Primjena algoritama umjetne inteligencije u računalnoj igri Mlin

Brčić, Antonio

Sveučilište u Rijeci – Odjel za informatiku

Jednopredmetna informatika

Antonio Brčić

Primjena algoritama umjetne inteligencije u računalnoj igri Mlin

Završni rad

Mentor: izv. prof. dr. sc. Marina Ivašić Kos

Rijeka, 11.9.2019.

Sadržaj

1. Uvod

U industriji za video igre koriste se različiti algoritmi za implementaciju umjetne inteligencije sa ciljem da se igraču pruži što veća uživljenost i osjećaj realnosti u igri. Također se koristi za implementaciju različitih „uzoraka ponašanja“ u računalnoj igri. AI se pomoću danog „uzorka“ prilagođava na stil igranja igrača, a može dosizati sve od običnih protivnika do raznoraznih boss susreta. Algoritmi umjetne inteligencije se nastoje načiniti što boljima da se istovremeno prilagođavaju podacima koje otkriju te prilagođavaju igraču ovisno o postavljenoj težini i o uspješnosti igrača. Neki od poznatijih algoritama za implementaciju AI u igrama su algoritam mrava [1], algoritam pčela [2], reinforcement learning [6] i rule-based leaning [7].

U ovom radu osmišljen je jednostavan algoritam kalkulacije prioriteta koji će za tradicionalnu igru „Mlin“ [5] ili engl. Nine men's Morris, ili „Mills“ tražiti najpovoljniju poziciju figurice te najpovoljnije mjesto gdje pomaknuti istu figuricu kako bi napravio mlin, ili spriječio igrača da napravi svoj mlin. Igra je napravljena u alatu za izradu igara Unity [12].

2. Pravila igre

Igra Mlin igra se na ploči koja se sastoji od 24 pozicija horizontalno i vertikalno povezani sa 2 susjeda ako su kutne, 4 susjeda ako nisu kutne pozicije (Slika 1.). Mlin se sastoji se od 3 faze igre. U prvoj fazi započinju redom prvo plavi, zatim crveni igrač naizmjenice postavljati figurice na slobodna mjesta na ploči. Cilj je igre stvoriti Mlin, ili tri spojena susjedna mjesta, horizontalno ili vertikalno. Dijagonale se ne računaju. Prilikom postavljanja figurice ako igrač napravi mlin, on smije pritom pojesti jednu protivničku figuricu koja nije u Mlinu. Naizmjenice se postavljaju figurice dokle god oba igrača nisu svaki postavili 9 figurica. Zatim započinje druga faza igre. U drugoj fazi igre smiju se pomaknuti figurice koje imaju slobodno susjedno mjesto. U slučaju da igrač ne može pomaknuti nijednu figuricu zbog razloga što nijedna figurica nema slobodno susjedno mjesto, taj igrač gubi i igra tu završava. Igrači i u ovoj fazi pokušavaju blokirati protivničke Mlinove ili stvoriti svoje. U treću fazu ulazi igrač koji je ostao na samo 3 figurice. Kada jedan od igrača ostane na 3 figurice, oni smiju pomaknuti bilo koju svoju figuricu bilo gdje na ploči, tj. nisu limitirani na samo pomicanje figurice na susjedne pozicije. U slučaju da drugi igrač u to vrijeme ostane na 3 figurice, i on ulazi u treću fazu. Igra završava kada jedan od igrača ostane na 2 figurice jer tada više ne može napraviti mlin.

Slika 1 - Ploča i figurice igre Mlin

3. Reinforcement learning i rule-based learning

Reinforcement learning je područje učenja umjetne inteligencije gdje se AI agent uči kako maksimizirati rezultat u nekoj okolini. AI agent se uči kroz proces kažnjavanja i nagrađivanja određenih poteza. Također možemo odrediti jačinu kažnjavanja i nagrađivanja određenih poteza te tako postizati optimalnije poteze za AI agenta. Na taj način možemo modelirati različitu težinu igre. Npr. u easy modeu će AI odabirati nekakav nasumični pioritet, dokle u medium i hard mode se služimo algoritmima za dodjeljivanje prioriteta. Cilj je da AI agent napravi najoptimalniji potez

u bilo kojoj danoj situaciji. Sub-optimalni potezi ne moraju se nužno kažnjavati već im se mijenja jačina prioriteta. Fokus je na otkrivanje ravnoteže između istraživanja i iskorištavanja trenutnog znanja algoritma.

Rule-based machine learning algoritam zadaje AI-u pravila pomoću kojih on identificira, uči, evolvira, manipulira, sprema i primjenjuje podatke. Definirajuća karakteristika rule-based learninga je prepoznavanje i iskorištavanje zadanih pravila od strane korisnika. Ta se pravila uvode kako bi AI algoritmu olakšali prepoznavanje bitnih podataka te njihovu manipulaciju.

Za igru ćemo koristiti rule-based learning i reinforcement algoritam. Preko njih će AI uz Rule-based learning (if i then) ustanoviti bitne podatke i imati određeni input (potez igrača). Reinforcement learning algoritam koristimo za dodjeljivanje prioriteta pomoću kojih će AI moći odabrati optimalne linije, čvorove za pomicanje te pozicije za pomicanje kroz sve faze igre.

4. Izrada igre

4.1 Razlike singleplayera i multiplayera

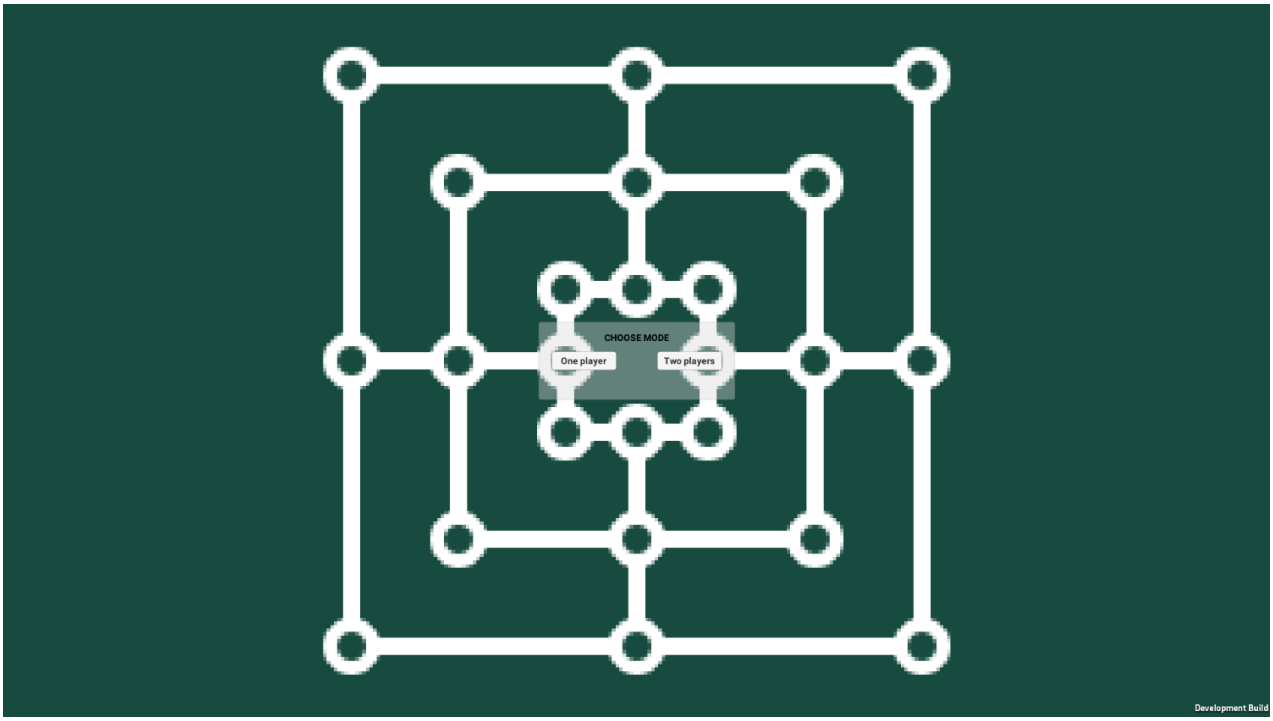
Igra je izvedena u dva moda, singleplayer i multiplayer. Cilj je bio prvenstveno napraviti funkcionalnu igru u multiplayer modu te onda iz toga izvesti singleplayer. Igra se odvija identično u oba moda. U singleplayer modu korišten je identičan kod povučen iz multiplayera te je AI prilagođen tom kodu. Igrači u oba moda imaju prikazana pravila te mogu pomicati figurice i raditi mlinove u sve tri faze igre.

4.2 Izrada menija

Tokom izrade igre bitno je razmišljati kako implementirati algoritam umjetne inteligencije, zato je bitno unaprijed razmisliti kako će neki dio koda izgledati. Za početak igre, prikazan je meni sa opcijama play, options te quit gumbom, Slika 2. Tekst je uređen uz pomoć Unityjevog text mesh addona.

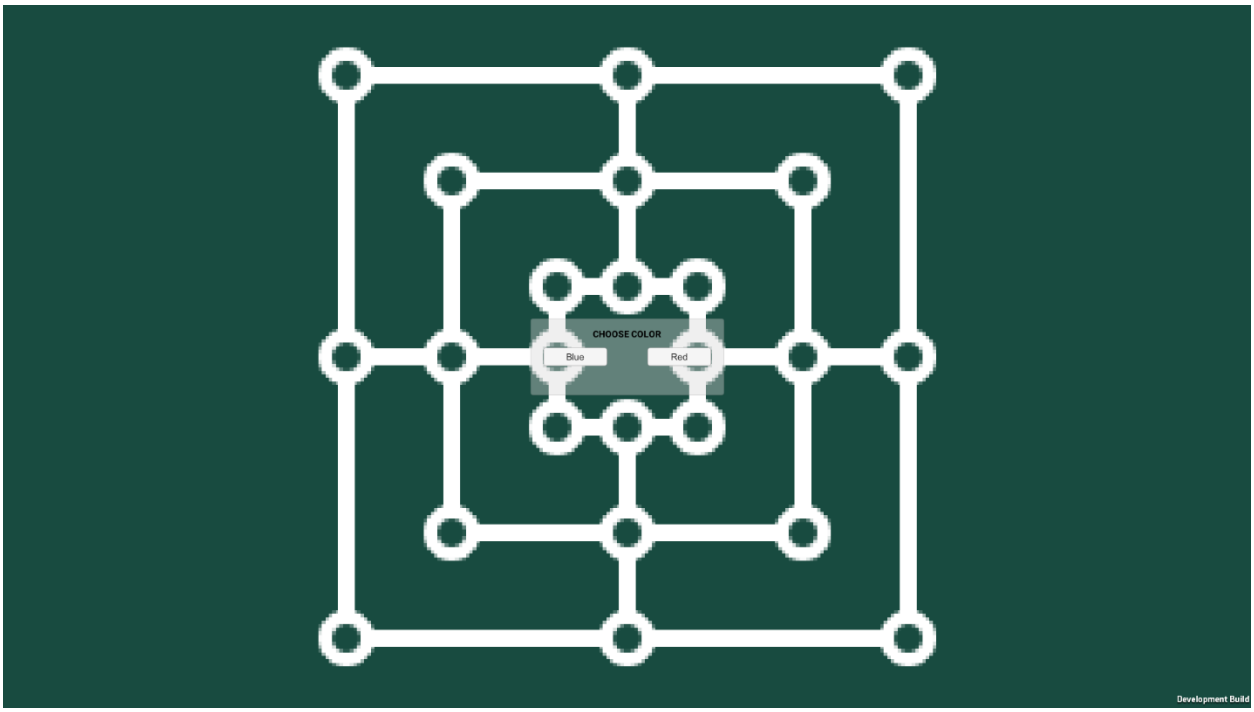
Slika 2 - Meni u igri

Klikom na play meni dolazimo do početnoga ekrana igre. Slika 3. prikazuje meni za odabir moda igranja koji je ponuđen igraču.



Slika 3 - Meni za izbor vrste igre

Igrač u One player modu može također odabrati želi li igrati prvi (blue player) ili drugi (red player) klikom na gumbove koji se prikažu nakon što odabere one player mode na pop-up meni za biranje reda igranja, Slika 4.

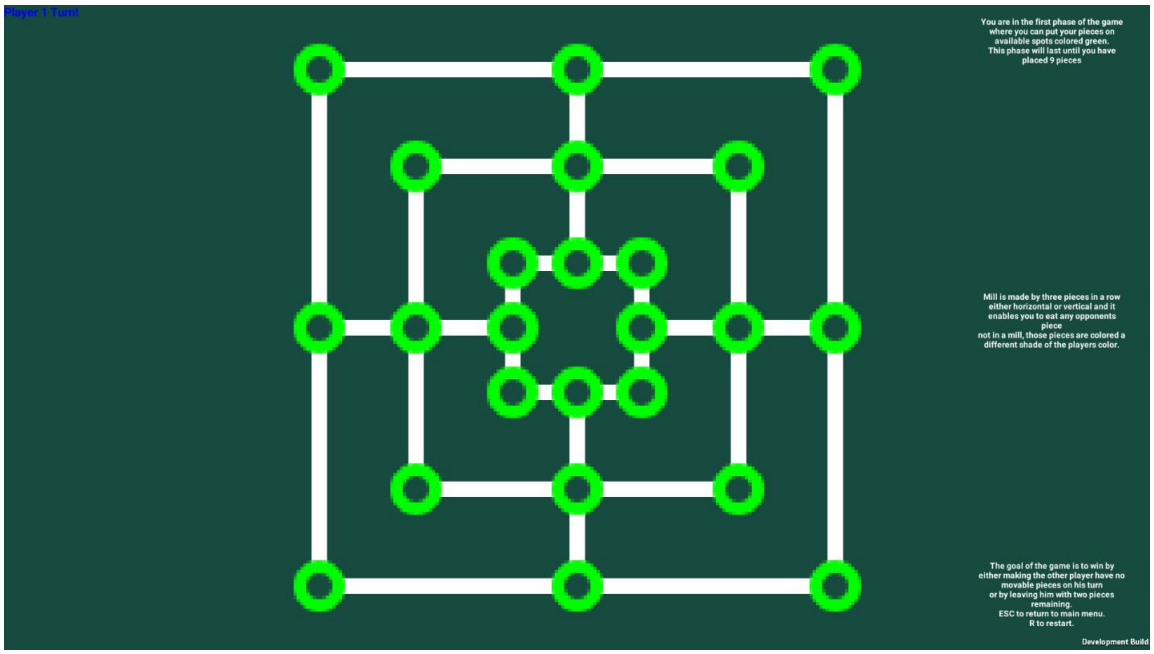


Slika 4 - Odabir reda igranja

Nakon što igrač odabere boju s kojom igra pokrene se skripta s funkcijom start koja vraća sve opcije na početne, Slika 5. Također, definirane su funkcije za pokretanje singleplayer i multiplayer mode, te funkcije za odabir reda igranja. U slučaju singleplayer moda, bez obzira koju boju igrač odabere, pokreće se StartAIMode(); funkcija koja inicira AI algoritam. Zatim se deaktivira panel za odabir i igra započinje.

```
34      void Start()
35      {
36          Options.ResetToDefault();
37      }
38
39      public void OnTwoPlayerClick()
40      {
41          choosePlayerPanel.SetActive(false);
42          StartTwoPlayerMode();
43      }
44
45      public void OnOnePlayerClick()
46      {
47          //choose player color?
48          choosePlayerPanel.SetActive(false);
49          chooseColorPanel.SetActive(true);
50      }
51
52      public void OnRedPlayerClick()
53      {
54          //start ai with red player
55          chooseColorPanel.SetActive(false);
56          Options.aiMode = true;
57          Options.aiPlayer = Player.One;
58          StartAIMode();
59      }
60
61      public void OnBluePlayerClick()
62      {
63          //start ai with blue player
64          chooseColorPanel.SetActive(false);
65          Options.aiMode = true;
66          Options.aiPlayer = Player.Two;
67          StartAIMode();
68      }
69
```

Slika 5 - Gamecontroller skripta za odabir moda



Slika 6 - Samoažurirajući tekst faza 1

Ulaskom u igru igraču se prikazuje igrača ploča sa zeleno označenim pozicijama na koje može smjestiti svoje figurice i s desne strane se objašnjavaju pravila igre. Pravila se ažuriraju ovisno o fazi igre tako da igrači znaju što im je činiti tokom svake faze ako igraju po prvi put. Slika 6. s desne strane prikazuje dinamički izmenjivi tekst koji opisuje pravila igre ovisno o fazi u kojoj se igrač nalazi. Za prikaz i izmjenu teksta pravila s desne strane ekrana koristi se funkcija StartAIMode(); prikazana na slici 7. Ona započinje prvu fazu igre za oba igrača i postavlja početne varijable. U slučaju kada igraju dva igrač poziva se funkcija StartTwoPlayerMode(); koja deaktivira AI controller skriptu te dodjeljuje obojici igrača prvu fazu. ResetToDefault(); postavlja sve varijable mlina na false i oslobađa sve čvorove kako bi se moglo započeti s novom igrom.

```
79
80      public void StartAIMode()
81      {
82          Debug.Log("AI mode");
83          Options.turn = Player.None;
84          Options.playerOnePhase = Phase.One;
85          Options.playerTwoPhase = Phase.One;
86          foreach (Point point in points)
87              point.owner = Player.None;
88          eat = true;
89          millChecked = true;
90          moved = true;
91          goalText.text = Options.goalText;
92          goalText.color = Color.white;
93          millText.text = Options.millText;
94          millText.color = Color.white;
95          playerPhaseText.text = Options.phaseOneText;
96          playerPhaseText.color = Color.white;
97          GameLogic();
98      }
99
100     public void StartTwoPlayerMode()
101     {
102         AiController.SetActive(false);
103         Options.turn = Player.None;
104         Options.playerOnePhase = Phase.One;
105         Options.playerTwoPhase = Phase.One;
106         foreach (Point point in points)
107             point.owner = Player.None;
108         eat = true;
109         millChecked = true;
110         moved = true;
111         goalText.text = Options.goalText;
112         goalText.color = Color.white;
113         millText.text = Options.millText;
114         millText.color = Color.white;
115         playerPhaseText.text = Options.phaseOneText;
116         playerPhaseText.color = Color.white;
117         GameLogic();
118     }
119
120     public void ResetToDefault()
121     {
122         foreach(Point point in points)
123         {
124             if (point.owner == Player.None)
125                 point.NotAvailable();
126             else
127                 point.NotEatable();
128             point.partOfMill = false;
129         }
130     }
131
```

Slika 7 - StartAI i StartTwoPlayer skripte

4.2 Implementacija funkcija za AI – Faza 1

Algoritmu umjetne inteligencije prvotno je potrebno dati do znanja koji su mu čvorovi susjedni u gridu i pozvati funkciju ovisno o AI fazi i modu igranja (igra prvi kao plavi, ili igra drugi kao crveni). Također je potrebno dodijeliti jednaku vrijednost (score) za svaku poziciju na ploči (Point point varijabla). Svaka pozicija ili čvor je kružić na koji se može postaviti figurica. Ima ih ukupno 24. Slika 8. prikazuje skriptu koja dodjeljuje prioritet nula svim čvorovima kako se ne bi generirale nasumične vrijednost. Varijablu lineIndexes dinamički alociramo u 2D array

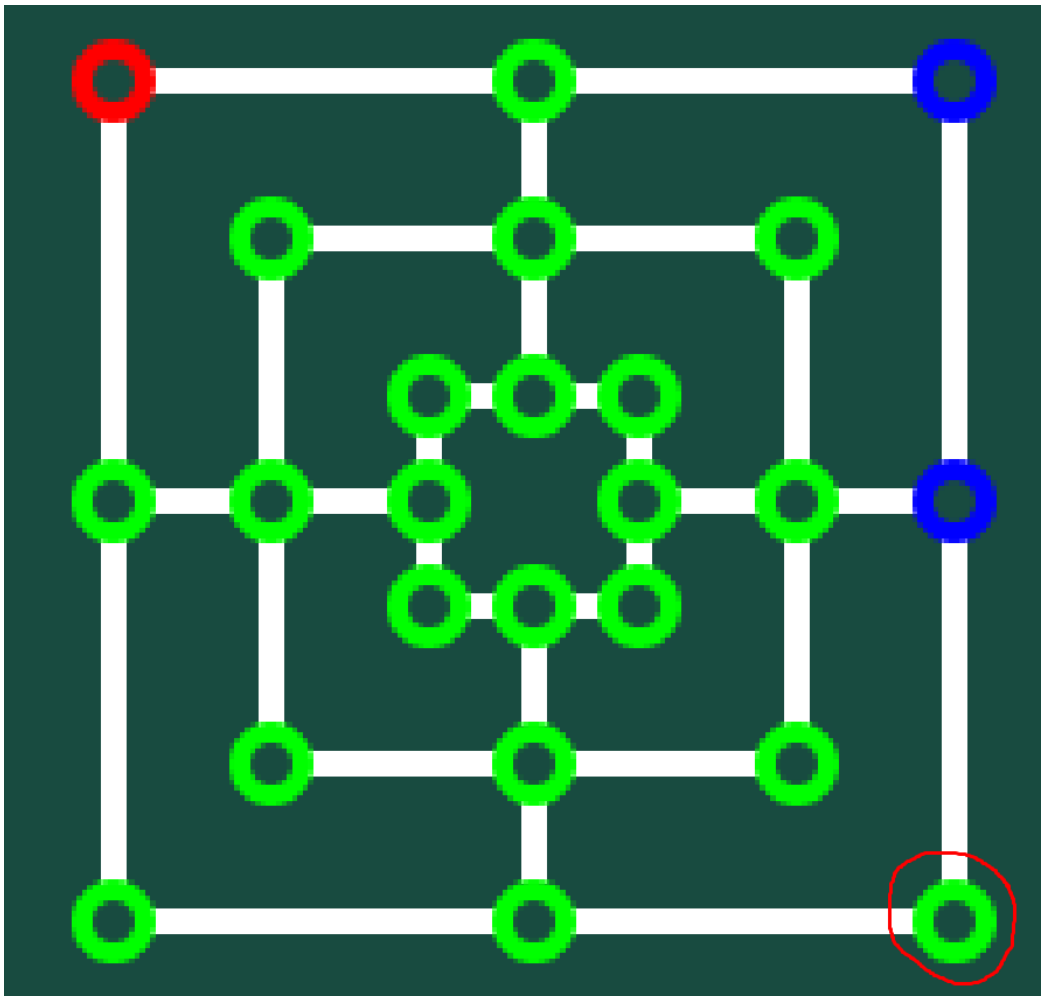
[16,3] te svakoj liniji dodjeljujemo tri pointa (čvora) u njoj kako bi kasnije mogli provjeravati za mlin u tim linijama. Funkcija AILogic poziva AI za određenu fazu.

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class AiController : MonoBehaviour
{
    //scores for each line and point within line
    float[,] lineScores;
    int[,] lineIndexes = new int[16, 3] { { 0, 1, 2 }, { 0, 3, 4 }, { 2, 5, 6 }, { 4, 7, 6 }, { 8, 9, 10 }, { 8, 11, 12 }, { 10, 13, 14 },
                                         { 12, 15, 14 }, { 16, 17, 18 }, { 16, 19, 20 }, { 18, 21, 22 }, { 20, 23, 22 }, { 1, 9, 17 },
                                         { 3, 11, 19 }, { 5, 13, 21 }, { 7, 15, 23 } };

    GameController gameController;

    void Start()
    {
        lineScores = new float[16,3];
        for(int i=0; i < 16; i++)
            for (int ii = 0; ii < 3; ii++)
                lineScores[i,ii] = 0;
        gameController = GameObject.FindObjectOfType<GameController>();
    }

    public void AiLogic()
    {
        if (gameController.eat && gameController.millExists)
            AiLogicEat();
        //if phase one
        else if(Options.turn == Player.One && Options.playerOnePhase == Phase.One)
        {
            AiLogicFirstPhase();
        }
        else if(Options.turn == Player.Two && Options.playerTwoPhase == Phase.One)
        {
            AiLogicFirstPhase();
        }
        //if phase two
        else if (Options.turn == Player.One && Options.playerOnePhase == Phase.Two)
        {
            AiLogicPhaseTwo();
        }
        else if (Options.turn == Player.Two && Options.playerTwoPhase == Phase.Two)
        {
            AiLogicPhaseTwo();
        }
        //if phase three
        else if (Options.turn == Player.One && Options.playerOnePhase == Phase.Three)
        {
            AiLogicPhaseThree();
        }
        else if (Options.turn == Player.Two && Options.playerTwoPhase == Phase.Three)
        {
            AiLogicPhaseThree();
        }
    }

```

Slika 8 - AI rangiranje mjesta te pozivanja AILogic funkcija

U prvoj fazi davanja prioriteta AI prvobitno daje svakoj poziciji na ploči prioritet od 100. Zatim prebrojava koji su čvorovi slobodni i mogu se zauzeti te prebrojava koliko ima čvorova zauzetih u liniji (potrebno je imati 3 čvora u nizu u liniji za mlin). Zadnja varijabla provjerava koliko čvorova poredanih ima neprijatelj te povećava ili smanjuje score. Npr. ako AI ima dva čvora u nizu, AI će pokušati napraviti mlin tako da zauzme treći čvor u nizu (*8 povećanje), Slika 9. U slučaju kada igrač ima dva čvora u nizu, AI će mu pokušati blokirati mlin tako da zauzme treći

čvor u nizu (*7 povećanje). Protivnik ima više od nula zauzetih pozicija u toj liniji (/2 smanjenje). AI ima jedno mjesto zauzeto i 2 iduća mjesta slobodna za mlin u toj liniji (*2 povećanje). Slika 10. prikazuje funkcije za računanje prioriteta i njihove vrijednosti.



*Slika 9 - Primjer za *8 povećanje*

```
57      public void FirstPhaseScoring()
58      {
59          //
60          for (int i = 0; i < 16; i++)
61          {
62              //each line
63              for (int ii = 0; ii < 3; ii++)
64              {
65                  //each point
66                  lineScores[i, ii] = 100;
67                  //number of neighbours
68                  if (ii == 1)
69                      lineScores[i, ii] /= 2;
70                  //number of owned points in line
71                  int owned = 0;
72                  if (gameController.points[lineIndexes[i, 0]].owner == Options.aiPlayer)
73                      owned++;
74                  if (gameController.points[lineIndexes[i, 1]].owner == Options.aiPlayer)
75                      owned++;
76                  if (gameController.points[lineIndexes[i, 2]].owner == Options.aiPlayer)
77                      owned++;
78                  //nubmer of neutral points in line
79                  int neutral = 0;
80                  if (gameController.points[lineIndexes[i, 0]].owner == Player.None)
81                      neutral++;
82                  if (gameController.points[lineIndexes[i, 1]].owner == Player.None)
83                      neutral++;
84                  if (gameController.points[lineIndexes[i, 2]].owner == Player.None)
85                      neutral++;
86                  //number of enemy points in line
87                  int enemy = 3 - owned - neutral;
88                  if (gameController.points[lineIndexes[i, ii]].owner != Player.None)
89                      lineScores[i, ii] = 0;
90                  else if (owned == 2 && neutral == 1 && gameController.points[lineIndexes[i, ii]].owner == Player.None)
91                      lineScores[i, ii] *= 8;
92                  else if (enemy == 2 && neutral == 1 && gameController.points[lineIndexes[i, ii]].owner == Player.None)
93                      lineScores[i, ii] *= 7;
94                  else if (enemy > 0)
95                      lineScores[i, ii] /= 2;
96                  else if (owned == 1 && neutral == 2 && gameController.points[lineIndexes[i, ii]].owner == Player.None)
97                      lineScores[i, ii] *= 2;
98              }
99          }
100     }
101
```

Slika 10 – Funkcija za računanje prioriteta u prvoj fazi igre

Također u prvoj fazi AI odabire najbolju liniju za stvaranje mlina tako što daje varijabli lineScores prioritet. Kroz for petlju dodaje score najboljoj liniji. Ideja je bila pokušati simulirati situaciju gdje jedan igrač zauzme 3 kuta te onda gdjegod drugi igrač pokuša blokirati mlin, prvi igrač uvijek može napraviti mlin. Ako dvije linije imaju izjednačen score, odabire nasumičnu. Slika 11. prikazuje AI logika prioriteta za prvu fazu.

```
102     public void AiLogicFirstPhase()
103     {
104         List<int> bestScoreLineIndex = new List<int>();
105         FirstPhaseScoring();
106         float bestScore = 0;
107         int bestScoreIndex = 0;
108         //pick the best line
109         for (int i = 0; i < 16; i++)
110         {
111             float score = 0;
112             //each line
113             for (int ii = 0; ii < 3; ii++)
114             {
115                 score += lineScores[i, ii];
116             }
117             if (score >= bestScore)
118             {
119                 bestScore = score;
120                 bestScoreIndex = i;
121             }
122         }
123         for (int i = 0; i < 16; i++)
124         {
125             float score = 0;
126             //each line
127             for (int ii = 0; ii < 3; ii++)
128             {
129                 score += lineScores[i, ii];
130             }
131             if (score == bestScore)
132                 bestScoreLineIndex.Add(i);
133         }
134         //pick the best point in line and choose it
135         int linePicked = Random.Range(0, bestScoreLineIndex.Count);
136         bestScore = 0;
137         int index = 0;
138         for (int i = 0; i < 3; i++)
139         {
140             float score = 0;
141             score += lineScores[bestScoreLineIndex[linePicked], i];
142             if (score > bestScore) {
143                 bestScore = score;
144                 index = i;
145             }
146         }
147         //choose the point
148         gameController.points[lineIndexes[bestScoreLineIndex[linePicked], index]].OnMouseDown();
```

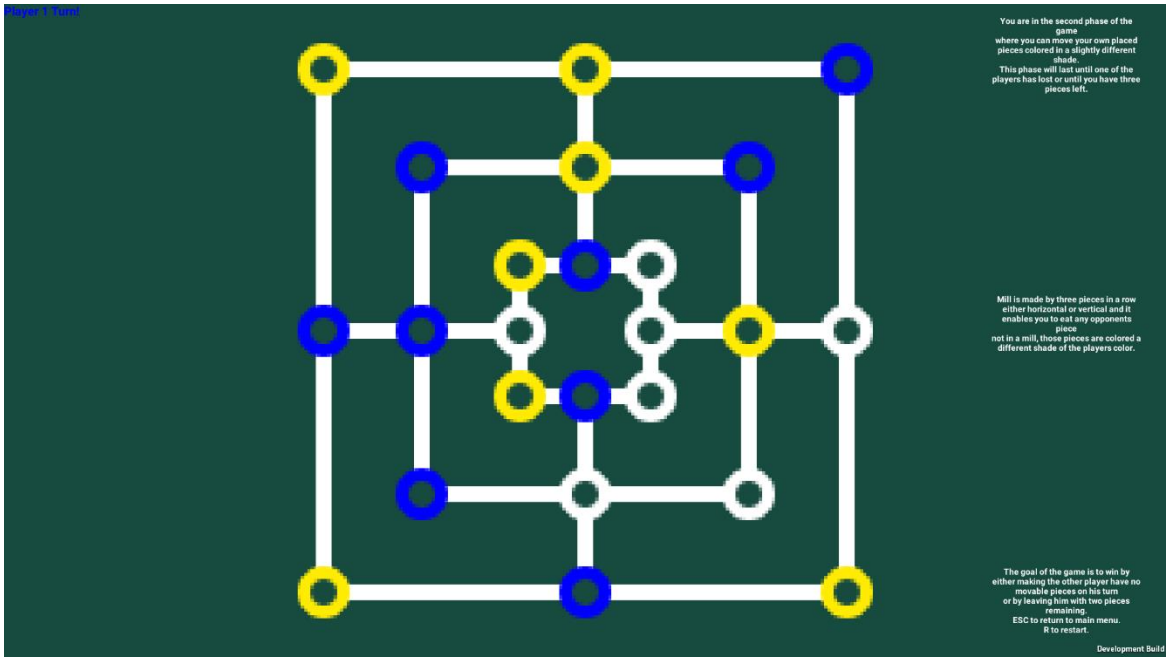
Slika 11 - AI Logic u prvoj fazi

Kada AI napravi mlin, mora odabrati optimalnu neprijateljsku figuricu za pojesti. To radi u Eat scoring funkciji koristeći AIEatLogic funkciju. Bitno je napomenuti da AI ne smije pojesti figuricu koja se trenutno nalazi u mlinu. Stoga ako nema što pojesti, preskače eat fazu. Najveći prioritet ima čvor gdje protivnik ima dvije figurice poredane te mu jedna fali za mlin. Na taj način AI tjera igrača da ponovno izgubi potez postavljajući ili mičući figuricu na mjesto gdje igrač može napraviti mlin. Također AI gleda je li jedan red zauzet od protivnika, i ako nije pokušava optimalnu figuricu pomaknuti na to mjesto da napravi mlin. Tako stvara taktiku zvanu „Mill lock“ ili zaključani mlin, gdje pomakom jedne figurice igrač uvijek stvara mlin (slika 13 i 14). U kodu se

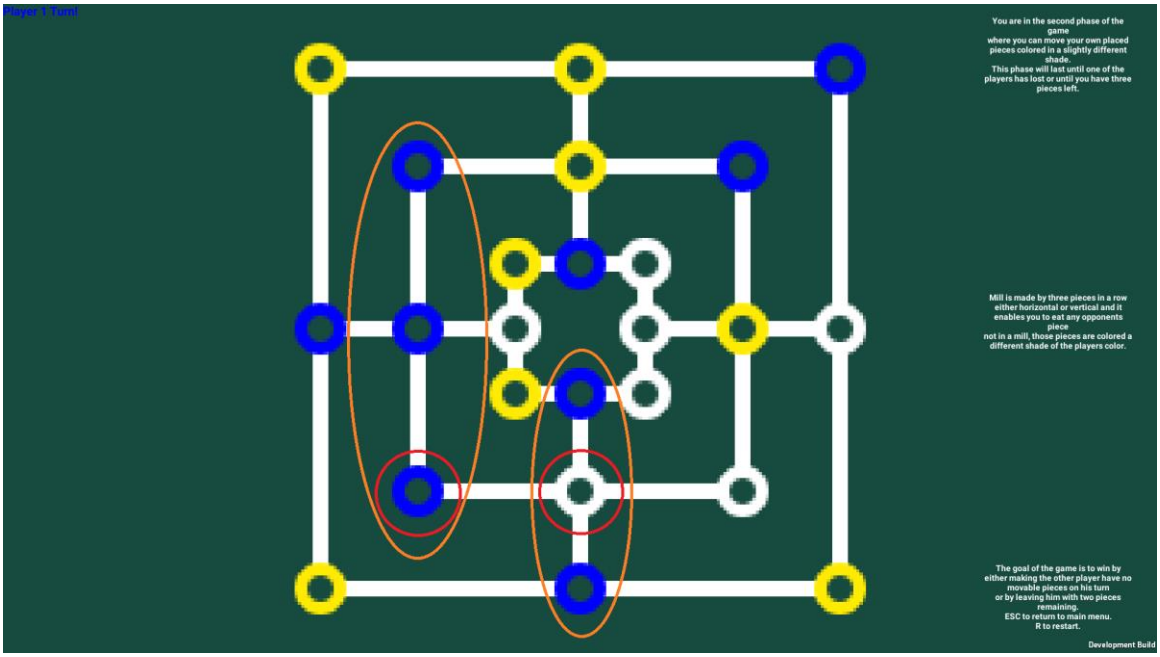
ponovno zadaju prioriteti ovisno o stanju „jestivosti“, slika 12. Ako protivnik ima dvije figurice u liniji, prioritet se diže za *5 umjesto *2.

```
151     public void EatScoring()
152     {
153         //
154         for (int i = 0; i < 16; i++)
155         {
156             //each line
157             for (int ii = 0; ii < 3; ii++)
158             {
159                 lineScores[i, ii] = 100;
160                 //number of neighbours
161                 if (ii == 0 || ii == 2)
162                     lineScores[i, ii] /= 2;
163                 //number of owned points in line
164                 int owned = 0;
165                 if (gameController.points[lineIndexes[i, 0]].owner == Options.aiPlayer)
166                     owned++;
167                 if (gameController.points[lineIndexes[i, 1]].owner == Options.aiPlayer)
168                     owned++;
169                 if (gameController.points[lineIndexes[i, 2]].owner == Options.aiPlayer)
170                     owned++;
171                 //nubmer of neutral points in line
172                 int neutral = 0;
173                 if (gameController.points[lineIndexes[i, 0]].owner == Player.None)
174                     neutral++;
175                 if (gameController.points[lineIndexes[i, 1]].owner == Player.None)
176                     neutral++;
177                 if (gameController.points[lineIndexes[i, 2]].owner == Player.None)
178                     neutral++;
179                 //number of enemy points in line
180                 int enemy = 3 - owned - neutral;
181                 if (gameController.points[lineIndexes[i, ii]].state != State.Eatable)
182                     lineScores[i, ii] = 0;
183                 else if (enemy == 2 && gameController.points[lineIndexes[i, ii]].owner != Player.None && gameController.points[lineIndexes[i, ii]].owner != Options.aiPlayer)
184                     lineScores[i, ii] *= 5;
185                 else if (enemy > 0 && gameController.points[lineIndexes[i, ii]].owner != Player.None && gameController.points[lineIndexes[i, ii]].owner != Options.aiPlayer)
186                     lineScores[i, ii] *= 2;
187             }
188         }
189     }
190
```

Slika 12 - Eat scoring

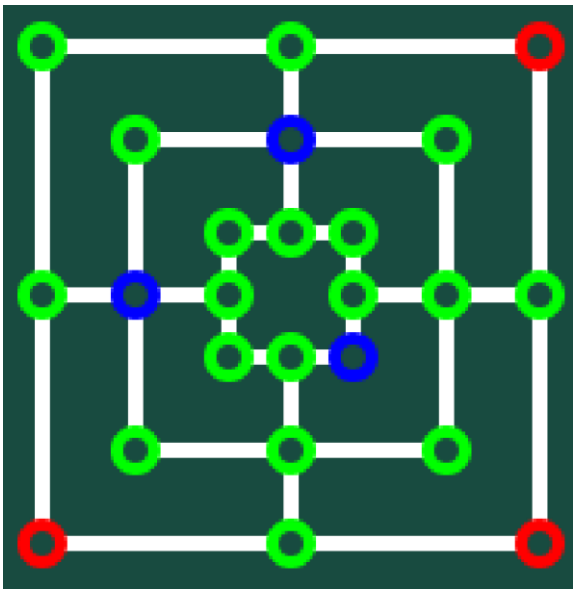


Slika 13 - Primjer zaključanog mlina



Slika 14 - Primjer zaključanog mlina s oznakama

Slika 13 i 14, prikazuju zaključan mlina plavog igrača. Pomicanjem figurice zaokružene crvenom bojom na mjesta označena crvenim plavi igrač stvara mlin u svakom potezu.



Slika 15 - AI zauzeo kuteve

U slici 15. je AI nastojao zauzeti kuteve uzevši u obzir da su linije bile slobodne. Na taj način, koju god igrač poziciju zauzeo, AI može napraviti mlin.

```
191     public void AiLogicEat()
192     {
193         EatScoring();
194         float bestScore = 0;
195         int bestScoreIndex = 0;
196         //pick the best line
197         for (int i = 0; i < 16; i++)
198         {
199             float score = 0;
200             //each line
201             for (int ii = 0; ii < 3; ii++)
202             {
203                 score += lineScores[i, ii];
204             }
205             if (score > bestScore)
206             {
207                 bestScore = score;
208                 bestScoreIndex = i;
209             }
210         }
211         //pick the best point in line and choose it
212         bestScore = 0;
213         int index = 0;
214         for (int i = 0; i < 3; i++)
215         {
216             float score = 0;
217             score += lineScores[bestScoreIndex, i];
218             if (score > bestScore)
219             {
220                 bestScore = score;
221                 index = i;
222             }
223         }
224         //choose the point
225         gameController.points[lineIndexes[bestScoreIndex, index]].OnMouseDown();
```

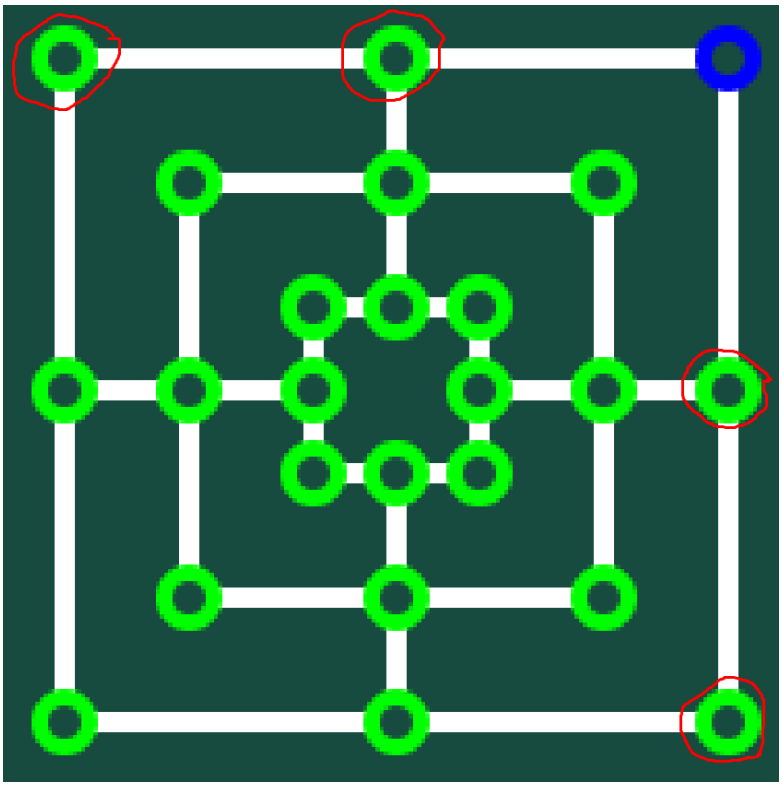
Slika 16 - AILogicEat() Funkcija

Slika 16. prikazuje AILogicEat(); funkciju koja računa prioritet specifične linije koju treba pojesti. U drugoj for petlji računa prioritet za specifično polje koje će pojesti u liniji koju je odabrao.

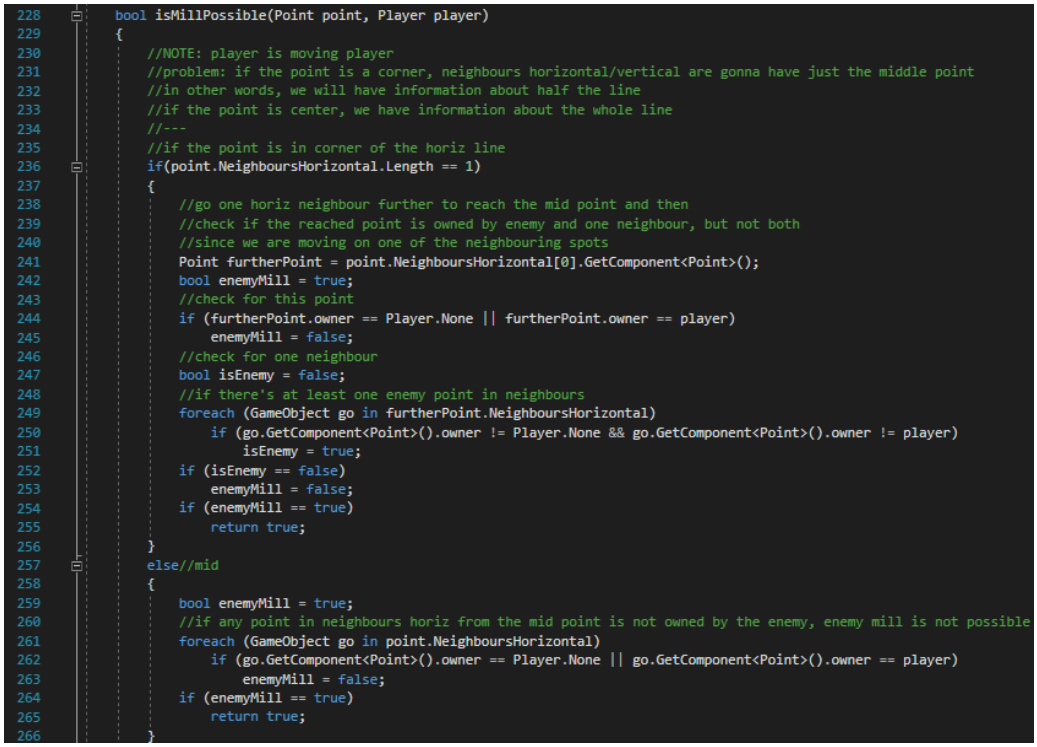
4.3 Implementacija funkcija za AI – Faza 2

U drugoj fazi nastaje problem. AI treba pronaći optimalnu figuricu za pomaknuti, te nakon toga naći optimalno mjesto. Najlakše je prvotno eliminirati mjesta na koja se ne može pomaknuti i figurice koje se ne mogu pomaknuti te onda tražiti prioritet za figuricu, te mjesto. Također nastaje problem pronalaska susjeda ako se nalazi u kutu, tj. takozvani problem kutnih čvorova (slika 17.).

Na slici 17. dan je primjer jednog čvora koji ima samo dva susjeda. Taj čvor sadrži informaciju samo za pola linije. Dokle ako se nalazi na horizontali ili vertikali, ima informacije za sve susjede te može provjeriti horizontalni ili vertikalni mlin. Uvodimo funkciju koja provjerava susjedni čvor od kutnog čvora te u njemu pretražuje ima li susjeda ili je li jedan od susjednih čvorova centralnog čvora zauzeti od protivnika, ali ne i oboje. Ne želimo da AI besmisleno pomiče figuricu iz kutnog čvora ako je nemoguće stvoriti mlin u toj liniji zbog toga što je jedan od čvorova zauzet od strane neprijatelja. Slike 18. i 19. prikazuju problem kutnih čvorova (slika 17.). U funkciji isMillPossible(); uvodimo horizontalno i vertikalno provjeravanje susjeda. Na taj način uvijek možemo znati susjedne čvorove. Provjeravanjem vertikalnog i horizontalnog mlina povećavamo sigurnost odabiranja najbolje pozicije. AI može sada provjeriti ako igrač planira napraviti horizontalni ili vertikalni mlin.

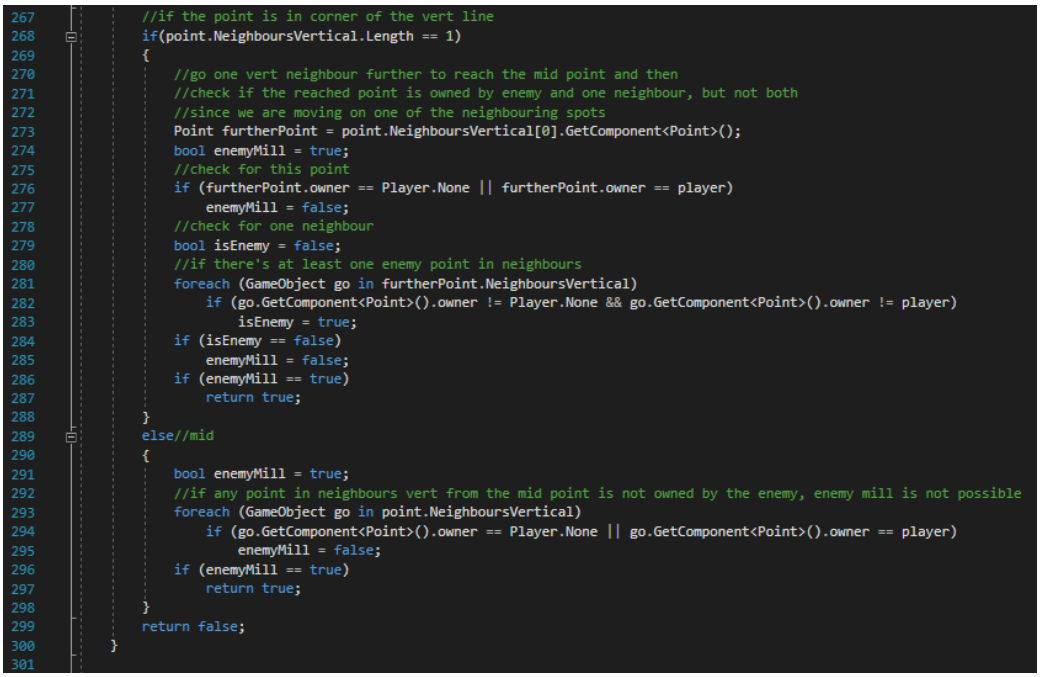


Slika 17 - Problem kutnih čvorova u igri



```
228     bool isMillPossible(Point point, Player player)
229     {
230         //NOTE: player is moving player
231         //problem: if the point is a corner, neighbours horizontal/vertical are gonna have just the middle point
232         //in other words, we will have information about half the line
233         //if the point is center, we have information about the whole line
234         //---
235         //if the point is in corner of the horiz line
236         if(point.NeighboursHorizontal.Length == 1)
237         {
238             //go one horiz neighbour further to reach the mid point and then
239             //check if the reached point is owned by enemy and one neighbour, but not both
240             //since we are moving on one of the neighbouring spots
241             Point furtherPoint = point.NeighboursHorizontal[0].GetComponent<Point>();
242             bool enemyMill = true;
243             //check for this point
244             if (furtherPoint.owner == Player.None || furtherPoint.owner == player)
245                 enemyMill = false;
246             //check for one neighbour
247             bool isEnemy = false;
248             //if there's at least one enemy point in neighbours
249             foreach (GameObject go in furtherPoint.NeighboursHorizontal)
250                 if (go.GetComponent<Point>().owner != Player.None && go.GetComponent<Point>().owner != player)
251                     isEnemy = true;
252             if (isEnemy == false)
253                 enemyMill = false;
254             if (enemyMill == true)
255                 return true;
256         }
257         else//mid
258         {
259             bool enemyMill = true;
260             //if any point in neighbours horiz from the mid point is not owned by the enemy, enemy mill is not possible
261             foreach (GameObject go in point.NeighboursHorizontal)
262                 if (go.GetComponent<Point>().owner == Player.None || go.GetComponent<Point>().owner == player)
263                     enemyMill = false;
264             if (enemyMill == true)
265                 return true;
266         }
```

Slika 18 - Problem kutnih čvorova



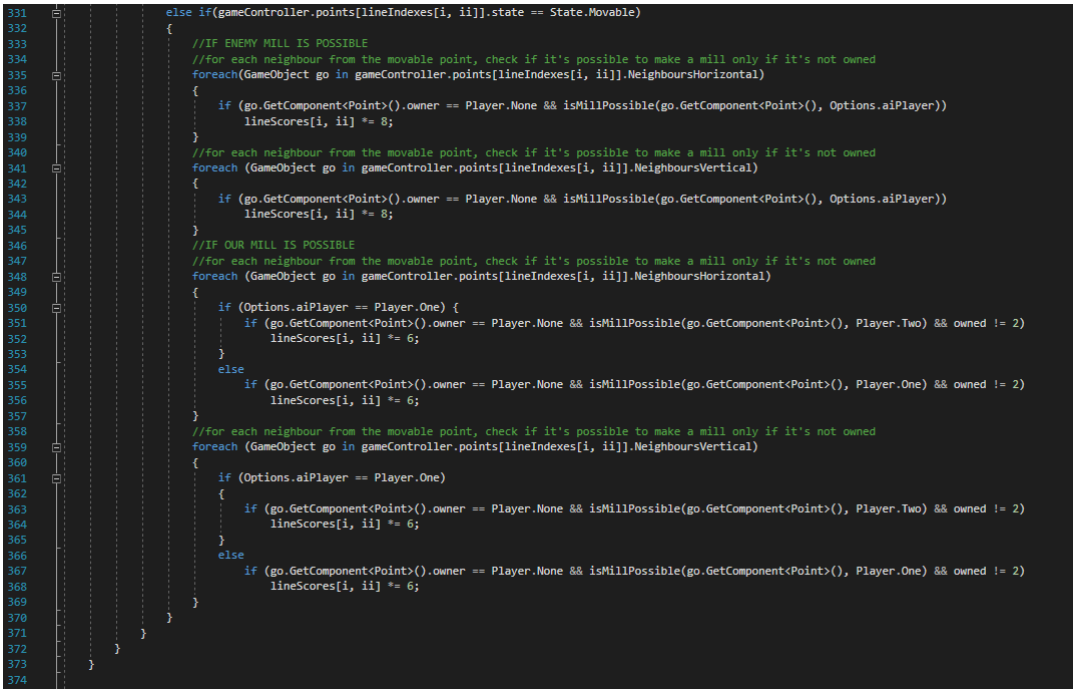
```
267         //if the point is in corner of the vert line
268         if(point.NeighboursVertical.Length == 1)
269         {
270             //go one vert neighbour further to reach the mid point and then
271             //check if the reached point is owned by enemy and one neighbour, but not both
272             //since we are moving on one of the neighbouring spots
273             Point furtherPoint = point.NeighboursVertical[0].GetComponent<Point>();
274             bool enemyMill = true;
275             //check for this point
276             if (furtherPoint.owner == Player.None || furtherPoint.owner == player)
277                 enemyMill = false;
278             //check for one neighbour
279             bool isEnemy = false;
280             //if there's at least one enemy point in neighbours
281             foreach (GameObject go in furtherPoint.NeighboursVertical)
282                 if (go.GetComponent<Point>().owner != Player.None && go.GetComponent<Point>().owner != player)
283                     isEnemy = true;
284             if (isEnemy == false)
285                 enemyMill = false;
286             if (enemyMill == true)
287                 return true;
288         }
289         else//mid
290         {
291             bool enemyMill = true;
292             //if any point in neighbours vert from the mid point is not owned by the enemy, enemy mill is not possible
293             foreach (GameObject go in point.NeighboursVertical)
294                 if (go.GetComponent<Point>().owner == Player.None || go.GetComponent<Point>().owner == player)
295                     enemyMill = false;
296             if (enemyMill == true)
297                 return true;
298         }
299         return false;
300     }
301
```

Slika 19 - Problem kutnih čvorova nastavak

U scoranju druge faze morali smo odabrati što će AI algoritmu biti bitnije. Stvarati vlastiti mlin, ili blokirati tuđi. U prvoj fazi prebrojavamo trenutno stanje kroz svaku iteraciju petlje te dodjeljujemo prioritete nanovo. Traži se optimalno mjesto i figurica za pomicanje. Zbog prijašnje implementirane funkcije, AI može lako pregledati kutne čvorove te za njih odrediti prioritet pomicanja. Stvaranje mlina mu je najveći prioritet jer tako štiti svoje figurice (ne smiju se pojesti figurice koje su u mlinu). Zatim blokiranje neprijateljskog mlina bez ugrožavanja vlastitog. U slučaju da ne može napraviti nijedno, razbija svoj mlin i priprema se vratiti istu figuricu nazad u mlin. Za slučaj da ni to ne može, pomiče nasumičnu figuru dokle god može (igra završava ako igrač ili AI ne mogu pomaknuti nijednu figuru te taj igrač gubi). Slika 20. prikazuje funkciju PhaseTwoScoringMove(); koja u for petlji pomoću uvjeta provjerava broj praznih čvorova te broj čvorova zauzetih od igrača ili AI-a te se pomiče ovisno o tome. Slika 21. prikazuje funkciju za zadavanje prioriteta ovisno o mogućnosti blokiranja mlina ili stvaranja mlina. Pri računanju može doći do dodjele jednakog prioriteta pomicanje figurice ili mjesta za pomicanje. Ponovo se izračunava prioritet za te pozicije te odabire više pogodna figurica i više pogodna pozicija. U slici 22. ponavljamo kod za prebrojavanje te varijablu enemy izračunavamo formulom 3 – broj AI zauzetih polja – broj neutralnih polja. Na taj način dobivamo negativni koeficijent kod računanja te smanjujemo prioritet za linije i čvorove koji sadrže igračeve figurice (npr. umjesto da množimo 1*8 množiti ćemo (-1)*8 te dobiti negativni prioritet).

```
302     public void PhaseTwoScoringMove()
303     {
304         //
305         for (int i = 0; i < 16; i++)
306         {
307             //each line
308             for (int ii = 0; ii < 3; ii++)
309             {
310                 lineScores[i, ii] = 100;
311                 //number of owned points in line
312                 int owned = 0;
313                 if (gameController.points[lineIndexes[i, 0]].owner == Options.aiPlayer)
314                     owned++;
315                 if (gameController.points[lineIndexes[i, 1]].owner == Options.aiPlayer)
316                     owned++;
317                 if (gameController.points[lineIndexes[i, 2]].owner == Options.aiPlayer)
318                     owned++;
319                 //nubmer of neutral points in line
320                 int neutral = 0;
321                 if (gameController.points[lineIndexes[i, 0]].owner == Player.None)
322                     neutral++;
323                 if (gameController.points[lineIndexes[i, 1]].owner == Player.None)
324                     neutral++;
325                 if (gameController.points[lineIndexes[i, 2]].owner == Player.None)
326                     neutral++;
327                 //number of enemy points in line
328                 int enemy = 3 - owned - neutral;
329                 if (gameController.points[lineIndexes[i, ii]].state != State.Movable)
330                     lineScores[i, ii] = 0;
```

Slika 20 - Scoring faza 2 part 1.



```
331                 else if(gameController.points[lineIndexes[i, ii]].state == State.Movable)
332                 {
333                     //IF ENEMY MILL IS POSSIBLE
334                     //for each neighbour from the movable point, check if it's possible to make a mill only if it's not owned
335                     foreach(GameObject go in gameController.points[lineIndexes[i, ii]].NeighboursHorizontal)
336                     {
337                         if (go.GetComponent<Point>().owner == Player.None && isMillPossible(go.GetComponent<Point>(), Options.aiPlayer))
338                             lineScores[i, ii] *= 8;
339                     }
340                     //for each neighbour from the movable point, check if it's possible to make a mill only if it's not owned
341                     foreach (GameObject go in gameController.points[lineIndexes[i, ii]].NeighboursVertical)
342                     {
343                         if (go.GetComponent<Point>().owner == Player.None && isMillPossible(go.GetComponent<Point>(), Options.aiPlayer))
344                             lineScores[i, ii] *= 8;
345                     }
346                     //IF OUR MILL IS POSSIBLE
347                     //for each neighbour from the movable point, check if it's possible to make a mill only if it's not owned
348                     foreach (GameObject go in gameController.points[lineIndexes[i, ii]].NeighboursHorizontal)
349                     {
350                         if (Options.aiPlayer == Player.One) {
351                             if (go.GetComponent<Point>().owner == Player.None && isMillPossible(go.GetComponent<Point>(), Player.Two) && owned != 2)
352                                 lineScores[i, ii] *= 6;
353                         }
354                         else
355                             if (go.GetComponent<Point>().owner == Player.None && isMillPossible(go.GetComponent<Point>(), Player.One) && owned != 2)
356                                 lineScores[i, ii] *= 6;
357                     }
358                     //for each neighbour from the movable point, check if it's possible to make a mill only if it's not owned
359                     foreach (GameObject go in gameController.points[lineIndexes[i, ii]].NeighboursVertical)
360                     {
361                         if (Options.aiPlayer == Player.One)
362                         {
363                             if (go.GetComponent<Point>().owner == Player.None && isMillPossible(go.GetComponent<Point>(), Player.Two) && owned != 2)
364                                 lineScores[i, ii] *= 6;
365                         }
366                         else
367                             if (go.GetComponent<Point>().owner == Player.None && isMillPossible(go.GetComponent<Point>(), Player.One) && owned != 2)
368                                 lineScores[i, ii] *= 6;
369                     }
370                 }
371             }
372         }
373     }
374
```

Slika 21 – Scoring faza 2 part 2.

```
375     void PhaseTwoScoringAvailable()
376     {
377         //
378         for (int i = 0; i < 16; i++)
379         {
380             //each line
381             for (int ii = 0; ii < 3; ii++)
382             {
383                 lineScores[i, ii] = 100;
384                 //number of owned points in line
385                 int owned = 0;
386                 if (gameController.points[lineIndexes[i, 0]].owner == Options.aiPlayer)
387                     owned++;
388                 if (gameController.points[lineIndexes[i, 1]].owner == Options.aiPlayer)
389                     owned++;
390                 if (gameController.points[lineIndexes[i, 2]].owner == Options.aiPlayer)
391                     owned++;
392                 //nubmer of neutral points in line
393                 int neutral = 0;
394                 if (gameController.points[lineIndexes[i, 0]].owner == Player.None)
395                     neutral++;
396                 if (gameController.points[lineIndexes[i, 1]].owner == Player.None)
397                     neutral++;
398                 if (gameController.points[lineIndexes[i, 2]].owner == Player.None)
399                     neutral++;
400                 //number of enemy points in line
401                 int enemy = 3 - owned - neutral;
402                 if (gameController.points[lineIndexes[i, ii]].state != State.Available)
403                     lineScores[i, ii] = 0;
404                 else if (owned == 2 && neutral == 1)
405                     lineScores[i, ii] *= 8;
406                 else if (enemy == 2 && neutral == 1)
407                     lineScores[i, ii] *= 6;
408             }
409         }
410     }
411
```

Slika 22 – Scoring faza 2 part 3.

4.3 Implementacija funkcija za AI – Faza 3

U treću fazu igrač ili AI ulazi kada ostane na samo 3 figurice. Za računanje prioriteta u trećoj fazi moramo pronaći optimalnu figuricu za pomaknuti, koristeći modificirani kod za pronalazak optimalne figurice za pomicanje iz druge faze. Za računanje prioriteta pozicije koristimo dio modificiranog koda za računanje prioriteta pozicije iz prve faze te dio modificiranog koda za računanje prioriteta pomicanja ovisno o tome mogu li igrač ili protivnik napraviti mlin iz druge faze. Slika 23. prikazuje funkciju za prebrojavanje zauzetih i slobodnih polja te dodjeljivanje prioriteta i traženja optimalnog mjesta za pomicanje već od prije odabrane optimalne figurice.

```
486     public void PhaseThreeScoringMove()
487     {
488         //
489         for (int i = 0; i < 16; i++)
490         {
491             //each line
492             for (int ii = 0; ii < 3; ii++)
493             {
494                 lineScores[i, ii] = 100;
495                 //number of owned points in line
496                 int owned = 0;
497                 if (gameController.points[lineIndexes[i, 0]].owner == Options.aiPlayer)
498                     owned++;
499                 if (gameController.points[lineIndexes[i, 1]].owner == Options.aiPlayer)
500                     owned++;
501                 if (gameController.points[lineIndexes[i, 2]].owner == Options.aiPlayer)
502                     owned++;
503                 //nubmer of neutral points in line
504                 int neutral = 0;
505                 if (gameController.points[lineIndexes[i, 0]].owner == Player.None)
506                     neutral++;
507                 if (gameController.points[lineIndexes[i, 1]].owner == Player.None)
508                     neutral++;
509                 if (gameController.points[lineIndexes[i, 2]].owner == Player.None)
510                     neutral++;
511                 //number of my points in line
512                 int enemy = 3 - owned - neutral;
513                 if (owned == 1 && gameController.points[lineIndexes[i,ii]].owner == Options.aiPlayer)
514                     lineScores[i, ii] *= 8;
515                 else
516                     lineScores[i, ii] = 0;
517             }
518         }
519     }
```

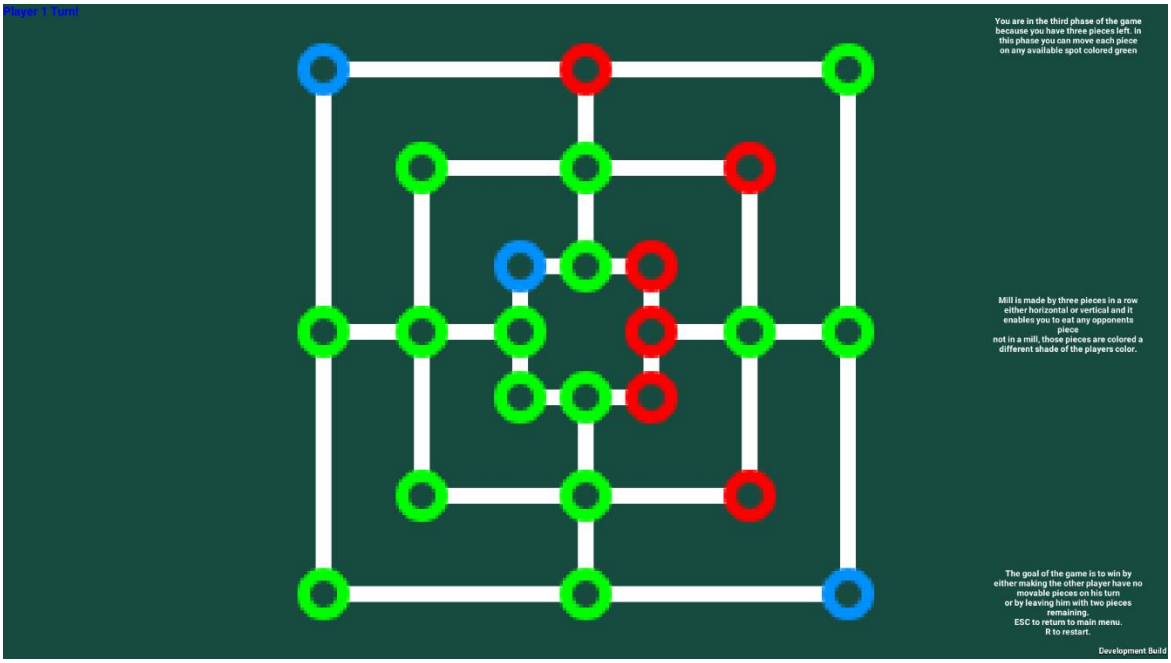
Slika 23 - AI računanje prioriteta pomicanja u fazi 3

Funkcijama su izmijenjeni koeficijenti prioriteta. AI mora paziti da ostane u mlinu kada protivnik napravi mlin, inače gubi. To provjerava kroz zadnja 2 if uvjeta. Također računa prioritet linije gdje pomaknuti figuricu i gdje da potencijalno započne stvarati mlin (slika 24).

```
void PhaseThreeScoreAvailable()
{
    //
    for (int i = 0; i < 16; i++)
    {
        //each line
        for (int ii = 0; ii < 3; ii++)
        {
            lineScores[i, ii] = 100;
            //number of owned points in line
            int owned = 0;
            if (gameController.points[lineIndexes[i, 0]].owner == Options.aiPlayer)
                owned++;
            if (gameController.points[lineIndexes[i, 1]].owner == Options.aiPlayer)
                owned++;
            if (gameController.points[lineIndexes[i, 2]].owner == Options.aiPlayer)
                owned++;
            //nubmer of neutral points in line
            int neutral = 0;
            if (gameController.points[lineIndexes[i, 0]].owner == Player.None)
                neutral++;
            if (gameController.points[lineIndexes[i, 1]].owner == Player.None)
                neutral++;
            if (gameController.points[lineIndexes[i, 2]].owner == Player.None)
                neutral++;
            //number of enemy points in line
            int enemy = 3 - owned - neutral;
            if (enemy == 2 && neutral == 1 && gameController.points[lineIndexes[i, ii]].owner == Player.None)
                lineScores[i, ii] *= 8;
            else if (owned == 2 && neutral == 1 && gameController.points[lineIndexes[i, ii]].owner == Player.None)
                lineScores[i, ii] *= 10;
        }
    }
}
```

Slika 24 - AI traženje slobodnih pozicija

U skripti za treću fazu AI logike, ako protivnik ne može napraviti mlin, AI ne može napraviti mlin, ili nema potrebe blokirati igračev mlin, AI traži optimalnu poziciju za stvaranje nove linije za mlin. Traži slobodnu liniju i gleda susjede zbog slučaja da ako odabere mjesto gdje ga igrač može blokirati, daje slabiji prioritet toj liniji. A pošto se u fazi tri može pomicati sa figuricama gdje hoće, mora proći kroz sve pozicije. Zato je bitan dio koda gdje traži slobodne pozicije ili pozicije zauzete od igrača. U slici 25. prikazano je kako izgleda pomicanje za plavog igrača u trećoj fazi.



Slika 25 - Faza tri za plavoga igrača

Slika 26. prikazuje implementaciju AILogicPhaseThree(); funkcije u koju smo implementirali već prije korišteni algoritam za računanje najbolje linije (lineScores). Drugi dio funkcije odabire najbolju liniju od svih ponuđenih.

```
556     public void AiLogicPhaseThree()
557     {
558         Debug.Log("phase three ai");
559         //score movable things
560         PhaseThreeScoringMove();
561         //choose movable thing
562         float bestScore = 0;
563         int bestScoreIndex = 0;
564         //pick the best line
565         for (int i = 0; i < 16; i++)
566         {
567             float score = 0;
568             //each line
569             for (int ii = 0; ii < 3; ii++)
570             {
571                 score += lineScores[i, ii];
572             }
573             if (score > bestScore)
574             {
575                 bestScore = score;
576                 bestScoreIndex = i;
577             }
578         }
579         //pick the best point in line and choose it
580         bestScore = 0;
581         int index = 0;
582         for (int i = 0; i < 3; i++)
583         {
584             float score = 0;
585             score += lineScores[bestScoreIndex, i];
586             if (score > bestScore)
587             {
588                 bestScore = score;
589                 index = i;
590             }
591         }
592         //choose the point
593         gameController.points[lineIndexes[bestScoreIndex, index]].OnMouseDown();
594         //score available things
595         PhaseThreeScoreAvailable();
596         //choose available things
597         bestScore = 0;
598         bestScoreIndex = 0;
```

Slika 26 - Traženje optimalne linije part 1

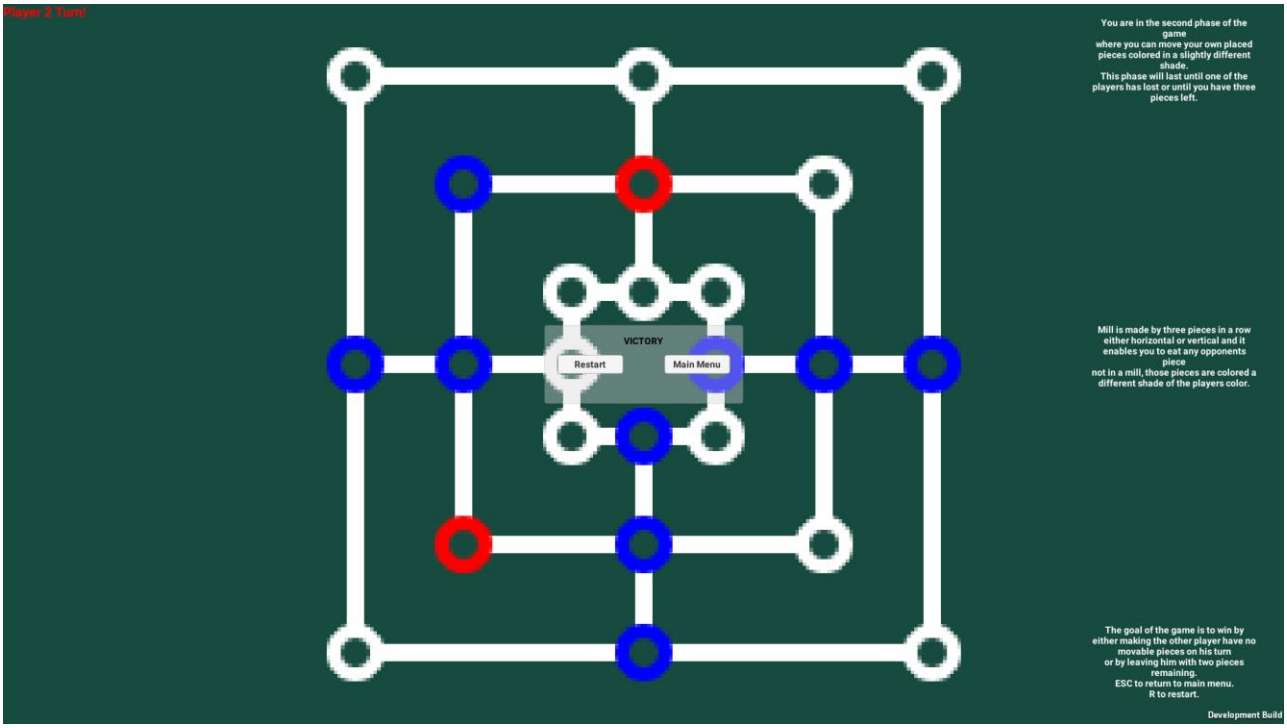
Slika 27. prikazuje da nakon odabira najbolje linije, u drugom djelu koda odabire najbolji čvor u toj liniji te njega zauzima (gameController.points).

```
599             //pick the best line
600             for (int i = 0; i < 16; i++)
601             {
602                 float score = 0;
603                 //each line
604                 for (int ii = 0; ii < 3; ii++)
605                 {
606                     score += lineScores[i, ii];
607                 }
608                 if (score > bestScore)
609                 {
610                     bestScore = score;
611                     bestScoreIndex = i;
612                 }
613             }
614             //pick the best point in line and choose it
615             bestScore = 0;
616             index = 0;
617             for (int i = 0; i < 3; i++)
618             {
619                 float score = 0;
620                 score += lineScores[bestScoreIndex, i];
621                 if (score > bestScore)
622                 {
623                     bestScore = score;
624                     index = i;
625                 }
626             }
627             //choose the point
628             gameController.points[lineIndexes[bestScoreIndex, index]].OnMouseDown();
629         }
630     }
631
```

Slika 27 - Traženje optimalne linije part 2

4.4 Implementacija završetka igre

Igra se nastavlja dok jedan igrač nema mogućnost pomicanja figurice u fazi dva, ili dokle jedan igrač ne ostane na dvije figurice u fazi tri. U glavni game controller implementirana je funkcija koja provjerava sve navedene uvjete te onda poziva end game panel meni. Igru je također moguće započeti ispočetka pretiskom tipke 'R' na tipkovnici, ili izaći iz igre pretiskom tipke 'ESC'. U end game panel meniju igrač ima opciju zaigrati ponovno ili otići u meni. Slika 28. prikazuje end game panel.



Slika 28 - Pobjeda plavog igrača, end game panel meni

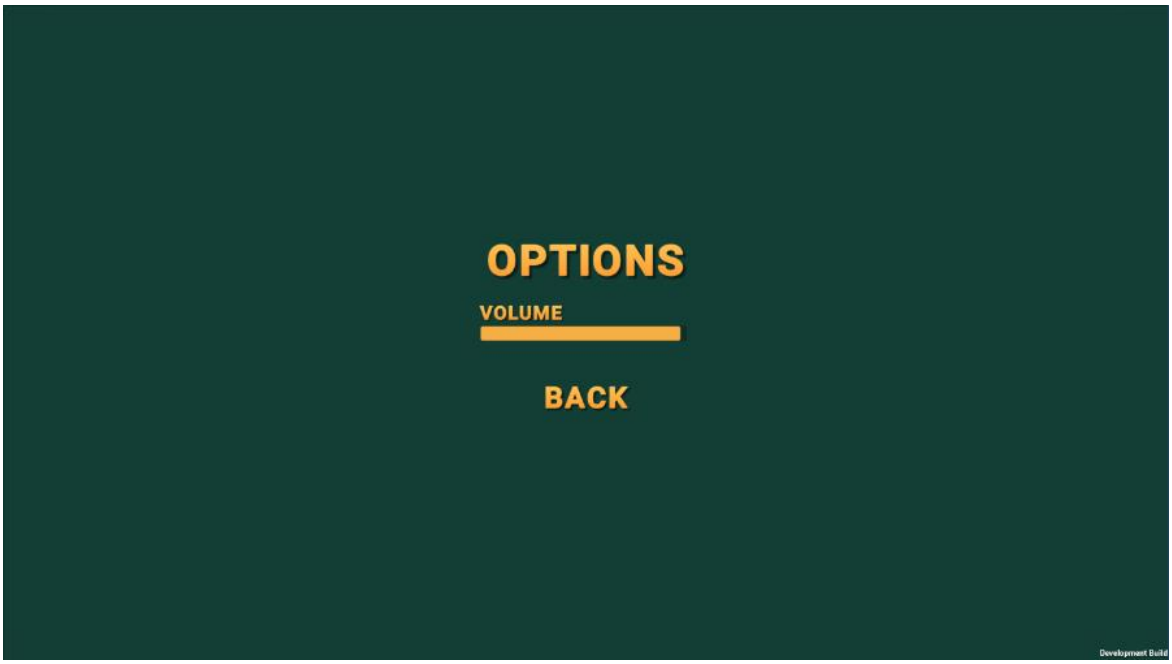
U if uvjetima se provjerava mogu li se plavi ili crveni igrač pomicati, slika 29. Također se provjerava imaju li igrači dvije figurice. Ovisno koji igrač uđe u funkciju, aktivira se victoryPanel i prikaz pobjednika.

```
159     public void CheckForDefeat()
160     {
161         //player one can't move
162         if (Options.turn == Player.One && Options.playerOneMovablePieces == 0 && Options.playerOnePhase != Phase.One) {
163             Debug.Log("Player one defeat");
164             if (Options.aiMode == true && Options.aiPlayer == Player.One)
165             {
166                 victoryPanel.SetActive(true);
167                 gameEnd = true;
168             }
169             else if (Options.aiMode == false)
170             {
171                 victoryPanel.SetActive(true);
172                 victoryTitle.text = "Red player victory";
173             }
174         }
175         else if (Options.turn == Player.Two && Options.playerTwoMovablePieces == 0 && Options.playerTwoPhase != Phase.One) {
176             Debug.Log("Player two defeat");
177             if (Options.aiMode == true && Options.aiPlayer == Player.Two)
178             {
179                 victoryPanel.SetActive(true);
180                 gameEnd = true;
181             }
182             else if (Options.aiMode == false)
183             {
184                 victoryPanel.SetActive(true);
185                 victoryTitle.text = "Blue player victory";
186             }
187         }
188         else if (Options.playerOnePiecesAmount <= 2 && Options.playerOnePhase != Phase.One) {
189             Debug.Log("Player one defeat");
190             if (Options.aiMode == true && Options.aiPlayer == Player.One)
191             {
192                 victoryPanel.SetActive(true);
193                 gameEnd = true;
194             }
195             else if (Options.aiMode == false)
196             {
197                 victoryPanel.SetActive(true);
198                 victoryTitle.text = "Red player victory";
199             }
200         }
201         else if (Options.playerTwoPiecesAmount <= 2 && Options.playerTwoPhase != Phase.One)
202         {
203             Debug.Log("Player two defeat");
204             if (Options.aiMode == true && Options.aiPlayer == Player.Two)
205             {
206                 victoryPanel.SetActive(true);
207                 gameEnd = true;
208             }
209             else if (Options.aiMode == false)
210             {
211                 victoryPanel.SetActive(true);
212                 victoryTitle.text = "Blue player victory";
213             }
214         }
215     }
216
```

Slika 29 - Kod za provjeru kraja igre

4.4 Promjena postavki

U igri postoji i meni sa opcijama za podešavanje zvuka. Napravljen je slider te su slider i text uređeni u TextMeshu, a kontrola zvuka implementirana je u musicController skripti. Slika 30. prikazuje gumb options koji se koristi za pojačanje i stišavanje zvuka.



Slika 30 - Options button meni

U skripti za meni (Slika 31.) definiran je slider te se on poziva na pokretanju igre. Gumb play odlazi na scenu 1, a funkcija OnVolumeChange() dozvoljava nam interaktivni slider na čiju je komponentu dodana pjesma preko music controller skripte. Slika 32. prikazuje QuitGame funkciju koja gasi igru.

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using UnityEngine.SceneManagement;
using UnityEngine.UI;


public class MainMenuUIController : MonoBehaviour
{
    public Slider volSlider;

    void Start()
    {
        OnVolumeChange(volSlider);
    }
    public void PlayGame()
    {
        SceneManager.LoadScene(1);
    }

    public void OnVolumeChange(Slider slider)
    {
        Options.volume = (int)slider.value;
        GameObject.FindObjectOfType<MusicController>().ChangeVolume();
    }

    public void QuitGame()
    {
        Application.Quit();
    }
}

```

Slika 31- Meni skripta

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class MusicController : MonoBehaviour
{

    void Start() {
        this.gameObject.GetComponent<AudioSource>().volume = Options.volume / 100.0f;
    }

    public void ChangeVolume()
    {
        this.gameObject.GetComponent<AudioSource>().volume = Options.volume / 100.0f;
    }
}

```

Slika 32 - Music controller skripta

5. Zaključak

U ovom radu bavili smo se osnovnom implementacijom algoritma umjetne inteligencije u tradicionalnu igru „Mlin“ u alatu za izradu igara i aplikacija „Unity“. Pri izradi umjetne inteligencije prvenstveno je bitno osmisliti način kako da umjetna inteligencija razmišlja kao igrač, neprijatelj i sl. Za neke stvari potrebniji su algoritmi koji se prilagođavaju tome ovisno kako igrač igra. Također je moguće implementirati težine algoritma. Najjednostavniji algoritam mogao bi biti neki gdje jednostavno nasumično odabire stvari, nasumično odabire varijable i slično, te što se više povećava težina, algoritam mora više razmišljati kao igrač.

Igra je napravljena na ideji grafa. Svaka točka zna točno tko su joj susjedi, koje je boje te koje su joj susjedi boje. Tu informaciju šalje gamecontroller skripti. Na taj način lakše je pratiti promjene i vršiti pretraživanja slobodnih mjesta na bazi već predhodno poznatih informacija od susjeda.

U praktičnom djelu dana je implementacija algoritma biranja prioriteta. Naravno, idealno bi bilo da algoritam sam radi i uči, ali za dvadeset i četiri moguće pozicije i pomicanjanja na iste, te za računanja optimalnog poteza protiv igrača bilo bi potrebno po par tisuća generacija algoritma da razvije način razmišljanja za jedan čvor.

6. Literatura i reference

[1] *Ant colony optimization algorithm*. (n.d.). Dohvaćeno iz Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Ant_colony_optimization_algorithms

[2] *Bees alghoritm*. (n.d.). Dohvaćeno iz Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Bees_algorithm

[3] Brackeys. (n.d.). *Brackeys Youtube channel*. Preuzeto 15. 8 2019 iz Youtube: https://www.youtube.com/watch?v=zc8ac_qUXQY

[4] Music, H. -R. (n.d.). *Youtube*. Preuzeto 15. 8 2019 iz https://www.youtube.com/watch?v=8El8ZP8LMFE

[5] *Pravila za igranje Mlina*. (n.d.). Dohvaćeno iz Pjesmice za Djecu: http://www.pjesmicezadjecu.com/drustvene-igre-pravila-igre/mlin.html

[6] *Reinforcement learning*. (n.d.). Dohvaćeno iz Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Reinforcement_learning

[7] *Rule-Based learning*. (n.d.). Dohvaćeno iz Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Rule-based_machine_learning

[8] Ružić-Baf, M. (2015). *Gremo u ćap / Mettiamoci insieme nel gruppo/ Let's Flock Together Tradicionalne (odabrane) dječje igre / Giochi tradizionali (scelti) per bambini / Traditional (Selected) Children Games.* Pula: Sveučilište Jure Dobrile, Pula.

[9] *Stack Overflow*. (15. 8 2019). Dohvaćeno iz https://stackoverflow.com/

[10] Technologies, U. (n.d.). *Unity Forum*. Preuzeto 15. 8 2019 iz https://forum.unity.com/

[11] Technologies, U. (n.d.). *Unity learn*. Preuzeto 15. 8 2019 iz https://unity.com/learn

[12] *Unity game engine*. (n.d.). Dohvaćeno iz Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Unity_(game_engine)