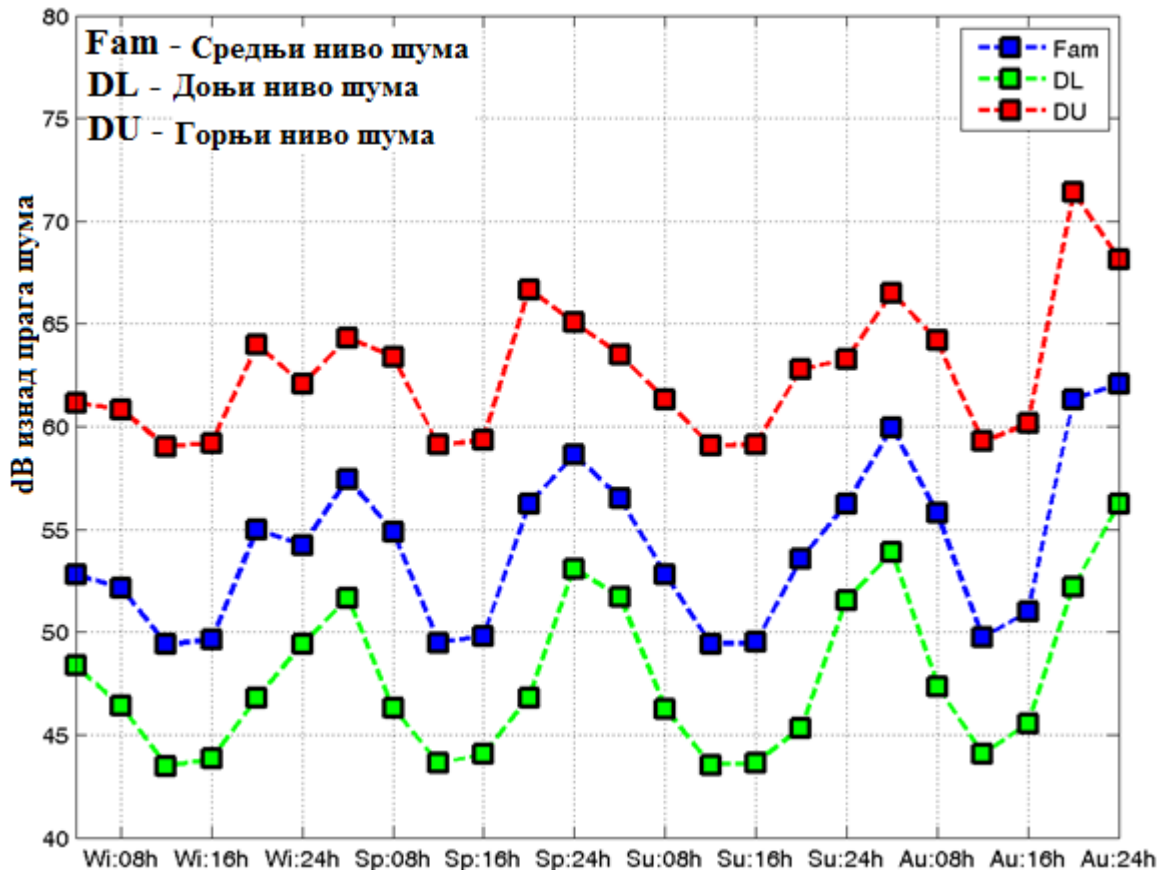


Слика 2.1. Губици приликом простирања површинског таласа у два смера (од радара до циља и назад) преко морске површине ($\epsilon = 80$, $\sigma = 4,10 \text{ S/m}$)

Са друге стране постоје извештаји Светског Телекомуникационг Удружења (енг. International Telecommunication Union - ITU) који директно приказују ниво електричног поља на раздаљинама до 10000 километара приликом простирања преко различитих водених површина [27]. Примера ради, у Прилогу А дати су очекивани нивои електричног поља приликом простирања површинског таласа преко мора просечног салинитета. Овде треба имати у виду да вредности које се добијају помоћу једначине (2) као и вредности за ниво електричног поља које су приказане у Прилогу А важе под претпоставком да је море мирно, тј. да нема већих таласа. Како отворено море може имати прилично велике таласе, потребно је консултовати [28] да би се добила што прецизнија полазна основа о перформансама ОТН радара у реалном окружењу. У прилогу А дат је такође и пример утицаја висине морских таласа на простирање преко мора.

Поред губитака проузрокованих пропагацијом површинског таласа, лимитирајући фактор је и екстерни шум, који понекад може бити крајње непредвидљив,

али је ипак прилично веродостојно представљен у [29]. Наравно референца [29] служи као полазна основа приликом пројектовања ОТН радара да би се проценио ниво, а самим тим и утицај екстерног шума у HF опсегу у одређеном делу света. Та процена се може добити и употребом софтверског пакета GHNoise [30]. Приликом процене шума треба имати у виду да се ниво шума мења током дана, пре свега због промена у јоносфери, као и да је зависан од годишњег доба. Пример процене шума у Гвинејском заливу коришћењем софтвера GHNoise приказан је на слици 2.2.



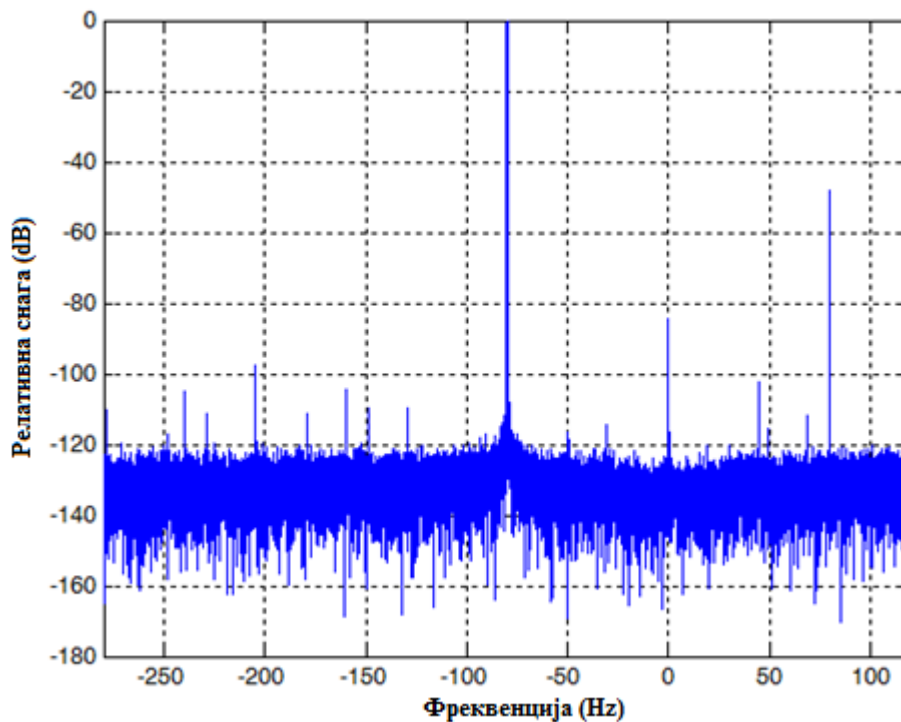
Слика 2.2. Процена шума у Гвинејском Заливу за радну фреквенцију радара од 6.8 MHz
(Ознаке на x оси: Wi - Зима, Sp - Пролеће, Su - Лето и Au – Јесен, 08h, 16h и 24h представљају време дана; вредности на y оси представљају снагу шума изнад прага шума (- 174 dBm / Hz))

Дакле, према сл. 2.2. просечни ниво шума у Гвинејском заливу варира између – 125 и – 112 dBm/Hz. Треба имати на уму да екстремне вредности могу бити између – 135 и – 103 dBm/Hz, те се за тренутну вредност може очекивати било која вредност унутар тих екстрема.

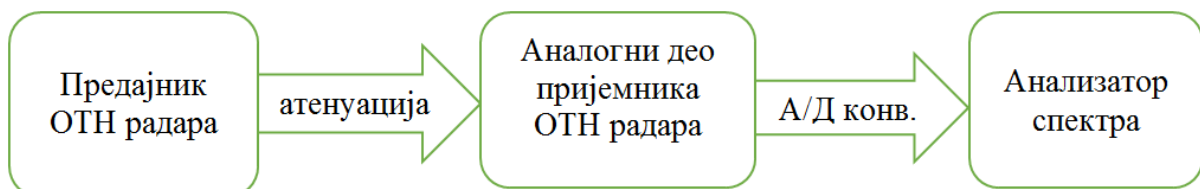
Наравно ово је само процена, која и не мора увек бити потпуно тачна, пре свега због урбаног развоја земаља у том делу света, као и непостојања јасних регулатива о

коришћењу спектра нити тела које се бави њиховим спровођењем у пракси. О овоме ће више бити речи у глави 2.2.2.

Поред екстерног шума, постоји и интерни шум који такође утиче на перформансе система, а најбоље је директно га измерити у лабораторији. На сл. 2.3.а. приказан је ниво шума након обраде сигнала који је добијен мерењем у лабораторији. Поставка се састојала од радарског предајника, потребног броја атенуатора (који симулирају трасу сигнала) и радарског пријемника са сигнал процесором (пошто он има уграђен анализатор спектра) и приказана је на слици 2.3.б. Овде је дата само поставка мерења, како би се јасно видела разлика између унутрашњег и спољашњег шума, док ће детаљан опис коришћеног ОТН радара бити дат у глави 2.1.2.



а) Измерене вредности



б) Поставка мерења

Слика 2.3. Ниво шума измерен у лабораторији а) измерене вредности, б) поставка мерења

Појашњење Сликe 2.3.:

- Референтни ниво је – 45 dBm,
- Резолуција мерења је 0,0075 Hz.

Да би се упоредили нивои шума са слика 2.2. и 2.3. потребно је прерачунати ниво шума приказаног на сл. 2.3. у dBm/Hz. Са сл. 2.3. може се видети да је ниво шума 120 dB испод нивоа референтног сигнала, односно износи – 165 dBm / 0,0075 Hz, што износи – 144 dBm / Hz. Упоређењем ове вредности са вредностима приказаних на сл. 2.2. јасно је да су перформансе система ограничене екстерним а не интерним шумом.

2.1.1.2. ОТН радарска површина циља у HF опсегу

Површина ефективног радарског пресека циља (енгл. Radar cross-section), у даљем тексту радарска површина, зависи од следећих параметара: геометријског облика циља, његових димензија, релативног положаја циља у односу на инцидентни електромагнетни талас, као и електричних својства мете (или прецизније, из односа између електричних параметара (ϵ , μ) материјала од којих су сачињени циљеви и електричних својства материје која испуњава окружење мете).

Приликом развоја бојних бродова посебна пажња се обраћа на радарску површину пловила, јер пловило које има мању радарску површину има мању могућност да се детектује радаром. С друге стране, код конструкције комерцијалних пловила тежи се да се радарска површина што је могуће више повећа, како би пловило било лакше уочено. У сваком случају углавном се разматра радарска површина пловила у S и X опсезима, јер радари који се користе за надгледање пловила на морском пространству углавном раде у ова два опсега, сходно IALA V – 128 препоруци [31].

Пловило, као радарска мета у HF опсегу, има одређене специфичности у односу на S и X опсеге, од којих је најважнија његова димензија у односу на таласну дужину инцидентног таласа. У HF опсегу ЕМ таласне дужине се крећу од 10м до 100м. Упоређивањем ових дужина са дужинама самих пловила види се да дужина пловила може бити од неколико делова таласне дужине до неколико таласних дужина. Из овога је јасно да се радарска површина пловила налази у резонантном, а у неким случајевима

чак и у рејлијевом опсегу, а не у оптичком опсегу као што је то уобичајено у микроталасним опсезима.

За процену радарске површине пловила постоји емпиријска формула (3), која је изведена на основу мерења у микроталасним фреквентнијским опсезима [32-33].

$$\sigma = 52 \cdot f^{\frac{1}{2}} \cdot D^{\frac{3}{2}} \quad (3)$$

где су:

σ – радарска површина пловила,

f – фреквенција инцидентног таласа у MHz и

D – депласман [34] брода у хиљадама бруто-регистарских тона (БРТ).

На жалост, ова формула се може користити само за грубу процену радарске површине у HF опсегу. Иако је било експерименталних мерења пловила разних величина [35-36], до сада није формулисана емпиријска формула којом би се на једноставан начин могла израчунати радарска површина пловила у HF опсегу. Наравно, увек је могуће извршити више мерења за типове пловила која су од интереса у конкретној примени ОТН радара и на тај начин се може утврдити њихова радарска површина. Како је овај приступ непрактичан и врло скуп, процену радарске површине пловила оптимално је радити у софтверима за електромагнетну симулацију, као што су NEC [37], FEKO [38], и WIPL – D [39].

Најбитнији параметри за анализу радарске површине пловила су његов депласман, дужина, ширина, а за радарску површину у HF опсегу и висина стуба. Али то није довољно јер одразна површина није иста када је пловило потпуно напуњено или када је празно. Танкер напуњен нафтом је добрим делом утонуо у море, тако да му је и радарска површина смањена. Са друге стране контејнери које карго бродови превозе направљени су од метала те врло добро рефлектују EM таласе, чиме значајно доприносе укупној радарској површини пловила. Примера ради, овде ће бити дата анализа радарске површине типичног карго брода, односно пловила класе Bonn Express [40]. Депласман овог пловила је 46.000 БРТ, капацитета је 2803 контејнерских јединица, док су димензије пловила:

- дужина 236 м,
- ширина 32 м,

- висина 28 м и
- висина стуба 30 м.

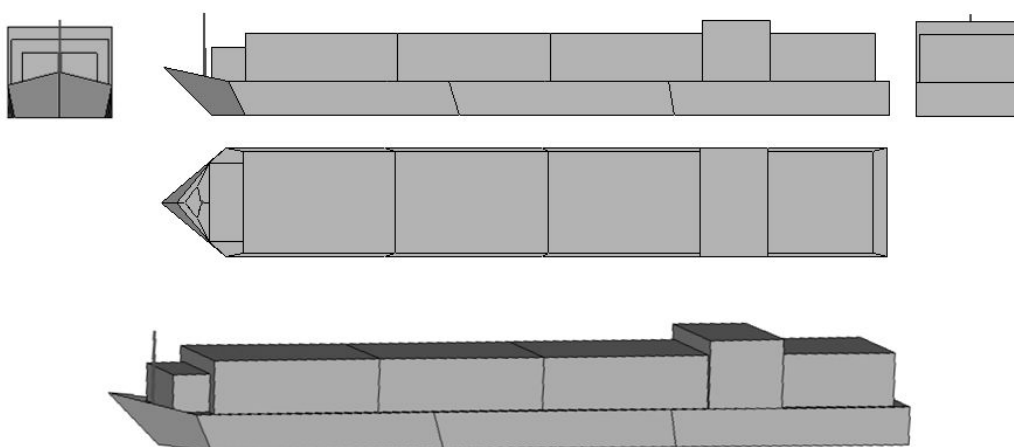
Само пловило приказано је на слици 2.4.



Слика 2.4. Bonn Express

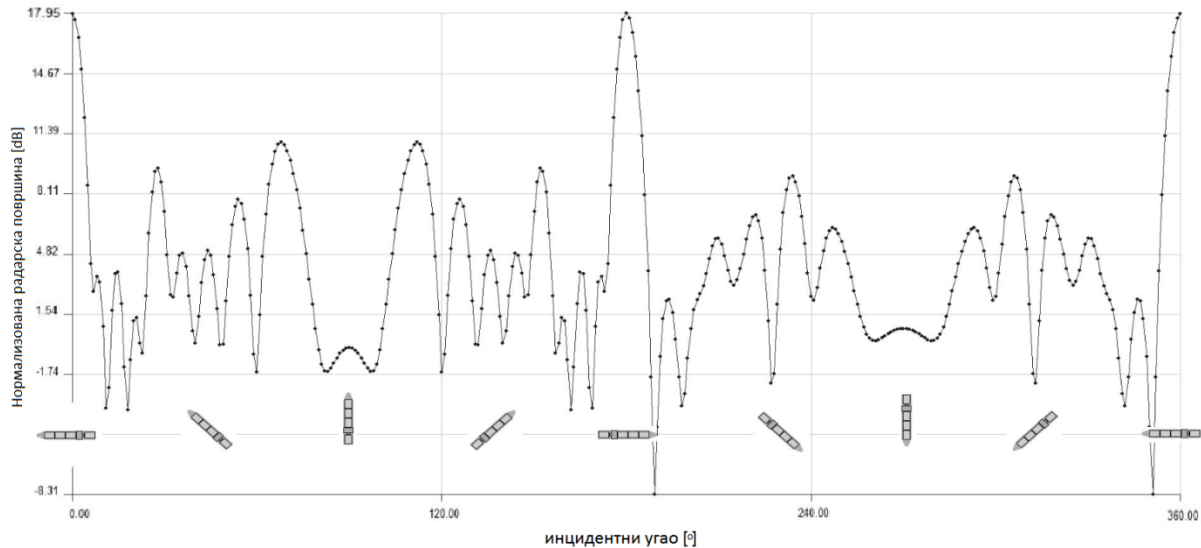
Анализа радарске површине биће урађена за фреквенцију од 7 MHz, односно таласну дужину (λ) од 42,83 метара. Дакле, имајући то у виду, дужина модела је 5,5 λ , ширина 0,75 λ и висина 0,65 λ . На основу ових података и слике 2.4. направљен је поједностављени модел који ће бити коришћен током саме симулације у програмском пакету WIPL – D [39].

Модел има 47 тачака, 36 површина и 527 непознатих и приказан је на слици 2.5.



Слика 2.5. Модел који ће бити коришћен током симулације

Дијаграм радарске површине пловила је симулиран у хоризонталној равни у 361. тачки (Слика 2.6.). Вредности приказане на слици 2.6. нормализоване су према λ^2 , дакле радарска површина на слици је изражена у σ / λ^2 [dB].



Слика 2.6. Дијаграм радарске површине пловила [41]

У циљу добијања некалиране вредности радарске површине, изражене у dBm^2 , потребно је вредности приказане на слици 2.6. применити у формули (4).

$$\sigma[\text{dBm}^2] = \frac{\sigma}{\lambda^2} + 20\log_{10}(\lambda[m]) \quad (4)$$

Решавањем претходне једначине за максималну вредност која је добијена током процеса симулације, добија се некалирана вредност радарске површине пловила од $50,57 \text{ dBm}^2$. Ова вредност представља максималну вредност одразне површине симулираног модела. У зависности од релативног угла између пловила и ОТН радара, радарска површина пловила може значајно варирати. Примера ради минимална вредност радарске површине је нижа за $26,26 \text{ dB}$ од максималне вредности. Подаци добијени у претходној симулацији представљају добру основу за даљу анализу перформанси детекције реалних пловила помоћу ОТН радара.

2.1.1.3. Могућности ОТН радара у детекцији циљева

Да би смо одредили детекцијске могућности ОТН радара, неопходно је одредити однос сигнал-шум на различитим дометима, тако што се (2) замени у (1), чиме се добија једначина (5).

$$SNR = \frac{P_t \cdot G_t \cdot G_r \cdot \sigma \cdot T \cdot 4\pi}{N_0 \cdot L_s \cdot \left(\frac{4\pi \cdot R}{\lambda \cdot A}\right)^4 \cdot \lambda^2} \quad (5)$$

Даље треба одредити домет на коме SNR износи 0 dB, тако што се једначина (5) изједначи са 1. и тиме се добије једначина (6).

$$SNR_{R_0} = \frac{P_t \cdot G_t \cdot G_r \cdot \sigma \cdot T \cdot 4\pi}{N_0 \cdot L_s \cdot \left(\frac{4\pi \cdot R_0}{\lambda \cdot A}\right)^4 \cdot \lambda^2} = 1 \quad (6)$$

где су:

- R_0 – јединични домет, тј. домет на коме однос сигнал-шум износи 1 (0 dB) и
- SNR_{R_0} – Однос сигнал-шум на јединичном домету (износи 1)

Дељењем једначине (5) са једначином (6) добија се (7):

$$\frac{SNR}{SNR_{R_0}} = \left(\frac{R_0}{R}\right)^4 \quad (7)$$

Дакле, ако је R_0 познат, тј. већ одређен, могуће је одредити SNR на било ком растојању, на следећи начин (8):

$$SNR[dB] = 40 \log\left(\frac{R_0}{R}\right) \quad (8)$$

Као и код свих других радара, детекцијске могућности ОТН радара се изражавају кроз:

- вероватноћу правилне детекције (P_d), која представља вероватноћу да ће циљ који реално постоји у зони осматрања радара бити детектован и
- вероватноћу лажног аларма (P_{LA}), која представља вероватноћу да ће радар током обраде погрешно интерпретирати шум или клатер као циљ и на тај начин детектовати непостојећи циљ.

Одређивање просечног односа сигнала и шума (SNR) који је потребан да би се постигла жељена вероватноћа детекције (P_d), као и вероватноћа лажног аларма (P_{LA}), за одређени циљни модел флукуације циља, представља основни проблем у радиолокацији. Одлуку да ли циљ постоји или не радар доноси на основу упоређивања сигнала са тзв. нивоом прага. Маркум [42] је извео једначине које дефинишу потребан ниво односа сигнал-шум да би се остварила жељена вероватноћа детекције за фиксан ниво прага, под претпоставкама да статистички модел шума одговара белом Гаусовом шуму, док је ниво рефлектоване енергије од циља константан. Сверлинг [43-44] је проширио Маркумов модел да би укључио одређене типове флукуација нивоа сигнала са мета, а касније је и тај модел проширен другим моделима флукуација [45-47]. Како се од мета на отвореном мору очекује да буду флукуирајуће, јер су пловила под константним утицајем, таласа, струја и ветра, овде ће флукуирајући модели бити представљени. У свим овим моделима пловило се не разматра како једна јединствена мета већ као скуп индивидуелних рефлектора који инцидентни сигнал рефлектују независно један од другог. Због овог ефекта долази до интерференције сигнала рефлектованих од различитих рефлектора, што за последицу има пад интезитета рефлектованог таласа. Овај ефекат се назива губитак услед флукуације мете (енг. fluctuation loss) и пресдавља статистичку величину која се описује помоћу функција расподела случајне промењиве, те се самим тим и радарска површина циља се, такође, представља помоћу функција расподеле случајне промењиве.

Данас су најчешће у употреби Сверлингови модели, који се базирају на χ^2 расподели и у општем облику се могу изразити помоћу једначине (9).

$$f(\sigma) = \frac{m^m \sigma^{m-1}}{\Gamma(m) \sigma_{sr}^m} e^{-\frac{m\sigma}{\sigma_{sr}}} \quad (9)$$

где су:

$f(\sigma)$ – Густина расподеле радарске површине циља,

m – степен слободе расподеле / 2,

σ_{sr} – средња вредност одразне површине циља и

$\Gamma(m)$ – Гама функција дефинисана једначином (10).

$$\Gamma(m) = \int_0^{\infty} x^m e^{-x} dx \quad (10)$$

Треба напоменути да неки аутори дефинишу да χ^2 расподела има $2m$ степени слободе, те се могу наћи и једначине које у уместо m параметра имају $2m$ или чак $m/2$. Овде је одлучено да се користи само m .

Сверлинг 1 модел претпоставља да мета има два степена слободе, односно m је једнако 1. Најчешће овакви циљеви су сачињени од више независних приближно једнаких рефлектора. Нема пуно различитих реалних мета имају овакву дистрибуцију одразне површине, али овај модел је посебно користан за разматрање авиона, те се често може срести у пракси. Такође, у овом случају брзина циља је мала у поређењу са временом скенирања (трајање једног импулса, односно трајање једног интеграционог периода), те се циљ може сматрати стационарним. Другим речима, кретање циља се може приметити само од скенирања до скенирања, али не и током једног скенирања. У овом случају, (9) се своди на (11):

$$f(\sigma) = \frac{1}{\sigma_{sr}} e^{-\frac{\sigma}{\sigma_{sr}}} \quad (11)$$

Сверлинг 2 модел представља проширење Сверлинг 1 модела у коме се сматра да се ефективна одразна површина циља мења од импулса до импулса (код импулсних радара), односно од интеграционог периода до интеграционог периода (у случају радара са континуалним зрачењем). Сам модел се најчешће користи код нишанских радара, јер они констатно обасјавају мету, те је време скенирања практично бесконачно.

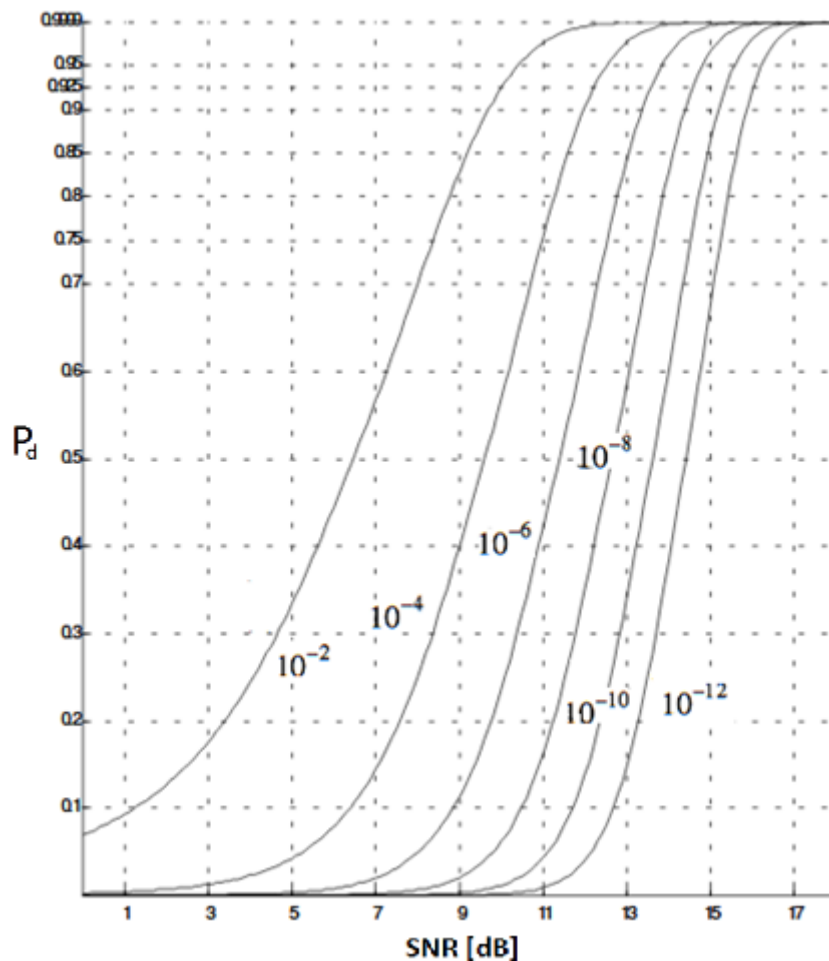
Сверлинг 3 модел претпоставља да мета флукутира у складу са χ^2 функцијом густине вероватноће са четири степена слободе, односно да је m једнако 2. Мета која одговара овом моделу се састоји од једне велике одразне површине и неколико мањих одразних површина. Типичан пример је хеликоптер, јер ротор увек производи јак константан одразни сигнал. Аналогно Сверлинг моделу 1, одразна површина се сматра константаном током једног скенирања. Функција расподеле густине вероватноће у овом случају своди се на облик дат у једначини (12).

$$f(\sigma) = \frac{4\sigma}{\sigma_{sr}^2} e^{-\frac{2\sigma}{\sigma_{sr}}} \quad (12)$$

Сверлинг модел 4 је сличан Сверлинг 3 моделу, али се сматра да одразна површина варира од импулса до импулса (интеграционог периода до интеграционог периода), а не од скенирања до скенирања.

Сверлинг 5 модел, које се такође још назива и Сверлинг 0 модел, претпоставља да мета има бесконачно много степени слободe. Тада се добија да мета заправо има константну одразну површину, те се модел мете своди на Маркумов модел.

У сваком случају финални резултат ових испитивања, из практичних разлога, је најбоље представити у виду графика, а не аналитичким једначинама. Пример детекцијских карактеристика радара у случају Маркумовог модела је дат на слици 2.7. Битно је напоменути, да поступци [31 – 36], па самим тим и график са слике 2.7. узимају у обзир ниво SNR – а током само једног интеграционог периода (у случају радара са континуалним зрачењем), односно ниво SNR – а добијеног из само једног импулса (у случају импулсних радара).



Слика 2.7. Вероватноћа детекције у функцији SNR – а и вероватноће лажног аларма [48]

Као што се са слике 2.7. може видети вероватноћа детекције расте са порастом SNR – а, што се могло и очекивати. Такође, да би се истовремено оствариле мање вероватноће лажног аларма потребан је при датој вероватноћи детекције још већи SNR. Наравно, ово

није могуће увек остварити, те је потребно пронаћи задовољавајући компромис, тј. у датим (реалним) условима, тј. расположивом SNR – у, одредити нивое детекције и лажног аларма како би се остварила оптимална употреба радара. Примера ради, уколико очекујемо да ће за дати тип циља, SNR (према једначини 1) бити 9 dB, праг детекције се може поставити тако да радар ради са вероватноћем детекције од 0,4 и вероватноћом лажног аларма од 10^{-4} . Са друге стране, уколико би смо прихватили да вероватноћа лажног аларма буде 10^{-2} , вероватноћа детекције би порасла на 0,85. Дакле, овде је у питању чист компромис, при чему је потребно одредити који параметар је битнији, вероватноћа лажног аларма или вероватноћа детекције, па се на основу тога и долази до перформанси радара као сензора.

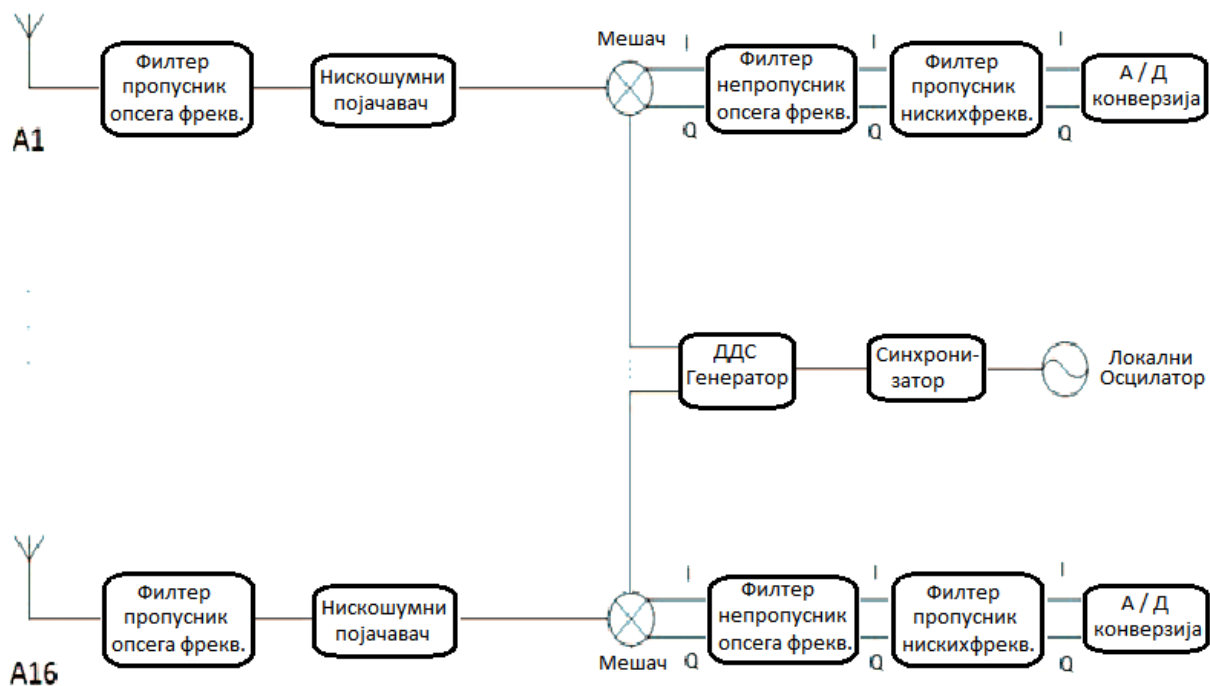
2.1.2. Опис ОТН радара коришћеног приликом израде ове докторске дисертације

Како је детаљан опис било ког ОТН радара веома комплексан и о томе је написано више чланака [14], [49-52] па и књига [5], овде ће бити приказан кратак опис рада коришћеног ОТН радара. Комерцијално име коришћеног ОТН радара је vHF – OTHR [14]. У даљем тексту под појмом ОТН радар подразумева се vHF – OTHR. Ради прегледности, блок шема ОТН радара је дата у Прилогу А.

Важно је напоменути да је коришћени ОТН радар свој рад заснива на принципима фреквенцијски модулисаних континуалних таласа (енг. frequency modulated continuous wave - FMCW), чији се опис рада може наћи [32], [53]. Као срце система овде се користи директни дигитални синтетизатор (ДДС) који генерише линеарно фреквентно модулисани сигнал. Овај сигнал се дели на 17 канала, један за предајник и 16 за канале пријемника. Предајни сигнал се појачава на жељени ниво помоћу појачавача снаге и прослеђује предајном антенском низу. Иако се највећи део сигнала одашиље према отвореном мору, део се ипак зрачи директно према пријемном низу, што је нежељен ефекат који омета пријем сигнала рефлектованог од отвореног мора. Важно је напоменути да су губици приликом простирања површинског таласа на било којем типу земљишта (L_{land}) много већи од губитака приликом простирања по површини мора (L_{sea}). Због овога је ехо враћен са мора доминантан на улазу пријемника. Сам ехо се претежно састоји од две компоненте, сигнала рефлектованог од пловила (који зависи од радарске површине циља) и сигнала који се рефлектује од таласа океана, такође познатог као

морски клатер. Поред директних и рефлектованих компоненти сигнала, на улазу пријемника присутан је и спољни шум који потиче како од природних (F_{na}) тако и од извора који су продукт људског деловања (F_{mm}). У неким случајевима може се појавити и трећа компонента на улазима пријемника која потиче од јоносферских сметњи. Ова сметња је резултат нежељеног простирања емитованог сигнала који се рефлектује назад до радара преко јоносфере.

Свака пријемна антена прима сигнал потпуно независно од осталих и предаје га у одвојени пријемник (сл. 2.8.).



Слика 2.8. Блок дијаграм пријемних канала.

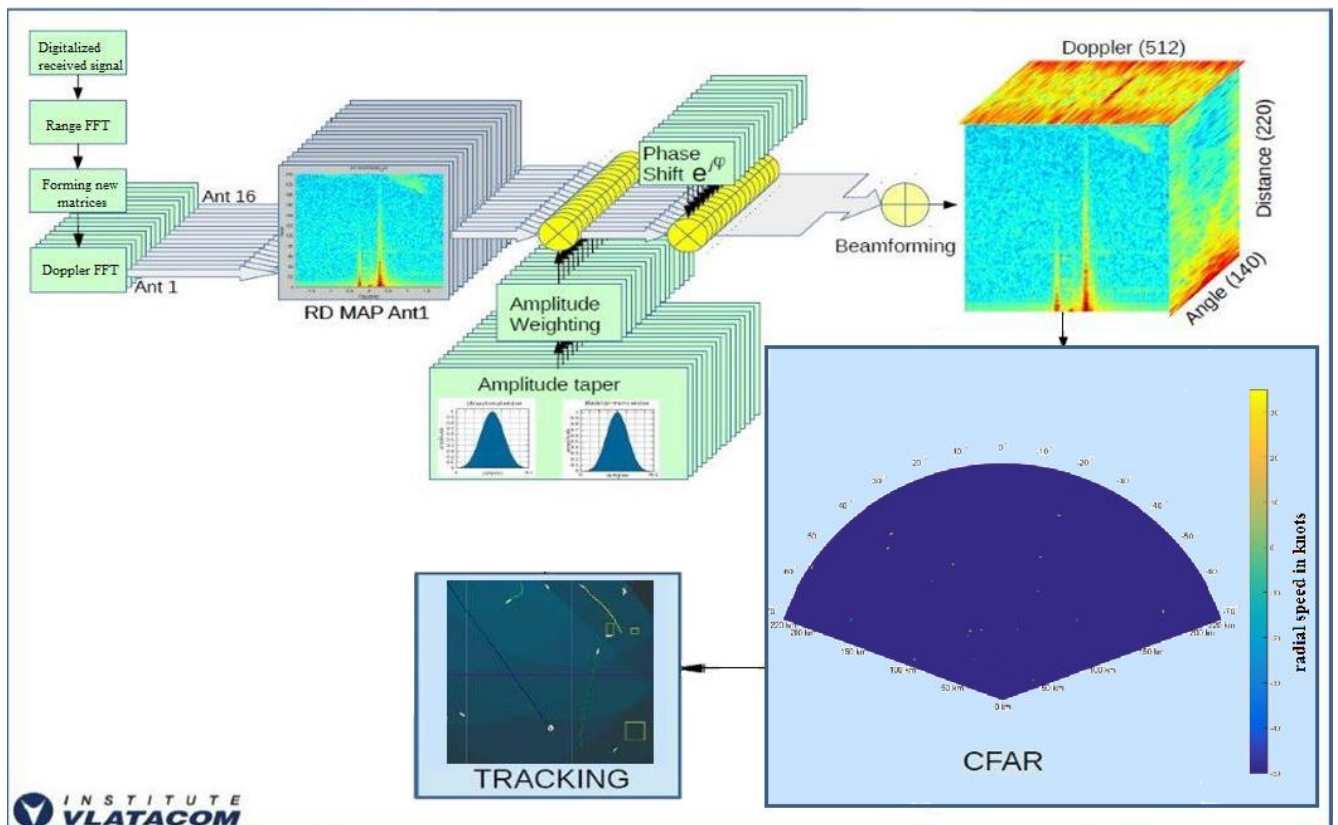
Са сваке од 16 антена (A1 - A16), сигнал се прво филтрира како би се сузбиле компоненте које су изван жељеног опсега, а затим се појачава до нивоа потребног за даљу обраду. Након овога се сигнал транслира у основни опсег и формирају се I и Q гране сигнала. Након тога, сигнал се филтрира филтром непропусника опсега са циљем да се сузбију компоненте близу 0 Hz, како би се смањио утицај цурења предајника. Важно је напоменути да ово филтрирање долази након што је примљени сигнал већ преведен у основни фреквенцијски опсег (eng. base band), тако да не утиче на стационарне циљеве који су удаљени од ОТН радара, већ само на блиске циљеве и цурење из предајника. Нископропусни филтер са граничном фреквенцијом прекида од 1 KHz користи се за

чишћење канала од виших хармоника који се углавном производе у мешачу. У завршној фази, сигнал се конвертује у дигитални облик помоћу 16 битног А / Д конвертора, након чега се прелази на дигиталну обраду сигнала.

Дигитална обрада сигнала се састоји од следећих корака:

1. Обрада по даљини (енг. Range Processing),
2. Доплер обрада (енг. Doppler Processing),
3. Дигитално формирање главног лоба антене (енг. Digital Beam Forming),
4. Смањење лажних аларма и детекција (енг. Constant False Alarm Ratio – CFAR) и
5. Праћење циљева (енг. Target Tracking)

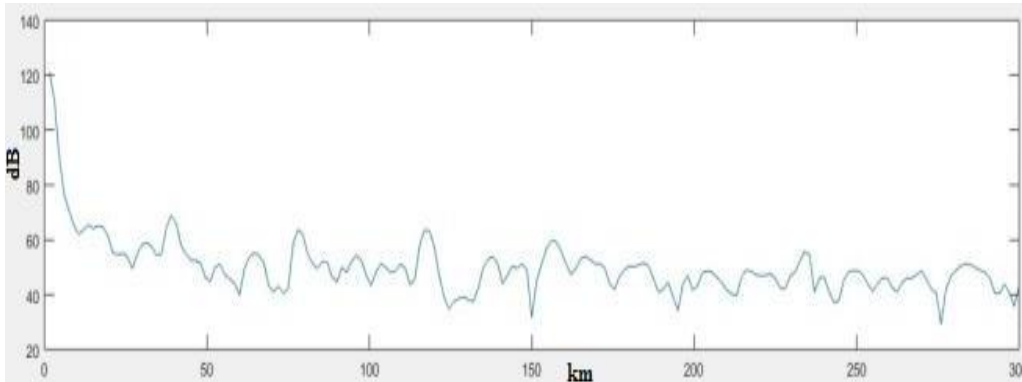
Сви ови кораци су приказани на слици 2.9.



Слика 2.9. Дигитална обрада сигнала

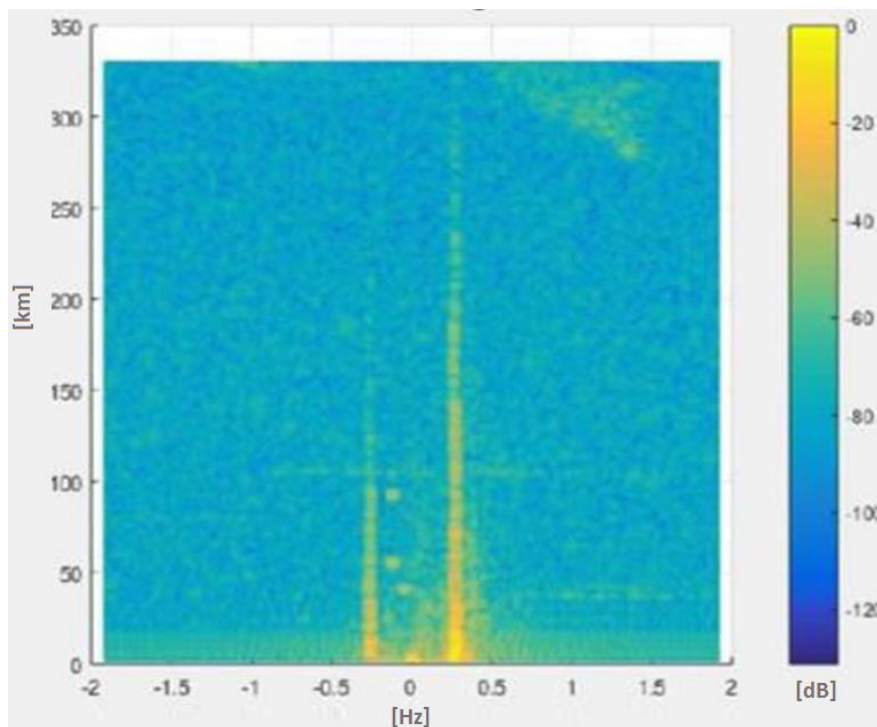
С обзиром да је дигитална обрада сигнала у коришћеном ОТН радару детаљно представљена у [14], [54], овде неће бити дат детаљан опис целог процеса, већ ће само бити представљени кораци током истог.

Први корак је тзв. обрада по даљини, током које се дигитализована комплексна обвојница пријемног сигнала преведена у основни опсег (0 до 1000 Hz) транслира из временског у фреквенцијски домен. Дигитална обрада сигнала почиње са брзом Фуријеовом трансформацијом дигитализованог пријемног сигнала. На овај начин пријемни сигнал се преобликује у ниво сигнала у функцији фреквенције (Сл. 2.10.).



Слика 2.10. Облик сигнала након обраде по даљини [14], [54]

Следећи корак је "Доплер обрада", чији циљ је формирање тзв. RD (енг. Range – Doppler) мапа, које представљају зависност нивоа сигнала од даљине и доплеровог помака истог. Ове мапе се формирају за сваки угао унутар зоне осматрања ОТН радара. Пример једне RD мапе је приказан на слици 2.11., а детаљан опис целог процеса се може наћи у [14], [54].



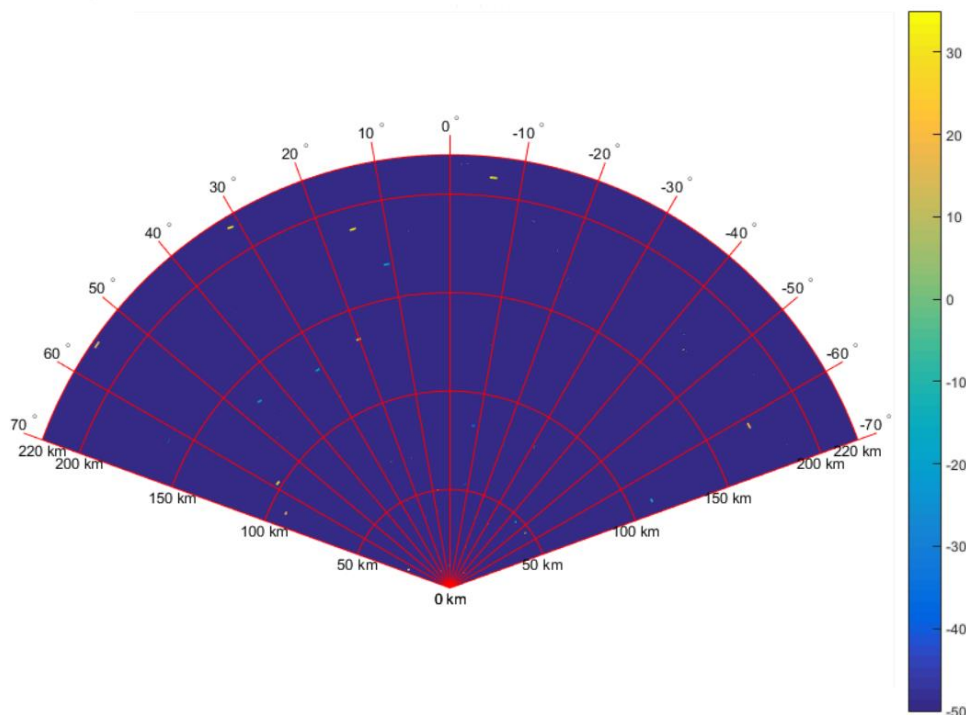
Слика 2.11. RD мапа

Такође, на слици 2.11. могу се уочити 2 вертикалне линије јаког интензитета. Ове линије се називају Брагове линије [5], јер представљају последицу тзв. Браговог расејања. Сам појам Брагово расејање представља појаву рефлексије ЕМ таласа од рефлектора чији просторни распоред одговара таласној дужини инцидентног ЕМ таласа. У случају осматрања морске површине, ово расејање је последица морских таласа чија таласна дужина одговара таласној дужини инцидентног (радарског) ЕМ таласа.

Након Доплер обраде следи дигитално формирање антенског снопа, које се заснива на класичном и добро познатом конвенционалном приступу који користи померач фазе [55-57]. Детаљан опис ове обраде је представљен у [14], [54], а крајњи њен продукт је формирање тзв. RDA (енг. Range – Doppler – Azimuth) коцке, које садрже податке о нивоу сигнала у свакој резолуционој ћелији. Иначе, координатне осе RDA коцке су даљина, азимут и доплеров помак, као што је приказано на слици 2.9.

Последњи корак у примарној радарској обради представља примена CFAR (енг. Constant False Alarm Rate) адаптивног алгоритма [32], [58-59]. Основна намена овог алгоритма је обезбеђивање што веће вероватноће правилне детекције, уз минимизацију вероватноће лажних аларма. Ова врста алгоритама се базира на статистичкој теорији телекомуникација [60-61] и донекле је сродна алгоритмима који се у телекомуникацијама користе за контролу грешака, тзв. BER (енг. Bit Error Rate) [62]. CFAR алгоритам који се користи у овом радару је описан у [14], [54]. Након CFAR обраде формирају се детекције циљева у зони осматрања радара.

Након комплетне горе описане обраде долази се до информација о детектованим циљевима који су просторно распоређени унутар зоне осматрања радара (у даљем тексту детекција), као што је то приказано на слици 2.12.



Слика 2.12. Приказ детектованих циљева на радарском екрану

Скала у којој су детекције приказане на слици 2.12 представља радијалну брзину самих детекција.

Овде се завршава примарна радарска обрада, након које се све детекције прослеђују алгоритму за праћење покретних циљева. Алгоритам који се користе у овом радару је базиран на JPDA – UKF (енг. Joint Probabilistic Data Association – Unscented Kalman Filtering) алгоритмима [6-7], [15]. Наравно постоје и многи други алгоритми који се користе за праћење покретних циљева, а више о њима се може наћи у [6-7]. Овде је битно напоменути да се приликом иницијализације трагова користи приступ тзв. "праћења пре детекције" (енг. Track Before Detect – TBD) како би се број лажних аларма додатно смањило. Више о TBD приступима може се наћи у [63-65].

На крају овог поглавља ваљало би сумирати карактеристике ОТН радара у детекцији циљева. Овде треба узети у обзир да су ово карактеристике радара као сензора, пре него што се алгоритми за праћење уопште употребе за даљу обраду добијених детекција.

- Резолуција по даљини је 1,5 км.
- Резолуција по углу варира од $0,3^\circ$ у центру зоне покривања (линија која је практично нормалана на пријемни низ) до $2,5^\circ$ на рубовима зоне покривања

(подручја која практично се налазе на $\pm 60^\circ$ од линије која је нормална на пријемни низ).

- Номинални домет је 80 наутичких миља (приближно 150 км) за класу пловила Bonn Express [40], током ноћи и стања мора до 3 [66]. За веће бродове и током дана, домет се може проширити чак и преко 125 наутичких миља (приближно 230 км). Са друге стране, угловна зона покривености је подешена на 120 степени, без обзира на величину брода или доба дана.

2.2 Специфичности Гвинејског залива

2.2.1. Природни изазови

Први изазов који доноси окружење је веома ниска обала мора, тек једва изнад нивоа мора. То само по себи доводи у опасност приобалне локације, а самим тим и ОТН радаре током плиме или олујног времена. Пример једне инсталације предајног дела ОТН радара може се видети на слици 2.13.



Слика 2.13. Изглед инсталације предајног дела ОТН радара

Даље, екваторијална подручја имају највеће стопе падавина у свету [67], што опет може довести до плавлјења локација на којима су инсталирани ОТН радари. Узимајући у обзир горе наведено, јасно је да се, због високих ризика, антене и њихови радијали не могу инсталирати на тло, као што је уобичајено. Пошто локације ОТН радара, заузимају

велике површине земљишта [14], било би непрактично и више него скупо подићи ниво тла саме локације на којој је ОТН радар инсталиран и тако елиминисати проблем поплава. Коначно, будући да се око 70% удара муње јавља у тропским подручјима [68], а четврталасни монополи [69-70] (који се користе као елементи антенског низа) се уздижу изнад пејзажа, без одговарајуће заштите од грома ОТН радар неће дуго опстати. Такође, од суштинског је значаја да заштита од удара муње мало утиче на дијаграм зрачења антенског низа. Дакле када се све сумира, природно окружење у коме систем ради јако је изазовно и захтевно и његов утицај на ОТН радар може бити јако неповољан. Примера ради на слици 2.14. је приказан предајни део једног положаја након олује.



Слика 2.14. Изглед инсталације предајног дела ОТН радара након удара олује

2.2.2. Изазови проузроковани (не)деловањем људи

Пошто ниједан радар (сензор), без обзира на то колико велику површину може покрити, често није довољан да обезбеди стални надзор ЕЕЗ-а, потребна је мрежа ОТН радара. Да би се формирала мрежа ОТН радара, веза са командним центрима, како за проток података тако и за даљинско управљање је обавезна. Обезбеђивање везе обично није

проблем у развијеним земљама, међутим, у земљама у развоју то може бити велики проблем, посебно у удаљеним подручјима. Пошто се велика већина земаља у Гвинејском заливу сматра земљама у развоју, или чак неразвијеним земљама, овде ћемо испитати начине за превазилажење проблема повезаности. Генерално, веза између удаљених локација и командних центара може се успоставити на следеће начине:

- Мобилном телефонијом,
- Микроталасним линковима и
- Сателитским везама

Мобилна телефонија представља оптимално решење, ако је доступно, јер није потребна додатна инфраструктура, па су трошкови имплементације дословно занемарљиви. Трошкови за пренос података су и даље присутни, али нису високи, јер ОТН радар на коме је заснована ова мрежа не захтева велике брзине преноса података (око 256 КВ / с је сасвим довољно) и укупан пренос података је око 5 GB месечно. У многим земљама оператори мобилне телефоније су под контролом државе, или чак у државном власништву, тако да је сигурност података на веома добром нивоу. Чак и у том случају, препоручује се енкрипција података. Нажалост, мобилна телефонија није увек доступна, посебно у удаљеним и једва насељеним подручјима, тако да су потребни други начини повезивања.

Микроталасне везе као средство повезивања између ОТН радара и командних центара су дефинитивно најпоузданије и најсигурније решење. Са друге стране, трошкови имплементације су веома високи, што ограничава примену овог решења. Почевши од изградње комуникационих торњева, преко трошкова опреме до трошкова снабдевања електричном енергијом и оперативних трошкова јасно је зашто се овај тип везе често избегава.

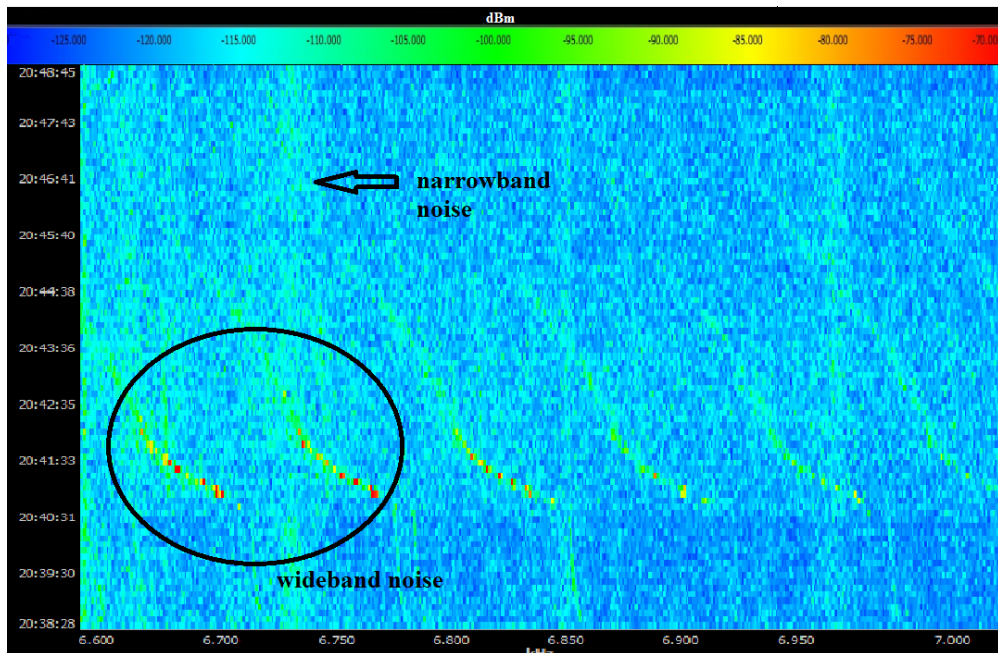
Као последња опција, може се користити сателитска веза. Иако може изгледати као веома добро решење, из разлога који следе даље у тексту то ипак није случај. Прва мана је питање безбедности, јер цела мрежа ОТН радара зависи од треће стране (провајдера везе). Може се рећи да се геостационарни сателит може лансирати као део пројекта поморског надзора и обезбедити потребне комуникације, али ова опција је мало вероватна због трошкова лансирања сателита. Друго питање је доступност података. ОТН радар као сензор је прилично отпоран на метеоролошке факторе и практично није под утицајем кише и облака, док су сателитске везе веома подложне временским

условима. Дакле, не препоручује се бирање сателитске везе као примарног средства везе, нажалост понекад је то једино одрживо решење, било због недостатка мобилне мреже или недостатка средстава за развој мреже микроталасних линкова.

Сви електрични уређаји захтевају напајање за обављање својих функција, те ни ОТН радар нису изузетак. Овај, наизглед, једноставан захтев може бити озбиљан проблем у земљама у развоју, посебно у удаљеним подручјима. У тим областима електрична мрежа је ретко доступна, а ако је расположива квалитет електричне енергије је упитан. Јасно је да су потребна друга средства за напајање. Обично, дизел генератори су једина одржива опција. Без обзира на то како се обезбеђује електрична енергија, системи за непрекидно напајање су обавезни и практично су кључна компонента система који се користи у удаљеним областима. Веома је пожељно резервисати и генераторе и системе за непрекидно напајање, како би ОТН радар имали константан извор електричне енергије.

Коначно, постоји и проблем шума у радном окружењу ОТН радара. Иако је то природни изазов једнако колико и изазов проузрокован од стране човека, овде ће фокус бити на изворима шума које је створио човек. Разлог за овакву одлуку лежи у чињеници да су природни нивои шума веома добро описани [29] и да су њихови ефекти на ОТН радар већ представљени у додатку А [71]. Са друге стране, извори шума које стварају људи се стално мењају, посебно у земљама у развоју. Због брзог развоја тих земаља, међународне препоруке о нивоима шума нису сасвим ажурне. Штавише, у тим земљама веома често не постоји јак регулаторни орган који контролише радио спектар. То доводи до ситуација у којима се појављује потпуно неочекиван извори шума у околини ОТН радара који ради у фреквентнијском опсегу ОТН радар. Ова ситуација је приказана на слици 2.15.

Као што се може видети на слици 2.15, појавио се снажан неочекивани извор шума (црвене и жуте тачке на спектрограму) који је трајао неколико минута и простирао се преко читавог спектра. Ове сметње не би требало мешати са сметњама које проузрокују радио уређаји који раде у истом опсегу као и ОТН радар (светло плаве вертикалне линије у спектрограму). Јасно је да појава горе поменутих сметњи може значајно ограничити домет ОТН радара.

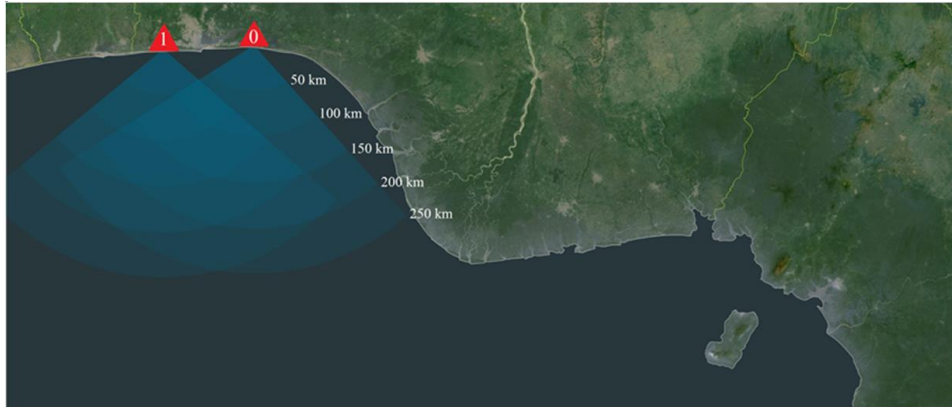


Слика 2.15. Неочекиван извор шума

2.3 Организација сензорске мреже у Гвинејском заливу

Сви изазови описани у поглављу 2.2. чине формирање јединствене оперативне слике на ОТН дистанцама у Гвинејском заливу прилично захтевним задатком. Да би се обезбедили потребни подаци формира се сензорска мрежа која је састављена од следећих сензора:

- Два ОТН радара са номиналним опсегом од 80 наутичких миља (око 150 км) за Бон експрес класу пловила [40] током ноћи и стања мора до 3 по Дагласовој скали [66]. За веће бродове током дана домет може бити и преко 125 наутичких миља (око 230 км). Без обзира на доба дана и величину пловила, угловна покривеност је 120 степени. Подручје покривености мреже ОТН радара тренутно покрива западни део Гвинејског залива и приказано је на слици 2.16,
- Шест приобалних локација опремљених са AIS [4] пријемницима и
- Подаци добијени од добављача SAIS-a, Orbcomm-a [72].



Слика 2.16. Подручје покривено сензорском мрежом

Да би се ефективно комбиновали подаци, сви подаци се шаљу на главни сервер података који се налази у командном и контролном центру. Сервер обавља три операције: праћење на једном радарском нивоу, фузију података добијених са више ОТН радара и интеграцију података добијених са SAIS и копнених AIS са подацима добијених са више ОТН радара. Иако формирање једног радарског трага на главном серверу података уместо у самом радару може изгледати субоптимално, то је најбоље решење у датој средини. Прво, пребацивање детекција са радара на главни сервер троши мање пропусног опсега од преноса читавих трагова. Друго, губитак пакета детекција утиче на цео систем далеко мање, него губитак целих трагова. Наиме, с обзиром да се целокупно праћење циљева извршава на једном месту, губитак пакета детекција не утиче у значајној мери на цео систем, јер ће се процес праћења наставити са предикцијама положаја трагова. При приспећу новог скупа података (детекција) трагови ће само бити зановљени. На овај начин нема прекида у праћењу пловила уколико дође до тренутног прекида података са радара или друких сензора. Сам губитак пакета може бити последица врсте везе којом су повезани удаљени положаји и командни центар. Другим речима, у Гвинејском заливу удаљени положаји су најчешће повезани помоћу сателитске везе, јер не постоји друга телекомуникациона инфраструктура. А како је наведено у глави 2.2. овај вид комуникације је врло подложен метео факторима, те се могу очекивати прекиди у вези током временских неприлика. С обзиром на број кишних дана [67], као и на број удара громава [68] у том делу света за очекивати је врло честе прекиде у комуникацији те је предложена шема организације сензорске мреже и оптимална за дато подручје.

3

Алгоритми за фузију података са више ОТН радара и интеграцију тих података са осталим морнарским сензорима

3.1. Алгоритам за фузију података са више ОТН радара

Да би се обезбедила стална и потпуна оперативна слика поморске ситуације у ЕЕЗ на удаљеностима иза хоризонта, мрежа ОТН радара полако постаје неопходност. Пошто сваки ОТН радар у мрежи, прати све мете које детектује независно од других радара у мрежи, биће ситуација када се формира више трагова за једну исту мету. Алгоритам предложен овде користи трагове добијене од појединачних ОТН радара који су већ обрађени од стране мулти-таргет алгоритама за праћење на нивоу једног ОТН радара и спаја их у јединствени ток података. На тај начин, подаци добијени са више ОТН радара који потичу од истог циља су фузионисани у један траг. Сам алгоритам користи приступ тежинских коефицијената како би евалуирао сваки податак добијен од ОТН радара, док се на основу принципа минимизације средње квадратне грешке (енг. Minimal Mean Square Error - MMSE) [60-61] значајно смањује непрецизност фузионисаног трага. Да би се потврдили подаци добијени обрадом у алгоритму, положај пловила израчунат алгоритмом је упоређен са позицијама добијених са земаљских AIS пријемника (енг. Land AIS – LAIS) са обалских локација, као и са сателитским AIS (енг. Satellite AIS – SAIS) подацима које је доставио добављач SAIS – а. Битно је напоменути да се цео сензорски систем налази у Гвинејском заливу, што уводи већи број потешкоћа за његову успешну имплементацију. Детаљан опис је дат у претходној глави, а овде треба издвојити нередовност и често упитност квалитета добијених AIS података. Како интеграција оваквих података није предмет овог алгоритма, овде се нећемо бавити AIS подацима лошег квалитета, већ ће се за верификацију алгоритма за фузију података са више ОТН радара користити AIS подаци чији је квалитет потврђен.

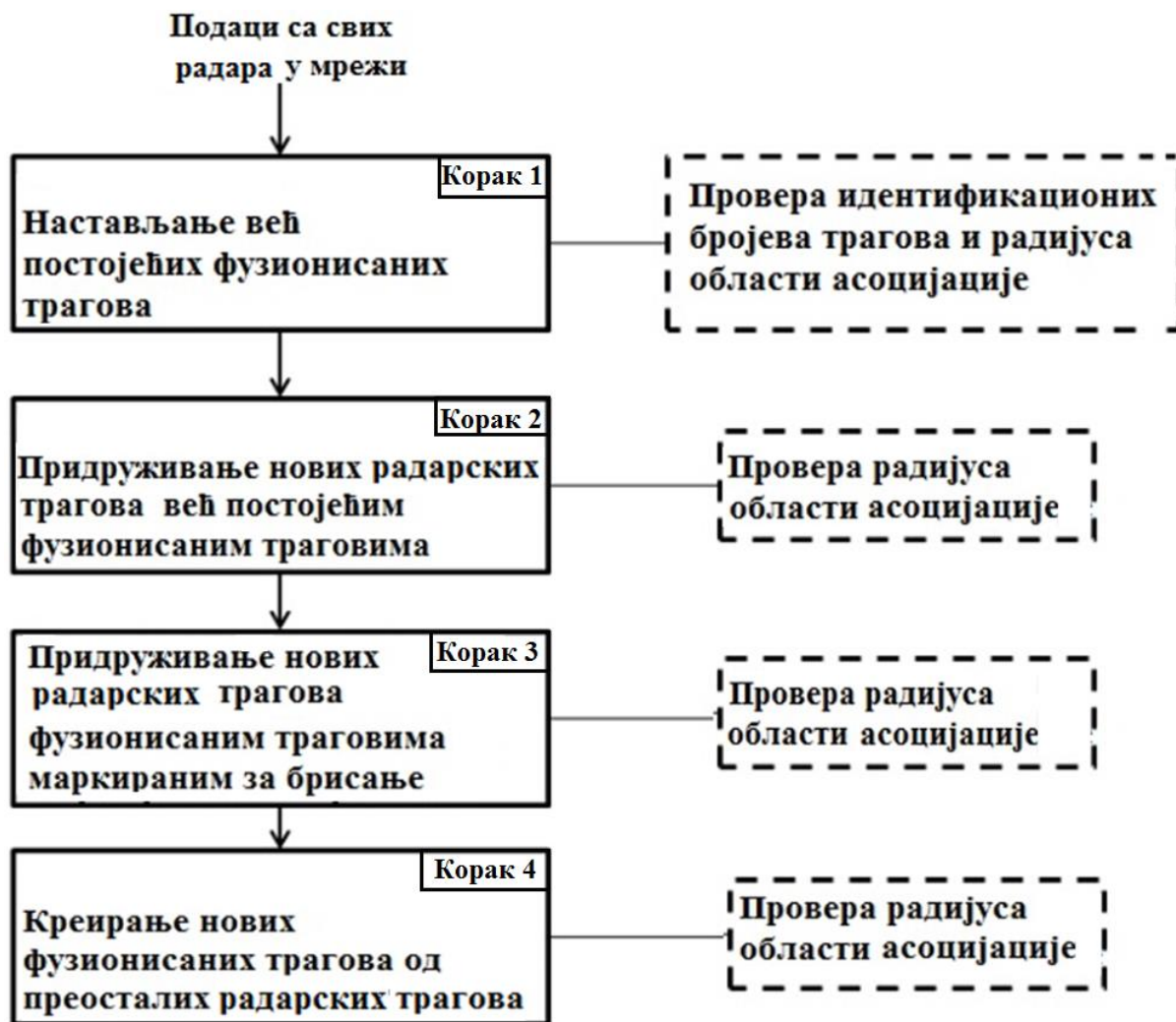
Подаци добијени од ОТН радара морају се обрадити алгоритмима за праћење на нивоу једног радара пре него што се могу комбиновати. Постоји више врста алгоритама за праћење на нивоу једног радара [6-7], а неки од њих су специјализовани за праћење мета

детектованих ОТН радарима [11-12]. Алгоритам који се користи у овим ОТН радарима и претходи алгоритму за фузију података са више ОТН радара описаном овде представљен је у [15].

3.1.1. Опис корака алгоритма за фузију података са више ОТН радара

Алгоритам за фузију података са више ОТН радара је итеративни процес који се покреће када се приме појединачни радарски трагови са било ког радара у мрежи. Сваки траг који формира било који радар у мрежи има свој идентификациони број (ID) који додељује радар који је формирао траг. Када се ID појави први пут, он се смешта у тзв. листу за чекање. Сви записи на листи чекања се не прослеђују на даљу обраду, док се не појаве N пута у M узастопних периода. Након што радарски траг пређе овај праг, он се помера из листе чекања у тзв. листу праћења.

Алгоритам за фузију података са више ОТН радара ствара такозване фузионисане трагове и ради са њима. Фузионисани траг се формира од најмање једног радарског трага. Након формирања фузионисаног трага алгоритам му додељује нови ID. Поред овог новог ID-а, сваки фузионисани траг одржава листу идентификатора, који представљају идентификације радарских трагова који се користе за његово формирање. Важно је напоменути да фузионисани траг не сме да садржи више од једног трага који потиче од једног ОТН радара. Главни кораци алгоритма за фузију података приказани су на слици 3.1.



Слика 3.1. Алгоритам за фузију података са више ОТН радара

Приликом корака 1, алгоритам покушава да ажурира већ формиране фузионисане трагове користећи ново пристигле радарске трагове. За сваки фузионисани траг алгоритам прво проверава да ли се изворни радарски трагови налазе међу новопристиглим подацима. Ако је ID усклађен, алгоритам проверава да ли је радарски траг још увек унутар радијуса области асоцијације фузионисаног трага. Овај радијус се израчунава на основу брзине брода, тако да он заправо представља област око фузионисаног трага у којој се очекује појава радарских трагова на основу којих се ће се вршити ажурирање фузионисаног трага. Када су оба услова задовољена, фузионисани траг се ажурира. Ако барем један од критеријума није задовољен, радарски траг се прослеђује на следећи корак алгоритма.

Током корака 2, обрађују се сви претходно нефузионисани радарски трагови који се сматрају потенцијално погодним за повезивање са постојећим фузионисаним траговима. Другим речима, сви нефузионисани радарски трагови се покушавају упарити са

постојећим фузионисаним траговима провером радијуса области асоцијације сваког фузионисаног трага. Овде и даље важи правило да један фузионисани траг може имати максимално један радарски траг који потиче са једног ОТН радара. Овај корак је шематски приказан на слици 3.2.



Слика 3.2. Корак 2. алгоритма за фузију података са више ОТН радара

Као што се са слике 3.2. може видети, прво се провери да ли нефузионисани траг упада у радијус области асоцијације већ постојећег фузионисаног трага. Уколико нефузионисани траг не упада ни у један радијус области асоцијације, он се прослеђује на даљу обраду. Уколико пак упада у неки радијус области асоцијације проверава се да ли тај фузионисани траг већ поседује траг са ОТН радара одакле потиче нефузионисани траг који се тренутно обрађује. Уколико фузионисани траг већ поседује траг са датог ОТН радара, нефузионисани траг који се тренутно испитује биће прослеђен на даљу обраду. Уколико пак фузионисани траг не поседује радарски траг са датог ОТН радара, нефузионисани траг који се тренутно испитује биће придружен фузионисаном трагу.

Ако фузионисани трагови изгубе све своје изворне радарске трагове, премештају се на тзв. листу предикованих трагова. Фузионисани траг остаје у овој листи К узастопних периода ажурирања, и назива се предиковани траг. Ако се у овом временском оквиру не

пронађе одговарајући извор (нови или стари), предиковани траг се проглашава непостојећим и алгоритам зауставља његову даљу обраду.

Корак 3. алгоритма ради на предикованим траговима на начин сличан претходном кораку алгоритма, тј. упоређују се сви трагови које се тренутно налазе у листи предикованих трагова и сви преостали нефузионисани радарски трагови. Ако се пронађе одговарајући радарски траг, предиковани траг се враћа на листу фузионисаних трагова. Сви преостали нефузионисани радарски трагови се прослеђују на финални корак алгоритма за фузију података са више ОТН радара.

Током последњег корака (корак 4.) алгоритма, од свих преосталих нефузионисаних радарских трагова формирају се нови фузионисани трагови. Важно је запамтити да фузионисани траг не може имати више од једног радарског трага који потиче са појединачног ОТН радара.

На крају, израчунавају се предикције будућих положаја фузионисаних трагова, као и одговарајући радијуси области асоцијације. Ове предикције, као и радијуси области асоцијација биће коришћене када стигне следећи скуп података са ОТН радара, како би се креирали, ажурирали или избрисали фузионисани трагови.

3.1.2. Процес моделирања трага

С обзиром на то да је наш циљ надгледање пловила дубоко унутар ЕЗ, најинтересантнија пловила су она која се користе за превоз робе, као што су разни типови теретних бродова и танкера. Типичне заједничке карактеристике ових пловила су сумиране доле:

- Већина ових пловила је веома велика и њихова дужина је често већа од 100 м, док је њихов депласман обично више од 50.000 бруто регистарских тона,
- Највећа брзина ових пловила ретко прелази 25 чворова, док је њихова уобичајна брзина крстарења од 10 до 20 чворова (а понекад и мање од тога),
- Већином ова пловила плове праволинимским рутама, а када мењају курс то раде полако и у широком луку.

На основу горе написаног, јасно је да је пловила од интереса лако пратити. Са друге стране, да би та пловила била адекватно праћења, радарски трагови прво морају бити фузионисани у фузионисане трагове. Како се позиције радарских трагова које потичу од истог пловила могу значајно разликовати, док је стварни положај пловила често негде

између њих, алгоритам фузије је заснован на приступу минималне средње квадратне грешке (енг. Minimal Mean Square Error – MMSE). Даље, да би се фаворизовао радарски траг чија позиција најбоље одговара стварном положају пловила, у калкулације којима се одређује позиција фузионисаног трага уводи се тежински фактор. Овај фактор се назива ниво поузданости (енг. Confidence Level), а представља процену поузданости радарских података и узима вредности у распону од 0 до 1. Ниво поузданости за сваку радарску стазу израчунава се помоћу једначине (13):

$$CL = \frac{CL_{snr} + CL_{ang} + CL_c}{3} \quad (13)$$

Где су:

- CL – ниво поузданости,
- CL_{snr} – ниво поузданости базиран на основу односа сигнала и шума саме детекције ОТН радара,
- CL_{ang} – ниво поузданости базиран на релативном углу измађу пловила и ОТН радара,
- CL_c – ниво поузданости базиран на конзистентности праћења пловила од стране ОТН радара чији се траг тренутно разматра за фузију.

Ниво поузданости базиран на основу односа сигнала и шума се израчунава на основу једначине (14):

$$CL_{SNR} = \begin{cases} \frac{(SNR - 10)}{50}, & SNR < 60 \\ 1, & SNR \geq 60 \end{cases} \quad (14)$$

Треба напоменути да циљ неће бити детектован од стране радара ако је његов однос сигнал и шума испод 10 dB, док се сви циљеви чији је однос сигнала и шума већи од 60 dB сматрају стабилним.

Ниво поузданости базиран на релативном углу измађу пловила и ОТН радара се исчитава на основу табеле, која на жалост није јавно доступна већ представља пословну тајну института. И на крају ниво поузданости базиран на конзистентности праћења пловила израчунава се помоћу једначине (15):

$$CL_c = 0,05 + \begin{cases} 0,05, & \text{до максимално } 1, \text{ ако је траг базиран на детекцији} \\ -0,1, & \text{до минимално } 0, \text{ ако је траг базиран на предикцији} \end{cases} \quad (15)$$

Треба имати у виду да се један траг може пратити више сати, док се ниво поузданости на основу конзистентности праћења израчунава на сваких 33 секунди, те ће ниво поузданости базиран на конзистентности праћења стабилних трагова брзо достићи 1. Када је ниво поузданости свих радарских трагова који учествују у процесу фузије израчунат, може се прећи на формирање фузионисаног трага. У ту сврху прво је потребно одредити локацију фузионисаног трага, тј. дефинисати његову географску дужину и географску ширину, што се ради помоћу једначина (16) и (17).

$$Lat_0 = \frac{\sum_{i=1}^n CL_i \cdot Lat_r(i)}{\sum_{i=1}^n CL_i} \quad (16)$$

$$Long_0 = \frac{\sum_{i=1}^n CL_i \cdot Long_r(i)}{\sum_{i=1}^n CL_i} \quad (17)$$

Где су:

- n – број ОТН радарских трагова који учествује у процесу фузије,
- $Lat_r(i)$ – географска ширина i – тог ОТН радарског трага,
- $Long_r(i)$ – географска дужина i – тог ОТН радарског трага,
- CL_i – ниво поузданости i – тог ОТН радарског трага,
- Lat_0 – географска ширина фузионисаног трага и
- $Long_0$ – географска ширина фузионисаног трага.

Кад су ОТН радарски трагови фузионисани у фузионисане трагове, предикције њихових следећих појава морају се израчунати. Будући да реална пловила углавном плове праволинијски, док ОТН радарске детекције, па самим тим и ОТН радарски трагови „падају“ око те линије, одлучено је да процес праћења буде што једноставнији. Ово је постигнуто ослањајући се на алгоритам заснован на линеарној регресији [60-61]. Због своје робусности и добре толеранције на екстремне вредности, Тиел-Сенов Естиматор [73-74] је изабран и приликом прорачуна предикција, на начин описан даље у тескту.

Када је први пар скупа података ($Lat_0(j)$, $Long_0(j)$) доступан за дати фузионисани траг, естиматор покушава да одреди медијану (m) нагиба помоћу једначине (18):

$$m = \frac{Long_0(j) - Long_0(j-1)}{Lat_0(j) - Lat_0(j-1)} \quad (18)$$

Када је m одређено, коефицијент b се може одредити као средња вредност следећих вредности:

$$b = Long_0(j) - m \cdot Lat_0(j) \quad (19)$$

Битно је напоменути да се параметар b не користи у даљој обради података, те се ни не израчунава. Са друге стране, очекивани курс пловила директно зависи од параметра m и може се израчунати помоћу једначине 20):

$$C_{MRFTP} = arctg(m) \quad (21)$$

Естиматор ће затим повећати скуп података са сваким новопристиглим паром података $(Lat_r(i), Long_r(i))$ и поновити процедуру. Важно је напоменути да скуп података неће бити бесконачно проширен, већ само до одређеног броја парова података (T) чиме се формира тзв. прозор са подацима. Пристизање нових парова података након достизања прага од T парова узроковаће брисање најстаријих података из прозора померајући прозор напред. На овај начин, ако брод започне било какав маневар, стари скупови података ће имати мање утицаја у процесу праћења.

Затим треба израчунати брзину пловила (Vel), што се постиже дељењем раздаљине коју је брод прешао са периодом пристизања ОТН радарских трагова (практично то је интеграционо време радара). Овде треба имати на уму да су географске координате сферне кординате те се прво мора извршити конверзија тих координата у метре како би се добила смислена величина за брзину пловила. Коначна једначина која служи за прорачун брзине пловила је дат једначином (22):

$$v_{MRFTP} = \frac{\sqrt{K_1 \cdot (Lat_0(j) - Lat_0(1))^2 + K_2 \cdot (Long_0(j) - Long_0(1))^2}}{t} \quad (22)$$

Где су:

- K_1 и K_2 – коефицијенти који се користе за трансформацију сферних у декартове координате на бази сферног модела Земље [75],
- $Lat_0(1), Long_0(1)$ – први пар података који се налази у прозору,
- $Lat_0(j), Long_0(j)$ – текући (најновији) пар података у прозору и
- t - период пристизања ОТН радарских трагова.

Да би се предвидела позиција пловила у следећој итерацији алгоритма, тренутна локација се помера у смеру курса пловила за удаљеност коју пловило може покрити у интеграционом периоду. На крају, радијус области асоцијације око предикованог положаја пловила је круг полупречника једнак половини раздаљине коју пловило може прећи у току једног циклуса.

3.1.3. Експериментални резултати

Пре него што резултати експеримента буду представљени, битно је нагласити следеће:

1. Графичко окружење приказано овде користи се само за визуализацију података добијених током процеса фузије сензора, а не као део графичког окружења софтвера за управљање и контролу у командним центрима.

2. Графички елементи су следећи:

- Жути маркери увек представљају радарске трагове, како фузионисане, тако и оне добијених директно од ОТН радара.
- Бели маркери увек представљају AIS податке.
- Шестоугаони маркер око маркера пловила значи да је то пловило селектовано, те су детаљи о пловилу приказани у посебном прозору.
- Боје линија трагова се насумично одређују и немају никакво посебно значење.

3. Треба имати на уму да свако пловило има сопствени јединствени идентификациони број, тзв. Maritime Mobile Service Identity (MMSI) [76].

Да би се демонстрирале могућности алгоритма у реалном радном окружењу, неколико могућих ситуација током праћења пловила у реалном окружењу биће представљене овде. Ове ситуације су:

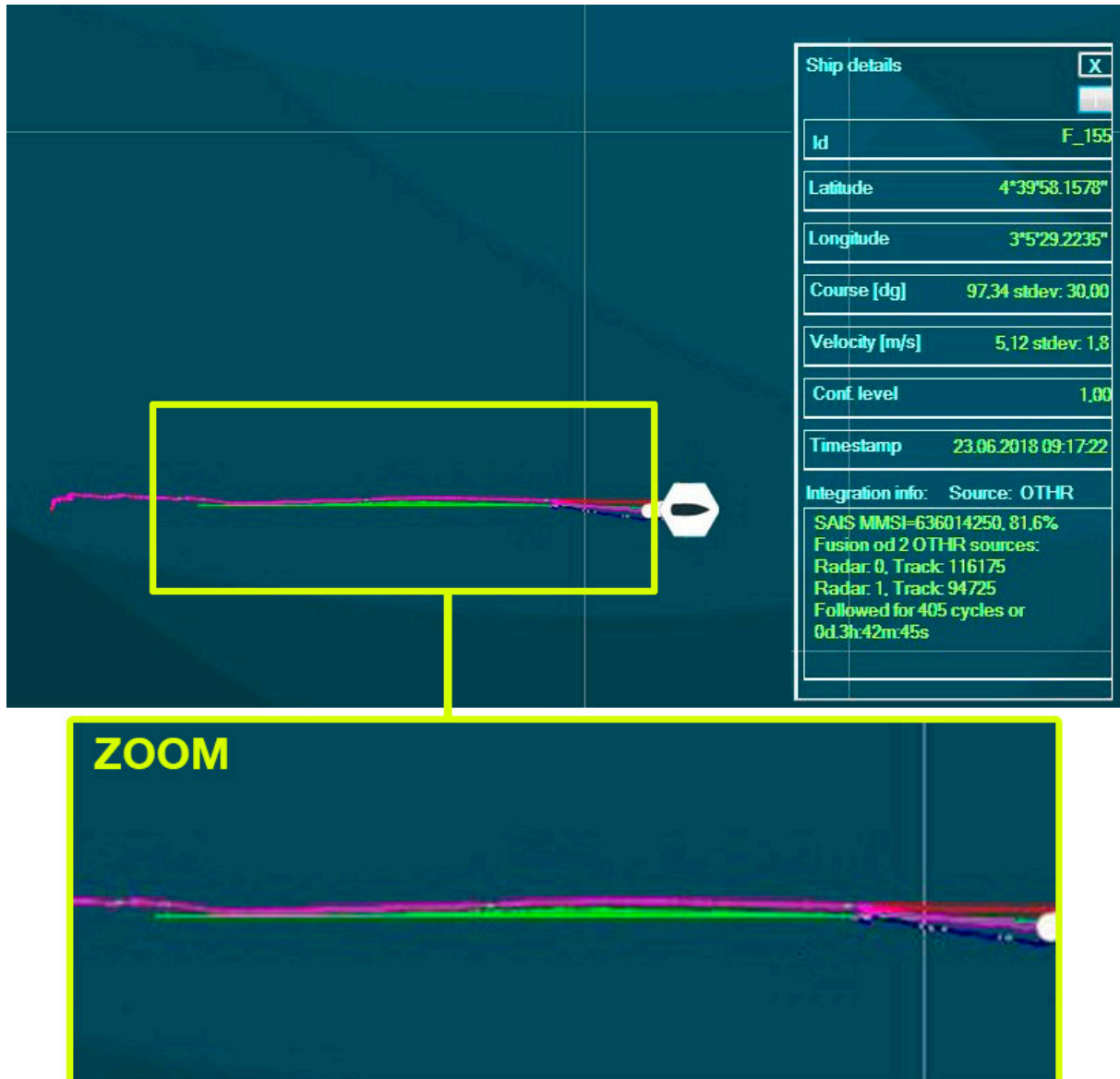
1. “Чиста ситуација” - Оба ОТН радара пружају стабилне и дугачке трагове.

2. “Ново ажурирање” - Један ОТН радар обезбеђује стабилни и дуги траг, док други радар само што је детектовао нову мету, која упада у радијус области асоцијације стабилног трага.

3. “Битно удаљени трагови” - оба ОТН радара прате циљ, али позиције које пружају су значајно другачије.

4. “Нестабилна мета” —ОТН радар(и) прати циљ, али подаци су прилично нередовни.

Прво, биће представљена такозвана "чиста ситуација". У таквим случајевима оба радара пружају стабилне трагове са минималним разликама у позицији. Један такав пример дат је на слици 3.3.



Слика 3.3. Приказ чисте ситуације током праћења пловила

Фузионосани траг идентификационог броја F_155 се састоји од ОТН радарских трагова 0_116175 и 1_94725, који су достављени алгоритму са ОТН радара 0 и 1 респективно. Оба радара пружају стабилне и дуготрајне трагове са минималним разликама у

позицијама, тако да је процес фузије података прилично поједностављен. Штавише, у близини је само један AIS циљ (MMSI 636014250) што додатно оправдава одлуку о фузији података. Ниво поузданости (81,6 %) је наведен у прозору са подацима о фузионисаном трагу и односи се на подударање између AIS и фузионисаног трага и биће разматран у следећој глави.

Затим ће се дискутовати о новом ажурирању већ постојећег фузионисаног трага. Ова ситуација се дешава када је само један ОТН радар даје податке за формирање фузионираног трага дуго времена, а нови траг са другог ОТН радара се формира и појави унутар радијуса области асоцијације. Пример једне такве ситуације је приказан на слици 3.4.



Слика 3.4. Приказ ситуације када се јавља ново ажурирање

Као што се може видети на слици 3.4, фузионисани траг ID F_1240 се редовно ажурира помоћу података добијених од ОТН радара 1 (Ид ОТН радарског трага је 1_1697622), тако да се трагови скоро преклапају. На слици 3.4. црвеном бојом је представљен ОТН

радарски траг ID 1_1697622, док је фузионисани траг ID F_1240 представљен наранџастом бојом. По доласку новог ОТН радарског трага, ID 0_1042366, који потиче са ОТН радара 0, фузионисан траг се лагано помера према новом ОТН радарском трагу. Међутим, он је још више усклађен са ОТН радарским трагом ID 1_1697622, јер тај траг има дужу историју праћења и тиме виши ниво поузданости. Важно је напоменути да стари и нови ОТН радарски трагови потичу са различитих ОТН радара, јер у супротном ново приспели ОТН радарски траг не би био разматран за процес фузије са већ постојећим фузионисаним трагом.

Даље, биће разматрана фузија два значајно удаљена ОТН радарска трага. У ситуацији приказаној на слици 3.5, оба радара прате исти циљ; међутим, позиције пловила које дају међусобно су удаљене око 3 км.



Слика 3.5. Фузија удаљених и нестабилних ОТН радарских трагова

Са слике 3.5 може се видети да је фузионисани траг ID F_1267 (степенаст браон траг) формиран помоћу ОТН радарског трага 0_1047155 (зелен траг), добијеног од радара 0 и ОТН радарског трага 1_1707772 (раван браон траг), добијеног од радара. Овај пример, такође, добро показује ситуацију „нестабилне мете“, јер се фузионисани траг одржава упркос томе хаотичној расположивости података са ОТН радара 0. Може се видети да је радар 0 престао да даје податке о мети, како је истакнуто црвеним кругом. Током тог периода, фузионисан траг је потпуности одржаван помоћу података доступних са радара 1; дакле, фузионисан траг се померио према ОТН радарском трагу 1_1707772. Након што се је ОТН радар 0 поново детектовао мету и сходно томе почео прослеђивати податке о

њој, оба ОТН радарска трага су реинтегрисана у један фузионисани траг. Оваква одлука је оправдана јер постоји само један AIS циљ у близини (MMSI 538005045). На овај начин, вишеструки лажни (дуплирани) циљеви су елиминисани, иако се са сваком поновном детекцијом циља од стране ОТН радара 0, циљу додељује нови радарски ID.

На крају, важно је нагласити да присуство или одсуство AIS података не утиче процес фузије. Овде представљени AIS подаци се користе само да би се оправдале одлуке донете током процеса фузије.

3.1.4. Статистичка анализа

У овом поглављу, представљена је статистичка анализа броја циљева примљених од ОТН радара у мрежи и броја циљева прослеђених даљој обради. Другим речима, ова анализа показује проценат (дуплих) циљева елиминисаних приказаним алгоритмом.

Пре него што анализа буде презентована, битно је нагласити следеће:

- Овде се анализира период од целе године. Почевши од 1. јануара 2018. године закључно са 31. децембром 2018.
- Проблеми са снабдевањем електричном енергијом су уобичајни у Гвинејском заливу, а не спорадични инциденти. Упркос чињеници да су све локације на којима су ОТН радар инсталирани опремљене UPS-овима који могу напајати опрему отприлике 24 часа, неке локације се налазе у удаљеним подручјима и не могу се досећи у року од 24 сата. То доводи до ситуација у којима је присутан значајан пад броја откривених циљева са једне од локација, једноставно зато што је ОТН радар био без напајања електричном енергијом.
- Слична ситуација се дешава када постоји велики проблем са сателитским везама. Проблем се углавном дешава када олује бесне у одређеном подручју, те су на тај начин блокиране сателитске комуникације са локација које се налазе у том подручју. Ово такође доводи до значајног пада циљева све док је веза у прекиду.
- Узимајући у обзир горе наведено, може се очекивати да се број циљева смањи с времена на време и тако дође до видних разлика између суседних месеци.

На слици 3.6. приказан је један унос у датотеку извештаја о фузионом процесу (енг. log file), која се формира током једног фузионог процеса.

```
*****  
Iteration: 2291; Time: 2018-07-17 21:11:13; # FOTHR (total): 17; # FOTHR with AIS: 11; # RAD0: 15; RAD1: 7;  
*****  
Total situation on all ever appeared targets:  
Total FOTHR=151; integrated=92  
Total RAD0=109; Total RAD1=83;  
*****
```

Слика 3.6. Датотека извештаја (Log file)

Објашњење поља датотеке извештаја:

- Iteration - број итерацијског процеса од почетка дана,
- Time - време и датум када је креирана датотека извештаја,
- FOTHR (total) - број фузионисаних трагова у тренутној итерацији,
- FOTHR with AIS - број фузионисаних трагова који имају одговарајуће AIS податке у тренутној итерацији,
- RAD 0 - број ОТН радарских трагова примљених од ОТН радара 0 у тренутној итерацији,
- RAD 1 - број ОТН радарских трагова примљених од ОТН радара 1 у тренутној итерацији,
- Total FOTHR - број фузионисаних трагова од почетка дана,
- Total RAD 0 - број ОТН радарских трагова примљених од ОТН радара 0 од почетка дана,
- Total RAD 1 - број ОТН радарских трагова примљених од ОТН радара 1 од почетка дана и
- Integrated - број фузионисаних трагова који имају одговарајуће AIS податке од почетка дана.

На основу података приказаних на слици 3.6, може се закључити:

- Укупан број трагова примљених од свих ОТН радара током ове итерације је 22,
- Укупан број фузионисаних трагова је 17,
- Број елиминисаних трагова је 5.

То значи да је 23% свих трагова дуплирано, што би могло изазвати лажне аларме унутар командног и контролног система, да их овај алгоритам није елиминисао из даље обраде.

Датотеке извештаја се прикупљају током дана како би се приказали статистички подаци за тај дан. Један целодневни извештај о процесу фузије је приказан на слици 3.7.

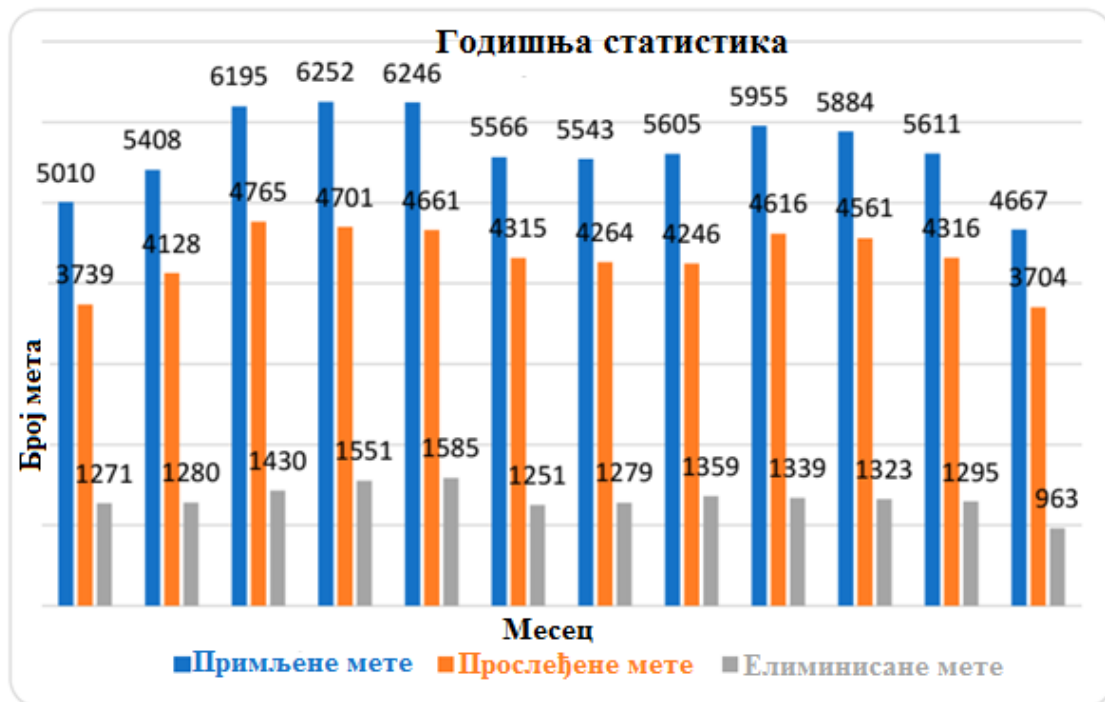
```
*****daily report*****
Daily report - Iteration: 2487; Time: 2018-06-27 00:00:12; # FOTHR: 173; # FOTHR with AIS: 80; # RAD0: 137; RAD1: 74;
*****
```

Слика 3.7. Целодневни извештај о процесу фузије

Током оваг дана, RAD 0 је детектовао 137 циљева и проследио је толико ОТН радарских трагова, док је RAD 1 детектовао 74 циља, што значи да је цела ОТН радарска мрежа детектовала 211 циљева и проследила исто толико ОТН радарских трагова. Укупно, 173 фузионисаних трагова су прослеђена на даљу обраду, док је 80 од тих ОТН радарских трагова имало одговарајуће AIS податке. 38 ОТН радарских циљева је елиминисано јер су заправо дупликати. То значи да је скоро 20% свих примљених ОТН радарских циљева дуплирано.

Напомена: у овом конкретном случају било је више фузионисаних ОТН трагова него AIS података. Ово није правило, већ ситуације варирају из дана у дан, те се лако може десити да је неки други дан има сасвим супротну статистику.

Датотеке дневних извештаја су прикупљане на месечној основи почевши од 1. јануара 2018. завршно са 31. децембром 2018. године, како би се направила статистичка анализа на нивоу целе године, која је приказана на слици 3.7.



Слика 3.7. Годишња статистика процеса фузије

Са слике 3.7. види се да је од 1200 до 1600 дуплираних циљева елиминисано сваког месеца. Мањи број укупних циљева током децембра и јануара се може приписати сезони годишњих одмора, када је мањи обим поморског саобраћаја. Укупно, за посматрани период, предложени алгоритам примио је 67.799 ОТН радарских трагова и након обраде 52.016 фузионисаних трагова је проследио на даљу обраду. То значи да је 15.783 ОТН радарских трагова елиминисано, јер су представљали дупликате.

На основу горње анализе, може се закључити да представљени алгоритам елиминише око 23,3% добијених ОТН радарских трагова, чиме значајно смањује појаву лажних аларма. Даље, алгоритам обезбеђује прецизније праћење, спречава стварање дуплираних циљева. Самим овим алгоритам ствара јединствену ОТН радарску слику на удаљеностима иза хоризонта уз врло ниске рачунске захтеве, те се може рећи да предложени алгоритам показује високу поузданост и ефикасност упркос својој једноставности.

3.2. Алгоритам за интеграцију ОТН радарских трагова и осталих морнаричких сензора

Да би се добила комплетна оперативна слика на удаљеностима иза линије хоризонта, са циљем надгледања и контроле поморске ситуације у Ексклузивној Економској Зони потребно је извршити интеграцију података добијених од различитих морнаричких сензора. Ови сензори су: ОТН радари, сателитски систем за аутоматску идентификацију (енг. Satellite Automatic Identification System – SAIS) и земаљски систем за аутоматску идентификацију (енг. Land Automatic Identification System – LAIS). Алгоритам описан у овом поглављу користи фузионисане радарске трагове добијене са мреже ОТН радара, који су већ обрађени алгоритмом за фузију података са више ОТН радара и интегрише их са одговарајућим LAIS и SAIS подацима, чиме се формира интегрисани пар података.

Када су ОТН радарски подаци у потпуности обрађени и формиран су јединствени фузионисани трагови, AIS подаци се могу доделити одговарајућим фузионисаним траговима. Овде треба имати на уму следеће:

- Латенција података SAIS података може бити веома висока, а сама њихова тачност је често упитна, тако да је приоритет дат фузионисаном трагу као извору информација о циљу.

- С друге стране, ако постоји земљани AIS (LAIS) извор података са добром и лако проверљивом прецизношћу, као и ниском латенцијом, приоритет је дат LAIS подацима.

Током процеса интеграције, евалуирају се сви фузионисани трагови у близини AIS података и онај који има највиши фактор подударности се користи за асоцијацију и интеграцију података. Са друге стране, ако постоји више AIS података у близини једног фузионисаног трага, алгоритам и даље креира само један пар података који се састоји од AIS и фузионисаног сета података са највећим фактором међусобног подударања. Алгоритам је дизајниран, имплементиран и тестиран у реалном радном окружењу. Тестна средина налази се у Гвинејском заливу и укључује мрежу ОТН радара која се састоји од два ОТН радара, неколико приобалних локација са LAIS пријемницима и SAIS подацима које је доставио провајдер SAIS услуге.

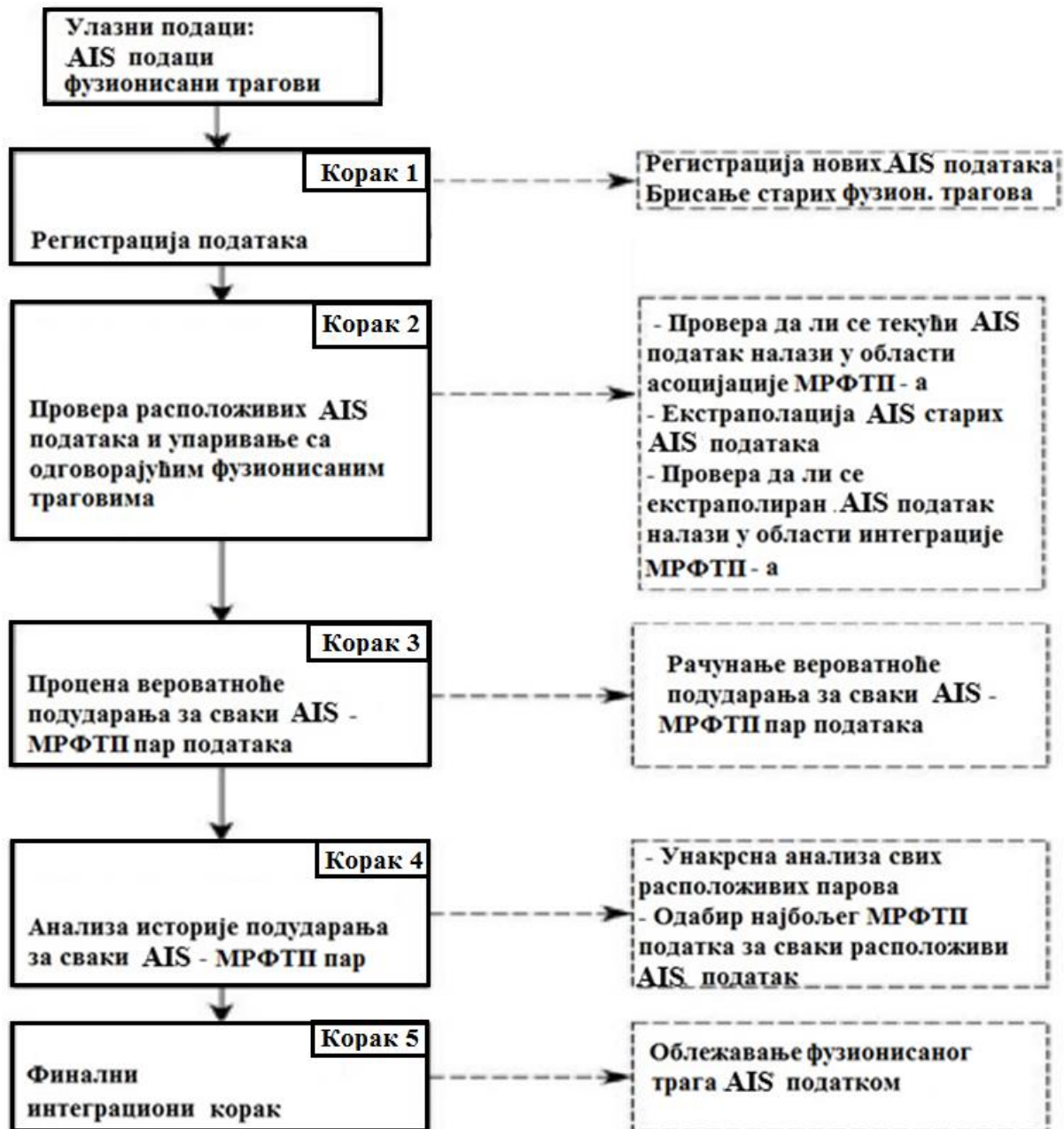
3.2.1. Опис корака алгоритма за интеграцију ОТН радарских трагова и осталих морнаричких сензора

Улази овог алгоритма су Мулти – (ОТН) Радарски Фузионисани Трагови (МРФТ), тј. тачке у простору које представљају последње информације о позицијама тих трагова и AIS подаци. МРФТ позиције (МРФТП) су производ алгоритма за фузију података са више ОТН радара и представљају тренутне позиције бродова које надгледа мрежа ОТН радара. Сваки МРФТ је дефинисан његовим идентификационим бројем – ID број, док AIS подаци имају своје јединствене идентификаторе, тзв. Maritime Mobile Service Identity (MMSI). Излаз предложеног алгоритма је скуп јединствених парова података (AIS MMSI, МРФТ Идентификациони број) за које се сматра да потичу од истог пловила. Како интеграција горе поменутих парова никада није 100% егзактна, за сваки пар података, рачуна се и фактор подударања. На основу овог фактора доноси се коначна одлука о интеграцији датог пара података.

Алгоритам за интеграцију ОТН радарских трагова и осталих морнаричких сензора се активира пријемом нове МРФТП листе, а допуњује се до тада прикупљеним AIS подацима. МРФТП проток података је периодичан са редовним циклусима понављања (33 с). С друге стране, проток AIS података је хаотичан, са великом несигурношћу у времену испоруке порука, посебно у случају сателитских AIS података, где освеживање података може имати кашњења мерена у сатима.

Таква ситуација имплицира да, да би се извршила фузија AIS података са МФРТ подацима, осмочасовна историја за сваки МФРТ, као и AIS податак мора постојати.

Кораци предложеног алгоритма приказани су на слици 3.8.

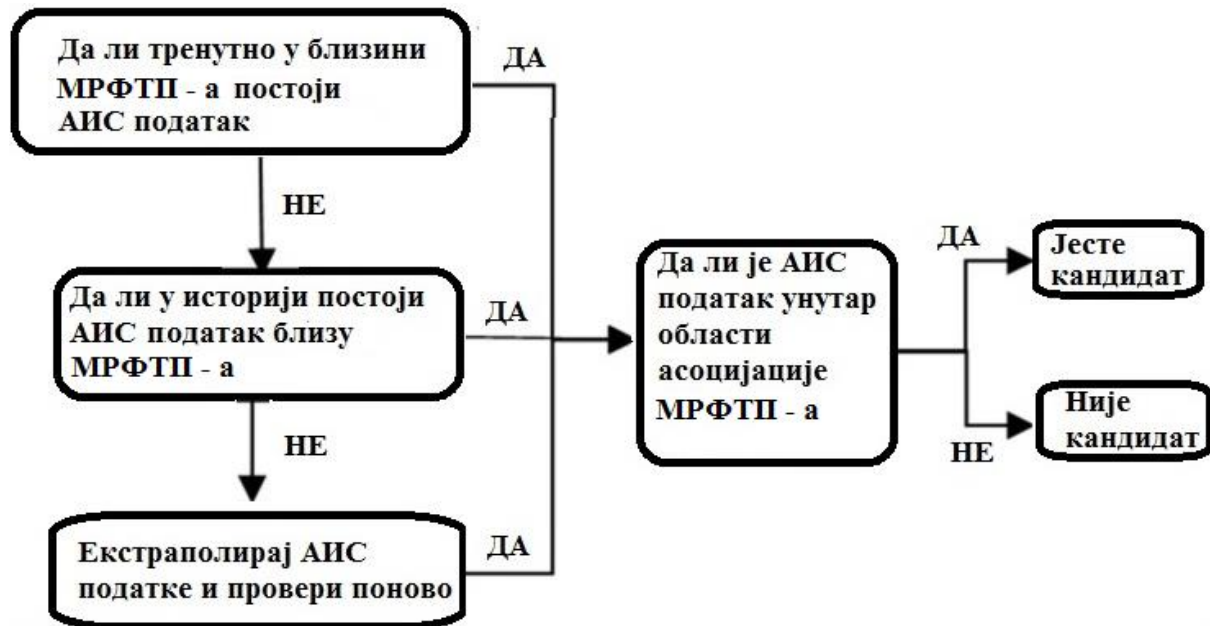


Слика 3.8. Алгоритам за интеграцију фузионисаних трагова и AIS података

У првом кораку алгоритма изводе се следеће операције:

- креирање нових уноса за фузионисане трагове који су пријављени први пут,
- освежавање података за већ постојеће парове података. ако је могуће и
- чишћење старих и непотребних података.

У другом кораку алгоритам тражи скуп погодних кандидата (из скупа свих фузионисаних трагова) за интеграцију за сваки AIS извор података. Како је ово веома битан корак, он је детаљно приказан на слици 3.9.



Слика 3.9. Корак 2. алгоритма за интеграцију фузионисаних трагова и AIS података

У другом кораку, алгоритам прво проверава све тренутно активне фузионисане трагове како би пронашао оне са временским маркером који је близу временском маркеру AIS података. Ако се то не може постићи, алгоритам покушава да учита фузионисане трагове из историје како би пронашао оне који су близу временском маркеру конкретног AIS податка. Ако се то такође не може постићи, AIS положај пловила се екстраполира. Екстраполација се врши помоћу података самог AIS – а под претпоставком да брод није променио курс и брзину. На овај начин AIS позиција се транслира у тренутно време. Затим треба проверити радијус области асоцијације. Фузионисани трагови који пролазе обе провере (временски маркер и радијус области асоцијације) сматрају се кандидатима за интеграцију. Битно је напоменути да је могуће да један AIS податак има више кандидата за интеграцију међу фузионисаним траговима и обрнуто. Сви они фузионисани трагови који нису прошли претходне провере сматрају се неподобнима за интеграцију са посматраним AIS подацима. Ако се фузионисани траг сматра неподобним за интеграцију N узастопно циклуса, посматрани фузионисани траг никада више неће бити разматран за интеграцију са посматраним AIS траговима. На овај начин алгоритам смањује непотребне операције и убрзава даљу обраду.

У трећем кораку, за сваки пар кандидата, израчунава се фактор подударности. Фактор подударности (M) представља вероватноћу да посматрани пар података потиче од истог пловила. Састоји се од фактора који одговарају брзини и курсу, као што је то дато у једначини (23).

$$M = M_v \cdot M_c \quad (23)$$

Где су:

- M – Фактор подударности (који узима вредности од 0 до 1),
- M_v – Фактор подударања брзине и
- M_c – Фактор подударања курса.

Фактор подударања брзине је дефинисан једначинама (24) и (25)

$$M_v = 1 - \frac{v_{diff}}{veće_{od}(v_{AIS}, v_{MRFTP})} \quad (24)$$

$$v_{diff} = |v_{AIS} - v_{MRFTP}| \quad (25)$$

где су:

- v_{AIS} – брзина пловила коју даје AIS,
- v_{MRFTP} – брзина пловила коју пријављује фузионисани траг и
- v_{diff} – разлика брзина према једначини (25).

Фактор подударања курса дефинисан је једначином (26)

$$M_c = \begin{cases} \left(1 - \frac{C_{diff}}{180}\right)^2, & \text{za } 0 \leq C_{diff} \leq 180 \\ \left(1 - \frac{C_{diff}}{360}\right)^2, & \text{za } 180 \leq C_{diff} \leq 360 \end{cases} \quad (26)$$

где је C_{diff} разлика између курса пловила коју пријављују AIS и МРФТП, а рачуна се према једначини (27).

$$C_{diff} = |C_{AIS} - C_{MRFTP}| \quad (27)$$

где су:

- C_{AIS} – курс пловила пријављен од стране AIS – а и

- C_{MRFTP} – курс пловила коју пријављује фузионисани траг.

На крају овог корака, за сваки AIS податак, кандидати из скупа фузионисаних трагова се сортирају по одговарајућој вредности фактора подударности.

Током четвртог корака анализирају се фактори међусобне интеграције. Параметри који се узимају у обзир су:

- Тренутни фактор подударања,
- Просечна вредност фактора подударања током претходних N интеграционих периода и
- Број кандидата.

На крају ове анализе, старе интеграционе везе могу бити прекинуте или потврђене, док се неке нове интеграционе везе могу креирати. Коначно, одабирају се најбољи могући интеграциони парови података, док јединственост интеграционих парова (AIS MMSI, ID фузионисаног трага) остаје очувана. Ова одлука се заснива на приступу нивоа прага, тј. интеграциона веза се успоставља уколико је фактор подударности података већи од унапред одређеног нивоа. Другим речима уколико је највећи фактор подударања неког фузионисаног трага према сваком AIS податку мањи од нивоа прага неће бити креиран интеграциони линк. Исто важи и уколико је фактор подударања неког AIS податка према свим фузионисаним траговима мањи од нивоа прага. У завршној фази, сви интеграциони фузионисани трагови означени су одговарајућим MMSI. Важно је напоменути да ће сви фузионисани трагови који не могу бити интегрисани са било којим AIS подацима биће прослеђени онакви какви јесу. Исто важи и за све AIS податке који се не могу интегрисати ни са једним фузионисаним трагом.

3.2.2 Експериментални резултати

Пре него што резултати експеримента буду представљени, битно је нагласити следеће:

1. Графичко окружење приказано овде користи се само за визуализацију података добијених током процеса фузије сензора, а не као графичко окружење софтвера за управљање и контролу у командним центрима.

2. Графички елементи су следећи:

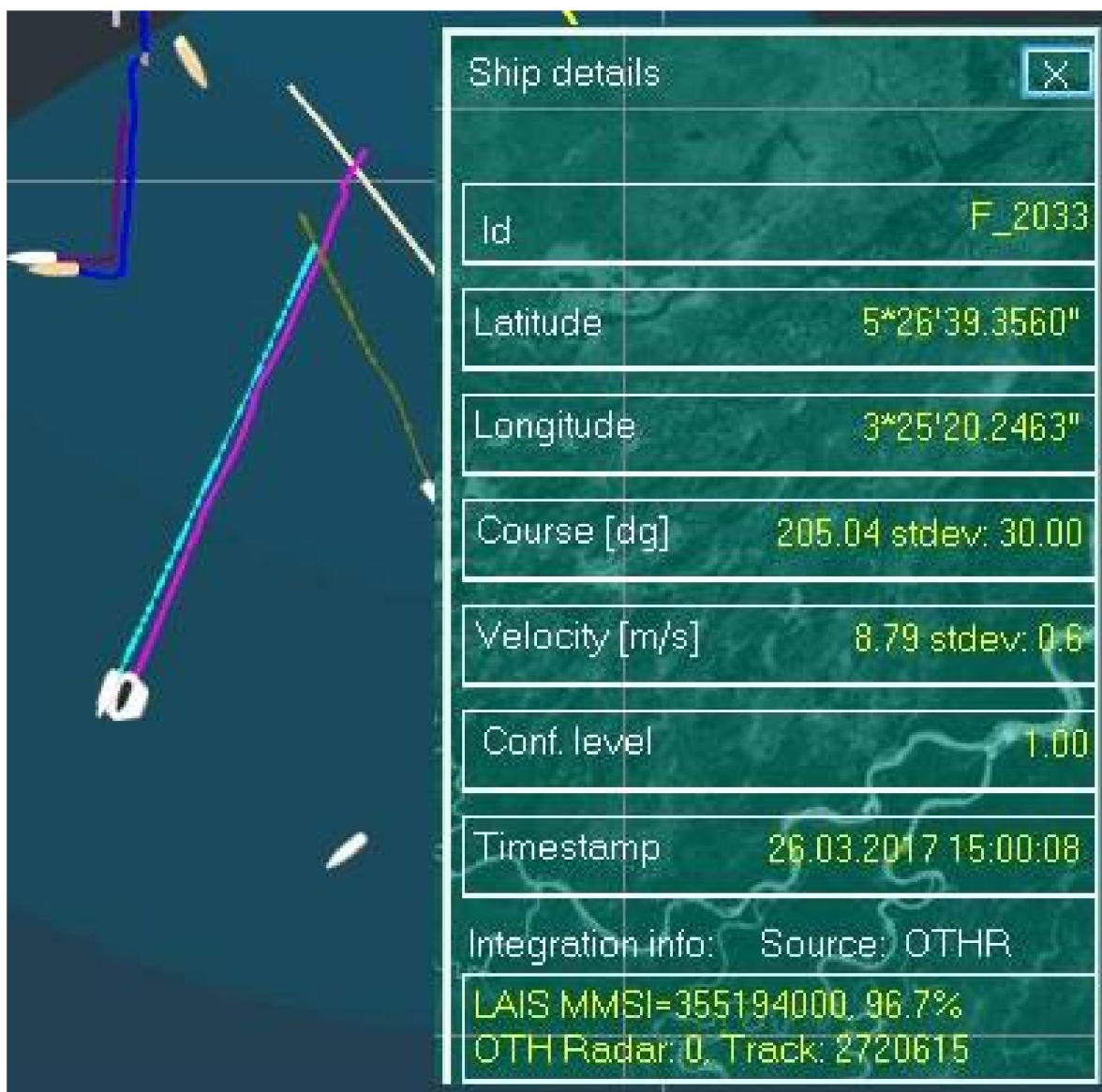
- Жути маркери увек представљају радарске трагове, како фузионисане, тако и оне добијених директно од ОТН радара.
- Бели маркери увек представљају AIS податке.
- Шестоугаони маркер око маркера пловила значи да је то пловило селектовано, те су детаљи о пловилу приказани у посебном прозору.
- Боје линија трагова се насумично одређују и немају никакво посебно значење.

3. Треба имати на уму да свако пловило има сопствени јединствени MMSI [64].

Да би се демонстрирале могућности алгоритма у реалном радном окружењу, неколико могућих ситуација биће представљене овде. Ове ситуације су:

- Такозвана “чиста ситуација”, тј. један стабилан фузионисани траг и само један одговарајући AIS податак са малом латенцијом. Овде ће се разматрати два случаја:
 - Пловило плови праволинијски и
 - Пловило маневрише,
- Непрецизност МРФТП података, односно самим тим и фузионисаног трага,
- Латенција података SAIS и / или LAIS
- Вишеструки МРФТП-ови у оквиру радијуса зоне асоцијације појединачног AIS података
- Вишеструки AIS подаци у оквиру радијуса зоне асоцијације појединачног МРФТП-а
- Изостанак AIS података, тј. присутни су само подаци фузионисаног трага и
- Одсуство података фузионисаних трагова, тј. праћење само путем AIS – а.

Прво ће такозвана “чиста ситуација” бити разматрана. Стабилан МРФТ и ниска латенција AIS података (латенција се мери у минутима) су главне карактеристике чистих ситуација. Пошто нема потребе да се учитава историја МРФТ података и / или екстраполирају AIS подаци, процес интеграције је поједностављен. Ова ситуација је приказана на слици 3.10.



Слика 3.10. Приказ чисте ситуације током процеса фузије

МРФТ означен са ID F_2033, који прати ОТН радар 0 (ID ОТН радарског трага је 2720615) је кандидат за интеграцију са AIS извором дефинисаним промоћу MMSI 355194000 који се налази у његовој близини. Пошто је коефицијент подударња веома висок (96,7%) оба скупа података највероватније потичу од истог пловила и биће интегрисани у један траг у даљој обради. Битно је напоменути да је латенција AIS података у овом случају једва неколико минута што чини процес интеграције прилично лаким, будући да се пловило током процеса померило само неколико стотина метара.

Ово кретање је незнатно јер је радијус области асоцијације МРФТ – а око 1 км, тј. тренутни МРФТП и примљени AIS подаци су још увек унутар истог радијуса области асоцијације.

Затим ће маневаришући циљ бити анализиран, а самим тим ће и импликације маневрисања на процес интеграције бити размотрене. Приликом маневрисања, брод мења свој курс и брзину пловидбе, што су основни параметри који се користе приликом израчунавања фактора подударана, што имплицира да ће се вредност фактора подударана сходно томе смањити. Овде се да приметити чак и само један минут латенције AIS података, те је јасно видљива импликација маневрисања на процес интеграције. Другим речима, због латенције података, курс и брзина који се мере помоћу ОТН радара могу се значајно разликовати од курса и брзине који су добијени посредством AIS – а. То доводи до ситуација где ће се фактор подударана привремено смањити, будући да ће тренутни фактор подударана бити прилично низак што ће самим тим значајно смањити просечну вредност. Након што пловило стабилизује свој курс и брзину, односно заврчи маневар, фактор подударана ће поново порастати. Као пример може се анализирати ситуација приказана на слици 3.11.



Слика 3.11. Приказ фузије података у колико пловило маневрише

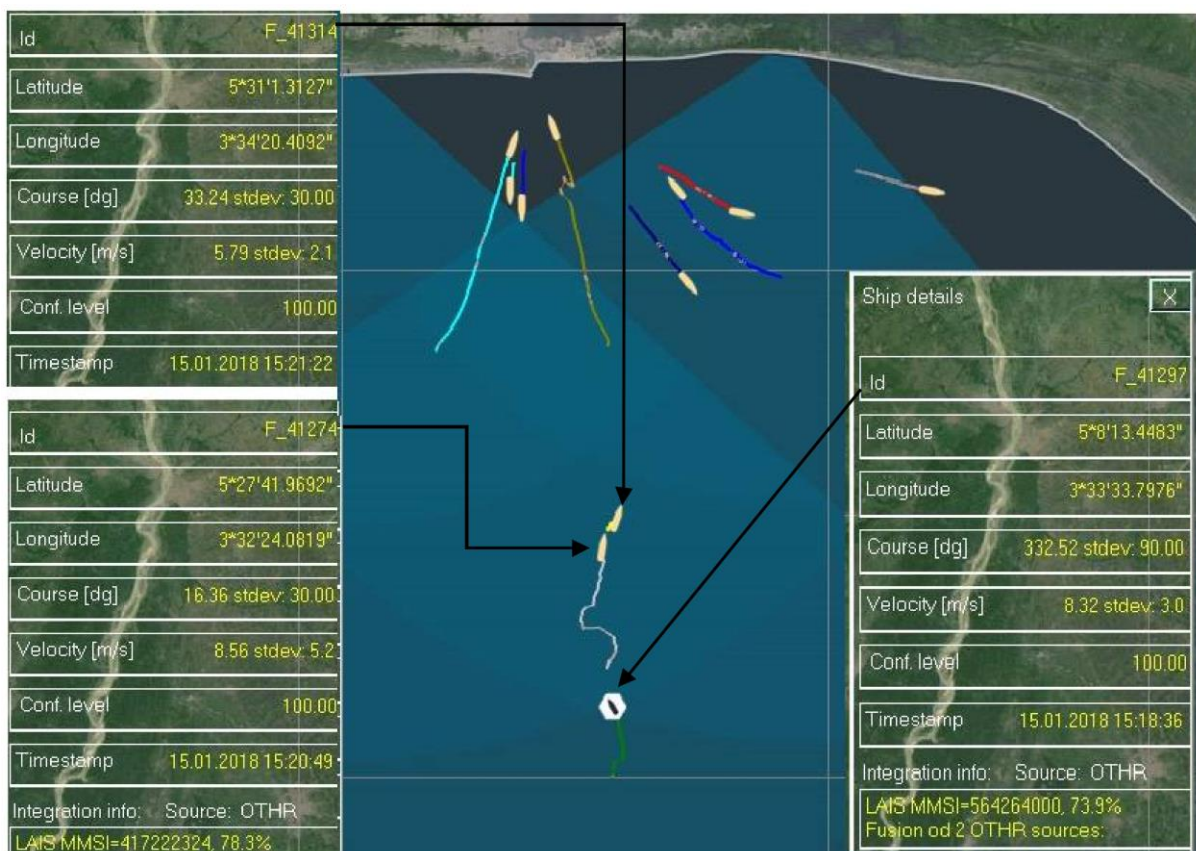
МРФТ ID ознаке F_45894 нагло је променио курс за скоро 90 степени, што је довело до пада фактора подударана. Након што је пловило стабилизовало своје кретање, брзина и

курс који су добијени посредством AIS – а, односно МРФТ – а су дошли до сличних вредности, те је фактор подударња поново порастао до вредности од 87,2%. Важно је напоменути да током овог привременог пада фактора подударња, интеграциона веза није била прекинута, а тиме је очувана и јединственост процеса интеграције, тј. интеграционог пара.

Сада ће сложенија и веома занимљива ситуација бити размотрена. Ова ситуација веома лепо демонстрира могућности алгоритма за интеграцију ОТН радарских трагова и осталих морнаричких сензора, јер укључује седеће изазове:

- Непрецизност података МРФТ,
- Више МРФТ – а у оквиру једног радијуса области асоцијације AIS податка,
- Високу латенцију SAIS података и
- Недостатак AIS података, односно праћење пловила само помоћу ОТН радара, тј. присутни су само МРФТ подаци.

Прво, на слици 3.12. биће приказани само МРФТ подаци.



Слика 3.12. Решавање сложене ситуације – приказани су само МРФТ подаци

Са слике 3.12. може се видети да постоје два стабилна МРФТ-а, означена са F_41297 и F_41274. Оба МРФТ-а су интегрисана са својим одговарајућим AIS подацима означеним са MMSI 564264000 и MMSI 417222324. Затим је ОТН радарска мрежа детектовала још једно пловило, а алгоритам представљен у глави 3.1. доделио му је ID ознаку F_41314.

МРФТ означен са F_41274 биће детаљније испитан. Ако се ослонимо искључиво само на МРФТ податке могло би се закључити да је ово пловило практично изводило цик-цак маневар (Слика 3.12.). Како је мало вероватно да је то био случај, доступни AIS подаци ће бити испитани (Слика 3.13.) како би се разлучило о чему се тачно ради.



Слика 3.13. Решавање сложене ситуације – пловило F_41274

Са слике 3.13. лако се може уочити да постоје дуги и стабилни трагови добијени посредством LAIS – а. У овом случају практично да не постоји латенција LAIS података, тако да се може сматрати да су подаци добијени посредством LAIS – а прилично веродостојни. Са друге стране, SAIS подаци долазе са значајним кашњењем и могу се одбацити током даље обраде, јер постоји стабилна LAIS извор података. Иако стабилан, МРФТ показује висок ниво непрецизности и не може се сматрати да веродостојно приказује путању пловила. Дакле, пловило је пловило у правој линији и није вршило никакве маневре. Ово је јасан случај непрецизности МРФТ података, као и високе латенције SAIS података. Да ствар буде додатно компликована, откривање новог циља

од стране ОТН радарске мреже у истом радијусу области асоцијације AIS података MMSI 417222324 поставља алгоритам интеграције на други тест. Прецизније речено, алгоритам за интеграцију ОТН радарских трагова и осталих морнаричких сензора мора одлучити који МРФТ је најбољи кандидат за интеграцију са доступним AIS подацима. Ово је учињено на начин описан у глави 3.2.1 овог рада, а резултат је приказан на сликама 3.12. и 3.13. На крају, када су донете све одлуке о интеграцији података, поставља се питање шта радити са МРФТ-овима који се не могу интегрисати са једним од доступних AIS података. Као што је описано у одељку 3.2.1, алгоритам ће проследити ове МРФТ – е, а у конкретном случају коначни резултат је приказан на сликама 3.12. и 3.13, тј. МРФТ означен са F_41314 биће прослеђен без стварања интеграционих линкова ка било ком од доступних AIS података.

Затим ћемо анализирати ситуацију у којој и LAIS и SAIS имају значајну латенцију података (слика 3.14.).

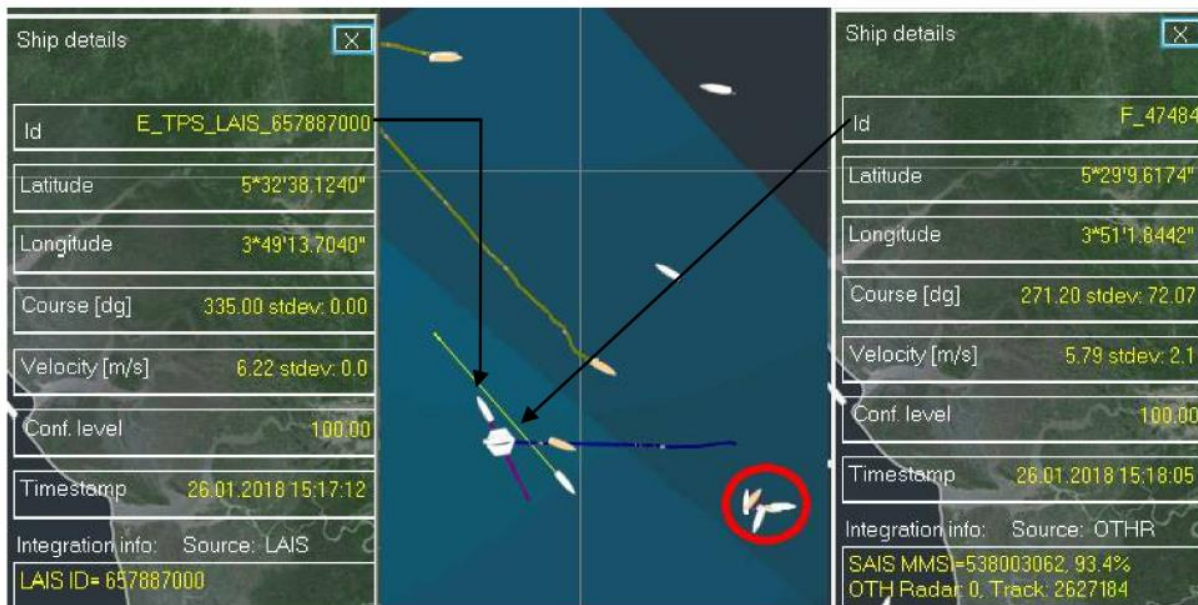


Слика 3.14. Значајно кашњење AIS података

Са слике 3.14. се може видети да LAIS подаци имају значајну латенцију у односу на МРФТ, док је латенција података SAIS-а још већа. У овом случају је очигледно да алгоритам треба донети одлуку на основу претходног знања и екстраполације података. Са слике 3.14. се може уочити да постоје два трага, црвени који представља МРФТ (означен са F_4071) и жути који представља траг формиран на основу AIS података (MMSI 240821000). Јасно је да је интеграциона веза између F_4071 и MMSI 240821000 већ постојала, што представља претходно знање у текућем интеграционом процесу. На основу тога и екстраполираних AIS података, а узимајући у обзир да нема других МРФТ - а у близини екстраполираних AIS података, алгоритам је одлучио да интеграциона веза буде потврђена са вероватноћом од 95,1%. На тај начин се 3 различита извора података о једном те истом пловилу интегришу у јединствен податак без обзира на значајне разлике у међусобним позицијама и временским ознаци коју садрже у себи.

Завршни сценарио приказује могуће одговоре алгоритма када је више AIS података унутар радијуса области асоцијације једног МРФТ – а, као и када нема МРФТ података, тј. пловило се прати само помоћу AIS података.

У ситуацијама када постоји више AIS извора унутар радијуса области асоцијације једног МРФТП – а (слика 3.15.), алгоритам ће покушати да интегрише AIS податак који има најбољи фактор подударана са МРФТ. Иако ово изгледа као прави приступ, то није увек случај. Ситуација обележена црвеним кругом на слици 3.15. представља заправо нафтну платформу са пловилима који се налазе око ње. Очигледно је да ОТН радар све објекте детектује као једну мету (будући да су сви објекти унутар једне резолуционе ћелије), самим тим интеграција било ког од доступних AIS података са поменутиМ МРФТ – ом је бесмислена. С друге стране, потпуно другачија ситуација настаје када постоји стабилан AIS-МРФТ пар података и неинтегрирани AIS подаци се појављују у његовој близини. У овом случају алгоритам ће потврдити постојећу везу у процесу сличном оном када се унутар радијуса области асоцијације једног AIS податка налазе вишеструки МРФТ подаци. Када се донесу све одлуке о интеграцији, сви неинтегрисани AIS подаци ће бити прослеђени онакви какви су (прозор са подацима лево на слици (3.15.).



Слика 3.15. Вишеструки AIS подаци унутар радијуса области асоцијације једног МРФТ

– а

3.2.3. Статистичка анализа

У овом поглављу представљена је упоредна статистичка анализа броја циљева примљених од стране свих сензора у мрежи и броја циљева испоручених командном систему. Другим речима, ова анализа приказује проценат дуплих циљева елиминисаних приказаним алгоритмом.

Пре него што сама анализа буде приказана, треба нагласити неколико ствари:

- Први ОТН радар је пуштен у рад средином јануара 2017. године, а други ОТН радар средином септембра 2017. Приобалне локације су додаване мрежи сукцесивно, почевши са 4 средином јануара и завршно са додавањем још 2 средином септембра. Из овог разлога укупан број циљева временом ће расти.
- Проблеми снабдевања електричном енергијом су уобичајени у Гвинејском заливу, а не ретки инциденти. Упркос чињеници да су све локације опремљене системима за непрекидно напајање електричном енергијом, који могу напајати опрему приближно 24 часа, неке локације се налазе у удаљеним подручјима и не на њих се не може доћи у року од 24 сата. Ово води до ситуација у којима је присутан значајан пад броја откривених циљева са једне локације, једноставно зато што је није било електричне енергије.

- Слична ситуација се дешава када постоји проблем са сателитским везама. Проблем се углавном дешава када олује бесне у одређеном подручју и блокирају сателитске комуникације са локација на том подручју, што такође узрокује значајан пад циљева све док је веза у прекиду.

На слици 3.16. приказан је један унос у датотеку извештаја о процесу интеграције (енг. log file), која се формира током једног процеса интеграције.

```
Iteration: 2531; Time: 2018-03-20 23:59:46; # Updated this cycle AIS MMSI: 3; # Live
AIS: 12; # FOTHR: 8;
Current situation with all live targets:
FOTHR single=3
Integrated targets=5
AIS single=6
Current total number of targets=14
```

Слика 3.16. Целодневни извештај о процесу интеграције

Објашњење поља у извештају:

- Iteration - број тренутне итерације током једног дана
- Time - време и датум када је креирана датотека
- Update this cycle AIS MMSI - број AIS MMSI примљених током овог итерацијског процеса. У основи, број AIS MMSI примљених у последњих 33 с.
- Live AIS - број MMSI-а који су примили најмање једно ажурирање у последњих сат времена
- FOTHR - број активних МРФТ – а
- FOTHR single - број МРТФ – ова који се не могу интегрисати ни са једним AIS-ом
- Integrated targets - број интегрисаних циљева
- AIS single - број MMSI – а који не могу бити интегрисани ни са једним активним МРФТ – ом,
- Current number of total targets — број циљева прослеђених командном систему.

На основу података приказаних на слици 3.16. може се закључити следеће:

- Укупан број мета примљених са свих сензора је 20,

- Укупан број циљева прослеђених командном систему је 14,
- Број елиминисаних циљева је 6.

То значи да 30% свих примљених мета представља дубликате који би могли изазвати лажне аларме у командном систему.

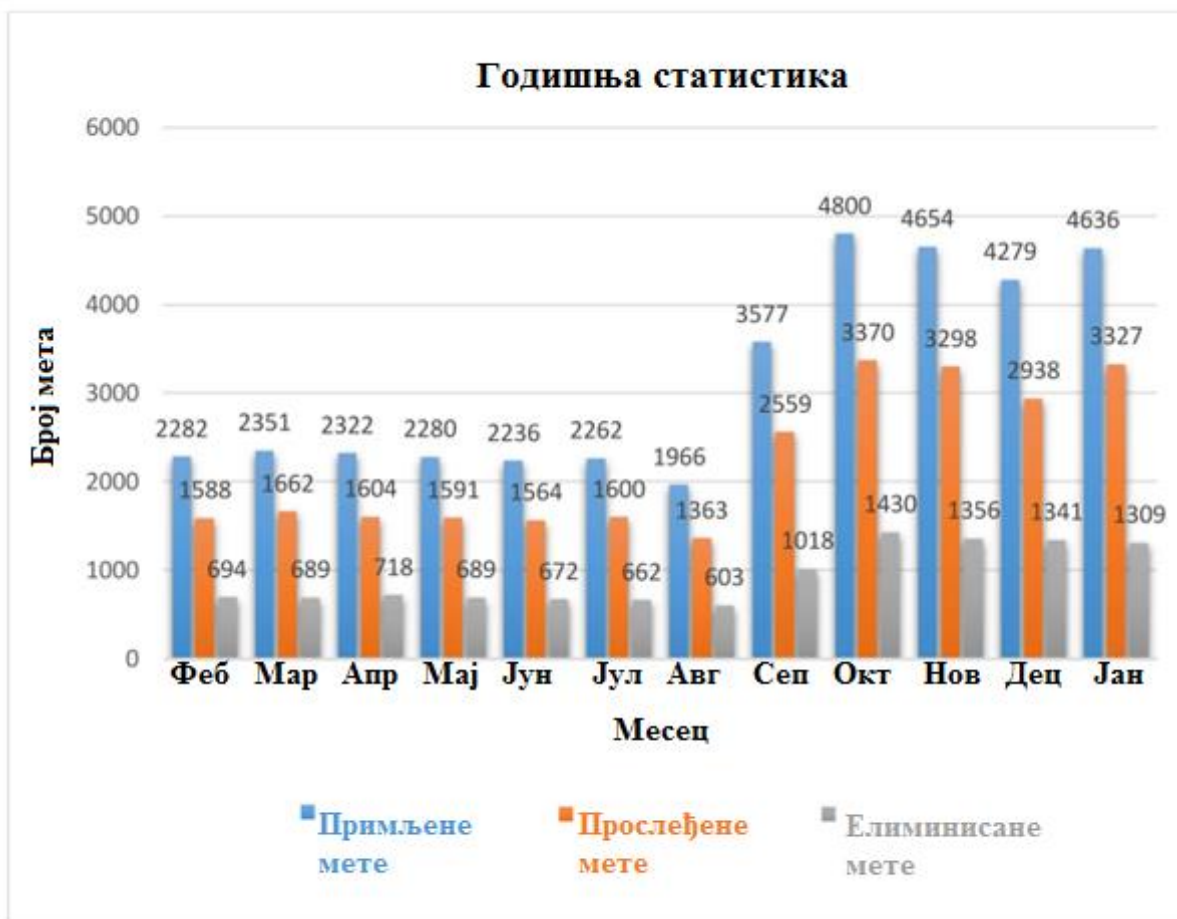
Извештаји су прикупљани током дана како би се приказала статистика за тај дан. Један целодневни извештај је приказан на слици 3.17.

```
Total situation on all ever appeared targets:
Total FOTHR single=42; integrated=60
Total AIS single=12, integrated=36
```

Слика 3.17. Целодневни извештај о процесу интеграције

У току дана разматраног на слици 3.17. ОТН радарска мрежа открила 102 циља, док је 48 циљева прикупљено помоћу AIS – а, што значи да је укупно укупно 150 циљева примљено из сензорске мреже током тог дана. 42 ОТН циља нису могла бити интегрисана ни са једним AIS податком, док 12 AIS података није имало одговарајуће ОТН трагове (МРФТ), а 60 ОТН радарских трагова је имало 36 одговарајућих AIS извора података. Дакле, укупно 114 циљева је испоручено командном систему, односно 42 ОТН радарска трага, 12 AIS трагова и 60 интегрисаних. То значи да је током тог дана елиминисано 36 циљева, односно 24% свих примљених циљева, јер су заправо дубликати. Напомена: у овом конкретном случају било више интегрисаних ОТН радарских трагова, него AIS података. Ово је крајње ситуационо, јер број трагова варира из дана у дан, те се лако може десити да број AIS података премаши број ОТН фузионисаних трагова.

Датотеке извештаја су прикупљане на месечном нивоу почевши од 1. фебруара 2017. и завршно са 31. јануаром 2018. како би се направила статистичка анализа приказана на слици 3.18.



Слика 3.18. Годишња статистика интеграционог процеса

Са слике 3.18. може се видети да је око 650 дуплих циљева елиминисано сваког месеца почев од фебруара 2017. закључно са септембром 2017. Значајан пад циљева може се уочити током августа, а то представља проблем са напајањем ОТН радара (у то време је само један ОТН радар је био оперативан). Током септембра, други ОТН радар је пуштен у рад и још 2 приобална положаја су додата у сензорску мрежу, тако да је број циљева значајно повећан. Пад који се може приметити током децембра највероватније представља последицу сезоне годишењих одмора, када је обим поморског саобраћаја мањи него уобичајно. Све у свему, може се закључити да представљени алгоритам елиминише око 30% примљених података, јер су дупликати и самим тим значајно смањује лажне аларме. Поред тога, овај приступ обезбеђује прецизније праћење циљева на отвореном мору и формира комплетну оперативну слику на ОТН удаљеностима уз минималне рачунске трошкове.

4

Анализа рада сензорске мреже у разним метео – условима и минимизација лажних аларма у присуству снажних олуја или чак метео цунамија у зони осматрања ОТН радара

4.1. Анализа рада сензорске мреже у разним метео условима

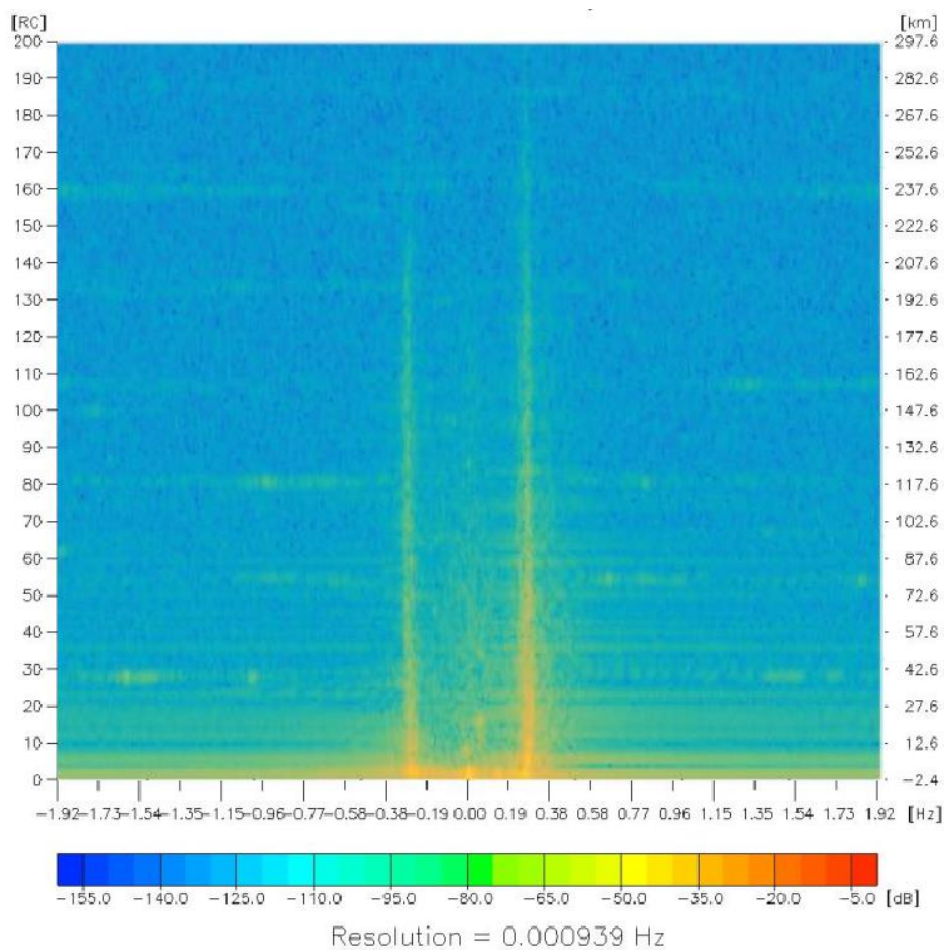
У овој глави биће анализиран рад како алгоритама описаних у претходној глави, тако и целокупне сензорске мреже у метео-условима који су специфични за Гвинејски залив. Ти метео – услови су:

- Ведро време, без или са slabим ветром, како на положајима ОТН радара, тако и на отвореном мору, тзв. "Мирно море",
- Ведро време на положајима ОТН радара, али са јаким ветром на отвореном мору и
- Невреме (јака киша и ветар) на положајима ОТН радара, које делимично захвата и зону осматрања радара
- Напомене:
 - Како сензорска мрежа покрива зону од преко 100.000 квадратних километара, при чему су положаји ОТН радара међусобно удаљени готово 100 км (ваздушном линијом) готово је немогуће истовремено имати идентичне метео услове на целом том пространству. У пракси се најчешће дешава да се на зони осматрања јавља комбинација горе поменутих метео – услова.
 - Јаки атмосферски поремећаји који стварају услове блиске метео – цунамијима [17], па и саме метео – цунамије, неће бити анализирани у овој глави, јер им је у потпуности посвећена глава 4.2.

4.1.1. Анализа рада сензорске мреже у условима "Мирног мора"

Овакве атмосферске услове карактерише ведро и сунчано време, са ветром ниског интензитета. Утицаји које овакве временске прилике имају на рад ОТН радара су практично занемарљиви. Главни разлог лежи у томе што заправо слаб ветар, који карактерише овакве временске прилике, јако мало утиче на површину мора стварањем таласа мале висине. У оваквим условима стање мора (енг. Sea state [54], [77]) не прелази 3 према Дагласовој скали [66], те сходно Прилогу 2, нема отежане пропагације таласа преко морске површине. Шта више пропагација може бити и мало боља у случају да је стање мора између 1 и 3 него што је у случају да је стање мора 0. Наравно, ово побољшање услова за пропагацију површинских таласа је занемарљиво, те се у пракси узима да је пропагација површинских таласа при стању мора од 0 до 3 практично константна.

Ефекат оваквог времена се може уочити на RD мапи која је приказана на слици 4.1.



Слика 4.1. RD мапа у условима мирног мора

(На вертикалној скали лево представљена је раздаљина од радара у резолуционим ћелијама, док је на десној скали представљена раздаљина у километрима)

Као што се са слике 4.1. може видети, Брагове линије су врло јасно изражене и простиру се до скоро 300 километара. Другим речима океанографске податке ОТН радар у таквим условима може прикупљати до даљине од скоро 300 км. Што се пак детекције бродова тиче, она је могућа на дометима далеко иза номиналног домета радара. На слици 4.2. се налази један такав пример.



Слика 4.2. Детекцијске могућности ОТН радара у условима мирног мора

На слици 4.2. је приказана детекција и праћење брода на даљини од 270 км, што је далеко иза номиналног домета радара.

Такође, ведро време не уноси никакве потешкоће у рад сателитских линкова, те нема ни проблема са комуникацијом између ОТН радарских положаја и командног центра. Ово значи да ће подаци стизати правовремено и без застоја. На слици 4.3. приказан је долазни фолдер у коме се на централном серверу у командном центру смештају детекције приспеле са ОТН радара.

| | | | |
|----------------------------|-----------------|---------------|-------|
| 2018257122933_000.cfar_reg | 14.9.2018 14:30 | CFAR_REG File | 18 KB |
| 2018257123006_000.cfar_reg | 14.9.2018 14:31 | CFAR_REG File | 18 KB |
| 2018257123039_000.cfar_reg | 14.9.2018 14:31 | CFAR_REG File | 20 KB |
| 2018257123113_000.cfar_reg | 14.9.2018 14:32 | CFAR_REG File | 21 KB |
| 2018257123146_000.cfar_reg | 14.9.2018 14:32 | CFAR_REG File | 19 KB |
| 2018257123219_000.cfar_reg | 14.9.2018 14:33 | CFAR_REG File | 22 KB |
| 2018257123253_000.cfar_reg | 14.9.2018 14:34 | CFAR_REG File | 19 KB |
| 2018257123326_000.cfar_reg | 14.9.2018 14:34 | CFAR_REG File | 19 KB |
| 2018257123359_000.cfar_reg | 14.9.2018 14:35 | CFAR_REG File | 16 KB |
| 2018257123432_000.cfar_reg | 14.9.2018 14:35 | CFAR_REG File | 20 KB |
| 2018257123506_000.cfar_reg | 14.9.2018 14:36 | CFAR_REG File | 18 KB |
| 2018257123539_000.cfar_reg | 14.9.2018 14:36 | CFAR_REG File | 20 KB |
| 2018257123612_000.cfar_reg | 14.9.2018 14:37 | CFAR_REG File | 18 KB |
| 2018257123646_000.cfar_reg | 14.9.2018 14:38 | CFAR_REG File | 16 KB |
| 2018257123719_000.cfar_reg | 14.9.2018 14:38 | CFAR_REG File | 14 KB |
| 2018257123752_000.cfar_reg | 14.9.2018 14:39 | CFAR_REG File | 18 KB |

Слика 4.3. Исекак из листинга долазног фолдера у командном центру

Фајлови који простижу са ОТН радара у мрежи без већег кашњења имају екстензију *cfar.reg*. У колико подаци са радара пристигну након 33 секунди од приспећа претходних података, тј. касне више од једног интеграционог периода, добиће екстензију *too.old*. и неће се користити у горе описаним алгоритмима. Као што се слике 4.3. може видети, у случају ведрога времена нема кашњења података, те се може рећи да алгоритми раде у оптималним условима.

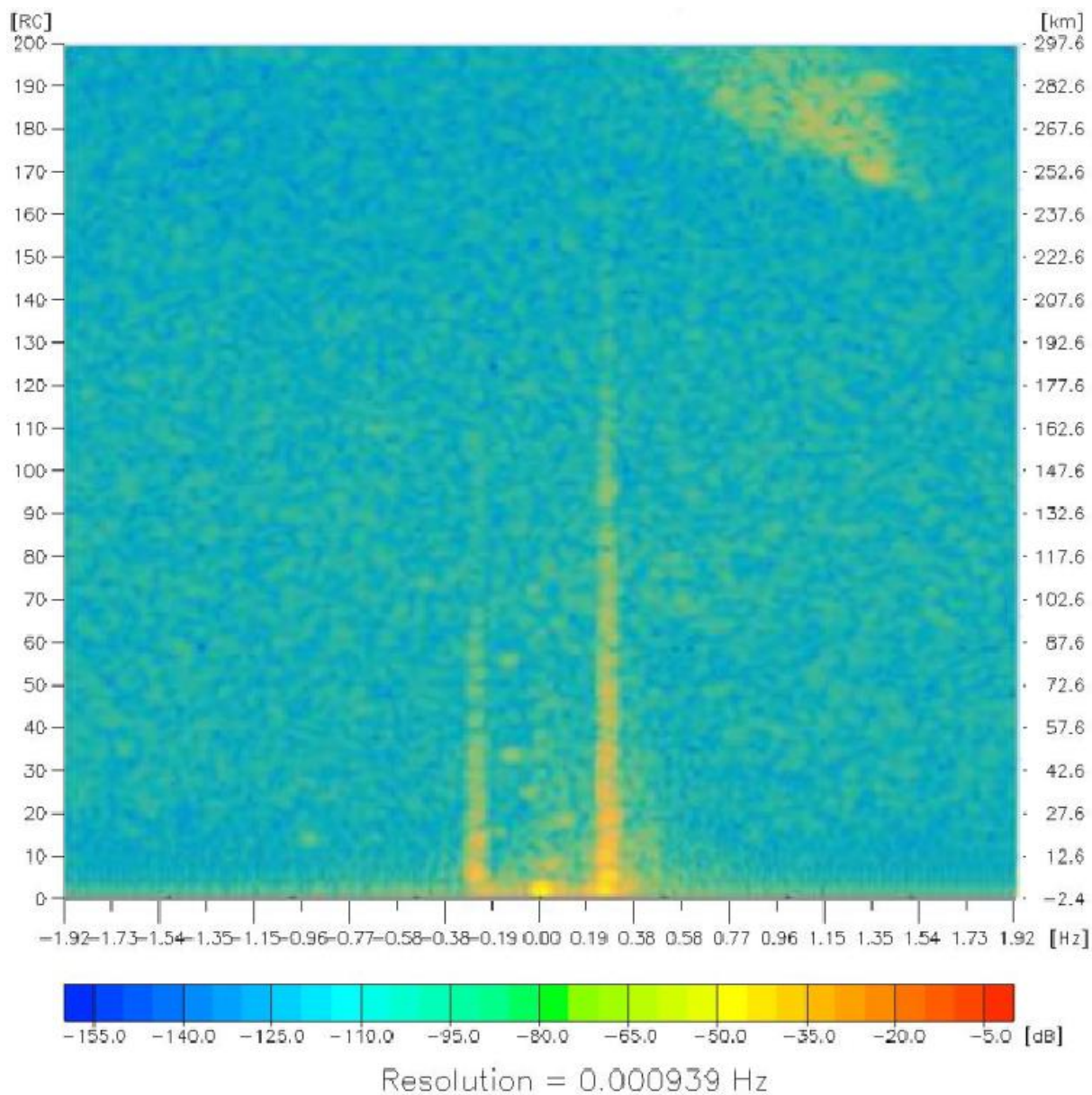
4.1.2. Анализа рада сензорске мреже у условима када на отвореном мору дува јак ветар, док је на положајима ОТН радара ведро

На слици 4.4. је приказан сателитски снимак невремена које је захватило део зоне осматрања ОТН радарске мреже.



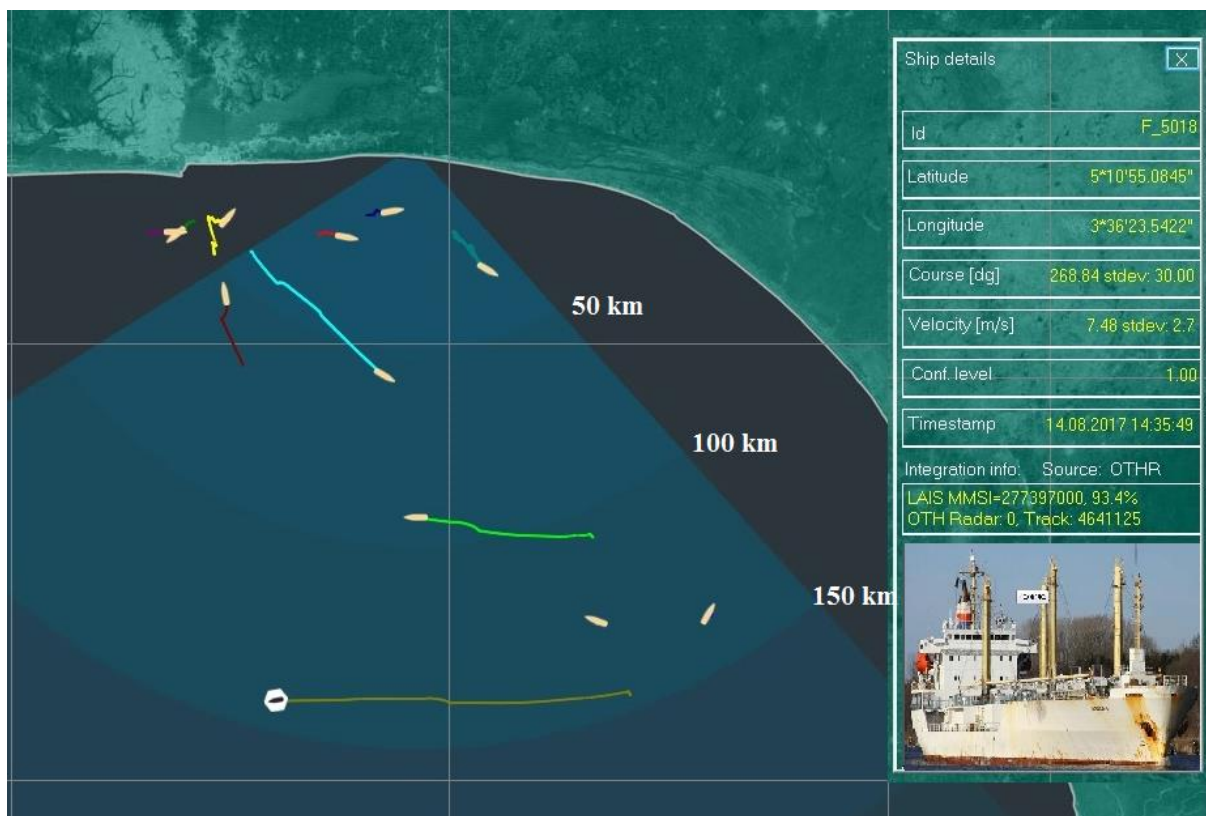
Слика 4.4. Невреме над делом зоне осматрања ОТН радарске мреже

Као што се са слике 4.4. може видети невреме није захватило саму обалу, али јесте већи део зоне покривања ОТН радара и проузрокује пораст висине таласа на мору. У оваквим временским условима домет ОТН радара се смањује због отежаних услова пропагације површинских таласа [17]. На RD мапама се ово манифестује смањеном дужином Брагових линија и порастом позадинског клатера, као што се са слике 4.5. може видети.



Слика 4.5. RD мапа у условима када на отвореном мору дува јак ветар

Простим упоређењем слика 4.5. и 4.1. може се видети да је дужина Брагових линија опала са готово 300 километара на једва 210 километара. Чим је дошло до оваквог пада океанографских перформанси ОТН радара, јасно је да су и могућности детекције тачкастих циљева (пловила) такође опале. На слици 4.6. приказане су детекцијске могућности једног ОТН радара у горе описаним условима.



*Слика 4.6. Детекцијске могућности ОТН радара у условима када у зони осматрања
дува јак ветар*

Као што се са слике 4.6. може видети домет ОТН радара је практично ограничен на 0,7 дужине Брагових линија. Другим речима, како је сходно слици 4.5. дужина Брагових линија око 210 км, то је и домет ОТН радара је практично 150 км. Како је циљ чији су подаци приказани на слици 4.6. на ивици зоне осматрања, детекције од којих је створен траг нису конзистентне и не појављују се у сваком интеграционом периоду, те се одржавање трага ради и на основу предикција, како оних добијених током процеса праћења циља од стране једног радара, тако и оних предсављених у глави 3.1. Овде треба нагласити да се детекциони фајлови са ОТН радара јављају у правилним размацима, као што се на слици 4.6. може видети.

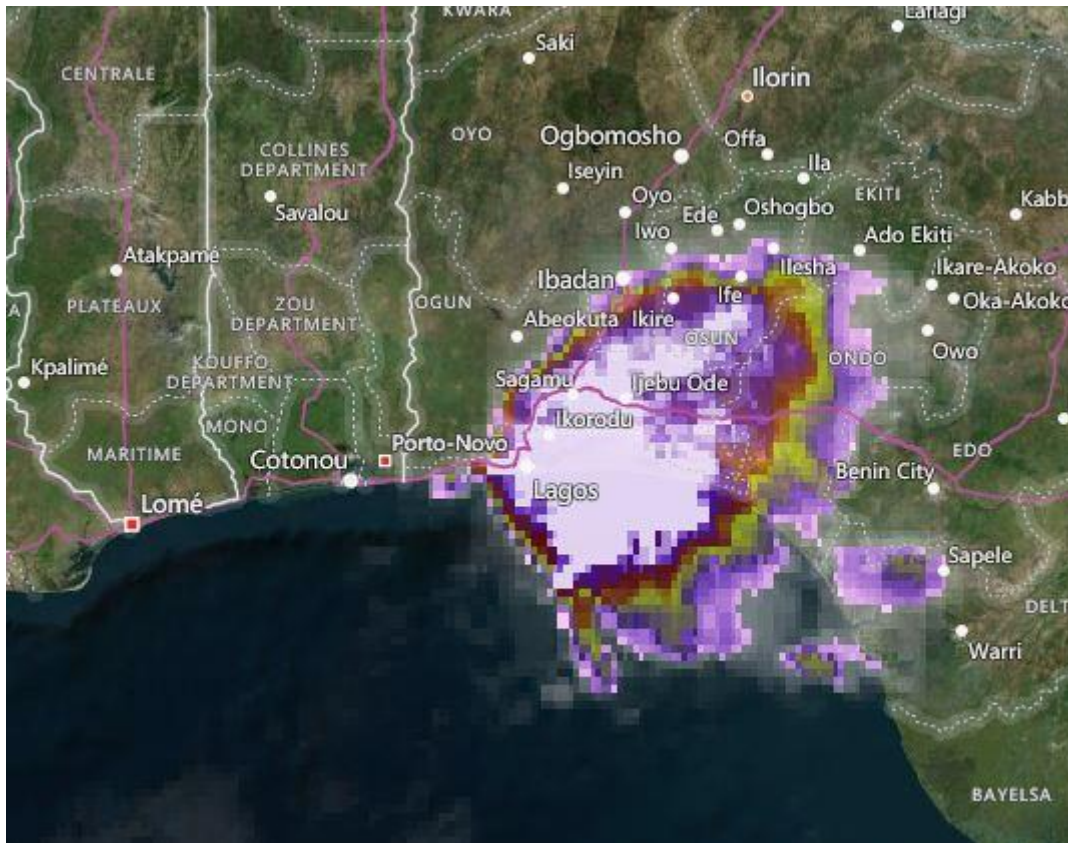
| | | | |
|----------------------------|-----------------|---------------|-------|
| 2017226120250_000.cfar_reg | 14.8.2017 14:04 | CFAR_REG File | 25 KB |
| 2017226120323_000.cfar_reg | 14.8.2017 14:04 | CFAR_REG File | 23 KB |
| 2017226120356_000.cfar_reg | 14.8.2017 14:05 | CFAR_REG File | 24 KB |
| 2017226120430_000.cfar_reg | 14.8.2017 14:06 | CFAR_REG File | 26 KB |
| 2017226120503_000.cfar_reg | 14.8.2017 14:06 | CFAR_REG File | 28 KB |
| 2017226120536_000.cfar_reg | 14.8.2017 14:07 | CFAR_REG File | 27 KB |
| 2017226120610_000.cfar_reg | 14.8.2017 14:07 | CFAR_REG File | 28 KB |
| 2017226120643_000.cfar_reg | 14.8.2017 14:08 | CFAR_REG File | 24 KB |
| 2017226120716_000.cfar_reg | 14.8.2017 14:08 | CFAR_REG File | 24 KB |
| 2017226120749_000.cfar_reg | 14.8.2017 14:09 | CFAR_REG File | 23 KB |
| 2017226120823_000.cfar_reg | 14.8.2017 14:09 | CFAR_REG File | 26 KB |
| 2017226120856_000.cfar_reg | 14.8.2017 14:10 | CFAR_REG File | 24 KB |
| 2017226120929_000.cfar_reg | 14.8.2017 14:11 | CFAR_REG File | 27 KB |
| 2017226121003_000.cfar_reg | 14.8.2017 14:11 | CFAR_REG File | 25 KB |
| 2017226121036_000.cfar_reg | 14.8.2017 14:12 | CFAR_REG File | 26 KB |
| 2017226121109_000.cfar_reg | 14.8.2017 14:12 | CFAR_REG File | 27 KB |
| 2017226121142_000.cfar_reg | 14.8.2017 14:13 | CFAR_REG File | 26 KB |
| 2017226121216_000.cfar_reg | 14.8.2017 14:13 | CFAR_REG File | 25 KB |
| 2017226121249_000.cfar_reg | 14.8.2017 14:14 | CFAR_REG File | 22 KB |
| 2017226121322_000.cfar_reg | 14.8.2017 14:14 | CFAR_REG File | 23 KB |

Слика 4.7. Исечак из листинга долазног фолдера у комнадном центру

Као што се слике 4.7. може видети, у случају ведрог времена над самим ОТН положајем нема кашњења података, али се не може рећи да алгоритми раде у оптималним условима, јер долази до спорадичних изостанака појединих детекција. Треба напоменути то да у оваквим условима долази до пораста броја лажних аларма које ОТН радари детектују, али се они успешно могу отклонити на нивоу алгоритма за праћење једног радара. Иако их на слици 4.6. нема, то је пре изузетак него правило.

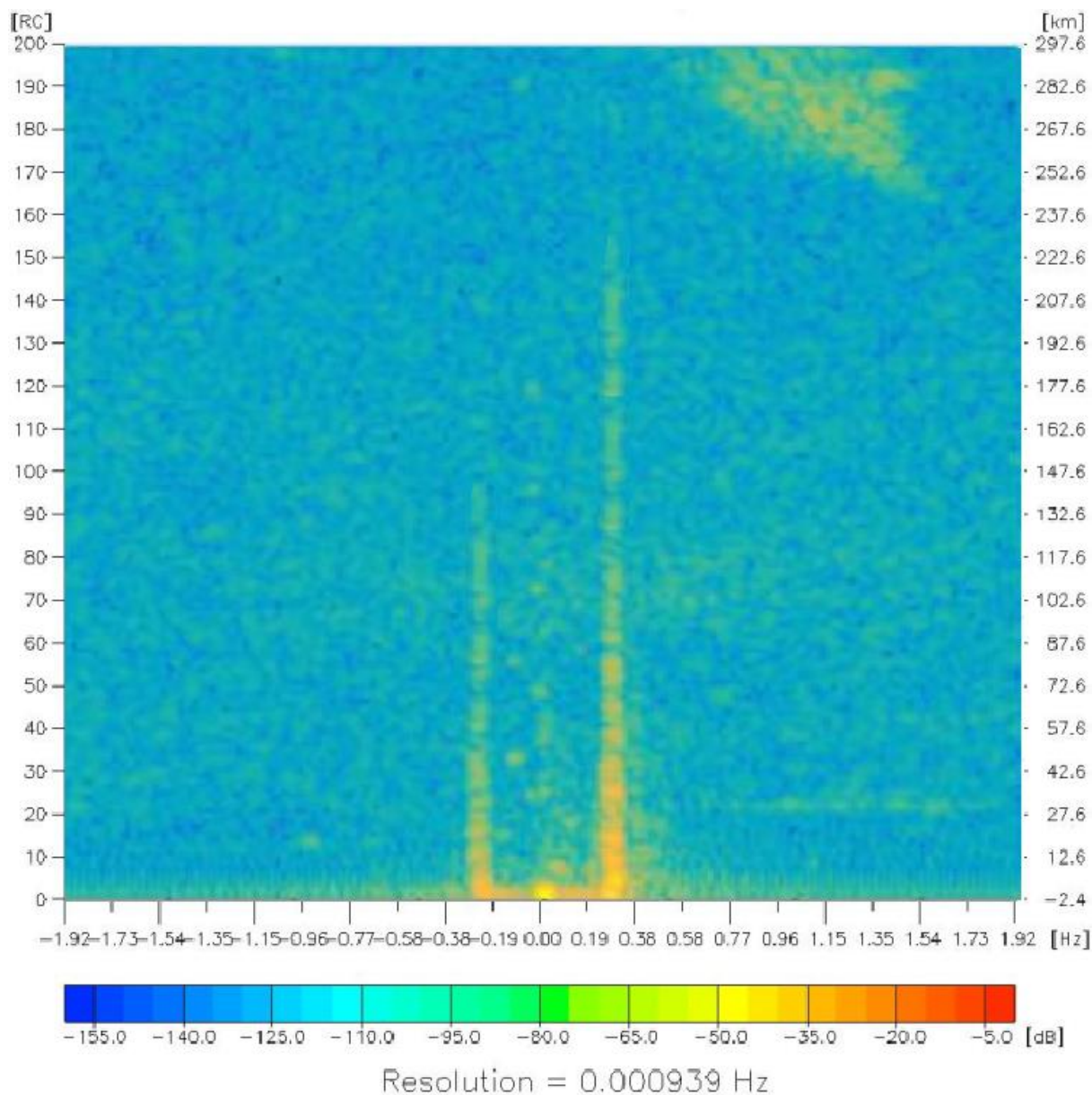
4.1.3. Невреме (јака киша и ветар) на положајима ОТН радара, а које делимично захвата и зону осматрања

На слици 4.8. је приказан сателитски снимак невремена које је захватило саме ОТН радарске положаје, а мањим делом се проширило на зону осматрања.



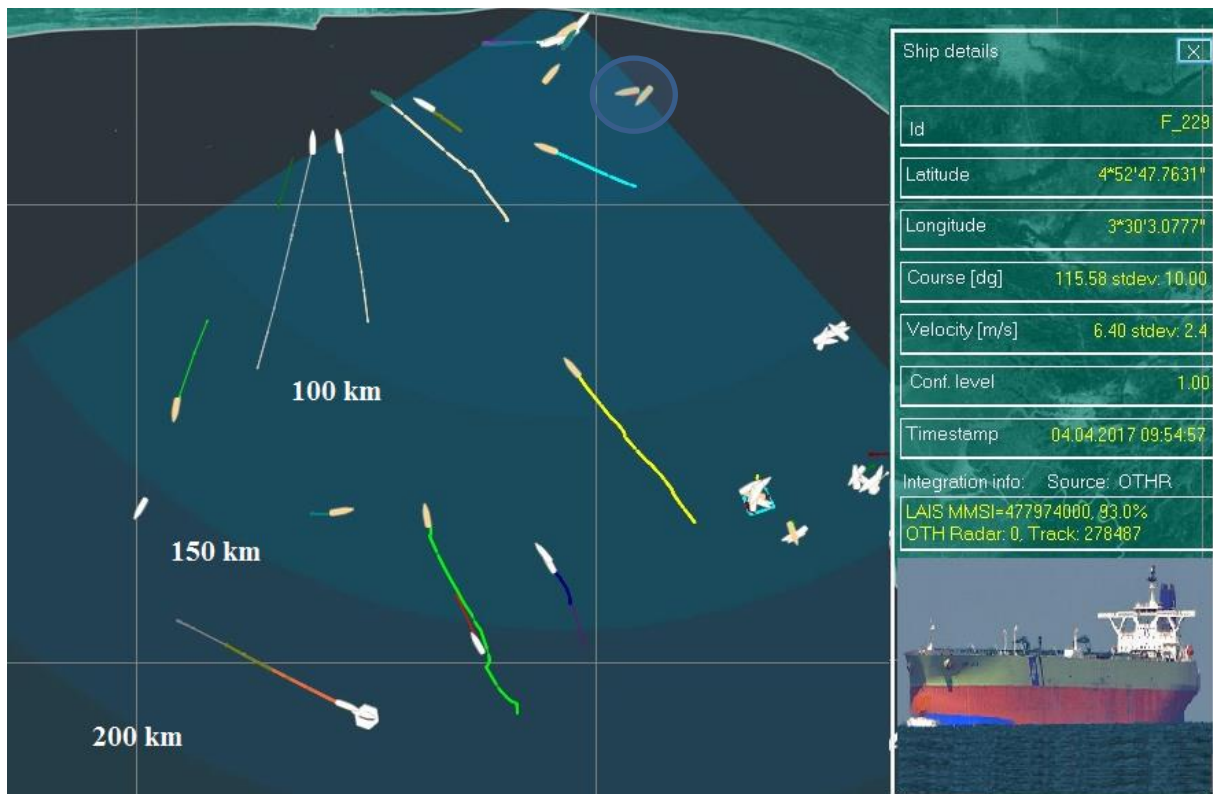
Слика 4.8. Невреме над ОТН радарским положајима које делимично захвата и зону осматрања

Као што се са слике 4.8. може видети невреме је захватило саму обалу на којој су ОТН радари инсталирани, али већи део зоне покривања ОТН радара није захваћен. И у оваквим временским условима домет ОТН радара ће се смањити због отежаних услова пропагације површинских таласа [17], али то умањење није тако драстично као оно у претходном примеру. На RD мапама се ово манифестује смањеном дужином Брагових линија и порастом позадинског клатера, као што се са слике 4.5. може видети.



Слика 4.9. RD мапа у условима када је невреме присутно на ОТН радарским положајима, а које делимично захвата и зону осматрања

Простим упоређењем слика 4.9, 4.5. и 4.1. може се видети да је дужина Брагових линија опала са готово 300 километара на око 250 километара, али пад није драстичан као на слици 4.5. (210 км) . Чим је дошло до пада океанографских перформанси ОТН радара, јасно је да су и могућности детекције тачкастих циљева (пловила) такође опале. На слици 4.10. приказане су детекцијске могућности једног ОТН радара у горе описаним условима.



Слика 4.10. Детекцијске могућности ОТН радара у условима када је невреме присутно на ОТН радарским положајима, а које делимично захвата и зону осматрања

Као што се са слике 4.10. може видети домет ОТН радара је практично ограничен на 0,7 дужине Брагових линија. Другим речима, како је сходно слици 4.9. дужина Брагових линија око 250 км, те је и домет ОТН радара је практично 180 км. Како је циљ чији су подаци приказани на слици 4.10. на ивици зоне осматрања, детекције од којих је створен траг нису конзистентне и не појављују се у сваком интеграционом периоду, те се одржавање трага ради и на основу предикција. Овде треба нагласити да се детекциони фајлови са ОТН радара не добијају у правилним размацима, јер је сателитска комуникација врло отежана, услед јаке кише на самим положајима.

| | | | |
|----------------------------|---------------|---------------|-------|
| 2017094033950_000.cfar_reg | 4.4.2017 5:41 | CFAR_REG File | 5 KB |
| 2017094034007_000.cfar_reg | 4.4.2017 5:41 | CFAR_REG File | 7 KB |
| 2017094034040_000.tooOld_0 | 4.4.2017 5:42 | CFAR_REG File | 10 KB |
| 2017094034113_000.cfar_reg | 4.4.2017 5:42 | CFAR_REG File | 11 KB |
| 2017094034146_000.cfar_reg | 4.4.2017 5:43 | CFAR_REG File | 11 KB |
| 2017094034220_000.tooOld_0 | 4.4.2017 5:43 | CFAR_REG File | 8 KB |
| 2017094034253_000.cfar_reg | 4.4.2017 5:44 | CFAR_REG File | 10 KB |
| 2017094034326_000.cfar_reg | 4.4.2017 5:45 | CFAR_REG File | 10 KB |
| 2017094034360_000.tooOld_0 | 4.4.2017 5:45 | TOOOLD_0 File | 9 KB |
| 2017094034433_000.cfar_reg | 4.4.2017 5:46 | CFAR_REG File | 9 KB |
| 2017094034506_000.cfar_reg | 4.4.2017 5:46 | CFAR_REG File | 10 KB |
| 2017094034539_000.cfar_reg | 4.4.2017 5:47 | CFAR_REG File | 9 KB |
| 2017094034613_000.cfar_reg | 4.4.2017 5:47 | CFAR_REG File | 8 KB |
| 2017094034646_000.tooOld_0 | 4.4.2017 5:48 | CFAR_REG File | 9 KB |
| 2017094034719_000.tooOld_0 | 4.4.2017 5:48 | CFAR_REG File | 9 KB |
| 2017094034753_000.cfar_reg | 4.4.2017 5:49 | CFAR_REG File | 11 KB |
| 2017094034826_000.cfar_reg | 4.4.2017 5:50 | CFAR_REG File | 12 KB |

Слика 4.11. Исечак из листинга долазног фолдера у командном центру

Као што се слике 4.11. може видети, у случају јаке облачности времена над самим ОТН положајем долази до повремених прекида у сателитској комуникацији. Самим тим долази до кашњења података (фајлови са too_old екстензијом на слици 4.11.), те алгоритми морају вршити ОТН предикције радарских трагова и на основу њих одржавати трагове. Упркос свему томе, као што се са слике 4.10. може видети, алгоритми успевају да одржавају трагове стабилним, чиме се недвосмислено доказује њихова исправност и употребна вредност. Треба напоменути то да у оваквим условима долази до пораста броја лажних аларма које ОТН радари детектују. Примера ради, на слици 4.10. могу се уочити два врло блиска циља на око 25 км од ОТН радара и на 60° источно (циљеви који се налазе у плавом кругу). Највероватније је да је један од ова два циља лажан, јер је врло брзо нестао са екрана.

4.2. Анализа рада сензорске мреже у условима јаких атмосферских поремећаја, па и метео – цунамија

Термин „цунами” потиче из јапанског језика и у дословном преводу значи „лучки талас”, с обзиром да га чине два јапанска знака 津 (tsu) који значи „лука” и 波 (nami), који значи „талас”. Иако „одомаћен”, овај термин није потпуно прецизан, пошто ова појава није ограничена на само луке, већ су све приобалне регије у свету у опасности од исте. Ипак, данас је термин „цунами” најшире прихваћен међу геолозима и океанографима, а и од стране шире јавности, те ћемо га и овде користити.

Главни механизам настанка цунамија је померање огромне запремине воде или како се то у океанографији каже пертурбација мора [18]. Овакво масивно померање воде је најчешће проузроковано земљотресима или вулканским ерупцијама, мада у ређим случајевима кретање ледника или пак клизишта може бити узрок појаве цунамија [78].

Да узмемо земљотрес као пример. У том случају, цунами таласи се формирају када се хипоцентар врло снажних земљотреса налази на дну мора, тј. када при тектонским померајима дође до већег вертикалног померања (денивелације) морског дна. То обично може бити померај од неколико метара, а у неким случајевима чак и преко 10 метара уколико је у питању снажан земљотрес. Ово проузрокује наглу промену положаја дела морског дна у зони епицентра земљотреса, што као последицу ствара нагли скок нивоа воде. Тако створени талас брзо се креће ка обалама достижући брзине од чак 900 km/h. Када у приобалном делу талас допре до плитких делова, настаје цунами ефекат који се манифестује наглим смањењем брзине кретања таласа, али и наглим порастом његове висине, која може премашити и више десетина метара. Математичким језиком речено, брзина простирања цунами таласа дата је једначином (28):

$$v = \sqrt{gH} \quad (28)$$

где су:

- g – убрзање силе Земљине теже и
- H – дубина мора.

Битно је напоменути да се таласи формирани на овај начин одржавају гравитацијом, а не механизмима плиме и осеке, што се из горње једначине лако може закључити.

Поред горе поменутих појава, постоје и космичке појаве, као што су удари метеорита, које могу узроковати стварање цунамија, а ту је и човек, који може

проузроковати појаву цунамија својим деловањем, најчешће извођењем нуклеарних проба.

4.2.1. Појам метео – цунами

Посебну врсту цунами таласа представљају тзв. „метео – цунами” таласи.

Ови таласи су проузроковани деловањем атмосферских појава и за разлику од свих других цунамија не крећу се радијално од места настака, већ искључиво у правцу кретања метеоролошке појаве која их је изазвала. Метеоролошки цунами (или метеоцунами) су увек локални догађаји и могу постати енергични само због вишеструких резонанци, као што су Проудманова или Гринспанова [17], [79]. Ови таласи су углавном повезани са атмосферским гравитационим таласима, скоковима притиска, пролазима атмосферских фронтова итд., које обично стварају баротропне морске таласе на отвореном океану и појачавају их у близини обале помоћу посебних резонантних механизма. Наглим порастом ваздушног притиска ниво мора пада и морска површина реагује на то стварајући таласе. Ако је брзина ширења олујног фронта дуж обале готово једнака брзини којом се крећу морски таласи, висина таласа може расти као да је талас гоњен поремећајем притиска, с обзиром да се морска површина "притиска" више пута. Талас генерисан олујним фронтовима може расти преко горе наведеног механизма.

Док свакодневни таласи генерисани ветром имају таласну дужину до 150 м и релативну висину од 2 до 3 м, цунами у дубоком океану има таласну дужину од око 200 км. Због огромне таласне дужине талас може бити нижи од 0,5 м. Због тога је цунами тешко детектовати у дубоким водама, док брод може прећи преко истог не приметивши га [80]. Како се цунами приближава обали, те воде постају плитке, талас се сажима и његова брзина опада. Његова таласна дужина смањује се на мање од 20 км, док његова висина енормно расте, чиме се ствара изразито видљив талас. За очекивати је да ће цунами постати читији с повећањем висине таласа како се дубина воде смањује. Битно је нагласити да се метео – цунами може формирати и у плићим водама и након тога се простирати у правцу дубоких вода. У том случају, талас је видљив практично одмах након формирања, а након преласка у дубоке воде долази до смањења његове висине. Битно је приметити да без обзира на правац простирања метео – цунамија, он је увек изазван метео појавама и без њих се не може одржати. Другим речима, након престанка појаве која га је изазвала, метео – цунами се одржава помоћу инерције још краћи временски период, након чега у потпуности нестаје.

4.2.2. Детекција (метео) цунамија помоћу ОТН радара

ОТН радар не може директно измерити висину таласа долазећег цунамија, међутим, он може измерити брзину површинске струје коју ствара цунами. Као што је детаљно објашњено у [17] и [80], максимална брзина површинске струје таласа који се креће са дубине D на дубину d дата је једначином (29):

$$V_0 = a(D) \sqrt{\frac{g}{d}} \left(\frac{D}{d}\right)^{\frac{1}{4}} \quad (29)$$

где су:

- g убрзање силе Земљине теже и
- $a(D)$ иницијална елевација таласа

Горња једначина представља примену тзв. линеарне таласне теорије (енг. linear wave theory) [81], како би се предвидела брзина простирања цунами таласа. Резултати примене линеарне теорије таласа на процену брзину цунамија, као функцију дубине воде, су представљени у облику графова под одређеним (реалним) претпоставкама у [17] и [80]. Брзина простирања површинске струје индукване цунамијем, могу се тачно измерити помоћу ОТН радара. Осетљивост ОТН радара у одређивању брзине површинске струје строго зависи од централне фреквенције радара f и кохерентног времена интеграције (енг. *coherent integration time*) T_{CI} и представљена је помоћу прага разлучивости брзине V_{Thr} , који практично дефинише минималну брзину струје коју ОТН радар може детектовати и дефинисан је једначином (30).

$$V_{Thr} = \frac{c}{2fT_{CI}} \quad (30)$$

где је c брзина светлости. Све брзине струје изазване цунамијем са вредностима изнад ових прагова имају не-нулту вероватноћу да буду детектоване. На пример, ако је $T_{CI} = 133$ s и $f = 6,9$ MHz, минимална брзина коју ОТН радар може детектовати је 16 cm / s.

Самим тим, снажна промена површинске струје може се детектовати и пратити ОТН радарским системом у реалном времену. Детаљан опис како тачно измерити површинске струје дат је у [82-84].

На основу постојећих мерења цунамија, захтеви за интеграцију ОТН радарских система у систем за рано узбуђивање су дефинисани у [85]. Захтеви укључују високу резолуцију, узак главни лоб пријемног антенског низа и истовремено широк сноп предајног

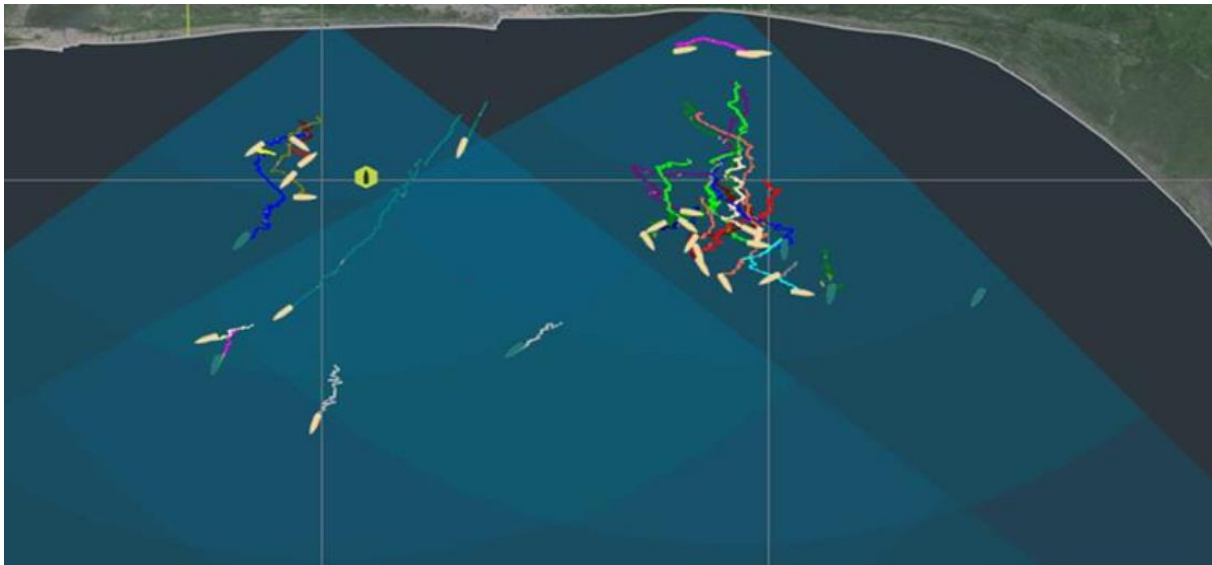
антенског низа, као и брзо ажурирање података, како би се омогућило откривање цунамија у обали у реалном времену. Пример детекције метео – цунамија у Гвинејском заливу помоћу ОТН радара дат је у [86].

Очигледно је да се "потписи" цунамија морају открити што даље од обале, како би се обезбедило довољно времена за упозорење. Стога је веома пожељно да се обезбеди мерења до ивица континенталне плоче како би се одмах уочиле динамичке промене изазване цунамијем, што ОТН радарске системе чини идеалним за овај задатак јер су они у стању да детектују површинске струје изван линије хоризонта. Будући да је компромис између прецизности мерења брзине површинске струје и површине зоне покривања неизбежан и представља пресудни аспект за употребу ОТН радара за рано откривање цунамија. Практично, свако поднебље захтева специфичну оптимизацију радних параметара ОТН радара, као што су радна фреквенција, предајна снага, добитак антенског низа, време кохерентне интеграције сигнала итд., како би резултати били на највишем нивоу. Ипак потпуно оптимизовани ОТН радарски систем омогућава истовремено добру прецизност одређивања брзине површинске струје и пространу зону покривања.

4.2.3. Ефекат метео-цунамија на детекцију пловила

Поред тога што могу изазвати велику материјалну штету, па и губитке људских живота, метео цунамији и појаве сличне њима могу изазвати низ других проблема. Један од тих проблема је појава великог броја лажних аларма у системима за надгледање мора заснованих на ОТН радарима. Наиме, приликом пропагације таласа проузрованог метео – цунамијем, или сличном појавом, јавља се више таласа који на одређеним деловима могу имати висину значајно различиту од околних таласа. Ови виши таласи са становишта ОТН радара представљају тачкасте рефлекторе, који се крећу брзинама упоредивим са брзинама бродова, те се у процесу примарне радарске обраде не могу готово уопште отклонити. Ово доводи до пораста броја лажних аларма које генерише ОТН радар. Да ствар буде још гора, како су таласне дужине ових таласа над континенталном плочом мање од резолуционе ћелије радара, следи да радар генерише лажне плотове који се крећу реалним брзинама и налазе се унутар области радијуса очекивања алоритма за праћење (енг. tracking algorithm). Јасно је да ће процедура за асоцијацију података унутар алгоритма за праћење ове плотове препознати као реалне

циљеве и формирати трагове на основу њих. Крајњи резултат се може видети на слици 4.11.



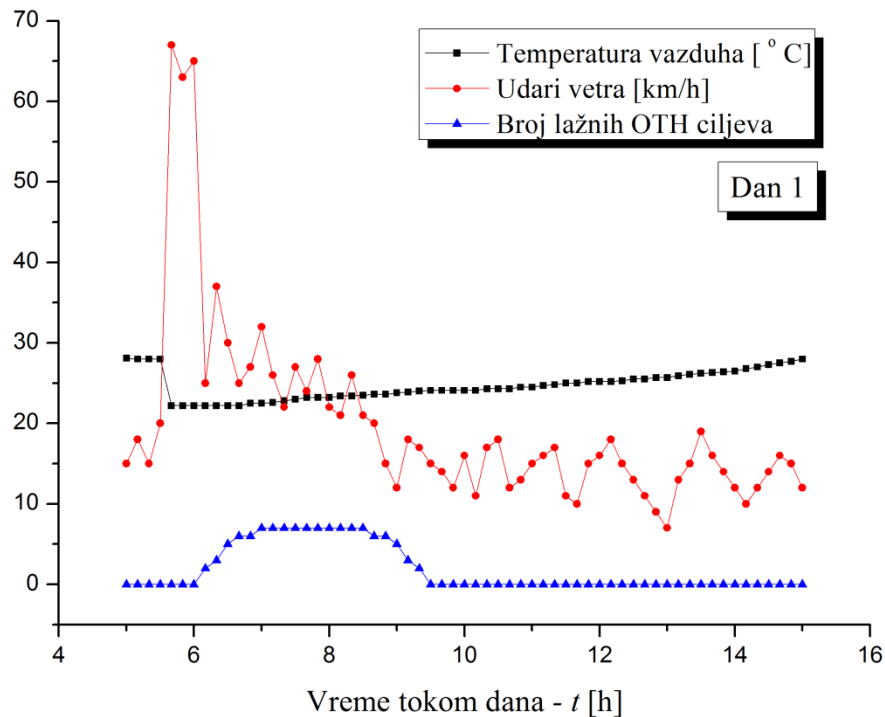
Слика 4.12. Пример лажних трагова проузрокованих метео – цунамијем

Са слике 4.12. јасно се може уочити велики број лажних трагова, који се не могу интегрирати ни са једним AIS податком, јер реално не постоје. Овакав пораст броја неидентификованих пловила лако може произвести узбуну у командном центру и проузроковати хитну акцију власти. Да би се ови непостојећи трагови уклонили и спречила лажна узбуна, у следећој глави биће предложен емпиријско – неуронски модел који ова лажна пловила правилно препознаје као продукте појава сличних метео – цунамијима и уклања их из система.

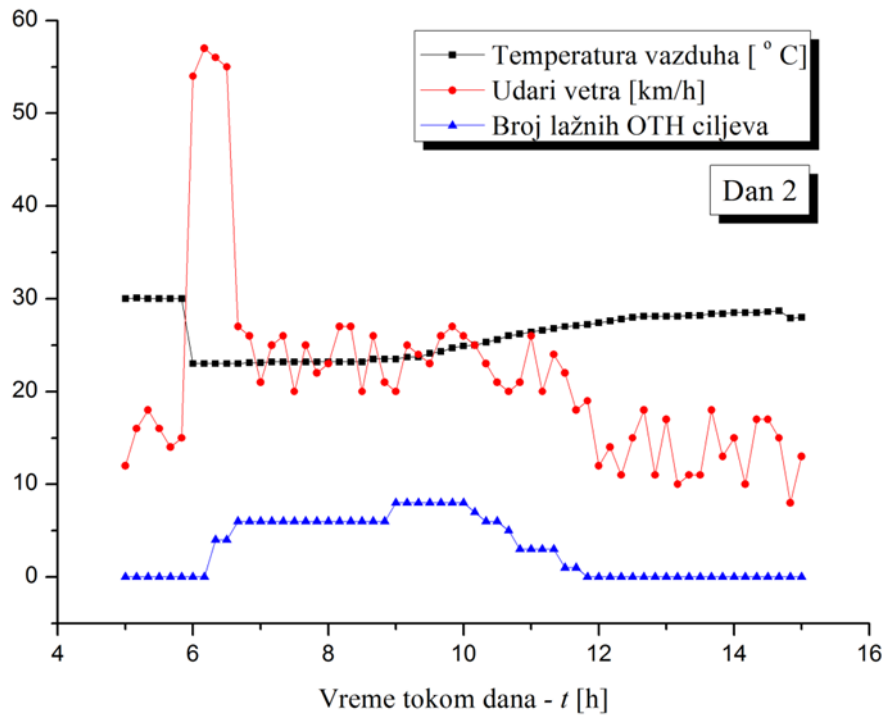
4.3. Хибридни емпиријско–неуронски модел за редукцију лажних аларма

Као што је већ речено у претходном поглављу, као резултат појаве јаких атмосферских поремећаја у области која се надгледа ОТН сензорском мрежом настају формације таласа која се знатно разликују од околних таласа и који се од стране радара детектују као нови, физички непостојећи циљеви који последично могу проузроковати лажне аларме. На настанак и интензитет ових таласа током времена утичу промене физичког стања атмосфере у посматраној области. Са циљем да се демонстрира повезаност промене физичког стања атмосфере и настанак, промена интензитета и нестанак таласа који проузрокују детекцију лажних циљева у одређеном временском периоду, на сликама 4.13 – 4.16 су редом приказане промене температуре атмосфере, брзине удара ветра као и броја лажних ОТН циљева, добијене мерењима у реалном

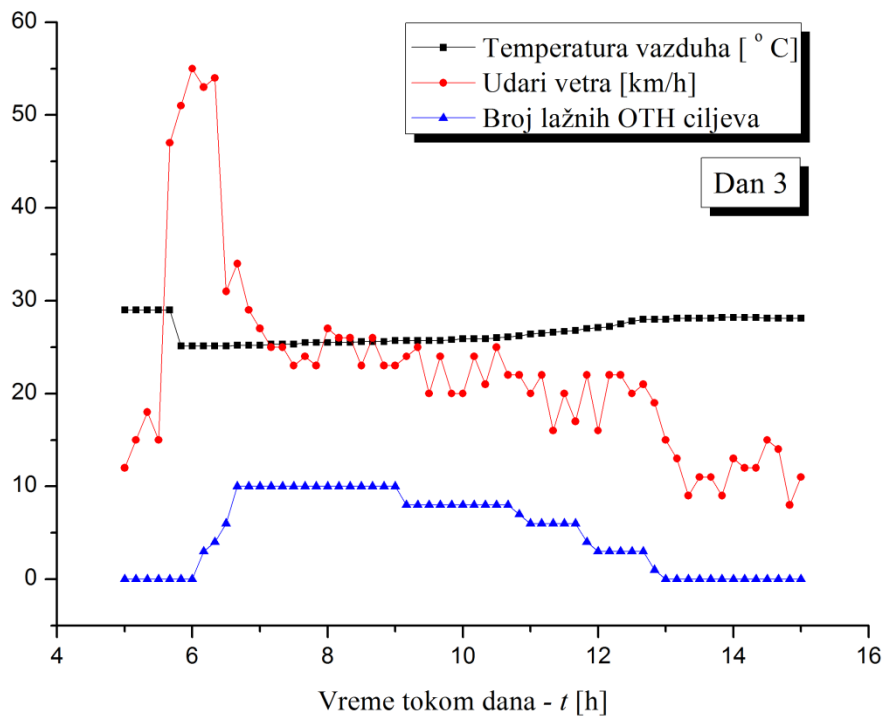
времену за дане у којима се појавио метео-цунами. Мерења температуре и брзине удара ветра су извршена у хидрометеоролошкој станици у рејону ОТН радарске мреже Гвинејског залива. Она су извршена за дане: Дан 1: 25. април 2018. год. (Слика 4.13), Дан 2: 10. октобар 2018. год. (Слика 4.14), Дан 3: 30. јануар 2019. год. (Слика 4.15) и Дан 4: 9. фебруар 2019. год. (Слика 4.16).



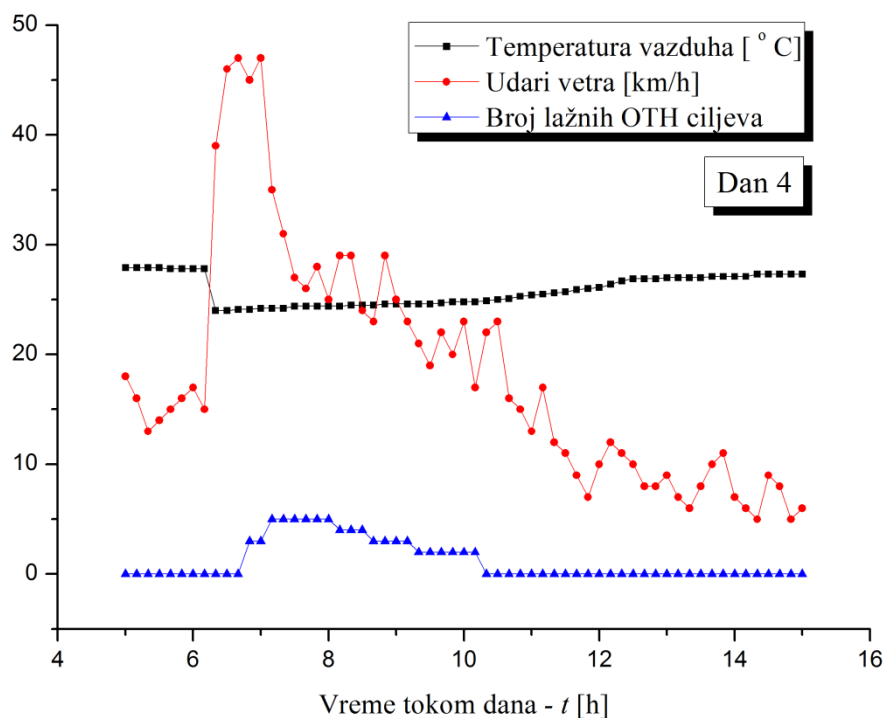
Слика 4.13. Приказ промене температуре атмосфере, брзине удара ветра као и броја лажних ОТН циљева добијене мерењима током 25. априла 2018. год.



Слика 4.14. Приказ промене температуре атмосфере, брзине удара ветра као и броја лажних ОТН циљева добијене мерењима током 10. октобра 2018. год.



Слика 4.15. Приказ промене температуре атмосфере, брзине удара ветра као и броја лажних ОТН циљева добијене мерењима током 30. јануара 2019. год.



Слика 4.16. Приказ промене температуре атмосфере, брзине удара ветра као и броја лажних ОТН циљева добијене мерењима током 9. фебруара 2019. год.

Мерени подаци приказани на сликама 4.13 – 4.16. показују да је зависност промене броја лажних ОТН циљева од промене физичких параметара атмосфере веома сложена и да се не може једноставно исказати аналитичким путем. Ипак, грубом анализом мерених података могу се уочити следеће приближне законитости:

- Непосредно пре формирања таласа долази до наглог пада тампературе ваздуха за 4° до 7° С.
- Непосредно пре формирања првих таласа, у исто време кад долази до нагле промене температуре ваздуха, долази и до наглог пораста удара ветра са неких приближно 15-20 km/h на 50-60 па и више km/h.
- Развој ситуације на површини мора, као и повећање висине таласа који се манифестују појавом и постепеним растом броја лажних ОТН циљева почиње са временским кашњењем од неких 30-так минута. Ова латенција се објашњава инертношћу водене масе мора и потребом да се од стране ветра морским таласима преда довољно кинетичке енергије да би досегли критичну висину која је потребна за генерисање лажних одраза.

- Након достизања свог максимума, промена броја лажних ОТН циљева приближно прати тренд промене удара ветра. У исто време температура ваздуха се повећава ка вредности пре почетка мето-цунамија.

- Лажни циљеви нестају приближно када се ветар смири и удари ветра падну испод 15-20 km/h а температура ваздуха се повећа за приближно 3 до 4 °C.

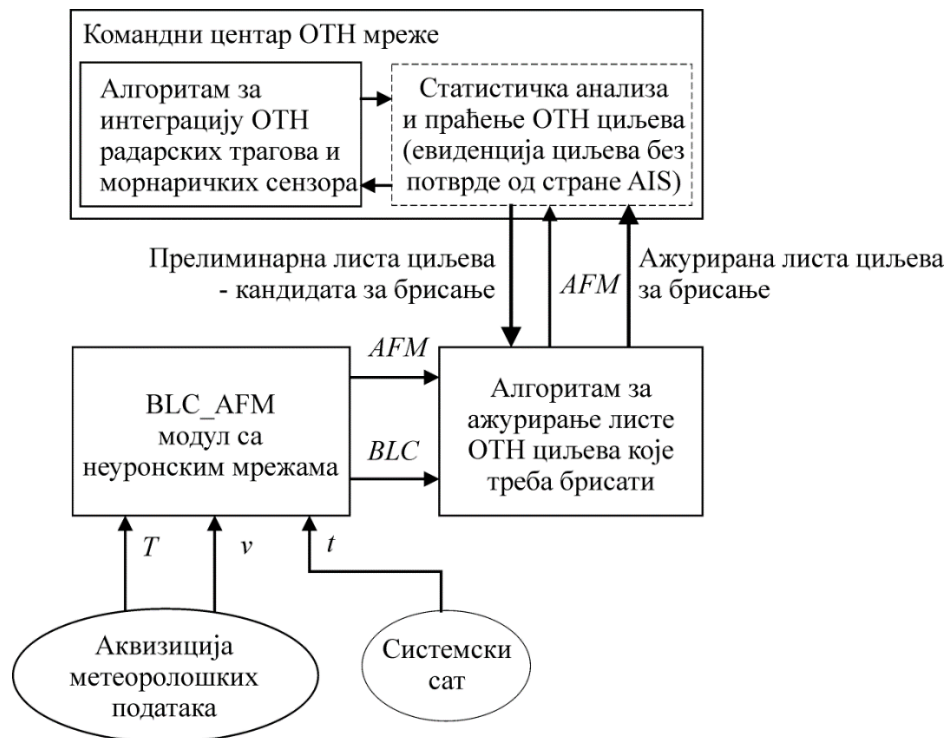
Вештачке неуронске мреже [19-21] представљају веома погодан алат за развој модела који се баве високодимензионалним и високонелинеарним функционалним зависностима које се не могу описати математичким једначинама у затвореном облику и које су карактеристичне за проблеме чија физичка природа још увек није сасвим позната. Неки од таквих проблема из домена антена и простирања електромагнетских таласа који су решавани применом модела заснованих на вештачким неуронским мрежама описани су у [87-94].

Вештачка неуронска мрежа представља високопаралелизовану дистрибуирану архитектуру која је састављена од јако повезаних малих процесних јединица – неурона [19-21]. Оваква архитектура омогућава да се помоћу модела заснованог на вештачкој неуронској мрежи моделују претходно поменути типови проблема уз брз проток сигнала са улаза на излаз. Поред тога, вештачке неуронске мреже се не програмирају да извршавају унапред познате функционалне зависности, већ оне те функционалне зависности уче на основу скупа решених примера [19-21] и [87-94]. Након успешног завршетка процеса учења, вештачка неуронска мрежа је способна да даје решења не само за решене примере који су јој представљени током обуке, већ врши предикцију решења и за примере који нису били присутни током обуке. Ова особина се назива способност генерализације проблема. Ова способност омогућава да се помоћу модела заснованих на вештачким неуронским мрежама моделују проблеми чија физичка природа још није довољно позната, као што је у нашем случају горе поменути проблем зависности броја лажних ОТН циљева од физичких параметара који описују јаке атмосферске поремећаје у зони осматрања. У следећој глави биће описан хибридни емпиријски-неуронски модел за решавање овог проблема и редукацију лажних аларма, који комбинује постојеће емпиријско искуство у праћењу ОТН циљева и све наведне предности коришћења вештачких неуронских мрежа у решавању оваквих типова проблема.

4.3.1. Архитектура хибридног емпиријско–неуронског модел за редуkcију лажних аларма

Основни задатак хибридног емпиријско–неуронског модела за редуkcију лажних аларма је да на основу вредности физичких параметара који описују јаке атмосферске поремећаје, узрочнике метео-цунамија у зони осматрања ОТН сензорске мреже, и у условима промене вредности тих параметара у реалном времену, процени број лажних циљева који се детектују од стране ОТН радара и да такве циљеве елиминише из даљег праћења. Тренутно достигнута верзија модела која је представљена у овом раду узима у обзир следеће параметре: температуру ваздуха (T), брзину удара ветра (v) и време у току дана (t). На слици 4.17. приказана је архитектура хибридног емпиријско–неуронског модел за редуkcију лажних аларма. Она се састоји из три компоненте:

- BLC_AFM модула са вештачким неуронским мрежама,
- алгорита за ажурирање листе ОТН циљева које треба брисати и
- процеса који врши анализу и праћење циљева са евиденцијом и даљом манипулацијом циљевима који немају потврду од стране AIS-а.



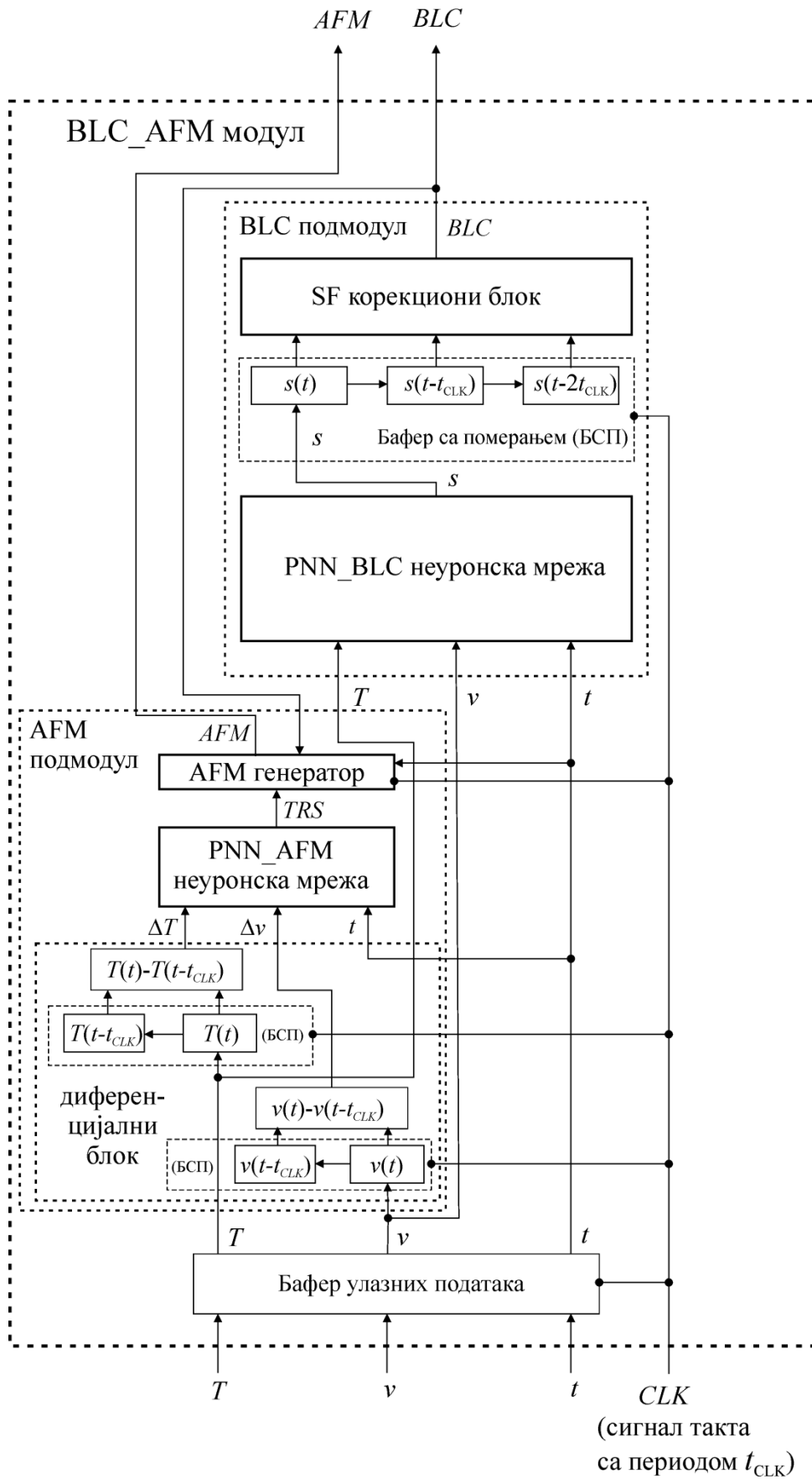
Слика 4.17. Архитектура хибридног емпиријско-неуронског модела за редуkcију лажних аларма

4.3.2. VLC_AFМ модул са вештачким неуронским мрежама

Основна намена VLC_AFМ модула са вештачким неуронским мрежама је да на основу вредности температуре ваздуха (T) и брзине удара ветра (v) које у реалном времену добија са аквизиционог подсистема метеоролошких података који је повезан на метеоролошку станицу ОТН сензорске мреже, и времена у току дана (t) које добија са системског сата, извршава два кључна задатка:

- Откривање метеоролошког стања непосредно пред почетак атмосферског поремећаја и временског тренутка када такво стање наступа и када се надаље очекује појава лажних ОТН циљева проузрокованих високим морским таласима, као и откривање стања и временског тренутка када је поремећај завршен и када се више не очекује појава лажних циљева. Овај задатак се репрезентује преко Активационе Функције Модула (AFM) која има два стања која се кодирају високим и ниским нивоом сигнала. Ова функција је је у периоду између два горе поменута стања на високом нивоу сигнала, док је изван тог временског периода на ниском нивоу сигнала. Висок ниво AFM сигнала указује процесу у командном центру који се бави праћењем ОТН циљева да је атмосферски поремећај, близак метео-цунамију у току и да у том периоду мора да се пребаци у специјални режим рада који подразумева откривање и елиминацију лажних ОТН циљева проузрокованих високим морским таласима.
- Процена броја лажних ОТН циљева проузрокованих високим морским таласима у реалном времену. Овај број лажних циљева је представљен преко дискретног VLC излаза модула.

Архитектура VLC_AFМ модула је приказана на слици 4.18. Може се видети да се овај модул састоји од два подмодула: AFM подмодула и VLC подмодула. AFM подмодул је задужен за извршење првог од два горе поменутих задатака тако да он контролише AFM излаз модула, док је VLC подмодул задужен за извршење другог задатка тако да он контролише VLC излаз модула. И један и други подмодул за извршење свог задатка користе засебну обучену вештачку неуронску мрежу истог типа које су саставни делови оба подмодула. Тип мреже који се користи је PNN (Енг. Probabilistic Neural Network) те ће архитектура овог типа мреже бити детаљно представљена у следећем поглављу.

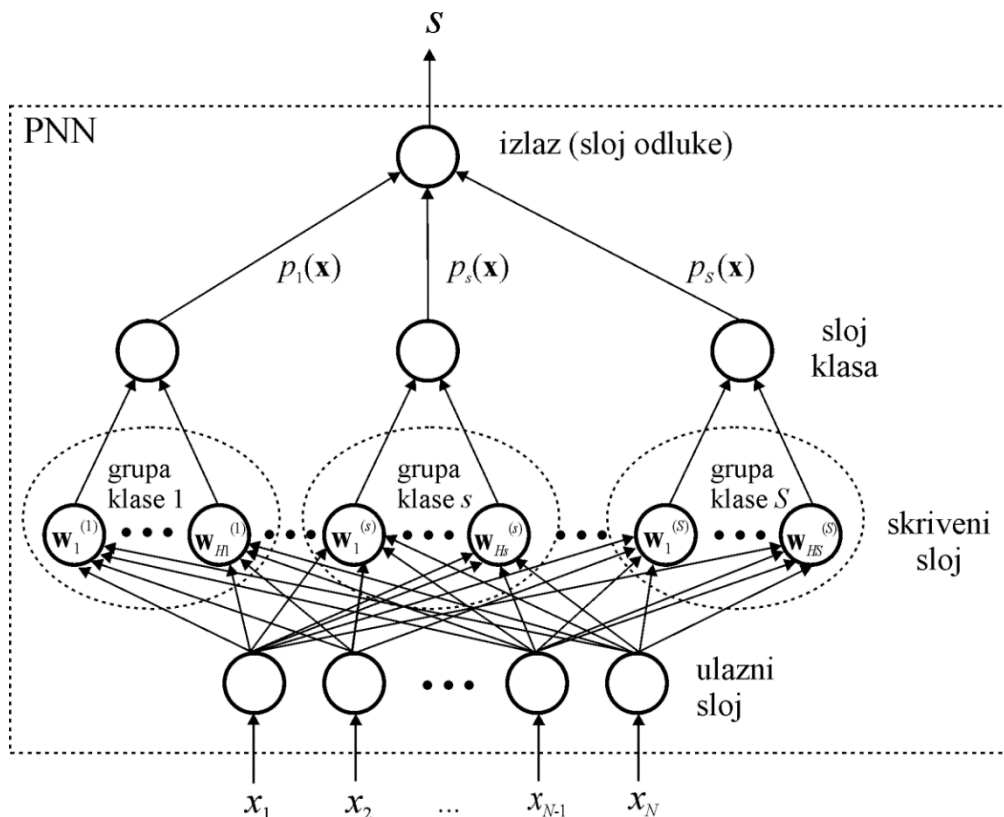


Слика 4.18. Архитектура BLC_AFM модула

4.3.2.1 PNN (Probabilistic Neural Network)

Архитектура вештачке неуронске мреже PNN (Енг. Probabilistic Neural Network) [22], [94-96] типа или краће PNN архитектура дата је на слици 4.19. Она се састоји од улазног слоја, скривеног слоја, слоја класа и излазног слоја односно слоја одлуке. Задатак ове неуронске мреже је да изврши класификацију узорка сигнала из домена проблема представљеним вектором улазних променљивих $\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_N]$, где је N број улазних променљивих, односно да одреди којој класи припада узорак који се доводи на улаз мреже у односу на скуп детерминисаних класа узорака из домена разматраног проблема $S = \{1, 2, \dots, S\}$, где S представља укупан број класа узорака. У складу са овим PNN врши пресликавање скупа узорака сигнала $X = \{x_1, x_2, \dots, x_P\}$ који се доводе на улаз мреже и где P представља укупан број узорака, у скуп дискретних вредности ознака детерминисаних класа.

$$s = f_{PNN}(\mathbf{x}), \quad \mathbf{x} \in \{\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_P\}, \quad s \in \{1, 2, \dots, S\} \quad (31)$$



Слика 4.19. PNN архитектура

Улазни PNN слој је баферски слој, и он има задатак да вредности узорка сигнала x проследи сваком неурону у скривеном слоју.

Скривени PNN слој је носилац информације о класама. Неурони у скривеном слоју су подељени у групе неурона тако да свака класа s , где је $s = 1, 2, \dots, S$, има своју групу неурона. Број неурона у оквиру сваке групе H_s , $s = 1, 2, \dots, S$, се одређује у фази обуке мреже и он је једнак броју узорака у тренинг скупу који припадају класи s . Активациона функција неурона у скривеном слоју који припада групи (класи) s је заснована на Гаусовој функцији [22], [95-96] тако да су излази неурона класе s дати као:

$$p_s(\mathbf{x}) = \frac{1}{(2\pi)^M \sigma^{2M}} \cdot \frac{1}{H_s} \sum_{i=1}^{H_s} e^{-\frac{\|\mathbf{x}-\mathbf{w}_i^{(s)}\|^2}{2\sigma^2}}, \quad s = 1, 2, \dots, S \quad (32)$$

где вектор $\mathbf{w}_i^{(s)}$ димензије N представља вектор тежина или вектор центра активационе функције i -тог неурона који припада групи s , док σ представља спред (Енг. spread) параметар или стандардну девијацију активационе функције.

Задатак неурона у слоју класа је да сумирањем излаза неурона у скривеном слоју у оквиру сваке класе понаособ процене вероватноћу да узорак \mathbf{x} припада посматраној класи. Свакој групи неурона класе s , $s = 1, 2, \dots, S$ из скривеног слоја одговара по један неурон у слоју класа (s -ти неурон) тако да је укупан број неурона у слоју класа једнак S . Процена вероватноће да ли узорак \mathbf{x} припада класи s која је у тексту означена са $p_s(\mathbf{x})$, врши се од стране s -тог неурона у слоју класа преко своје активационе функције која је заснована на Parzen-овој техници прозора [96-97] тако да су излази тог слоја дати као:

$$p_s(\mathbf{x}) = \frac{1}{(2\pi)^M \sigma^{2M}} \cdot \frac{1}{H_s} \sum_{i=1}^{H_s} e^{-\frac{\|\mathbf{x}-\mathbf{w}_i^{(s)}\|^2}{2\sigma^2}}, \quad s = 1, 2, \dots, S \quad (33)$$

Излазни неуронски слој или слој одлуке има један неурон који треба да на основу процењених вероватноћа у слоју класа одлучи којој класи је узорак који је доведен на улаз мреже најближи, односно где треба да узорак буде исправно класификован. Он овај задатак извршава у складу са Бајесовим правилом одлучивања [22], [98] које се примењује на излазе свих неурона у слоју класа, тако да активациона функција има такмичарску (Енг. competitive) природу, односно за коначан избор класе у коју треба да се класификује узорак узима се класа за коју је процењена вероватноћа да узорак припада тој класи највећа.

$$s = \text{comp}\{p_s(\mathbf{x})\}, \quad s = 1, 2, \dots, S \quad (34)$$

$$\text{comp}: \quad s = s \max \therefore p_{s \max}(\mathbf{x}) = \max\{p_s(\mathbf{x})\}, \quad s = 1, 2, \dots, S$$

У току обуке PNN мреже се на основу скупа узорака за обуку врши одређивање броја неурона у скривеном слоју и слоју класа а такође се и подешавају вектори тежина неурона у скривеном слоју тако да неуронска мрежа врши правилну (тачну, исправну) класификацију свих узорака из тренинг скупа. Спред параметар се не одређује током обуке мреже већ се та вредност задаје пре саме обуке. Вредност тог параметра утиче на генерализационе способности PNN и тај утицај се може квантификовати преко средње квадратне грешке излаза неуронске мреже у процесу тестирања на скупу узорака који није коришћен у процесу обуке.

Нека је тест скуп за тестирање PNN мреже дат скупом уређених парова облика $\mathbf{T} = \{(\mathbf{x}_1^{(t)}, \hat{s}_1^{(t)}), (\mathbf{x}_2^{(t)}, \hat{s}_2^{(t)}), \dots, (\mathbf{x}_i^{(t)}, \hat{s}_i^{(t)}), \dots, (\mathbf{x}_T^{(t)}, \hat{s}_T^{(t)})\}$, где $\hat{s}_i^{(t)}$ представља жељени излаз неуронске мреже када јој се на улаз доведе узорак сигнала $\mathbf{x}_i^{(t)}$ из тест скупа \mathbf{T} , док је \mathbf{T} укупан број узорака у скупу за тестирање. У складу са тим средња квадратна грешка излаза неуронске мреже у процесу тестирања на скупу \mathbf{T} износи:

$$RMSE_{PNN} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (s_i^{(t)} - \hat{s}_i^{(t)})^2} \quad (35)$$

где је $s_i^{(t)}$ вредност која се појављује на излазу неуронске мреже када се на њеном улазу доведе узорак $\mathbf{x}_i^{(t)}$.

Вишеструким понављањем обуке мреже за различите вредности спред параметра (типично у опсегу [0 2]) и праћењем перформанси неуронске мреже у фази тестирања може се подешавати спред параметар са циљем да мрежа у фази тестирања има што мању вредност средње квадратне грешке излаза.

4.3.2.2 AFM подмодул

AFM подмодул управља сигналом Активационе Функције Модула (AFM) који у реалном времену носи информацију о томе у ком временском тренутку наступа стање јаких атмосферских поремећаја у зони осматрања ОТН сензорске мреже које може изазивати метео-цунами и када то стање престаје. Овај подмодул садржи следеће компоненте:

- диференцијални блок,
- PNN_AFМ вештачку неуронску мрежу и
- AFМ генератор

Диференцијални блок има задатак да у реалном времену одреди прираштаје вредности температуре ваздуха и удара ветра између два временска тренутка чија је временска удаљеност једнака интервалу аквизиције података t_{CLK} (периода сигнала такта аквизиционог подсистема), што представљено функцијски изгледа

$$\begin{aligned}\Delta T &= T(t) - T(t - t_{CLK}) \\ \Delta v &= v(t) - v(t - t_{CLK})\end{aligned}\quad (36)$$

Да би ове прираштаје израчунао овај блок користи бафер улазних података са временским померањем података (БСП) у складу са тактом t_{CLK} .

PNN_AFM вештачка неуронска мрежа има задатак да пратећи у реалном времену промену прираштаја температуре ваздуха и удара ветра у зони осматрања ОТН сензорске мреже, открије временски тренутак настанка јаких атмосферских поремећаја који могу довести до појаве лажних аларма у ОТН систему. Ова мрежа у потпуности прати PNN архитектуру која је представљена у секцији 4.3.2.1 с тим што је вектор улазних променљивих у овом конкретном случају $\mathbf{x} = [\Delta T \ \Delta v \ t]$, док излаз **TRS** има две класе $\mathbf{TRS} = \{1,2\}$, где класа 1 представља сигнал ниског нивоа (неактивни сигнал), док класа 2 представља сигнал високог нивоа (окидачки сигнал) који најављује појаву лажних аларма. Ово практично значи да PNN_AFM мрежа врши пресликавање

$$\mathbf{TRS} = f_{PNN_AFM}(\Delta T, \Delta v, t), \quad \mathbf{TRS} \in \{1,2\} \quad (37)$$

AFM генератор по пријему окидачког сигнала од стране PNN_AFM мреже подиже сигнал на висок (активни) ниво што сигнализира осталим деловима система за праћење да је стање блиско метео-цунамију у току и да у том периоду мора да се пребаци у специјални режим рада који подразумева откривање и елиминацију лажних ОТН циљева проузрокованих високим морским таласима. Овај генератор држи сигнал на високом нивоу све док се не испуне услови који наговештавају да је атмосферски поремећај престао. У тренутно достигнутој верзији предложеног модела тренутак испуњења овог услова се одређује на основу просечне брзине удара ветра и просечног броја откривених лажних циљева у последњих сат времена, и ако просечна брзине удара ветра падне испод 15 km/h и просечан број откривених лажних циљева падне испод 1, сигнал се враћа на низак (неактивни) ниво.

4.3.2.3 BLC подмодул

BLC подмодул има задатак да на основу вредности температуре ваздуха и брзине удара ветра у зони надгледања ОТН сензорске мреже које се читавају у реалном времену са метеоролошке станице, као и тренутног времена процени број лажних циљева (BLC) који су проузроковани метеоролошком појавом. Овај подмодул садржи следеће компоненте:

- PNN_BLC вештачку неуронску мрежу и
- SF (Енг. Smoothing Function) корекциони блок

PNN_BLC вештачка неуронска мрежа има задатак да пратећи вредности температуре ваздуха и удара ветра у зони осматрања ОТН сензорске мреже и у реалном времену, за посматрани временски тренутак процени број лажних циљева у ОТН систему који потичу од абнормалних морских таласа. Ова мрежа у потпуности прати PNN архитектуру која је представљена у секцији 4.3.2.1 с тим што је вектор улазних променљивих у овом конкретном случају $\mathbf{x} = [T \ v \ t]$, док излаз s има $S = MAX_BLC + 1$ класа $\mathbf{S} = \{1, 2, \dots, MAX_BLC + 1\}$, где променљива MAX_BLC представља максималан број лажних циљева који систем може да детектује. То је зато што класа 1 представља ситуацију када не постоји ни један лажни циљ, класа 2 представља ситуацију када постоји један лажни циљ, класа 3 представља ситуацију када постоји 2 лажна циља и тако редом. Ово практично значи да PNN_BLC мрежа врши пресликавање

$$s = f_{PNN_BLC}(T, v, t), \quad s \in \{1, 2, \dots, MAX_BLC + 1\} \quad (38)$$

SF (Енг. Smoothing Function) корекциони блок има задатак да ублажи и изглади велике осцилације у излазу PNN_BLC вештачке неуронске мреже које могу да се десе у случају погрешне класификације улазног узорка. Овај блок узима у обзир текућу вредност излаза PNN_BLC вештачке неуронске мреже $s(t)$, као и бафероване вредности излаза те мреже $s(t - t_{CLK})$ и $s(t - 2t_{CLK})$ у тренуцима $t - t_{CLK}$ и $t - 2t_{CLK}$ респективно да би формирао коначну процену броја лажних ОТН циљева (BLC) у тренутку t на начин

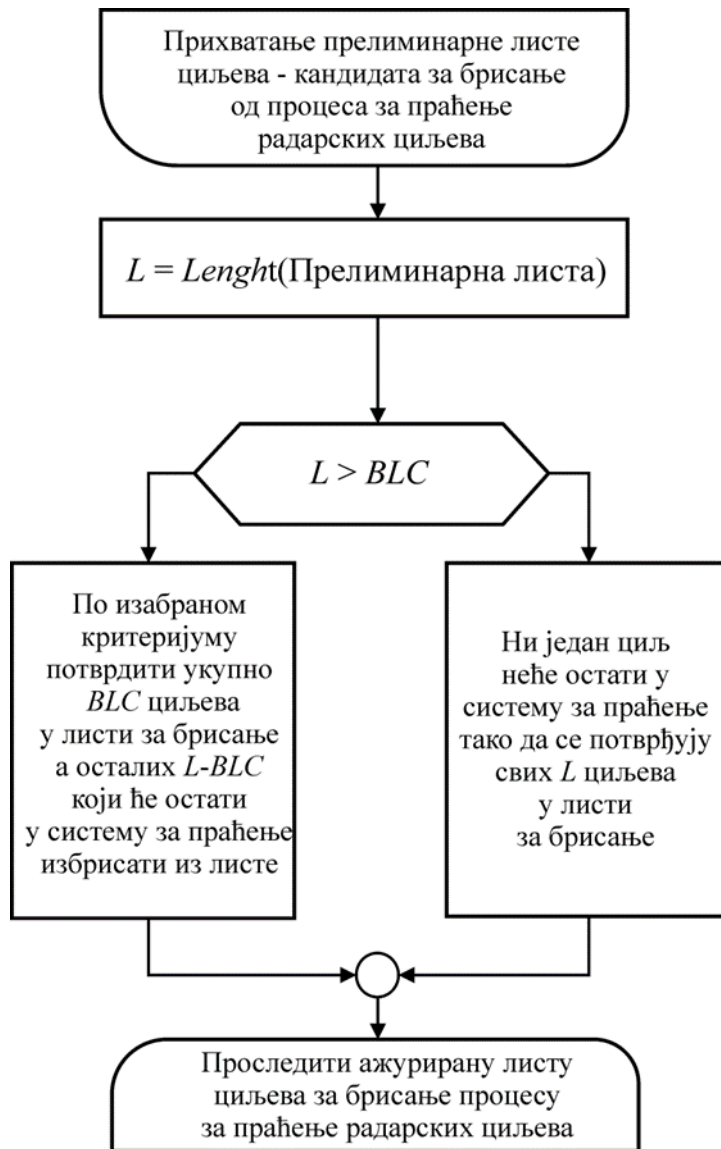
$$\text{if } (s(t) > 2s(t - t_{CLK}) \text{ or } s(t) < \text{round}(0.5s(t - t_{CLK}))) \text{ and } \text{abs}(s(t) - s(t - t_{CLK})) > 1 \text{ then}$$
$$BLC = \frac{s(t) + s(t - t_{CLK}) + s(t - 2t_{CLK})}{3} \quad (39)$$

endif

4.3.3. Процес који врши праћење ОТН циљева и алгоритам за ажурирање листе циљева које треба избрисати из процеса праћења

Према моделу који се предлаже процес који се извршава у командном центру ОТН сензорске мреже и који врши праћење ОТН циљева се надограђује специјалним режимом рада који укључује допунске функционалности које се односе на елиминацију лажних ОТН циљева проузрокованих јаким атмосферским поремећајима из даљег праћења чиме се значајно редукују лажни аларми у систему. Прелазак у специјални режим рада је контролисан АФМ сигналом. Подизање АФМ сигнала са ниског на висок ниво означава да процес за праћење ОТН циљева треба да пређе у специјалан режим рада који треба да се одржава све док је овај сигнал на високом нивоу. Прелазак сигнала са високог на низак ниво означава да процес треба да се врати у нормалан режим рада.

Током специјалног режима рада процес за праћење ОТН циљева користи алгоритам за ажурирање листе ОТН циљева које треба избрисати из система да би донео коначну одлуку које циљеве треба избрисати из система и тиме елиминисао лажне аларме проузроковане утицајем јаким атмосферским поремећајем. Алгоритам за ажурирање листе ОТН циљева које треба избрисати из система у режиму рада који обрађује појаву таласа, налик метео-цунамију приказан је на слици 4.20. У сваком такту обраде, пре извршења алгоритма, процес за праћење формира прелиминарну листу циљева - кандидата за брисање из система која је састављена од циљева који немају AIS потврду и прослеђује је алгоритму на обраду.



Слика 4.20. Архитектура алгоритма за ажурирање листе ОТН циљева које треба избрисати из система у режиму рада који обрађује појаву метео-цунамија

По прихватању прелиминарне листе алгоритам за ажурирање листе ОТН циљева евидентира дужину листе L , односно број циљева у листи који су кандидати за брисање из система, и ту вредност упоређује са процењеним бројем лажних циљева BLC због дејства таласа налик метео-цунамију које у сваком такту обраде добија од BLC_AFM модула. Ако је процењени број лажних циљева већи или једнак дужини прелиминарне листе ($BLC \geq L$) онда се са великом вероватноћом може тврдити да су сви циљеви у листи кандидата за брисање у ствари лажни циљеви који потичу од таласа налик метео-цунамију. У том случају сви циљеви остају у листи за брисање чиме је потврђено њихово брисање из система праћења.

У случају када је процењени број лажних циљева мањи од дужине прелиминарне листе ($BLC < L$) онда се са великом вероватноћом може тврдити да у листи кандидата за брисање из система постоје приближно L лажних циљева који потичу од дејства таласа налик метео-цунамију и приближно $L-BLC$ циљева који могу бити лажни или не, али не потичу од дејства таласа налик метео-цунамију и њих треба искључити из листе за брисање која се враћа процесу за праћење циљева. Искључивањем из листе за брисање ови циљеви се остављају у систему ради даљег праћења и решавања њиховог коначног статуса. Све у свему, у складу са изабраним тријажним критеријумом у листи за брисање треба изабрати BLC циљеве који ће остати у листи и тиме ће бити потврђено њихово брисање из система, а осталих $L-BLC$ циљева треба искључити из листе за брисање чиме се они остављају у систему ради даљег праћења.

Поменути тријажни критеријум који се користи код тренутно достигнуте верзије предложеног модела заснива се на емпиријском искуству стеченом током оперативног рада ОТН сензорске мреже а које се односи на лажне циљеве проузроковане дејством таласа налик метео-цунамију. Ово искуство се може исказати кроз следеће чињенице:

- Лажни циљеви проузроковани таласима налик метео-цунамију у највећем броју случајева имају курс који припада опсегу $120^\circ \div 240^\circ$. Ово је зато што се таласи крећу од обале на којој се налазе ОТН сензори ка пучини.
- Ако се посматра време прве појаве циља, новији циљеви непотврђени од стране AIS-а имају већу вероватноћу да су то лажни циљеви који су проузроковани таласима налик метео-цунамију од старијих, јер старији имају већу вероватноћу да су се појавили пре настанка атмосферске појаве која проузрокује таласе.

У складу са наведеним чињеницама, тријажни критеријум који се користи код предложеног модела је дат на следећи начин:

- У листи ОТН циљева кандидата за брисање пронаћи све циљеве чији курс припада опсегу $120^\circ \div 240^\circ$. То су КП (Ка Пучини) циљеви и нека их има укупно K .
- Ако важи $K = BLC$ онда у листи за брисање циљева треба оставити КП циљеве, а остале избацити из листе.
- Ако важи $K < BLC$ онда у листи за брисање циљева треба оставити КП циљеве и најновијих $BLC - K$ циљева, а остале избацити из листе.

- Ако важи $K > BLC$ онда у листи за брисање циљева треба оставити најновијих BLC циљева из групе КО циљева, а остале избацити из листе.

4.3.4. Резултати примене хибридног емпиријско–неуронског модел за редуkcију лажних аларма

Ова секција је посвећена развоју и тестирању BLC_AFM модула и његових подмодула са вештачким неуронским мрежама чије су главне функционалности и перформансе у обради података кључне у примени предложеног хибридног емпиријско–неуронског модела у поступку редуkcије лажних аларма у ОTH сензорској мрежи. Развој и тестирање прототипа овог модула извршено је у MATLAB [99-100] развојном окружењу. За његов развој и тестирање коришћени су мерени подаци о промени температуре ваздуха и брзине удара ветра у реалном времену који су добијени са хидрометеоролошке станице ОTH сензорске мреже у данима када се појавио јаки атмосферски поремећај, као и подаци о промени броја лажних циљева у реалном времену истих дана који су добијени у командном центру мреже. Ови мерени подаци су приказани на сликама 4.13 – 4.16.

4.3.4.1 Развој и тестирање BLC подмодула

BLC подмодул је развијен у MATLAB развојном окружењу. Кључна активност у развоју овог подмодула је обука и тестирање PNN_BLC неуронске мреже која је изложена у секцији 4.3.2.3. У складу са изразом (38) за обуку PNN_BLC мреже изабран је скуп за обуку чији су узорци формата $\{[T \ v \ t], s\}$, $s \in \{1, 2, \dots, MAX_BLC+1\}$ и који је формиран унијом свих узорака добијеним мерењима у данима 2, 3 и 4 (Слике 4.14 – 4.16). Пошто су у сваком дану мерења вршена у периоду од 5 – 15 h са периодом аквизиције података од 10 min, што је 61 узорак по сваком дану, укупан број узорака за обуку је износио $3 \cdot 61 = 183$. За тестирање обучене PNN_BLC мреже искоришћен је скуп од 61 узорка истог формата као и скуп за обуку, добијен мерењима под истим условима у дану 1 и који није коришћен током обуке мреже. Развојно окружење MATLAB, пре стартовања процеса обуке мреже, на основу узорака за обуку самостално одређује максимални број класа у које се пресликавају улазни узорци. У складу са тим, приликом обуке PNN_BLC неуронске мреже максимални број класа био 11 што је омогућавало детекцију максимално 10 лажних ОTH циљева ($MAX_BLC = 10$).

Обука PNN_BLC неуронске мреже извршена је при различитим вредностима спред параметра из опсега [0.1 1.9] за сваку сесију обуке. Након завршетка једне сесије обуке извршена је квантификација квалитета обуке и степена постигнуте генерализације обучене мреже њеним тестирањем на тест скупу и прорачуном средње квадратне грешке излаза мреже ($RMSE_{PNN_BLC}$) према изразу (35)

$$RMSE_{PNN_BLC} = \sqrt{\frac{1}{Tu} \sum_{i=1}^{Tu} (s_i^{(t)} - \hat{s}_i^{(t)})^2} \quad (40)$$

где $s_i^{(t)}$ представља процењени број лажних циљева који неуронска мрежа даје на свом излазу, док $\hat{s}_i^{(t)}$ представља жељени излаз неуронске мреже (тачну вредност број лажних циљева) када се на њеном улазу доведе комбинација улазних променљивих i - тог узорка $[T \vee t]_i^{(t)}$. За тест скуп T_1 сачињен од узорака добијених мерењима у дану 1 број узорака је $Tu = 61$.

Табела 1. Зависност средње квадратне грешке тестирања ($RMSE_{PNN_BLC}$) PNN_BLC неуронске мреже изражене у броју циљева од изабране вредности спред параметра обуке (σ) на тест скупу T_1

| | | | | | | | | | | |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| σ | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 |
| $RMSE_{PNN_BL}$ | 1.46 | 1.46 | 1.46 | 1.46 | 1.46 | 1.43 | 1.43 | 1.38 | 1.37 | 1.37 |
| c | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 9 | 9 | 3 | 6 | 6 |

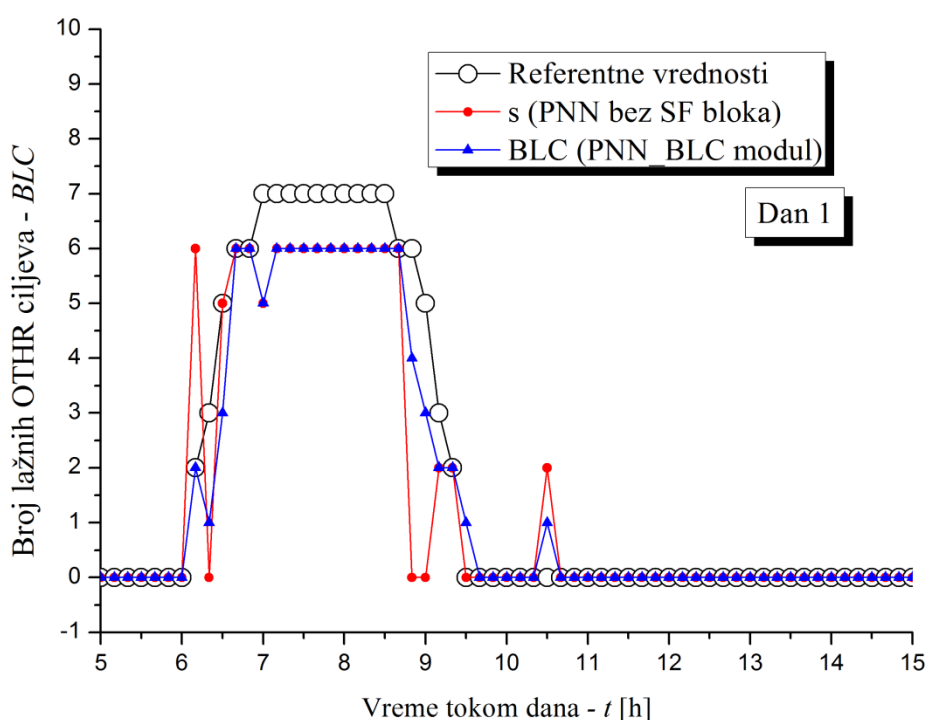
| | | | | | | | | | |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| σ | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 1.7 | 1.8 | 1.9 |
| $RMSE_{PNN_BLC}$ | 1.376 | 1.376 | 1.376 | 1.351 | 1.351 | 1.351 | 1.351 | 1.351 | 1.357 |

У Табели 1 приказана је зависност средње квадратне грешке тестирања PNN_BLC неуронске мреже ($RMSE_{PNN_BLC}$) од изабране вредности спред параметра обуке (σ). Из групе обучених мрежа које су показале најмању вредност средње квадратне грешке тестирања ($RMSE_{PNN_BLC} = 1.351$) за реализацију BLC подмодула изабрана је PNN_BLC мрежа која је обучена при вредности спред параметра $\sigma = 1.5$.

Након уградње обучене мреже у BLC подмодул извршено је тестирање BLC излаза овог подмодула на истом тест скупу и прорачуната је средња квадратна грешка излаза подмодула ($RMSE_{BLC}$) према изразу (35)

$$RMSE_{BLC} = \sqrt{\frac{1}{Tu} \sum_{i=1}^{Tu} (BLC_i^{(t)} - tarBLC_i^{(t)})^2} \quad (41)$$

где $BLC_i^{(t)}$ представља процењени број лажних циљева који BLC подмодул даје на свом излазу након примене функције изглађивања SF корекционог блока на излаз PNN_BLC неуронске мреже, док $tarBLC_i^{(t)}$ представља жељени излаз BLC подмодула (тачну вредност броја лажних циљева). Средња квадратна грешка BLC излаза овог подмодула је износила $RMSE_{BLC} = 0.724$ што говори о томе да је умекшавањем и изглађивањем наглих скокова излаза PNN_BLC неуронске мреже применом функције (39) смањена грешка у процени броја лажних ОТН циљева.



Слика 4.21. Поређење излаза PNN_BLC неуронске мреже (s) (PNN мрежа без SF корекционог блока) и излаза BLC подмодула (BLC) (PNN мрежа са корекционим блоком) са референтним (тачним) вредностима добијено симулацијом на тест скупу чији узорци припадају скупу мерених резултата који се нису користили у току обуке (T_1 - Дан 1)

На слици 4.21. приказано је поређење излаза PNN_BLC неуронске мреже (s) (PNN мрежа без SF корекционог блока) и излаза BLC подмодула (BLC) (PNN мрежа са корекционим блоком) са референтним (тачним) вредностима добијено симулацијом на тест скупу чији узорци припадају скупу мерених резултата који се нису користили у току обуке (Дан 1).

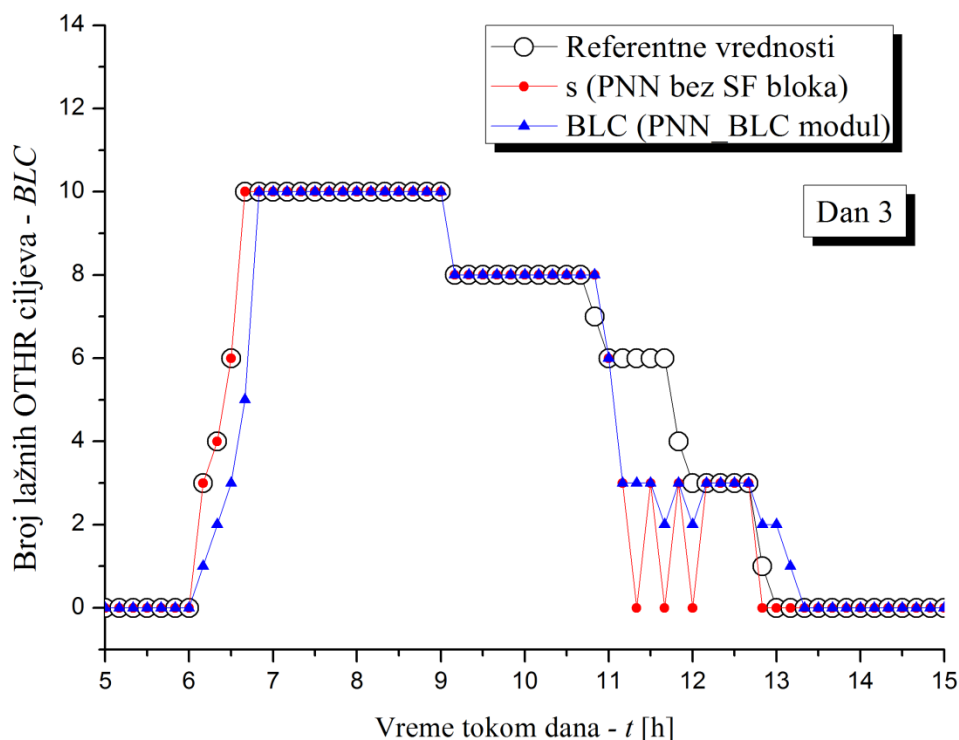
Може се видети да је кориговани излаз PNN_BLC неуронске мреже који уједно представља излаз целог BLC подмодула (*BLC*) ближи референтним вредностима од сировог некоригованог излаза PNN_BLC неуронске мреже (*s*) што оправдава увођење SF корекционог блока. Такође се може видети релативно добро слагање излаза целог BLC подмодула са референтним вредностима што оправдава употребу предложене PNN архитектуре и архитектуре BLC подмодула у поступку процене броја лажних циљева код ОТН сензорске мреже.

Са циљем да се упореде перформансе PNN_BLC неуронске мреже и BLC подмодула у предикцији броја лажних циљева на скупу узорака који се нису користили у току обуке и на скупу узорака који су се користили у процесу обуке, оригинални скуп за тестирање који садржи узорке који се нису користили у процесу обуке је замењен је скупом који садржи узорке добијене мерењима у дану 3 (T_3 -Дан 3, слика 4.15) и који су се користили у процесу обуке па је извршено поново тестирање мреже и подмодула. Услед захтевности анализе резултата, а имајућу у виду практично непромењено понашање кључних параметера од интереса за дане 2-4, изабран је један дан (дан 3) за спровођење детаљне анализе. Упоредни резултати тестирања приказани су у Табели 2.

Табела 2. Упоредни приказ резултата тестирања изабране PNN_BLC неуронске мреже ($\sigma = 1.5$) и BLC подмодула на на тест скуповима T_1 -Дан 1 и T_3 -Дан 3

| Тест скуп | T_1 -Дан 1 | T_3 -Дан 3 |
|---|--------------|--------------|
| PNN_BLC неуронска мрежа: $RMSE_{PNN_BLC}$ [број циљева] | 1.351 | 1.293 |
| BLC подмодул PNN_BLC неуронска мрежа + SF корекциони блок: $RMSE_{BLC}$ [број циљева] | 0.724 | 1.241 |

Анализом резултата тестирања у Табели 2. може се видети да код оба тест скупа корекција излаза PNN_BLC неуронске мреже SF блоком даје боље резултате у процени броја лажних циљева него када би се ова мрежа користила самостално, што оправдава употребу SF блока у BLC подмодулу, с тим што је ово побољшање израженије на тест скупу T_1 -Дан 1 него на тест скупу T_3 -Дан 3.



Слика 4.22. Поређење излаза PNN_BLC неуронске мреже (*s*) (PNN мрежа без SF корекционог блока) и излаза BLC подмодула (BLC) (PNN мрежа са корекционим блоком) са референтним (тачним) вредностима добијено симулацијом на тест скупу чији узорци припадају скупу мерених резултата који су се користили у току обуке (T₃-Дан 3)

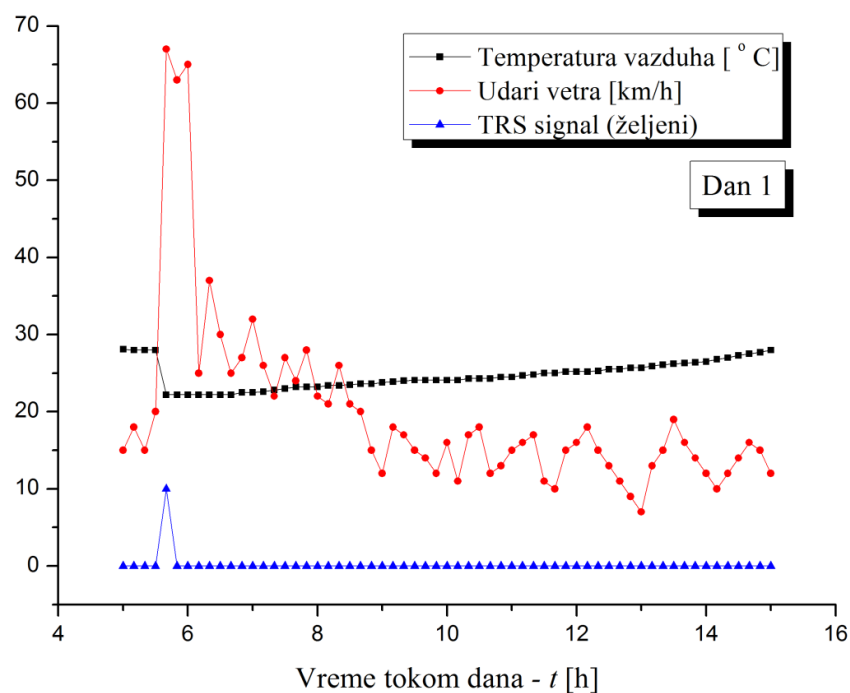
На слици 4.22. приказано је поређење излаза PNN_BLC неуронске мреже (*s*) (PNN мрежа без SF корекционог блока) и излаза BLC подмодула (BLC) (PNN мрежа са корекционим блоком) са референтним (тачним) вредностима добијено симулацијом на тест скупу чији узорци припадају скупу мерених резултата који су се користили у току обуке (T₃-Дан 3). Може се видети да су излаз PNN_BLC неуронске мреже (*s*) као и излаз BLC подмодула (BLC) блиски референтним вредностима али да поклапање њиховог процењеног броја лажних циљева није идеално са референтним вредностима као што би се у први мах очекивало с обзиром да су се узорци са тестирање користили у току обуке. Испитивањем се може показати да би на тест скупу T₃-Дан 3 поклапање излаза PNN_BLC неуронске мреже са референтним вредностима било идеално при вредностима спред параматра 0.530 и мањим (средња квадратна грешка би била 0) али би се зато погоршали резултати тестирања на тест скупу који није садржао узорке који су се користили у процесу обуке, односно на скупу T₁-Дан 1 (средња квадратна грешка би била 1.414 и већа), што би значило да би се погоршала генерализациона способност мреже. Инсистирање на

превише добром поклапању излаза неуронске мреже са референтним вредностима на узорцима који се користе током обуке мреже може довести до ефекта преучености мреже који смањује генерализационе способности мреже а то се не жели.

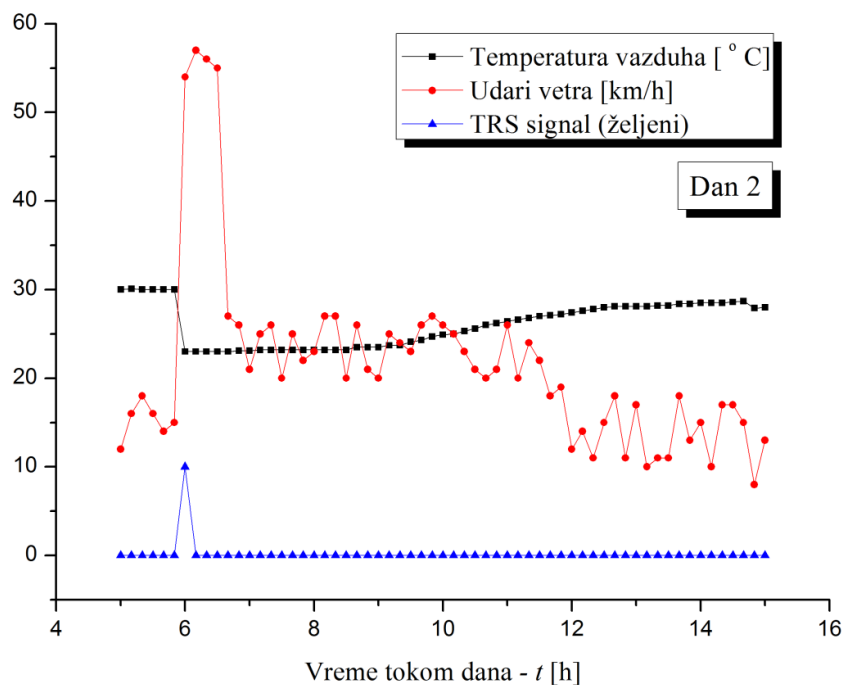
4.3.4.2 Развој и тестирање AFM подмодула

AFM подмодул је развијен у MATLAB развојном окружењу. Кључна активност у развоју овог подмодула је обука и тестирање PNN_AFM неуронске мреже која је изложена у секцији 4.3.2.2. Да би се извршила обука ове мреже потребно је било генерисати жељене окидачке сигнале (TRS сигнали) које би PNN_AFM неуронска мрежа након успешне обуке требала да генерише на свом излазу у зависности од вредности узорака који јој се доводе на улаз. Обучена PNN_AFM неуронске мрежа има задатак да препозна атмосферска стања која доводе до појаве таласа налик метео-цунамију а која се карактеришу наглим падом температуре ваздуха, и паралелно са тим, наглим и значајним повећањем удара ветра, и да појаву таквих стања у реалном времену сигнализира окидачким сигналом (секвенца низак-висок-низак ниво сигнала где висок ниво траје веома кратко). У складу са тим, анализирајући мерене податке за дане 1, 2, 3 и 4 (Слике 4.13 – 4.16) и пратећи временске промене температуре ваздуха и удара ветра у тим подацима, генерисани су жељени окидачки сигнали за ове дане који су се користили у процесима обуке и тестирања PNN_AFM неуронске мреже (Слике 4.23-4.26). Приликом генерисања окидачких сигнала низак ниво сигнала је представљен интезитетом „0“ док је висок ниво представљен интезитетом „10“.

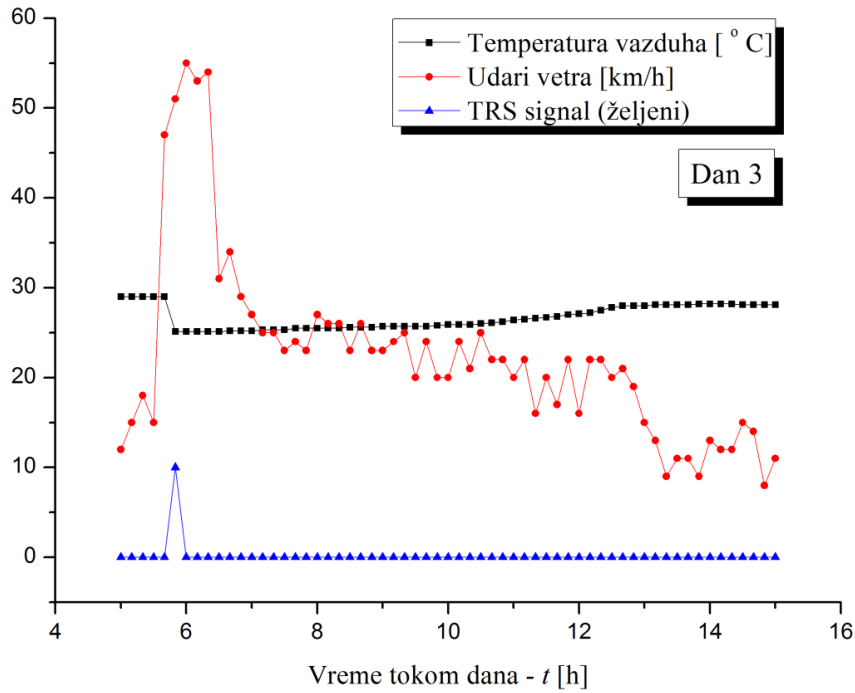
У складу са изразом (37), за обуку и тестирање PNN_AFM мреже формиран су скуп за обуку и тест скуп чији су узорци формата $\{[\Delta T \Delta v t], TRS\}$, $TRS \in \{1,2\}$. Вредности прираштаја температуре ваздуха ΔT и прираштаја удара ветра Δv су добијене процесирањем мерених података за температуру ваздуха (T) и ударе ветра (v) помоћу диференцијалног блока. Вредности класе окидачког сигнала TRS добијене су узорковањем окидачких сигнала са слика 4.13 – 4.16 са истим кораком узорковања као и код узорковања температуре и удара ветра, и при томе, ако је узорак имао низак ниво („0“) припадао је класи 1, а ако је пак имао висок ниво („10“) припадао је класи 2.



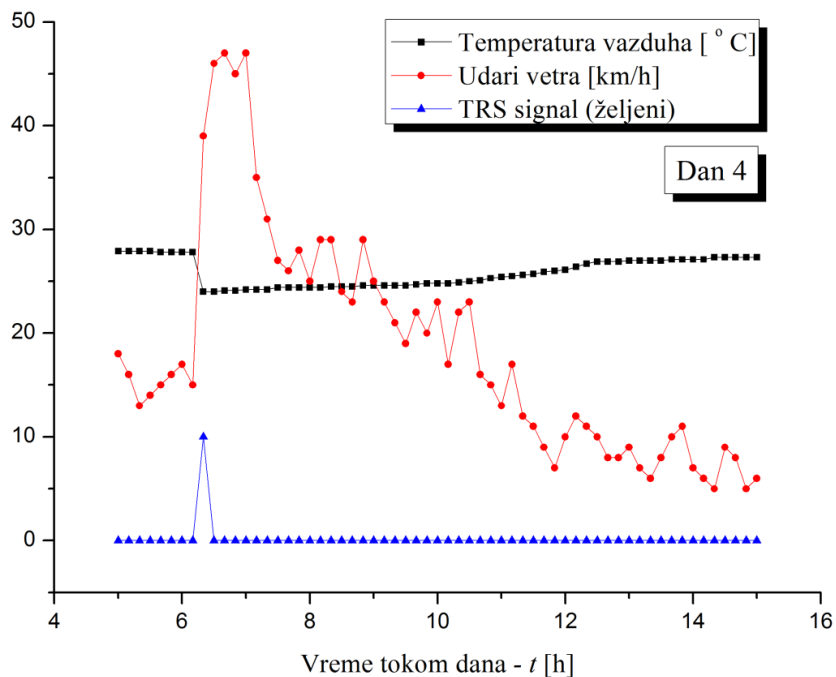
Слика 4.23. Изглед жељеног (референтног) окидачког сигнала (TRS) који је био коришћен у току тестирања PNN_AFM неуронске мреже генерисан на основу вредности температуре ваздуха и удара ветра које су мерене током дана 1.



Слика 4.24. Изглед жељеног (референтног) окидачког сигнала (TRS) који је био коришћен у току обуке PNN_AFM неуронске мреже генерисан на основу вредности температуре ваздуха и удара ветра које су мерене током дана 2.



Слика 4.25. Изглед жељеног (референтног) окидачког сигнала (TRS) који је био коришћен у току обуке PNN_AFM неуронске мреже генерисан на основу вредности температуре ваздуха и удара ветра које су мерене током дана 3.



Слика 4.26. Изглед жељеног (референтног) окидачког сигнала (TRS) који је био коришћен у току обуке PNN_AFM неуронске мреже генерисан на основу вредности температуре ваздуха и удара ветра које су мерене током дана 4.

За обуку PNN_AFM мреже формиран је скуп процесирањем мерених података за температуру ваздуха и ударе ветра, и узорковањем жељеног окидачког сигнала за дане 2, 3 и 4 (Слике 4.24-4.26). Пошто су у сваком дану мерења вршена у периоду од 5 – 15 h са периодом аквизиције података од 10 min, што је 61 узорак по сваком дану, а како је и узорковање жељеног окидачког сигнала било са истим временским кораком, укупан број узорака за обуку износио је $3 \cdot 61 = 183$. За тестирање PNN_AFM мреже формиран је скуп процесирањем мерених података за температуру ваздуха и ударе ветра, и узорковањем жељеног окидачког сигнала за дан 1 (Слика 4.23). На основу горе наведене анализе начина узорковања, пошто се ради о само једном дану, укупан број узорака за тестирање износио је 61. Такође се на основу избора узорака види да тест узорци нису коришћени у процесу обуке неуронске мреже.

Обука PNN_AFM неуронске мреже извршена је при различитим вредностима спред параметра из опсега [0.1 1.9] за сваку сесију обуке. Након завршетка једне сесије обуке извршена је квантификација квалитета обуке и степена постигнуте генерализације обучене мреже њеним тестирањем на тест скупу и прорачуном средње квадратне грешке излаза мреже ($RMSE_{PNN_AFM}$) према изразу (35)

$$RMSE_{PNN_AFM} = \sqrt{\frac{1}{Tu} \sum_{i=1}^{Tu} (TRS_i^{(t)} - tarTRS_i^{(t)})^2} \quad (42)$$

где $TRS_i^{(t)}$ представља вредност нивоа окидачког сигнала који неуронска мрежа даје на свом излазу, док $tarTRS_i^{(t)}$ представља жељени излаз неуронске мреже (жељени ниво окидачког сигнала који би неуронска мрежа требала да генерише на свом излазу) када се на њеном улазу доведе комбинација улазних променљивих i - тог узорка $[\Delta T \ \Delta v \ t]_i^{(t)}$. За тест скуп $Tdif_1$ – Дан1 сачињен од узорака добијених процесирањем мерених података који припадају дану 1 помоћу диференцијалног блока број узорака је $Tu = 61$.

У Табели 3 приказана је зависност средње квадратне грешке тестирања PNN_AFM неуронске мреже ($RMSE_{PNN_AFM}$) од изабране вредности спред параметра обуке (σ). Може се видети да је за вредност спред параметра која је једнака 0.3 или већа, вредност средње квадратне грешке тестирања је једнака 0 ($RMSE_{PNN_AFM} = 0$). То значи да за те вредности спред параметра PNN_AFM неуронска мрежа врши идеалну (непогрешиву) класификацију узорака из тест скупа. Из групе обучених мрежа које су показале идеалну класификацију, за релизацију AFM подмодула изабрана је PNN_AFM мрежа која је обучена при вредности спред параметра $\sigma = 1$. Ово се образлаже тиме да вредности спред

параметра које су блиске јединици у већини случајева проблема класификације имају потенцијал за обезбеђивање добрих генерализационих способности PNN неуронске мреже.

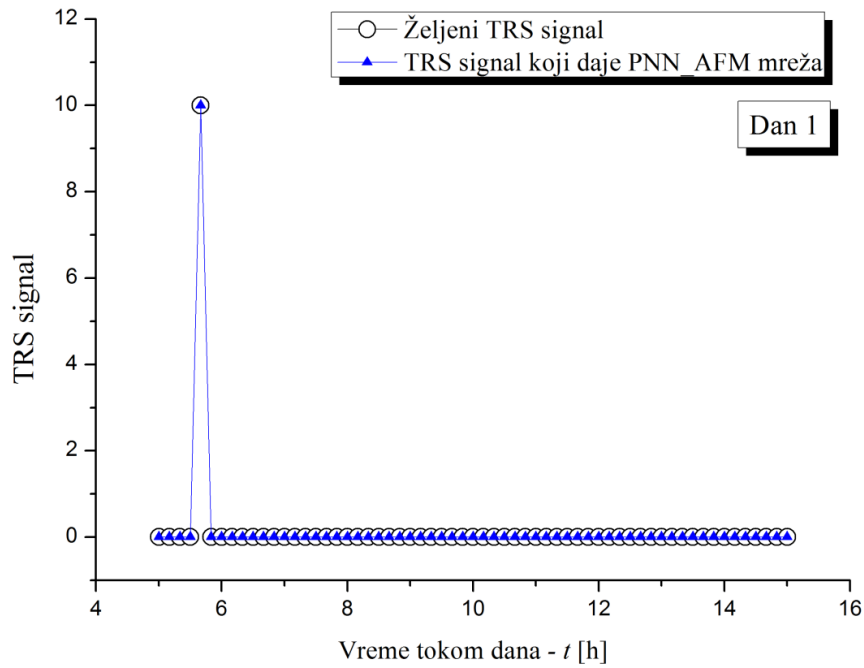
Табела 3. Зависност средње квадратне грешке тестирања ($RMSE_{PNN_AFM}$) PNN_AFM неуронске мреже изражене у нивоу TRS сигнала опсега [0 10] од изабране вредности спред параметра обуке (σ) на тест скупу Tdif₁-Дан 1

| | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| σ | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 |
| $RMSE_{PNN_AFM}$ | 1.280 | 1.280 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

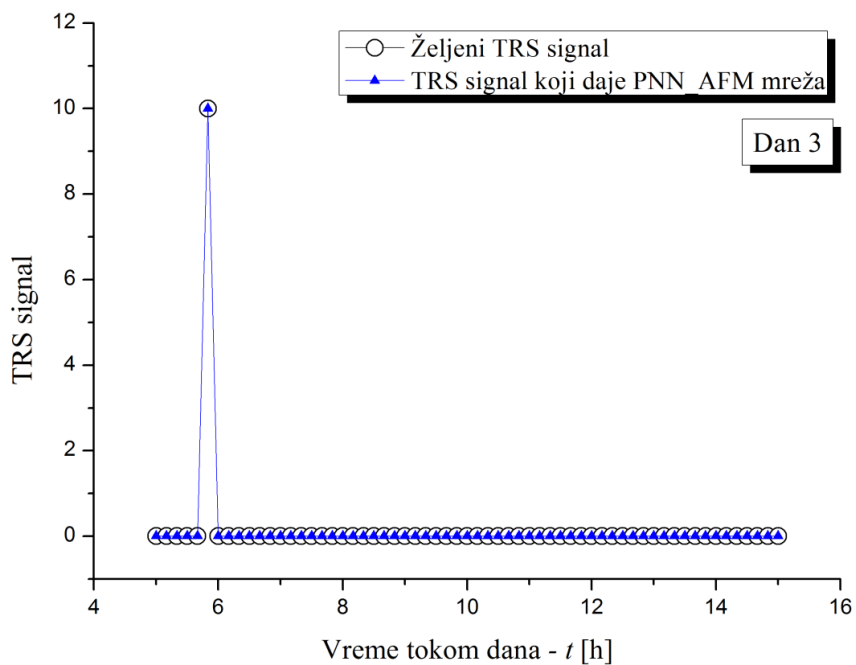
| | | | | | | | | | |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| σ | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 1.7 | 1.8 | 1.9 |
| $RMSE_{PNN_AFM}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Са циљем да се упореде перформансе PNN_AFM неуронске мреже у генерисању окидачког сигнала на скупу узорака који се нису користили у току обуке и на скупу узорака који су се користили у процесу обуке, оригинални скуп за тестирање који садржи узорке који се нису користили у процесу обуке замењен је скупом који садржи узорке добијене процесирањем мерених резултата који се односе на дан 3 (Tdif₃-Дан 3, слика 4.25) и који су се користили у процесу обуке па је извршено поново тестирање мреже. Средња квадратна грешка тестирања PNN_AFM неуронске мреже је у овом случају била једнака нули, што значи да је изабрана вредност спред параметра пре обуке мреже $\sigma = 1$, обезбедила да ова мрежа искаже идеалну класификацију и на узорцима који су се користили током обуке мреже.

На слици 4.27. приказано је поређење излаза PNN_AFM неуронске мреже (TRS) са референтним окидачким сигналом добијено симулацијом на тест скупу чији се узорци нису користили у току обуке мреже (Tdif₁ – Дан1). На слици 4.28. приказано је поређење излаза исте мреже са референтним окидачким сигналом добијено симулацијом на тест скупу чији су се узорци користили у обуци мреже (Tdif₃ – Дан3). У оба случаја може се уочити идеално слагање излазног окидачког сигнала са референтним што оправдава употребу диференцијалног блока и предложене PNN архитектуре у процесу генерисања окидачког сигнала.



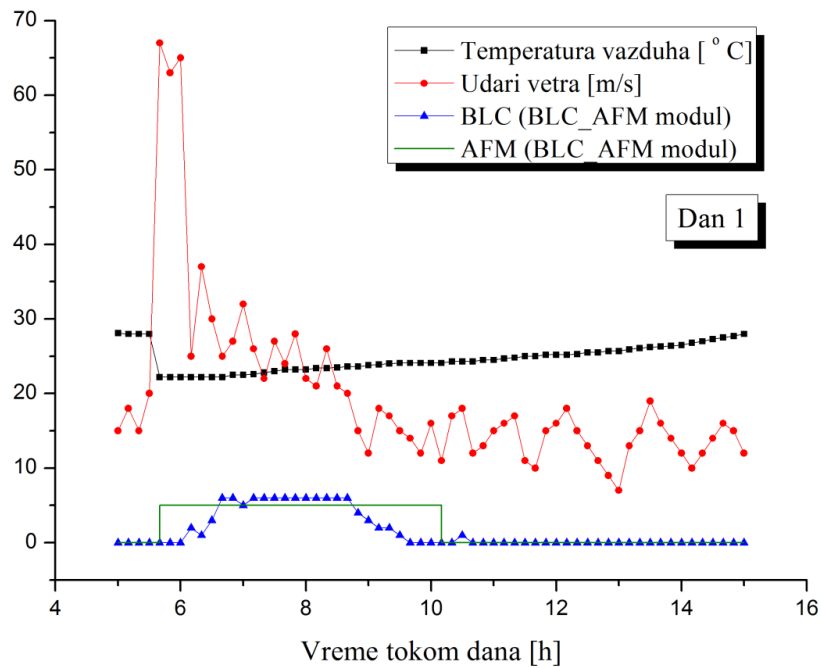
Слика 4.27. Поређење излаза PNN_AFM неуронске мреже (TRS) са референтним окидачким сигналом добијено симулацијом на тест скупу чији се узорци нису користили у току обуке мреже ($Tdif_1$ – Дан1)



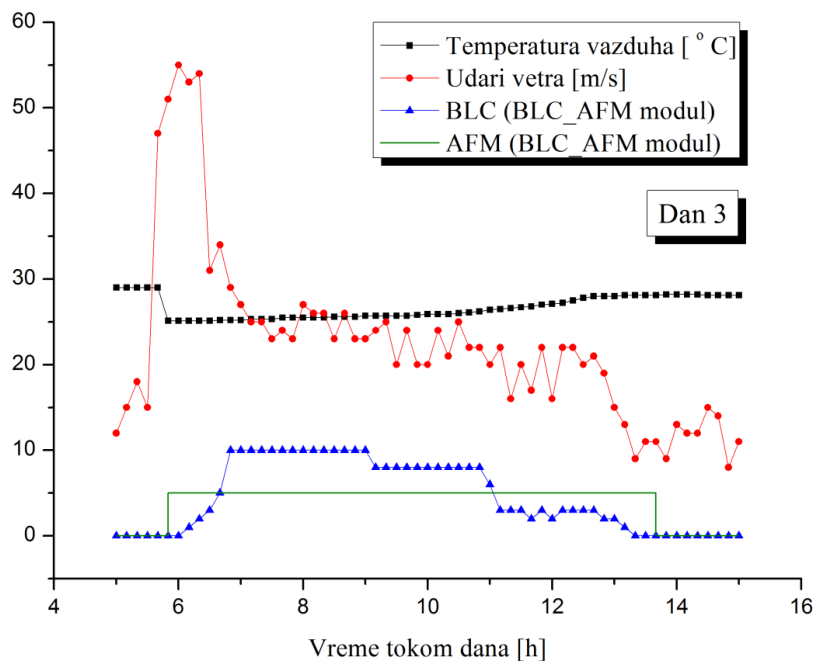
Слика 4.28. Поређење излаза PNN_AFM неуронске мреже (TRS) са референтним окидачким сигналом добијено симулацијом на тест скупу чији су се узорци користили у обуци мреже ($Tdif_3$ – Дан3)

Излаз из PNN_AFM неуронске мреже (TRS) се доводи на улаз AFM генератора који је такође реализован у MATLAB развојном окружењу. Као што је у секцији 4.3.2.2 већ објашњено, AFM генератор одмах по идентификацији секвенце „низак ниво - висок ниво - низак ниво“ окидачког сигнала који шаље PNN_AFM мрежа, подиже свој AFM излаз (AFM сигнал) са ниског („0“) на висок (активни) ниво („5“) што сигнализира осталим деловима система за праћење да је појава налик метео-цунамију у току и да у том периоду мора да се пребаци у специјални режим рада који подразумева откривање и елиминацију лажних ОТН циљева проузрокованих високим морским таласима. Овај генератор држи AFM сигнал на високом нивоу све док се не испуне услови који наговештавају да је метео-цунами престао, а то је, што се тиче тренутно достигнуте и реализоване верзије предложеног модела, да вредност просечне брзине удара ветра буде мања од 15 km/h и да просечан број откривених лажних циљева у последњих сат времена буде мањи од 1. На основу услова за крај атмосферске појаве чије се испуњење проверава од стране AFM генератора јасно је да је било потребно да се BLC излаз BLC подмодула доведе у AFM генератор да би он у сваком моменту имао информацију о тренутној процени броја лажних циљева у области надгледања ОТН сензорске мреже.

У складу са раније наведеном архитектуром AFM генератора и горе описаним начином њене реализације, на слици 4.29. је приказана временска промена AFM сигнала који представља један од излаза BLC_AFM модула и који се шаље даље процесу који врши анализу и праћење ОТН циљева. Овај приказ је добијен симулацијом на тест скупу $Tdif_1$ – Дан1 чији се узорци нису користили у обуци PNN_AFM неуронске мреже и дат је паралелно са променом температуре ваздуха, удара ветра и процењеног броја лажних ОТН циљева у дану 1. На слици 4.30. је приказана временска промена AFM сигнала који је добијен симулацијом на тест скупу $Tdif_3$ – Дан3 чији су се узорци користили у обуци PNN_AFM неуронске мреже, и дат је паралелно са променом температуре ваздуха, удара ветра и процењеног броја лажних ОТН циљева у дану 3. Анализирајући временски ток AFM сигнала у оба случаја тестирања може се уочити да временски период трајања његов високог (активног) нивоа (почетак периода, дужина трајања периода и крај периода) веома добро репрезентује временски период присуства појаве налик метео-цунамију који проузрокује читавање лажних ОТН циљева и тиме на поуздан начин пребацује процес који се бави праћењем ОТН циљева у специјални режим рада. Ово потврђује да је избор архитектуре BLC_AFM модула за реализацију прототипа хибридног емпиријског-неуронског модела за редукцију лажних аларма био добар.



Слика 4.29. Приказ временске промене AFM сигнала и броја лажних ОТН циљева (BLC) у дану 1 добијен симулацијом BLC_AFM модула на тест скупу T_1 – Дан1 чији се узорци нису користили у процесу обуке неуронских мрежа овог модула, заједно са временском променом температуре ваздуха и удара ветра добијене мерењима у дану 1.



Слика 4.30. Приказ временске промене AFM сигнала и броја лажних ОТН циљева (BLC) у дану 3 добијен симулацијом BLC_AFM модула на тест скупу T_3 – Дан3 чији су се узорци користили у процесу обуке неуронских мрежа овог модула, заједно са временском променом температуре ваздуха и удара ветра добијене мерењима у дану 3.

4.3.4.3 Општи осврт на резултате примене хибридног емпиријско–неуронског модел за редуkcију лажних аларма

Анализирајући приказане резултате примене хибридног емпиријско–неуронског модела за редуkcију лажних аларма може се рећи да овај модел представља ефикасну алтернативу за решавање проблема лажних аларма јер нуди решавање тог проблема уз релативно мали утрошак хардверских и софтверских ресурса и избегавање сложених математичких прорачуна. То је зато што овај модел комбинује постојеће емпиријско искуство у праћењу циљева ОТН радаром са главним предностима коришћења вештачких неуронских мрежа. Ове предности се пре свега односе на способност вештачких неуронских мрежа да моделују проблеме чија физичка природа још увек није довољно позната (што је овде случај) као и релативну лакоћу развоја и имплементације одговарајућих неуронских структура у модел. Обуком неуронских мрежа PNN типа уз коришћење мерених вредности метео параметара којим се карактеришу јаки атмосферски поремећаји (температура атмосфере, брзина удара ветра, текуће време) развијен је прототип BLC_AFM модула који је саставни део хибридног емпиријско–неуронског модела. Резултати тестирања прототипа овог модула на мереним вредностима показују да овај модул има способност да основу вредности горе поменутих метео параметара, уз избегавање сложених математичких прорачуна, у реалном времену процени почетак и крај атмосферских поремећаја који проузрокују појаву лажних ОТН циљева, као и да у сваком тренутку, током трајања ових поремећаја, процени укупан број лажних циљева које треба елиминисати из даљег праћења. Пошто је обука и тестирање вештачких неуронских мрежа BLC_AFM модула извршена на релативно малом броју узорка за обуку и тестирање, не може се сматрати да је постигнут потребан степен генерализације неуронских мрежа овог модула који ће гарантовати његов поуздан рад у реалном окружењу, тако да ће имплементација и оперативна употреба предложеног модела сачекати прибављање већег скупа узорака који ће комплетније да репрезентују проблем који се моделује. Међутим, приказани резултати добијени прототипом оправдавају употребу вештачких неуронских мрежа у решавању проблема препознавања и елиминације лажних ОТН циљева, показују да предложена архитектура модела има велики потенцијал да се обуком његових неуронских мрежа на већем броју узорака дође до модела који је спреман за имплементацију у постојећи ОТН сензорски систем и оперативну употребу, а такође показују и да вештачке неуронске мреже PNN типа могу бити добар избор у ефикасној реализацији и имплементацији предложеног модела.

4.4. Упоредни приказ разматраних метео фактора, утицаја које имају на сензорску мрежу и одговарајућих решења

У табели 4 су сумиране метео појаве описане у претходним поглављима, њихов утицај на сензорску мрежу, комуникациону инфраструктуру и начини за превазилажење негативних утицаја поменутих појава (уколико их има).

Табела 4. Утицај разних метео појава на сензорску мрежу

| Метеоролошка појава | Утицај на ОТН радар | Утицај на остале сензоре | Утицај на комуникациону инфраструктуру | Одговарајућа решења |
|----------------------------------|------------------------------------|--------------------------|--|--|
| Мирно море | Нема негативних утицаја | Нема негативних утицаја | Нема негативних утицаја | - |
| Јак ветар на отвореном мору | Смањење домета | Нема негативних утицаја | Нема негативних утицаја | Нема |
| Невреме на положајима ОТН радара | Готово да нема утицаја | Готово да нема утицаја | Губитци пакета и повећање кашњења | Предикције положаја мета које раде алгоритам за праћење на нивоу једног радара, као и алгоритам представљен у 3.1. |
| Појаве блиске метео-цунамију | Појава великог броја лажних аларма | Нема негативних утицаја | Нема негативних утицаја | Филтрација трагова на основу алгоритма предложеног у 4.3. |

5

Закључак

У последњим деценијама сталан раст светске трговине, као и тренд глобализације уопште, довели су до огромног пораста поморског саобраћаја. Примера ради, само током последње четири деценије укупна количина робе превезене преко мора повећала се готово 4 пута. Ово не треба да изненађује јер је најповољнији начин превоза велике количине робе (посебно оне гломазније) употреба редовних пловних путева. Поврх овог чисто економског разлога, транспорт преко мора мање утиче на животну средину јер је количина емисије угљен-диоксида проузрокована пловним објектима најнижа међу свим превозним средствима. Међутим, пораст количине превезене робе неминовно је довео и до пораста криминалних активности у поморским подручјима.

Растући тренд поморског криминала натерао је многе нације као и међународне организације да делују у циљу елиминисања поморског криминала. Међутим, први и најважнији предуслов је употреба добро развијених и поузданих мрежа за надгледање поморског саобраћаја. Нажалост, постављање сензорске мреже која може обезбедити поуздано надгледање циљева иза линије хоризонта није ни мало лак задатак, јер ова врста сензорске мреже захтева више различитих сензора који се могу бити инсталирани како на обали мора, тако и на покретним платформама, као што су хеликоптери, авиони или чак сателити. Са друге стране иако сами сензори постоје, у литератури се не може наћи опис јединственог система који врши интеграцију података са свих тих сензора у јединствену целину намењену за осматрање циљева иза линије хоризонта.

Главна истраживања која су спроведена у оквиру ове дисертације се односе на решавање проблема интеграције података добијених од сензора који осматрају морску површину иза линије хоризонта. Примарна сензорска мрежа је састављена од OTHR – ова (Over the Horizon Radar), док је секундарни извор података AIS систем (Automated Information System), како сателитски тако и земаљски. На основу интеграције свих прикупљених података формира се јединствена оперативна слика са циљем контроле поморског саобраћаја на отвореном мору. Акцент је на контроли Ексклузивне Економске Зоне ради повећања безбедности пловидбе, очувања природних ресурса и спречавања нелегалних радњи. Такође, у дисертацији су обрађена и неки специфични

проблеми који се могу јавити у Екваторијалном појасу. Ти проблеми варирају од лоше инфраструктуре потребне за нормално функционисање сензора до ефекта проузрокованих метеоролошким факторима специфичним за екваторијални појас, као што су на пример снажне олује које могу изазвати појаву метео цунамија, које могу проузроковати појаву већег броја лажних аларма детектованих од стране ОТН радара. Да би се наведени проблем што ефикасније решио, развијен је хибридни емпиријско-неуронски модел за редукцију лажних аларма који комбинује постојеће искуство у праћењу циљева ОТН радаром и главне предности коришћења вештачких неуронских мрежа.

На основу представљених резултата истраживања, као главни научни доприноси дисертације могу се издвојити:

- Развој и имплементација алгорита за фузију циљева са 2 или више ОТН радара. Овај алгоритам је прошао све развојне фазе, током којих је утврђено да елиминише око 23,3% добијених ОТН радарских трагова (који заправо представљају дупле трагове), чиме значајно смањује појаву лажних аларма. Поред тога, алгоритам обезбеђује прецизније и праћење, чиме ствара јединствену ОТН радарску слику на удаљеностима иза хоризонта уз врло ниске рачунске захтеве. Јасно је да је након развоја овај алгоритам ушао у оперативну употребу.
- Развој и имплементација алгорита за интеграцију трагова добијених са мреже ОТН радара са доступним AIS подацима. Попут претходног алгорита и овај алгоритам је прошао све развојне фазе и налази се у оперативној употреби. Током тестирања закључено је да представљени алгоритам елиминише око 30% примљених података, јер су дупликати и самим тим значајно смањује лажне аларме. Поред тога, овај алгоритам обезбеђује додатно повећање прецизности у праћењу циљева на отвореном мору и формира комплетну оперативну слику на ОТН удаљеностима уз минималне рачунске трошкове.
- Организација сензорске мреже која минимизује зависност од спољних фактора, као што су разни метео фактори, проблеми са конекцијом удаљених положаја и централног система, нередовност (велико кашњење) AIS података итд. На основу организације сензорске мреже предложене овде, инсталирана је оперативна сензорска мрежа у Гвинејском заливу, која ће се на даље проширивати додатним сензорима.

- Анализа успешности предложеног приступа у разним метео условима. У којој се разматра понашање сензорске мреже засноване на ОТН радарима у метеоролошким условима који варирају од оних који се могу срести у било ком делу света до услова специфичних за Гвинејски залив. Током саме анализе предложена су и решења за превазилажење проблема који су проузроковани метео-факторима.
- Развој хибридног емпиријско–неуронског модела за редукцију лажних аларма у присуству јаких метеоролошких поремећаја, па чак и метео-цунамија. Овде треба напоменути да овај допринос још увек није имплементиран у систем који се налази у оперативној употреби, већ се налази у фази испитивања. Да би предложени модел био имплементиран, потребно је прикупити више података како би неуронски модел био оптимизован. Нажалост, ово није лак задатак јер су описани поремећаји ретки. Примера ради, за потребе ове дисертације анализирани су подаци који су прикупљени у распону дужем од годину дана, али су само 4 догађаја проузроковала нагли пораст лажних аларма.

Примењене методе и резултати спроведених истраживања изложени у овој дисертацији отварају пут за даља истраживања. Будући правци истраживања би били:

- Интеграција сензора за надгледање циљева близу обале, пре свих микроталасних радара, у предложени систем, чиме би се формирала јединствена оперативна слика од обале.
- Интеграција у предложени систем и других сензора који могу пружити податке о циљевима иза линије хоризонта, пре свих мултифункционалних радарских система који се налазе на летећим платформама.
- Оптимизација целог система за рад у условима у другим радним окружењима, као што су други климатски услови, или различити инфраструктурни услови.
- Наставак развоја представљеног хибридног емпиријско–неуронског модела за редукцију лажних аларма у присуству јаких метеоролошких поремећаја, па чак и метео-цунамија. Ово укључује обуку вештачких неуронских мрежа које се користе у моделу на знатно већем броју узорака за обуку, чиме би се добио модел већих предикционих и генерализационих способности, који је спреман за уградњу у хардверско-софтверски систем сензорске мреже и оперативну употребу.

Литература

- [1] United Nations, „Law of the Sea, Part V – Exclusive Economic Zone,“ United Nations, 2011.
- [2] UN News, „UN Security Council urges ‘comprehensive response’ to piracy off Somali coast,“ 7 November 2017. [На мрежи]. Available: <https://news.un.org/en/story/2017/11/570172-un-security-council-urges-comprehensive-response-piracy-somali-coast>. [Последњи приступ 20 June 2019].
- [3] European Union, „European Union Naval Force ATALANTA,“ EU, [На мрежи]. Available: <https://eunavfor.eu/mission/>. [Последњи приступ 20 June 2019].
- [4] International Maritime Organization, *Resolution MSC.74 Annex 3 Recommendation on Performance Standards AIS*, London: IMO, 1998.
- [5] G. Fabrizio, *High Frequency Over-the-Horizon Radar: Fundamental Principles, Signal Processing, and Practical Applications*, London: McGraw-Hill Inc., 2013.
- [6] Y. Bar-Shalom, X. Li и T. Kirubarajan, *Estimation with Applications to Tracking and Navigation: Theory*, New York: Wiley, 2001.
- [7] S. Blackman, *Multiple-Target Tracking with Radar Applications*, Norwood, MA, USA: Artech House, 1986.
- [8] P. Barca, S. Maresca, R. Grasso, K. Bryan и J. Horstmann, „Maritime Surveillance with Multiple,“ *IEEE Aerosp. Electron. Syst. Mag.*, т. 30, бр. 12, pp. 4-19, 2015.
- [9] D. Nikolic, N. Stojkovic, Z. Popovic, N. Tosic, N. Lekic, Z. Stankovic, N. Doncov, "Maritime Over the Horizon Sensor Integration: HFSWR Data Fusion Algorithm", *Remote Sensing*, т. 11, бр. 7, article no. 852, 2019.
- [10] G. Vivone, P. Barca и J. Horstmann, „Knowledge-Based Multitarget Ship Tracking for HF Surface Wave Radar Systems,“ *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, т. 53, бр. 7, pp. 3931-3941, 2015.
- [11] P. Barca, M. Vespe, S. Maresca и J. Horstmann, „A novel approach to high frequency radar ship tracking exploiting aspect diversity,“ у *In Proceedings of the IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, Munich, Germany, 2012.
- [12] S. Maresca, P. Barca и J. Horstmann, „Detection, Tracking and Fusion of Multiple HFSW Radars for Ship Traffic Surveillance: Experimental Performance Assessment,“ у *In Proceedings of the IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, Melbourne, Australia, 2013.
- [13] D. Nikolic, Z. Popovic, M. Borenovic, N. Stojkovic, V. Orlic, A. Dzvонkovskaya и B. Todorovic, „Multi-Radar Multi-Target Tracking Algorithm for Maritime Surveillance at OTH Distances,“ у *In Proceedings of the 17th International Radar Symposium (IRS)*, Krakow, Poland, 2016.
- [14] D. Nikolic, N. Stojkovic, P. Petrovic, N. Tosic, N. Lekic, Z. Stankovic и N. Doncov, „The High Frequency Surface Wave Radar Solution For Seeing Beyond The Horizon,“ *Facta Universitatis, Electronics and Energetics Series*, 2019.
- [15] N. Stojkovic, D. Nikolic, B. Dzolic, N. Tosic, V. Orlic, N. Lekic и B. Todorovic, „An Implementation of Tracking Algorithm for Over-The-Horizon Surface Wave Radar,“ у *In Proceedings of the 2016 24th Telecommunications Forum (TELFOR)*, Belgrade, Serbia, 2016.

- [16] N. Stojkovic, D. Nikolic и S. Puzović, „Density Based Clustering Data Association Procedure for Real–Time HFSWRs Tracking at OTH Distances,“ *IEEE Access*, т. 8, pp. 39907-39919, 2020.
- [17] A. Rabinovich, Seiches and Harbour Oscillations in Handbook of Coastal and Ocean Engineering (edited by Y.C. Kim), Singapoure: World Scientific Publications, 2009.
- [18] K. Haugen, F. Lovholt и C. Harbitz, „Fundamental mechanisms for tsunami generation by submarine mass flows in idealised geometries,“ *Marine and Petroleum Geology*, т. 22, бр. 1-2, pp. 209 - 217, 2004.
- [19] S. Haykin, Neural Networks, New York, USA: IEEE, 1994..
- [20] Q. J. Zhang и K. C. Gupta, Neural networks for RF and microwave design, Boston, MA: Artech House, 2000.
- [21] C. G. Christodoulou и M. Georgiopoulos, Application of neural networks in electromagnetics, Boston, MA, USA: Artech House, 2000..
- [22] D. F. Specht, „Probabilistic neural networks,“ *Neural Networks*, т. 3, бр. 1, pp. 109-118, 1990.
- [23] J. Заткалик, Радиолокација 1. део, Београд: Академска Мисао, 1995.
- [24] Б. Драговић, Антене и простирање радио таласа, Београд: Академска Мисао, 2003.
- [25] International Telecommunication Union, „Software, Data and Validation examples for ionospheric and tropospheric radio wave propagation and radio noise,“ ITU-R, [На мрежи]. Available: <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg3/Pages/iono-tropo-spheric.aspx>. [Последњи приступ 08 07 2019].
- [26] International Communication Union, Handbook on Ground Wave Propagation, Geneva: ITU Radiocommunication Bureau, 2014.
- [27] International Telecommunication Union, „Reccommendation ITU - R P.368-9 Ground-wave propagation curves for frequencies between 10 KHz and 30 MHz,“ ITU-R, Geneva, 2007.
- [28] D. E. Barrick, „Theory of Ground-wave propagation accross rough sea at dekameter wavelengths,“ Battelle Memorial Institute, Columbus, OH, USA, 1970.
- [29] ITU - R, „Recommendation P.372-11,“ ITU, 2013.
- [30] „GHNoise,“ [На мрежи]. Available: <http://www.greg-hand.com/noise/>.
- [31] IALA, „Recommendation V-128OnOperational and Technical Performance Requirements for VTS EquipmentEdition 3.0,“ IALA, Saint Germain en Laye, France, 2007.
- [32] M. I. Skolnik, Radar Hand Book, Boston, MA, USA: McGraw-Hill Inc., 2nd. edition.
- [33] M. I. Skolnik, „An empirical formula for the radar cross section of ships at grazing incidence,“ *IEEE Transactions*, т. 10, 1974.
- [34] W. M. E.A. Turpin, Merchant Marine Officers' Handbook (4th ed.), Centreville, MD, USA: Cornell Maritime Press, 1980.
- [35] H. Wilson и H. Leong, „An Estimation and Verification of Vessel Radar-Cross-Section for HF Surface Wave Radar,“ у *International Conference on Radar (RADAR 2003)*, Adelaide, Australia, 2003.
- [36] R. W. Bogle и D. B. Trizma, „Small Boat HF Radar Cross Section,“ Naval Research Laboratories, 1976.

- [37] University of Otago, „Numerical Electromagnetics Code,“ [На мрежи]. Available: <http://elec.otago.ac.nz/w/index.php/Несрр..> [Последњи приступ 10 02 2020].
- [38] Altair hyperworks, „FEKO,“ Altair hyperworks, [На мрежи]. Available: <https://altairhyperworks.com/product/FEKO/>. [Последњи приступ 10 07 2019].
- [39] WIPL - D, „WIPL - D,“ [На мрежи]. Available: <https://wipl-d.com/>. [Последњи приступ 10 07 2019].
- [40] H. - Lloyd, „Hapag-Lloyd Fleet,“ Hapag-Lloyd, [На мрежи]. Available: https://www.hapag-lloyd.com/en/fleet/hapag_lloyd_vessels.html. [Последњи приступ 5 May 2015].
- [41] N. L. e. al., „Impact of Radar Cross Section on HF Radar Surveillance Area: Simulation Approach,“ у *IEEE Radar Conference*, Johannesburg, 2015.
- [42] I. J. Marcum, „A statistical theory of target detection by pulsed radar,“ *IRE Transactions on Information Theory*, pp. 59 - 267, 1960.
- [43] P. Swerling, „Probability of detection for fluctuating targets,“ *IRE Transactions on information theory*, pp. 269-308, 1960.
- [44] P. Swerling, „More on detection of fluctuating targets,“ *IRE Transactions on Information Theory*, pp. 459-460, 1965.
- [45] R. L. Mitchell и J. F. Walker, „Recursive methods of computing detection probabilities,“ *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Том. %1 од %2AES-7, pp. 671-676, 1971.
- [46] D. A. Shnidman, „Radar detection probabilities and their calculations,“ *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, т. 31, pp. 928-950, 1995.
- [47] D. Shnidman, „Determination of required SNR values [radar detection],“ *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, т. 38, бр. 3, pp. 1059 - 1064, 2002.
- [48] M. B. R., *Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB*, New York: Chapman & Hall/CRC Press, 2000.
- [49] L. Sevgi, A. Ponsford и H. C. Chan, „An integrated maritime surveillance system based on high-frequency surface-wave radars. Part 1. Theoretical background and numerical simulations,“ *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, т. 43, бр. 4, pp. 28-43, 2001.
- [50] A. Ponsford, L. Sevgi и H. Chan, „An integrated maritime surveillance system based on high-frequency surface-wave radars. Part 2. Operational status and system performance,“ *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, т. 43, бр. 5, pp. 52-63, 2001.
- [51] J. Ponsford. T. and Wang, „A Review of High Frequency Surface Wave Radar for Detection and Tracking of Ships,“ *Turk J Elec Eng & Comp Sci*, т. 18, бр. 3, 2010.
- [52] L. Sevgi, „Modeling and simulation strategies in high frequency surface wave radars,“ *urk J Elec Eng & Comp Sci*, т. 18, бр. 3, 2010.
- [53] V. Milovanovic, „On Fundamental Operating Principles and Range-Doppler Estimation in Monolithic Frequency-Modulated Continuous-Wave Radar Sensors,“ *Facta Universitatis Series: Electronics and Energetics*, т. 31, бр. 4, pp. 547-570, 2018.
- [54] N. Stojkovic, D. Nikolic, P. Petrovic, N. Tosic и N. Lekic, „An Implementation of DBF and CFAR models in OTHR signal processing,“ у *In proceedings of the 15th*

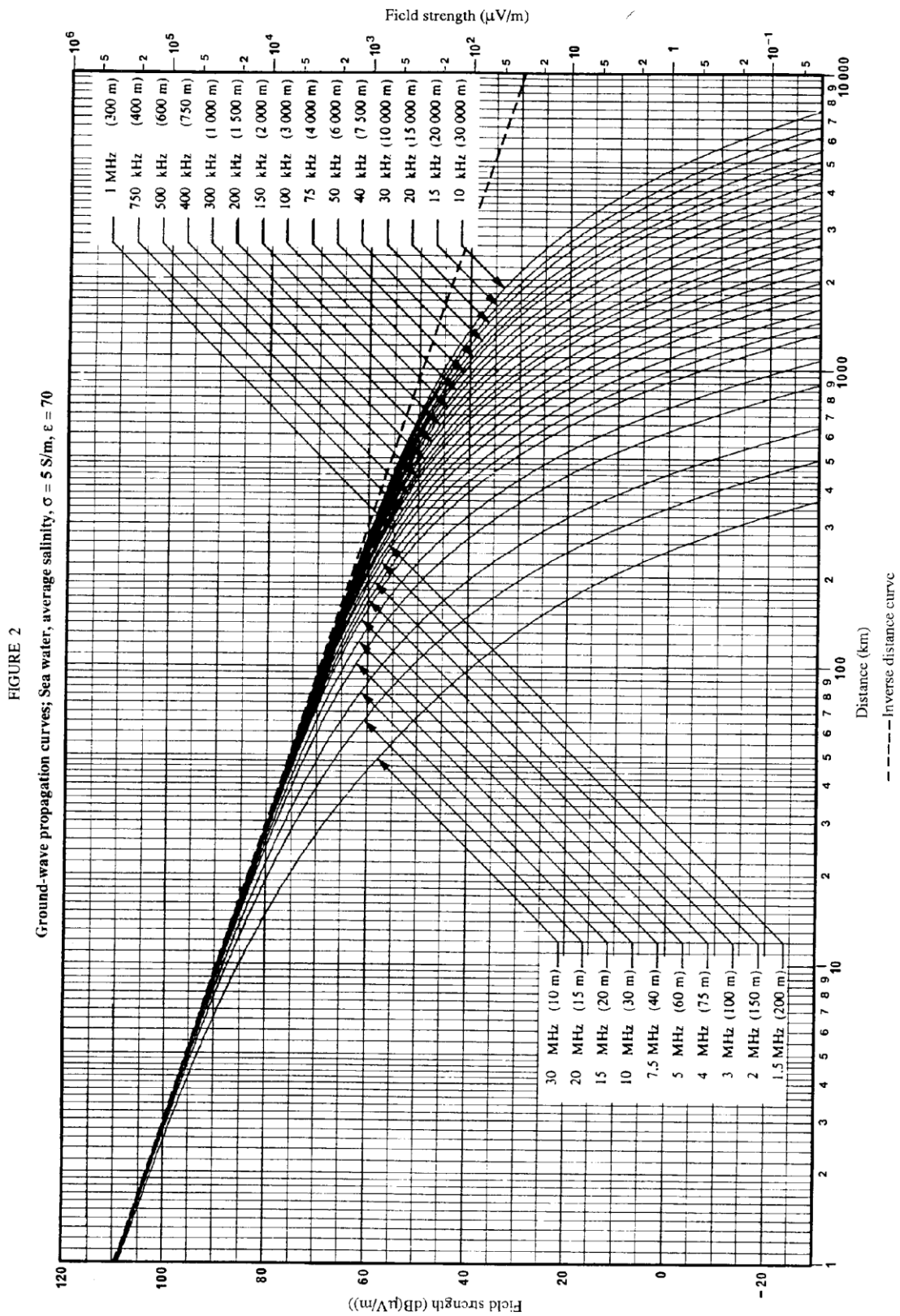
- IEEE Colloquium on Signal Processing and its Applications (CSPA 2019)*, Penang, Malaysia, 2019.
- [55] H. L. Van Trees, *Optimum Array Processing*, John Wiley & Sons, Inc, 2002.
- [56] J. O. I. Smith, *Spectral Audio Signal Processing*, W3K Publishing, 2011.
- [57] H. Orchard, R. Elliott и G. J. Stern, „Optimizing the synthesis of shaped beam antenna patterns,“ y *In Proceedings of IEE Microwave, Antennas and Propagation*, 1985.
- [58] X. Lu, J. Wang, R. Dizaji, Z. Ding и A. M. Ponsford, „A New Constant False Alarm Rate Technique for High Frequency Surface Wave Radar,“ y *In Proceedings of IEEE CCECE*, 2004.
- [59] D. Ivković, M. Andrić и B. Zrnić, „Detection of Very Close Targets by Fusion CFAR Detectors,“ *Scientific Technical Review*, т. 66, бр. 3, pp. 50-57, 2016.
- [60] D. Drajić, *Uvod u statističku teoriju telekomunikacija*, Belgrade, Seriba: Akademska Misao, 2004.
- [61] A. a. P. S. U. Papoulis, *Probability, Random Variables and Stochastic Processes* 4th edition, McGraw-Hill Europe, 2002.
- [62] S. V. Kartalopoulos, *Probability Theory of Bit Error Rate*, Wiley-IEEE Press, 2004.
- [63] L. A. Johnston и V. Krishnamurthy, „Performance analysis of a dynamic programming track before detect algorithm,“ *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, т. 38, бр. 1, pp. 228-242, 2002.
- [64] S. J. Davey, M. G. Rutten и B. Cheung, „A comparison of detection performance for several track-before-detect algorithms,“ *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, т. 2008, p. Article No. 41., 2008.
- [65] S. Buzzi, M. Lops, L. Venturino и M. Ferri, „Track-before-detect procedures in a multi-target environment,“ *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, т. 44, бр. 3, pp. 1135-1150, 2008.
- [66] NOAA, „Table 3700: Sea State,“ NOAA, [На мрежи]. Available: https://www.nodc.noaa.gov/woce/woce_v3/wocedata_1/woceuot/document/wmocode.htm. [Последњи приступ 5 April 2018].
- [67] M. Peel, B. L. Finlayson и T. A. McMahon, „Updated world map of the Koppen – Geiger climate classification,“ *Hydrol. Earth Syst. Sci*, т. 11, pp. 1633-1644, 2007.
- [68] H. J. e. a. Christian, „Global frequency and distribution of lightning as observed from space by Optical Transient Detector,“ *Journal of Geophysical research*, т. 108, бр. D1, 2003.
- [69] M. M. Weiner, *Monopole Antennas*, New York, USA: Marcel Dekker Inc, 2003.
- [70] A. C. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*. 3rd edition, New Jersey, USA: John Wiley & Sons Inc, 2005.
- [71] D. Nikolic, N. Stojkovic и N. Lekic, „Maritime over the Horizon Sensor Integration: High Frequency Surface-Wave-Radar and Automatic Identification System Data Integration Algorithm,“ *Sensors*, т. 18, бр. 4, p. Article No. 1147, 2018.
- [72] Orbcomm, „Orbcomm network,“ Orbcomm, [На мрежи]. Available: <https://www.orbcomm.com/en/networks/satellite---ais>. [Последњи приступ 5 April 2018].
- [73] H. A. Thiel, „A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis,“ *Nederl. Akad. Wetensch.*, т. 53, p. 386–392, 1950.

- [74] P. K. Sen, „Estimates of the regression coefficient based on Kendall’s tau,“ *J. Am. Stat. Assoc.*, т. 63, p. 1379–1389, 1968.
- [75] Federal Communications Commission, „Code of Federal Regulations (annual edition),“ FCC, [На мрежи]. Available: https://www.ecfr.gov/cgi-bin/textidx?SID=ab47dab6aa0abdfbba033b9891dd07bd&mc=true&node=se47.4.73_1208&rgn=div8. [Последњи приступ 27 June 2019].
- [76] ITU, „Recommendation M.585-7 Assignment and Use of Identities in the Maritime Mobile Service,“ ITU, Geneva, Switzerland, 2015.
- [77] N. Bowditch, *American Practical Navigator*, United States Hydrographic Office, 1938.
- [78] S. Voit, „Tsunamis,“ *Annual Review of Fluid Mechanics*, т. 19, бр. 1, pp. 217 - 236, 1987.
- [79] S. Monserat, I. Vilibic и A. B. Rabinovich, „Meteotsunamis: athmospherically induced destructive ocea waves in tsunami frequency band,“ *Nat. Hazards Earth Syst. Sci*, т. 6, pp. 1035 - 1051, 2006.
- [80] A. Dzvonkovskaya, „HF Radar for Tsunami Alerting: from System Concept and Simulations to Integration into Early Warning Systems,“ *IEEE AES Magazine*, т. 33, бр. 3, pp. 48-58, 2018.
- [81] J. Lighthill, *Waves in Fluids*, Cambridge: Cambridge University Press, 1978.
- [82] A. Dzvonkovskaya, L. Petersen, T. Helzel и M. Kniephoff, „High-Frequency Ocean Radar Support for Tsunami Early Warning Systems,“ *Geoscience Letters*, т. 5, 2018.
- [83] K.-W. Gurgel, A. Dzvonkovskaya, T. Polhman, T. Schlick и E. Gill, „Simulation and detection of tsunami signatures in ocean surface currents measured by HF radar,“ *Ocean Dynamics*, т. 61, бр. 10, p. 1495 – 1507, 2011.
- [84] B. L. e. al., „Japan tsunami current flows observed by HF radars on two continents,“ *Remote Sensing*, т. 3, pp. 1663-1679, 2011.
- [85] M. Heron, A. Dzvonkovskaya и T. Helzel, „HF Radar Optimised for Tsunami Monitoring,“ у *OCEANS'15 IEEE Conference*, Genova, Italy, 2015.
- [86] A. Dzvonkovskaya, D. Nikolic, V. Orlic, M. V. Peric и N. Tomic, „Remote Observation of a Small Meteotsunami in the Bight of Benin Using HF Radar Operating in Lower HF Band,“ *IEEE Access*, т. 7, pp. 88601-88608, 2019.
- [87] A. H. E. L. Zooghby, H. L. Southall и C. G. Christodoulou, „Experimental validation of a neural network direction finder,“ у *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, 1999.
- [88] T. Matsumoto и Y. Kuwahara, „Experiments of direction finder by RBF neural network with post processing,“ у *2005 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*,, 2005.
- [89] A. H. E. L. Zooghby, C. G. Christodoulou и M. Georgiopoulos, „A neural network based smart antenna for multiple source tracking,“ *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, т. 48, бр. 5, pp. 768 - 776, 2000.
- [90] O. d. A. D. Junior, A. D. D. Neto и W. D. Mata, „, 2006. Determination of multiple direction of arrival in antennas arrays with radial basis functions. 70 (1–3):55-61,“ *Neurocomputing*, т. 70, бр. 1, pp. 55-61, 2006.

- [91] M. Agatonović, Z. Stanković и N. Dončov, „Application of artificial neural networks for efficient high-resolution 2D DOA estimation,“ *Radioengineering*, т. 21, бр. 4, p. 1178–1186, 2012.
- [92] M. Stoilkovic, Z. Stankovic, I. Milovanovic и N. Doncov, „Experimental Verification of an ANN Based Model for 2D DOA Estimation of Closely Spaced Coherent Sources,“ *Microwave And Optical Technology Letters*, т. 56, бр. 11, p. 2558–2562, 2014.
- [93] K. A. Gotsis, K. Siakavara и J. N. Sahalos, „On the Direction of Arrival (DoA) Estimation for a Switched-Beam Antenna System Using Neural Networks,“ *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, т. 57, бр. 5, p. 1399 – 1411, 2009.
- [94] Z. Stanković, N. Dončov и B. Milovanović., „Efficient DoA Tracking of Variable Number of Moving Stochastic EM Sources in Far-Field Using PNN-MLP Model,“ *International Journal of Antennas and Propagation*, 2015.
- [95] K. Z. Mao, K.-C. Tan и W. Ser, „Probabilistic Neural-Network Structure Determination for Pattern Classification,“ *IEEE Transactions on Neural Networks*, т. 11, бр. 4, pp. 1009-1016, 2000.
- [96] M. Ibrahim, E. Emary и S. Ramakrishnan, „On the Application of Various Probabilistic Neural Networks in Solving Different Pattern Classification Problems,“ *World Applied Sciences Journal*, т. 4, бр. 6, pp. 772-780, 2008.
- [97] [На мрежи]. Available: <http://www.personal.reading.ac.uk/~sis01xh/teaching/CY2D2/Pattern2.pdf>.
- [98] [На мрежи]. Available: https://www.byclb.com/TR/Tutorials/neural_networks/ch4_1.htm.
- [99] [На мрежи]. Available: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>.
- [100] [На мрежи]. Available: <https://www.mn.uio.no/astro/english/services/it/help/mathematics/matlab/getstart.pdf>.
- [101] ITU, „Recommendation ITU-R P.525-3: Calculation of free-space attenuation,“ ITU - R, Geneva, 2016.

Прилози

Прилог А: Пропагација површинског таласа преко морске површине

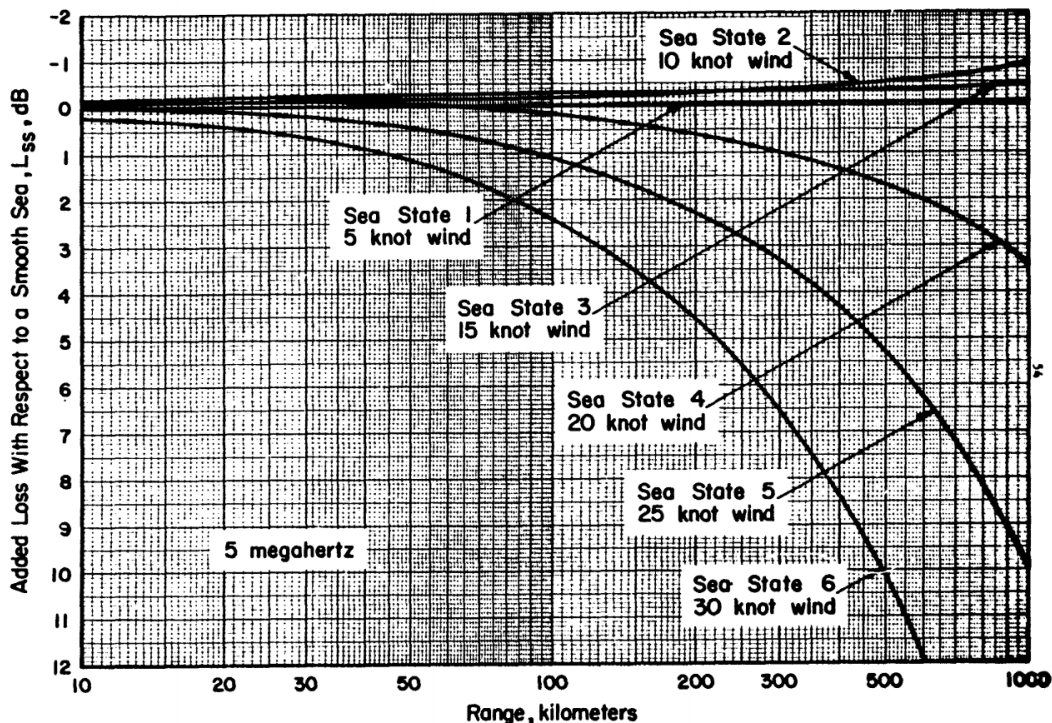


0368-02

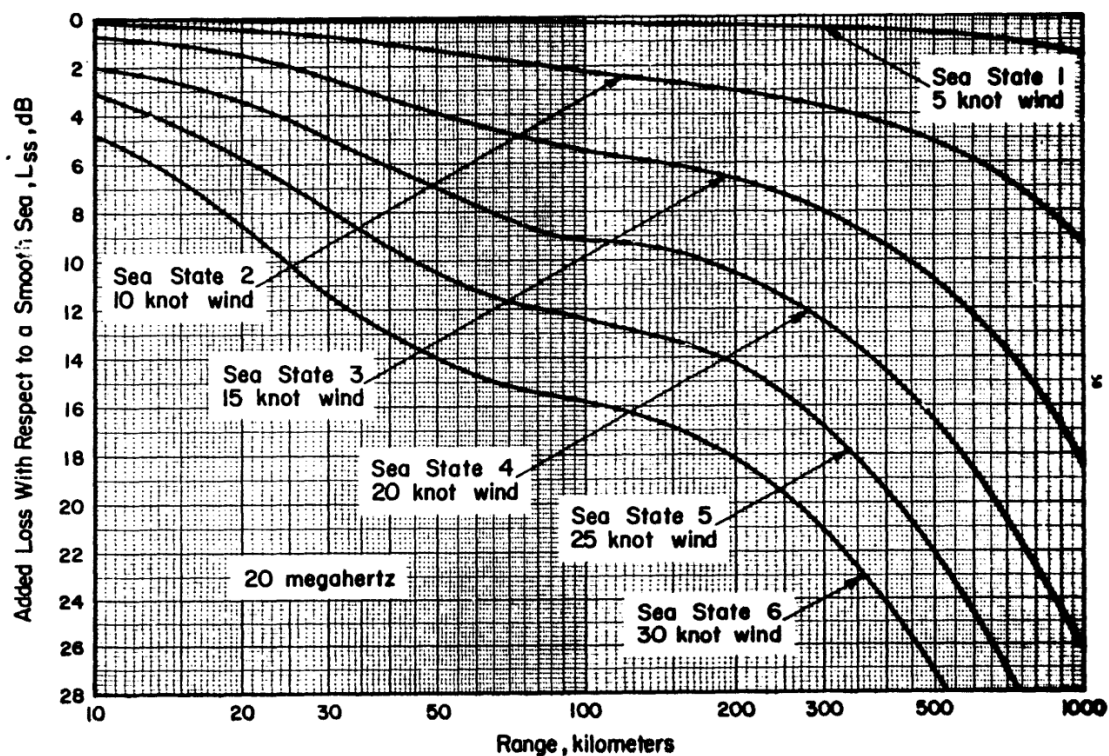
Слика А.1. Пример пропагације површинског таласа

Криве пропагације приказане на слици А.1. израчунате су уз следеће претпоставке:

- Односе се на глатки, хомоген и сферни модел Земље,
- у тропосфери, индекс рефракције смањује се експоненцијално са висином, на начин описан у [101],
- и предајне и пријемне антене налазе се на нивоу тла,
- елемент који зрачи је кратки вертикални монопол. Под претпоставком да се таква вертикална антена налази на савршено проводљивој површини, и побуђена је тако да ефективно зрачи 1 KW, јачина електричног поља на удаљености од једног километара би била 300 mV/m, што одговара цимомотивној сили од 300 V (видети [101]),
- криве су нацртане за удаљености измерене око закривљене површине Земље и
- криве дају вредност снаге вертикалне компоненте поља зрачења, а што се може ефикасно измерити у подручју далеког поља антене.



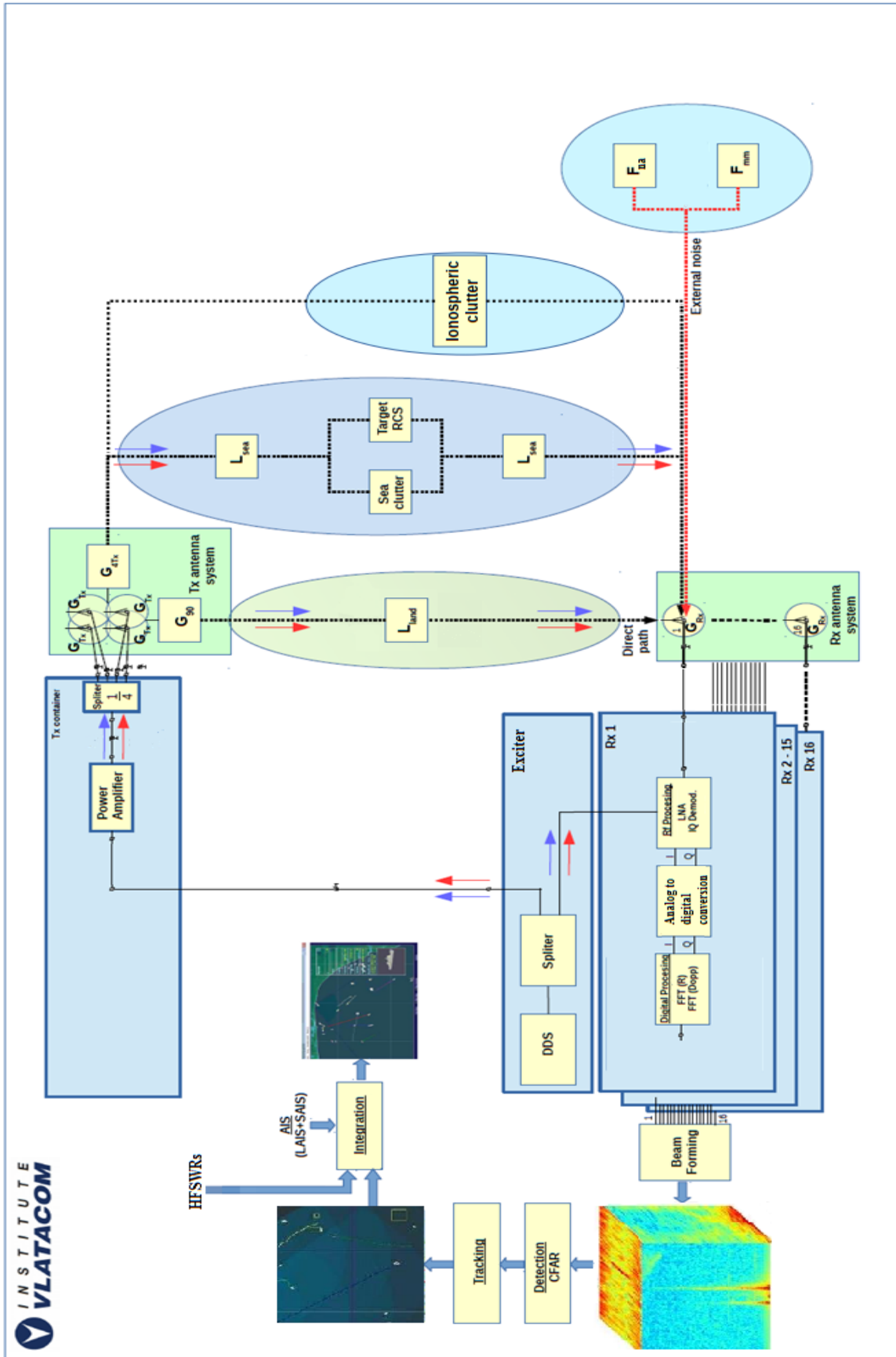
Слика А.2. Атенуација површинског таласа фреквенције 5 MHz услед простирања преко немирног мора



Слика А.3. Атенуација површинског таласа фреквенције 20 MHz услед простирања преко немирног мора

Као што се слика А.2. и А.3. може видети атенуација у зависности од стања мора [66] може прилично утицати на домет радара. Са слике А.2. може се видети да у одређеним условима атенуација може бити чак и негативна, што за последицу има незнатно повећање домета радара. На жалост у пракси је ово веома редак случај, јер су таласи на отвореном мору углавном много већи, те је стање мора готово увек изнад 3. Много реалнији случај је да је стање мора такво да је ефекат атенуације веома изражен те битно умањује домет радара. Такође, са слике А.3. се може видети да је ефекат стања мора далеко израженији на вишим него на нижим фреквенцијама. Примера ради за стање мора 6, на даљини од 300 километра, атенуација таласа фреквенције од 5 MHz расте за 6,5 dB, док атенуација таласа фреквенције од 20 MHz расте за 21 dB. Наравно ово је атенуација у само једном правцу простирања. Другим речима додатна атенуација на траси ОТН радар – циљ на раздаљини од 300 км и назад износи 13, односно 42 dB. Када се на ово дода да је атенуација услед простирања таласа по глатком мору мања на фреквенцији од 5 MHz, него на фреквенцији од 20 MHz, јасно је да се за веће домете употребљавају системи на нижим фреквенцијама.

Прилог Б: Блок шема ОТН радара



Слика Б.1. Блок шема ОТН радара

6

Биографија аутора

Мр Дејан Николић, дипл. инж. из Бора, рођен је 1982. године, од оца Србислава и мајке Ангелине. Ожењен је супругом Тањом и отац је двоје деце, Стефана и Миле.

Има преко 15 година радног искуства стеченог у развоју, истраживању, производњи, и настави у средње и високошколском образовању. Од 2005. године је запослен, најпре на Војној Академији у Београду, а затим у Центру за обуку В и ПВО на аеродрому Батајница, где се бавио наставним радом са студентима ВА, ученицима Средње Војне Школе и Ваздухопловне Академије, као и са обуком војника. Након напуштања Војске Србије (2015.), радио је у Институту "Влатацом", у Београду, на истраживању, развоју и производњи ОТН радара, њиховој инсталацији на терену, као и обуци клијената. 2019. прелази у компанију "Хенсолдт", у сектор који се налази на Боденском језеру у Немачкој, где ради на развоју мултифункционалних радарских система намењених за инсталацију на летећим платформама.

Аутор је или коаутор више од 20 радова, који су објављени у домаћим и међународним часописима и на конференцијама, међу којима треба издвојити 6 радова категорије М21. Учествовао је у развоју 4 техничка решења, од којих треба издвојити једно категорије М81.

7

Изјаве аутора

ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

Изјављујем да је докторска дисертација, под насловом

**Надгледање циљева иза линије хоризонта интеграцијом података са ОТН
радар и других морнарских сензора**

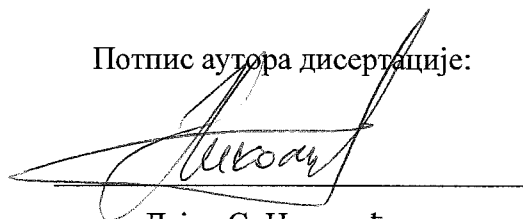
, која је одбрањена на Електронском факултету Универзитета у Нишу:

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да ову дисертацију, ни у целини, нити у деловима, нисам пријављивао/ла на другим факултетима, нити универзитетима;
- да нисам повредио/ла ауторска права, нити злоупотребио/ла интелектуалну својину других лица.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци, који су у вези са ауторством и добијањем академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада, и то у каталогу Библиотеке, Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Нишу, као и у публикацијама Универзитета у Нишу.

У Нишу, 02/07/2020.

Потпис аутора дисертације:



Дејан С. Николић

**ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНОГ И ЕЛЕКТРОНСКОГ ОБЛИКА
ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

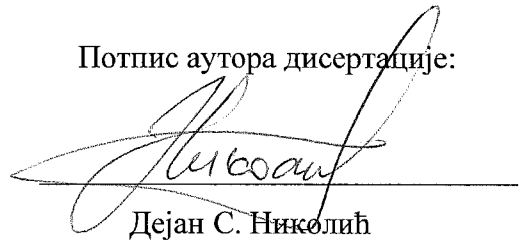
Наслов дисертације:

**Надгледање циљева иза линије хоризонта интеграцијом података са ОТН
радара и других морнаричких сензора**

Изјављујем да је електронски облик моје докторске дисертације, коју сам предао/ла за уношење у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу, истоветан штампаном облику.

У Нишу, 02/07/2020.

Потпис аутора дисертације:



Дејан С. Николић

ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Никола Тесла“ да, у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу, унесе моју докторску дисертацију, под насловом:

Надгледање циљева иза линије хоризонта интеграцијом података са ОТН радара и других морнаричких сензора

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском облику, погодном за трајно архивирање.

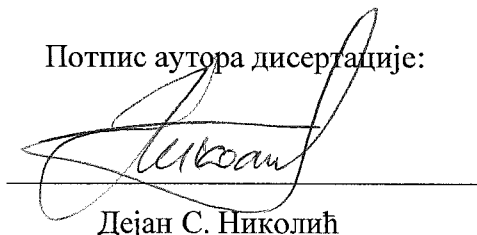
Моју докторску дисертацију, унету у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу, могу користити сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons), за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прераде (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да подвучете само једну од шест понуђених лиценци; опис лиценци дат је у наставку текста).

У Нишу, 02/07/2020.

Потпис аутора дисертације:



Дејан С. Николић