

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**

**INFORMATIKOS FAKULTETAS**

INTELEKTIKOS PAGRINDAI (P176B101)

**PROJEKTO ATASKAITA**

**„Devanagari simbolių atpažinimas“**

Atliko:

Martynas Kaunas IFF-6/14

Deividas Pečiulionis IFB-6

Gediminas Milašius IFF-6/2

Priėmė:

Doc. Germanas Budnikas

**KAUNAS 2019**

**Turinys**

[**1.** **Santrauka** 2](#_Toc9093718)

[**1.1.** **Problema ir užduoties formuluotė** 2](#_Toc9093719)

[**1.2.** **Panaudoti mašininio mokymosi metodai ir jų rezultatai** 2](#_Toc9093720)

[**2.** **Duomenų surinkimas** (iš paveikslėlių failų) 3](#_Toc9093721)

[**2.2.** **Duomenų pavyzdžiai** 4](#_Toc9093722)

[**3.** **Duomenų paruošimas ir valymas** (pilnai suprogramuotas) 5](#_Toc9093723)

[**4.** **Dimensijų sumažinimas** (pilnai suprogramuotas) 7](#_Toc9093724)

[**5.** **Įžanginiai eksperimentai patikrinantys, ar dimensijų sumažinimą verta naudoti** (grafinis iliustravimas ir pakomenavimas) 8](#_Toc9093725)

[**5.1.** **Maš. Mok. Metodas 1** 8](#_Toc9093726)

[**5.2.** **Maš. Mok. Metodas 2** 9](#_Toc9093727)

[**5.3.** **Rezultatų apibendrinimas** 10](#_Toc9093728)

[**6.** ***1*-ojo mašininio mokymosi metodo su mokytoju panaudojimas** (pilnai suprogramuotas) 11](#_Toc9093729)

[**6.1.** **Metodo veikimas** 11](#_Toc9093730)

[**6.2.** **Kryžminės patikros eksperimentai** 13](#_Toc9093731)

[**6.2.1.** **Bendras metodo tikslumas kryžminės patikros iteracijose** 13](#_Toc9093732)

[**6.2.2.** **Skaitmenų atpažinimo tikslumas kryžminės patikros iteracijose** 14](#_Toc9093733)

[**6.2.3.** **Metodo tikslumo priklausomybė nuo BwThreshold reikšmės** 16](#_Toc9093734)

[**6.2.4.** **Metodo tikslumo priklausomybė nuo atitikimo žemėlapiui ribos** 17](#_Toc9093735)

[**6.3.** **Rezultatai ir išvados** 18](#_Toc9093736)

[**6.4.** **Kodo fragmentas** 18](#_Toc9093737)

[**7.** ***2*-ojo mašininio mokymosi metodo su mokytoju panaudojimas** (programinė realizacija iškviečiant atitinkamą biblioteką) 20](#_Toc9093738)

[**7.1.** **Metodo veikimas** 20](#_Toc9093739)

[**7.2.** **Kryžminės patikros rezultatai ir eksperimentai** 21](#_Toc9093740)

[**7.2.1.** **Bendras metodo tikslumas kryžminės patikros iteracijose** 21](#_Toc9093741)

[**7.2.3.** **Metodo tikslumo priklausomybė nuo BwThreshold reikšmės** 23](#_Toc9093742)

[**7.3.** **Rezultatai ir išvados** 24](#_Toc9093743)

[**7.4.** **Kodo fragmentas** 24](#_Toc9093744)

[**8.** **Mašininio mokymosi metodų su mokytoju rezultatų palyginimas (tik pakomentavimas)** 26](#_Toc9093745)

[**9.** **Literatūra** 27](#_Toc9093746)

# **Santrauka**

Projekte naudojamas duomenų rinkinys – **Devanagari Handwritten Character Dataset.** Duomenys gauti iš mašininio mokymosi užduočių duomenų archyvo:

<https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Devanagari+Handwritten+Character+Dataset>

# **Problema ir užduoties formuluotė**

Devanagari – alfabetas, kuris daugiausia naudojamas Indijos subkontinento bei Himalajų kalnų tautų kalbose.

Šio darbo tikslas – sukurti programą, kuri gebėtų atpažinti ir klasifikuoti .png formatu pateiktus ranka parašytų Devanagari simbolių paveikslėlius.

Programoje siekiama panaudoti keletą duomenų apdorojimo bei daugiau nei vieną skirtingą mašininiu mokymusi paremtą simbolių atpažinimo metodą.

Mašininio mokymosi metodų tikslumo įvertinimui naudojama kelių duomenų sluoksnių (k-fold) kryžminė patikra.

# **Panaudoti mašininio mokymosi metodai ir jų rezultatai**

Užduoties tikslui pasiekti panaudoti du mašininio mokymosi metodai:

* Simbolių kontūro intensyvumo žemėlapio (angl. Heatmap) metodas
* Neuroninis tinklas

Aukščiausias pasiektas pirmojo metodo bendrasis tikslumas – **82.1%**

Žemiausias pasiektas pirmojo metodo tikslumas – **62%**

Aukščiausias pasiektas antrojo metodo bendrasis tikslumas – **84,9%**

Žemiausias pasiektas antrojo metodo tikslumas – **72,8%**

# **Projekto komandos nariai ir jų atlikti darbai**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Vardas, pavardė | Užsiėmimo laikas | Atlikti darbai: | Ataskaitos skyriai: |
| Martynas Kaunas | Pirmadieniais 09:00 | * Duomenų paruošimo ir valymo realizacija * Maš. Mok. Metodo 1 realizacija. | 1  3  6 |
| Deividas Pečiulionis | Pirmadieniais 09:00 | * Duomenų surinkimo realizacija. * Dimensijų sumažinimo realizacija. * Maš. Mok. Metodų 1 ir 2 Kryžminės patikros eksperimentų realizacija | 2  4  5 |
| Gediminas Milašius | Pirmadieniais 09:00 | * Duomenų surinkimo realizacija. * Maš. Mok. Metodo 2 realizacija | 7  8 |

# **Duomenų surinkimas** (iš paveikslėlių failų)

Projekte naudojami .png formato, 32x32 pikselių dydžio, ranka parašytų Devanagari simbolių paveikslėliai. Duomenys gauti iš mašininio mokymosi užduočių duomenų archyvo:

Devanagari alfabetą viso sudaro 47 skirtingi simboliai. Atsižvelgiant į skaičiavimų trukmę ir galimus skaičiavimo resursų poreikius, projekte apsiribojama 10-mi simbolių, kuriais išreiškiami alfabeto skaitmenys 0-9.

Duomenų rinkinyje yra po 2000 paveikslėlių kiekvienam Devanagari skaitmeniui. Taigi viso – 20000 paveikslėlių.

Kiekvieną paveikslėlį sudaro 32x32 = 1024 pikselių. Kiekvienas pikselis turi šviesumo reikšmę įvertinamą nuo 0 (juoda) iki 1 (balta).

# **Kodo fragmentas**

private static readonly string TrainingData = Path.Combine(Environment.CurrentDirectory, @"Data\Data");

private static readonly string TestData = Path.Combine(Environment.CurrentDirectory, @"Data\Test");

...

List<double> result = new List<double>();

int start = 0; // testuojamų duomenų pradžios indeksas

int step = (int)(2000.0 / dataSetCount); // testuojamų duomenų indekso žingsnis tarp iteracijų

int end = (int)(2000.0 / dataSetCount); // testuojamų duomenų pabaigos indeksas

List<List<string>> listList = new List<List<string>>();

// Surašomi failų pavadinimai į sąrašą. Sąrašas saugo kiekvieno skaitmens paveikslėlių sąrašą (kelius (path) iki paveikslėlių).

for (int i = 0; i < 10; i++){

List<string> list = new List<string>();

foreach (string fpath in Directory.GetFiles(Path.Combine(data, "digit\_" + i), "\*.png"))

{

list.Add(fpath);

}

listList.Add(list);

}

}

...

public static KeyValuePair<int, Image>[] ReadAllImages(List<List<string>> images){

var index = 0;

var inputData = Enumerable.Empty<KeyValuePair<int, Image>>();

foreach (var list in images){

inputData = inputData.Concat(ReadList(list) // Read the contents and concatinate the image data.

.Select(f => new KeyValuePair<int, Image>(index, f))) // Attach an index to a given image, i.e. 2 = file in directory no.2

.ToArray(); // Execute the request immedietly.

index++;

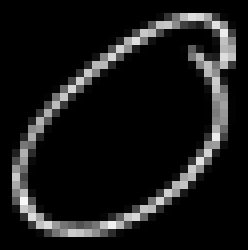
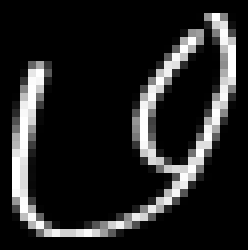
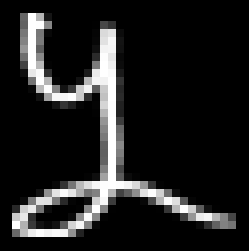
Console.WriteLine($"{index \* 10}%");

}

return (KeyValuePair<int, Image>[])inputData;

}

# **Duomenų pavyzdžiai**

Šiame skyriuje pateikiami pavyzdiniai paveikslėliai kiekvienam iš 10 projekte naudojamų skaitmenų.

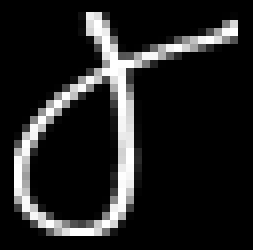
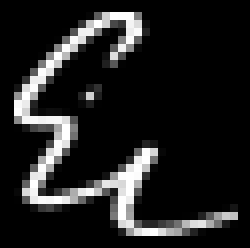
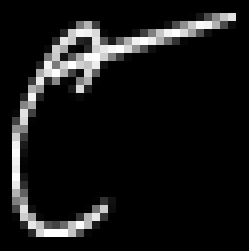
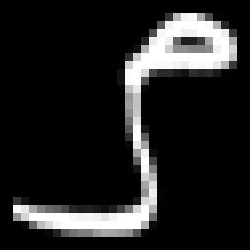
pav. 8 Devanagari "7"

pav. 4 Devanagari "3"

pav. 3 Devanagari "2"

pav. 2 Devanagari "1"

pav. 1 Devanagari "0"



pav. 7Devanagari "6"

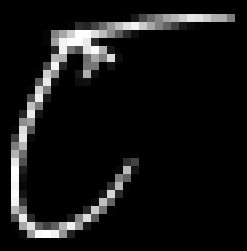
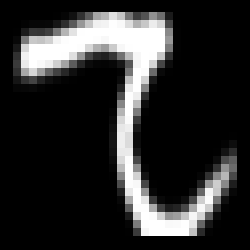
pav. 6 Devanagari "5"

pav. 5 Devanagari "4"

pav. 9 Devanagari "8"

pav. 10 Devanagari "9"

Taip pat verta pastebėti, kad kiekvieno simbolio išvaizda 2000 paveikslėlių rinkiniuose stipriai varijuoja. Pavyzdžiui, nors visi trys pav. 11-13 pavaizduoti simboliai atrodo labai skirtingai, bet reiškia tą patį – „8“.



pav. 12 Devanagari "8" 2

pav. 11 Devanagari "8" 1

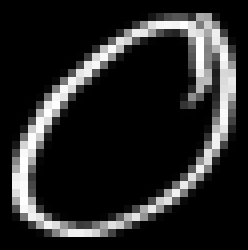
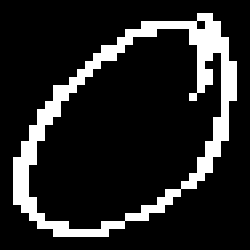
pav. 13 Devanagari "8" 3

# **Duomenų paruošimas ir valymas** (pilnai suprogramuotas)

Programoje duomenų valymą apima du pagrindiniai metodai:

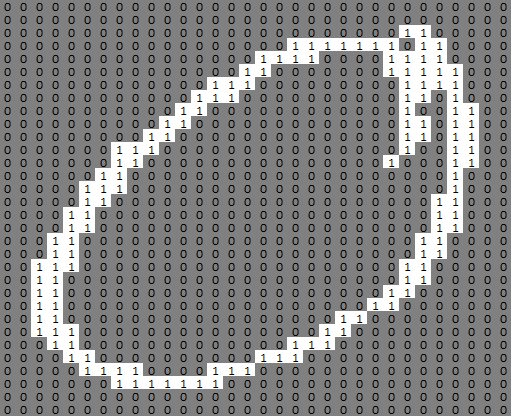
* **ImageToBlackWhite()** – Gautas duomenų failo paveikslėlis yra apdorojamas taip, kad visi pilkų atspalvių pikseliai būtų paversti juodais arba baltais pagal programoje pasirinktą šviesumo slenkstį.
* **ImageToMatrix()** – Gautas juodai/baltas paveikslėlis konvertuojamas į dvejetainę matricą, kuri naudojama vėlesniuose skaičiavimuose.

Pateikiama šių metodų veikimo schema su pavyzdiniu Devanagari nulį vaizduojančiu paveikslėliu:



**ImageToBlackWhite()**

**ImageToMatrix()**



* 1. **Kodo fragmentas**

//Paverčia visus pilkus pixelius juodais arba baltais pagal slenksčio reikšmę

public static Bitmap ImageToBlackWhite(Bitmap imgSrc, double threshold)

{

int width = imgSrc.Width;

int height = imgSrc.Height;

Color pixel;

Bitmap imgOut = new Bitmap(imgSrc);

for (int row = 0; row < height - 1; row++)

{

for (int col = 0; col < width - 1; col++)

{

pixel = imgSrc.GetPixel(col, row);

if (pixel.GetBrightness() < threshold)

{

Vertices.Add(new Vertex(col, row));

imgOut.SetPixel(col, row, ColorBlack);

}

else

{

imgOut.SetPixel(col, row, ColorWhite);

}

}

}

return imgOut;

}

//Konvertuoja juodą/baltą paveiksliuką į 0/1 matricą

public static double[,] ImageToMatrix(Bitmap img)

{

int height = img.Height;

int width = img.Width;

double[,] Matrix = new double[ConvWidth, ConvHeigth];

for (int i = 0; i < width; i++)

{

for (int j = 0; j < height; j++)

{

if (img.GetPixel(i, j).Equals(ColorBlack))

{

Matrix[i, j] = 0;

}

else if (img.GetPixel(i, j).Equals(ColorWhite))

{

Matrix[i, j] = 1;

}

}

}

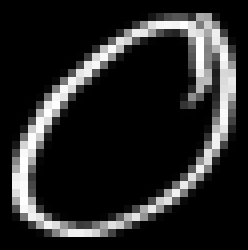
return Matrix;

}

# **Dimensijų sumažinimas** (pilnai suprogramuotas)

Dimensijų sumažinimas programoje atliekamas mažinant paveikslėlių dydį

* **Paveikslėlio sutraukimas** – paveikslėlis performuojamas į pasirinktą dydį. Pavyzdžiui 32x32 -> 16x16



**Sutraukimas į 16x16**

* 1. **Kodo fragmentas**

// Paima paveikslėlį iš failo, sumažina, pilkus pixelius padaro juodais/baltais, konvertuoaj į 0/1 matricą, yra galimybė apkarpyti

public static double[,] processImage(string fpath)

{

Bitmap og = new Bitmap(fpath); //Paima iš failo

Bitmap conv = new Bitmap(ConvWidth, ConvHeigth); //Sumažina

using (Graphics gr = Graphics.FromImage(conv))

{

gr.SmoothingMode = SmoothingMode.HighQuality;

gr.InterpolationMode = InterpolationMode.HighQualityBicubic;

gr.PixelOffsetMode = PixelOffsetMode.HighQuality;

gr.DrawImage(og, new Rectangle(0, 0, ConvWidth, ConvHeigth));

}

conv = ImageToBlackWhite(conv, BwThreshold); //Pilkus pixelius -> juodus/baltus

conv.RotateFlip(RotateFlipType.Rotate270FlipY);

double[,] img = ImageToMatrix(conv); //konvertuoja į 0/1 matricą

//img = CutMatrix(img); //apkarpo -2px nuo kiekvieno krašto

return img;

}

# **Įžanginiai eksperimentai patikrinantys, ar dimensijų sumažinimą verta naudoti** (grafinis iliustravimas ir pakomentavimas)

Duomenų rinkinyje esančių paveikslėlių dydis - 32x32 pikseliai. Prieš atliekant skaičiavimus atliekamas dimensijų sumažinimas – paveikslėlių dimensijos sutraukiamos iki pasirinkto dydžio. Šiame skyriuje pateikti grafikai rodo, kaip keičiasi bendras metodų tikslumas kintant paveikslėlių dydžiui.

# **Maš. Mok. Metodas 1**

pav. 14 Metodo 1 bendro tikslumo priklausomybė nuo sutraukto paveikslėlių dimensijų

Matome, kad aukščiausias tikslumas pasiekiamas, kai paveikslėlio dimensijos 16x16. Kai dimensijos didesnės, artimesnės originalioms, tikslumas beveik toks pat. Tačiau, dimensijas mažinant žemiau 16 pikselių tikslumas ima mažėti. Tikėtina, kad pernelyg stipriai sumažinus analizuojamų paveikslėlių dimensijas prarandamas paveikslėlio aiškumas bei unikalios simbolių detalės, kurių metodui reikia, kad būtų galima atskirti simbolius.

# **Maš. Mok. Metodas 2**

pav. 5 Metodo 2 bendro tikslumo priklausomybė nuo paveikslėlių dimensijų

Matome, kad kai simbolių atpažinimui naudojamas neuroninis tinklas, didžiausias tikslumas pasiekiamas, kai naudojami sumažinti 16x16 dimensijų paveikslėliai. Palikus paveikslėlio dimensijas nesumažintas, gautas tikslumas sumažėja tik per 0.2%, o sumažinus iki 8x8 tikslumas nukrenta 1%, palyginus su 16x16 paveikslėlių atpažinimo tikslumu.

Lyginant su pirmuoju metodu, antrojo metodo tikslumas kintant paveikslėlių dydžiui yra labai stabilus.

# **Rezultatų apibendrinimas**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Maš. Mok Metodas 1 | Maš. Mok Metodas 2 |
| Pradiniai duomenys 32x32 | 69,7% | 79,3% |
| Paveikslėliai sumažinti iki 24x24 | 69,6% | 79,4 |
| Paveikslėliai sumažinti iki 16x16 | **70,9%** | **79,52%** |
| Paveikslėliai sumažinti iki 12x12 | 66,4% | 78,51% |
| Paveikslėliai sumažinti iki 8x8 | 54,6% | 78,51% |

lentelė duomenų dimensijų mažinimo eksperimentų rezultatai

Apibendrinus duomenų dimensijų mažinimo įtaką projekte naudotų metodų rezultatams galima daryti išvadą, kad dimensijų mažinimą naudoti verta. Sumažinus paveikslėlių dimensijas nuo 32x32 iki 16x16 tikslumas beveik nepakinta, tačiau taip sutaupoma skaičiavimo laiko ir resursų, nes programai reikia dirbti su mažesnės apimties duomenimis. Kita vertus, per daug mažinant dimensijas kyla grėsmė prarasti paveikslėliuose esančių simbolių aiškumą ir sumažinti programos tikslumą.

Su visais išbandytais paveikslėlių dydžiais antrojo metodo tikslumas yra apie 10% aukštesnis nei pirmojo.

# ***1*-ojo mašininio mokymosi metodo su mokytoju panaudojimas** (pilnai suprogramuotas)

Pirmasis programoje naudojamas simbolių atpažinimo metodas yra paremtas simbolio kontūro intensyvumo žemėlapio (angl. Heatmap) sudarymu.

# **Metodo veikimas**

Pirmiausia turimi duomenys apdorojami duomenų valymo ir dimensijų sumažinimo metodais (žr. 3 ir 4 skyrius). Paveikslėliai konvertuojami į dvejetaines matricas ir yra sumažinami arba apkarpomi.

Toliau vykdoma metodo kryžminė patikra. Visi duomenys padalinami į pasirinktą skaičių „sluoksnių“. Vienas duomenų sluoksnis naudojamas testavimui, likę – apmokymui. Kiekvienoje kryžminės patikros iteracijoje testavimui parenkamas vis kitas padalintų duomenų sluoksnis.

Kiekvienos kryžminės patikros iteracijos metu apskaičiuojamas kiekvieno simbolio atpažinimo tikslumas atskirai bei bendras modelio tikslumas. Iteracijos modelio apmokymo metu naudojami metodai TrainSymbolMatrix() ir Training(). Iteracijos modelio testavimą atlieka metodas Testing().

Apmokymo metu iš visų apmokymui skirtų failų yra formuojami kiekvieno simbolio intensyvumo žemėlapiai (angl. - Heatmap). Šie žemėlapiai atspindi, kaip po apmokymo modelis įsivaizduoja vieno ar kito simbolio formą. Kaip pavyzdys pateikiamas apmokymo metu gautas skaičiaus „0“ intensyvumo žemėlapis:

lentelė modelio apmokymo metu gautas Devanagari skaitmens „0“ kontūro intensyvumo žemėlapis

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 3 | 10 | 41 | 114 | 221 | 316 | 366 | 338 | 286 | 202 | 126 | 46 | 8 | 0 |
| 0 | 3 | 65 | 266 | 576 | 842 | 1058 | 1192 | 1234 | 1114 | 990 | 732 | 452 | 233 | 65 | 0 |
| 0 | 27 | 274 | 583 | 774 | 891 | 955 | 930 | 878 | 867 | 853 | 875 | 790 | 466 | 169 | 0 |
| 0 | 157 | 553 | 775 | 822 | 758 | 566 | 465 | 457 | 492 | 569 | 681 | 861 | 763 | 357 | 0 |
| 0 | 328 | 786 | 853 | 657 | 372 | 207 | 137 | 141 | 184 | 273 | 404 | 669 | 920 | 555 | 0 |
| 0 | 628 | 954 | 740 | 303 | 115 | 57 | 35 | 42 | 64 | 97 | 204 | 448 | 927 | 808 | 0 |
| 0 | 943 | 1035 | 425 | 97 | 33 | 18 | 14 | 20 | 19 | 31 | 70 | 290 | 874 | 1021 | 0 |
| 0 | 1180 | 1058 | 155 | 29 | 13 | 7 | 8 | 7 | 8 | 13 | 28 | 166 | 876 | 1118 | 0 |
| 0 | 1317 | 942 | 77 | 19 | 9 | 4 | 2 | 3 | 5 | 8 | 36 | 146 | 911 | 1023 | 0 |
| 0 | 1269 | 879 | 167 | 19 | 5 | 1 | 1 | 1 | 2 | 22 | 71 | 294 | 915 | 803 | 0 |
| 0 | 1000 | 975 | 429 | 92 | 22 | 3 | 1 | 4 | 21 | 68 | 245 | 600 | 821 | 479 | 0 |
| 0 | 422 | 1052 | 760 | 429 | 224 | 112 | 82 | 112 | 211 | 436 | 706 | 781 | 530 | 168 | 0 |
| 0 | 56 | 607 | 1018 | 895 | 735 | 639 | 644 | 733 | 876 | 923 | 742 | 449 | 147 | 17 | 0 |
| 0 | 1 | 43 | 359 | 793 | 1073 | 1175 | 1204 | 1081 | 821 | 536 | 289 | 80 | 12 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Toks žemėlapis sudaromas kiekvienam Devanagari skaitmeniui. Šie žemėlapiai rodo, kiek kartų per visus apmokymui skirtus failus kiekviename failo pikselyje pasikartoja „balta“ reikšmė. (dvejetainės matricos 1-etas).

Kiekvienas testavimui pateiktas simbolio paveikslėlis yra lyginamas su visais kontūro intensyvumo žemėlapiais, geriausiai atitinkantis žemėlapis nurodo, kaip programa klasifikuoja simbolį.

Testavimo metu naudojamas parametras „riba“ kuris nurodo, kokia intensyvumo žemėlapio reikšmio rodo į testuojamo failo panašumą į žemėlapį.

T.y: jei žemėlapio reikšmė > riba ir testuojamas pikselis = 1 (balta) tai panašumas++.

Smarkiai supaprastintas testavimo idėjos pavyzdys galėtų atrodyti taip:

Tarkime turime simbolius simbolius A ir B. Jų intensyvumo žemėlapiai sudaryti iš penkių apmokymo failų atrodo taip:

A

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 5 | 4 | 5 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 4 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | B   |  |  |  | | --- | --- | --- | | 1 | 0 | 0 | | 4 | 5 | 0 | | 1 | 5 | 0 | |

Panašumo riba = 2. Testavimui pateikiama simbolio dvejetainė matrica:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 |

Panašumas su A žemėlapiu bus = 4, panašumas su B žemėlapiu bus = 1.

Simbolis bus klasifikuojamas kaip A.

# **Kryžminės patikros eksperimentai**

Šiame skyriuje pateikiami programos veikimo tikslumo grafikai. Naudotos parametrų reikšmės – BwThreshold – 0.5, simbolio sutraukimo dydis – 16x16, atitikimo žemėlapiui riba – 300.

# **Bendras metodo tikslumas kryžminės patikros iteracijose**

pav. 18 Bendras metodo 1 tikslumas KP iteracijose

Matome, kad bendras metodo, kuris naudoja simbolių kontūro intensyvumo žemėlapį, tikslumas svyruoja tarp 62-82%. Tai nėra labai blogas tikslumas, tačiau vis tiek reiškia, kad dalyje iteracijų nemažai simbolių klasifikuojama neteisingai.

# **Skaitmenų atpažinimo tikslumas kryžminės patikros iteracijose**

pav. 19 Skaitmenų atpažinimas pirmojoje KP iteracijoje

pav. 20 Skaitmenų atpažinimas ketvirtojoje KP iteracijoje

pav. 21 Skaitmenų atpažinimas trečiojoje KP iteracijoje

pav. 22 Skaitmenų atpažinimas ketvirtojoje KP iteracijoje

pav. 23 Skaitmenų atpažinimas penktojoje KP iteracijoje

# **Metodo tikslumo priklausomybė nuo BwThreshold reikšmės**

BwThreshold – parametras, kuris nustatato, kaip metodas ImageToBlackWhite() įvertina pilkus pikselius. Pilki pikseliai pagal šio parametro nustomą šviesumo ribą perdažomi juodai arba baltai. Šiame skyriuje pateiktas grafikas rodo, kaip keičiasi bendras metodo tikslumas kintant BwThreshold reikšmei.

pav. 24 Metodo 1 bendro tikslumo priklausomybė nuo BwThreshold reikšmės

Matome, kad aukščiausias bendras tikslumas pasiekiamas, kai reikšmė 0.5. Reikšmę didinant arba mažinant metodo tikslumas mažėja.

# **Metodo tikslumo priklausomybė nuo atitikimo žemėlapiui ribos**

Metode Testing(), kuris kryžminės patikros metu atlieka testavimo duomenų rinkinio paveikslėlių klasifikaciją, naudojamas parametras „riba“. Ši riba nurodo, kokį dydį turi pasiekti pikselį atitinkanti reikšmė simbolio kontūro intensyvumo žemėlapyje, kad testuojamo paveikslėlio baltas pikselis būtų įskaičiuotas kaip atitinkantis žemėlapį. Šiame skyriuje pateiktas grafikas rodo, kaip keičiasi bendras metodo tikslumas kintant šios ribos reikšmei.

pav. 25 Metodo 1 bendro tikslumo priklausomybė nuo atitikimo žemėlapiui

Matome, kad aukščiausias tikslumas pasiekiamas, kai ribos reikšmė – 300. Ribą didinant arba mažinant tikslumas sparčiai mažėja.

# **Rezultatai ir išvados**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **KP iteracija**  **Skaitmens tikslumas** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| 0 | 81,8 | 51 | 67 | 56,3 | 80,8 |
| 1 | 80,8 | **93** | 86 | 91,5 | 23,8 |
| 2 | 35 | **49** | 31 | 37,5 | 15,8 |
| 3 | **89** | 88 | 68 | 73,3 | 77,8 |
| 4 | 76,5 | **97** | 85 | 73,8 | 79,8 |
| 5 | **89,3** | 75 | 60 | 69 | 69,5 |
| 6 | 77,5 | **93** | 57 | 62,5 | 86,5 |
| 7 | 64,3 | **95** | 35 | 79,5 | 25,5 |
| 8 | **85,8** | 82 | 35 | 74,5 | 81,8 |
| 9 | 92 | **98** | 96 | 73,8 | 99 |
| Bendras | 77,2 | **82,1** | 62 | 69,2 | 64 |

lentelė maš. Mok. Metodo 1 kryžminės patikros rezultatai

Analizuojant atskirų skaitmenų atpažinimo procentus galima pastebėti tam tikrus dėsningumus.

Vienus skaičius programai atpažinti sekasi geriau nei kitus. Skaitmens „2“ atpažinimo procentas nė vienoje iš penkių iteracijų neviršija 50%. Kita vertus skaitmens „9“ atpažinimas 4/5 iteracijų viršija 90% ir tik vienoje žemiausiai nukrenta iki 73,8%

Kai kuriuose iteracijose pastebimas žymus pavienių skaitmenų atpažinimo tikslumo sumažėjimas (trečia iteracija „7“ ir „8“, penkta iteracija „1“). Šį sumažėjimą galima paaiškinti tuo, kad duomenų rinkinyje esančiuose paveikslėliuose esanti skaitmenų išvaizda labai stipriai varijuoja. Jei testavimo metu pasitaiko nestandartinis skaitmens rašymo būdas, kurio nebuvo apmokymui skirtuose duomenyse, suprantama, kad atpažinimo tikslumas gerokai nukenčia.

Atmetus šiuos tikslumo sumažėjimus, kitų simbolių atpažinimo tikslumas tarp iteracijų yra gan pastovus ir patenkinamas – apie 60-80%

# **Kodo fragmentas**

public static double[,] TrainSymbolMatrix(double[,] symbolmatrix, List<string> trainpath)

{

symbolmatrix = processImage(trainpath[0]);

foreach (string fpath in trainpath)

{

double[,] img = processImage(fpath);

symbolmatrix = Training(img, symbolmatrix);

}

return symbolmatrix;

}

//Apmokymas. Gaunam svorinę matricą. "Kaip atrodo simbolis".Kuo daugiau kartų tame pikselyje buvo balta - tuo didesnis skaičius

public static double[,] Training(double[,] trainmatrix, double[,] finalMatrix)

{

double[,] newFinalmatrix = new double[ConvWidth, ConvHeigth];

for (int i = 0; i < trainmatrix.GetLength(0); i++)

{

for (int j = 0; j < trainmatrix.GetLength(1); j++)

{

newFinalmatrix[i, j] = Math.Round((trainmatrix[i, j] + finalMatrix[i, j]));

}

}

return newFinalmatrix;

}

//Testavimas, tikrinama, kurią apmokymo metu gautą svorių matricą geriausiai atitinka testuojamas paveiksliukas

public static string Testing(double[,] testmatrix, double[,] SymbolMatrix0, double[,] SymbolMatrix1, double[,] SymbolMatrix2, double[,] SymbolMatrix3, double[,] SymbolMatrix4,

double[,] SymbolMatrix5, double[,] SymbolMatrix6, double[,] SymbolMatrix7, double[,] SymbolMatrix8, double[,] SymbolMatrix9)

{

int[] scores = { 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 };

string[] results = { "0", "1", "2", "3", "4", "5", "6", "7", "8", "9" };

int riba = 300; //kiek baltos spalvos pasikartojimų heatmap'e skaitosi kaip "atitikimas"

for (int i = 0; i < testmatrix.GetLength(0); i++)

{

for (int j = 0; j < testmatrix.GetLength(1); j++)

{

if ((SymbolMatrix0[i, j] >= riba) && (testmatrix[i, j] == 1)){

scores[0] += 1;

}

if ((SymbolMatrix1[i, j] >= riba) && (testmatrix[i, j] == 1)){

scores[1] += 1;

}

if ((SymbolMatrix2[i, j] >= riba) && (testmatrix[i, j] == 1)){

scores[2] += 1;

}

if ((SymbolMatrix3[i, j] >= riba) && (testmatrix[i, j] == 1)){

scores[3] += 1;

}

if ((SymbolMatrix4[i, j] >= riba) && (testmatrix[i, j] == 1)){

scores[4] += 1;

}

if ((SymbolMatrix5[i, j] >= riba) && (testmatrix[i, j] == 1)){

scores[5] += 1;

}

if ((SymbolMatrix6[i, j] >= riba) && (testmatrix[i, j] == 1)){

scores[6] += 1;

}

if ((SymbolMatrix7[i, j] >= riba) && (testmatrix[i, j] == 1)){

scores[7] += 1;

}

if ((SymbolMatrix8[i, j] >= riba) && (testmatrix[i, j] == 1)){

scores[8] += 1;

}

if ((SymbolMatrix9[i, j] >= riba) && (testmatrix[i, j] == 1)){

scores[9] += 1;

}

}

}

int maxValue = scores.Max();

int maxIndex = scores.ToList().IndexOf(maxValue);

return results[maxIndex];

}

# ***2*-ojo mašininio mokymosi metodo su mokytoju panaudojimas** (programinė realizacija iškviečiant atitinkamą biblioteką)

# **Metodo veikimas**

Antrasis metodas įgyvendintas naudojant „Accord“ mašininio mokymo karkaso neuroninių tinklų biblioteką Accord.Neuro.

Daugiau apie „Accord“ karkaso galimybes galima sužinoti šiame puslapyje: <http://accord-framework.net/index.html>

Duomenų apdorojimui naudojami 3 ir 4 skyriuose aprašyti spalvų vienodinimo bei paveikslėlių dydžio mažinimo metodai.

Naudojant NeuralNetwork.cs klasės metodą Teach() neuroninis tinklas mokomas tol, kol pasiekiama programoje nustatyta persimokymo reikšmė (Pavyzdžiui – tikslumas nebedidėja penkias epochas iš eilės, todėl nusprendžiama, kad tinklas persimokė ir apmokymą reikia nutraukti) arba pasiekiamas nustatytas epochų skaičius.

# **Kryžminės patikros rezultatai ir eksperimentai**

Šiame skyriuje pateikiami grafikai, kuriose pavaizduotas antrojo metodo rezultatų tikslumu kitimas priklausomai nuo programos parametrų.

# **Bendras metodo tikslumas kryžminės patikros iteracijose**

pav. 26 Bendras Metodo 2 tikslumas KP iteracijose

Iš gautų rezultatų matoma, kad simbolių atpažinimo tikslumas, naudojant neuroninius tinklus, svyruoja nuo 72.775% iki 84.9%. Klasifikatoriaus tikslumas yra gana didelis, bet vis tiek pasitaiko nemažai klaidingų klasifikavimų.

* + 1. **Skaitmenų atpažinimo tikslumas kryžminės patikros iteracijose**

pav. 27 Skaitmenų atpažinimas pirmojoje KP iteracijoje

pav. 28 Skaitmenų atpažinimas antrojoje KP iteracijoje

pav. 29 Skaitmenų atpažinimas trečiojoje KP iteracijoje

pav. 30 Skaitmenų atpažinimas ketvirtojoje KP iteracijoje

pav. 31 Skaitmenų atpažinimas penktojoje KP iteracijoje

# **Metodo tikslumo priklausomybė nuo BwThreshold reikšmės**

pav. 32 Metodo 2 bendro tikslumo priklausomybė nuo BwThreshold reikšmės

Matome, kad neuroninis tinklas aukščiausią tikslumą pasiekia kai BwThreshold reikšmė padidinama iki 0.6. Reikšmės didėjimas arba mažėjimas neturi didelės įtakos metodo tikslumui – bendras tikslumas keičiasi tik 1-2%.

# **Rezultatai ir išvados**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **KP iteracija**  **Skaitmens tikslumas** | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 0 | 96,25 | 90 | 84,5 | 78,8 | **99** |
| 1 | 93,25 | **99,5** | 85 | 98 | 67 |
| 2 | 64,75 | 35,5 | 69,5 | **89** | 25,5 |
| 3 | 67 | **95** | 36,25 | 18,5 | 30,8 |
| 4 | 79,75 | **98** | 86,5 | 92 | 87,5 |
| 5 | **96,75** | 57,75 | 65 | 91 | 94,8 |
| 6 | 83 | 90,75 | 64,5 | 83,3 | **93,3** |
| 7 | 71,5 | **99,5** | 81,25 | 91,3 | 81,3 |
| 8 | 93,75 | **95,5** | 68 | **95,5** | 94 |
| 9 | **91,25** | 87,5 | 87,25 | 66,3 | 85,5 |
| Bendras | 83,725 | **84,9** | 72,28 | 80,4 | 75,9 |

lentelė Mok. Metodo 2 kryžminės patikros rezultatai

Atlikus neuroninio tinklo metodo kryžminę patikrą galima pastebėti, kad didžiausius sunkumus kelia dviejų simbolių, „2“ ir „3“, atpažinimas ir klasifikavimas. Aukščiausias „2“ atpažinimo procentas buvo ketvirtoje iteracijoje – 89%, o „3“ – antroje iteracijoje su 95% tikslumu. Mažiausias atpažinimo tikslumo procentas „2“ atveju yra 25.5% penktoje iteracijoje, o „3“ atveju – 18.5% ketvirtoje iteracijoje. Iš grafikų galima pastebėti, kad ,esant dideliam „2“ atpažinimo tikslumui, „3“ atpažinimo tikslumas būna mažas ir atvirkščiai. Didžiausias pasiektas tikslumas buvo simbolio „1“ ir „7“– 99.5%.

Trečioje iteracijoje galima pastebėti didelį visų simbolių atpažinimo tikslumo sumažėjimą. Tai gali lemti atrinkti testavimo duomenys, kurie yra nukrypę nuo daugumos apmokymuose naudotų simbolių.

# **Kodo fragmentas**

private readonly double[][] \_inputData;

private readonly double[][] \_outputData;

private const int EpochsMax = 2000;

private const int OverfittedErrorTreshold = 5;

private ActivationNetwork Network { get; }

public NeuralNetwork(double[][] inputData, double[][] outputData)

{

\_inputData = inputData;

\_outputData = outputData;

Network = new ActivationNetwork(new SigmoidFunction(),

inputData[0].Length, // Input neuron count

outputData[0].Length); // Output neuron count

Network.Randomize();

}

public void Teach()

{

// Teacher method.

// Perceptron was experimentally found to give best results.

var teacher = new PerceptronLearning(Network);

// Value to track network's effectivness.

// If value increases over time, network is overfitted - terminate learning process.

var previousError = double.MaxValue;

// Value tracks the amount of times error value increased.

// Once it reaches a treshold, stop training - network is overfitted.

var errorIncreaseCount = 0;

// Epochs tracks the amount of cycles neural network took.

// Used to prevent infinite training.

var epochs = 0;

Console.WriteLine("Teaching network.");

// Train the neural network.

// Training lasts until EITHER network starts to get overfitted with data,

// or trainig has reached maximum epoch count.

while (errorIncreaseCount < OverfittedErrorTreshold && epochs < EpochsMax)

{

var error = teacher.RunEpoch(\_inputData, \_outputData);

if (error > previousError)

errorIncreaseCount++;

else

errorIncreaseCount = 0;

previousError = error;

epochs += 1;

if (epochs % 20 == 0)

Console.WriteLine($"{(double)epochs / EpochsMax \* 100}%");

}

}

public int Compute(Image img)

{

return Compute(img.ToDoubleArray());

}

private int Compute(byte[,] img)

{

var inputVector = new double[img.Length];

var index = 0;

foreach (var pixel in img)

{

inputVector[index++] = (double)pixel / 255;

}

return Compute(inputVector);

}

private int Compute(double[] inputVector)

{

var output = Network.Compute(inputVector);

output.Max(out var index);

return index;

}

# **Mašininio mokymosi metodų su mokytoju rezultatų palyginimas (tik pakomentavimas)**

Išanalizavus skyriuose 6-7 pateiktus pirmojo ir antrojo metodo rezultatus galima daryti išvadą, kad antrasis metodas, kuris naudoja neuroninio tinklo biblioteką, simbolius klasifikuoja tiksliau nei pirmasis, kuris naudoja simbolių kontūro intensyvumo žemėlapį.

Aukščiausias pasiektas pirmojo metodo bendrasis tikslumas – 82.1%

Žemiausias pasiektas pirmojo metodo tikslumas – 62%

Aukščiausias pasiektas antrojo metodo bendrasis tikslumas – 84,9%

Žemiausias pasiektas antrojo metodo tikslumas – 72,8%

Abu metodai davė gan įvairius kiekvieno simbolio atpažinimo rezultatus. Pirmojo metodo atskirų simbolių atpažinimo tikslumas tarp iteracijų ir priklausomai nuo apmokymui bei testavimui naudojamų duomenų svyravo net tarp 15-99%.

Antrojo metodo rezultatai taip pat turėjo nemažą variacijos lygį, tarp 18.5-99.5%.

Abiem metodams sunkiausiai sekėsi atpažinti skaitmenį „2“, skaitmenų atpažinimo tikslumas taip pat stipriai priklauso nuo apmokymo ir testavimo metu naudojamų duomenų.

Bendras metodų tikslumo procentas panašus, tačiau remiantis metodų bandymų ir programoje naudotų parametrų BwThreshold, paveikslėlių dimensijos, atpažinimo riba, eksperimentų rezultatais, galima daryti išvadą, kad antrasis metodas daugumoje atvejų yra keliais procentais tikslesnis ir patikimesnis.

# **Literatūra**

<https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Devanagari+Handwritten+Character+Dataset>

<http://paulbourke.net/dataformats/bitmaps/>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Heat_map>

<https://machinelearningmastery.com/k-fold-cross-validation/>

<https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/api/system.drawing.graphics?view=netframework-4.8>

<http://accord-framework.net/>