

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського"

Факультет прикладної математики Кафедра системного програмування і спеціалізованих комп'ютерних систем

Розрахунково-графічна робота

з дисципліни

"Системи штучного інтелекту"

Група: КВ-41мн

Виконав: Пилипченко Б. О.

Зміст

1.	Зав	дання на роботу	3					
	Про реалізацію							
		тування						
		8 класів						
		16 класів						
Ви	CHOBK	(И	14					

1. Завдання на роботу

Написати програму реалізації нейронної мережі Кохонена. Згенерувати Q (10 - 25) бінарних векторів, що належати до різних з M (8 - 16) класів. Розмір кожного з векторів N (25 - 50) елементів. Наприклад,

```
1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, //class 0
1, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, //class 0
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, //class 1
0, 0, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 0, 0, 0, //class 2
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, //class 1
0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, //class 2
```

Згенерувати декілька датасетів із різною кількістю класів. Для кожного датасету створити окрему мережу і навчити її, дослідити залежність кількості хибно класифікованих векторів від загальної кількості навчальних епох.

2. Про реалізацію

Мережа Кохонена була реалізована мовою програмування С#.

Посилання на гітхаб репозиторій: Bohdan628318ylypchenko/Kohonen-Net

У програмі мережа представляється у вигляді матриці, колонки матриці є ваговими коефіцієнтами відповідних кластерів (клас KNet). Класифікація зразка виконується наступним чином:

- 1. Вектор-зразок множиться на матрицю вагових коефіцієнтів мережі.
- 2. Клас зразка вважається рівним індексу найбільшого елемента вектору результату множення зразка на вагові коефіцієнти.

Навчання мережі на датасеті реалізоване методом Train (клас KNet):

```
public void Train(Dataset dataset, int epochCount, double l)
{
   var shuffledSamples = new Vector<double>[dataset.SampleCount];
   Array.Copy(dataset.Samples, shuffledSamples, dataset.SampleCount);
   for (var i = 0; i < epochCount; i++)
   {
        RandomSingleton.Generator.Shuffle(shuffledSamples);
        foreach (var sample in shuffledSamples)
        {
            int indexOfGroup = PredictAsInternal(sample);
            var columnOfGroup = weights.Column(indexOfGroup);
            weights.SetColumn(indexOfGroup, columnOfGroup + (sample - columnOfGroup).Multiply(l));
        }
    }
    UpdateGroupOrder();
}</pre>
```

Параметрами навчання є:

- Навчальний датасет
- Кількість епох
- Коефіцієнт спотворення образу L

Критерій зупинки навчання – виконання заданої кількості епох.

Епохою є проходження по усім зразкам датасету із корегуванням відповідної колонки матриці вагових коефіцієнтів для кожного зразка за формулою:

$$w'_i = w_i + L * (s - w_i)$$
, де:

- s поточний зразок,
- i ідентифікатор (індекс) класу, до якого було віднесено зразок s,
- w'_i нове значення вагових коефіцієнтів і-того класу,
- w_i поточне значення вагових коефіцієнтів і-того класу,
- L коефіцієнт спотворення образу L.

Варто звернути увагу, що перед проходженням зразків датасет перемішується випадковим чином. Перемішування відбувається окремо для кожної епохи. Початкова реалізація мережі не містила перемішування датасету. Спроби навчити мережу без перемішування зразків призводили до нездатності мережі розрізняти зразки деяких класів (зазвичай 2 класів). Додавання перемішування значно пришвидшило навчання мережі за однакову кількість епох, дозволило отримувати мережі, які правильно розпізнають зразків ВСІХ класів із датасету.

3. Тестування

3.1 8 класів

Параметри датасету:

розмірність векторів - 32

кількість класів – 8

кількість векторів - 25

```
1 reference
private static void Research8Groups()
{
    const int propertyCount = 32;
    const int groupCount = 8;
    const int sampleCount = 25;

    var originalDataset = new DatasetGenerator(groupCount).GenerateDataset(propertyCount, sampleCount);
```

Згенерований датасет:

```
== Research 8 groups ===
Original dataset:
Dataset -1126483534
Sample count = 25
sample 0 0 0 0 0 0 0 0 0
                         00000
                                      00000
                                                                 group = 6
sample 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
                                  0
                                    0001100
                                                 00000
                                                            0 0
                                                                 group = 5
sample 0 0 0
             1001
                    0
                        0
                         0 0
                             000
                                  0
                                    0
                                      00000
                                               0
                                                  Θ
                                                                 group = 1
sample 0 0 0
             00000
                      0
                        0
                         00000
                                  0
                                    0
                                      00000
                                               0
                                                      0
           0
                                                 000
                                                            0 1
                                                                 group = 7
sample 0 0 0
             00000
                      0
                        0
                         0
                           0
                             0
                               0
                                 0
                                  0
                                    0
                                      001
                                            1
                                             0
                                               1
                                                 0
                                                  0 0
                                                                 group = 5
sample 0 0 0
             00000
                      0
                        0
                         0
                           0
                             0 0 0
                                  0
                                    0
                                      0 0
                                          0 0
                                             0
                                               0
                                                 1
                                                                 group = 6
sample 0 0
             0000
                    0
                      0
                        0
                          0
                           0
                             0
                               0
                                 0
                                   0
                                    0
                                      0
                                        0
                                          1
                                            0
                                             1
                                               1
                                                                 qroup = 5
                             0
                                 0
                                                                 group = 4
sample 0 0 0
             0000
                    0
                      0
                        0
                          0
                           1 0 1
                                 1
                                   0
                                    0
                                      0 0
                                          0 0
                                             0
                                               0
                                                                 group = 3
             00000
                             0
                                0
                                   0
                                    0
                                      0
                                          0 0
                                                                 group = 0
sample 1 0 1
                          0
                           0
                               0
                                        0
                                             0
sample 0 0 0
           0
             0000
                    0
                      0
                        0
                         0
                           0
                             0
                               0
                                0
                                   0
                                    0
                                      00000
                                               0
                                                        0
                                                            0
                                                                 group = 6
                                 0
                                      0
                                          000
sample 0 0 0
             10010
                      0
                        0
                          0
                           0
                             0
                               0
                                  0
                                    0
                                        0
                                                                 group = 1
                        1
                             000
                                    0
                                      00000
sample 0 0 0
           0
             00001
                      1
                          0
                           0
                                   0
                                               0
                                                                 group = 2
                                 0
sample 1 0 0
             000
                  0
                    0
                      0
                        0
                          0
                           0
                             0
                               0
                                   0
                                    0
                                      0
                                        0
                                          00
                                             0
                                                                 group = 0
                             0
                               0
                                 0
                                          0
                                                                 group = 2
                                 1
                                                                 group = 3
sample 0 0 0
             0000
                    0
                      0
                        0
                             1
                                   0
                                    0
                                      0000
                                             Θ
                                               0
             00000
                             1
                               0 1
                                   0
                                    0
                                      0
                                        0
                                          0 0
                                             0
sample 0 0 0
                          0
                           1
                                                                 group = 3
sample 1 1 1
           100000
                      0
                        0
                         0
                           0
                             0
                               0
                                0
                                   0
                                    0
                                      0000
                                             0
                                               0
                                                  0 0
                                                        0
                                                            0
                                                                 group = 0
                    0
                          0
                             0
                               0
                                 0
                                  0
                                    0
                                      0 0
                                          0 0
                                             0
sample 1 1 0
           1
             0000
                      0
                        0
                           0
                                                   0
                                                                 group = 0
             00000
                      0
                        0
                         0
                           0 0 0 0
                                  1
                                    0
                                      1 1 0 0 0
sample 0 0 0
                                               0
                                                 0
                                                  0 0
                                                      0 0
                                                                 qroup = 4
sample 0 0 0
           0
             00000
                      0
                        0
                         0
                           0
                             0
                               0
                                 0
                                   1
                                    0
                                      0100
                                             0
                                               0
                                                 0
                                                   0
                                                      0
                                                                 group = 4
                           0 0 0 0
                                  0
             00000
                        0
                         0
                                    0
                                      00000
                                                                 group = 7
sample 0 0 0 0 0 0 0 0 1
                      0
                        0
                         000000
                                    0 0 0 0 0
                                               0
                                                 0
                                                  0 0
                                                      0
                                                        0
                                                          0
                                                            0 0
                                                                 group = 2
sample 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
                        0000000
                                    0000000
                                                 0
                                                  0001110
                                                                 group = 7
group = 1
```

(Алгоритм генерації датасету реалізовано класом DatasetGenerator, див. репозиторій).

Навчання полягало у послідовному виконанні 2 експериментів із оцінкою навченої мережі після кожного експерименту:

```
var experiments = new Experiment[]
{
    new Experiment() { EpochCount = 1, L = 0.0 },
    new Experiment() { EpochCount = 10, L = 0.05 },
    new Experiment() { EpochCount = 20, L = 0.01 }
};
foreach (var experiment in experiments)
{
    Console.WriteLine(experiment.Execute(knet, originalDataset));
}
```

(Нульовий експеримент у масиві experiments не навчає мережу, оскільки L = 0. Перший експеримент лише оцінює мережу до навчання).

Вагові коефіцієнти початкової мережі та оцінка мережі на датасеті:

```
Experiment: EpochCount = 1, L = 0
KNet 55915408
Property count = 32, Group count = 8
DenseMatrix 32x8-Double
  1
    1 1 0
           1 1
  1
    0
       1
         0
           1
              1
                0
  1
1
    0
       1
         1
           1
              0
                1
0
  0
    1
       1
         0
           1
              0
0
  1
    1
       0
         0
              0
                1
0
  0
    1
       0
         0
            0
              1
                1
0
  1
    0
       0
         1
            1
              0
                0
1
  1
    1
       0
         0
           1
              1
  1
    0
       0
         1
           1
              1
  0
       1
         1
            0
    1
                0
1
  0
       1
         0
    1
            0
              0
                1
1
  1
    1
       0
         0
           0
              1
                1
1
  0
       0
         0
    1
              1
                0
1
  0
    1
       1
         1
           0
              1
                Θ
0
  1
    0
       0
         1
            1
              1
                1
0
  1
    0
       0
         0
            0
              1
                1
1
  0
    0
       0
              1
         1
            0
                0
0
  1
    0
       1
         1
            0
              0
                1
1
  0
    0
       0
         0
            1
              1
                1
              0
  0
    1
       0
         1
            1
0
  0
    0
       0
         1
            0
              1
0
  1
       1
         0
    1
            0
              1
                0
1
  1
    0
       0
         0
            1
              0
                1
0
  0
    1
       0
         0
            0
              1
                1
1
  1
    0
       0
         1
            1
              1
                0
1
  0
    1
       0
         1
            1
              0
                1
0
  1
    1
       1
         0
            0
              1
                1
1
  1
    1
       1
         0
            0
              1
                1
0
  0
    0
         0
            1
              1
                1
  1
       1
              0
    0
         1
            1
                0
           1
       0
         0
              0
    0
0
  0
    0
       1
         1
            0
              0
                0
Group order = 2 0 1 0 4 0 3 0
Difference (count = 15)
expected group = 6, actual group = 2
expected group = 5, actual group = 3
expected group = 1, actual group = 0
sample 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
                           0 0 0 0
                                   0 0 0 0
                                           0 0
                                               0
                                                0
                                                     0
                                                          expected group = 7, actual group = 0
sample 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
                            0 0 0
                                0 0
                                    0
                                     1
                                       1
                                        0
                                          1
                                            0
                                             0
                                               0
                                                0 0
                                                     0 0
                                                          expected group = 5, actual group =
sample 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
                            0 0
                                0 0
                                    00000
                                            1
                                             1
                               0
                                               0
                                                0 0
                                                   0
                                                     0 0
                                                          expected group = 6, actual group =
                                        1 1 0
sample 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
                        0 0
                            0 0 0
                                0 0
                                   0
                                     1
                                       0
                                             0
                                               0
                                                0 0
                                                   0
                                                     0 0
                                                          expected group = 5, actual group = 0
sample 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
                        0 0
                            0 0
                               1
                                0 1 1 0 0
                                        0 0
                                                0 0
                                                          expected group = 4, actual group =
                                           0
                                             0
                                               0
                                                   0
                                                     0 0
sample 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
                        0 0
                            0000000
                                       0
                                        0 0
                                            1
                                             1
                                               1
                                                0 0
                                                   0
                                                     0 0
                                                          expected group = 6, actual group =
0 0 0 0 0 0
                                                   Θ
                                                     0 0
                                                          expected group = 1, actual group = 0
sample 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
                               101100000
                                             0
                                                0 0 0
                                                     0 0
                                                          expected group = 4, actual group = 2
                                               0
sample 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
                               100100000000000
                                                     0 0
                                                          expected group = 4, actual group = 2
1 0
                                                     0 1
                                                          expected group = 7, actual group = 0
expected group = 7, actual group = 0
expected group = 1, actual group = 0
```

Бачимо, що початкова мережа хибно розпізнала 15 векторів із 25.

Вагові коефіцієнти мережі та оцінка мережі після першого експерименту (10 епох, L = 0.05):

```
Experiment: EpochCount = 10, L = 0.05
KNet 55915408
Property count = 32, Group count = 8
DenseMatrix 32x8-Double
            0.157779 0.528563
                               0.325281
                                                   0.858259
                                                             0.122087
                                                0
                                                                      0.373056
        0
0.0944682
            0.157779
                             0
                               0.325281
                                                0
                                                   0.550335
                                                             0.122087
0.0944682
            0.157779
                             0
                               0.307357
                                         0.307357
                                                   0.517331
                                                                   0
                                                                      0.373056
                   0
                      0.377354
                               0.325281
                                                0
                                                   0.550335
                                                                      0.291989
            0.883559
                      0.377354
                                      0
                                                0
                                                   0.142396
                                                                      0.291989
        0
                   0
                      0.377354
                                      0
                                                0
                                                          0
                                                             0.122087
                                                                      0.291989
        0
            0.401027
                             0
                                      0
                                         0.307357
                                                   0.142396
                                                                   0
                                                                             0
            0.883559
0.0944682
                      0.377354
                                                   0.142396
                                                                             0
                                      0
                                                0
                                                             0.122087
 0.603098
            0.157779
                             Θ
                                      0
                                         0.437955
                                                    0.14989
                                                             0.122087
                                                                       0.31185
                                         0.307357
                                                             0.122087
   0.4993
                               0.307357
                   Θ
                      0.377354
                                                          Θ
                                                                             Θ
   0.4993
                   0
                               0.307357
                                                0
                                                          0
                                                                      0.291989
                      0.377354
                                                                   0
0.0944682
            0.157779
                      0.377354
                                      0
                                                0
                                                          0
                                                             0.122087
                                                                      0.291989
0.0944682
                   0
                      0.377354
                                      0
                                                0
                                                   0.142396
                                                             0.840721
                                                                             0
0.0944682
                      0.377354
                                0.307357
                                         0.307357
                                                              0.59745
                                                          0
            0.157779
                             0
                                      0
                                         0.307357
                                                   0.142396
                                                             0.603507
                                                                      0.291989
            0.157779
                             0
                                      0
                                                0
                                                          0
                                                             0.840721
                                                                      0.291989
 0.474401
                   0
                                         0.622425
                                                             0.122087
                             0
                                      0
                                                          0
            0.157779
                             Θ
                               0.307357
                                         0.307357
                                                          0
                                                                   0
                                                                      0.291989
                                                   0.142396
 0.474401
                   0
                                      0
                             0
                                                0
                                                             0.122087
                                                                      0.291989
 0.474401
                   0
                      0.377354
                                      0
                                         0.622425
                                                   0.142396
                                                                      0.291989
                                                                   0
                                         0.307357
                                                             0.281365
        0
                   0
                             0
                                      0
                                                          0
                                                                      0.899073
            0.157779
                      0.377354
                                0.307357
                                                0
                                                          0
                                                             0.281365
                                                                      0.334727
        0
0.0944682
                             0
                                      0
                                                0
                                                                   0
                                                                      0.564346
                      0.377354
                                                             0.166272
                                                          0
 0.111438
             0.27422
                      0.471437
                                      0
                                         0.554334
                                                   0.142396
                                         0.554334
0.0994403
          0.00874123
                      0.722108
                                      0
                                                   0.142396
                                                                   0
                                                                      0.291989
             0.16652
                                                0
                                                             0.122087
        0
                      0.672108
                               0.307357
                                                          0
                                                                      0.291989
                                                             0.122087
            0.265479
                      0.504036
                                                0
                                                          0
 0.106466
                               0.307357
                                                                      0.291989
                               0.674719
                                                             0.122087
                   Θ
                             0
                                                0
                                                   0.276642
                                                                      0.291989
        Θ
0.0944682
            0.157779
                             0
                               0.683608
                                         0.307357
                                                   0.276642
                                                                   0
                                                                             0
0.0944682
            0.157779
                             0
                               0.086189
                                                0
                                                   0.276642
                                                                   0
                                                                      0.291989
                             0
                               0.895887
                                         0.307357
                                                                   0
Group order = 2 1 6 7 4 0 3 5
Difference (count = 2)
expected group = 4, actual group = 2
expected group = 4, actual group = 2
```

Мережа хибно розпізнала лише 2 зразки із 25. Маємо суттєвий прогрес за лише 10 ітерацій!

Імовірно, значення вагових коефіцієнтів мережі близькі до таких, що забезпечать правильне розпізнавання всіх зразків датасету. Зменшимо значення L до 0.01 у другому експерименті. При цьому, якщо мережа знайде оптимальні вагові коефіцієнти, власне різниця між зразками і колонками класів прямуватиме до 0, та множитиметься на 0.01. Тобто можемо дозволити компенсувати мізерність змін коефіцієнтів впродовж однієї епохи збільшенням кількості епох з 10 до 20.

Маємо:

```
Experiment: EpochCount = 20, L = 0.01
KNet 55915408
Property count = 32, Group count = 8
DenseMatrix 32x8-Double
             0.0863299
                         0.289207
                                                       0
                                                           0.936568
                                                                      0.0668005
                                     0.17798
                                                                                   0.20412
                                                                      0.0668005
0.0414354
             0.0863299
                                     0.17798
                                                       0
                                                           0.523161
                                                                                          0
0.0414354
             0.0863299
                                 0
                                    0.168172
                                               0.209788
                                                           0.508446
                                                                                   0.20412
                                     0.17798
                                                           0.523161
                                                                               0
                                                                                  0.159764
        0
                      0
                         0.206472
                                                       0
        0
              0.936289
                         0.206472
                                            0
                                                       0
                                                          0.0637254
                                                                                  0.159764
        0
                         0.206472
                                            0
                                                                                  0.159764
                                                       0
                                                                      0.0668005
        0
              0.370489
                                 0
                                            0
                                               0.209788
                                                          0.0637254
                                                                                          0
0.0414354
              0.936289
                         0.206472
                                            0
                                                       0
                                                          0.0637254
                                                                      0.0668005
                                                                                          0
 0.696466
             0.0863299
                                 0
                                            0
                                               0.298928
                                                          0.0670794
                                                                      0.0668005
                                                                                  0.170631
 0.507447
                         0.206472
                                    0.168172
                                               0.209788
                                                                      0.0668005
 0.507447
                      0
                         0.206472
                                    0.168172
                                                       0
                                                                   0
                                                                               0
                                                                                  0.159764
0.0414354
             0.0863299
                         0.206472
                                            0
                                                       0
                                                                   0
                                                                      0.0668005
                                                                                  0.159764
0.0414354
                      0
                         0.206472
                                            0
                                                       0
                                                          0.0637254
                                                                        0.91285
                                                                                          0
0.0414354
                      0
                         0.206472
                                    0.168172
                                               0.209788
                                                                       0.628341
                                                                                          0
                                                                   0
             0.0863299
        0
                                 0
                                            0
                                               0.209788
                                                          0.0637254
                                                                       0.632229
                                                                                  0.159764
        0
             0.0863299
                                 0
                                            0
                                                       0
                                                                   0
                                                                        0.91285
                                                                                  0.159764
 0.337526
                                 0
                                               0.742284
                                                                   0
                                                                      0.0668005
                                                                                          0
                                            0
             0.0863299
                                 0
                                    0.168172
                                               0.209788
                                                                   0
                                                                                  0.159764
        0
                                                                               0
 0.337526
                                 0
                                            0
                                               0.158353
                                                                      0.0668005
                                                                                  0.159764
                      0
                                                          0.0637254
 0.337526
                      0
                         0.206472
                                            0
                                               0.742284
                                                          0.0637254
                                                                               0
                                                                                  0.159764
                                 0
                                               0.209788
                                                                   0
                                                                       0.153951
                                                                                  0.944777
        0
                      0
                                            0
        0
             0.0863299
                         0.206472
                                    0.168172
                                                       0
                                                                   0
                                                                       0.153951
                                                                                  0.485139
0.0414354
             0.0863299
                                 0
                                                       0
                                                          0.0637254
                                                                                  0.459638
                                            0
        0
                      0
                         0.206472
                                            0
                                                       0
                                                                   0
                                                                      0.0909771
                                                                                  0.727162
                                               0.378363
0.0488785
              0.150041
                         0.710793
                                            0
                                                          0.0637254
                                                                      0.0668005
                                                                                          0
            0.00478282
0.0436162
                          0.69716
                                            0
                                               0.378363
                                                          0.0637254
                                                                                  0.159764
             0.0911128
        0
                         0.518851
                                    0.168172
                                                       0
                                                                   0
                                                                      0.0668005
                                                                                  0.159764
0.0466977
              0.145259
                         0.426576
                                    0.168172
                                                       0
                                                                   0
                                                                      0.0668005
                                                                                  0.159764
                      0
                                 0
                                     0.82202
                                                       0
                                                           0.123804
                                                                      0.0668005
                                                                                  0.159764
        0
0.0414354
             0.0863299
                                 0
                                    0.675844
                                               0.209788
                                                           0.123804
                                                                               0
                                                                                          0
0.0414354
             0.0863299
                                 0
                                    0.197941
                                                           0.123804
                                                                               0
                                                                                  0.159764
                                                       0
                      0
                                 0
                                    0.792251
                                               0.209788
                                                                   0
                                                                               0
                                                                                          0
Group order = 2 1 6 7 4 0 3 5
Difference (count = 0)
```

Мережа успішно розпізнає всі зразки датасету. Для знаходження оптимальних значень вагових коефіцієнтів всього знадобилось 30 епох.

3.2 16 класів

Згенеруємо новий датасет із більшою кількістю класів – 16, інші параметри датасету залишимо без змін:

```
1 reference
private static void Research16Groups()
{
    const int propertyCount = 32;
    const int groupCount = 16;
    const int sampleCount = 25;

    var originalDataset = new DatasetGenerator(groupCount).GenerateDataset(propertyCount, sampleCount);
```

Згенерований датасет:

```
=== Research 16 groups ===
Original dataset:
Dataset -1126483534
Sample count = 25
000
                                                          group = 3
group = 0
                 0 0 0 0 0 0 0 0
                                000000000
sample 0 0 1 0 0 0
              0
                0
                                              0
                                                0
                                                  0
                                                   0
                                                          group = 1
                00000000011000000000
sample 0 0 0 0 0 0 0
                                                0
                                                  0
                                                          group = 8
                              0
sample 0 0 0 0 1 0
              0
                0
                  0
                   000
                        0000
                                0
                                  0
                                   000000
                                             0 0
                                                0
                                                          group = 2
sample 0 0 1 1 0 0 0
                0
                  0 0 0 0 0 0 0 0 0
                                  000000000
                                                0
                                                  0
                                                          group = 1
sample 0 0 0 0 0 0
               0
                0
                  0000
                        0
                          0
                           0 0
                              1 1
                                  0
                                   0000
                                          0
                                           0
                                             0
                                               0
                                                0
                                                          group = 8
sample 0 0 0 0 0 0 0
                        0000
                              0
                                0
                                  0
                                   00000001
                                                          group = 13
                0
                  0
                   0 0
                       0
sample 0 0 0 0 0 0
              0
                0
                  0
                   0 1
                       0
                        0
                          0
                           0 0
                               0
                                0
                                  0
                                   0000
                                          0 0
                                             0
                                              0
                                                0
                                                          group = 5
sample 0 0 0 0 0 0
              0
                0
                  0
                   0
                     1
                       1
                        0 0 0 0
                              0
                                0
                                  0
                                   00000000
                                                          group = 5
                        0
                           0 0
                                0
sample 0 0 0 0 0 0
               0
                0
                  0
                   0 0
                       0
                          0
                               0
                                  0
                                   010000
                                             0
                                               0
                                                0
                                                  0
                                                          group = 10
                          0 0 0
                                0
                                   0
                                                          group = 15
sample 0 0 0 0 0 0
              0
                0
                  0
                   0
                     0
                       0
                        0
                               0
                                  0
                                     0 0
                                        000
sample 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0
                        0000
                              0
                                0
                                  000000000
                                                0
                                                  0
                                                          group = 3
sample 0 0 0 0 0 0 0
                0
                  0
                   000
                        0000
                              0
                                0
                                  0
                                   00000100
                                                0
                                                          group = 12
sample 0 0 0 0 0 0 0
                                                          group = 7
                0
                 0000
                        001
                             0
                              0
                                0
                                  000000000
                                                0
                                                  0
                                                   000
sample 0 0 0 0 0 0 0
                0
                  1 1
                     0
                      0
                        0000
                               0
                                0
                                  0
                                   00000000
                                                          group = 4
sample 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
                                0
                                  1000000000
                                                0
                                                  0
                                                   0
                                                          group = 9
sample 0 0 0 0 1 0 0
                0
                 0 0 0 0 0 0 0 0
                                0
                                  0
                                   00000000
                                                0
                                                          group = 2
sample 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0
                                0
                                  000000000
                                                0
                                                  0
                                                   000
                                                          group = 7
sample 0 0 0 0 0 0
                0
                  0
                   0001000
                              0
                                0
                                  0
                                   00000000
              0
                                                0
                                                  0
                                                          group = 6
sample 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
                                  000000000
                                                0
                                                  0
                                                          group = 0
                  00000000
                              0
                                0
                                  000000000
sample 0 0 0 0 0 0
              0
                0
                                                0
                                                  1 1 0 0
                                                          group = 14
                011000000000
                                  0 0 0 0 0 0 0 0 0
sample 0 0 0 0 0 0 0
                                                  0
                                                          group = 4
                  0 0 0 0 0 0 0 0 0
                                  000010000
sample 0 0 0 0 0 0 0
                0
                                                0
                                                  0
                                                   000
                                                          group = 11
group = 6
```

Повна послідовність експериментів:

```
var experiments = new Experiment[]
{
    new Experiment() { EpochCount = 1, L = 0.0 },
    new Experiment() { EpochCount = 10, L = 0.05 },
    new Experiment() { EpochCount = 20, L = 0.01 },
    new Experiment() { EpochCount = 20, L = 0.01 }
};
foreach (var experiment in experiments)
{
    Console.WriteLine(experiment.Execute(knet, originalDataset));
}
```

Оцінимо початкову мережу:

```
Experiment: EpochCount = 1, L = 0
KNet 33476626
Property count = 32, Group count = 16
DenseMatrix 32x16-Double
                                          Θ
                                             0
Θ
         Θ
                                    1
                                                 Θ
                      Θ
                1
1
   0
                   0
                          Θ
                                0
                                    1
                                          1
                                              1
      Θ
         1
                      Θ
                                                 Θ
Θ
      1
         Θ
             1
                Θ
                   1
                      1
                          Θ
                             1
                                1
                                    1
                                       1
                                          1
                                             0
                                                 Θ
                                Θ
Θ
      0
          1
             1
                   1
                      Θ
                             Θ
                                    Θ
                                       0
                                          0
                          1
Θ
   1
      Θ
         1
             0
                0
                   1
                       Θ
                          0
                             0
                                0
                                    Θ
                                       1
                                             1
                                                 Θ
         Θ
                      1
                                       0
             Θ
                          1
                                0
      Θ
                                          1
                                                 Θ
Θ
   Θ
      Θ
          Θ
             1
                Θ
                   Θ
                       Θ
                          1
                             1
                                Θ
                                    1
                                       Θ
                                          Θ
                                                 1
   Θ
          1
             Θ
                1
                   0
                      Θ
                          1
                             Θ
                                                 Θ
      Θ
                                1
                                    Θ
                                       0
                                          1
   0
      1
          Θ
             Θ
                0
                   Θ
                                       0
   1
1
                1
1
Θ
      Θ
         Θ
             1
1
                   1
1
                      Θ
                             Θ
                                Θ
                                    1
                                       1
1
                                          Θ
                                             0
1
                                              0
          1
                                 1
                                    1
                                                 Θ
      Θ
                       Θ
                          1
                             Θ
                                          Θ
1
1
   0
         1
             Θ
                Θ
                   Θ
                      1
                                       1
                                              1
      0
                          1
                             Θ
                                1
                                    1
                                          1
                                                 1
                1
         0
                      Θ
                          0
      Θ
                             Θ
                                    Θ
                                                 Θ
   1
1
                   1
                                       1
1
Θ
      Θ
          Θ
             1
                      Θ
                          0
                             Θ
                                Θ
                                    Θ
                                          1
                                             1
                                                 Θ
                      0
Θ
                   0
                          0
                             Θ
                                Θ
                                          Θ
                                             0
      Θ
                                                 1
   1
Θ
             1
                   1
                      1
                          0
                             0
                                0
                                    Θ
                                       1
                                          Θ
                                             1
                                                 Θ
                1
1
0
0
1
   0
                                       0
         Θ
             Θ
                          0
                                0
                                          Θ
                                                 Θ
                       0
                             1
             0
                   0
                          0
                                0
                                       1
                                                 1
   0
0
         0
1
                9
1
                                    1
1
                                       1
1
                                              1
0
                                1
1
                                                 1
1
0
1
1
                   0
1
1
                          0
                                          0
      1
             1
                          1
                             1
                                          1
   0
      1
         Θ
             Θ
                Θ
                      Θ
                          1
                             1
                                0
                                    Θ
                                       0
                                          1
                                             Θ
                                                 Θ
         Θ
                   Θ
      Θ
             1
                                          1
                                    Θ
                                                 1
   1
0
Θ
          Θ
             Θ
                Θ
                   Θ
                      1
                          1
                                0
                                          Θ
                                              0
      1
                             1
                                    Θ
                                                 1
                      0
1
      Θ
                Θ
                          0
                             Θ
                                    Θ
   Θ
      1
          1
             1
                Θ
                       Θ
                          0
                             Θ
                                    1
                                       0
                                          Θ
                                              0
                                                 Θ
   0
Θ
             Θ
                Θ
                                       0
                                             Θ
                          0
                             1
                                    Θ
                                          Θ
                                                 Θ
   0
         1
                Θ
Θ
      Θ
             0
                   0
                      Θ
                          0
                             Θ
                                1
                                    1
                                       0
1
         0
             1
                1
                   0
                      1
                          0
                             1
                                0
                                    Θ
                                       0
                                              1
      1
                                          Θ
                                                 Θ
                Θ
                             1
Θ
                       Θ
                          0
                                    Θ
                                       0
                                                 Θ
Θ
   1
      Θ
         1
             1
                1
                   Θ
                      1
                             Θ
                                1
                                       0
                                          Θ
                                              1
                          1
                                    1
                                                 1
   0
         1
             1
                1
                          0
                             0
                                       0
Θ
      0
                   1
                      Θ
                                 1
                                    Θ
                                          Θ
   1
         1
             Θ
                Θ
                   0
                      1
                                1
                                       0
1
      Θ
                          1
                             Θ
                                    Θ
                                          1
Group order = 5 1 8 5 0 0 1 9 3 0 5 0 0 6 2 9
Difference (count = 17)
expected group = 3, actual group = 0
         ΘΘ
              ө ө
                  Θ
                    Θ
                      ΘΘ
                           0 0 0 0
                                      Θ
                                        Θ Θ
                                            Θ
                                              Θ Θ
                                                   Θ
                                                     0
                                                       Θ
                                                         Θ
                                                            Θ
                                                              Θ
                                                                  0
                                                                    0
                                                                       0 0
                                                                                expected group = 0, actual group =
                                                                                expected group = 2, actual group = expected group = 13, actual group =
sample 0 0
           0
              Θ
                1 0
                    Θ
                      Θ Θ
                           Θ
                             Θ
                               Θ
                                 Θ
                                   Θ
                                      0
                                        Θ Θ
                                            Θ
                                              Θ Θ
                                                   Θ
                                                     0
                                                       Θ
                                                         Θ
                                                            0
                                                              Θ
                                                                Θ
                                                                  0
                                                                    0
                                                                       0 0
                                                                           0
sample
       Θ
         Θ
           0
              Θ
                Θ
                  0
                    Θ
                      Θ
                         0
                           0
                             Θ
                               Θ
                                 Θ
                                   Θ
                                      Θ
                                        Θ
                                          Θ
                                            Θ
                                               0
                                                 Θ
                                                   Θ
                                                     0
                                                       Θ
                                                          0
                                                            0
                                                              Θ
                                                                1
                                                                  0
                                                                    0
                                                                       Θ
                                                                         Θ
sample
       Θ
         Θ
           Θ
              Θ
                Θ
                  Θ
                    Θ
                      Θ
                        Θ
                           Θ
                             Θ
                               Θ
                                 Θ
                                   Θ
                                      0
                                        0
                                          Θ
                                            Θ
                                               0
                                                 Θ
                                                     0
                                                       0
                                                         Θ
                                                            Θ
                                                              Θ
                                                                Θ
                                                                  0
                                                                    0
                                                                         0 0
                                                                                expected group = 10, actual group =
                                                   1
                                 0 0
                                                                                expected group = 15, actual group = 5
sample 0 0 0
              0 0
                    Θ
                      0 0 0 0
                               0
                                      Θ
                                        0
                                          Θ
                                            Θ
                                              ΘΘ
                                                   Θ
                                                     0
                                                       Θ
                                                         Θ
                                                           Θ
                                                              Θ
                                                                Θ
                                                                  0
                                                                    0
                                                                       Θ
                                                                         1 0
           Θ
                Θ
                  Θ
                      0 0
                           Θ
                             Θ
                               Θ
                                 Θ
                                   Θ
                                      0
                                        0
                                          Θ
                                                 Θ
                                                     0
                                                                                         group =
sample
         Θ
              Θ
                    Θ
                                            0
                                               0
                                                   Θ
                                                       Θ
                                                         0
                                                            1
                                                              Θ
                                                                0
                                                                  0
                                                                    0
                                                                       Θ
                                                                           Θ
                                                                                expected
                                                                                                  12, actual group
sample 0
                Θ
                             Θ
                                                     0
                                                            0
                                                                                         group = 7, actual group = 1
         0
           Θ
              Θ
                  0
                    Θ
                      Θ
                         0
                           Θ
                               Θ
                                 Θ
                                   Θ
                                      1
                                          Θ
                                            Θ
                                               0
                                                 Θ
                                                   Θ
                                                       Θ
                                                         Θ
                                                              Θ
                                                                Θ
                                                                  Θ
                                                                    0
                                                                       Θ
                                                                         Θ
                                                                                expected
                                                                           0
sample
       Θ
            0
              Θ
                Θ
                  0
                    Θ
                      0
                         1
                           1
                             Θ
                               Θ
                                 0
                                    Θ
                                      0
                                        0
                                          Θ
                                            0
                                               0
                                                 Θ
                                                   Θ
                                                     0
                                                       Θ
                                                            0
                                                              Θ
                                                                  0
                                                                                expected
                                                                                         group = 4, actual group
                0
                      0 0
                           Θ
                             0
                                 Θ
                                              1 0
                                                     0
                                                                                expected group = 9,
sample 0
         Θ
           0
              Θ
                  Θ
                    Θ
                               Θ
                                   Θ
                                      0
                                        0
                                          Θ
                                            Θ
                                                   Θ
                                                       Θ
                                                         Θ
                                                            Θ
                                                              Θ
                                                                Θ
                                                                    0
                                                                  0
                                                                       Θ
                                                                         Θ
                                                                           0
                                                                                                     actual group =
                                                                                                                      8
sample
       Θ
         Θ
            0
              Θ
                  0
                    Θ
                      0
                         Θ
                           Θ
                             Θ
                               0
                                  Θ
                                    Θ
                                      0
                                        0
                                          Θ
                                            Θ
                                               0
                                                 Θ
                                                   Θ
                                                     0
                                                       Θ
                                                          Θ
                                                            Θ
                                                              Θ
                                                                Θ
                                                                  Θ
                                                                    Θ
                                                                       Θ
                                                                         Θ
                                                                                expected
                                                                                         group
                                                                                                     actual group
                                                                                                  7,
       Θ
            0
              Θ
                Θ
                  0
                    Θ
                      Θ
                         0
                           Θ
                             Θ
                               Θ
                                   Θ
                                      1
                                        1
                                          Θ
                                            Θ
                                               0
                                                 Θ
                                                   Θ
                                                     0
                                                       Θ
                                                            0
                                                              Θ
                                                                  Θ
                                                                         0
                                                                                expected
                                                                                         group =
sample
         Θ
                                 Θ
                                                         Θ
                                                                Θ
                                                                    Θ
                                                                       Θ
                                                                           Θ
                                                                                                     actual group =
                                                                                                                      1
                                      Θ
sample 0
         Θ
           0
              Θ
                Θ
                  Θ
                    Θ
                      Θ
                        Θ
                           Θ
                             Θ
                               0
                                 1
                                   Θ
                                        0
                                          Θ
                                            Θ
                                              Θ
                                                Θ
                                                   Θ
                                                     0
                                                       Θ
                                                         Θ
                                                            Θ
                                                              Θ
                                                                Θ
                                                                  0
                                                                    0
                                                                         0 0
                                                                                expected group
                                                                                                = 6, actual group = 5
sample
       Θ
         Θ
           0
              Θ
                Θ
                  Θ
                    Θ
                      9 9
                           Θ
                             Θ
                               Θ
                                 Θ
                                   Θ
                                      0
                                        Θ
                                          Θ
                                            0
                                               0
                                                Θ
                                                   0
                                                     0
                                                       0
                                                         Θ
                                                            Θ
                                                              Θ
                                                                0
                                                                  0
                                                                       1 0
                                                                                expected group = 14, actual group = 1
                                                                    1
                                                                           0
                                                                                         group = 4, actual group = 0
                Θ
                                        0
                                                     0
                                                                       Θ
sample 0
         0
            0
              Θ
                  0
                    Θ
                      Θ
                         1
                           1
                             Θ
                               0
                                 Θ
                                   Θ
                                      Θ
                                          0
                                            Θ
                                               0
                                                 Θ
                                                   Θ
                                                       Θ
                                                         Θ
                                                            Θ
                                                              Θ
                                                                Θ
                                                                  0
                                                                    Θ
                                                                         Θ
                                                                                expected
sample 0 0
           Θ
              Θ
                Θ
                  0
                    Θ
                      Θ
                        Θ
                           Θ
                             Θ
                               Θ
                                 Θ
                                   Θ
                                      0
                                        0
                                          Θ
                                            Θ
                                               0
                                                Θ
                                                   Θ
                                                     0
                                                       1
                                                         Θ
                                                            0
                                                              Θ
                                                                Θ
                                                                  0
                                                                    0
                                                                       Θ
                                                                         Θ
                                                                                expected group = 11, actual group = 1
expected group = 6, actual group = 5
```

Із 25 зразків мережа хибно розпізнала 17 зразків.

В якості першого експерименту виконаємо той самий експеримент, що і для мережі з 8 класами: кількість епох – 10, L = 0.05:

Experiment: Epochocut = 10, L = 0.85 Met 33MG502 Property count = 32, Group coun																
Property Count = 32, Group count = 16 DenseMatrix 32x16-Double	Experiment: EpochCount = 10, L = 0.05															
Comporter	KNet 33476626															
6.349562	Property count = 32, Group count = 16															
6 .3155426																
8	Θ	0.358486	0.358486	Θ	1	0.598737	0.358486	Θ	0.358486	0.598737	0.598737	0.358486	0.358486	Θ	Θ	Θ
9 0.358486 0 6.598737 0 6.682496 0 6.598737 0 6.82496 0 6.598737 0 6.82496 0 6.598737 0 6.83496 0 6.598737 0 6.83496 0 6.598737 0 6.	0.340562	Θ	Θ	0.598737	0.677463	0.598737	Θ	Θ	Θ	0.598737	Θ	0.358486	0.358486	0.598737	0.358486	Θ
0	Θ	0.358486	0.358486	Θ	0.358486	Θ	1	0.598737	Θ	0.598737	0.598737	0.358486	0.358486	0.598737	Θ	Θ
8.38486			Θ	0.598737	0.358486	0.598737	0.682496	Θ	0.358486	Θ	Θ	Θ		Θ	Θ	0.630249
0.340562 0 0.358486 0 0 0.598737 0 0.558486 0 0 0 0.598737 0 0.558486 0 0.679474 0 0.598737 0.558486 0 0.679474 0 0.598737 0.558486 0 0.679474 0 0.598737 0.558486 0 0.679474 0 0.598737 0.558486 0 0.679474 0 0.598737 0.558486 0 0.598737 0.558486 0 0.598737 0.558486 0 0.598737 0.558486 0 0.598737 0.558486 0 0.598737 0.558486 0 0.598737 0.558486 0 0.598737 0.558486 0 0.598737 0.558486 0 0.598737 0.558486 0 0.598737 0.558486 0 0.598737 0.558486 0 0.598737 0.558486 0.598737 0.558486 0 0.598737 0.558486 0 0.598737 0.558486 0.598737 0.	Θ	0.358486	Θ	0.598737	Θ	Θ	0.358486	Θ	Θ	Θ	Θ		0.358486	Θ	1	Θ
8.348662 9 0 .358486 0 0 0 .598737 0 .358486 0 0 0 .598737 0 .358486 0 0 0 .598737 0 .358486 0 0 0 .598737 0 .358486 0 0 0 .598737 0 .358486 0 0 .598737 0 .358486 0 0 .598737 0 .358486 0 0 .598737 0 .358486	0.340562	0.358486	Θ	Θ	Θ	0.598737	Θ	0.598737	0.358486	0.598737	Θ		Θ	0.598737	0.358486	Θ
6.386662	Θ	Θ	Θ	Θ	0.358486	Θ	Θ	Θ	1	0.598737	Θ	0.358486	Θ	Θ	0.358486	0.630249
8		Θ		0.598737	Θ	0.598737	Θ				0.598737	Θ	Θ		0.358486	Θ
0.58486			0.358486	Θ	Θ	Θ	Θ	0.598737	0.358486	0.598737	0.598737	1		0.598737	Θ	Θ
6.683966	Θ	0.358486	Θ	Θ	0.358486	0.598737	0.358486			Θ	Θ	1	0.358486	Θ	Θ	0.630249
0.349562 0.358486		0.358486	Θ			0.598737	0.358486		0.358486	Θ	0.598737	0.358486	0.358486		Θ	Θ
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0			Θ	0.598737				0.598737	0.358486	Θ		0.358486				0.630249
9 1 0 0.598737 0.358486 0 0 0.598737 0.358486 0.598737 0 0.598737 0 0.558486 0.598737 0 0.558486 0.598737 0 0.558486 0.598737 0 0.558486 0.598737 0 0.558486 0.598737 0 0.558486 0.598737 0 0.558486 0.598737 0 0.558486 0.598737 0 0.558486 0.598737 0 0.558486 0.598737 0 0.558486 0.598737 0 0.558486 0.598737 0.558486 0.5			Θ	Θ	0.358486			Θ	Θ	Θ	0.598737					Θ
9 0.683758		0.358486	Θ					Θ			Θ				0.358486	Θ
0.348662	Θ	1	Θ	0.598737	0.358486	Θ	Θ	Θ	Θ	Θ	Θ	0.358486	0.358486	Θ	Θ	0.630249
0.349562	Θ	0.683758	Θ	Θ	0.358486		0.358486		Θ	Θ	Θ	Θ	0.358486	Θ	0.358486	Θ
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	Θ	Θ	1	Θ	Θ	0.598737	Θ	0.598737	Θ		Θ	0.358486	Θ	Θ	0.358486	Θ
0.348562	0.340562			0.598737	Θ	Θ	Θ	Θ	Θ	0.598737	Θ	0.358486		0.598737	0.358486	0.630249
0.349562	_														0.358486	
0.349562				0.598737	0.358486	0.598737		0.598737				0.358486	0.358486	0.598737		0.630249
0 0.358486			0.358486	Θ			0.358486			0.598737		Θ	Θ	_	Θ	Θ
0.348562 0 0 0 0.358486 0.598737 0.358486 0 0.358486 0 0.358486 0 0.598737 0.358486 0 0.598737 0.358486 0 0 0 0 0.358486 0.598737 0.358486 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0										0.598737						
0.359429						Θ				_						
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0		Θ				Θ								0.598737	0.358486	0.630249
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0						Θ										Θ
0.348562 0.358486 0.358486 0.358486 0.598737 0 0.598737 0 0.598737 0 0.598737 0 0.598737 0 0.598737 0 0.598737 0 0.598737 0.358486 0 0 0.358486 0.598737 0.358486 0 0 0.598737 0.358486 0 0 0.598737 0.358486 0 0 0.598737 0.358486 0 0 0.358486 0 0 0.598737 0.358486 0 0.358486 0 0.358	_															Θ
0 0.358486 0.358486 0.598737 0.358486 0 0.358486 0 0.598737 1 0 0 0.598737 0.358486 0 0 0.598737 0.358486 0 0 0.598737 0.358486 0 0 0.598737 0.358486 0 0 0.598737 0.358486 0 0 0.598737 0.358486 0 0 0.598737 0.358486 0 0 0.598737 0.358486 0 0 0.598737 0.358486 0 0 0.598737 0.358486 0 0 0.598737 0.358486 0 0 0.598737 0.358486 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	_															1
0 0.358486 0 0.598737 0.358486 0.598737 0 0.598737 0.358486 0 1 0.358486 0 0 0.598737 0.358486 0.630249 0 0 0 0.598737 0.358486 0 0 0 0.598737 0 0 0 0.358486 0.630249 0.340562 0.358486 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0																Θ
0 0 0.598737 0.358486 1 0.358486 0 0 0.598737 0 0 0 0.358486 0.638249 0.348562 0.358486 0 0.598737 0 0 0 0.598737 0.358486 0.598737 0 0 0 0.598737 0 0 0 0.598737 0 0 0 0.598737 0 0 0 0.598737 0 0 0 0.598737 0 0 0 0.598737 0 0 0 0.598737 0 0 0 0.598737 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0 0 0.598737 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0																Θ
0.348562 0.358486																
Group order = 5 7 8 12 0 0 1 9 3 0 14 4 6 10 2 9																
	0.340562	0.358486	Θ	0.598737	Θ	Θ	Θ	0.598737	0.358486	Θ	0.598737	Θ	Θ	0.598737	Θ	Θ
Difference (count = 3)	Group ord	er = 5 7 8	12 0 0 1	9 3 0 14 4	6 10 2 9											
Difference (count = 3)	-166		-3													
								0				•				
sample 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0																
sample 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0																
sample 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	sample 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 1 0 0 0	0 0 0 0	θ expect	ea group =	II, actua	at group =	0				

Як і у випадку з 8 класами, маємо значне покращення результатів: мережа розпізнала хибно лише 3 зразки із 25.

В якості другого експерименту оберемо ті самі параметри, що і для 8 класів: кількість епох – 20, L = 0.01:

Experiment: EpochCount = 20, L = 0.01															
KNet 33476626 Property count = 32, Group count = 16															
			unt = 16												
	ix 32x16-D				0.489711	0 220015		0.239817	0 400511	0 4000711	0 220015	0 220015		Θ	
0.227826	0.239817 0		0		0.489711				0.489711	0.489711	0.239817		0 400511		Ð
	0.239817		0.469/11	0.239817	0.469/11	9 1	0 0.489711		0.489711	0.489711	0.239817	0.239817	0.489711 0.489711	θ.239617	9
	0.239817		0.489711		0.489711			0.239817	0.409/11	0.469/11	θ.239817	0.239617	0.469/11		0.515485
	0.239817	9	0.489711	θ.239617		0.022526	9	0.239617	0	9	Θ	0.239817	9	1	0.313463
	0.239817	Θ	0.469/11	9	0.489711	θ.239617	0.489711	0.239817		9	0.239817	0.239617	0.489711	0.239817	9
0.22/820	θ.239817	9	9	0.239817	0.489/11	9	0.489711	1		Θ	0.239817	9	0.489/11	0.239817	0.515485
0.227826	Θ		0.489711		0.489711	9		0.616295		0.489711	θ.239817	9	0.489711	0.239817	0.010465
0.227826		0.239817	0.489711	Θ	0.489/11	9			0.489711	0.489711	1	9	0.489711	θ.239817	
	0.239817	0.239817	9	0.239817	0.489711		0.489711	θ.239817	0.489711	0.489711	1	0.239817	0.489/11 A	9	0.515485
0.987378		9		0.239817	0.489711	0.239817		0.239817	9		0.239817	0.239817	9	Θ	0.313483 A
0.606499	0.233017	9	0.489711	θ.233017	0.405711	0.233017	0.489711		9		0.239817	0.239817	A #89711		0.515485
	0.239817	9	0.407/11		0.489711		0.405/11	0.233017	e	0.489711	0.233017		0.489711		0.010400
	0.239817	ē	Θ	0.239817	0.489711		ē	Θ	Θ	Θ	Θ			0.239817	e
e	1	ē	0.489711		9	Θ.	ē	Θ	Θ	Θ	0.239817	0.239817	Θ. 102712		0.515485
_	0.623026	ē	Θ	0.239817	0.489711	0.239817	0.489711	ē	ĕ	Θ		0.239817	ē	0.239817	0
Θ	Θ	1	Θ	Θ	0.489711	Θ	0.489711		0.489711	Θ	0.239817	Θ		0.239817	ē
0.227826	0.239817	1	0.489711	ē	Θ	ē	Θ	ē	0.489711	ē	0.239817		0.489711		0.515485
Θ	Θ	0.239817	Θ	Θ	Θ	Θ	1	Θ	Θ	0.489711	0.239817	0.239817	Θ	0.239817	0.515485
0.227826	Θ	0.239817	0.489711	0.239817	0.489711	0.239817	0.489711	0.239817	0.489711	0.489711	0.239817	0.239817	0.489711	Θ	0.515485
0.227826	Θ	0.239817	Θ	Θ	Θ	0.239817	Θ	0.239817	0.489711	Θ	Θ	Θ	1	Θ	Θ
0.227826	0.239817	Θ	Θ	0.239817	0.489711	Θ	0.489711	0.239817	0.489711	0.489711	Θ	0.239817	0.489711	0.239817	0.515485
Θ	0.239817	0.239817	Θ	Θ	Θ	Θ	0.489711	0.239817	1	Θ	Θ	0.239817	Θ	Θ	0.515485
0.227826	Θ	Θ	0.489711	0.239817	Θ	0.239817	Θ	Θ	Θ	0.489711	Θ	0.239817	0.489711	0.239817	0.515485
0.240448	Θ	0.239817	0.974226	0.239817	Θ	0.239817	Θ	Θ	Θ	0.489711	0.239817	Θ	Θ	Θ	Θ
Θ	Θ	0.239817	0.489711	Θ	Θ	0.239817	0.489711	Θ	0.489711	0.489711	Θ	Θ	Θ	Θ	Θ
Θ	Θ	Θ	0.515485	Θ	Θ	Θ	Θ	Θ	Θ	0.489711	0.239817	Θ	0.489711	0.239817	1
0.227826	0.239817	0.239817	Θ	0.239817	0.489711	Θ	0.489711	Θ	0.489711	Θ	Θ	Θ		0.239817	0
	0.239817	0.239817	0.489711	0.239817		0.239817	Θ	Θ	0.489711	1	Θ	Θ	0.489711		Θ
_	0.239817	Θ	0.489711		0.489711	Θ	0.489711	0.239817	Θ	1	0.239817	Θ	Θ	0.239817	
Θ	Θ		0.489711			0.239817	Θ	Θ	Θ		Θ	Θ	Θ	0.239817	0.515485
0.227826	0.239817	Θ	0.489711	Θ	Θ	Θ	0.489711	0.239817	Θ	0.489711	Θ	Θ	0.489711	Θ	Θ
Group ord	ler = 5 7 8	12 0 15 1	9 3 11 14	4 6 10 2	9										
	e (count =														
sample 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	10000	0 expect	ed group =	13, actua	al group =	9				

Маємо лише 1 хибно класифікований вектор.

Для експерименту 3 оберемо ті ж параметри, що і для експерименту 2:

Experiment: EpochCount = 20, L = 0.01 KNet 33476626 Property count = 32, Group count = 16															
	count = 32 ix 32x16-D		unt = 16												
	0.160431		Θ	1	0.400538	e 16e//31		A 16AU31	0.400538	A //AA538	A 16AU31	A 160/131	Θ	Θ	
0.152409	0.100431		0.400538			0.100431	9		0.400538		0.160431		0.400538		9
	0.160431			0.160431	0.400030	1	0.400538		0.400538		0.160431		0.400538	0.100431	9
	0.160431	0.100431		0.160431				0.160431	0.400030	0.40000	0.100431	0.100431	0.400050	9	0.421619
	0.160431	Ö	0.400538	0	9	0.160431	õ	9	Θ	õ		0.160431	Θ	ĭ	0.422029
0.152409		ē	Θ		0.400538	Θ	0.400538	0.160431			0.160431	Θ	0.400538	0.160431	ē
Θ	Θ	Θ	Θ	0.160431	Θ	Θ	Θ		0.400538	Θ	0.160431	Θ	Θ	0.160431	0.421619
0.152409	Θ	Θ	0.400538	Θ	0.400538	Θ	Θ	0.577619	Θ	0.400538	Θ	Θ	0.400538	0.160431	Θ
0.152409	Θ	0.160431	Θ	Θ	Θ	Θ	0.400538	0.160431	0.400538	0.400538	1	Θ	0.400538	Θ	Θ
Θ	0.160431	Θ	Θ	0.160431	0.400538	0.160431	Θ	Θ	Θ	Θ	1	0.160431	Θ	Θ	0.421619
0.991556	0.160431	Θ	0.400538	0.160431	0.400538	0.160431	Θ	0.160431	Θ	0.400538	0.160431	0.160431	Θ	Θ	Θ
0.571227	Θ	Θ	0.400538	Θ	Θ	Θ	0.400538	0.160431	Θ	0.400538	0.160431	0.160431	0.400538	0.160431	0.421619
0.152409		Θ		0.160431		0.160431	Θ	Θ	Θ	0.400538	Θ		0.400538	0.160431	Θ
	0.160431	Θ		0.160431	0.400538	0.160431	Θ	Θ	Θ	Θ		0.160431		0.160431	0
Θ	1	Θ	0.400538		Θ	Θ	Θ	Θ	Θ		0.160431		Θ		0.421619
	0.582152	0	Θ		0.400538	0.160431	0.400538	Θ	Θ	Θ		0.160431	Θ	0.160431	0
		1		0	0.400538	0	0.400538	Θ	0.400538		0.160431	Θ	Θ	0.160431	0
	0.160431	1	0.400538	0	Θ	0	0	Θ	0.400538		0.160431	0.160431	0.400538	0.160431	0.421619
0		0.160431	0		0	0	1	0	9		0.160431		0	0.160431	
0.152409	0	0.160431	0.400538			0.160431		0.160431			0.160431	0.160431	0.400538	0	0.421619
0.152409	0	0.160431	0	0		0.160431		0.160431	0.400538	0	0	0	1	0	0
	0.160431	0	0	0.160431	0.400538	0		0.160431	0.400538	0.400538	0	0.160431	0.400538	0.160431	0.421619
	0.160431 0	0.160431	0	0 160431	Θ	0	0.400538 0	0.160431	1	0 0.400538	0	0.160431	0 400530	0	0.421619
0.152409 0.160853	9		0.400538 0.978919			0.160431 0.160431	9	0 0	9	0.400538	0.160431	0.160431 0	0.400538 0	0.160431 0	0.421619
0.160853 0	9		0.400538	0.160431 0	0 0	0.160431	0.400538	9	0 0.400538	0.400538	0.160431	9	9	9	0
9	9	0.160431	0.421619	9	9	0.160431	0.400556	9	0.400536	0.400538	0.160431	9	0.400538	0.160431	1
0.152409				0.160431		9	0.400538	9	0.400538	0.400556	0.160431	9		0.160431	1
	0.160431		0.400538			0.160431	0.400338		0.400538	1	9	9		0.160431	9
	0.160431	0.100431			0.400538		0.400538	0.160431	0.400550	1	0.160431	Θ		0.160431	B //21619
9	0.100431		0.400538		1	0.160431	0.400550	0.100431	9	0.400538	0.100431	Θ			0.421619
0.152409			0.400538	0	Θ		0.400538		Θ	0.400538	9	ē	0.400538	0.100431	0.421019
Group orde	er = 5 7 8	12 0 15 1	9 3 11 14	4 6 10 2	13										
D÷ CC	. (03													
Difference	e (count =	9)													

Мережа навчилась, всі 25 зразків класифіковано вірно.

Висновки

Було створено і навчено 2 мережі Кохонена:

- мережа для 8 класів
- мережа для 16 класів

Для того, щоб мережа навчилась безпомилково розпізнавати 8 класів, знадобилось 30 епох. Для безпомилкового розпізнавання 16 класів знадобилось 50 епох.

Кількість епох очікувано зростає із кількість класів. Збільшення кількості класів призводить до збільшення кількості вагових коефіцієнтів, а отже зростає «час» пошуку оптимальних коефіцієнтів. При цьому в обох випадках мережа демонструє швидке покращення результатів вже через 10 епох.