

Modeliranje i simuliranje piratskih napada uz pomoć hibridnih vremenskih Petrijevih mreža

Modelling and Simulating Pirate Attacks by Using Hybrid Time Petri Nets

Goran Belamarić

Pomorski fakultet
Sveučilište u Splitu
e-mail: goran.belamarić@pfst.hr

Danko Kezić

Pomorski fakultet
Sveučilište u Splitu
e-mail: danko.kezic@pfst.hr

DOI 10.17818/NM/2017/1.8

UDK 347.7:656

004

Pregledni rad / Review

Rukopis primljen / Paper accepted: 30. 1. 2017.

Sažetak

U nastojanju da se poduzmu učinkovite mjere protiv piratskih napada pokazala se potreba za izradom modela koji će pridonijeti povećanju zaštite od piratskih napada na brodove u područjima gdje postoji visok rizik od te opasnosti. Zato je korištenjem hibridnih vremenskih Petrijevih mreža izrađena simulacija vremenske dinamike piratskog napada na brod u plovidbi. U simulaciji vremenske dinamike događanja tijekom piratskog napada – studija slučaja (*Case Study*) – korištenjem Petrijevih mreža razvijeni su, prikazani i analizirani najnepovoljniji piratski napadi na brod u plovidbi uz dodatnu zaštitu ratnog broda s helikopterom. Izrađena su i analizirana tri scenarija napada pirata na brod s jednim, dva i tri piratska broda. Ovakavje sustav u svojoj prirodi vrlo složen. Sastoji se od kontinuiranog dijela (*Continuous Systems*), tj. gibanja napadnutog broda, gibanja piratskog broda i gibanja vojnog broda/helikoptera (promjena brzine, udaljenosti), i diskretnog dijela (*Discrete Event Systems*), tj. početak napada, slanje distressa. Analizirani su čimbenici koji utječu na sigurnost plovidbe broda kroz područje povećanog rizika od mogućih piratskih napada. Navedeni su karakteristični pokazatelji i istraženi načini poboljšanja sigurnosti kako bi se na kraju pokazalo darazvijena primjena vremenske dinamike piratskog napada vodi k optimalnom rješenju planiranja plovidbe broda kroz piratska područja.

Summary

In an effort to take effective measures against pirate attacks revealed the need to develop models which will contribute to increased protection from pirate attacks on ships in areas where there is a high risk of such a threat. Therefore, the use of hybrid time Petri nets made simulation time dynamics of pirate attack on a ship at sea. In the simulation of the time dynamics of events during pirate attacks (Case Study) by using Petri nets have been developed, presented and analyzed the most unfavorable cases of pirate attack on a ship at sea with additional protection of a warship with a helicopter. Three scenarios of pirate attacks on a ship with one, two and three pirate ships have been prepared and analyzed. Such a system in its own nature is very complex. It consists of a continuous portion (Continuous Systems), ie. movement of the attacked ship, pirate ship motion and movement naval vessel / helicopter (change speed, distance), and the Discrete Event Systems, ie. commencing of attack, sending distress. Analyzed the factors that affect the safety of navigation of the ship through the area of increased risk from possible pirate attacks. The mentioned are typical indicators and studied ways of improving the safety in order to finally demonstrate how developed applications time dynamics of pirate attacks leads to the optimal solution of planning navigation ships through the pirate areas.

1. UVOD/Introduction

U doba globalizacije piratstvo i terorizam nisu beznačajni fenomen - radi se o globalnom organiziranom kriminalu i trenutačno najvećoj ljudskoj prijetnji na morima i oceanima. Piratski napadi na brodove ozbiljno ugrožavaju sigurnost plovidbe i ljudske živote. Prema Konvenciji Ujedinjenih naroda o pravu mora piratsko je djelo i svaki čin dobrovoljnog sudjelovanja i uporabe broda ako počinitelj zna da taj brod

ima obilježja piratskoga broda. Piratski je i čin kojemu je svrha poticati ili namjerno olakšavati označena piratska djela. Piratstvo je jednako tako svaki čin dobrovoljnog sudjelovanja u uporabi broda ili zrakoplova ako počinitelj zna da taj brod ili zrakoplov ima obilježje piratskoga broda ili zrakoplova.

Veliko povećanje količine pomorskog prometa u posljednjem desetljeću te njegova koncentracija na određenim

KLJUČNE RIJEČI

piratski napad
Petrijeve mreže
simulacija
područje visokog rizika
vrijeme dolaska helikoptera
zaštita broda

KEY WORDS

piracy attack
Petri net
simulation
high risk area
helicopters time range
ship protection

pravcima ugrožena je suvremenim pomorskim piratstvom. Ovisno o plovnom području, suvremeno pomorsko piratstvo, kao određeni oblik terorizma, trenutačno predstavlja jednu od najvećih prijetnji za sigurnost broda. Područja najviše izložena takvim vrstama ugroza su ona u Somaliji, Adenski prolaz i relativno velik dio Indijskog oceana Jugoistočna Azija i Indijski potkontinent (Bangladeš, Indonezija, Malezija, Malacca Straits,

Singapur Straits, Južno kinesko more) [15]. Djela piratstva prijete pomorskoj sigurnosti te ugrožavaju pomorce i sigurnost plovidbe i trgovine. Ta djela mogu dovesti do gubitka života, tjelesne ozljede ili uzimanja pomoraca kao talaca. Dolazi do značajnih poremećaja u trgovini i navigaciji, financijskih gubitaka brodovlasnika, povećane premije i troškova osiguranja. Također dolazi do povećanih troškova za potrošače i proizvođače, a posljedice piratskih napada mogu izazvati i onečišćenja/oštećenja morskog okoliša. Piratski napadi mogu imati značajne posljedice, uključujući i sprječavanje humanitarne pomoći i povećanje troškova budućih isporuka u pogođenim područjima. Zatopotreba zaštite broda od mogućih piratskih napada postaje od izuzetne važnosti. S tim ciljem potrebno je izvršiti unaprjeđenje zaštite broda od piratskih napada povećanjem mogućnosti obrane broda. U tome pogledu, razvijen je model koji omogućuje simulaciju prometa kroz piratsko područje i razmatranje vremenske dinamike piratskog napada, ačijom bi primjenom bilo moguće smanjiti broj uspješno provedenih piratskih napada.

Danas postoji malo alata koji omogućuju modeliranje vremenske dinamike događanja kao složenog sustava. Da bi se riješio model vremenske dinamike piratskog napada, koristit će se teorija Petrijevih mreža. Kao najprikladniji alatizabrane su hibridne vremenske Petrijeve mreže (*Hybrid Time Petri Net*) [1], [4]. Hibridne Petrijeve mreže kombinacija su klasičnih Petrijevih mreža kojese sastoje od diskretnih mjesta i prijelaza podobnih za modeliranje stanja i događaja u sustavima s diskretnim događajima i kontinuiranih mjesta i prijelaza pogodnih za modeliranje dinamike kontinuiranih sustava. One predstavljaju sredstvo za prikaz i modeliranje vrlo složenih hibridnih dinamičkih sustava* u svrhu analize njihovih ponašanja u različitim okolnostima [1], [10].

2. PETRIJEVE MREŽE / Petri Nets

Petrieve mreže su grafičko-matematički alatnamijenjen opisivanju međusobnih odnosa koji postoje između stanja (engl. *State*) i događaja (engl. *Event*)

* Dinamički sustav je pojam u matematici kojim fiksno pravilo opisuje vremensku ovisnost točke u geometrijskom prostoru (npr. matematički modeli koji opisuju njihanje njihala na satu, protok vode u cijevi, broj riba svakog proljeća u jezeru).

sustava s diskretnim događajima. Zbog složenosti ovih sustava, koja proizlazi iz nelinearnosti u njima te velikog broja mogućih stanja sustava, izrazio ih je teško modelirati, analizirati ili njima upravljati. Petrijeve mreže omogućuju modeliranje te sintezu sustava upravljanja različitim složenim sustavima poput računalnih višeprocorskih sustava, računalnih mreža, složenih sustava automatskog upravljanja itd.[1]

Osnovna prednost Petrijevih mreža nad drugim alatima iste namjene je u njihovoj sposobnosti da grafički prikažu sustav s diskretnim događajima te opišu hijerarhijske odnose unutar sustava. U hibridnim Petrijevim mrežama kombiniraju se klasične Petrijeve mreže s kontinuiranim mrežnim elementima. Ti kontinuirani mrežni elementi dopuštaju modeliranje kontinuiranih sustava korištenjem diferencijalnih jednadžbi.

Hibridne petrijeve mreže se matematički definiraju kao šestorka $R = (P, T, Pre, Post, m_0, h)$ koja zadovoljava sljedeće uvjete:

$P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ skup mjesta;

$T = \{T_1, T_2, \dots, T_m\}$ skup prijelaza;

$P \cap T = \emptyset$, i.e. skupovi P i T su disjunktni;

$h: P \cup T \rightarrow \{D, C\}$, se naziva "hibridna funkcija", označava je li čvor mreže diskretan (čvorovi P^D i T^D) ili kontinuiran (skupovi P^C i T^C);


$Pre: P \times T \rightarrow Q_+$ ili N je ulazna funkcija;


$Post: P \times T \rightarrow Q_+$ ili N je izlazna funkcija;




$m_0: P \rightarrow R_+$ ili N je početno stanje.

Skupovi Q i N su skupovi racionalnih i prirodnih brojeva

Također u hibridnim Petrijevim mrežama mogu postojati obični, testni i inhibirajući lukovi [1].

Kontinuirano mjesto  element je hibridne Petrijeve mreže koji sadrži oznake [12]. Broj oznaka kontinuiranog mjesta je realni broj, a ne cijeli broj kao u diskretnim mjestima.

Kontinuirani prijelaz  element je hibridne dinamičke mreže. Svakom kontinuiranom prijelazu dodjeljuje se „brzina okidanja“ koja može biti konstanta ili funkcija [12].

U Petrijevim mrežama upotrebljavani lukovi nazivaju se normalni lukovi . Kroz njih oznake teku, ukoliko je prijelaz omogućen. Pored normalnih, lukovi mogu biti inhibirajući  i testni . Za inhibirajući luk karakteristično je da oznake ne mogu

teći dok se ne ispuni neki uvjet. [4] U statičkim testnim lukovima zabranjen je tijek oznaka.

3. MODEL VREMENSKE DINAMIKE PIRATSKOG NAPADA [6] / Model of time dynamics of pirate attack [6]

Da bi se dobio uvid u stanje broda, procijenila njegova pouzdanost, te na osnovi toga napravio i odgovarajući model i simulacija, potrebno je odrediti čimbenike uspješnosti piratskog napada koji će se pratiti i analizirati. Temeljem statističkih podataka o ponašanju pirata i rezultata istraživanja, razvile su se aktivnosti i djelovanja u različitim situacijama realnog vremena u skladu s temeljnom podjelom piratskih napada prema NATO klasifikaciji [7], [13]. Klasifikacija čimbenika djelomično je preuzeta iz rezultata istraživanja Thomasa Lucasa i Thomasa Tsilisa (2011.) [5] te Hansa Liwānga Chalmersa, Jonasa W. Ringsberga Chalmersa i Martina Norsella (2013.) [11] zbog toga što se ta klasifikacija smatra vrlo primjerenom i dobro izrađenom.

Za analizu piratskih napada u ovom radu koristilo se hibridnim Petrijevim mrežama. Modelom se prikazuje vremenska dinamika događanja tijekom piratskog napada na brod u plovidbi plovnim područjem koji je štioćen ratnim brodom s helikopterom – Studija slučaja (*Case Study*). Simulacija je izrađena korištenjem hibridnih Petrijevih mreža i napravljena je uz pomoć alata „VisObjNet 27a 500+“ (*Visual Object Net*) koji omogućuje modeliranje i simuliranje kontinuiranih i diskretnih (hibridnih) Petrijevih mreža. Uz pomoć razvijenog modela omogućuje se simulacija prometa kroz piratsko područje, te se u modelu koriste varijable koje se kontinuirano mijenjaju u vremenu (udaljenosti i brzine) i varijable koje se mijenjaju diskretno u vremenu (pirat u napadu, kontakt brod-pirat i slično). Određuju se varijable vremena, brzine, udaljenosti i to [6]:

- vrijeme, brzina, udaljenost potrebne brodu da izađe iz ugroženog područja;
- vrijeme, brzina, udaljenost potrebne piratu da osvoji brod;
- vrijeme reakcije broda u odnosu prema aktivnosti pirata tijekom napada (udaljenosti broda od pirata u trenutku otkrivanja početka napada);

- vrijeme, brzina, udaljenost potrebna da helikopter stigne do ugroženog broda;
- vrijeme odziva helikoptera u odnosu prema potrebnom vremenu njegove pripreme za polijetanje;
- brzina helikoptera i njegova udaljenost od mjesta piratskog napada;
- odnos brzine broda (konvoja), udaljenosti od broda do ratnog broda i vremena reakcije ratnog broda/helikoptera;
- odnos utjecaja dužine štice područja i vremena plovidbe (brzine) kroz štice područje.

U modelu su uzeti u obzir sljedeći parametri [6]:

- brzina broda u sektoru,
- brzina pirata,
- kut prilaza prilikom napada,
- udaljenost pirata u trenutku njegovog uočavanja početka bijega broda,
- povećanje brzine broda prilikom uočavanja napada,
- vremena potrebna za slanje pomoći,
- vremena aktiviranja helikoptera i njegova brzina,
- udaljenost nosača helikoptera od žrtve,
- vrijeme borbe s piratima.

U simulaciji su prikazani i analizirani najnepovoljniji slučajevi piratskog napada na brod u plovidbi uz dodatnu zaštitu ratnog broda. Korištena je znanstvena metoda studije slučaja na način da su napravljena tri moguća scenarija sa sljedećom strategijom pirata (I)[6]:

1. Strategija pirata (I₁) – scenarij napada pirata s jednim piratskim brodom: napad jednog piratskog broda na brod u plovidbi s prilazom brodu s krme pod kutom od 0° (u plovidbenoj brazdi broda), u plovnom području štice od ratnog broda s helikopterom;
2. Strategija pirata (I₂) – scenarij napada pirata s dva piratska broda: napad dva piratska broda na brod u plovidbi s prilazom brodu s krme. Jedan piratski brod prilazi pod kutom od 20° s lijeve, a drugi pod kutom od 20° s desne strane, u plovnom području štice od ratnog broda s helikopterom;
3. Strategija pirata (I₃) – scenarij napada pirata s tri piratska broda:

napad tri piratska broda na brod u plovidbi s prilazom brodu s krme. Jedan piratski brod prilazi pod kutom od 20° s lijeve, drugi pod kutom od 20° s desne strane, a jedan pod kutom od 0° (u plovidbenoj brazdi broda), u plovnom području štice od ratnog broda s helikopterom.

Za svaki scenarij razvijena je i korištena odgovarajuća hibridna Petrijeva mreža i računalna simulacija. Za sve ove tri studije slučaja analizirana je i grafički prikazana vremenska dinamika zbivanja na način da su za sva tri slučaja procijenjena različita trajanja vremena kontakta (borbe) između napadnutog broda (broda žrtve) i piratskog broda (pirata).

4. STRATEGIJA PIRATA (I₁) – NAPAD PIRATA S JEDNIM PIRATSKOM BRODOM [6] / Strategy of pirates (I₁) – the attack of pirates with one pirate's vessel [6]

Na slici 1. prikazan je štice sektor sa svojim dimenzijama u kojem se nalazi brod koji napadaju pirati. Sektor 60 x 20 M [10] nadzire ratni brod koji u slučaju poziva u pogibelji (Distress) šalje helikopter u pomoć gdje je shematski prikazan scenarij piratskog napada s jednim piratskim brodom (Studija slučaja - CaseStudy I₁).

Na slici 1. shematski je prikazan pretpostavljeni slučaj mogućeg piratskog napada na brod u plovidbi štice područjem. Iz slike 1 vidi se sljedeće:

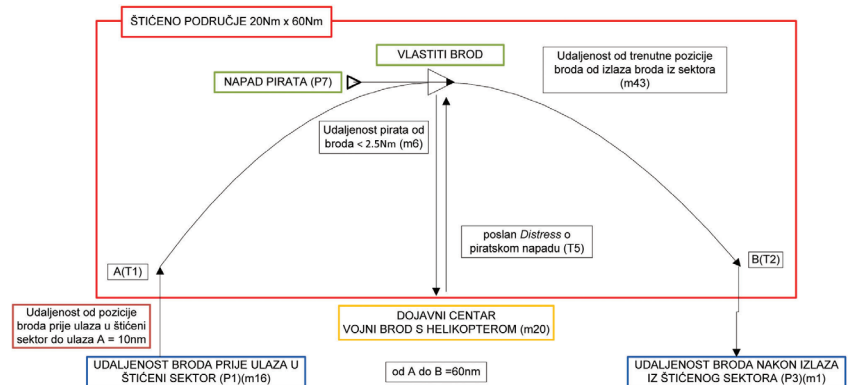
- štice područje 20Nm x 60Nm,
- vlastiti brod,
- piratski brod (P₁),
- distress o piratskom napadu (T₅),
- dojavni centar – vojni brod s helikopterom (m₂₀),

- udaljenost pirata od broda (m₆),
- udaljenost od trenutne pozicije broda do izlaza broda iz sektora (m₄₃),
- ulazak broda u zaštićenu zonu A(T₁),
- izlazak broda iz zaštićene zone B(T₂),
- kretanje vlastitog broda (mete) prije ulaza u štice područje od pozicije P₁ (m₁₆), preko ulaza „A“ do izlaza „B“ tj. pozicije P₃ (m₁).

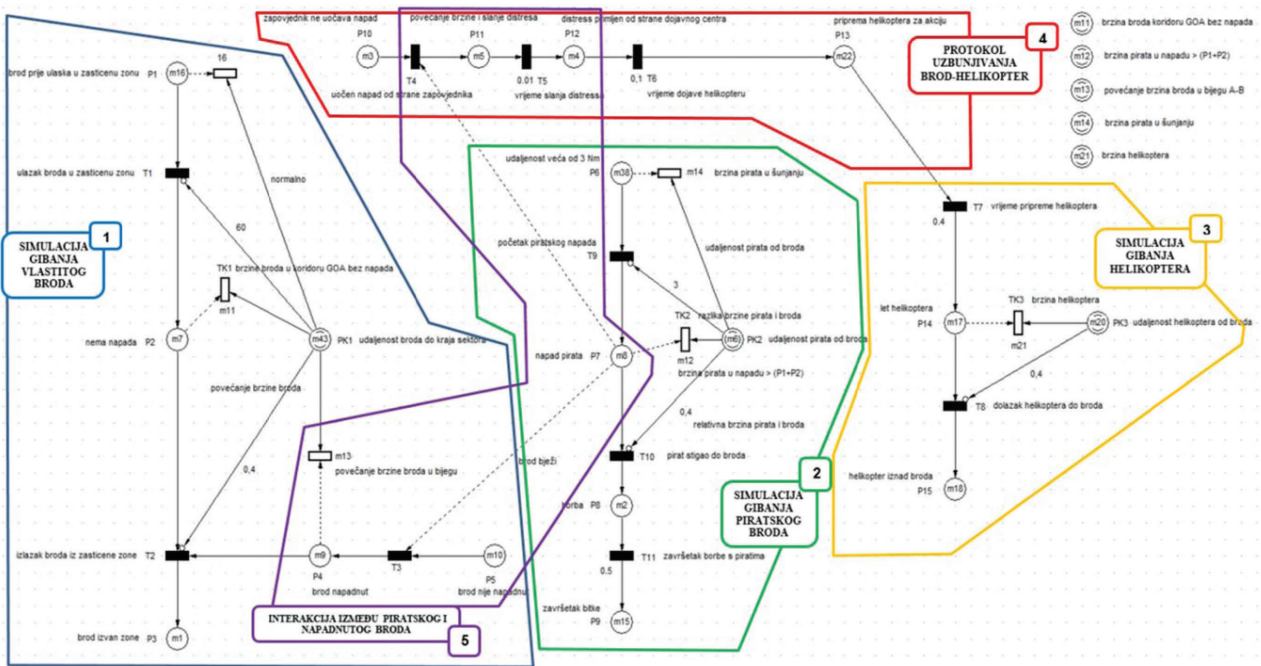
Prema klasifikaciji piratskih napada [6] tijekom piratskog napada s jednim piratskim brodom, pirati u pravilu prilaze brodu iz sektora N_{2c} jer je u mrtvom sektoru iza krme broda te je zbog toga teško uočljiv za radare i motritelje na zapovjedničkom mostu. Prilazom iz tog sektora najlakše je i najpraktičnije prići najnižim dijelovima nadvođa broda na krmi i bokovima broda.

U slučaju I₁ kod prilaza pirata u uzdužnici broda po krmi vrijeme približavanja brodu žrtvi u odnosu prema prijeđenom putu i brzini piratskog broda je najkraće. Pri brzini broda u bijegu 20 čv i brzini pirata u napadu 30 čv relativna brzina približavanja pirata u odnosu prema brodu je 10 čv.

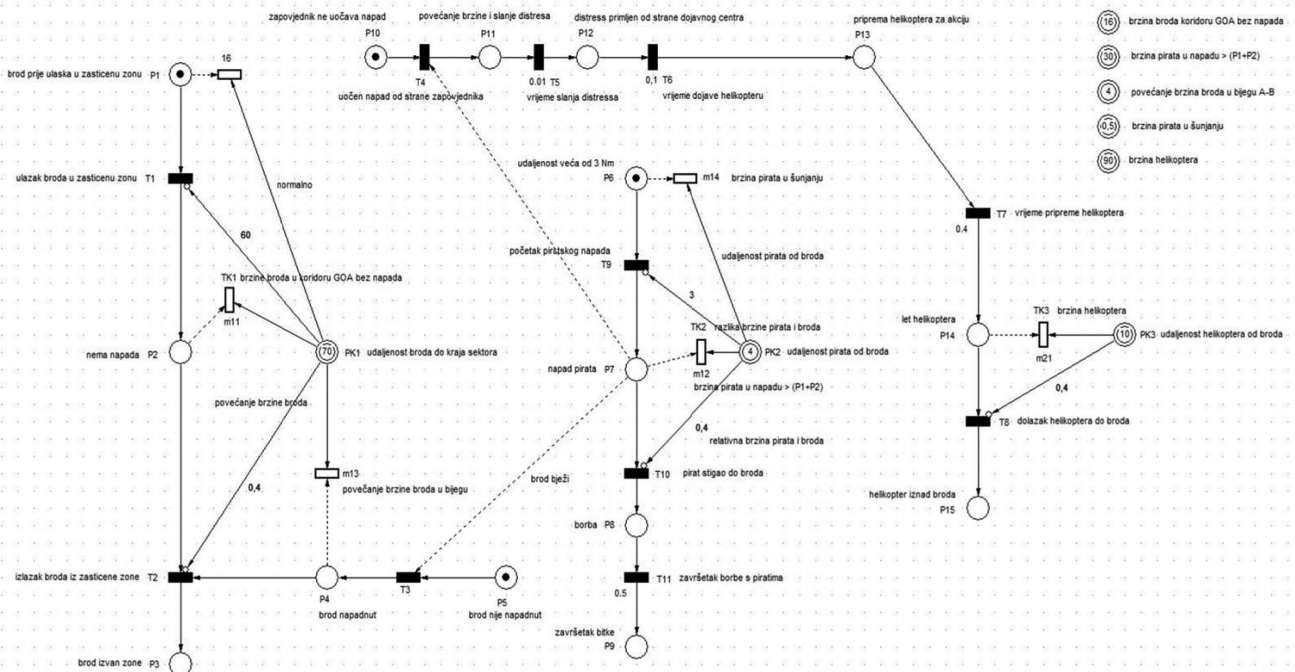
Pirat naglo i iznenadno započinje napad na udaljenosti od 2,5 do 3,0 M od broda. Od početka napada pirata do dolaska pirata u neposrednu blizinu broda proteče vrijeme od najmanje 4,9 – 6,0 minuta pri brzini pirata tijekom napada od 30 čv i brzini broda od 20 čv. Te su vrijednosti unesene u simulaciju studije slučaja I₁. Simulirani su slučajevi napada Petrijevim mrežama s vremenom trajanja bliskog kontakta (borbe) (tB) brod – pirat za svakih 5 minuta u vremenskom razmaku od 10 do 55 minuta i vremena dolaska helikoptera (tH) za svakih 5 minuta u vremenskom razmaku od 20 do 60 minuta.



Slika 1. Shematski prikaz štice područja - strategija pirata (I₁)
Figure 1 Scheme of the protected area – strategy of the pirates (I₁)



Slika 2. Segmenti Petrijeve mreže napada s jednim piratskim brodom uz pratnju ratnog broda (helikoptera)
 Figure 2 Segments of Petri nets attack with one pirate's vessel with accompanying war ship (helicopter)



Slika 3. Napad s jednim piratskim brodom uz pratnju ratnog broda (helikoptera) s prikazom broja tokena (●) prije početka simulacije

Figure 3 The attack with one pirate vessel with accompanying war vessel (helicopter) with the scheme of the number of token (●) before the beginning of the simulation

Objašnjenje oznaka Petrijeve mreže sa slike 2 i 3:

Tablica 2. Kontinuirana mjesta (PK)
 Table 2 Continuous places (PK)

Kontinuirana mjesta (PK) (●)		
oznaka mjesta	Stanje	Udaljenost
PK ₁	udaljenost do kraja sektora u koridoru GOA ²	70 M
PK ₂	udaljenost pirata od broda	4 M
PK ₃	udaljenost helikoptera od broda	10 M

² Gulf of Aden (GOA)

Tablica 3. Diskretna mjesta

Table 3 Discrete places

Diskretna mjesta (P) ○	
oznaka mjesta	Stanje
P ₁ (m ₁₆)	brod na ulasku u zaštićenu zonu
P ₂ (m ₇)	nema napada
P ₃ (m ₁)	brod izvan zaštićene zone
P ₄ (m ₉)	brod napadnut
P ₅ (m ₁₀)	brod nije napadnut
P ₆ (m ₃₈)	udaljenost veća od 3 M
P ₇ (m ₈)	napad pirata
P ₈ (m ₂)	borba s piratima u tijeku
P ₉ (m ₁₅)	završetak borbe
P ₁₀ (m ₃)	zapovjednik još ne uočava napad
P ₁₁ (m ₅)	povećanje brzine i slanje poziva pogibelji
P ₁₂ (m ₄)	dojavni centar zaprimio poziv pogibelji
P ₁₃ (m ₂₂)	priprema helikoptera za akciju
P ₁₄ (m ₁₇)	let helikoptera
P ₁₅ (m ₁₈)	helikopter iznad broda

Tablica 4. Kontinuirani prijelaz (Tk)

Table 4 Continuous passage (Tk)

Kontinuirani prijelaz (TK) □		
oznaka događaja	Događaj	Brzina
TK ₁ (m ₁₁)	brzina broda u sektoru koridora GOA bez napada	16 čv
TK ₂ (m ₁₂)	brzina pirata u napadu > (P ₁ +P ₂)	m ₁₂ =(m ₁₁ +m ₁₃) razlika između brzine piratskog broda i broda kojega napada
TK ₃ (m ₂₁)	brzina helikoptera	90 čv (max do 110 čv ili 210 km)
(m ₁₃)	povećanje brzine broda u bijegu	4 čv ili dužina luka = 0,4
(m ₁₄)	brzina pirata u prikradanju	0,5 čv

Tablica 5. Diskretni prijelaz (T)

Table 5 Discrete passage (T) ▣

Diskretni prijelaz (T) ▣			
oznaka događaja	Događaj	Udaljenosti	Vremena
T ₁	ulazak broda u zaštićenu zonu	60 M do izlaza	
T ₂	izlazak broda iz zaštićene zone	0 M do izlaza	
T ₃	uočen napad od strane zapovjednika broda	2,5 do 3 M	
T ₄ =T ₃	"	2,5 do 3 M	
T ₅	poslanpozivpogibelji od strane broda		36 sek. ili 0,01 v.j. ³
T ₆	prijam i obrada poziv pogibelji od strane dojavnog centra		6 min ili 0,1 v.j.
T ₇	vrijeme pripreme helikoptera 20 min (0,333 h) do max 60 min (1,0 h)		20 min ili 0,333 v.j. do max. 60 min (1,0 h)
T ₈	dolazak helikoptera do broda		6 min ili 0,1 v.j.
T ₉	početak piratskog napada (brzina ≥ 30 čv)	< 2,5 M	
T ₁₀	pirati stigli do broda		
T ₁₁	završetak bliskog kontakta broda (borbe) s piratima		nakon 30 do 45 min ili 0,5-0,7 v.j.

Na slici 2 i 3 su modelirani gibanja brodova (1, 2 i 3), te protokol uzbunjivanja brod - helikopter (4) te interakcija između pirata i napadnutog broda (5). Opis cijelog modela koji je realiziran hibridnim petrijevim mrežama slijedi:

① model gibanja napadnutog broda

- P₁ (○m₁₆) pozicija broda prije ulaska

u šticieno područje;
- (T₁ ▣ ←₆₀ ←) ulazak broda u zaštićenu zonu i plovidba šticienim područjem P₂ (○m₇) → (T₂ ▣) izlazak iz zaštićene zone → P₃ (○m₁) brod izvan zone;
- u trenutku kad se uoči piratski brod i približi brodu meti, brod povećava brzinu i počinje s bijegom, a što

je vidljivo iz polja ⑤, interakcije između pirata i napadnutog broda, te u polju ④, protokol uzbunjivanja brod-helikopter.

② model gibanja piratskog broda

- P₆ (○m₃₈) piratski brod s brzinom prikradanja 0,5 čv (○m₁₄) na udaljenosti >2,5 M još nema piratskog napada. Međutim, kada je udaljenost

³ Kratica za vremensku jedinicu

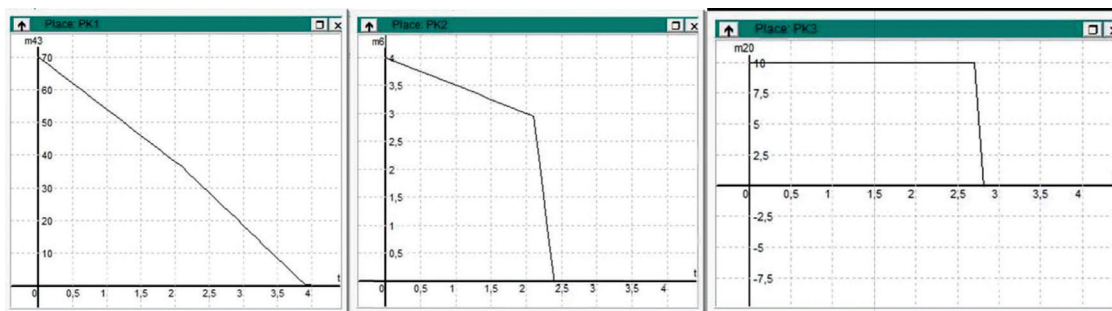
- < 2.5 M piratski brod povećava brzinu (m12=(m11+m13)), to jest brzina pirata u napadu > (P1+P2);
 - (T₉) počinje napad (progon broda od pirata);
 - P₇ (m₈) trajanje progona broda od pirata;
 - (T₁₀) pirati stigli do broda;
 - P₈ (m₂) → T₁₁ u tijeku je bliskog kontakta (borbe) između pirata i broda (vremenski prijelaz/npr. bliski kontakt (borba) traje 30 min ili 0,5 vremenskih jedinica);
 - P₉ (m₁₅) završetak bliskog kontakta (borbe).
- 3 model gibanja helikoptera
- (T₇) vrijeme pripreme helikoptera → P₁₄ (m₁₇) let helikoptera → (T₈) vrijeme do dolaska helikoptera do broda mete (m₁₈) (ovisi o brzini i udaljenosti helikoptera od mete nakon

- odobrenja polijetanja);
 - P₁₅ (m₁₈) helikopter iznad broda.
- 4 model protokola uzbuđivanja brod - helikopter
- (T₄) uočen napad → (T₅) slanje Distress < od jedne minute → P₁₂ (m₄) Distress primljen od strane doajvnog centra → (T₆) analiza situacije i vrijeme dojava helikopteru oko šest minuta;
 - P₁₃ (m₂₂) → (T₇) vrijeme pripreme helikoptera.
- 5 model interakcije između pirata i napadnutog broda
- P₅ (m₁₀) brod još nije napadnut;
 - P₇ (m₈) trenutak kada se piratski brod približi brodu meti na manje od 2,5 M, to se smatra početkom napada pirata;
 - T₄=T₃ uočen napad → P₄ (m₉) brod je napadnut (progonjen) i odmah

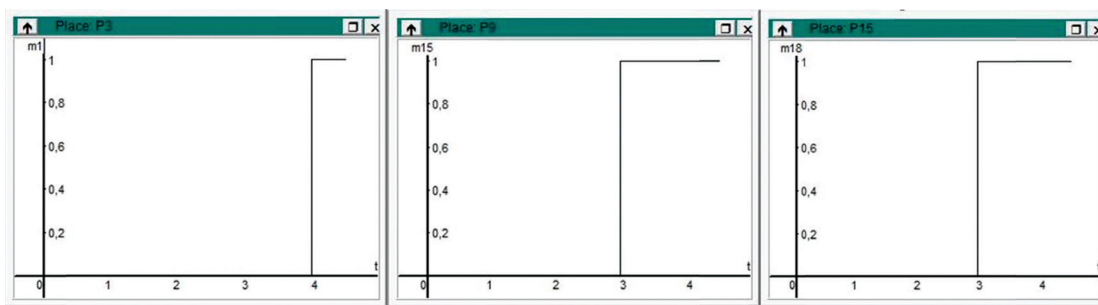
povećava brzinu (m₁₃). Nakon simulacije Petrijeve mreže na slici 2 dobiju se grafikoni 1 i 2.

Grafikon 1 prikazuje stanje kontinuiranih mjesta PK1, PK2 i PK3. Na lijevom grafikonu 1 prikazuje se stanje mjesta PK1 koje predstavlja udaljenost broda od kraja sektora GOA. Na srednjem grafikonu prikazuje se stanje mjesta PK2 koje predstavlja udaljenost pirata od broda, a na desnom grafikonu prikazuje se stanje mjesta PK3 koje predstavlja udaljenost helikoptera od broda. Udaljenosti se na grafikonima linearno smanjuju po pravcima čiji nagib odgovara brzinama broda, pirata i helikoptera.

Na lijevom grafikonu 2 prikazuje se stanje mjesta P3 koje označava trenutak izlaska broda iz zone GOA. Na srednjem grafikonu prikazuje se stanje mjesta P9 koje predstavlja trenutak „osvajanja“



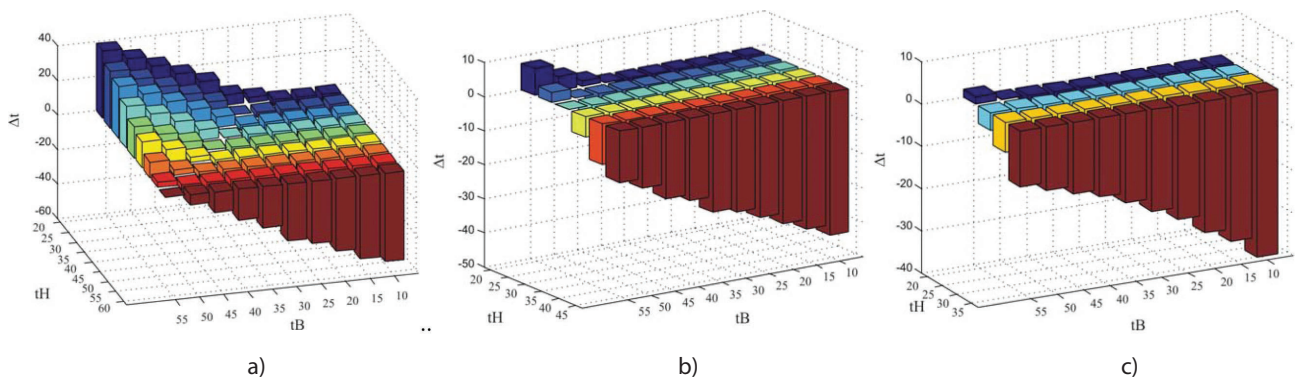
Grafikon 1. Kontinuirana mjesta PK₁ (m43), PK₂ (m6) i PK₃ (m20)
Graph 1 Continuous places PK₁ (m43), PK₂ (m6) i PK₃ (m20)



Grafikon 2. Diskretna mjesta P3 (m1), P9 (m15) i P15 (m18)
Graph 2 Discrete places P3 (m1), P9 (m15) i P15 (m18)

t	t1		t2		t3		t4		t5		t6		t7		t8		t9											
	l1 [hrs]	l2 [hrs]	l1 [hrs]	l2 [hrs]	l1 [hrs]	l2 [hrs]	l1 [hrs]	l2 [hrs]	l1 [hrs]	l2 [hrs]	l1 [hrs]	l2 [hrs]	l1 [hrs]	l2 [hrs]	l1 [hrs]	l2 [hrs]	l1 [hrs]	l2 [hrs]										
10 [min] → 0.167 [h]	1	3.60	3.80	-13.00	3.60	3.90	-18.00	3.60	3.95	-31.00	3.60	4.05	-27.00	3.60	4.15	-33.00	3.60	4.20	-34.00	3.60	4.30	-42.00	3.60	4.40	-48.00	3.60	4.45	-51.00
15 [min] → 0.250 [h]	2	3.65	3.80	-9.00	3.65	3.90	-15.00	3.65	3.95	-28.00	3.65	4.05	-24.00	3.65	4.15	-30.00	3.65	4.20	-31.00	3.65	4.30	-39.00	3.65	4.40	-45.00	3.65	4.45	-48.00
20 [min] → 0.333 [h]	3	3.75	3.80	-6.00	3.75	3.90	-6.00	3.75	3.95	-23.00	3.75	4.05	-18.00	3.75	4.15	-24.00	3.75	4.20	-27.00	3.75	4.30	-33.00	3.75	4.40	-39.00	3.75	4.45	-42.00
25 [min] → 0.417 [h]	4	3.85	3.80	-3.00	3.85	3.90	-3.00	3.85	3.95	-6.00	3.85	4.05	-12.00	3.85	4.15	-18.00	3.85	4.20	-21.00	3.85	4.30	-27.00	3.85	4.40	-33.00	3.85	4.45	-36.00
30 [min] → 0.500 [h]	5	3.90	3.80	0.00	3.90	3.90	0.00	3.90	3.95	-3.00	3.90	4.05	-9.00	3.90	4.15	-15.00	3.90	4.20	-18.00	3.90	4.30	-24.00	3.90	4.40	-30.00	3.90	4.45	-33.00
35 [min] → 0.583 [h]	6	4.05	3.80	12.00	4.05	3.90	9.00	4.05	3.95	0.00	4.05	4.05	0.00	4.05	4.15	-9.00	4.05	4.20	-9.00	4.05	4.30	-15.00	4.05	4.40	-21.00	4.05	4.45	-24.00
40 [min] → 0.667 [h]	7	4.15	3.80	21.00	4.15	3.90	15.00	4.15	3.95	12.00	4.15	4.05	6.00	4.15	4.15	0.00	4.15	4.20	-3.00	4.15	4.30	-9.00	4.15	4.40	-15.00	4.15	4.45	-18.00
45 [min] → 0.750 [h]	8	4.25	3.80	27.00	4.25	3.90	21.00	4.25	3.95	18.00	4.25	4.05	12.00	4.25	4.15	6.00	4.25	4.20	3.00	4.25	4.30	-3.00	4.25	4.40	-9.00	4.25	4.45	-12.00
50 [min] → 0.833 [h]	9	4.35	3.80	33.00	4.35	3.90	27.00	4.35	3.95	24.00	4.35	4.05	18.00	4.35	4.15	12.00	4.35	4.20	0.00	4.35	4.30	3.00	4.35	4.40	-3.00	4.35	4.45	-6.00
55 [min] → 0.917 [h]	10	4.45	3.80	39.00	4.45	3.90	33.00	4.45	3.95	30.00	4.45	4.05	24.00	4.45	4.15	18.00	4.45	4.20	15.00	4.45	4.30	0.00	4.45	4.40	3.00	4.45	4.45	0.00

Tablica 6. Izmjerena vremena iz simulacije Petrijevim mrežama za slučaj I1
Table 6 Times measured from the simulation of Petri Nets for the case I¹



Grafikon 3. Prikaz razlike $[\Delta t]$ između vremena trajanja bliskog kontakta (borbe) $[tB]$ i vremena do dolaska helikoptera (tH) za scenarij I1(a), I2(b), I3(c).

Graph 3 The outline of the difference $[\Delta t]$ between the time required of the duration of close contact (fight) $[tB]$ and the time up to the arrival of the helicopter (tH) for the scenario I1(a), I2(b), I3(c).

broda, a na desnom grafikonu prikazuje se stanje mjesta P15 koje predstavlja trenutak dolaska helikoptera do broda.

Uz pomoć računalne simulacije dobiveni su podatci vremena trajanja bliskog kontakta (borbe) $[tB]$, vremena do dolaska helikoptera (tH) i razlike između vremena trajanja borbe i vremena dolaska helikoptera $[\Delta t]$.

Temeljem unesenih vrijednosti iz tablice 6 u MATLAB, adobivenih uz pomoć grafikon 1 & 2 izrađeni su 3-D grafovi (grafikoni 3) za slučaj I_1, I_2, I_3 :

Iz simulacije je vidljivo da je u slučaju I_1 pri napadu na brod u plovidbi s jednim piratskim brodom ratni brod udaljen od napadnutog broda 10 M ili 7 minuta leta helikoptera brzinom od 90 čv, a helikopter stiže do broda u vremenu od 32 minuta ($tH = T_5 + T_6 + T_7$), otprilike pola sata od trenutka slanja *distressa*.

Temeljem razvijenog i analiziranog slučaja dinamike zbivanja piratskog napada Petrijevim mrežama s jednim piratskim brodom uz pratnju ratnog broda (helikoptera), istom analogijom izrađena je i simulacija scenarija napada s dva i tri piratska broda.

U simulaciji je predviđeno da piratski

brod ima kapacitete za progon za oko 35 - 45 minuta. Iz dobivenog grafikona 3 vidljivo je da se vrijeme Δt upravo poklapa s vremenom dolaska helikoptera do broda i istekom vremena od 30 do 35 minuta. To je vrijeme dok još traje bijeg i bliski kontakt (borba) broda s piratima, te optimalno vrijeme u kojem helikopter svojom akcijom sprječava napad. Kompletan prikaz rezultata i analizis simulacija za sve navedene slučajeve (I_1, I_2, I_3) dostupni su u doktorskoj disertaciji [6].

5. ZAKLJUČAK/Conclusion

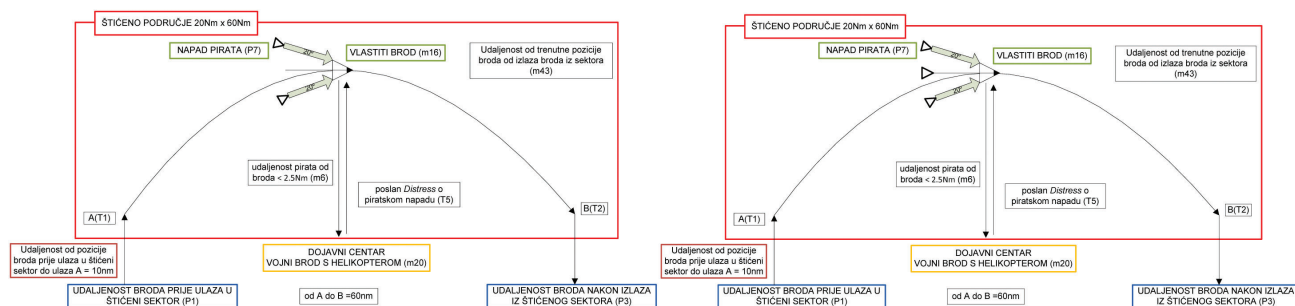
Korištenjem Petrijevih mreža razvijen je model piratskog napada na brod u plovidbi plovnom područjem šticećenim od ratnog broda s helikopterom. U radu su istraženi različiti scenariji piratskog napada s jednim, dva i tri piratska broda na brod u plovidbi uz pratnju ratnog broda s helikopterom. Za svaki scenarij razvijena je i korištena odgovarajuća hibridna Petrijeva mreža i računalna simulacija (dostupno iz doktorske disertacije [6]). U radu je analizirana i grafički prikazana vremenska dinamika zbivanja na način da je za sva tri slučaja procijenjeno različito vrijeme trajanja

borbe između pirata i broda žrtve.

U simulaciji se razmatraju varijable koje se kontinuirano mijenjaju u vremenu (udaljenosti i brzine) i varijable koje se mijenjaju diskretno u vremenu (pirat u napadu, borba i slično). Vremenska dinamika piratskog napada napravljena je uz pomoć alata „VisObjNet 27a 500++“ (*Visual Object Net*) koji omogućuje modeliranje i simuliranje kontinuiranih i diskretnih (hibridnih) Petrijevih mreža.

Temeljem provedenih simulacija i rezultata istraživanja može se zaključiti da je ratni brod u šticećenju u različitim je udaljenostima od brodova u plovidbi. Nakon dojave o piratskom napadu, s obzirom na potrebno vrijeme pripreme helikoptera i njegova dolaska do mjesta napada, prođ od 30 do 60 minuta. Stoga su zapovjednik, posada i napadnuti brod bez obzira na prisutnost ratnog broda i helikoptera u šticećenju u vremenu od trenutka dojave napada do dolaska helikoptera i dalje prepušteni samo razini vlastite zaštite i obrane od iznenadnoga piratskog napada.

Nadalje, s obzirom na velike brzine piratskih brodova brodu žrtvi nemoguće je pobjeći. Zato brod mora maksimalno



Slika 4. Shematski prikaz šticećenog područja - strategija pirata (I_2) & (I_3)
Figure 4 Scheme of the protected area – the strategy of the pirates (I_2) & (I_3)

iskoristiti sva raspoloživa sredstva za sprječavanje pirata da osvoje brod. Pri istovremenom napadu dva piratska broda mogućnosti obrane su značajno smanjene jer je ograničeno uspješno ometanje prilaza bočnim stranama broda manevriranjem, a da se pritom značajnije ne smanji brzina vlastitog broda.

Prvi put su za analizu piratskih napada korištene hibridne vremenske Petrijeve mreže koje omogućuju simuliranje vrlo složenih, kontinuiranih i diskretnih procesa. Iz ovoga se iščitava znanstveni doprinos primjene Petrijevih mreža u modeliranju i simuliranju piratskog napada u plovidbi broda uz pratnju ratnog broda s helikopterom.

Temeljem dobivenih rezultata simulacije, mogu se dalje razviti i predložiti aktivnosti obrane i djelovanja broda. Postojeća simulacija mogla bi se dalje razvijati uvođenjem dodatnih diskretnih i kontinuiranih mjesta i prijelaza uvodeći dodatne čimbenike koji izravno utječu na aktivnosti pirata tijekom napada, kao što su primjerice utjecaj smjera i jačine struje, vjetrova i mora, utjecaj izmjene pravca kretanja broda od 5° do 10° na gubitak brzine broda, korištenje vatrenog oružja (od strane pirata i od strane broda) itd. Tako dodatno razvijeni model mogao

bi poslužiti pri preciznom planiranju potrebne razine obrane trgovačkog broda i vremena aktiviranja helikoptera.

Model simulacije može se koristiti kao objektivno mjerilo procjene stanja zaštite broda u ugroženom plovnom području pri planiranju uspostave mjera i aktivnosti s ciljem poboljšanja sigurnosti i zaštite broda od mogućih piratskih napada. Tako dodatno razvijeni model mogao bi poslužiti pri preciznom planiranju potrebne razine obrane trgovačkog broda i vremena aktiviranja helikoptera. Rezultati ovog istraživanja čine dobar temelj i daju smjernice za daljnja istraživanja zaštite broda od mogućih piratskih napada.

LITERATURA/References

- [1] Đurović, G., Petrijeve mreže, Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilište u Zagrebu, Zavod za automatiku i procesno računarstvo, Rijeka, 2000.
- [2] Mišković, J., Antičić, R., Tomas V., Učinkovitost obrane trgovačkih brodova od piratskih napada s aspekta njihovih manevarskih sposobnosti, Pomorstvo, Scientific Journal of Maritime Research p. 251-267., Rijeka, siječanj 2012.
- [3] René D., Hassane A., Continuous and Hybrid Petri Nets, 2nd ed. 2010, XXII, 550 p Discrete, Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co. K, Berlin, 2010.
- [4] Ribarić, S., Šnajder, J., Mapping Petri Net-Based Temporal Knowledge Representation Scheme Into CP-Net Model, 28th International Convention MIPRO in Proc. of MIPRO, 2005.
- [5] nTsilis, T., Lucas T., Counter-Piracy Escort Operations in the Gulf of Aden, p. 68-71., Naval Postgraduate School, NATO Maritime Interdiction Operational Journal, lipanj 2011.
- [6] Belamarić G.; „Model zaštite broda od piratskih napada“, Doktorska disertacija, URN: NBN https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:187:648635, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 11. prosinac 2015.
- [7] BEOWULF Defense and Security, Modern Piracy Tactics and Challenges, studeni 2011.
- [8] United Nation - UN, Konvencija Ujedinjenih naroda o pravu mora iz 1982., – UNCLOS, Narodne novine – Međunarodni ugovori, br. 11/95, 9/00), Zagreb.
- [9] United Nation - UN, United Nations Convention on The Law of the Sea 1982., The ratification of maritime convention, Part II.1, Public International Law, Lloyd's of London Press, norme o piratstvu čl. 100 - 107, London, 1982.
- [10] Institut Ruđer Bošković, Metodologija obrade podataka, 2004. <http://www.LIS/2002.html>
- [11] Hans Liwång Chalmers, Jonas W. Ringsberg Chalmers, Norsell, M., Quantitative risk analysis – Ship security analysis for effective risk control options, Swedish National Defence College, Stockholm, travanj 2013.
- [12] Simulation Software: „Visual Objekt Net +++“(VisualObject Net)
- [13] NATO COUNTER-PIRACY OPERATIONS, NATO: http://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_48815.htm. (10. travanj 2015.)
- [14] UK Government. »Piracy off the coast of Somalia, 12. 2012.: <https://www.gov.uk/government/policies/preventing-and-reducing-piracy-off-the-coast-of-somalia>. (ožujak 2015.)
- [15] Young, T., Piracy hot by spot, 24. listopada 2012.: <http://www.avvo.com/legal-guides/ugc/top-4-piracy-hot-spots-in-the-world-today>