

# Systemy Sztucznej Inteligencji

dokumentacja projektu Kulki XDXXD

Chład Paweł  
Grupa 2D

Meller Bartłomiej  
Grupa 2D

28 maja 2020

# Część I

## Opis programu

### Instrukcja obsługi

Aby uruchomić projekt, należy:

1. Uruchomić Unity
2. Wybrać projekt z listy projektów
3. Wybrać scenę główną z listy scenę
4. Uruchomić projekt, klikając przycisk *"Play"*

Gdy projekt został uruchomiony, zacznie się proces uczenia. Uczenie może zająć długi okres czasu.

### Dodatkowe informacje

Projekt działa na silniku Unity (ver. 2018 LTS )

## Część II

### Opis działania sieci neuronowej

Jak zostało wcześniej wspomniane program opiera się na sztucznej sieci neuronowej (SSN), czyli matematycznym modelu sieci nerwowej działającej w mózgu. Podobnie jak ludzka sieć neuronowa, SSN zbudowana jest z neuronów ułożonych w warstwy. Każda komórka nerwowa danej warstwy połączona jest ze wszystkimi komórkami warstwy poprzedniej i warstwy następnej za pomocą synaps posiadających pewne losowo zainicjowane wagi w postaci liczb. Są one modyfikowane w procesie uczenia sieci neuronowej.

Pierwszą warstwę sieci, odpowiedzialną za przyjmowanie danych wejściowych, nazywamy warstwą wejściową. Analogicznie ostatnia warstwa sieci to warstwa wyjściowa, odpowiadająca za zwracanie wyniku. Pomiedzy nimi mogą (lecz nie muszą) znajdować się tzw. warstwy ukryte. Zadaniem projektanta sieci neuronowej jest znalezienie optymalnej ilości i wielkości tych warstw, dzięki czemu nauczanie będzie przebiegało efektywnie. Z kolei ilość neuronów na warstwach skrajnych zależy od tego, ile cech posiada obiekt wejściowy oraz do ilu klas można go zaklasyfikować na wyjściu - w przypadku tego projektu jest to XXXXX neuronów wejściowych oraz XXXXX neuronów wyjściowych ().

Każdy z neuronów przyjmuje pewną wartość na wejściu, a następnie przetwarza ją dzięki funkcji aktywacji. Sygnał wejściowy  $i$ -tego neuronu  $k$ -tej warstwy można opisać równaniem:

$$s_i^k = \sum_{j=1}^n w_{ij}^k y_j^{k-1} + b,$$

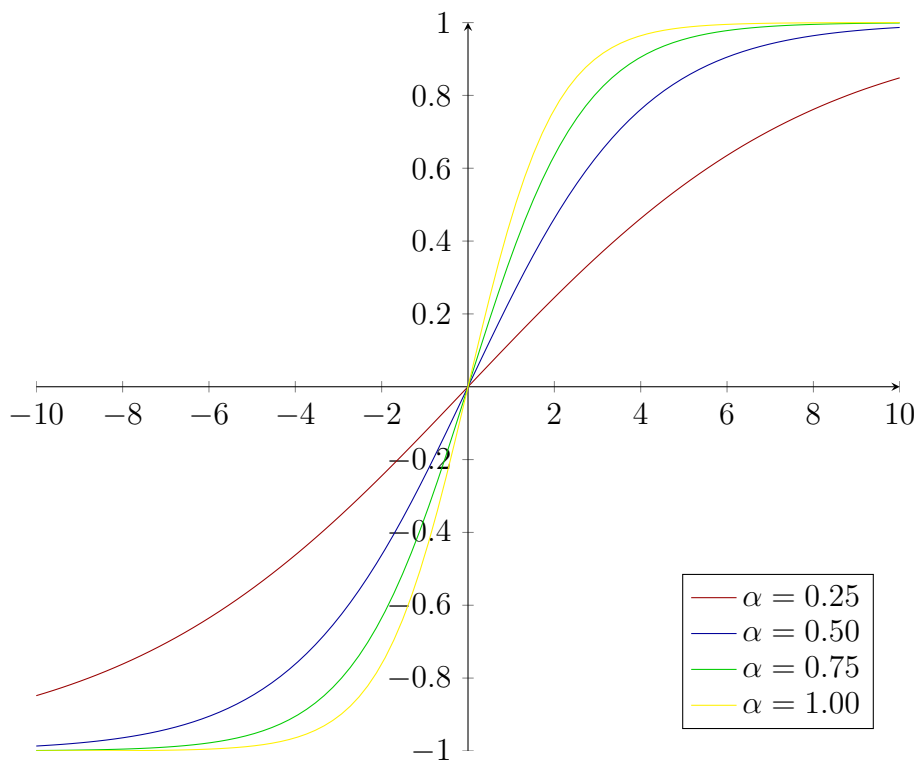
gdzie  $w_{ij}^k$  - waga synapsy pomiędzy  $i$ -tym neuronem  $k$ -tej warstwy a  $j$ -tym neuronem warstwy poprzedniej,  $y_j^{k-1}$  - wartość sygnału wyjściowego  $j$ -tego neuronu warstwy poprzedniej,  $b$  - zakłócenia sieci (tzw. bias). Najczęściej we wzorze tym nie uwzględnia się ostatniego czynnika (zakłada się, że sieć nie posiada zakłóceń tj.  $b = 0$ ). Z kolei sygnał wyjściowy  $i$ -tego neuronu to:

$$y_i^k = f(s_i^k) = f\left(\sum_{j=1}^n w_{ij}^k y_j^{k-1} + b\right).$$

Wyróżniamy wiele funkcji aktywacji, jednak najczęściej wykorzystywaną (i wykorzystaną również w tym projekcie) jest funkcja bipolarna liniowa, której wzór wygląda następująco:

$$f(s_i^k) = \frac{2}{1 + e^{-\alpha s_i^k}} - 1 = \frac{1 - e^{-\alpha s_i^k}}{1 + e^{-\alpha s_i^k}}$$

gdzie  $\alpha$  jest współczynnikiem korygującym rozpiętość funkcji aktywacji w przestrzeni decyzyjnej. Jej wykres zamieszczono na następnej stronie.



Bipolarna liniowa funkcja aktywacji

Kiedy sztuczna sieć neuronowa jest już odpowiednio zbudowana, należy ją nauczyć tego, czego od niej oczekujemy. Polega to na modyfikowaniu wag synaps w ściśle określony sposób. Istnieje wiele metod nauczania sieci. W naszym przypadku używamy metody heurystycznej: Algorytmu genetycznego (AG).

### 0.0.1 Algorytm genetyczny

Algorytm genetyczny to heurystyczny algorytm optymalizacji. Działa on na zasadzie symulacji ewolucji darwinowskiej, gdzie słabe jednostki umierają, a silne mnożą się i przekazują swoje geny następnym pokoleniom. W naszym przypadku zwierzętami są sieci neuronowe, które będziemy chcieli zoptymalizować. Na początku działania algorytmu, inicjalizujemy populację, złożoną z losowo wygenerowanych sieci. Takie sieci będą podejmowały losowe decyzje (gdyż mają losowe wagi). Następnie sieci te przechodzą przez test, który ocenia ich sprawność. Każde ze zwierząt otrzymuje ocenę, która oznacza jak dobrze sobie poradziło. Po symulacji pokolenia, przychodzi czas na proces selekcji; Sortujemy sieci względem ich wyników malejąco i zabijamy XXXXXX% najgorszych jednostek. Następnie jednostki, które przetrwały, mnożą się przekazując swoje geny, w naszym przypadku genomem jest lista wag, a więc sieci wymieniają pomiędzy sobą losowe wagi. Aby agenci nie utkneli w miejscu, wprowadziliśmy także element mutacji, który dodaje od -XXXXXX% do XXXXXX% wartości aktualnej wagi. Proces mutacji sprawia iż sieci nie będą się tak łatwo zatrzymywały w lokalnych minimach, co zwiększa szansę na znalezienie lepszych minimów. Na końcu dzieci dodawane są do globalnej kolekcji i algorytm się powtarza.

## Zbiór danych

## Implementacja

### Ogólna struktura

### Spis metod

```
public class MovementScoreRule : MonoBehaviour, IScoringRule
```

- `public float GetScore()` - Zwraca wynik agenta, bazujący na dystansie który został przebyty

```
public class Run
```

- `public string runName = "Run #N"` - Nazwa przebiegu symulacji
- `public event EventHandler<List<AgentResult>> RunComplete` - zdarzenie informujące o zakończeniu przebiegu symulacji
- `public List<GameObject> agents = new List<GameObject>()` - Lista agentów biorąca udział w tym przebiegu
- `public List<AgentResult> results = new List<AgentResult>()` - Lista rezultatów, aktualizowana po zakończeniu przebiegu
- `public static GameObject agentPrefab` - Prefab agenta, który będzie instancjonowany w czasie rozpoczęcia przebiegu
- `public Run(int num_agents)` - Konstruktor przebiegu
  - `int num_agents` - Ilość losowo zainicjalizowanych agentów, która zostanie zainstancjonowana
- `public Run(List<NetworkModel> models)` - Konstruktor przebiegu
  - `List<NetworkModel> models` - Lista modeli, z której będą inicjalizowani agenci
- `public void BeginRun()` - Rozpoczyna przebieg symulacji

```
public class AgentResult
```

- `public double score` - wynik agenta
- `public NetworkModel model` - model agenta
- `public AgentResult(double score, NetworkModel model)` - konstruktor rezultatu agenta

```
public interface IScoringRule
```

- `float GetScore()` - Ma zwrócić wynik dla konkretnej zasady oceniania

```
public class RunManager : MonoBehaviour
```

```
public class CameraController : MonoBehaviour
```

- `public Transform target` - Obiekt obserwowany
- `public Vector3 offset` - Oddalenie od obiektu obserwowanego

```
public class ModelManager
```

- `public List<NetworkModel> Models = new List<NetworkModel>()` - Kolekcja aktualnych modeli
- `public int NumModels { get; }` - Docelowa liczba modeli
- `public double LearningRate { get; }` - Szybkość uczenia
- `public ModelManager(List<NetworkModel> models, double learningRate = 0.1f)` - Konstruktor
  - `List<NetworkModel> models` - ustawia Models
  - `double learningRate` - ustawia LearningRate
- `public void SaveTop(int n)` - Zapisuje pierwsze  $n$  modeli (sortowane po score)
- `public void Expand()` - Tworzy nowych agentów, tak długo aż Models.Count osiągnie NumModels

```
public class Agent : MonoBehaviour
```

- `public NetworkModel network` - sieć neuronowa agenta
- `public static Transform cookieJar` - Transform zachęty
- `public Action<Agent> deathCallback` - Metoda, która zostanie wywołana w czasie śmierci agenta
- `public List<double> lastInputs = new List<double>()` - Lista ostatnio zarejestrowanych wartości wejściowych
- `public List<double> lastOutputs = new List<double>()` - Lista ostatnio zarejestrowanych wartości wyjściowych
- `public float ViewArc` - Kąt widzenia w radianach

```
public class InputMonitor : MonoBehaviour
```

- `public Agent Target` - Referencja do agenta, który ma być obserwowany
- `public Text text` - Referencja do tekstu UI na którym mają zostać wypisane informacje o Target agencie

```
public static class ScoreCalculator
```

- `public static float CalculateScore(GameObject obj)` - Oblicza wynik dla danego agenta

```
public class LifetimeScoreRule : MonoBehaviour, IScoringRule
```

- `public float GetScore()` - Zwraca wynik czasu życia agenta
- `public class Pulse` - Klasa reprezentująca aktywację
- `public double Value { get; set; }` - Zwraca wartość dla tego pulsu
- `public class NeuraLayer` - Klasa reprezentująca warstwę neuronów
- `public List<Neuron> Neurons { get; set; }` - Lista neuronów w warstwie
  - `public string Name { get; set; }` - Nazwa warstwy
  - `public double Weight { get; set; }` - ???
  - `public NeuraLayer(int count, double initialWeight, Func<double, double> activation, string name = "")` - Konstruktor warstwy
    - `int count` - Liczba neuronów, która będzie wygenerowana w tej warstwie
    - `double initialWeight` - Początkowa waga połączeń
    - `Func<double, double> activation` - Funkcja aktywacji, która zostanie nadana wszystkim neuronom w tej warstwie
    - `name` - Nazwa warstwy
  - `public void Randomize(double lr)` - Wywołuje `Neuron.Randomize(lr)` na każdym neuronie w warstwie
  - `public void Forward()` - Wywołuje `Neuron.Fire()` na każdym neuronie w warstwie
  - `public override string ToString()` - Konwertuje wszystkie neurony na typ `string` i zwraca `string` zawierający wszystkie neurony
- `public class Dendrite`
- `public Pulse InputPulse { get; set; }` - Impuls przychodzący
  - `public double SynapticWeight { get; set; }` - Waga tego połączenia
  - `public bool Learnable { get; set; }` - Flaga, gdy ustawiona na `true`, to połączenie może się uczyć
  - `public Dendrite()` - Konstruktor połączenia
  - `public void Randomize(double lr)` - Dodaje wartość w zakresie `[-lr, lr]` do wagi
  - `public override string ToString()` - Konwertuje wagę połączenia na `string`
- `public class Neuron`
- `public List<Dendrite> Dendrites { get; set; }` - Kolekcja połączeń przychodzących
  - `public Pulse OutputPulse { get; set; }` - Ostatnio zarejestrowana wartość wychodząca

- `public Func<double, double> Activation` - Funkcja aktywacji
- `public Neuron(Func<double, double> activation)` - Konstruktor
  - `Func<double, double> activation` - Ustawia `Activation`
- `public void Randomize(double lr)` - Wywołuje `Dendrite.Randomize(lr)` na każdym z `Dendrite` w `Dendrites`
- `public void Fire()` - Ustawia `OutputPulse` na wynik funkcji aktywacji
- `public override string ToString()` - Konwertuje wszystkie `Dendrite` w `Dendrites` na typ `string`

`public static class ActivationFunc`

- `public static double Tanh(double x)` - Funkcja tangensa hiperbolicznego  $1 - \frac{2}{e^{2x}+1}$
- `public static double Linear(double x)` - Funkcja liniowa  $f(x) = x$
- `public static double BinaryStep(double x)` - Funkcja:

$$f(x) = \begin{cases} -1 & \text{if } x < 0 \\ 0 & \text{if } x = 0 \\ 1 & \text{if } x > 0 \end{cases}$$

`public class NetworkModel` - Klasa reprezentująca sieć neuronową

- `public List<NeuralLayer> Layers { get; set; }` - Kolekcja warstw
- `public NetworkModel()` - Konstruktor
- `public NetworkModel DeepCopy()` - Metoda wykonująca kopię głęboką
- `public void AddLayer(NeuralLayer layer)` - Dodaje `layer` do `Layers`
- `public void Build()` - Buduje sieć, łączy ze sobą kolejne warstwy za pomocą obiektów klasy `Synapse`
- `public void Randomize(double lr)` - Wywołuje `Layer.Randomize` na każdym `Layer` z `Layers`
- `public List<double> Decide(List<double> X)` - Wykonuje sieć dla wektora wejściowego `X` i zwraca wynik w postaci wektora wyjściowego
- `public void Print()` - Wyświetla informacje o warstwach
- `public override string ToString()` - Konwertuje sieć na typ `string`

`public static class JsonService`

- `public static void SaveModelsList(List<NetworkModel> models)` - Zapisuje listę modeli do pliku JSON



- `public static List<NetworkModel> LoadModelsList(TextAsset jsonFile)` - Odczytuje listę modeli z pliku JSON i zwraca listę modeli
  - `TextAsset jsonFile` - Referencja do zasobu tekstowego, zawierającego plik JSON z modelami

## Testy

## Eksperymenty

## Pełen kod aplikacji

Kod znajduje się w repozytorium pod adresem: [reee jak i również pod spodem](#).

### MovementScoreRule.cs

```
1 using UnityEngine;
2
3
4 //Calculates score based on total moved distance
5 public class MovementScoreRule : MonoBehaviour, IScoringRule
6 {
7
8     float score = 0;
9     Vector3 lastPos;
10
11     void Start()
12     {
13         lastPos = this.transform.position;
14     }
15
16
17     void FixedUpdate()
18     {
19         score += Vector3.Distance(this.transform.position, lastPos);
20     }
21
22
23
24     public float GetScore()
25     {
26         return score;
27     }
28 }
```

---

## Run.cs

```
1 using System;
2 using System.Collections;
3 using System.Collections.Generic;
4 using NeuralNetwork;
5 using UnityEngine;
6 using System.Linq;
7
8
9 //Class that represents data gathered from one simulation run
10 public class Run
11 {
12     public string runName = "Run #N";
13     public event EventHandler<List<AgentResult>> RunComplete;
14     public List<GameObject> agents = new List<GameObject>();
15     public List<AgentResult> results = new List<AgentResult>();
16
17     public static GameObject agentPrefab;
18
19     //Creates a new run with num_agents number of randomly initialized
20     //agents
21     public Run(int num_agents)
22     {
23         for (int i = 0; i < num_agents; i++)
24         {
25             agents.Add(CreateNewAgent());
26         }
27
28         //Creates a new run with agents initialized with given models
29         public Run(List<NetworkModel> models)
30         {
31             foreach (NetworkModel m in models)
32             {
33                 GameObject a = CreateNewAgent();
34                 a.GetComponent<Agent>().network = m;
35                 agents.Add(a);
36             }
37         }
38
39         //Begins run by activating all agents
40         public void BeginRun()
41         {
42             foreach (GameObject a in agents)
43             {
44                 a.gameObject.SetActive(true);
45             }
46         }
47
48         //Called when all agents died
49         private void EndRun()
50         {
51             Debug.Log(runName + " ended");
52             string resultString = "";
```

```

53         for (int i = 0; i < results.Count; i++)
54         {
55             resultString += "Agent #" + i + " | Score: " + results[i].
                    score;
56         }
57         Debug.Log(resultString);
58         agents.Clear();
59         RunComplete(this, results);
60     }
61
62     private void AgentDied(Agent a)
63     {
64         Debug.Log("Agent Died");
65         results.Insert(0, new AgentResult(ScoreCalculator.CalculateScore
                    (a.gameObject), a.network));
66         agents.Remove(a.gameObject);
67         if (agents.Count == 0)
68         {
69             EndRun();
70         }
71     }
72
73
74     //Creates new empty agent, that is inactive
75     private GameObject CreateNewAgent()
76     {
77         GameObject agent = GameObject.Instantiate(agentPrefab);
78         agent.SetActive(false);
79         agent.GetComponent<Agent>().deathCallback = AgentDied;
80         return agent;
81     }
82
83
84     public class AgentResult
85     {
86         public double score;
87         public NetworkModel model;
88
89         public AgentResult(double score, NetworkModel model)
90         {
91             this.score = score;
92             this.model = model.DeepCopy();
93         }
94     }
95 }

```

---

## IScoringRule.cs

```
1 public interface IScoringRule
2 {
3
4     //get current score from component
5     float GetScore();
6
7 }
```

---

## RunManager.cs

```
1 using System;
2 using System.Collections;
3 using System.Collections.Generic;
4 using System.Linq;
5 using UnityEngine;
6 using NeuralNetwork;
7
8
9 ///
```

```

51     }
52     r.runName = "Run #" + run_num;
53     r.RunComplete += OnRunEnded;
54     r.BeginRun();
55 }
56
57 void OnRunEnded(object sender, List<Run.AgentResult> results)
58 {
59     //Accept only Run senders
60     if (!(sender is Run r))
61         throw new ArgumentException("Sender is not of the type Run")
62         ;
63
64     //Unsubscribe from sender to avoid memory leak
65     r.RunComplete -= OnRunEnded;
66
67     //store run
68     runs.Add(r);
69     List<NetworkModel> models = r.results.OrderBy(x => x.score).
70         Select(x => x.model).ToList();
71     Debug.Log(models[0].ToString());
72     StartNewRun();
73 }

```

---

## CameraController.cs

```
1 using System;
2 using System.Collections;
3 using System.Collections.Generic;
4 using UnityEngine;
5
6 public class CameraController : MonoBehaviour
7 {
8     public Transform target;
9     public Vector3 offset;
10
11     private Vector3 previousMousePos;
12     private Vector3 currRot = new Vector3(0, 0, 0);
13     private float rotSpeed = 100f;
14
15     // Start is called before the first frame update
16     void Start()
17     {
18         previousMousePos = Input.mousePosition;
19         Cursor.lockState = CursorLockMode.Locked;
20     }
21
22     // Update is called once per frame
23     void Update()
24     {
25
26         if (Input.GetButtonDown("ToggleCursor"))
27         {
28             if (Cursor.lockState != CursorLockMode.Locked)
29             {
30                 Cursor.lockState = CursorLockMode.Locked;
31             }
32             else
33             {
34                 Cursor.lockState = CursorLockMode.None;
35             }
36         }
37
38
39         if (Input.GetButtonDown("BreakTarget"))
40             target = null;
41
42         if (Input.GetButtonDown("BestTarget"))
43             target = ChooseBestTarget();
44
45
46         if (target == null)
47         {
48             transform.Translate(Vector3.forward * Input.GetAxis("Forward"));
49             transform.Translate(Vector3.up * Input.GetAxis("Up"));
50             transform.Translate(Vector3.right * Input.GetAxis("Right"));
51
52             Quaternion rot = Quaternion.identity;
```



```
53         currRot += new Vector3(-Input.GetAxis("Mouse Y"), Input.  
54             GetAxis("Mouse X"), 0f) * Time.deltaTime * rotSpeed;  
55         rot.eulerAngles = currRot;  
56         transform.rotation = rot;  
57     }  
58     previousMousePos = Input.mousePosition;  
59  
60     if (target != null)  
61         transform.position = target.position - offset;  
62     //Check for input  
63  
64 }  
65  
66  
67  
68  
69 Transform ChooseBestTarget()  
70 {  
71     throw new NotImplementedException();  
72 }  
73  
74 }
```

---

## ModelManager.cs

```
1 using System;
2 using System.Collections.Generic;
3 using System.Data;
4 using System.Linq;
5 using UnityEngine;
6 using NeuralNetwork;
7
8 public class ModelManager
9 {
10     public List<NetworkModel> Models = new List<NetworkModel>();
11     public int NumModels { get; }
12     public double LearningRate { get; }
13
14
15     public ModelManager(List<NetworkModel> models, double learningRate =
16         0.1f)
17     {
18         LearningRate = learningRate;
19         Models = models;
20         NumModels = models.Count;
21     }
22
23     public void SaveTop(int n)
24     {
25         if (n > Models.Count)
26         {
27             Debug.Log("Provided number is lower than count of models!");
28         }
29         else
30         {
31             Models.RemoveRange(0, n);
32             JsonService.SaveModelsList(Models);
33         }
34     }
35
36     public void Expand()
37     {
38         int n = Models.Count;
39
40         int clonesNeeded = NumModels - n;
41
42         List<NetworkModel> clones = new List<NetworkModel>();
43
44         if (n >= NumModels)
45         {
46             Debug.Log("Models collection is full!");
47         }
48         else
49         {
50             for (int i = 0; i < clonesNeeded; i++)
51             {
52                 clones.Add(Models[i % n].DeepCopy()); // add
```

```

        randomization
53         clones[clones.Count() - 1].Randomize(LearningRate);
54     }
55 }
56
57 Models = new List<NetworkModel>(Models.Concat(clones));
58 }
59
60
61
62 }
```

---

## Agent.cs

```
1 using System;
2 using NeuralNetwork;
3 using UnityEngine;
4 using System.Collections.Generic;
5 using System.Collections;
6
7 public class Agent : MonoBehaviour
8 {
9     public NetworkModel network;
10
11     //Target cookie jar for every agent that exists (?TODO?: handle null
12     //case?)
13     public static Transform cookieJar;
14
15     //function to call when this agent dies
16     public Action<Agent> deathCallback;
17     public List<double> lastInputs = new List<double>(); //inputs that
18     //were fed in previous frame (for UI and debugging)
19     public List<double> lastOutputs = new List<double>(); //outputs that
20     //were outputted in previous frame (for UI and debugging)
21     private float ForceMultiplier = 10.0f;
22
23     //View arc in radians
24     [SerializeField]
25     private float viewArc = 2.0f;
26
27     public float ViewArc
28     {
29         get { return viewArc; }
30         set
31         {
32             viewArc = value;
33             arcStep = viewArc / (float)rayCount; // recalculate arcStep
34         }
35     }
36
37     [SerializeField]
38     //Number of rays that will be cast
39     private int rayCount = 8;
40
41     private float arcStep = 0f;
42
43     void Awake()
44     {
45         arcStep = viewArc / (float)rayCount;
46
47         cookieJar = GameObject.Find("cookieJar").transform;
48         network = new NetworkModel();
49         network.Layers.Add(new NeuralLayer(1 + rayCount, 0.0,
50             ActivationFunc.Linear, "INPUT")); //rayCount + one for
```

```

50         CookieJar position
51         network.Layers.Add(new NeuralLayer(11, 0.0, ActivationFunc.
52             Linear, "HIDDEN"));
53         network.Layers.Add(new NeuralLayer(2, 0.0, ActivationFunc.Tanh,
54             "OUTPUT"));
55         network.Build();
56         network.Randomize(0.5);
57     }
58
59     void Start()
60     {
61
62     }
63
64     void FixedUpdate()
65     {
66         lastOutputs = network.Decide(GatherInputs());
67         ParseOutput(lastOutputs);
68     }
69
70     ///

```

```

96         {
97             results.Add(1.0f); // if nothing was hit, add max
98         }
99     }
100
101     //2. get distance from the cookie jar
102     results.Add(Vector3.Distance(this.transform.position, cookieJar.
103         position) / 100.0f);
104     lastInputs = results;
105     return results;
106 }
107
108 public void OnCollisionEnter(Collision c)
109 {
110     //if layer is wall layer
111     if (c.collider.gameObject.layer == 10)
112     {
113         //die...
114         this?.deathCallback(this);
115         Destroy(this.gameObject);
116     }
117 }
118
119 //EDITOR
120 void OnValidate()
121 {
122     //Because Unity does not support property exposing to the
123     //Inspector, we use OnValidate (called whenever, whatever
124     //changed by the Inspeotr)
125     //And force property to fire.
126     ViewArc = viewArc;
127 }

```

---

## InputMonitor.cs

```
1 using System.Collections;
2 using System.Collections.Generic;
3 using UnityEngine;
4 using UnityEngine.UI;
5
6
7 public class InputMonitor : MonoBehaviour
8 {
9
10
11     public Agent Target;
12     public Text text;
13     // Start is called before the first frame update
14     void Start()
15     {
16         if (Target == null)
17             Debug.LogWarning("Target is null, no data will be shown.");
18     }
19
20     // Update is called once per frame
21     void FixedUpdate()
22     {
23         if (Target != null)
24         {
25             string input_data = "";
26             string output_data = "";
27             for (int i = 0; i < Target.lastInputs.Count; i++)
28             {
29                 input_data += "Input " + i + " --- " + Target.lastInputs
30                     [i] + "\n";
31
32                 for (int i = 0; i < Target.lastOutputs.Count; i++)
33                 {
34                     output_data += "Output " + i + " --- " + Target.
35                         lastOutputs[i] + "\n";
36                 }
37
38                 text.text = input_data + output_data;
39             }
40         }
41     }
```

---

## ScoreCalculator.cs

```
1 using UnityEngine;
2 using System.Collections.Generic;
3
4 public static class ScoreCalculator
5 {
6
7
8     public static float CalculateScore(GameObject obj)
9     {
10         //Get all components with given interfaces and map them to
11         //theirs type names
12         IScoringRule[] rules = obj.GetComponents<IScoringRule>();
13         Dictionary<string, IScoringRule> ruleDictionary = new Dictionary
14             <string, IScoringRule>();
15
16         foreach(IScoringRule r in rules)
17         {
18             ruleDictionary.Add(r.GetType().ToString(), r);
19         }
20
21         return ruleDictionary["MovementScoreRule"].GetScore() + 0.1f*
22             ruleDictionary["LifetimeScoreRule"].GetScore();
23     }
24
25 }
26 }
```

---



## LifetimeScoreRule.cs

```
1 using UnityEngine;
2
3 //Scoring rule: Add point depending on lifetime
4 public class LifetimeScoreRule : MonoBehaviour, IScoringRule
5 {
6     float score = 0;
7
8     void FixedUpdate()
9     {
10         score++;
11     }
12
13     public float GetScore()
14     {
15         return score;
16     }
17 }
```

---

## Pulse.cs

```
1 using System;
2 using System.Collections.Generic;
3 using System.Data;
4 using System.Linq;
5 using System.Runtime.Serialization.Formatters.Binary;
6 using System.Runtime.Serialization;
7 using System.IO;
8 using UnityEngine;
9 using Newtonsoft.Json;
10
11 namespace NeuralNetwork
12 {
13     [Serializable]
14     public class Pulse
15     {
16         [JsonProperty]
17         public double Value { get; set; }
18     }
19 }
```

---

## NeuralLayer.cs

```
1 using System;
2 using System.Collections.Generic;
3 using System.Data;
4 using System.Linq;
5 using System.Runtime.Serialization.Formatters.Binary;
6 using System.Runtime.Serialization;
7 using System.IO;
8 using UnityEngine;
9 using Newtonsoft.Json;
10
11 namespace NeuralNetwork
12 {
13     [Serializable]
14     public class NeuralLayer{
15         public List<Neuron> Neurons { get; set; }
16
17         public string Name { get; set; }
18
19         public double Weight { get; set; }
20
21         Func<double, double> Activation;
22         public NeuralLayer(int count, double initialWeight, Func<double,
23             double> activation, string name = "")
24         {
25             Activation = activation;
26             Neurons = new List<Neuron>();
27             for (int i = 0; i < count; i++)
28             {
29                 Neurons.Add(new Neuron(Activation));
30             }
31
32             Name = name;
33         }
34
35         public void Randomize(double lr)
36         {
37             foreach (var neuron in Neurons)
38             {
39                 neuron.Randomize(lr);
40             }
41         }
42
43         public void Forward()
44         {
45             foreach (var neuron in Neurons)
46             {
47                 neuron.Fire();
48             }
49         }
50
51         public override string ToString()
```

```
53     {
54         string tmp = "{\n";
55         for (int i = 0; i < Neurons.Count; i++)
56         {
57             tmp += Neurons[i].ToString();
58             if (i != Neurons.Count - 1)
59                 tmp += "\n";
60         }
61         tmp+="\n}";
62         return tmp;
63     }
64
65 }
66 }
```

---

## Dendrite.cs

```
1 using System;
2 using System.Collections.Generic;
3 using System.Data;
4 using System.Linq;
5 using System.Runtime.Serialization.Formatters.Binary;
6 using System.Runtime.Serialization;
7 using System.IO;
8 using UnityEngine;
9 using Newtonsoft.Json;
10
11 namespace NeuralNetwork
12 {
13
14     [Serializable]
15     public class Dendrite
16     {
17         public Pulse InputPulse { get; set; }
18
19         public double SynapticWeight { get; set; }
20
21         public bool Learnable { get; set; }
22
23         public Dendrite()
24         {
25             SynapticWeight = 0;
26         }
27
28         public void Randomize(double lr)
29         {
30             float t = (float)lr;
31             SynapticWeight += (double)UnityEngine.Random.Range(-t, t);
32         }
33
34
35         public override string ToString()
36         {
37             return SynapticWeight.ToString();
38         }
39
40     }
41 }
42 }
```

---

## Neuron.cs

```
1 using System;
2 using System.Collections.Generic;
3 using System.Data;
4 using System.Linq;
5 using System.Runtime.Serialization.Formatters.Binary;
6 using System.Runtime.Serialization;
7 using System.IO;
8 using UnityEngine;
9 using Newtonsoft.Json;
10
11 namespace NeuralNetwork
12 {
13     [Serializable]
14     public class Neuron
15     {
16         public List<Dendrite> Dendrites { get; set; }
17
18         public Pulse OutputPulse { get; set; }
19
20         public Func<double, double> Activation;
21
22         public Neuron(Func<double, double> activation)
23         {
24             Dendrites = new List<Dendrite>();
25             OutputPulse = new Pulse();
26             Activation = activation;
27         }
28
29         public void Randomize(double lr)
30         {
31             foreach (var dendrite in Dendrites)
32             {
33                 dendrite.Randomize(lr);
34             }
35         }
36
37         public void Fire()
38         {
39             OutputPulse.Value = Sum();
40
41             OutputPulse.Value = Activation(OutputPulse.Value);
42         }
43
44         private double Sum()
45         {
46             double computeValue = 0.0f;
47             foreach (var d in Dendrites)
48             {
49                 computeValue += d.InputPulse.Value * d.SynapticWeight;
50             }
51
52             return computeValue;
53         }
54     }
55 }
```

```
54
55     public override string ToString()
56     {
57         string tmp = "[";
58         for (int i = 0; i < Dendrites.Count; i++)
59         {
60             tmp += Dendrites[i].ToString();
61             if (i != Dendrites.Count - 1)
62                 tmp += ", ";
63         }
64         tmp += "]";
65         return tmp;
66     }
67
68
69 }
70 }
```

---

## Activation.cs

```
1 using UnityEngine;
2 using System;
3
4 namespace NeuralNetwork
5 {
6     public static class ActivationFunc
7     {
8         public static double Tanh(double x)
9         {
10             return 1 - (2.0) / (Math.Exp(2 * x) + 1);
11         }
12
13         public static double Linear(double x)
14         {
15             return x;
16         }
17
18         public static double BinaryStep(double x)
19         {
20             if (x > 0)
21             {
22                 return 1;
23             }
24             if (x == 0)
25             {
26                 return 0;
27             }
28             if (x < 0)
29             {
30                 return -1;
31             }
32             return 0;
33         }
34     }
35 }
36
37 }
```

---



## NetworkModel.cs

```
1 using System;
2 using System.Collections.Generic;
3 using System.Data;
4 using System.Linq;
5 using System.Runtime.Serialization.Formatters.Binary;
6 using System.Runtime.Serialization;
7 using System.IO;
8 using UnityEngine;
9 using Newtonsoft.Json;
10
11 namespace NeuralNetwork
12 {
13
14     [Serializable]
15     public class NetworkModel
16     {
17         public List<NeuralLayer> Layers { get; set; }
18
19         public NetworkModel()
20         {
21             Layers = new List<NeuralLayer>();
22         }
23
24         public NetworkModel DeepCopy()
25         {
26             using (MemoryStream ms = new MemoryStream())
27             {
28                 BinaryFormatter formatter = new BinaryFormatter();
29                 formatter.Context = new StreamingContext(
30                     StreamingContextStates.Clone);
31                 formatter.Serialize(ms, this);
32                 ms.Position = 0;
33                 return (NetworkModel)formatter.Deserialize(ms);
34             }
35
36             public void AddLayer(NeuralLayer layer)
37             {
38                 int dendriteCount = 1;
39                 if (Layers.Count > 0)
40                 {
41                     dendriteCount = Layers[Layers.Count - 1].Neurons.Count;
42                 }
43
44                 foreach (var element in layer.Neurons)
45                 {
46                     for (int i = 0; i < dendriteCount; i++)
47                     {
48                         element.Dendrites.Add(new Dendrite());
49                     }
50                 }
51             }
52
53         }
```

```

53     public void Build()
54     {
55         int i = 0;
56         foreach (var layer in Layers)
57         {
58             if (i >= Layers.Count - 1)
59             {
60                 break;
61             }
62             var nextLayer = Layers[i + 1];
63             CreateNetwork(layer, nextLayer);
64             i++;
65         }
66     }
67
68
69     public void Randomize(double lr)
70     {
71         foreach (var layer in Layers)
72         {
73             layer.Randomize(lr);
74         }
75     }
76
77     public List<double> Decide(List<double> X)
78     {
79         var inputLayer = Layers[0];
80         List<double> outputs = new List<double>();
81
82         for (int i = 0; i < X.Count; i++)
83         {
84             inputLayer.Neurons[i].OutputPulse.Value = X[i];
85         }
86         ComputeOutput();
87         foreach (var neuron in Layers.Last().Neurons)
88         {
89             outputs.Add(neuron.OutputPulse.Value);
90         }
91         return outputs;
92     }
93
94     public void Print()
95     {
96
97         Debug.Log("Name | Neurons");
98
99         foreach (var layer in Layers)
100         {
101             Debug.Log(layer.Name + " | " + layer.Neurons.Count);
102         }
103     }
104
105     private void CreateNetwork(NeuralLayer connectingFrom,
106                             NeuralLayer connectingTo)
107     {

```

```

107         foreach (var to in connectingTo.Neurons)
108         {
109             foreach (var from in connectingFrom.Neurons)
110             {
111                 to.Dendrites.Add(new Dendrite() { InputPulse = from.
                    OutputPulse });
112             }
113         }
114     }
115
116     private void ComputeOutput()
117     {
118         bool first = true;
119         foreach (var layer in Layers)
120         {
121             if (first)
122             {
123                 first = false;
124             }
125             else
126             {
127                 layer.Forward();
128             }
129         }
130     }
131
132     public override string ToString()
133     {
134         string tmp = "";
135         for (int i = 1; i < Layers.Count; i++)
136         {
137             tmp += Layers[i].ToString();
138             if (i != Layers.Count - 1)
139                 tmp += "\n";
140         }
141         tmp += "\n";
142         return tmp;
143     }
144
145 }
146
147 }

```

---

## JsonService.cs

```
1 using System;
2 using System.IO;
3 using System.Text;
4 using System.Collections.Generic;
5 using System.Data;
6 using System.Linq;
7 using UnityEngine;
8 using NeuralNetwork;
9 using Newtonsoft.Json;
10 public static class JsonService
11 {
12     public static void SaveModelsList(List<NetworkModel> models)
13     {
14         string timeString = DateTime.Now.ToString("yy-MM-dd_HH-mm-ss");
15         timeString = timeString.Replace(' ', '_');
16
17         JsonSerializerSettings settings = new JsonSerializerSettings();
18         settings.NullValueHandling = NullValueHandling.Include;
19         settings.ReferenceLoopHandling = ReferenceLoopHandling.Serialize;
20
21         string jsonString = JsonConvert.SerializeObject(models);
22         string path = Application.dataPath + "/jsonModels/" + timeString
23             + ".json";
24         File.WriteAllText(path, jsonString);
25     }
26     public static List<NetworkModel> LoadModelsList(TextAsset jsonFile)
27     {
28         List<NetworkModel> models = JsonConvert.DeserializeObject<List<
29             NetworkModel>>(jsonFile.ToString());
30         return models;
31     }
32 }
```

---