

UNIVERZA V LJUBLJANI  
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Andrej Grah

**NAPOVEDOVANJE POZICIJ OBRAMBNIH IGRALCEV  
Z NEVRONSKIMI MREŽAMI**

DIPLOMSKO DELO  
NA VISOKOŠOLSKEM STROKOVNEM ŠTUDIJU

Mentor: doc. dr. Mira Trebar

Ljubljana, 2010



Št. naloge: 00459/2009

Datum: 01.09.2009

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko izdaja naslednjo nalogo:

Kandidat: **ANDREJ GRAH**

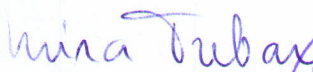
Naslov: **NAPOVEDOVANJE POZICIJ OBRAMBNIH IGRALCEV Z  
NEVRONSKIMI MREŽAMI**  
**PREDICTING POSITIONS OF DEFENDER PLAYERS USING NEURAL  
NETWORKS**

Vrsta naloge: Diplomsko delo visokošolskega strokovnega študija

Tematika naloge:

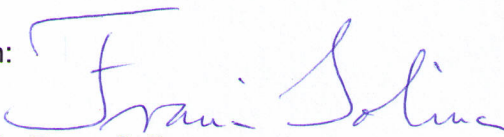
Kandidat naj predstavi problem postavitve igralcev pri izvajanju prostega strela za dvoranski hokej. V nalogi naj analizira prostorsko predstavitev igrišča za določanja učnih in testnih vzorcev za model nevronske mreže, ki omogoča napovedovanje postavitve obrambnih igralcev. V rezultatih testiranja naj predstavi izbiro optimalne nevronske mreže in najprimernejšo predstavitev problema za določanje učno/testnih vzorcev. Ocena dobjenih rezultatov naj temelji na poznanih postavitvah, ki jih poda ekspert.

Mentor:

  
doc. dr. Mira Trebar



Dekan:

  
prof. dr. Franc Solina

Rezultati diplomskega dela so intelektualna lastnina Fakultete za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Za objavlanje ali izkoriščanje rezultatov diplomskega dela je potrebno pisno soglasje Fakultete za računalništvo in informatiko ter mentorja.

*Besedilo je oblikovano z urejevalnikom besedil  $\text{\LaTeX}$ .*

Namesto te strani **vstavite** original izdane teme diplomskega dela s podpisom mentorja in dekana ter žigom fakultete, ki ga diplomant dvigne v študentskem referatu, preden odda izdelek v vezavo!



# **IZJAVA O AVTORSTVU**

## **diplomskega dela**

Spodaj podpisani/-a Andrej Grah,

z vpisno številko 63020048,

sem avtor/-ica diplomskega dela z naslovom:

**NAPOVEDOVANJE POZICIJ OBRAMBNIH IGRALCEV Z NEVRONSKIMI MREŽAMI**

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- sem diplomsko delo izdelal/-a samostojno pod mentorstvom doc. dr. Mire Trebar
- so elektronska oblika diplomskega dela, naslov (slov., angl.), povzetek (slov., angl.) ter ključne besede (slov., angl.) identični s tiskano obliko diplomskega dela
- soglašam z javno objavo elektronske oblike diplomskega dela v zbirki "Dela FRI".

V Ljubljani, dne 15.3.2010

Podpis avtorja/-ice:



# Zahvala

Zahvaljujem se doc. dr. Miri Trebar za strokovne nasvete, korekten odnos in usmerjanje pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi vsem, ki so me podpirali med študijem.



*Cvetki in Martini*



# Kazalo

<b>Povzetek</b>	<b>1</b>
<b>Abstract</b>	<b>2</b>
<b>1 Uvod</b>	<b>3</b>
<b>2 Problemska domena</b>	<b>5</b>
2.1 Prostor in pravila . . . . .	5
2.1.1 Igrišče . . . . .	5
2.1.2 Igralci in pravila . . . . .	6
2.2 Opis problema . . . . .	8
<b>3 Nevronske mreže in programska orodja</b>	<b>11</b>
3.1 Nevronske mreže . . . . .	11
3.1.1 Model nevrona . . . . .	11
3.1.2 Opredelitev nevronske mreže . . . . .	13
3.1.3 Učenje . . . . .	14
3.2 Orodja . . . . .	16
3.2.1 Microsoft Visual C# 2008 Express Edition . . . . .	16
3.2.2 MATLAB R2008b . . . . .	17
<b>4 Priprava učnih vzorcev</b>	<b>19</b>
4.1 Vzorčenje . . . . .	19
4.1.1 Aplikacija za zajem vzorcev . . . . .	20
4.2 Tipi vzorcev . . . . .	22
4.2.1 Vzorci glede na mesto pozicije . . . . .	22
4.2.2 Vzorci glede na indeks pozicije . . . . .	23
4.2.2.1 Brez ločevanja žoge in napadalcev . . . . .	24
4.2.2.2 Izvenpozicijsko ločevanje žoge . . . . .	25
4.2.2.3 Sosednje pozicije žoge . . . . .	26

4.2.3	Vzorci glede na koordinatni sistem . . . . .	27
<b>5</b>	<b>Testiranje</b>	<b>29</b>
5.1	Učno/testne množice . . . . .	29
5.2	Definicija nevronske mreže . . . . .	32
5.3	Trinarni vzorec . . . . .	34
5.4	Brez ločevanja žoge in napadalcev . . . . .	35
5.5	Izvenpozicijsko ločevanje žoge . . . . .	36
5.6	Sosednje pozicije žoge . . . . .	37
5.7	Koordinatni sistem . . . . .	38
5.8	Analiza rezultatov . . . . .	39
5.9	Optimizacija velikosti mreže . . . . .	40
<b>6</b>	<b>Zaključek</b>	<b>43</b>
	<b>Seznam slik</b>	<b>44</b>
	<b>Seznam tabel</b>	<b>46</b>
	<b>Literatura</b>	<b>47</b>

# Seznam uporabljenih kratic in simbolov

<b>AVPN</b>	algoritem vzratnega procesiranja napake
<b>MS</b>	Microsoft
<b>EE</b>	Express Edition
<b>POI</b>	poznan obrambni igralec
<b>IOI</b>	izračunan obrambni igralec
<b>NM</b>	nevronska mreža



# Povzetek

V diplomskem delu je predstavljen problem postavitve obrambnih igralcev pri izvajanju prostega strela za dvoranski hokej. Za napovedovanje pozicij obrambnih igralcev je uporabljen model nevronske mreže - večnivojski perceptron. Analizirana je prostorska predstavitev igrišča oziroma postavitev igralcev za določanje učnih in testnih vzorcev. Za lažje delo z vzorci je razvita aplikacija, ki služi vnosu in vizualizaciji vzorcev. Predstavljena je nevronska mreža, njena arhitektura in delovanje/učenje. Na podlagi različne predstavitve prostora oziroma postavitve igralcev so definirani ustrezni formati vzorcev. Izvedene so simulacije z različnimi formati vzorcev. Ocena dobljenih rezultatov je temeljila na vnaprej poznanih postavitvah, ki jih je podal ekspert. Za format koordinatnega sistema, ki je dal najboljše rezultate med vsemi formati vzorcev, so izvedena dodatna testiranja s 3-nivojskim perceptronom. Cilj dodatnih testiranj je bil poiskati optimalno arhitekturo s spreminjanjem števila nevronov v nevronske mreži.

## **Ključne besede:**

dvoranski hokej, prosti strel, nevronske mreže, 3-nivojski perceptron, učenje, napoved

# Abstract

This thesis introduces the problem of predicting positions of defender players using neural networks. To predict the positions of the defender players, a model of a neural network - multilayered perceptron, was used. We analysed the spatial presentation of the pitch or the position of players for the determination of training and testing patterns. In order to simplify the definition of patterns, we developed an application that is used to record and to visualize entry patterns. A neural network with the architecture and learning phase is introduced. According to a different presentation of the space or positions of the players, the suitable formats of the patterns, are defined. We performed simulations with different formats of patterns. Evaluation of the results, based on positions that are known in advance, is given by the expert. For patterns defined in a system of coordinates, which gave the best results amongst all, we performed additional testing with three layered perceptron. By using additional testing, the goal was to find optimal architecture by changing the number of neurons in a neural network.

## Key words:

indoor hockey, free push, neural networks, 3-layered perceptron, learning, prediction

# Poglavje 1

## Uvod

Z razvojem računalništva se pojavlja težnja, da bi računalnik postal podoben človeku, da bi znal razmišljati, se učiti. Razlika med delovanjem človeka oziroma človeških možganov ter računalnikom je v tem, da računalnik zgolj izvaja programsko kodo, ki omogoča reševanje problema, človek pa upošteva tudi pridobljeno znanje iz preteklosti. Pomembna je torej *sposobnost učenja*, ki v veliki meri vpliva na delovanje in zaznavanje človeka. Razvoj umetnih nevronske mreže poskuša zmanjšati razliko med delovanjem stroja in človeka. Umetna nevronska mreža je model, ki posnema delovanje biološke nevronske mreže. Uporaba nevronske mreže v računalništvu se je razširila na številna raziskovalna področja, kot so: medicina in farmacija, finance in drugo ter vključuje reševanje problemov razvrščanja vzorcev, napovedovanja, razpoznavanja in drugih.

Kot igralca dvoranskega hokeja me je zanimalo na kakšen način bi bilo možno izdelati računalniški program za določanje pozicij obrambnih igralcev pri izvajanju prostega strela. Razumevanja problema zahteva dobro poznavanje igre in njenih pravil. Pri športu oziroma taktiki gre za kompleksen problem, ki vključuje učenje in pridobljene izkušnje. Zagotovo obstajajo različni pristopi za reševanje tega problema, čeprav jih nisem zasledil. Uporaba nevronske mreže se ni prav razširila na športno področje, zato sem se odločil za omenjeni način reševanja z učenjem nevronske mreže.

Za izdelavo diplomske naloge so razložena potrebna pravila igre, ki vplivajo na izvajanje prostega strela. Potrebno je izbrati način predstavitve igrišča za opis, ki omogoča definicijo formatov vzorcev, saj je situacije na igrišču možno opisati na več načinov. Predstavljena je nevronska mreža, njena topologija in teoretično ozadje delovanja/učenja nevronske mreže.

Z različnimi poskusi sem skušal priti do rezultatov, ki omogočajo analizo primer-  
nosti izbrane rešitve izvajanja prostega strela. Prikazane so možnosti izbire nevron-  
ske mreže in vpliv določenega formata vzorcev ter določitev optimalne nevronske  
mreže za najprimernejšo obliko učno/testnih vzorcev. Dobljene rezultate sem ocenil  
na osnovi izkušenj, ki sem jih pridobil z igranjem dvoranskega hokeja.

## **Poglavje 2**

### **Problemska domena**

V diplomskem delu je predstavljena rešitev problema, ki je neposredno vezana na športno področje, in sicer na dvoranski hokej. V vsaki športni panogi se srečujemo z množico pravil igre. Le-ta narekujejo tok igre, taktike itn.

Zaradi samega razumevanja problema je potrebno poznati pravila dvoranskega hokeja. V poglavju 2.1 bom opisal zgolj tista pravila, ki se nanašajo neposredno na igro, v poglavju 2.2 pa sledi opis konkretnega problema.

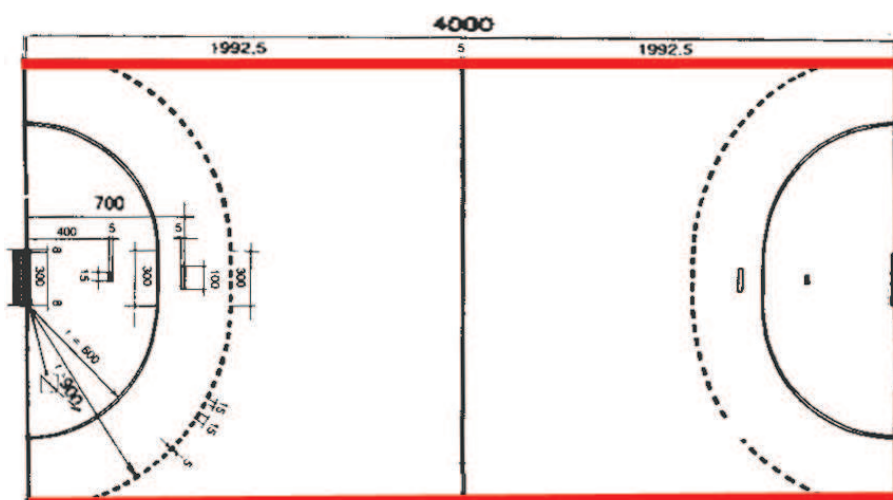
#### **2.1 Prostor in pravila**

##### **2.1.1 Igrišče**

Dvoranski hokej se, kot že samo ime pove, igra v dvorani - na prirejenem rokometnem igrišču (Slika 2.1). Velikost igrišča je identična rokometnemu, ki meri 40m x 20m. Ob stranskih robovih je položena t.i. martinela (deska v višini 5cm, Slika 2.2). Namen martinela je, da se žoga odbija od njih. Martineli onemogočata, da bi žoga prečkala stranski mejni črti igrišča, torej stranski avt ni možen. Za lažjo predstavo si lahko martinelo predstavljamo kot neke vrste zrcalo: če igralec poda žogo v martinelo pod kotom  $45^\circ$ , se žoga odbije pod istim kotom nazaj v polje.



Slika 2.1: Dvoranski hokej. [6]



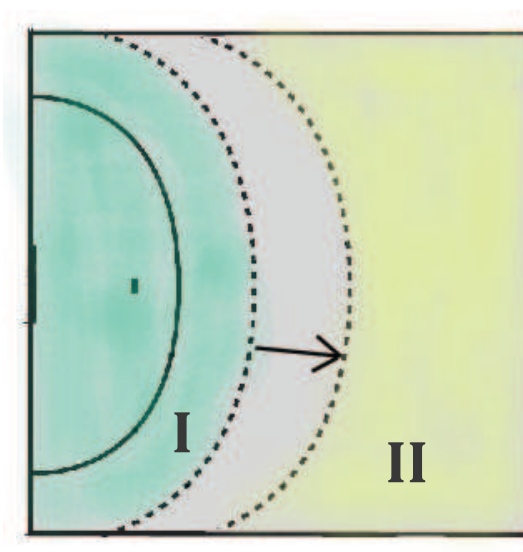
Slika 2.2: Igrišče, z rdečo barvo sta označeni martineli.

### 2.1.2 Igralci in pravila

Ekipo sestavlja 5 igralcev in vratar. Igralci za igro uporabljajo palice, ki merijo običajno 93cm v dolžino. Žogica je v velikosti teniške žogice. Igralcem je dovoljeno igrati striktno le s palico.

Izpostaviti je potrebno še pravila igre, ki zadevajo opisano problematiko.

- Veljavnost zadetka: gol se šteje, kadar je strel sprožen znotraj 9 meterskega prostora oziroma se žogica nekdo dotakne v tem območju. V kolikor se strel sproži izven območja, zadetek ne velja, čeprav pristane v vratarjevi mreži.
- Dovoljena pot žogice: žoga mora potovati striktno po tleh/parketu, razen v primeru, ko je sprožen zaključni strel. Glede na zgornjo alinejo to pomeni, da se žogica lahko dvigne samo pri strelu na gol, ki pa mora biti sprožen znotraj 9 meterskega prostora.
- Prosti strel: prosti strel se izvaja v primeru nepravilnega igranja oziroma prekrška naprotnika. Izvaja se na mestu, kjer je storjen prekršek, razen v primeru, ko je le-ta storjen v višini do treh metrov stran od 9 meterskega (strelnega kroga). Takrat je prosti strel potrebno izvajati na višini 3m stran od strelnega kroga (dejansko to pomeni 12 metrov). Pri izvajanju prostega strela morajo biti vsi igralci oddaljeni od izvajalca prostega strela najmanj 3m. V kolikor se zgodi prekršek znotraj 9m prostora, se izvaja t.i. kazenski strel.



Slika 2.3: Igrišče z označenima območjema.

Slika 2.3 prikazuje območja, opisana v zgornjih alinejah:

- zeleno območje - I: območje, v katerem mora priti do kontakta z žogico v primeru veljavnega zadetka.

- rumeno območje - II: prostor, ki označuje možne pozicije izvajanja prostega strela. Seveda se prosti strel lahko izvaja tudi na drugi polovici igrišča, a takrat ni bistven, nevaren za doseg zadetka. Puščica nakazuje, da mora izvajalec pomakniti žogo 3m od stelnega kroga v kolikor je prekršek storjen v sivem območju.

## 2.2 Opis problema

Igra oziroma šport je po sami naravi nepredvidljiv. Situacije med potekom igre so praviloma vedno drugačne - včasih odločajo centimetri, sekunde...

Kot je že omenjeno v podpoglavju 2.1.2, ekipo sestavlja 5 igralcev in golman. Ekipo, ki ima žogo v posesti, napada; medtem ko druga ekipa brani svoj prostor. Pravila igre prepovedujejo igro s telesom (torej je dovoljeno igrati le s palico), zato igralci, ki branijo svoj prostor, postavijo palico na tla. S tem onemogočajo nasprotnikom podajo oziroma prosto pot žogici. Prekršek se določi v primeru udarca po nasprotnikovi palici, telesni kontakt, posredovanje z ного itn. Obramba svoje pozicije prilagaja razmeram na igrišču glede na:

- položaj žogice in
- pozicije nasprotnih igralcev.

Slika 2.4 prikazuje obrambno fazo igralca [7].

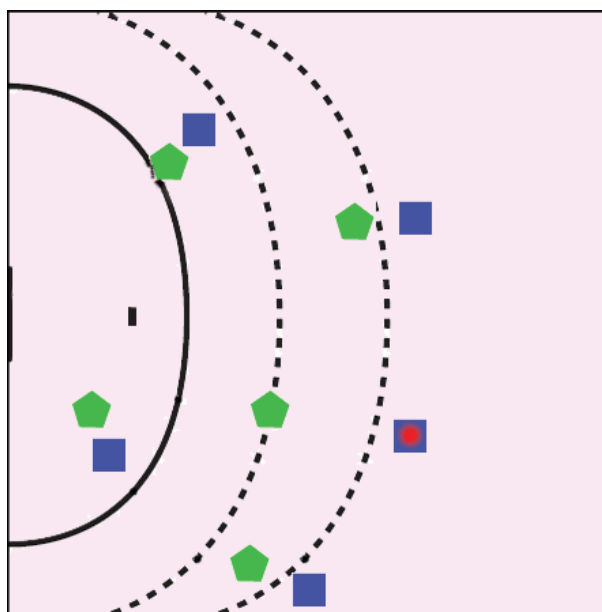


Slika 2.4: Igralec v fazi obrambe.

V diplomskem delu je obravnavana obrambna faza v primeru izvajanja prostega strela. Pri izvajanju prostega strela mora žoga mirovati, ob žogici pa je (napadalni) igralec, ki bo izvajal prosti strel. Pri tem direktni strel na gol kot npr. pri nogometu ne pride v poštev, saj pravilo določa, da zadetek velja le v primeru, če je zadnji stik pri strelu na gol znotraj 9m prostora. Možne pozicije začetnega izvajanja prostega strela se na sliki 2.3 nahajajo v rumenem območju. V kolikor je prekršek storjen znotraj 9m prostora, se izvaja kazenski strel. Kazenski strel je posebnost dvoranskega hokeja in ni predmet problema.

Izvajalec prostega strela mora najprej podati žogico soigralcu in šele nato (če se soigralec nahaja znotraj strelnega kroga) lahko pride do zaključnega strela proti голу. Naloga obrambe pa vključuje naslednji dve nalogi:

- otežiti napadalcu ugodno podajo in
- čim bolj pokriti preostale napadalce.



Slika 2.5: Primer postavitve pri prostem strelu. Modri kvadrat z rdečim krogom v sredini=žogica+izvajalec, modri kvadrat=napadalec, zeleni petkotnik=obrambni igralec.

Slika 2.5 prikazuje primer postavitve igralcev pri prostem strelu. Izkušnje kažejo, da se napadalci načeloma odkrivajo na precej podobnih mestih glede na pozicijo žoge. Enostavneje povedano, ob dani začetni poziciji žoge se napadalci odkrivajo

približno na 2-3 različne načine. Običajno en igralec ostane izven strelnega kroga, preostali trije pa se nahajajo znotraj kroga in čakajo na podajo. Kot sem omenil zgoraj, se vzorci odkrivanja in posledično branjenja precej ponavljajo. Iz dolgoletnih osebnih izkušenj pa znam določiti, kakšna je dobra oziroma optimalna postavitev obrambe glede na položaj žogice in napadalcev.

Ravno zaradi ponavljajočih scenarijev in osebnega znanja določanja dobrih položajev obrambe sem se odločil, da bom problem reševal s pomočjo **nevronskih mrež**.

## Poglavje 3

# Nevronske mreže in programska orodja

### 3.1 Nevronske mreže

Problem diplomskega dela smo reševali s pomočjo nevronske mreže. Poglavje predstavlja teoretično ozadje delovanja umetnih nevronske mreže. Nevronske mreže (*angl. Neural Networks*) se uporabljajo za reševanje različnih problemov: diagnostiko pacientov na osnovi signala EKG, razpoznavanje ročno zapisanih znakov, finančne napovedi, identifikacijo objektov, razpoznavanje vzorcev in drugih [4].

#### 3.1.1 Model nevrona

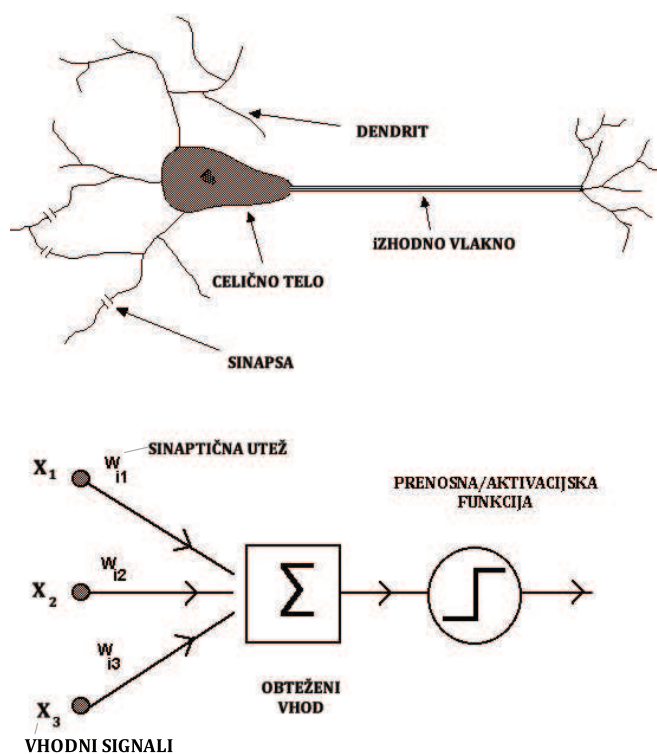
Umetna nevronska mreža je matematični model, ki skuša simulirati strukturo in funkcionalnost bioloških nevronske mreže. Gre za paralelni model računanja, katerega namen je shranjevanje empiričnega znanja in možnost uporabe le-tega. Obstajata dva vidika podobnosti nevronske mreže in možganov:

1. znanje je pridobljeno skozi učni postopek in
2. uteži mednevronske povezav - t.i. sinaptične uteži so nosilci pridobljenega znanja.

Nevron je informacijsko procesna enota in predstavlja osnovni gradnik nevronske mreže. Model nevrona, imenovanega perceptron (Slika 3.1), sestavljajo:

- množica sinaptičnih uteži,

- seštevalnika in
- prenosna/aktivacijska funkcija.



Slika 3.1: Primerjava biološkega (zgoraj) in umetnega (spodaj) nevrona - perceptrona.

Sinaptične uteži se nanašajo na moč oziroma amplitudo povezave med dvema nevronoma in določajo vpliv enega nevrona na drugega. Vrednosti uteži se spreminjajo med učenjem.

Seštevalnik produkte vhodnega signala in uteži sešteje v obteženi vhod po enačbi (3.1):

$$s_k = \sum_{j=1}^n x_j w_{kj} \quad (3.1)$$

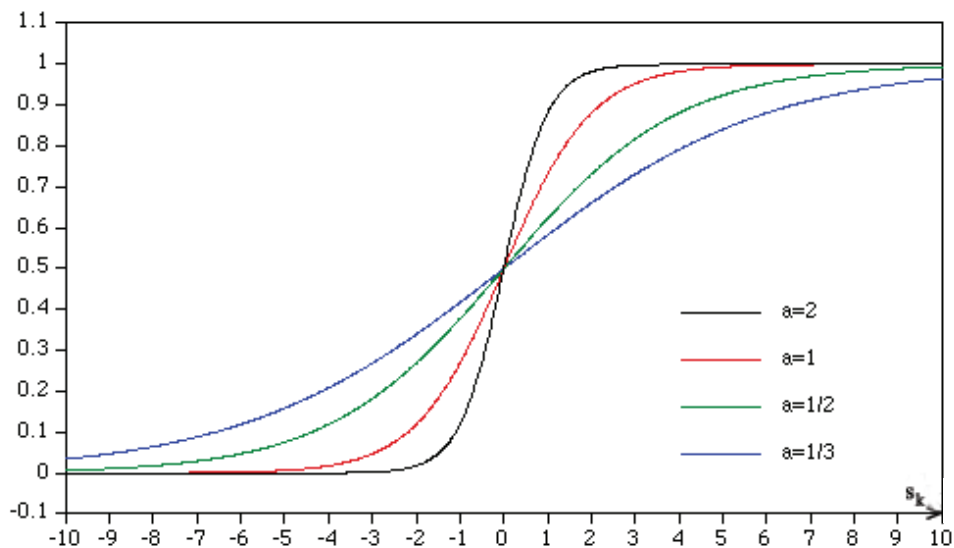
Aktivacijska funkcija določa amplitudo izhoda nevrona, torej izhod omeji na neko končno vrednost. Najpogostejši aktivacijski funkciji sta linearna in sigmoidna

funkcija.

Sigmoidna funkcija je definirana kot:

$$\varphi(s_k) = \frac{1}{1 + e^{-as_k}} \quad (3.2)$$

Slika 3.2 prikazuje vpliv parametra na naklon funkcije.



Slika 3.2: Sigmoidna funkcija in vpliv parametra.

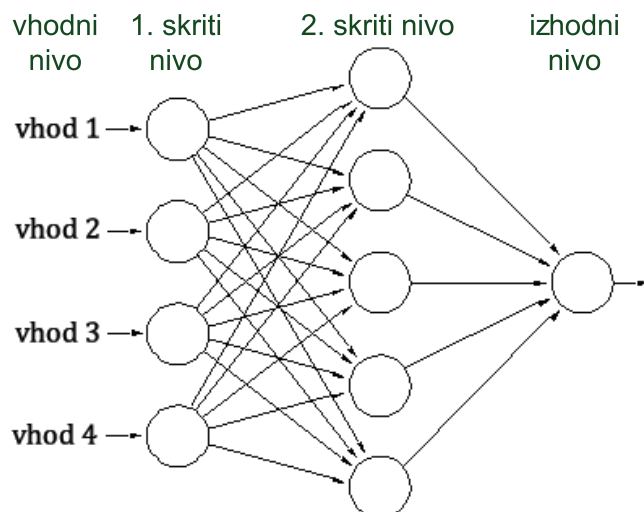
### 3.1.2 Opredelitev nevronske mreže

Nevronske mreže se med seboj razlikujejo. V tem poglavju je opredelitev nevronskih mrež, s katerimi smo reševali problem napovedovanja postavitve obrambnih igralcev.

Vhodi v nevronske mreže so normirani tako, da vhod zavzame realne vrednosti na intervalu  $[0,1]$ . Zato govorimo o **zveznih** nevronih in posledično je mreža prav tako **zvezna** [5].

Glede na vpliv prejšnjega izhoda nevronske mreže na trenutni izhod bodo obravnavane mreže **statične**. Izhodi nevronov torej ne bodo rekurzivno povezani nazaj na vhode. Izhodi bodo odvisni le od trenutnih vhodov.

Različne razmestitve nevronov določajo **arhitekturo** mreže. Nevroni so organizirani v **plasti** (*angl. layers*) oziroma **nivoje**. Glede na število nivojev ločimo: mrežo brez nivojev, dvo- in več-nivojske naprej usmerjene mreže. Pri testiranju smo uporabili 2-nivojski in 3-nivojski perceptron.



Slika 3.3: 3-nivojska nevronska mreža s štirimi nevroni na prvem skitem nivoju, petimi nevroni na drugem skitem nivoju in enim nevronom na izhodnem nivoju.

V diplomskem delu je za definiranje števila nevronov v posameznih nivojih uporabljena notacija 3.3:

$$P(n, N1, N2, \dots, Nk) \quad (3.3)$$

kjer je:

$n$  = število vhodov,

$N1$  = število nevronov v prvem skitem nivoju,

$N2$  = število nevronov v drugem skitem nivoju (opcijsko),

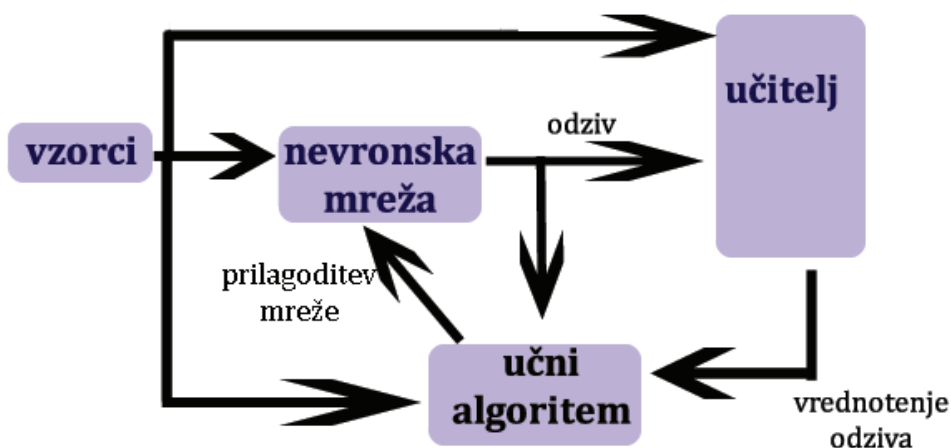
$Nk$  = število nevronov na izhodnem nivoju in

$k$  = število nivojev v mreži.

### 3.1.3 Učenje

Učenje nevronske mreže se izvaja nad učno množico vzorcev. Vsak učni vzorec je sestavljen iz vhoda in poznane izhoda. Ker na vhod učnega algoritma dajemo optimalne (=poznane) izhode, govorimo o **nadzorovanem učenju** oziroma **učenju**

**z učiteljem** (angl. *Supervised Learning, Learning With a Teacher*). Slika 3.4 prikazuje model učenja z učiteljem [2].

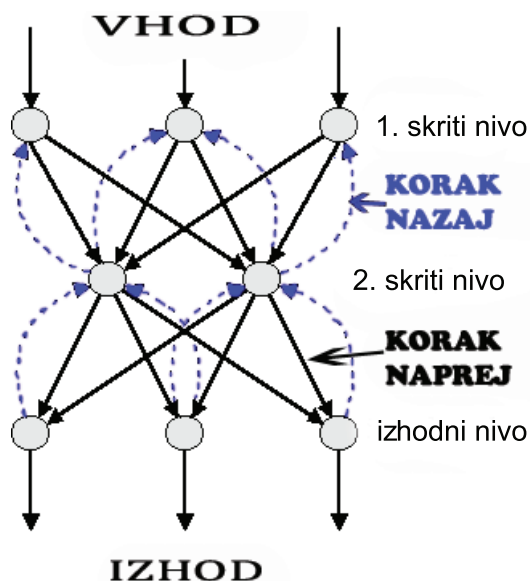


Slika 3.4: Diagram nadzorovanega učenja.

Večnivojski perceptroni z **algoritmom vzratnega procesiranja napake**, krajše AVPN (angl. *error back-propagation algorithm*), v praksi dajejo pri reševanju kompleksnih problemov dobre rezultate.

Osnova AVPN je **pravilo delta**. Pravilo velja za 1-nivojsko mrežo, kjer je vsak vhod povezan z vsakim izhodnim nevronom. Uteži so naključno izbrane, učenje poteka nad množico učnih vzorcev, za katere se izračuna izhod. Glede na razliko med izračunanim in poznanim izhodom se uteži spremenijo sorazmerno razliki. Z večkratno iteracijo po vseh učnih vzorcih je mreža naučena.

Nato se izračuna razlika med želenim in dejanskim izhodom. V koraku nazaj se skladno z izračunano razliko najprej spremenijo uteži med zadnjim in predzadnjim nivojem. Zatem se izračuna razlika med želenim in dejanskim izhodom na predzadnjem nivoju in se na podlagi tega spremenijo uteži na predzadnjem nivoju. Korak nazaj se izvaja vse do prvega nivoja nevronov, kot prikazuje slika 3.5.



Slika 3.5: Korak naprej (polna črta) in korak nazaj (črtkano) pri AVPN.

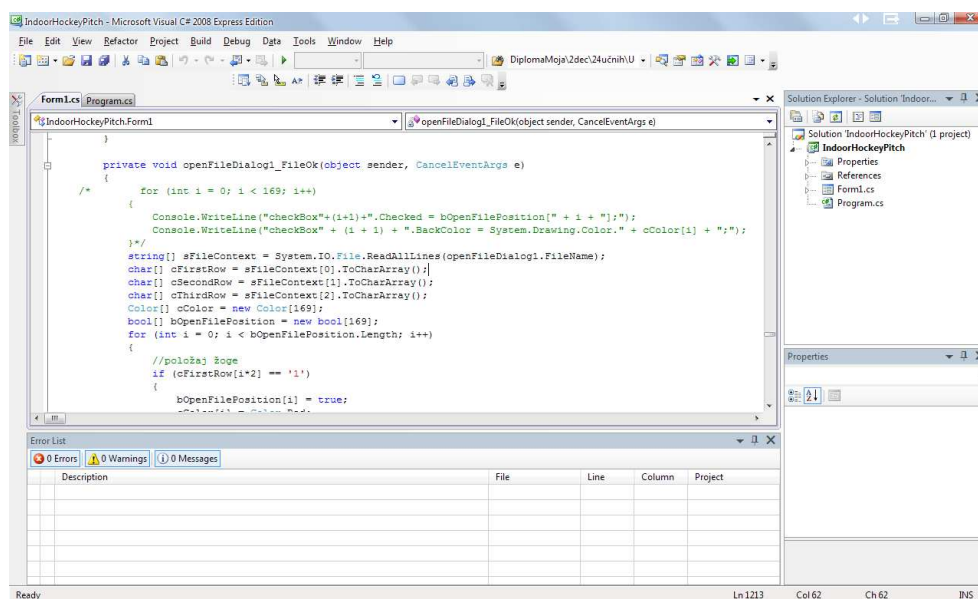
## 3.2 Orodja

V naslednjih dveh podpoglavjih sledi opis programskih orodij, s katerima smo imeli opravka tekom izdelave diplomskega dela.

### 3.2.1 Microsoft Visual C# 2008 Express Edition

Visual C# 2008 Express Edition je okrnjena verzija Microsoft Visual Studia. Gre za brezplačno integrirano razvojno okolje, namenjeno neprofesionalni rabi za izdelavo konzolnih aplikacij, iger ter Windows Forms aplikacij. Orodje med drugim vsebuje razhroščevalnik, ki omogoča lažjo detekcijo napak in nadzor poteka izvrševanja programske kode [9]. Visual C# 2008 Express Edition ima poleg tekstovnega urejevalnika programske kode tudi možnost grafičnega urejevanja, kjer po principu vleci in spusti lahko dodajamo komponente Windows Forms, razne kontrole... Slika 3.6 prikazuje delovno okolje opisanega orodja.

V MS Visual C# 2008 EE je bila izdelana aplikacija za zajem vzorcev (več o aplikaciji v poglavju 4.1.1). Kodirana je v programskem jeziku C#. Gre za objektni jezik, razvil pa ga je Microsoft.



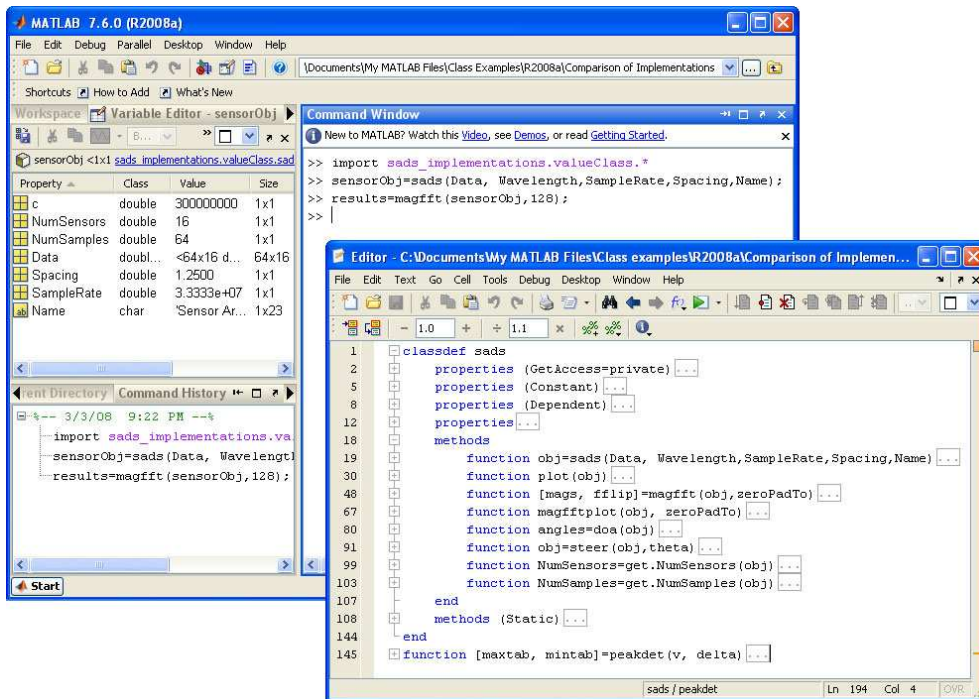
Slika 3.6: Tekstovni urejevalnik kode orodja Microsoft Visual C# 2008 Express Edition.

### 3.2.2 MATLAB R2008b

Začetki programskega okolja MATLAB segajo v leto 1970. MATLAB je okrajšava za angleški izraz MATrix LABoratory in je plačljiv programski produkt podjetja The MathWorks. Okolje je namenjeno numeričnemu računanju, grafiki in vizualizaciji in omogoča intuitivno programiranje aplikacij, pisane za znanstvene potrebe [8]. MATLAB je primeren za delo z matrikami oziroma vektorji. Sestavljajo ga:

- namizno orodje in razvojno okolje (Slika 3.7),
- knjižnica matematičnih funkcij,
- MATLAB programski jezik,
- zunanji vmesnik in
- grafika.

MATLAB dopolnjujejo številna orodja (angl. *Toolboxes*), ki so namenjene specifičnim področjem, kot so npr. finance, procesiranje signalov, slik, statistiki, paralelnemu računanju itn. Za potrebe diplomskega dela smo uporabljali orodje za nevronske mreže (angl. *Neural Networks Toolbox*).



Slika 3.7: Namizje okolja MATLAB.

## Poglavje 4

# Priprava učnih vzorcev

Namen tega poglavja je natančneje predstaviti način zajemanja učnih vzorcev za potrebe nevronske mreže in opisati različne tipe vzorcev.

### 4.1 Vzorčenje

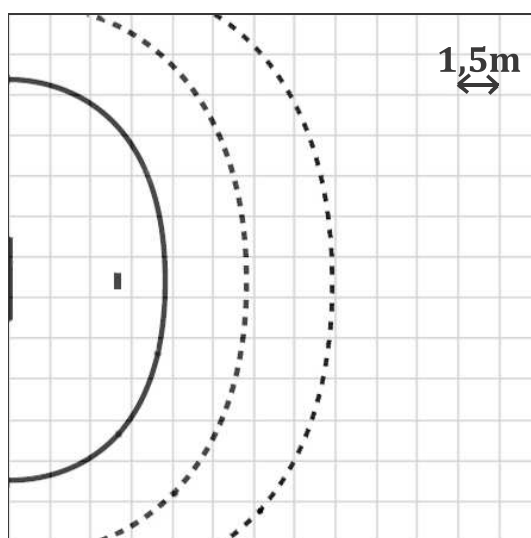
V računalništvu označujemo vzorčenje kot proces, pri katerem se analogna informacija pretvarja v digitalno. Torej kar zadeva problematiko diplomskega dela, kako spraviti vzorce za opis problema iz glave oziroma iz papirja v računalnik oziroma kakšnega formata naj bodo vzorci.

Za zbiranje in določanje vzorcev je bilo potrebno narediti aplikacijo, ki je 'sliko' igrišča pretvorila v vzorec. Problem obrambe prostega strela je smiselno reševati le, kadar je prosti strel dodeljen na polovici igrišča, kjer ima obramba svoj gol. Iz tega razloga sem omejil področje zajemanja vzorcev le na polovico igrišča namesto na celotno igrišče.

V naslednjem koraku se je bilo potrebno odločiti, na kakšen način in s kakšno natančnostjo se bodo določale pozicije igralcev in žogice. Ključen podatek, s kakšno natančnostjo meriti poziciji je podatek, da palica meri 93cm. Obrambni igralec skupaj s palico predstavlja oviro v dolžini slabega metra, vendar dejstvo je, da se lahko igralec v hipu iztegne in tako postavi palico stran od sebe ali obratno. Obrambni igralec tako poveča svoj prostor posredovanja. Meritev je pokazala, da z iztegom predstavlja oviro v dolžini približno 150cm.

Ta podatek je bil ključen za razdelitev polovice igrišča. Dimenzije polovice igrišča so 20m x 20m, torej gre za obliko kvadrata. Igrišče sem razdelil na 13x13 kvadratkov. Razlog za takšno razdelitev tiči v razmerju med dimenzijo igrišča in maneverskim prostorom obrambnega igralca. Širino oziroma dolžino polovice igrišča

delimo z velikostjo posredovanja obrambe in tako dobimo število 13 ( $\doteq \frac{20m}{1,5m}$ ). Slika 4.1 prikazuje razdelitev polovice igrišča. Kvadrataček predstavlja možno pozicijo igralcev oziroma žoge.



Slika 4.1: Razdelitev igrišča na 13x13 kvadratov.

#### 4.1.1 Aplikacija za zajem vzorcev

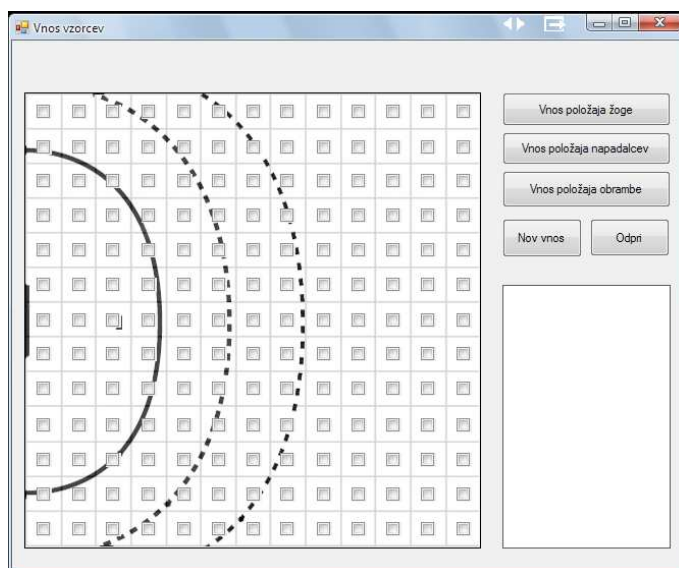
Aplikacija za zajem vzorcev služi generiranju in vizualizaciji vzorcev. Izdelana je bila v orodju Microsoft Visual C# 2008 Express Edition (več o orodju v poglavju 3.2.1).

Aplikacija (Slika 4.2) omogoča generiranje novega vzorca in ogled obstoječih vzorcev.

Postopek generiranja vzorca sestavljajo:

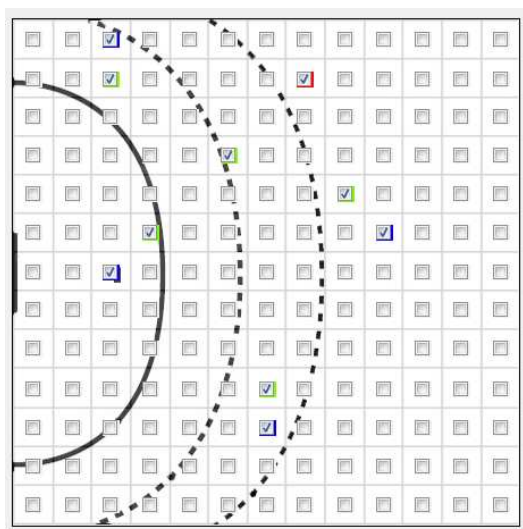
1. določitev položaja žogice; pri tem se zapiše informacija, tako da se na isti poziciji kot žogica nahaja tudi izvajalec prostega strela,
2. določitev položaja napadalcev,
3. določitev položaja obrambe.

Pri novem vnosu vzorca se generira tekstovna datoteka, v katero se shrani vzorec. Aplikacija omogoča tudi prikaz shranjenih vzorcev (Slika 4.3). Zaradi preglednosti se kvadrati oziroma pozicije igralcev pobarvajo na naslednji način:



Slika 4.2: Aplikacija za zajem vzorcev.

- žogica + izvajalec prostega strela = rdeča,
- napadalci = modra,
- obramba = zelena.



Slika 4.3: Primer vzorca.

## 4.2 Tipi vzorcev

Ob generiranju vzorcev je bilo pomembno vprašanje, na kakšen način bodo vzorci prezentirani. Pomembnost formata vzorca ni zanemarljiva, saj je od oblike vzorca neposredno odvisna arhitektura nevronske mreže. Namen različnih tipov vzorcev je raziskati, kakšen vpliv ima izbira formata vhodnega vzorca na učenje in rezultate nevronske mreže.

Neglede na format vzorca pa vzorec priprada bodisi učni množici vzorcev bodisi testni množici. Učna množica (*angl. Learning Set*) je končna množica vzorcev z danega področja, iz katere se stroj nauči relacij med vhomom in izhodom. Testna množica (*angl. Training Set*) vzorcev je namenjena testiranju učinkovitosti naučene nevronske mreže [5].

V podpoglavjih so predstavljeni formati vzorcev.

### 4.2.1 Vzorci glede na mesto pozicije

Za **trinarni vzorec** je značilno, da vsebuje le vrednosti 0, 1 ali 2. Glede na razdelitev polovice igrišča na 13x13 kvadratov imamo torej 169 kvadratkov, pozicij.

Velikost trinarnega vzorca je 2x169. Vhod je rezerviran za pozicijo žoge in napadalce, poznan izhod pa za pozicije obrambnih igralcev.

Razlaga števil:

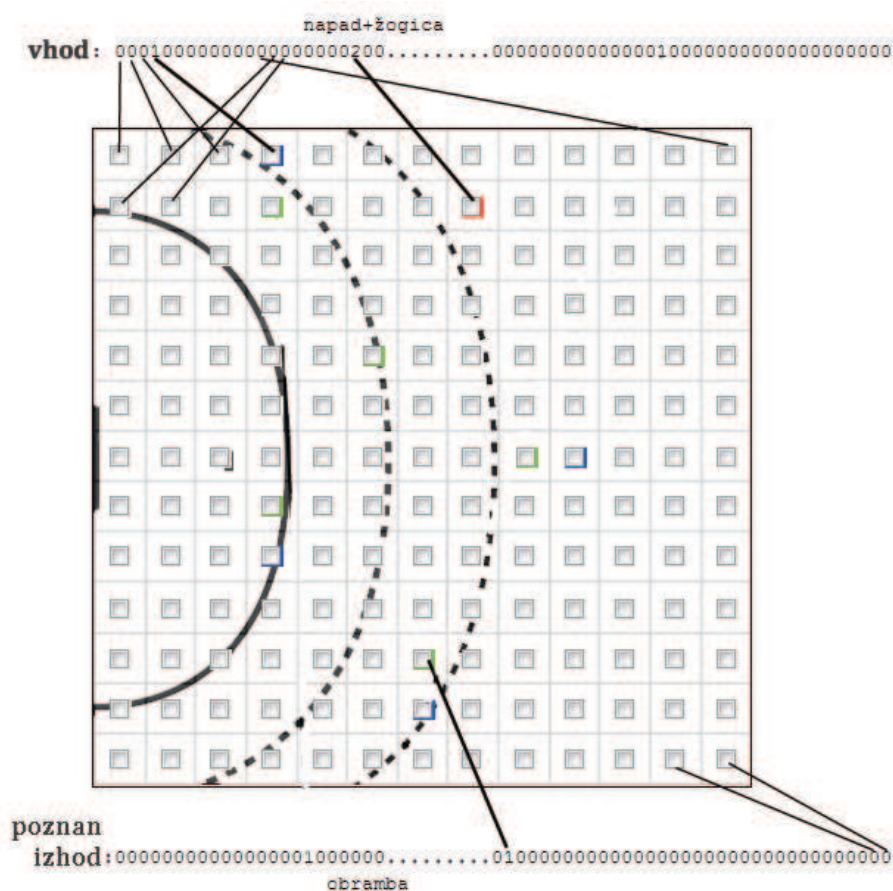
- **0** = pozicija je prazna (ni igralca niti žogice),
- **1** = na poziciji se nahaja igralec,
- **2** = označuje izvajalca prostega strela (torej napadalnega igralca/izvajalca in žogico).

število:	ničel	enic	dvojk
vhod	164	4	1
poznan izhod	164	5	0

Tabela 4.1: Frekvenca števil v vzorcu.

Vrstni red pozicij narašča od zgornjega levega kota proti desnemu spodnjemu. Npr. četrta številka v vzorcu označuje četrti kvadrant; sama številka pa označuje pomen.

Trinarni vzorec (Slika 4.4) velja za najdaljšega, saj hrani informacijo za vsako pozicijo. Vzorec vsebuje kar 97% ničel, ki nosijo nepotrebno informacijo.

Slika 4.4: Trinarni vzorec na primeru formacije. ( $n=169$ ,  $N_k=169$ )

### 4.2.2 Vzorci glede na indeks pozicije

Pomankljivost trinarnega vzorca je njegova obsežnost. Eden od ciljev vzorčenja je najti čimkrajši vzorec ob predpostavki, da bo ohranil informacijo. Ravno zaradi številnih ničel v trinarnem vzorcu je bila logična ideja, da se ničel znebimo in tako skrajšamo vzorec. Vendar pa je bilo potrebno informacijo o položajih igralcev in žogice obdržati.

Določitev vzorcev glede na indeks pozicije je, da se prazen prostor ignorira in se beležijo le pozicije, na katerih se nahajajo igralci oziroma žogica. Na ta način se vzorec skrajša približno za faktor 15.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104
105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117
118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130
131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143
144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156
157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169

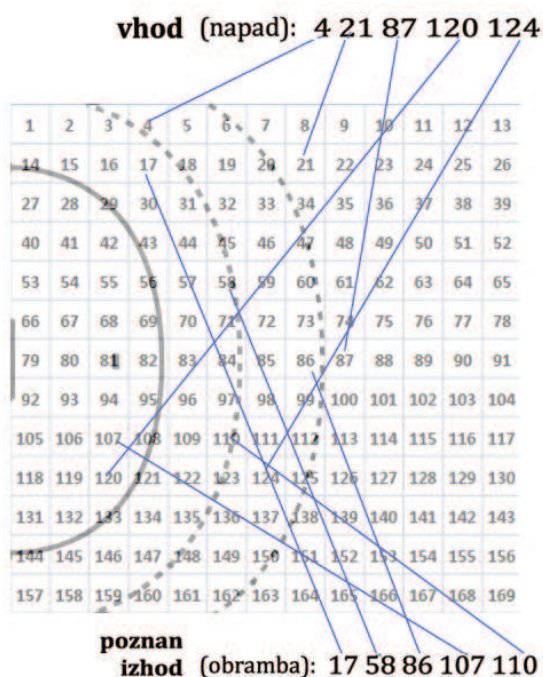
Slika 4.5: Igrišče z indeksi pozicij.

#### 4.2.2.1 Brez ločevanja žoge in napadalcev

Vzorec vsebuje indekse kvadratkov, na katerih se nahajajo igralci. Dimenzija takega vzorca je 2x5 in ne hrani informacije o poziciji žogice. V praksi to pomeni, da znamo določiti položaje obrambe in napadalcev, vendar ne vemo, kateri izmed napadalcev je izvajalec prostega strela. Slika 4.6 prikazuje primer takega vzorca.

min-max vrednost za:	1.poz	2.poz	3.poz	4.poz	5.poz
vhod	1-169	1-169	1-169	1-169	1-169
poznan izhod	1-169	1-169	1-169	1-169	1-169

Tabela 4.2: Struktura vzorca brez upoštevanja pozicije žoge.

Slika 4.6: Vzorec brez informacije o žogi. ( $n=5$ ,  $N_k=5$ )

#### 4.2.2.2 Izvenpozicijsko ločevanje žoge

Pomankljivost vzorca, opisanega v poglavju 4.2.2.1, je odpravljena z izvenpozicijskim ločevanjem žoge. Pri tem formatu vzorca zasedejo vsi položaji igralcev eno izmed vrednosti od 1 do 169, posebnost je položaj izvajalca prostega strela in žogice. Položaju, kjer se nahajata žogica in izvajalec, prištejemo število 169. Vzorec zato nosi informacijo o indeksu žogice, saj vrednost med  $170=(1+169)$  in  $338=(169+169)$  pomeni indeks žoge.

min-max vrednost za:	1.poz	2.poz	3.poz	4.poz	5.poz
vhod	1-169	1-169	1-169	1-169	170-338 (žoga+izvajalec)
poznan izhod	1-169	1-169	1-169	1-169	1-169

Tabela 4.3: Struktura izvenpozicijskega vzorca.

**vhod** 4 87 120 124 190 - 169 = 21

**poznani izhod** 17 58 86 107 110

Slika 4.7: Primer izvenpozicijskega vzorca, iz katerega razberemo in določimo pozicijo žoge. Številki na vhodu, večji od 169, odštjemo 169 in dobimo dejansko pozicijo žoge. ( $n=5$ ,  $N_k=5$ )

#### 4.2.2.3 Sosednje pozicije žoge

Vhod vzorca vsebuje 9 indeksov. Pri tem so štirje indeksi rezervirani za napadalce, preostalih pet mest pa zasedajo indeksi žogice (Slika 4.8).

Indeksi žogice so:

1. **dejanska** pozicija žoge,
2. indeks **levo** od žoge,
3. indeks **desno** od žoge,
4. indeks **nad** pozicijo žoge in
5. indeks **pod** pozicijo žoge.

**vhod** 4 8 20 21 22 34 87 120 124

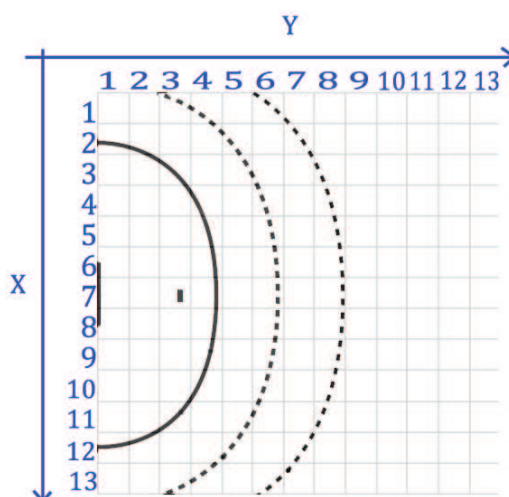
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
53	54	55	56	57	58	59	60	61	62
66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
79	80	81	82	83	84	85	86	87	88
92	93	94	95	96	97	98	99	100	101
105	106	107	108	109	110	111	112	113	114

**poznani izhod** 17 58 86 107 110

Slika 4.8: Primer vzorca sosednjih pozicij. ( $n=9$ ,  $N_k=5$ )

### 4.2.3 Vzorci glede na koordinatni sistem

Igrišče je vpeto v koordinatni sistem, kot prikazuje slika 4.9. Število možnih pozicij ostane še vedno 169, vendar se pozicija igralca označi s pomočjo koordinatnega sistema.



Slika 4.9: Vpeljava koordinatnega sistema.

Vpeljava XY koordinatnega sistema je nezadostna, saj nosi informacijo le o položaju igralcev, ne pa tudi informacije, ali je na izbranem položaju tudi žogica. Zaradi tega je vpeljana še dodatna koordinata Z, ki ima le binarno zalogo vrednosti. Pozicije napadalcev in obrambe se med seboj razlikujejo. Pri napadalcih je potrebna t.i. tretja koordinata Z, katera določa lokacijo žogice. Pri obrambi scenarij z žogo ni mogoč in zadostujeta že XY koordinati.

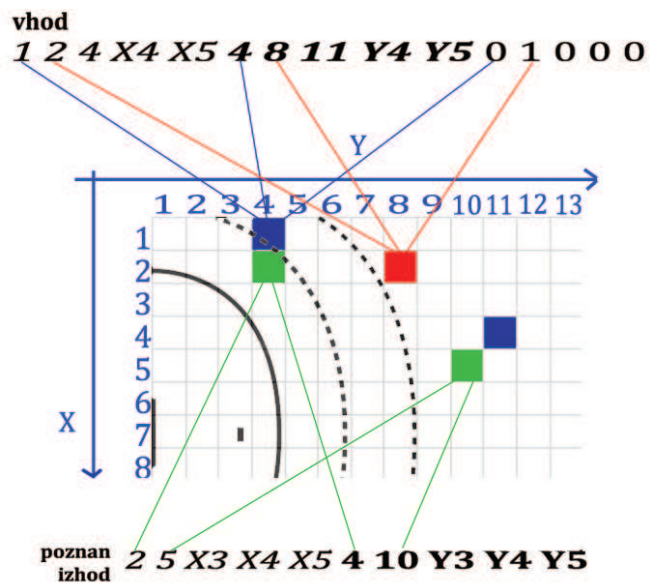
Primer:

$(3, 6, 0)$  = napadalec se nahaja na  $X=3$ ,  $Y=6$  in **nima** žogice/**ni** izvajalec prostega strela.

$(3, 6, 1)$  = napadalec se nahaja na  $X=3$ ,  $Y=6$  in **poseduje** žogico, torej **je** izvajalec prostega strela.

Vhod (rezerviran za napadalce in žoge) je dimenzije  $15=(5 \text{ pozicij} \times 3 \text{ koordinate})$  za vsako pozicijo).

Poznan izhod (rezerviran za obrambo) pa vsebuje 10 števil (10 = 5 pozicij x 2 koordinati na pozicijo).



Slika 4.10: Primer vzorca na koordinatnem sistemu. (n=15, Nk=10)

# Poglavje 5

## Testiranje

Arhitektura nevronske mreže je prilagojena formatu vzorca. Spreminja se število vhodov in število izhodov zaradi različnih primerov vzorcev.

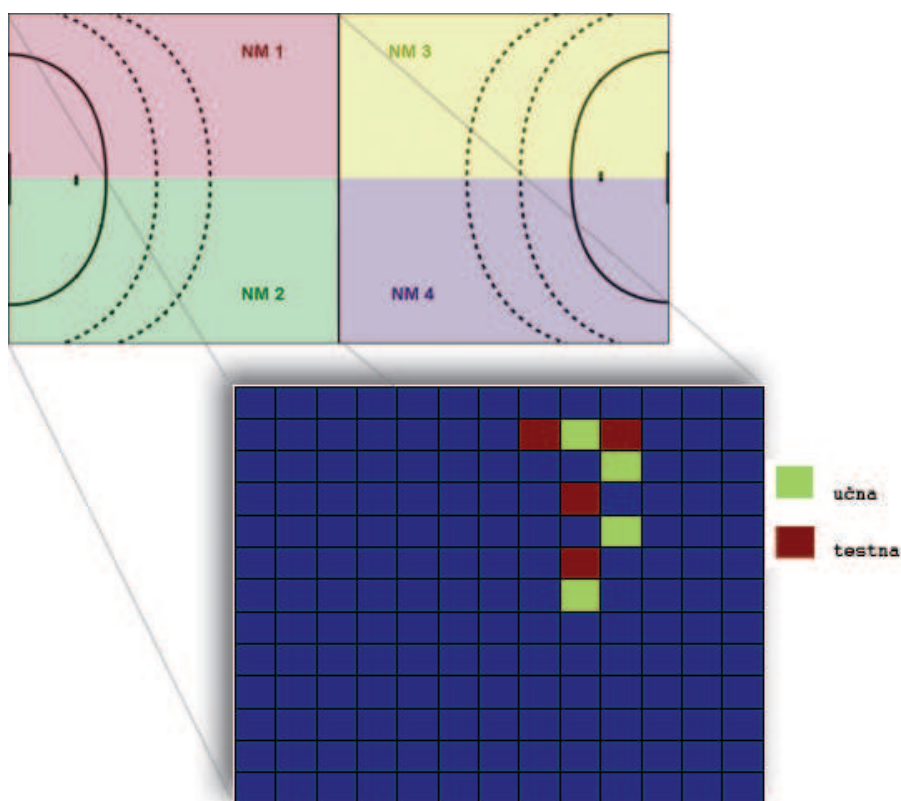
Igrišče je pokrito s štirimi enakovrednimi nevronskimi mrežami (Slika 5.1), ki se razlikujejo samo po pozicijah igralcev v vzorcih, ki pripadajo posameznemu področju. Izbira nevronske mreže se izvede na podlagi položaja žoge. Igralci za posamezno nevronske mreže so razporejeni po celi levi ali desni polovici igrišča. Testiranje je bilo izvedeno samo za eno nevronske mreže, in sicer za NM 1. Le-ta je bila izbrana zato, ker sta učni in testni množici vsebovali vzorce, kjer je pozicija žoge bila na levi polovici zgornjega dela igrišča (Slika 5.1). Razlika v preostalih treh nevronske mrežah se kaže zgolj v učnih vzorcih. Zaradi simetričnosti gre za zrcaljenje vzorcev preko premice - za NM 2 za zrcaljenje čez vodoravno premico, za NM 3 in NM 4 pa preko navpične premice oziroma sredinske črte igrišča. Za učenje nevronske mreže smo uporabili eno učno in eno testno množico prirejeno za vse tipe vzorcev.

### 5.1 Učno/testne množice

Učna in testna množica se razlikujeta po poziciji žogice in pozicijah napadalcev oziroma obrambe. Vsaka od množic vsebuje 20 vzorcev. Slika 5.1 prikazuje postavitev žogice za učno in testno množico.

Frekvenco postavitve igralcev na posamezni poziciji za učno in testno množico prikazujeta sliki 5.2 in 5.3.

Pri učenju in testiranju (neglede na format vzorcev) sta uporabljeni dve arhitekturi nevronske mreže - **3-nivojski perceptron** in **2-nivojski perceptron**. Pri 3-nivojskem perceptronu vsebujeta skrita nivoja po 10 nevronov. Tretji nivo zavisi od definiranega izhoda - če izhod vsebuje 5 pozicij, je v zadnjem nivoju toliko ne-



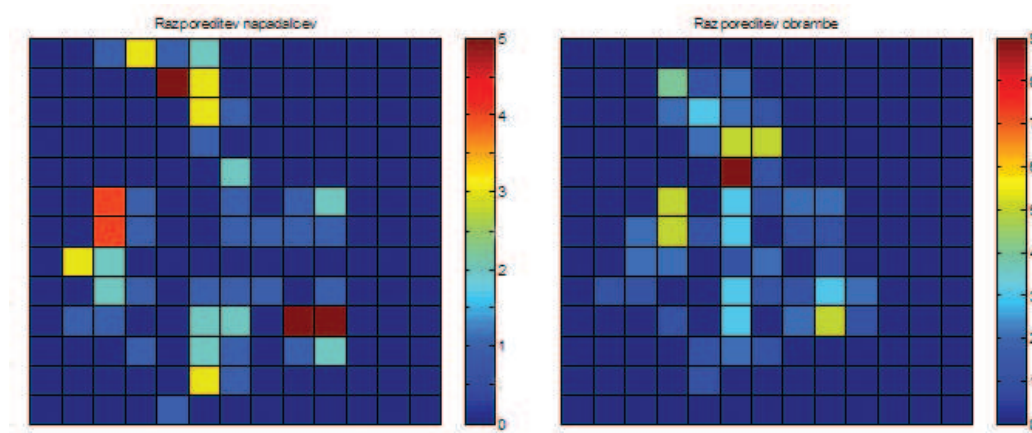
Slika 5.1: Pokritje igrišča z nevronskimi mrežami in razporeditev žoge pri učni in testni množici. Za vsako pozicijo žoge obstaja 5 vzorcev.

vronov. 2-nivojski perceptron se od 3-nivojskega razlikuje le v tem, da ima en skriti nivo manj. Po učenju nad učno množico se izvede simulacija nad testno množico. Rezultat simulacije so izračunani izhodi, ki jih bomo uporabili za oceno rezultatov.

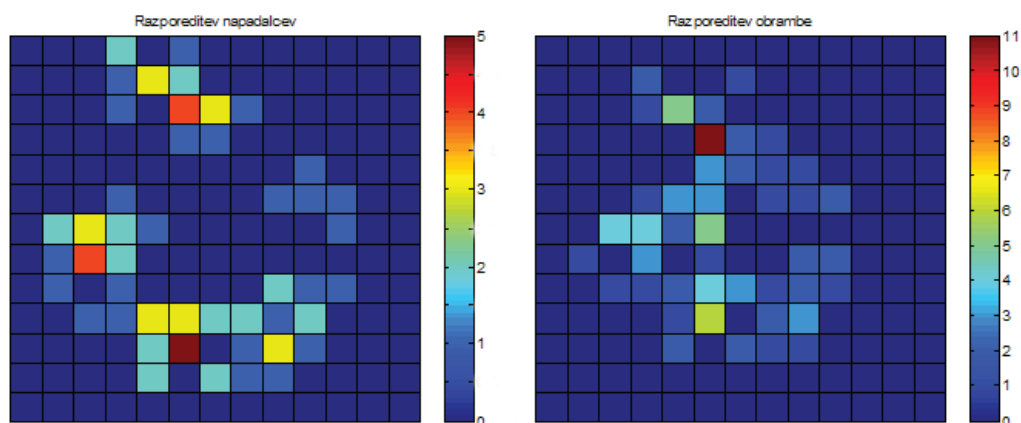
Za oceno napovedovanja nevronske mreže smo vpeljali kriterij, ki določa uteženo vrednotenje mesta napovedi glede na poznan izhod. Vzorec sestavlja vhod in poznan izhod. Če se mreža dobro nauči, razlika med izračunanimi in poznanimi izhodi ni velika.

Izhod predstavlja pet obrambnih igralcev. Definirati je potrebno pojma:

- *poznan obrambni igralec (POI)*: gre za idealnega obrambnega igralca, katerega pozicija je določena kot izhod v testni množici in
- *izračunan obrambni igralec (IOI)*: gre za obrambnega igralca, katerega pozicija je izračunana z nevronske mreže.



Slika 5.2: Razporeditev igralcev v učni množici. Leva stran se nanaša na napadalce (vhod), desna stran pa na obrambo (poznani izhod).

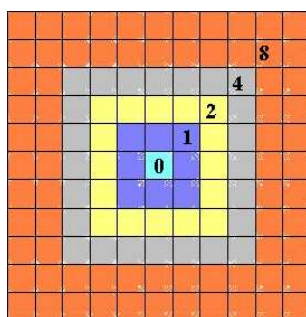


Slika 5.3: Razporeditev igralcev v testni množici. Leva stran se nanaša na napadalce (vhod), desna stran pa na obrambo (poznani izhod).

Kriterij vrednotenja razlike med pozicijo IOI in POI je prikazan na sliki 5.4 in pravi:

1. če sta poziciji IOI in POI enaki, se ovrednoti z vrednostjo 0,
2. če se IOI nahaja na poziciji, ki je sosednja poziciji POI, se ovrednoti z 1,
3. če se IOI nahaja na poziciji, ki je za dve mesti oddaljena od pozicije POI, se ovrednoti z 2,

4. če se IOI nahaja na poziciji, ki je za tri mesta oddaljena od pozicije POI, se ovrednoti s 4,
5. če se pozicija IOI nahaja v premeru od POI za štiri ali več mest, se ovrednoti z 8.



Slika 5.4: Vrednotenje razlike med IOI in POI. Ista barva pomeni enako vrednost.

## 5.2 Definicija nevronske mreže

Za nevronske mreže je poleg podane arhitekture potrebno izbrati še naslednje parametre: učni parameter, napaka učenja, število učnih obdobij, nenazadnje tudi arhitektura mreže idr. Neglede na tip vhodnih/izhodnih vzorcev so nevronske mreže imele nastavljene enake vrednosti parametrov (Tabela 5.1).

Parameter:	Vrednost
učni parameter	0.1
napaka učenja	1E-4
št. učnih obdobij	500
min.gradient	1E-30

Tabela 5.1: Parametri testiranja.

Uporabljene arhitekture pri upoštevanju notacije 3.3 so:

- $P(n,10,10,Nk) = 3\text{-nivojski perceptron in}$
- $P(n,10,Nk) = 2\text{-nivojski perceptron,}$

kjer  $n$  določa število nevronov na vhodnem nivoju in  $N_k$  število nevronov na izhodnem nivoju.

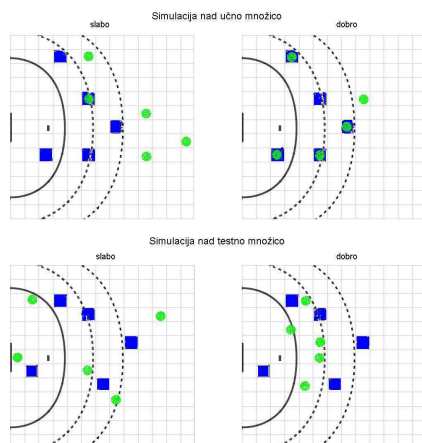
Postopek učenja in testiranja se je izvedel za vsak tip vzorca desetkrat, saj ni garancije, da je mreža po končanem učenju dobro naučena. Po končanem učenju se je izvedla simulacija nad testno množico - za vsak tip vzorca je bilo opravljenih torej 10 simulacij. Rezultati simulacij so bili pri tem razvrščeni glede na razliko med poznanimi izhodi testne množice in izračunanimi izhodi. Pri ocenjevanju razlike je upoštevan kriterij, prikazan na sliki 5.4. Za vsakega obrambnega igralca se je s tem določila vrednost glede na njegovo oddaljenost od 'idealne' lege. Ker je obrambnih igralcev pet in testna množica obsega 20 postavitev, se vrednoti 100 pozicij. Večja vsota razlik pozicij pomeni slabši rezultat. Glede na vsoto razlik so se izbrale tri najboljše simulacije (torej simulacije, kjer je seštevek razlik pozicij najmanjši).

Najboljše tri simulacije so podrobneje predstavljene v tabelah. Za posamezno simulacijo so prikazani še *deleži razlik*. 0 označuje, da je mreža pozicijo pravilno napovedala. 1 pomeni, da se pozicija POI in IOI razlikuje za ena itn (Slika 5.4).

*Vsota napak* pomeni sumarni znesek ovrednotenih razlik. *Povprečje* je srednja vrednost deležev razlik in vsote napak treh najboljših simulacij.

Simulacija je poleg testne množice bila izvršena tudi nad učno množico. Za vsak format vzorca bo na konkretnem primeru postavitve prikazan dober in slab primer simulacije nad učno oziroma testno množico.

### 5.3 Trinarni vzorec



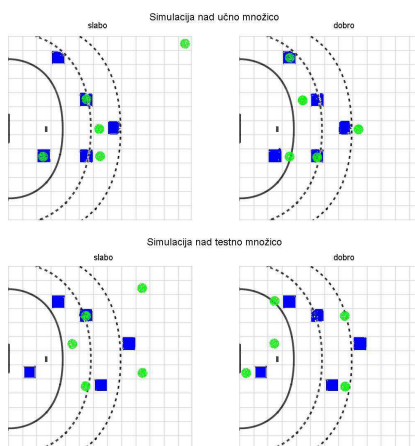
Slika 5.5: Rezultati učenja in testiranja na konkretni postavitvi igralcev. Modri kvadrat prikazuje POI, zeleni krog pa IOI.

<b>P(5,10,5)</b>	<i>Deleži razlike (v %)</i>					<i>Vsota napak:</i>
<i>Simulacija:</i>	0	1	2	4	8	<i>(max 800)</i>
najboljša	12	29	27	14	18	283
druga najboljša	4	39	22	18	17	291
tretja najboljša	5	33	22	10	30	357
<i>Povprečje:</i>	7	33.6	23.6	14	21.6	310.3

<b>P(5,10,5)</b>	<i>Deleži razlike (v %)</i>					<i>Vsota napak:</i>
<i>Simulacija:</i>	0	1	2	4	8	<i>(max 800)</i>
najboljša	11	32	23	20	14	270
druga najboljša	7	30	25	21	17	277
tretja najboljša	10	27	29	20	14	300
<i>Povprečje:</i>	9.3	29.6	25.6	20.3	15	282.3

Tabela 5.2: Rezultati simulacije nevronske mreže z 20 trinarnimi vzorci, kar predstavlja 5 možnih zgrešitev pozicij za posamezen vzorec.

## 5.4 Brez ločevanja žoge in napadalcev



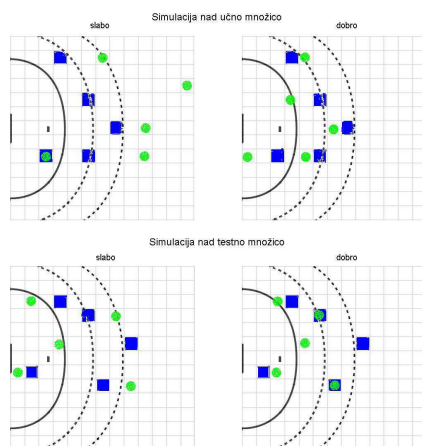
Slika 5.6: Rezultati učenja in testiranja na konkretni postavitvi igralcev. Modri kvadrat prikazuje POI, zeleni krog pa IOI.

<b>P(5,10,10,5)</b>	<i>Deleži razlike (v %)</i>					<i>Vsota napak:</i>
<i>Simulacija:</i>	0	1	2	4	8	<i>(max 800)</i>
najboljša	4	23	24	20	29	383
druga najboljša	8	23	22	10	37	403
tretja najboljša	7	14	22	24	33	418
<i>Povprečje:</i>	6.3	20	22.6	18	33	401.3

<b>P(5,10,5)</b>	<i>Deleži razlike (v %)</i>					<i>Vsota napak:</i>
<i>Simulacija:</i>	0	1	2	4	8	<i>(max 800)</i>
najboljša	15	19	17	13	36	393
druga najboljša	8	17	18	9	48	473
tretja najboljša	5	18	14	11	52	506
<i>Povprečje:</i>	9.3	17	22.6	11	45.3	457.3

Tabela 5.3: Rezultati simulacije nevronske mreže z 20 vzorci brez ločevanja žoge in napadalcev, kar predstavlja 5 možnih zgrešitev pozicij za posamezen vzorec.

## 5.5 Izvenpozicijsko ločevanje žoge



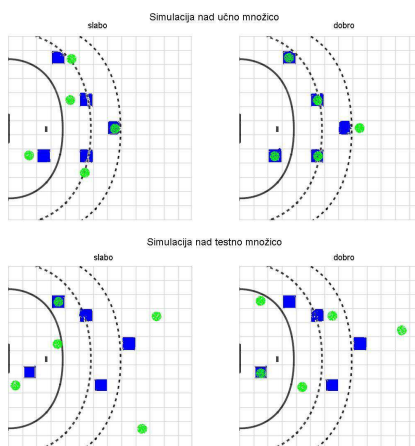
Slika 5.7: Rezultati učenja in testiranja na konkretni postavitvi igralcev. Modri kvadrat prikazuje POI, zeleni krog pa IOI.

<b>P(5,10,10,5)</b>	<i>Deleži razlike (v %)</i>					<i>Vsota napak:</i>
<i>Simulacija:</i>	0	1	2	4	8	<i>(max 800)</i>
najboljša	13	24	15	27	21	330
druga najboljša	7	37	12	10	34	373
tretja najboljša	12	16	24	13	35	396
<i>Povprečje:</i>	10.6	25.6	17	16.6	30	366.3

<b>P(5,10,5)</b>	<i>Deleži razlike (v %)</i>					<i>Vsota napak:</i>
<i>Simulacija:</i>	0	1	2	4	8	<i>(max 800)</i>
najboljša	10	29	11	20	30	371
druga najboljša	10	25	16	14	35	393
tretja najboljša	8	22	21	12	37	408
<i>Povprečje:</i>	9.3	25.3	16	12	34	390.6

Tabela 5.4: Rezultati simulacije nevronske mreže z 20 izvenpozicijskimi vzorci, kar predstavlja 5 možnih zgrešitev pozicij za posamezen vzorec.

## 5.6 Sosednje pozicije žoge



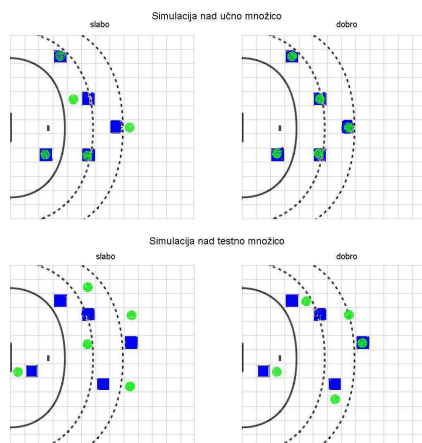
Slika 5.8: Rezultati učenja in testiranja na konkretni postavitvi igralcev. Modri kvadrat prikazuje POI, zeleni krog pa IOI.

<b>P(5,10,10,5)</b>	<i>Deleži razlike (v %)</i>					<i>Vsota napak:</i>
<i>Simulacija:</i>	0	1	2	4	8	<i>(max 800)</i>
najboljša	10	23	17	19	31	381
druga najboljša	8	20	17	17	38	426
tretja najboljša	5	21	17	19	38	435
<i>Povprečje:</i>	7.6	21.3	17	18.3	35.6	414

<b>P(5,10,5)</b>	<i>Deleži razlike (v %)</i>					<i>Vsota napak:</i>
<i>Simulacija:</i>	0	1	2	4	8	<i>(max 800)</i>
najboljša	11	20	16	17	36	408
druga najboljša	10	21	21	8	40	415
tretja najboljša	8	24	19	9	40	418
<i>Povprečje:</i>	9.6	21.6	18.6	11.3	38.6	413.6

Tabela 5.5: Rezultati simulacije nevronske mreže z 20 vzorci formata sosednjih pozicij žoge, kar predstavlja 5 možnih zgrešitev pozicij za posamezen vzorec.

## 5.7 Koordinatni sistem



Slika 5.9: Rezultati učenja in testiranja na konkretni postavitvi igralcev. Modri kvadrat prikazuje POI, zeleni krog pa IOI.

<b>P(5,10,5)</b>	<i>Deleži razlike (v %)</i>					<i>Vsota napak:</i>
<i>Simulacija:</i>	0	1	2	4	8	<i>(max 800)</i>
najboljša	22	52	19	7	0	118
druga najboljša	15	53	26	5	1	133
tretja najboljša	16	54	23	3	4	144
<i>Povprečje:</i>	17.6	53	22.6	5	1.6	131.6

<b>P(5,10,5)</b>	<i>Deleži razlike (v %)</i>					<i>Vsota napak:</i>
<i>Simulacija:</i>	0	1	2	4	8	<i>(max 800)</i>
najboljša	26	52	15	4	3	122
druga najboljša	13	55	25	5	2	141
tretja najboljša	6	46	34	8	6	194
<i>Povprečje:</i>	15	51	24.6	5.6	3.6	152.3

Tabela 5.6: Rezultati simulacije nevronske mreže z 20 vzorci v koordinatnem sistemu, kar predstavlja 5 možnih zgrešitev pozicij za posamezen vzorec.

## 5.8 Analiza rezultatov

Rezultati simulacija so potrdili, da izbira vzorca v veliki meri vpliva na uspešnost nevronske mreže. 3-nivojski perceptron se je izkazal za primernejšega pri napovedovanju pozicij. Analiza rezultatov nam je pokazala, da lahko vzorce glede na uspešnost napovedovanja pozicij razdelimo v dve skupini: na tiste, ki dajejo zadovoljive rezultate in na tiste, pri katerih so rezultati neuporabni. V prvo skupino prištevamo trinarni vzorec in vzorec s koordinatnim sistemom. V tabeli (5.7) so povzeti rezultati testiranja. Iz rezultatov je razvidno, da omenjena tipa vzorcev dajejo bistveno boljše rezultate kot preostali.

Povprečne vsote napak		
Format vzorca:	P(n,10,Nk)	P(n,10,10,Nk)
trinarni	282.3	310.3
brez ločevanja	457.3	401.3
izvenpozicijski	390.6	366.3
sosebnje pozicije	413.6	414
koordinatni	152.3	131.6

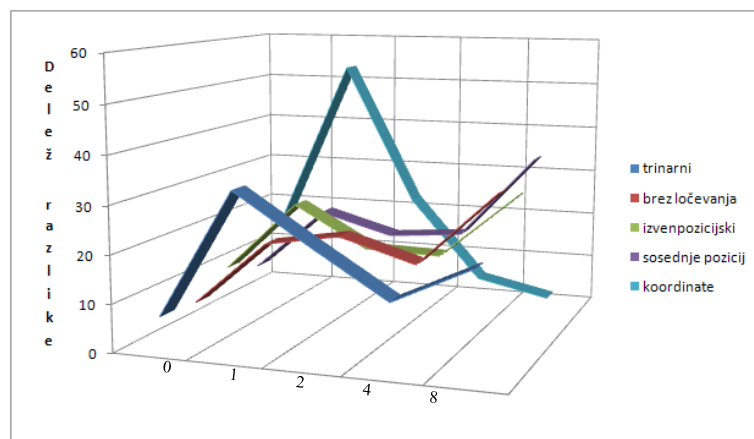
Tabela 5.7: Povzetek rezultatov.

Pri trinarnem vzorcu je mreža približno tretjini pozicij izračunala soseda poznani poziciji. Pri 2-nivojskem perceptronu so rezultati celo nekoliko boljši kot pri trinovojskemu. Za takšno učinkovitost mreže lahko rečemo, da bi bili trinarni vzorci dobra odločitev. A izkaže se, da ima veliko število nevronov v vhodni in izhodni plasti velik vpliv na čas učenja. Učenje je pri trinarnih vzorcih trajalo 13 ur, medtem ko pri ostalih vzorcih približno 5-10 minut. Zaradi časovne zahtevnosti je trinarni vzorec praktično neuporaben.

Najboljše rezultate smo dobili z vzorci v koordinatnem sistemu. Prikazali so do trikrat boljšo simulacijo v primerjavi z ostalimi vzorci. Delež pozicij, ki se izračunajo z napako štirih ali več mest, je majhen oziroma zanemarljiv. V več kot 65 odstotkih je mreža izračunala soseda poznani poziciji. Dobri rezultati so posledica majhnega normiranja, saj so vhodni vzorci bili deljeni z relativno majhnim številom - 13.

V skupino, ki je podala neuporabne pozicije, prištevamo vzorce sosednjih pozicij, izvenpozicijske vzorce in vzorce brez ločevanja. Pri teh je v več kot 33% izračunana pozicija bila zgrešena za 4 ali več mest. Izvenpozicijski vzorec je dal za odtenek boljše rezultate napram ostalima dvema, vendar še vseeno slabe.

Razlog za slabe rezultate gre pripisati normiranju, saj so bili vhodni vzorci deljeni z velikim številom - 169 oziroma 338. Slika 5.10 prikazuje deleže razlike v odvisnosti od vrednotenja napake. Iz slike je razvidno, da je pri vseh vzorcih - razen pri vzorcih s koordinatnim sistemom, velik delež izračunanih pozicij, ki so oddaljene za 3 ali več mest od poznane pozicije.



Slika 5.10: Deleži razlike v odvisnosti od vrednotenja napak.

## 5.9 Optimizacija velikosti mreže

Najboljše rezultate testiranja smo dobili pri vzorcih, zapisanih v obliki kordinatnega sistema, 3-nivojski perceptron pa se je odrezal bolje od 2-nivojskega. Izvedli smo dodatne teste na 3-nivojskem perceptronu, tako da smo spreminjali število skritih nevronov. Tabela 5.8 podaja rezultate testiranja. Za vsako arhitekturo je bilo izvedenih 10 simulacij, iz treh najboljših simulacij (katerih vsota napak je bila najmanjša) je izračunano povprečje vsote in deležev razlike in podano v tabeli 5.8.

Rezultati simulacije so pokazali, da ni mogoče vnaprej predvideti, kakšna arhitektura bo dala dobre rezultate. Z večanjem števila skritih nevronov so rezultati ponavadi boljši, ni pa nujno. Odločitev o tem, ali je bolje imeti več nevronov v prvem nivoju ali v drugem, je stvar testiranja. 3-nivojski perceptron P(15,20,20,10) se je izkazal za najboljšo rešitev, saj je večini pozicij določil enako pozicijo ali soseda optimalne pozicije. Šele z ustreznimi testiranjimi lahko pridemo do uspešne (optimalne) arhitekture in zadovoljivih rezultatov.

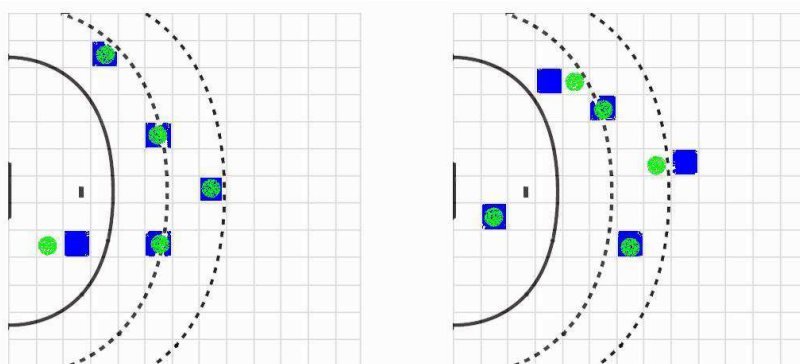
Tabela 5.9 podaja vsoto napake najboljše simulacije. Arhitektura P(15,20,20,10) je podala najboljšo simulacijo s stališča najmanjše vsote napak. V desetih simulacijah so rezultati močno variirali - nekaj simulacij je bilo zelo dobrih, pri drugih pa

Arhitektura:	Deleži razlike (v %)					Vsota napak:
	0	1	2	4	8	(max 800)
P(15,2,2,10)	19.3	53.6	19	0.6	7.3	153
P(15,5,5,10)	8.3	35.3	29.3	11	16	266
P(15,10,5,10)	15	53.3	18.6	7	6	166.6
P(15,5,10,10)	8	36.3	30.6	10.3	14.6	256.3
P(15,8,8,10)	8.6	37.6	31.6	10.6	11.3	234.3
P(15,5,15,10)	10.3	48	26.3	12	3.3	175.3
P(15,15,5,10)	20.6	53.6	19.6	3.6	2.3	126.3
P(15,15,15,10)	20	58.3	13.6	6.3	1.6	124.3
P(15,10,20,10)	21.6	54.3	19.6	4	0.6	114.6
P(15,20,10,10)	14.6	58	20.3	4.6	2.3	136
P(15,20,20,10)	29.6	58.6	8.6	2.6	0.6	92

Tabela 5.8: Vpliv arhitekture na uspešnost nevronske mreže.

se je mreža slabo naučila. Če primerjamo konstantnost uspešnosti nevronske mreže in uspešnost kot tako, je najboljše rezultate podala arhitektura P(15,15,5,10). Zato lahko rečemo, da taka mreža daje najboljše rezultate.

Na sliki 5.11 je prikazan primer postavitve in rezultat najboljše simulacije P(15,15,5,19). Iz slike vidimo, da je nevronska mreža podala zelo dobre rezultate.



Slika 5.11: Prikaz najboljše simulacije pri P(15,15,5,10). Levo je rezultat simulacije nad učnim vzorcem, desno pa rezultat simulacije nad testnim vzorcem. Modri kvadrat prikazuje POI, zeleni krog pa IOI.

<i>Arhitektura</i>	Vsota napake pri najboljši simulaciji
P(15,2,2,10)	97
P(15,5,5,10)	197
P(15,10,5,10)	159
P(15,5,10,10)	252
P(15,8,8,10)	182
P(15,5,15,10)	143
P(15,15,5,10)	86
P(15,15,15,10)	114
P(15,10,20,10)	104
P(15,20,10,10)	124
P(15,20,20,10)	78

Tabela 5.9: Prikaz najboljših simulacij pri posamezni arhitekturi.

## Poglavje 6

### Zaključek

V diplomskem delu smo predstavili različne načine pozicioniranja igralcev pri dvo-ranskem hokeju. Posamezna postavitev je določena samo za polovico igrišča, kjer se izvaja prosti strel, zato je razdeljena na 169 možnih pozicij. Rezultati testiranja so pokazali, da ima format vzorcev pomemben vpliv na uspešnost napovedovanja nevrnske mreže. S človeškim razmišljanjem in logiko bi težko podali splošno oceno, kateri vzorec bi dal dobre rezultate. Čeprav se nekateri formati intuitivno zdijo neobetavni, podajo dobre rezultate. Po testiranju in analizi rezultatov lahko pritrdimo, da je nevronska mreža primerno orodje za reševanje problema postavitve obrambnih igralcev. Pri delu z nevronskimi mrežami smo prišli do ugotovitve, da zgolj priprava učnih in testnih vzorcev in enkratna simulacija ne daje dobrih rezultatov. Če želimo izbrati najprimernejšo nevronska mrežo, lahko to dosežemo s spreminjanjem arhitekture idr. Pri reševanju problema napovedovanja pozicij obrambnih igralcev nismo naleteli na večje ovire, razen pri uporabi trinarnega vzorca, kjer veliko vhodov in izhodov posredno zahteva obsežno število nevronov. Pri tem se čas učenja močno podaljša, rezultati pa s tem niso boljši.

V diplomskem delu so postavljeni temelji za nadaljno delo. Obstajajo še drugi modeli nevronskih mrež, učni algoritmi itn. Razdelitev igrišča in načini postavitev pozicij, zajeti v diplomskem delu, niso edini možni in zanimivo bi bilo testirati še druge variante. Nevronske mreže so se izkazale kot dobro orodje pri napovedovanju pozicij obrambe.

# Slike

2.1	Dvoranski hokej . . . . .	6
2.2	Igrišče z martinelo . . . . .	6
2.3	Igrišče z označenima območjema . . . . .	7
2.4	Igralec v fazi obrambe . . . . .	8
2.5	Primer postavitve pri izvajanju prostega strela . . . . .	9
3.1	Primerjava biološkega in umetnega nevrona . . . . .	12
3.2	Sigmoidna funkcija . . . . .	13
3.3	Večnivojska nevronska mreža . . . . .	14
3.4	Diagram nadzorovanega učenja . . . . .	15
3.5	Korak naprej in korak nazaj pri AVPN . . . . .	16
3.6	Microsoft Visual C# 2008 Express Edition . . . . .	17
3.7	Namizje MATLAB R2008b . . . . .	18
4.1	Razdelitev igrišča . . . . .	20
4.2	Aplikacija za zajem vzorcev . . . . .	21
4.3	Primer vzorca . . . . .	21
4.4	Primer trinarnega vzorca . . . . .	23
4.5	Igrišče z indeksi pozicij . . . . .	24
4.6	Vzorec brez ločevanja žoge . . . . .	25
4.7	Primer izvenpozicijskega vzorca . . . . .	26
4.8	Primer vzorca sosednjih pozicij . . . . .	26
4.9	Vpeljava koordinatnega sistema . . . . .	27
4.10	Primer vzorca na koordinatnem sistemu . . . . .	28
5.1	Pokritje igrišča z nevronskimi mrežami in razporeditev žoge pri učni in testni množici. . . . .	30
5.2	Razporeditev igralcev v učni množici . . . . .	31
5.3	Razporeditev igralcev v testni množici . . . . .	31
5.4	Kriterij vrednotenja razlike med IOI in POI . . . . .	32

5.5	Primer slabo in dobro naučene mreže na konkretni postavitvi iz učne in testne množice - trinarni vzorec . . . . .	34
5.6	Primer slabo in dobro naučene mreže na konkretni postavitvi iz učne in testne množice - format brez ločevanja . . . . .	35
5.7	Primer slabo in dobro naučene mreže na konkretni postavitvi iz učne in testne množice - izvenpozicijski vzorci . . . . .	36
5.8	Primer slabo in dobro naučene mreže na konkretni postavitvi iz učne in testne množice - sosednje pozicije . . . . .	37
5.9	Primer slabo in dobro naučene mreže na konkretni postavitvi iz učne in testne množice - koordinatni sistem . . . . .	38
5.10	Deleži razlike v odvisnosti od vrednotenja napak . . . . .	40
5.11	Prikaz najboljše simulacije pri $P(15,15,5,10)$ . . . . .	41

# Tabele

4.1	Frekvenca števil v trinarnem vzorcu . . . . .	22
4.2	Struktura vzorca brez upoštevanja pozicije žoge . . . . .	24
4.3	Struktura izvenpozicijskega vzorca . . . . .	25
5.1	Parametri testiranja . . . . .	32
5.2	Rezultati simulacije nevronske mreže s trinarnimi vzorci . . . . .	34
5.3	Rezultati simulacije nevronske mreže z vzorci brez ločevanja žoge in napadalcev . . . . .	35
5.4	Rezultati simulacije nevronske mreže z izvenpozicijskim vzorcem .	36
5.5	Rezultati simulacije nevronske mreže s sosednjimi pozicijami žoge .	37
5.6	Rezultati simulacije nevronske mreže z vzorcem v koordinatnem sistemu . . . . .	38
5.7	Povzetek rezultatov . . . . .	39
5.8	Vpliv arhitekture na uspešnost nevronske mreže . . . . .	41
5.9	Prikaz najboljših simulacij pri posamezni arhitekturi . . . . .	42

# Literatura

- [1] Andrej Dobnikar, *Nevronske mreže: teorija in aplikacije*, Radovljica: Didakta, 1990.
- [2] Stephen I. Gallant *Neural Network Learning and Expert Systems*, London: The MIT, 1995.
- [3] Simon Haykin *Neural Networks - A Comprehensive Foundation*, New Jersey: Prentice Hall International, 1999.
- [4] Igor Kononenko, *Strojno učenje*, Ljubljana: Založba FE in FRI, 2005.
- [5] Božidar Potočnik, *Osnove razpoznavanja vzorcev z nevronskimi mrežami*, Maribor: Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v Mariboru, 2007.
- [6] (2010) Belper Ladies News. Dostopno na:  
<http://www.belperhc.co.uk/ladiesnews.htm>
- [7] (2010) Indoor Hockey - Cheltenham Hockey Club. Dostopno na:  
<http://www.chelthockey.org/indoor-hockey.php>
- [8] (2010) MATLAB - The Language Of Tehnical Computing. Dostopno na:  
<http://www.mathworks.com/products/matlab/?sec=extending>
- [9] (2010) Microsoft DreamSpark. Dostopno na:  
[http://msdn.microsoft.com/sl-si/beginner/bb964631\(28en-us\).aspx](http://msdn.microsoft.com/sl-si/beginner/bb964631(28en-us).aspx)