Systemy Sztucznej Inteligencji

Dokumentacja projektu Unity Neural Network Car

Artur Bednarczyk, Dawid Grajewski, grupa A

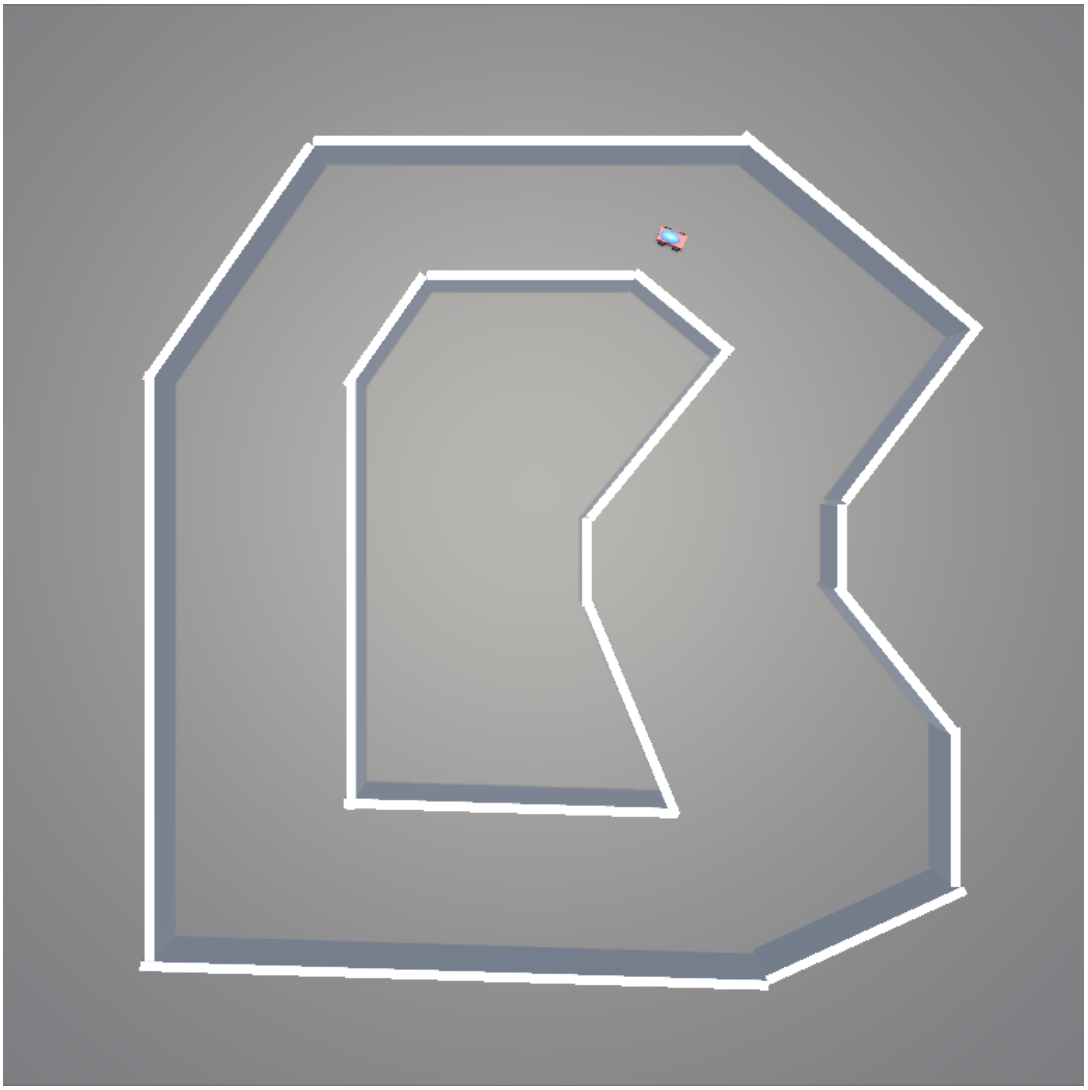
27 maja 2018

Spis treści

1 Część I

1.1 Opis programu

Unity Neural Network Car to symulacja samochodu poruszającego się po torze. Jednak nie tylko użytkownik może kontrolować pojazd, a również sztuczna inteligencja. Implementacja zaawansowanej technologii pozwoliła na „nauczenie" samochodu w jaki sposób przejechać przez cały tor i nie rozbić się na najbliższym zakręcie.



1.2 Instrukcja obsługi

Uruchamiamy aplikację i możemy obserwować ruch pojazdu.

1.3 Dodatkowe informacje

Projekt został wykonany z wykorzystaniem silnika Unity oraz języka C#.

2 Część II

2.1 Opis działania

2.1.1 Sieć neuronowa

Sieć neuronowa jest strukturą inspirowaną budową naturalnych neuronów, łączących je synaps oraz układów nerwowych. Wykorzystana w projekcie sieć jest wielowarstwową siecią jednokierunkową korzystającą z algorytmu propagacji wstecznej.

2.1.2 Budowa sieci

Wykorzystana sieć składa się z trzech głównych warstw.

- Warstwa wejścia.
- Warstwy ukryte.
- Warstwa wyjścia.

Warstwa wejścia Każdy neuron tej warstwy przekazuje do warstwy ukrytej początkowe wartości.

Warstwy ukryte Tutaj dzieje się wszystko co najważniejsze. Synapsy między neuronami mają przypisane wagi, które początkowo są losowe. W ramach uczenia się, wagi są dostosowywane tak, aby rezultat końcowy był jak najbliżej spodziewanego.

Warstwa wyjścia To tutaj nauczona już sieć daje nam wynik.

2.1.3 Uczenie sieci

Uczenie sieci jest realizowane poprzez podanie jej zestawu danych wejściowych oraz spodziewanych wyników. W tym projekcie wykorzystano metody takie jak:

- Propagacja Wsteczna
- Biases
- Momentum
- Współczynnik uczenia

Początkowo wagi przy neuronach są losowe. Każdy z neuronów posiada swój blok sumujący, gdzie oblicz wartość sygnału:

$$\sum_{i=1}^{n} w_i \cdot x_i + Bias$$

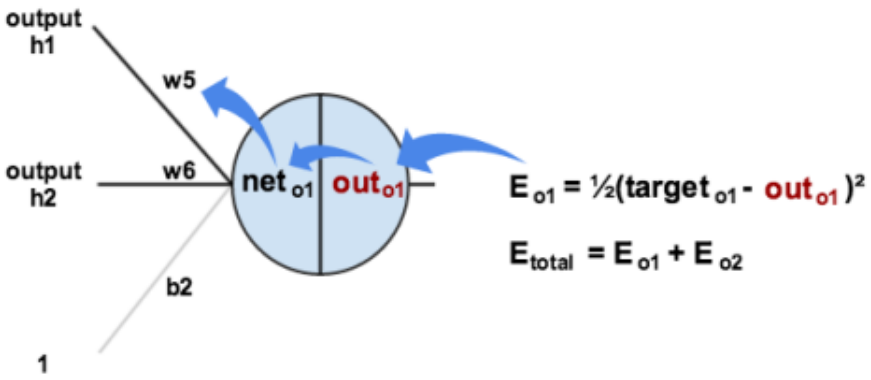
Gdzie n to liczba wejść, w to waga, x to wartość wejściowa.

Propagacja wsteczna Po każdej serii danych wejściowych, wynik jest sprawdzany z spodziewanym wynikiem. Następnie błąd jest liczony wzorem:

$$E = \sum \frac{1}{2}(target - out)^2$$

gdzie E to błąd, $target$ to spodziewane wyniki, out to otrzymane wyniki. Celem propagacji wstecznej jest zminimalizowanie błędu. Wykorzystujemy do tego regułę łańcuchową, która pozwoli obliczyć pochodne funkcji złożonych.

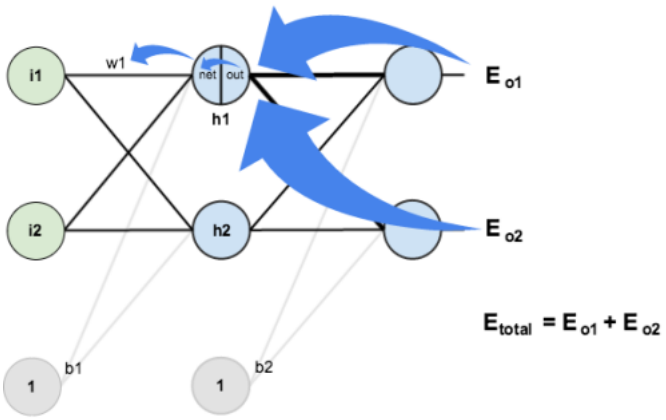
$$\frac{\delta net_{o1}}{\delta w_5} \cdot \frac{\delta out_{o1}}{\delta net_{o1}} \cdot \frac{\delta E_{total}}{\delta out_{o1}} = \frac{\delta E_{total}}{\delta w_5}$$



Rysunek 1: https://mattmazur.com/2015/03/17/a-step-by-step-backpropagation-example/

Następnie, wyznaczamy jak bardzo wynik o_1 zmienia się w odniesieniu do wejścia oraz do wag.

$$\frac{\delta E_{total}}{\delta w_1} = \frac{\delta E_{total}}{\delta out_{h1}} \cdot \frac{\delta out_{h1}}{\delta net_{h1}} \cdot \frac{\delta net_{h1}}{\delta w_1} \longrightarrow \frac{\delta E_{total}}{\delta out_{h1}} = \frac{\delta E_{o1}}{\delta out_{h1}} + \frac{\delta E_{o2}}{\delta out_{h1}}$$



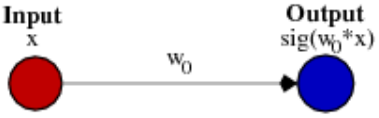
Rysunek 2: https://mattmazur.com/2015/03/17/a-step-by-step-backpropagation-example/

Teraz, możemy zaktualizować wagi:

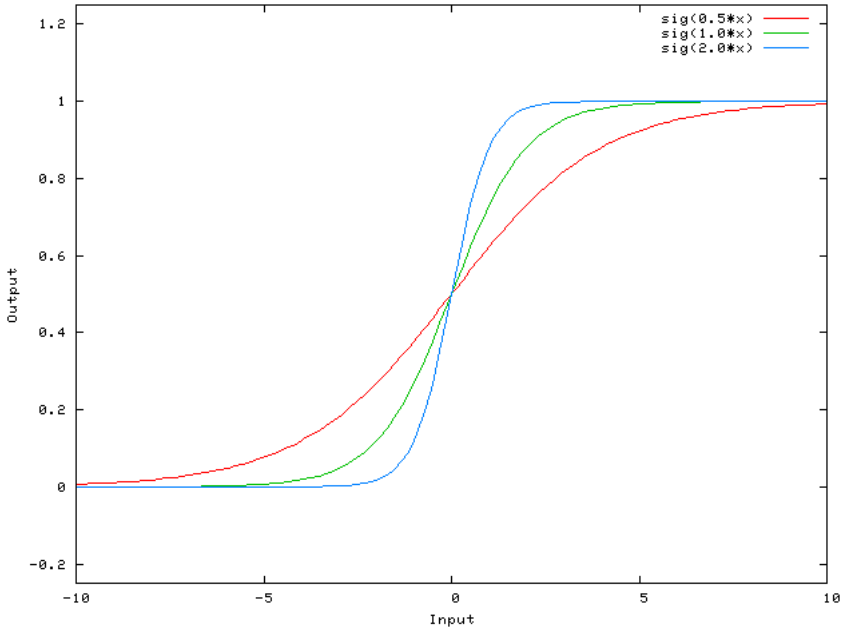
$$w_1^+ = w_1 + \eta \cdot \frac{\delta E_{total}}{\delta w_1}$$

gdzie η to współczynnik uczenia.

Biases Są to wartości, które pozwalają na przesunięcie funkcji aktywacji w sposób, na który zmiana wagi nie pozwala. Przykład funkcji bez bias:

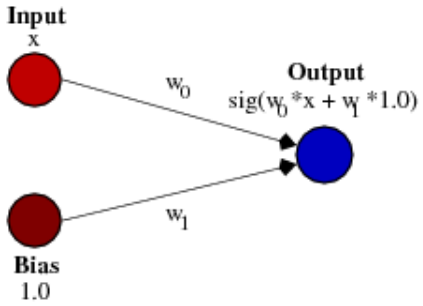


Rysunek 3: https://stackoverflow.com/questions/2480650/role-of-bias-in-neural-networks

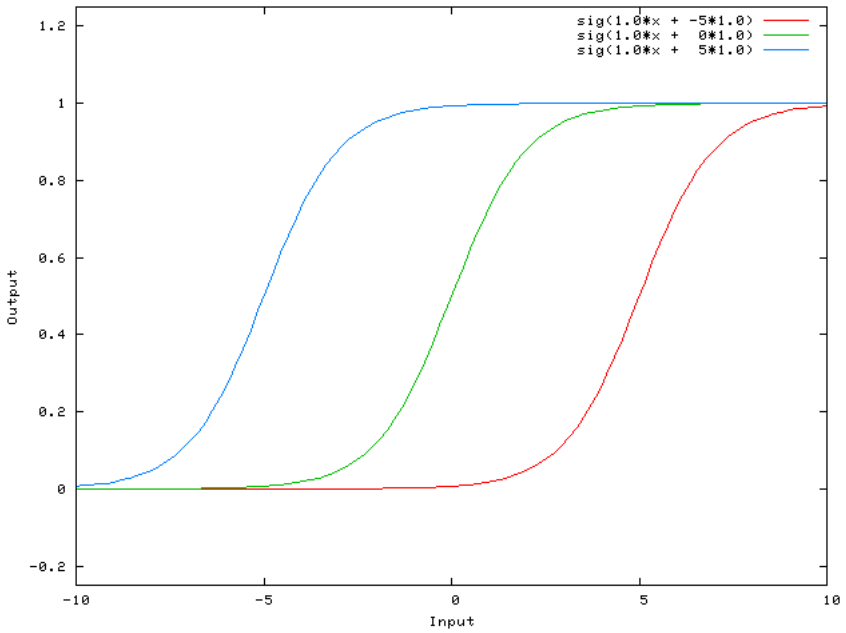


Rysunek 4: https://stackoverflow.com/questions/2480650/role-of-bias-in-neural-networks

Przykład funkcji z bias:



Rysunek 5: https://stackoverflow.com/questions/2480650/role-of-bias-in-neural-networks



Rysunek 6: https://stackoverflow.com/questions/2480650/role-of-bias-in-neural-networks

Wykorzystanie tego jest konieczne aby uczenie zostało zrealizowane z prawidłowymi wynikami.

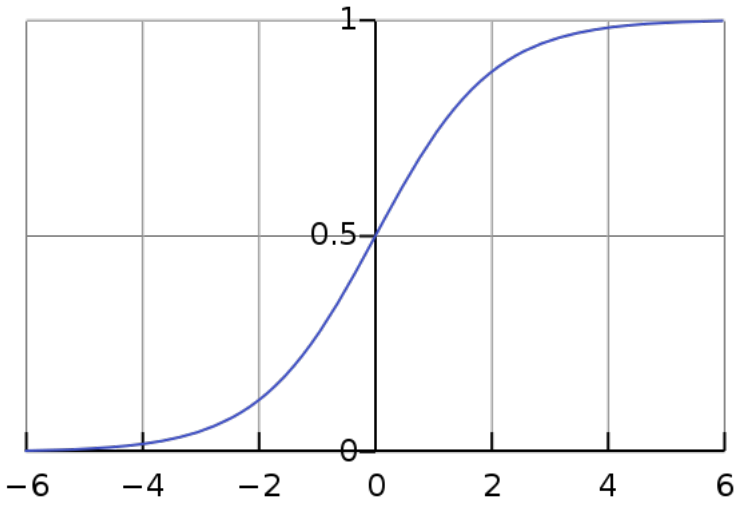
Momentum Jest to współczynnik odpowiadający za dodanie ułamka poprzedniej wagi do aktualnej. Używany jest aby zapobiec zbieżności do lokalnego minimum lub punktu siodłowego. Wysoka wartość tego współczynnika przyspiesza proces konwergencji, jednakże zbyt wysoka może spowodować, że cały system stanie się niestabilny, a zbyt niska spowolni proces uczenia.

Współczynnik uczenia to współczynnik odpowiadający za to jak duże są zmiany wag oraz biasów.

2.1.4 Funkcja Aktywacji

Wartość wyjścia neuronów jest obliczana za pomocą funkcji aktywacji. W tym projekcie została użyta funkcja sigmoidalna:

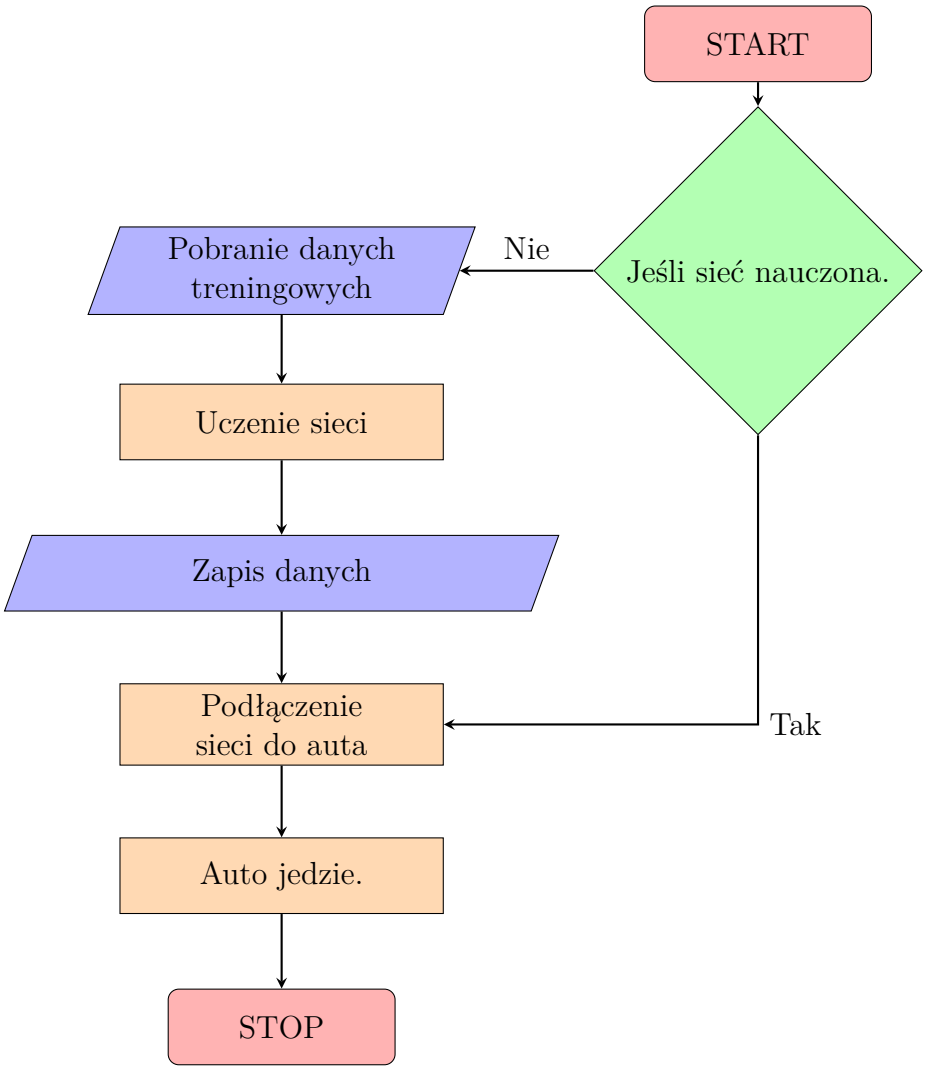
$$S(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} = \frac{e^x}{e^x + 1}$$



Rysunek 7: https://en.wikipedia.org/wiki/Sigmoid_function

Funkcja ta przyjmuje wartości od 0 do 1.

2.2 Algorytm


START
Jeśli sieć nauczona.
Nie
Pobranie danych treningowych
Uczenie sieci
Zapis danych
Podłączenie sieci do auta
Tak
Auto jedzie.
STOP

2.3 Bazy danych

Zestaw danych wykorzystany do uczenia sieci:

```
14.85;14.85;0
15.2;14.53;-0.58
13.32;17.02;1
14.13;15.67;0.91
15.17;14.55;-0.55
11.15;17.01;1
11.61;13.86;0.98
12;12.78;0.65
12.11;12.54;0.41
12.27;12.21;-0.06
9.19;10.16;0.75
11.7;11.57;-0.13
21.19;30.54;1
11.52;13.08;0.92
15.13;14.7;-0.41
13.91;5.75;-1
27.65;7.57;-1
25.97;28.01;0.97
2.45;34.22;1
6.81;25.24;1
16.07;9.18;-1
8.77;28.54;1
53.54;16.19;-1
14.85;14.85;0
11.91;20.92;1
15.48;13.44;-0.97
11.55;42.66;1
9.13;57.46;1
11.39;8.89;-0.99
8.77;17.61;1
6.76;11.94;1
9.29;17.88;1
11.99;14.92;0.99
14.62;23.18;1
9.26;43.26;1
11.42;11.28;-0.14
27.01;15.2;-1
46.28;12.89;-1
9.78;42.4;1
9.7;34.88;1
16.85;29.69;1
13.93;32.74;1
11.93;22.02;1
11.85;12.9;0.78
11.65;13.09;0.89
11.47;13.27;0.95
11.28;36.85;1
16.38;59.26;1
13.28;17.18;1
21.74;9.69;-1
14.12;15.83;0.94
8.96;46.62;1
10.84;25.92;1
10.43;14.23;1
11.96;12.46;0.46
8.41;56.14;1
9.51;9.86;0.34
9.58;9.8;0.22
8.58;34.3;1
11.4;28.29;1
12.04;18.61;1
9.9;12.58;0.99
11.4;12.29;0.71
21.91;14.5;-1
27.92;10.77;-1
10.56;41.72;1
12.83;34.31;1
22.76;12.84;-1
14.72;41.8;1
10.84;17.78;1
13.08;11.69;-0.88
11.38;13.75;0.98
12.49;44.46;1
18.94;62.05;1
14.82;15.15;0.32
15.99;13.69;-0.98
14.75;14.95;0.2
14.61;15.09;0.45
13.22;25.17;1
8.73;44.85;1
12.02;13.28;0.85
8.11;18.57;1
9.59;9.82;0.23
8;11.66;1
9.77;32.76;1
12.85;12.84;-0.01
17.03;20.62;1
10.1;13.55;1
29.72;11.01;-1
23.51;24.2;0.6
10.39;14.55;1
9.35;38.1;1
14.44;31.04;1
17.75;45.91;1
15.47;8.69;-1
10.89;21.47;1
11.22;13.82;0.99
11.57;13.18;0.92
13.29;40.47;1
16.3;27.81;1
14.79;14.91;0.12
14.79;14.91;0.12
17.33;13.24;-1
14.83;14.86;0.03
14.83;14.86;0.03
15.97;13.94;-0.97
15.97;13.94;-0.97
14.82;14.87;0.05
13.13;17.46;1
14.07;15.7;0.93
13.51;16.47;0.99
14.15;15.53;0.88
12.79;17.21;1
12.02;48.39;1
10.48;16.74;1
10.48;16.74;1
11.78;12.9;0.81
11.78;12.9;0.81
14.1;10.7;-1
14.1;10.7;-1
12.61;11.8;-0.67
12.61;11.8;-0.67
12.6;11.81;-0.66
10.3;53.25;1
9.32;56.21;1
11.54;7.91;-1
10.98;8.66;-0.98
17.35;6.73;-1
```

2.4 Implementacja

Projekt powstał z wykorzystaniem narzędzi Unity. Funkcjonalność została zawarta w folderze Assets/Scripts, którego zawartość wygląda następująco:

- Controllers
  - AutonomicCarController.cs
  - BrainController.cs
  - CarController.cs
  - ManualCarController.cs
- NeuralNetwork
  - Helpers
    - ExportHelper.cs
    - HelperNetwork.cs
    - ImportHelper.cs
  - NetworkModels
    - Dataset.cs
    - Network.cs
    - Neuron.cs
    - Sigmoid.cs
    - Synapse.cs
- Serializers
  - ISerializer.cs
  - XmlSerializer.cs

Klasy i opis ich metod:

- AutonomicCarController.cs
  - Update() - Wywołuje metodę sprawdzającą dystans do ścian, metodę ruchu i metodę sterowania.
- BrainController.cs
  - Compute(double,double) - Pobiera z sieci wynik na podstawie odległości od ścian.
  - Load() - Odtworzenie sieci neuronowej z wskazanego pliku.
  - Save() - Zapis instancji sieci neuronowej do wskazanego pliku.
  - TestNetwork() - Testuje sieć.
  - Train() - Uczy sieć na podstawie danych z wskazanego pliku.

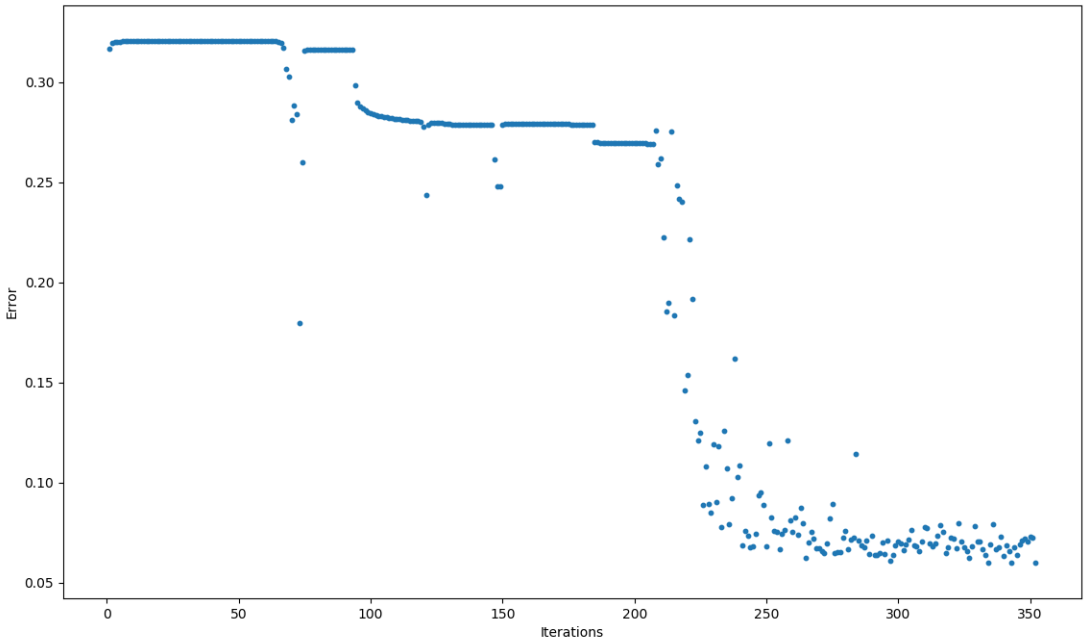
- CarController.cs
  - MoveForward() - Ruch do przodu.
  - TurnLeft() - Skręt w lewo.
  - TurnRight() - Skręt w prawo.
  - Update() - Wywołuje metodę sprawdzającą dystans do ścian.
- ManualCarController.cs
  - Update() - Wywołuje metodę sprawdzającą dystans do ścian oraz jeśli zbiera dane to wywołuje metodę zbierającą dane do uczenia.
- ExportHelper.cs
  - ExportNetwork(Network, string, ISerializer) - wywołuje metodę pobierającą sieć i eksportuje są do pliku.
- HelperNetwork.cs
  - HelperNetwork() - Konstruktor tworzący listy neuronów dla warstwy wejściowej, wyjściowej, listę list neuronów warstw ukrytych oraz listę synaps.
- ImportHelper.cs
  - ImportNetwork(string, ISerializer) - Importuje sieć z pliku.
- Dataset.cs
  - DataSet(double[], double[]) - Konstruktor klasy DataSet.
- Network.cs
  - Compute(double[]) - Wywołuje metodę przedniej propagacji i pobiera wyniki z warstwy wyjściowej.
  - GetRandom() - Zwraca losową liczbę.
  - Network() - Konstruktor.
  - Network(int,int[],int,double?,double?,bool) - Konstruktor.
  - Train(List<DataSet>,double) - Wywołuje metody propagacji aż średni błąd będzie mniejszy niż podano.
  - Train(List<DataSet>,int) - Wywołuje metody propagacji aż zostanie osiągnięta określona liczba powtórzeń.
- Neuron.cs
  - CalculateError(double) - Oblicza błąd
  - CalculateGradient(double?) - Oblicza gradient.
  - CalculateValue() - Oblicza wartość.

  - Neuron() - Konstruktor.
  - Neuron(IEnumerable<Neuron>) - Tworzy połączenia synaps między neuronami.
  - UpdateWeights(double,double) - Aktualizuje wagi.
- Sigmoid.cs
  - Output(double) - Zwraca wynik funkcji w zależności od podanej wartości.
  - Derivative(double) - zwraca pochodną funkcji.
- Synapse.cs
  - Synapse() - Konstruktor.
  - Synapse(Neuron,Neuron) - Konstruktor z wejściowym i wyjściowym neuronem.
- XmlSerializer.cs
  - Deserialize(string) - Odczytuje sieć z pliku.
  - Serialize(HelperNetwork, string) - Zapisuje sieć do pliku.

2.5 Testy

Sieć działa prawidłowo. Samochód porusza się po torze w sposób zadowalający.

Wykres błędów :



3 Pełen kod aplikacji

3.1 Neuron

```
public class Neuron
{
    #region -- Properties --
    public Guid Id { get; set; }
    public List<Synapse> InputSynapses { get; set; }
    public List<Synapse> OutputSynapses { get; set; }
    public double Bias { get; set; }
    public double BiasDelta { get; set; }
    public double Gradient { get; set; }
    public double Value { get; set; }
    #endregion

    #region -- Constructors --
    public Neuron()
    {
        Id = Guid.NewGuid();
        InputSynapses = new List<Synapse>();
        OutputSynapses = new List<Synapse>();
        Bias = Network.GetRandom();
    }

    public Neuron(IEnumerable<Neuron> inputNeurons) : this()
    {
        foreach (var inputNeuron in inputNeurons)
        {
            var synapse = new Synapse(inputNeuron, this);
            inputNeuron.OutputSynapses.Add(synapse);
            InputSynapses.Add(synapse);
        }
    }
    #endregion

    #region -- Values & Weights --
    public virtual double CalculateValue()
    {
        return Value = Sigmoid.Output(InputSynapses.Sum(a =>
           a.Weight * a.InputNeuron.Value) + Bias);
    }

    public double CalculateError(double target)
    {
        return target - Value;
    }
```

```
    public double CalculateGradient(double? target = null)
    {
        if (target == null)
            return Gradient = OutputSynapses.Sum(a =>
               a.OutputNeuron.Gradient * a.Weight) *
               Sigmoid.Derivative(Value);

        return Gradient = CalculateError(target.Value) *
           Sigmoid.Derivative(Value);
    }

    public void UpdateWeights(double learnRate, double momentum)
    {
        var prevDelta = BiasDelta;
        BiasDelta = learnRate * Gradient;
        Bias += BiasDelta + momentum * prevDelta;

        foreach (var synapse in InputSynapses)
        {
            prevDelta = synapse.WeightDelta;
            synapse.WeightDelta = learnRate * Gradient *
               synapse.InputNeuron.Value;
            synapse.Weight += synapse.WeightDelta + momentum *
               prevDelta;
        }
    }
    #endregion
}
```

3.2 Synapse

```
public class Synapse
{
    #region -- Properties --
    public Guid Id { get; set; }
    public Neuron InputNeuron { get; set; }
    public Neuron OutputNeuron { get; set; }
    public double Weight { get; set; }
    public double WeightDelta { get; set; }
    #endregion

    #region -- Constructor --
    public Synapse() { }

    public Synapse(Neuron inputNeuron, Neuron outputNeuron)
    {
        Id = Guid.NewGuid();
        InputNeuron = inputNeuron;
        OutputNeuron = outputNeuron;
        Weight = Network.GetRandom();
    }
    #endregion
}
```

3.3 Network

```
public class Network
{
    #region -- Properties --
    public double LearnRate { get; set; }
    public double Momentum { get; set; }
    public List<Neuron> InputLayer { get; set; }
    public List<List<Neuron>> HiddenLayers { get; set; }
    public List<Neuron> OutputLayer { get; set; }
    public bool ShowIterationError { get; set; }
    #endregion

    #region -- Globals --
    private static readonly Random Random = new Random();
    #endregion

    #region -- Constructor --
    public Network()
    {
        LearnRate = 0;
        Momentum = 0;
```

```
        InputLayer = new List<Neuron>();
        HiddenLayers = new List<List<Neuron>>();
        OutputLayer = new List<Neuron>();
    }

    public Network(int inputSize, int[] hiddenSizes, int
       outputSize, double? learnRate = null, double? momentum =
       null, bool showIterationError = false)
    {
        ShowIterationError = showIterationError;
        LearnRate = learnRate ?? .4;
        Momentum = momentum ?? .9;
        InputLayer = new List<Neuron>();
        HiddenLayers = new List<List<Neuron>>();
        OutputLayer = new List<Neuron>();

        for (var i = 0; i < inputSize; i++)
            InputLayer.Add(new Neuron());

        var firstHiddenLayer = new List<Neuron>();
        for (var i = 0; i < hiddenSizes[0]; i++)
            firstHiddenLayer.Add(new Neuron(InputLayer));

        HiddenLayers.Add(firstHiddenLayer);

        for (var i = 1; i < hiddenSizes.Length; i++)
        {
            var hiddenLayer = new List<Neuron>();
            for (var j = 0; j < hiddenSizes[i]; j++)
                hiddenLayer.Add(new Neuron(HiddenLayers[i -
                   1]));
            HiddenLayers.Add(hiddenLayer);
        }

        for (var i = 0; i < outputSize; i++)
            OutputLayer.Add(new Neuron(HiddenLayers.Last()));
    }
    #endregion

    #region -- Training --
    public void Train(List<DataSet> dataSets, int numEpochs)
    {
        for (var i = 0; i < numEpochs; i++)
        {
            foreach (var dataSet in dataSets)
            {
                ForwardPropagate(dataSet.Values);
                BackPropagate(dataSet.Targets);
```

```
        }
    }
}

public void Train(List<DataSet> dataSets, double
   minimumError)
{
    var error = 1.0;
    var numEpochs = 0;

    while (error > minimumError && numEpochs < int.MaxValue)
    {
        var errors = new List<double>();
        foreach (var dataSet in dataSets)
        {
            ForwardPropagate(dataSet.Values);
            BackPropagate(dataSet.Targets);
            errors.Add(CalculateError(dataSet.Targets));
        }
        error = errors.Average();
        numEpochs++;

        if(ShowIterationError)
            Console.WriteLine(error);
    }
}

private void ForwardPropagate(params double[] inputs)
{
    var i = 0;
    InputLayer.ForEach(a => a.Value = inputs[i++]);
    HiddenLayers.ForEach(a => a.ForEach(b =>
       b.CalculateValue()));
    OutputLayer.ForEach(a => a.CalculateValue());
}

private void BackPropagate(params double[] targets)
{
    var i = 0;
    OutputLayer.ForEach(a =>
       a.CalculateGradient(targets[i++]));
    HiddenLayers.Reverse();
    HiddenLayers.ForEach(a => a.ForEach(b =>
       b.CalculateGradient()));
    HiddenLayers.ForEach(a => a.ForEach(b =>
       b.UpdateWeights(LearnRate, Momentum)));
    HiddenLayers.Reverse();
```

```
            OutputLayer.ForEach(a => a.UpdateWeights(LearnRate,
                Momentum));
        }

        public double[] Compute(params double[] inputs)
        {
            ForwardPropagate(inputs);
            return OutputLayer.Select(a => a.Value).ToArray();
        }

        private double CalculateError(params double[] targets)
        {
            var i = 0;
            return OutputLayer.Sum(a =>
                Math.Abs(a.CalculateError(targets[i++])));
        }
        #endregion

        #region -- Helpers --
        public static double GetRandom()
        {
            return 2 * Random.NextDouble() - 1;
        }
        #endregion
    }

    #region -- Enum --
    public enum TrainingType
    {
        Epoch,
        MinimumError
    }
    #endregion
```

3.4 Sigmoid

```
public static class Sigmoid
{
    public static double Output(double x)
    {
        return x < -45.0 ? 0.0 : x > 45.0 ? 1.0 : 1.0 / (1.0 +
           Math.Exp(-x));
    }

    public static double Derivative(double x)
    {
        return x * (1 - x);
    }
}
```

3.5 Dataset

```
public class DataSet
{
    #region -- Properties --
    public double[] Values { get; set; }
    public double[] Targets { get; set; }
    #endregion

    #region -- Constructor --
    public DataSet(double[] values, double[] targets)
    {
        Values = values;
        Targets = targets;
    }
    #endregion
}
```

3.6 ExportHelper

```
public static class ExportHelper
{
    public static void ExportNetwork(Network network, string
       filename, ISerializer serializer)
    {
        var dn = GetHelperNetwork(network);

        serializer.Serialize(dn, filename);
    }

    private static HelperNetwork GetHelperNetwork(Network
       network)
    {
        var hn = new HelperNetwork
        {
            LearnRate = network.LearnRate,
            Momentum = network.Momentum
        };

        //Input Layer
        foreach (var n in network.InputLayer)
        {
            var neuron = new HelperNeuron
            {
                Id = n.Id,
                Bias = n.Bias,
                BiasDelta = n.BiasDelta,
                Gradient = n.Gradient,
                Value = n.Value
            };

            hn.InputLayer.Add(neuron);

            foreach (var synapse in n.OutputSynapses)
            {
                var syn = new HelperSynapse
                {
                    Id = synapse.Id,
                    OutputNeuronId = synapse.OutputNeuron.Id,
                    InputNeuronId = synapse.InputNeuron.Id,
                    Weight = synapse.Weight,
                    WeightDelta = synapse.WeightDelta
                };

                hn.Synapses.Add(syn);
            }
```

```
}

//Hidden Layer
foreach (var l in network.HiddenLayers)
{
    var layer = new List<HelperNeuron>();

    foreach (var n in l)
    {
        var neuron = new HelperNeuron
        {
            Id = n.Id,
            Bias = n.Bias,
            BiasDelta = n.BiasDelta,
            Gradient = n.Gradient,
            Value = n.Value
        };

        layer.Add(neuron);

        foreach (var synapse in n.OutputSynapses)
        {
            var syn = new HelperSynapse
            {
                Id = synapse.Id,
                OutputNeuronId =
                   synapse.OutputNeuron.Id,
                InputNeuronId = synapse.InputNeuron.Id,
                Weight = synapse.Weight,
                WeightDelta = synapse.WeightDelta
            };

            hn.Synapses.Add(syn);
        }
    }

    hn.HiddenLayers.Add(layer);
}

//Output Layer
foreach (var n in network.OutputLayer)
{
    var neuron = new HelperNeuron
    {
        Id = n.Id,
        Bias = n.Bias,
        BiasDelta = n.BiasDelta,
        Gradient = n.Gradient,
```

```
                Value = n.Value
            };

            hn.OutputLayer.Add(neuron);

            foreach (var synapse in n.OutputSynapses)
            {
                var syn = new HelperSynapse
                {
                    Id = synapse.Id,
                    OutputNeuronId = synapse.OutputNeuron.Id,
                    InputNeuronId = synapse.InputNeuron.Id,
                    Weight = synapse.Weight,
                    WeightDelta = synapse.WeightDelta
                };

                hn.Synapses.Add(syn);
            }
        }

        return hn;
    }
}
```

3.7 ImportHelper

```
public static class ImportHelper
{
    public static Network ImportNetwork(string filename,
       ISerializer serializer)
    {
        var dn = GetHelperNetwork(filename, serializer);
        if (dn == null) return null;

        var network = new Network();
        var allNeurons = new List<Neuron>();

        network.LearnRate = dn.LearnRate;
        network.Momentum = dn.Momentum;

        //Input Layer
        foreach (var n in dn.InputLayer)
        {
            var neuron = new Neuron
            {
                Id = n.Id,
                Bias = n.Bias,
```

```
            BiasDelta = n.BiasDelta,
            Gradient = n.Gradient,
            Value = n.Value
        };

        network.InputLayer.Add(neuron);
        allNeurons.Add(neuron);
    }

    //Hidden Layers
    foreach (var layer in dn.HiddenLayers)
    {
        var neurons = new List<Neuron>();
        foreach (var n in layer)
        {
            var neuron = new Neuron
            {
                Id = n.Id,
                Bias = n.Bias,
                BiasDelta = n.BiasDelta,
                Gradient = n.Gradient,
                Value = n.Value
            };

            neurons.Add(neuron);
            allNeurons.Add(neuron);
        }

        network.HiddenLayers.Add(neurons);
    }

    //Export Layer
    foreach (var n in dn.OutputLayer)
    {
        var neuron = new Neuron
        {
            Id = n.Id,
            Bias = n.Bias,
            BiasDelta = n.BiasDelta,
            Gradient = n.Gradient,
            Value = n.Value
        };

        network.OutputLayer.Add(neuron);
        allNeurons.Add(neuron);
    }

    //Synapses
```

```
            foreach (var syn in dn.Synapses)
            {
                var synapse = new Synapse { Id = syn.Id };
                var inputNeuron = allNeurons.First(x => x.Id ==
                   syn.InputNeuronId);
                var outputNeuron = allNeurons.First(x => x.Id ==
                   syn.OutputNeuronId);
                synapse.InputNeuron = inputNeuron;
                synapse.OutputNeuron = outputNeuron;
                synapse.Weight = syn.Weight;
                synapse.WeightDelta = syn.WeightDelta;

                inputNeuron.OutputSynapses.Add(synapse);
                outputNeuron.InputSynapses.Add(synapse);
            }

            return network;
        }

        private static HelperNetwork GetHelperNetwork(string
           filename, ISerializer serializer)
        {
            return serializer.Deserialize(filename);
        }

    }
```

3.8 Helpers

```
    public class HelperNetwork
    {
        public double LearnRate { get; set; }
        public double Momentum { get; set; }
        public List<HelperNeuron> InputLayer { get; set; }
        public List<List<HelperNeuron>> HiddenLayers { get; set; }
        public List<HelperNeuron> OutputLayer { get; set; }
        public List<HelperSynapse> Synapses { get; set; }

        public HelperNetwork()
        {
            InputLayer = new List<HelperNeuron>();
            HiddenLayers = new List<List<HelperNeuron>>();
            OutputLayer = new List<HelperNeuron>();
            Synapses = new List<HelperSynapse>();
        }
    }
```

```
    public class HelperNeuron
    {
        public Guid Id { get; set; }
        public double Bias { get; set; }
        public double BiasDelta { get; set; }
        public double Gradient { get; set; }
        public double Value { get; set; }
    }

    public class HelperSynapse
    {
        public Guid Id { get; set; }
        public Guid OutputNeuronId { get; set; }
        public Guid InputNeuronId { get; set; }
        public double Weight { get; set; }
        public double WeightDelta { get; set; }
    }
```

3.9 Serializer

```
public interface ISerializer
{
    void Serialize(HelperNetwork network, string filename);
    HelperNetwork Deserialize(string filename);
}
public class XmlSerializer : ISerializer
{
    public HelperNetwork Deserialize(string filename)
    {
        using (var reader = new StreamReader(filename))
        {
            var serializer = new
               System.Xml.Serialization.XmlSerializer(typeof(HelperNetwork));
            return serializer.Deserialize(reader) as HelperNetwork;
        }
    }
    public void Serialize(HelperNetwork network,string filename)
    {
        using (var writer = new StreamWriter(filename))
        {
            var serializer = new
               System.Xml.Serialization.XmlSerializer(network.GetType());
            serializer.Serialize(writer, network);
        }
    }
}
```

3.10 CarController

```
    public abstract class CarController : MonoBehaviour
{
    [Header("Steering")]
    public int MovementSpeed;
    public int RotationSpeed;

    [Header("Sensors")]
    public float SensorLength;
    public float SensorAngle;

    public float DistanceToLeftWall { get; private set; }
    public float DistanceToRightWall { get; private set; }


    // Update is called once per frame
    protected virtual void Update () {
        getDistanceToWalls();
    }

    public void MoveForward()
    {
        transform.position += transform.forward * MovementSpeed *
           Time.deltaTime;
    }

    public void TurnLeft()
    {
        transform.Rotate(Vector3.down * Time.deltaTime *
           RotationSpeed);
    }

    public void TurnRight()
    {
        transform.Rotate(Vector3.up * Time.deltaTime *
           RotationSpeed);
    }

    private void getDistanceToWalls()
    {
        RaycastHit leftHit;
        RaycastHit rightHit;
        Vector3 leftSensorStartPosition = transform.position;
        Vector3 rightSensorStartPosition = transform.position;

        if (Physics.Raycast(leftSensorStartPosition,
           Quaternion.AngleAxis(-SensorAngle, transform.up) *
```

```
            transform.forward, out leftHit, SensorLength))
        {
            DistanceToLeftWall =
                Vector3.Distance(leftSensorStartPosition,
                leftHit.point);
            Debug.DrawLine(leftSensorStartPosition, leftHit.point);
        }

        if (Physics.Raycast(rightSensorStartPosition,
            Quaternion.AngleAxis(SensorAngle, transform.up) *
            transform.forward, out rightHit, SensorLength))
        {
            DistanceToRightWall =
                Vector3.Distance(rightSensorStartPosition,
                rightHit.point);
            Debug.DrawLine(rightSensorStartPosition,
                rightHit.point);
        }
    }

    void OnTriggerEnter(Collider other)
    {
        SceneManager.LoadScene(SceneManager.GetActiveScene().name);
    }
}
```

3.11 AutonomicCarController

```
public class AutonomicCarController : CarController
{
    [Header("Neural network holder")]
    // Odwolanie do obiektu z siecia neuronowa
    public BrainController Brain;

    private const double turnRightCondition = 2f / 3f;
    private const double turnLeftCondition = 1f / 3f;

    // Update is called once per frame
    protected override void Update ()
    {
        base.Update();
        MoveForward();
        steer();
    }
    private void steer()
    {
        neuralNetworkSteer();
    }
    private void simpleSteer()
    {
        var difference = DistanceToRightWall - DistanceToLeftWall;
        makeDecision(difference, 1, -1);
    }
    private void neuralNetworkSteer()
    {
        var networkOutput = Brain.Compute(DistanceToLeftWall,
           DistanceToRightWall);
        makeDecision(networkOutput, turnRightCondition,
           turnLeftCondition);
    }

    private void makeDecision(double value, double
       turnRightCondition, double turnLeftCondition)
    {
        if (value > turnRightCondition)
            TurnRight();
        else if (value < turnLeftCondition)
            TurnLeft();
    }
}
```

3.12 ManualCarController

```
public class ManualCarController : CarController
{
    [Header("Steering")]
    public KeyCode UpKey = KeyCode.W;
    public KeyCode RightKey = KeyCode.D;
    public KeyCode LeftKey = KeyCode.A;

    [Header("Learning Data")]
    public bool CollectLearningData;
    public double CollectiongDataInterval;
    public string LearnignDataFileName;

    private double elapsedTimeSinceLastCollection = 0;
    private const char learningFileDelimiter = ';';


    // Update is called once per frame
    protected override void Update ()
    {
        base.Update();

        move();

        if (CollectLearningData)
        {
            elapsedTimeSinceLastCollection += Time.deltaTime;

            if (elapsedTimeSinceLastCollection >=
               CollectiongDataInterval)
            {
                collectLearningdata();
                elapsedTimeSinceLastCollection = 0;
            }
        }
    }

    private void move()
    {
        if (Input.GetKey(UpKey))
        {
            MoveForward();
        }

        if (Input.GetKey(RightKey))
        {
            TurnRight();
```

```
        }
        if (Input.GetKey(LeftKey))
        {
            TurnLeft();
        }
    }

    private void collectLearningdata()
    {
        using (var writer = File.AppendText(LearnignDataFileName))
        {
            var expectedOutput = Sigmoid.Output(DistanceToRightWall
               - DistanceToLeftWall);
            Debug.Log(expectedOutput);
            writer.WriteLine(string.Format("{0}{3}{1}{3}{2}",
               DistanceToLeftWall, DistanceToRightWall,
               expectedOutput, learningFileDelimiter));
            Debug.Log(DistanceToLeftWall + " " +
               DistanceToRightWall + " " + expectedOutput);
        }
    }
}
```

3.13 BrainController

```
public class BrainController : MonoBehaviour
{
    [Header("Learned")]
    public string LearnedNetworkFileName;

    [Header("Learning")]
    public bool TrainOnInit;
    public string LearningFileName;
    public double MaxError;

    private const char _learningFileDelimiter = ';';

    public NeuralNetwork.NetworkModels.Network NeuralNetwork { get;
       private set; }

    // Use this for initialization
    void Start ()
    {
        if (TrainOnInit)
            Train();
        else
            Load();
```

```
}

/// <summary>
/// Wyciaga z sieci wynik na podstawie odleglosci od scian
/// </summary>
/// <param name="distanceToLeftWall"></param>
/// <param name="distanceToRightWall"></param>
/// <returns></returns>
public double Compute(double distanceToLeftWall, double
   distanceToRightWall)
{
    return NeuralNetwork.Compute(new double[] {
       distanceToLeftWall, distanceToRightWall })[0];
}

public void Train()
{
    NeuralNetwork.Train(getDatasets(), MaxError);
}

public void Save()
{
    ExportHelper.ExportNetwork(NeuralNetwork,
       LearnedNetworkFileName, new XmlSerializer());
}

public void Load()
{
    NeuralNetwork =
       ImportHelper.ImportNetwork(LearnedNetworkFileName, new
       XmlSerializer());
}

public void TestNetwork()
{
    double l = 14;
    double r = 14;
    Debug.Log (NeuralNetwork.Compute(new double[] { l, r })[0]
       );

    l = 20;
    r = 10;
    Debug.Log(NeuralNetwork.Compute(new double[] { l, r })[0]);

    l = 10.72468;
    r = 42.37657;
    Debug.Log(NeuralNetwork.Compute(new double[] { l, r })[0]);
}
```

```
    private List<DataSet> getDatasets()
    {
        var result = new List<DataSet>();

        using (var reader = new StreamReader(LearningFileName))
        {
            while(!reader.EndOfStream)
            {
                var elements =
                   reader.ReadLine().Split(_learningFileDelimiter);
                var dataset = new DataSet(new double[] {
                   double.Parse(elements[0]),
                   double.Parse(elements[1]) }, new double[] {
                   double.Parse(elements[2]) });
                result.Add(dataset);
            }
        }

        return result;
    }
}
```