RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultāte

Mākslīgā intelekta un sistēmu inženierijas katedra

Rinalds Daniels Pikše

bakalaura akadēmisko studiju programmas "Datorsistēmas"

students, stud. apl. nr. 171RDB359

Salīdzinošā analīze Beiesa neironu tīklu stabilitātei

BAKALAURA DARBS: RUDENS SEMESTRA ATSKAITE

Zinātniskais vadītājs Dr.Sc.Ing. Pētnieks

Ēvalds Urtāns

RĪGA 2022

SATURA RĀDĪTĀJS

1. DARBA BŪTĪBA UN AKTUALITĀTE

Bakalaura darba mērķis: Salīdzināt Beiesa neironu tīklus ar parastajiem neironu tīkliem, izmantojot datu kopu, kura ir ārpus problēmsfēras

Bakalaura darba uzdevumi:

Izprast kā Beiesa neironu tīkli atšķiras no parastiem neironu tīkliem.

Noteikt kā Beiesa neironu tīkli nosaka modeļa nenoteiktību.

Noteikt kā palielināt Beiesa tīklu rezultātu ticamību.

Problēmas nostādne:

Varianti – īsti nezinu kā uzrakstīt

1. Neironu tīkli nespēj pareizi norādīt rezultātus datu kopām, kas atrodas ārpus problēmsfēras, kurai neironu tīkls tika trenēts.

Tēmas aktualitātes pamatojums:

Mašīnapmācība ir datorzinību lauks, kas mēģina izstrādāt automatizētus modeļus, lai risinātu plaša spektra problēmas. Mašīnapmācība pēdējos gados ir strauji augusi popularitātē un pielietojumu daudzveidībā dažādās sfērās – tiek aplēsts, ka servisu kopums kas balstīti uz mašīnapmācību varētu vairāk kā desmitkāršoties līdz 2030. gadam [1] Pielietojot neironu tīklus svarīgi ir zināt, cik liels ir pārliecības līmenis prognozēm. Šis darbs pievēršās Beiesa neironu tīkliem, kuri ir balstīti uz Beiesa metodēm, kuras sāka izplatīties 1980. gados un ir kļuvuši par plaši pielietotu neironu tīklu grupu. Beiesa neironu tīkli ļauj izprast, kādā mērā uzticēties modeļa gala rezultātam - tie izmanto varbūtību sadalījumus mainīgo vietā nevis nominālu vērtības, tādā veidā ievietojot varbūtības aprēķinu katrā modeļa solī. Izpētot tuvāk Beiesa neironu tīklu īpašības, mašīnapmācība var kļūt skaidrāka par veikto prognožu atbilstību problēmu risināšanai. Zināt, kādās robežās uzticēties izveidotajiem modeļiem ir būtiski, jo no tiem tiek veikti lēmumi, kas ietekmē aizvien vairāk cilvēku ikdienā.

Tālāk sniedziet izstrādes plānu, kurā ir atspoguļotas bakalaura darba izstrādē veicamas aktivitātes un to izpildes termiņi.

1.1. tabula

[1] Machine Learning as a Service Market Size, Report 2030
Machine Learning as a Service Market Size, Report 2030 (2022). Available at: https://www.precedenceresearch.com/machine-learning-as-a-service-market (Accessed: 15 December 2022).

Bakalaura darba izstrādes plāns

Aktivitāte	Termiņš
Apgūt parasto neironu tīklu teoriju	01.01.2023
Apgūt Beiesa neironu tīklu teoriju, izmantojot Monte-Carlo Dropout metodi	01.02.2023
Apmācīt abu veidu modeļus un veikt eksperimentus	01.03.2023
Dokumentēt rezultātus, formulēt hipotēzes tālākiem pētījumiem	01.04.2023
Bakalaura darba nodošana	29.05.2023

2. INFORMĀCIJAS AVOTU APSTRĀDES REZULTĀTI

Šajā nodaļā (ja nepieciešams vairākās) ievieto izlasīto informācijas avotu apstrādes rezultātus, kas ir vismaz 7 lappuses teksta.

2.1. Praktiskie uzdevumi

Pirmā darba aktivitāte bakalaura izstrādei, man ir bijusi "Apgūt parasto neironu tīklu teoriju". Tās ietvaros darba vadītājs, Dr.Sc.Ing. Ēvalds Urtāns, man deva praktiskus uzdevumus, ko pildīt, lai attīstītu savas zināšanas, kas man palīdzēs bakalaura darba izstrādes procesā. Kā pirmos informācijas avotus aprakstīšu katru no šiem uzdevumiem.

2.1.1. Gravitātes spēle

Šī uzdevuma mērķis bija atkārtot python valodas sintaksi, matricu operācijas un iepazīties ar numpy koda bibliotēku. gāja labi, sākumā bija neskaidri kā strukturēt kodu un uz ko fokusēties, taču sanāca atkārtot matricu transformācijas un python sintaksi. Pēc koda pārbaudes sapratu, ka svarīgākais algoritma izveidē bija kombinētās matricu transformācijas un numpy bibliotēkas specifiskās sintakses lietas. Tās pielabojot, spēle strādāja un sapratu ko mācīties talāk.

Izveidoto funkciju saraksts:

1. Dot function

```
def dot(X, Y):
    is_transposed = False

    X = np.atleast_2d(X)
    Y = np.atleast_2d(Y)

    if X.shape[1] != Y.shape[0]:
        is_transposed = True
        Y = np.transpose(Y)

    X_rows = X.shape[0]
    Y_columns = Y.shape[1]

    for X_row in range(X_rows):
        for Y_column in range(Y_columns):
            product[X_row, Y_column] = np.sum(X[X_row,:] * Y[:, Y_column])

    if is_transposed:
        product = np.transpose(product)

    if product.shape[0] == 1:
        product = product.flatten()

    return product
```

2. Vector normalization

```
def l2_normalize_vec2d(vec2d):
```

```
    length = math.sqrt(vec2d[0]**2 + vec2d[1]**2)
    normalized_vec2d = np.array([vec2d[0]/length, vec2d[1]/length])
    return normalized_vec2d
```

3. Translaiton matrix

```
def translation_mat(dx, dy):
    T = np.array([
        [1.0, 0.0, dx],
        [0.0, 1.0, dy],
        [0.0, 0.0, 1.0]
    ])
    return T
```

4. Scaling matrix

```
def scale_mat(dx, dy):
    T = np.array([
        [dx, 0.0, 0.0],
        [0.0, dy, 0.0],
        [0.0, 0.0, 1.0]
    ])
    return T
```

5. Circle generation

```
def drawCircle(radius):
        detail = 24
        circle = []
        d = 0
        x = 0
        while d < 375:
            circle.append([radius*np.cos(np.radians(d)), radius*np.sin(np.radians(d))])
            d +=375/detail
            x +=1

        return np.array(circle)
```

5. Additions

Pavadot laiku ar spēli mazliet vairāk, pievienoju ekstra elementus spēlei, lai to padarītu jautrāku un vizuāli pievilcīgāku:

5.0 Izveidoju emission particle objektu

```
class EmissionParticle(MovableObject):
    def __init__(self, directionVector, position):
        super().__init__()
        self.speed = .75
        I = np.array([
            [1, 0],
            [0, 1],
        ])

        self.vec_pos = dot(position, I)

        radius = np.random.uniform(0.15, 0.3)

        s = drawCircle(radius)
        self.geometry = s

        directionChangeMatrix = np.array([
            [np.random.uniform(-1.5, -0.5), 0],
            [0, np.random.uniform(-1.5, -0.5)],
        ])
        self.vec_dir = dot(directionVector, directionChangeMatrix)
        self.lifespan = 1
    def update_movement(self, dt):
        self.lifespan -= dt
        super().update_movement(dt)
        self.geometry = self.geometry * .75
        self.speed -= dt * 0.6
```

```
        if self.lifespan < 0:
            self.geometry = clearMatrix(self.geometry)


def createEmissionParticles(player):
    particles = []
    particles.append(EmissionParticle(player.vec_dir, player.vec_pos))
    particles.append(EmissionParticle(player.vec_dir, player.vec_pos))
    particles.append(EmissionParticle(player.vec_dir, player.vec_pos))
    return np.array(particles)
```

5.1 Pievienoju stratēģiju spēles izbeigšanai - ja planēta pietuvojas pārāk tuvu speletajam, spele beidzas:

5.1.1 noteikt distanci starp diviem objektiem

```
def distanceBetweenTwoObjects(pos1, pos2):
    return np.sum((pos1 - pos2)**2)/2
```

5.1.2 Kā updatot izraisīto spēku spēlētājam, planētai pietuvojoties tuvāk

```
def updateForceOnPlayer(self:MovableObject):
    F = 9.82 * self.radius / distanceBetweenTwoObjects(self.vec_pos, player.vec_pos)*2
    F_vec = l2_normalize_vec2d(self.vec_pos - player.vec_pos)
    player.external_forces[self.planetNumber] = F * F_vec
```

5.1.3 Parbaude vai objekti ir saskrējušies:

```
def isCollided(firstObject:MovableObject, secondObject:MovableObject):
    d_2 = distanceBetweenTwoObjects(firstObject.vec_pos, secondObject.vec_pos)
    if d_2 < 0.2:
        return True
    return False
```

5.1.4 Spēles izbeigšana:

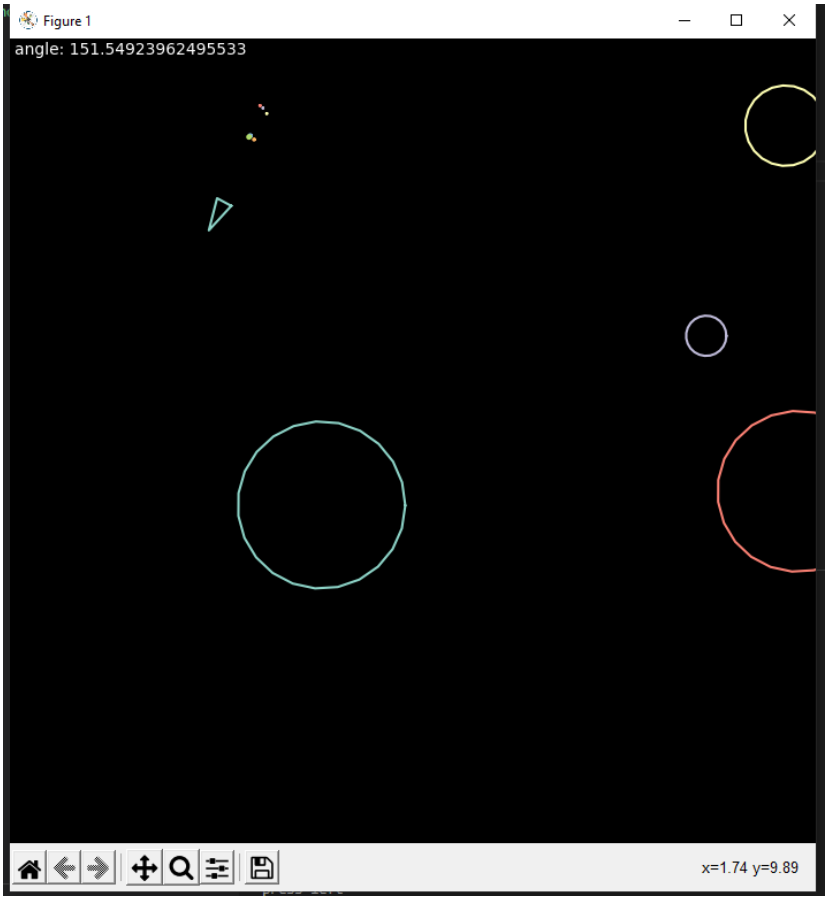
```
def closeWithGameOver():
    plt.text(x=-SPACE_SIZE+9, y=SPACE_SIZE-9, s=f'GAME OVER')
    plt.pause(5)
    global is_running
    is_running = False
```

5.1.5 Planētas update_movement implementācijai pievienoju izveidotās funkcijas:

```
class Planet(MovableObject):
    def __init__(self, name, index, radius):
        super().__init__()
        self.attribute_name = name
        self.speed = 0
        self.planetNumber = index
        print(radius)
        self.radius = radius

        s = drawCircle(self.radius)
        self.geometry = s

        self.vec_pos = np.array([np.random.uniform(-10.0, 10.0), np.random.uniform(-10.0, 10.0)])
        self.speed = 0

    def update_movement(self, dt):
        if isCollided(self, player):
            closeWithGameOver()

        super().update_movement(dt)

        updateForceOnPlayer(self)
```

Gala rezultātā tika izveidota programma, kas ļauj cilvēkam braukt pa vizuālu plakni ar trīsstūra figūru, šai figūrai ir jāizvairās no automātiski uzģenerētam planētām, kas iesūc figūru iekšā sevī, līdzko ta pietuvojās

pārāk ātri. Figūrai ir iespējams paātrināt kustību, mainīt virzienu un lidot caur kartes sienām, lai izvairītos no planētām.



Attēlā redzama spēles gaita.

2.1.2. Inversā kinemātika

Šī uzdevuma mērķis bija izprast kā izmantot absolūto un kvadrātisko kļūdu algoritmos, lai nonāktu pie optimālā rezultāta. Lai sasniegtu mērķi, tiek izveidota programma, kura ar trīs savienotiem posmiem jeb "rokām" mēģina nokļūt pie noteikta galapunkta, koriģējot tās savienojumu leņķus. Šīs programmas izstrādes procesā tika atkārtots, kā ar programatūru ievietot funkciju atvasinājumus, kā arī kā sastādīt atsevišķus algoritma soļus, lai nonāktu pie optimālāka risinājuma garākā algoritmā.

Izveidoto funkciju saraksts:

1. Rotation matrix

```
def rotation(theta):
    cos_theta = math.cos(theta)
    sin_theta = math.sin(theta)
    return np.array([
        [cos_theta, -sin_theta],
        [sin_theta, cos_theta],
    ])
```

2. Derivative of rotation matrix

```
def d_rotation(theta):
    cos_theta = math.cos(theta)
    sin_theta = math.sin(theta)
    return np.array([
        [-sin_theta, -cos_theta],
        [cos_theta, -sin_theta],
    ])
```

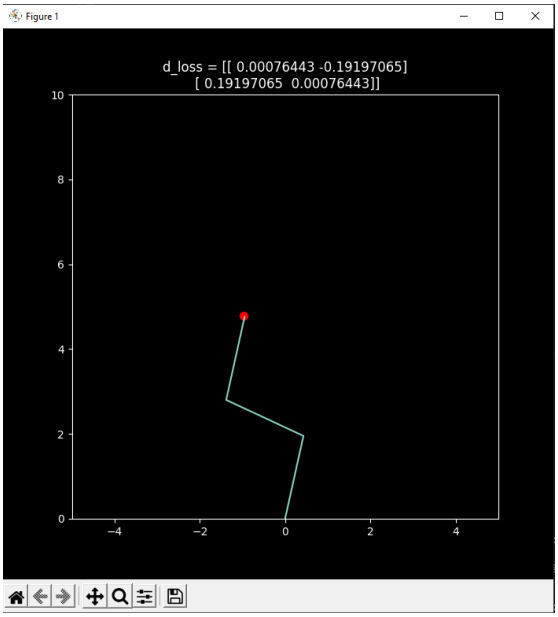
3. Angle rotation algorithm

```
d_theta_1 = np.sum(2 * (point_3 - target_point) * (dR1 @ t + dR1 @ R2 @ t))
theta_1 -= d_theta_1 * alpha

d_theta_2 = np.sum(2 * (point_3 - target_point) * (R1 @ dR2 @ t))
theta_2 -= d_theta_2 * alpha

d_theta_3 = np.sum(2 * (point_3 - target_point) * (R2 @ dR3 @ t)  )
theta_3 -= d_theta_3 * alpha
```

4. Derivative of mse loss function:

```
d_loss = 2*np.mean(target_point - point_3)
```

Gala rezultātā tiek izveidota robota roka, kas tuvusies katram punktam, ko lietotājs būs nospiedis uz ekrāna.



Attēls ar roku pietuvojušos atzīmētajam punktam

2.1.3. Vidējās kvadrātiskās kļūdas un vidējās absolūtās kļūdas salīdzinājums

Šī uzdevuma mērķis bija salīdzināt un izprast, kad labāk lietot vidējo absolūto kļūdu un kad – vidējo kvadrātisko kļūdu. Uzdevuma beigās tiek secināts, ka vispārējos terminos vidējā absolūtā kļūda ir piemērotāka datu kopām, kurām ir mazāk datu izņēmumu t.i. datu kuri drastiski atsķīras no pārējiem, jo vidējā kvadrātiska kļūda spēcīgi izceļ izņēmumu datus ierakstus.

Izveidoto funkciju saraksts:

1. Sigmoid function

```
def sigmoid(x):
    return 1.0 / (1.0 + np.exp(-x))
```

2. Loss mae

```
def loss_mae(y_prim, y):
    return np.sum(np.abs(y_prim - y))
```

3. Loss mse

```
def loss_mse(y_prim, y):
    return np.mean(np.sum((y_prim - y)**2))
```

4. Model

```
def model(x, W_1, b_1, W_2, b_2):
    layer_1 = linear(W_1, b_1, x)
    layer_2 = sigmoid(layer_1)
    layer_3 = linear(W_2, b_2, layer_2)
    return layer_3
```

2.1.4. Lineārās regresijas uzdevums ar apmācības modeli

Šī uzdevuma mērķis bija konstruēt neironu tīklu, kas funkcionēs ar noteiktu vairākslāņu algoritmisko modeli, lai izrēķinātu lineārās regresijas problēmu. Šī uzdevuma ietvaros, tika izstrādāts modelis, kas paredz noteiktu iznākumu funkcijai, balstoties uz ievades datiem. Sākuma modelis tiek izstrādāts, lai tas varētu ieņemt viena elementa datus (f(x)), bet pēctam, tas tiek uzlabots, lai iekļautu vairāku dimensiju datus (f(x, z)). Šī uzdevuma izpildes laikā, tika atkārtoti daudzi svarīgi koncepti, kas tiks pielietoti bakalaura izstrādes laikā, ka piemēram – neironu tīkla modeļa izveide, modeļa atpakaļizplatīšanās, stohastiskā gradienta nolaišanās u.c. Šī uzdevuma laikā, saskāros ar daudz problēmām, kuras darba vadītājs man izskaidrojot deva skaidrāku sapratni par to ka mašīnapmācības modeļu ieksējie tīkli strādā un kā tos matemātiski izprast.

Izveidoto funkciju saraksts:

1. Linear function

```
def linear(W, b, x):
    prod_W = np.squeeze(W.T @np.expand_dims(x, axis=-1), axis=-1)
    return prod_W + b
```

2. Derivatives for each variable

```
def dW_linear(W, b, x):
    return x

def db_linear(W, b, x):
    return 1

def dx_linear(W, b, x):
    return W
```

3. Back propogation

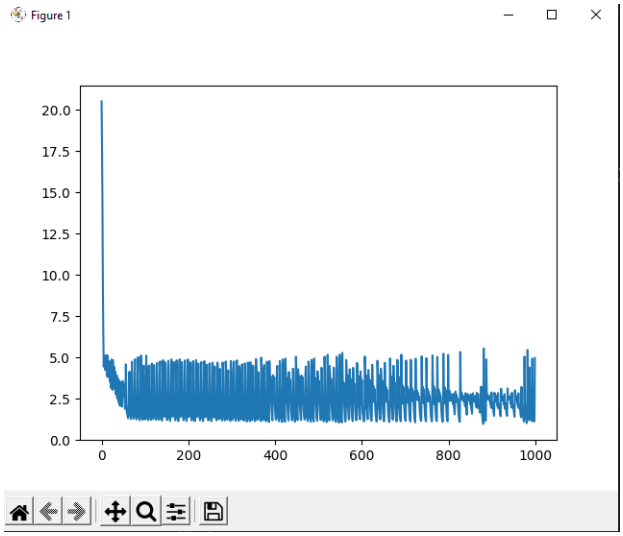
```
def dy_prim_loss_mae(y_prim, y):
    return (y_prim - y) / (np.abs(y_prim - y) + 1e-8)

def dW_1_loss(x, W_1, b_1, W_2, b_2, y_prim, y):
    d_layer_1 = dW_linear(W_1, b_1, x)
    d_layer_2 = dx_sigmoid(linear(W_1, b_1, x))
    d_layer_3 = np.expand_dims(dx_linear(W_2, b_2, sigmoid(linear(W_1, b_1, x))), axis=-1)
    d_loss = dy_prim_loss_mae(y_prim, y)
    d_dot_3 = np.squeeze(d_loss @ d_layer_3, axis=-1).T
    return d_dot_3 * d_layer_2 * d_layer_1
```

```
def db_1_loss(x, W_1, b_1, W_2, b_2, y_prim, y):
    d_layer_1 = db_linear(W_1, b_1, x)
    d_layer_2 = dx_sigmoid(linear(W_1, b_1, x))
    d_layer_3 = np.expand_dims(dx_linear(W_2, b_2, sigmoid(linear(W_1, b_1, x))), axis=-1)
    d_loss = dy_prim_loss_mae(y_prim, y)
    d_dot_3 = np.squeeze(d_loss @ d_layer_3, axis=-1).T
    return d_dot_3 * d_layer_2 * d_layer_1

def dW_2_loss(x, W_1, b_1, W_2, b_2, y_prim, y):
    d_layer_3 = dW_linear(W_2, b_2, sigmoid(linear(W_1, b_1, x)))
    d_loss = dy_prim_loss_mae(y_prim, y)
    return d_loss * d_layer_3

def db_2_loss(x, W_1, b_1, W_2, b_2, y_prim, y):
    d_layer_3 = db_linear(W_2, b_2, sigmoid(linear(W_1, b_1, x)))
    d_loss = dy_prim_loss_mae(y_prim, y)
    return d_loss * d_layer_3
```

4. SGD implementation

```
dW_1 = np.sum(dW_1_loss(X, W_1, b_1, W_2, b_2, Y_prim, Y))
    dW_2 = np.sum(dW_2_loss(X, W_1, b_1, W_2, b_2, Y_prim, Y))
    db_1 = np.sum(db_1_loss(X, W_1, b_1, W_2, b_2, Y_prim, Y))
    db_2 = np.sum(db_2_loss(X, W_1, b_1, W_2, b_2, Y_prim, Y))

    W_1 -= dW_1 * learning_rate
    W_2 -= dW_2 * learning_rate
    b_1 -= db_1 * learning_rate
    b_2 -= db_2 * learning_rate
```

Rezultātā tiek iegūts grafiks, kas atspoguļo funkcijas rezultātu sadalījumu vērtībām no 0 līdz 1000. Te jaņem vērā ka modelis tika trenēts ar mazu ievaddatu daudzumu, tāpēv rezultāti nav tik ļoti noderīgi ka informatīvi.



2.2. Analizētie rakstu avoti

Raksti, kas tika analizēti kopumā bija ļoti vispārīgi, par Beiesa neirālajiem tīkliem un time netika veltīts tik daudz laiks, cik tika veltīts prieks praktiskajiem uzdevumiem.

2.2.1. Monte Carlo Dropout

Michał Oleszak
Monte Carlo Dropout (2021).
Pieejams: https://towardsdatascience.com/monte-carlo-dropout-7fd52f8b6571
(Skatīts: 15 December 2022).

TODO: kkads apraksts

2.2.2. Why you should use Bayesian Neural Network

Yeung Wong
Why you should use Bayesian Neural Network? (2021).
Pieejams: https://towardsdatascience.com/why-you-should-use-bayesian-neural-network-aaf76732c150
(Accessed: 15 December 2022).

TODO: kkads apraksts

2.2.3. Bayesian Inference: The Best 5 Models and 10 Best Practices for Machine Learning

Anil Tilbe
Bayesian Inference: The Best 5 Models and 10 Best Practices for Machine Learning (2022).
Pieejams: https://pub.towardsai.net/bayesian-inference-the-best-5-models-and-10-best-practices-for-machine-learning-11238a43929e
(Skatīts: 15 December 2022).

TODO: kkads apraksts

//kam nebija laiks:

Zoubin Ghahramani University of Cambridge
(2022) Repository.cam.ac.uk. Available at:
https://www.repository.cam.ac.uk/bitstream/handle/1810/248538/Ghahramani%202015%20Nature.pdf
(Accessed: 13 December 2022).

Kirill Bykov, Marina M.-C. Hohne, Adelaida Creosteanui , Klaus-Robert Muller, Frederick Klauscheng, Shinichi Nakajimaa, Marius Kloft
(2022) Arxiv.org. Available at: https://arxiv.org/pdf/2108.10346.pdf (Accessed: 13 December 2022).

Monte Carlo Dropout
Monte Carlo Dropout (2021). Available at: https://towardsdatascience.com/monte-carlo-dropout-7fd52f8b6571 (Accessed: 15 December 2022).

IZMANTOTIE INFORMĀCIJAS AVOTI

Šeit ir jāapraksta visi informācijas avoti, uz kuriem ir atsauces 1. un 2. nodaļā.

Informācijas avotu un atsauču noformēšanā ir jāievēro DITF norādījumi studiju noslēguma darbu noformēšanai, kas ir atrodami DITF mājaslapā "Studijas/Noderīgi dokumenti un saites"