

zadani

November 7, 2020

Vítejte u domácí úlohy do SUI. V rámci úlohy Vás čeká několik cvičení, v nichž budete doplňovat poměrně malé fragmenty kódu, místo na ně je vyznačené jako **pass** nebo **None**. Pokud se v buňce s kódem již něco nachází, využijte/neničte to. V dvou případech se očekává textová odpověď, tu uvedete přímo do zadávající buňky. Buňky nerušte ani nepřidávejte.

Maximálně využívejte **numpy** a **torch** pro hromadné operace na celých polích. S výjimkou generátoru minibatchů by se nikde neměl objevit cyklus jdoucí přes jednotlivé příklady.

U všech cvičení je uveden počet bodů za funkční implementaci a orientační počet potřebných řádků. Berte ho prosím opravdu jako orientační, pozornost mu věnujte pouze, pokud ho významně překračujete. Mnoho zdaru!

1 Informace o vzniku řešení

Vyplňte následující údaje (**3 údaje, 0 bodů**)

- Jméno autora: Kateřina Fořtová
- Login autora: xforto00
- Datum vzniku: 21. 10. 2020

```
[1]: import numpy as np
import copy
import matplotlib.pyplot as plt
import scipy.stats
import torch
```

2 Přípravné práce

Prvním úkolem v této domácí úloze je načíst data, s nimiž budete pracovat. Vybudujte jednoduchou třídu, která se umí zkonstruovat z cesty k negativním a pozitivním příkladům, a bude poskytovat: - pozitivní a negativní příklady (`dataset.pos`, `dataset.neg` o rozměrech $[N, 7]$) - všechny příklady a odpovídající třídy (`dataset.xs` o rozměru $[N, 7]$, `dataset.targets` o rozměru $[N]$)

K načítání dat doporučujeme využít `np.loadtxt()`. Netrapte se se zapouzdřování a gettery, berte třídu jako Plain Old Data.

Načtěte trénovací ({positives,negatives}.trn), validační ({positives,negatives}.val) a testovací ({positives,negatives}.tst) dataset, pojmenujte je po řadě (train_dataset, val_dataset, test_dataset).

(6+3 řádků, 1 bod)

```
[2]: class dataset:
    def __init__(self, dataset):
        self.pos = np.loadtxt("positives." + dataset)
        self.neg = np.loadtxt("negatives." + dataset)

        self.xs = np.concatenate((self.pos, self.neg))
        self.xs_rows = np.shape(self.xs)[0]

        self.pos_target = np.full((np.shape(self.pos)[0],),1)
        self.neg_target = np.full((np.shape(self.neg)[0],),0)
        self.targets = np.concatenate((self.pos_target, self.neg_target))

train_dataset = dataset("trn")
val_dataset = dataset("val")
test_dataset = dataset("tst")

print('positives', train_dataset.pos.shape)
print('negatives', train_dataset.neg.shape)
print('xs', train_dataset.xs.shape)
print('targets', train_dataset.targets.shape)
```

```
positives (2280, 7)
negatives (6841, 7)
xs (9121, 7)
targets (9121,)
```

V řadě následujících cvičení budete pracovat s jedním konkrétním příznakem. Naimplementujte pro začátek funkci, která vykreslí histogram rozložení pozitivních a negativních příkladů (`plt.hist()`). Nezapomeňte na legendu, ať je v grafu jasné, které jsou které. Funkci zavolejte dvakrát, vykreslete histogram příznaku 5 – tzn. šestého ze sedmi – pro trénovací a validační data (5 řádků, 1 bod).

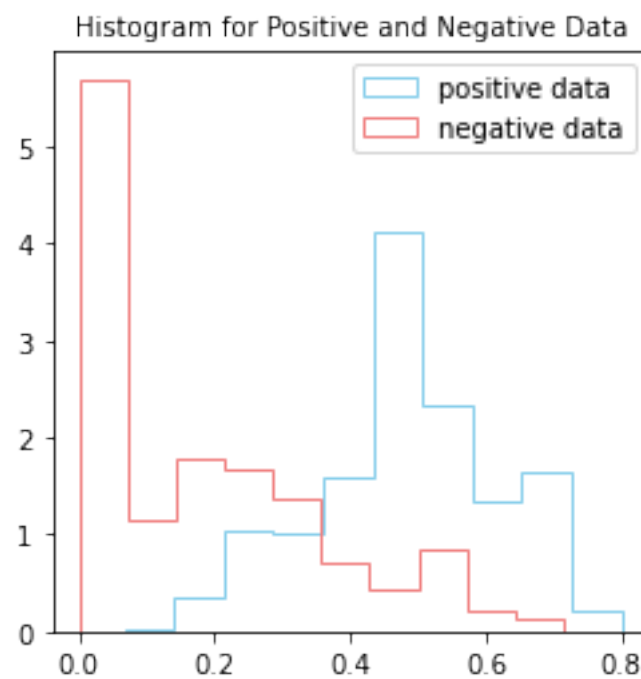
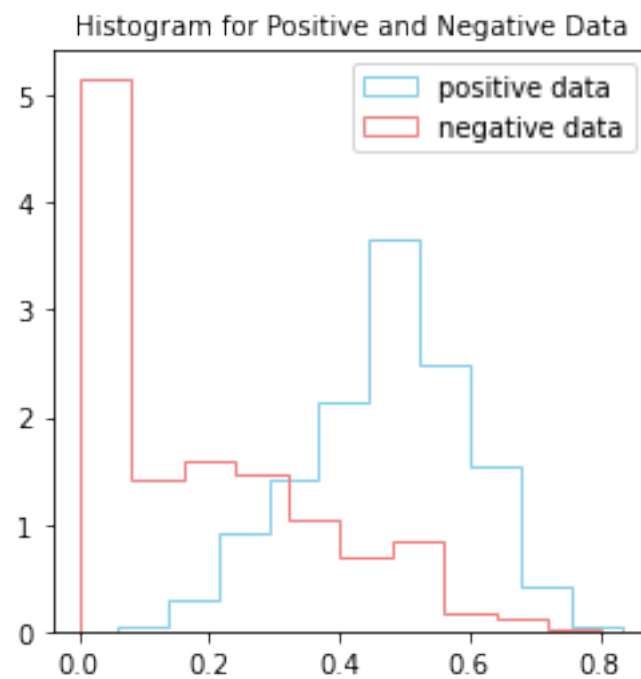
```
[3]: FOI = 5 # Feature Of Interest

def plot_data(poss, negs):
    figure = plt.figure(figsize=(4, 4))
    graph_plot = figure.add_subplot(1,1,1)
    graph_plot.hist(poss, density=True, histtype='step', color = "skyblue",
    ↪label="positive data")
    graph_plot.hist(negs, density=True, histtype='step', color = "lightcoral",
    ↪label="negative data")
    graph_plot.legend(prop={'size': 10})
    graph_plot.set_title("Histogram for Positive and Negative Data",
    ↪fontsize=10)
```

```

plot_data(train_dataset.pos[:, FOI], train_dataset.neg[:, FOI])
plot_data(val_dataset.pos[:, FOI], val_dataset.neg[:, FOI])

```



2.0.1 Evaluace klasifikátorů

Než přistoupíte k tvorbě jednotlivých klasifikátorů, vytvořte funkci pro jejich vyhodnocování. Nechť se jmenuje `evaluate` a přijímá po řadě klasifikátor, pole dat (o rozměrech $[N]$ nebo $[N, F]$) a pole tříd ($[N]$). Jejím výstupem bude *přesnost*, tzn. podíl správně klasifikovaných příkladů.

Předpokládejte, že klasifikátor poskytuje metodu `.prob_class_1(data)`, která vrací pole posteriorních pravděpodobností třídy 1 (tj. $p(y=1|x)$) pro daná data. Evaluační funkce bude muset provést tvrdé prahování (na hodnotě 0.5) těchto pravděpodobností a srovnání získaných rozhodnutí s referenčními třídami. Využijte fakt, že `numpy`ovská pole lze mj. porovnávat mezi sebou i se skalárem.

(3 řádky, 1 bod)

```
[4]: def evaluate(classifier, inputs, targets):
    classifier = Dummy()
    dummy_result = classifier.prob_class_1(inputs)
    # threshold predictions to 0 or 1
    k = np.where(dummy_result < 0.5, 0, np.where(dummy_result >= 0.5, 1, dummy_result))
    matches = np.where(k == targets)
    accuracy = np.shape(matches)[1] / np.shape(targets)[0]
    return accuracy

class Dummy:
    def prob_class_1(self, xs):
        return np.asarray([0.2, 0.7, 0.7])

print(evaluate(Dummy(), None, np.asarray([0, 0, 1]))) # should be 0.66...
```

0.6666666666666666

2.0.2 Baseline

Vytvořte klasifikátor, který ignoruje vstupní hodnotu dat. Jenom v konstruktoru dostane třídu, kterou má dávat jako tip pro libovolný vstup. Nezapomeňte, že jeho metoda `.prob_class_1(data)` musí vrátit pole správné velikosti, využijte `np.ones` nebo `np.full`.

(4 řádky, 1 bod)

```
[5]: # function for final prediction of test dataset
def evaluateBaseline(classifier, inputs, targets):
    predicted_classes = classifier.prob_class_1(inputs)
    correctly_classified = 0
    for target, prediction in zip(targets, predicted_classes):
        if (target == prediction):
            correctly_classified += 1
```

```

    accuracy = (correctly_classified / np.shape(targets)[0])
    return accuracy

class PriorClassifier:
    def __init__(self, class_type):
        self.class_type = class_type
    def prob_class_1(self, xs):
        self.predictions_arr = np.full((np.shape(xs)[0],), self.class_type)
        return self.predictions_arr

baseline = PriorClassifier(0)
val_acc = evaluateBaseline(baseline, val_dataset.xs[:, FOI], val_dataset.
    ↪targets)
print('Baseline val acc:', val_acc)

```

Baseline val acc: 0.75

3 Generativní klasifikátory

V této části vytvoříte dva generativní klasifikátory, oba založené na Gaussovu rozložení pravděpodobnosti.

Začněte implementací funce, která pro daná 1-D data vrátí Maximum Likelihood odhad střední hodnoty a směrodatné odchylky Gaussova rozložení, které data modeluje. Funkci využijte pro natrénování dvou modelů: pozitivních a negativních příkladů. Získané parametry – tzn. střední hodnoty a směrodatné odchylky – vypište.

(5 řádků, 0.5 bodu)

```

[6]: def maximumLikelihood(inputs):
    results = list()
    mu, std = scipy.stats.norm.fit(inputs)
    results.append(mu)
    results.append(std)
    return results

pos_features_pdf = maximumLikelihood(train_dataset.pos[:, FOI])
neg_features_pdf = maximumLikelihood(train_dataset.neg[:, FOI])

print("Mean of positive train inputs: " + str(pos_features_pdf[0]))
print("Standard deviation of positive train inputs: " +
    ↪str(pos_features_pdf[1]))
print("Mean of negative train inputs: " + str(neg_features_pdf[0]))
print("Standard deviation of negative train inputs: " +
    ↪str(neg_features_pdf[1]))

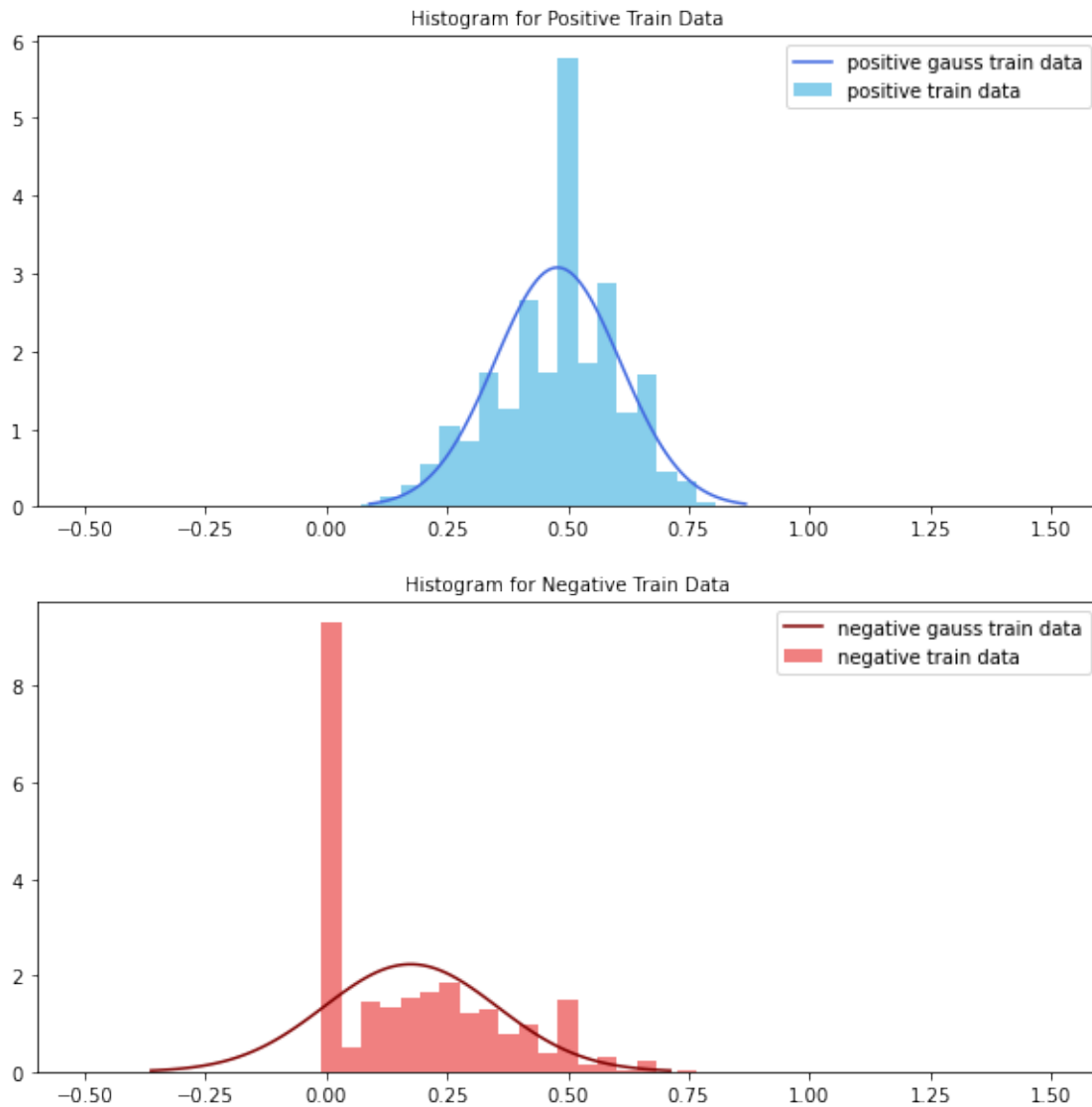
```

Mean of positive train inputs: 0.478428821613158
Standard deviation of positive train inputs: 0.12971703647258465
Mean of negative train inputs: 0.17453641132613792
Standard deviation of negative train inputs: 0.17895975196381242

Ze získaných parametrů vytvořte scipyovská gaussovská rozložení `scipy.stats.norm`. S využitím jejich metody `.pdf()` vytvořte graf, v němž srovnáte skutečné a modelové rozložení pozitivních a negativních příkladů. Rozsah x-ové osy volte od -0.5 do 1.5 (využijte `np.linspace`) a u volání `plt.hist()` nezapomeňte nastavit `density=True`, aby byl histogram normalizovaný a dal se srovnávat s modelem.

(2+8 řádků, 1 bod)

```
[7]: def plotPdf(poss, negs, poss_features, negs_features):  
    x_poss = np.linspace(poss_features[0] - 3*poss_features[1],  
    ↪poss_features[0] + 3*poss_features[1], 100)  
    x_negs = np.linspace(negs_features[0] - 3*negs_features[1],  
    ↪negs_features[0] + 3*negs_features[1], 100)  
    p_poss = scipy.stats.norm.pdf(x_poss, poss_features[0], poss_features[1])  
    p_negs = scipy.stats.norm.pdf(x_negs, negs_features[0], negs_features[1])  
  
    figure = plt.figure(figsize=(10, 10))  
    graph_plot_poss = figure.add_subplot(2,1,1)  
    graph_plot_poss.plot(x_poss, p_poss, color = "royalblue", label="positive_  
    ↪gauss train data")  
    graph_plot_poss.hist(train_dataset.pos[:, FOI], bins=np.linspace(-0.5,1.5),  
    ↪density=True, color = "skyblue", label="positive train data")  
    graph_plot_poss.legend(prop={'size': 10})  
    graph_plot_poss.set_title("Histogram for Positive Train Data", fontsize=10)  
  
    graph_plot_negs = figure.add_subplot(2,1,2)  
    graph_plot_negs.plot(x_negs, p_negs, color = "maroon", label="negative_  
    ↪gauss train data")  
    graph_plot_negs.hist(train_dataset.neg[:, FOI], bins=np.linspace(-0.5,1.5),  
    ↪density=True, color = "lightcoral", label="negative train data")  
    graph_plot_negs.legend(prop={'size': 10})  
    graph_plot_negs.set_title("Histogram for Negative Train Data", fontsize=10)  
  
plotPdf(train_dataset.pos[:, FOI], train_dataset.neg[:, FOI], pos_features_pdf,  
    ↪neg_features_pdf)
```



Naimplementujte binární generativní klasifikátor. Při konstrukci přijímá dvě rozložení poskytující metodu `.pdf()` a odpovídající apriorní pravděpodobnost tříd. Jako všechny klasifikátory v této domácí úloze poskytuje metodu `prob_class_1()`.

(9 řádků, 2 body)

```
[8]: def evaluate(classifier, poss_features, negs_features, val_dataset, targets):
    results = classifier.prob_class_1(poss_features, negs_features,
    ↪ val_dataset, targets)
    return results

# function for final prediction of test dataset
def evaluateBinaryClassifier(classifier, val_dataset, targets):
```

```

pos_features_pdf = maximumLikelihood(test_dataset.pos[:, FOI])
neg_features_pdf = maximumLikelihood(test_dataset.neg[:, FOI])
results = classifier.prob_class_1(pos_features_pdf, neg_features_pdf,
→val_dataset, targets)

    return results[1]

class BinaryClassifier:
    def __init__(self, class_type):
        self.class_type = class_type

    def prob_class_1(self, poss_features, negs_features, val_dataset, targets):
        predicted_classes = list()
        results = list()
        for x in val_dataset:
            # computation for uniform priors
            if (self.class_type == "normal"):
                poss_probability = scipy.stats.norm.
→pdf(x, poss_features[0], poss_features[1]) * 0.5
                negs_probability = scipy.stats.norm.
→pdf(x, negs_features[0], negs_features[1]) * 0.5

                probability = poss_probability / (poss_probability +
→negs_probability)

            # computation for aprior priors
            elif (self.class_type == "aprior"):
                poss_probability = scipy.stats.norm.
→pdf(x, poss_features[0], poss_features[1]) * 0.25
                negs_probability = scipy.stats.norm.
→pdf(x, negs_features[0], negs_features[1]) * 0.75

                probability = poss_probability / (poss_probability +
→negs_probability)

            # threshold predictions to 0 or 1
            if (probability >= 0.5):
                predicted_class = 1
            else:
                predicted_class = 0

            predicted_classes.append(predicted_class)

        #print(predicted_classes)
        correctly_classified = 0
        # compare real class and prediction and compute accuracy

```



```

for target, prediction in zip(targets, predicted_classes):
    if (target == prediction):
        correctly_classified += 1

accuracy = (correctly_classified / np.shape(targets)[0])
accuracy_percent = accuracy * 100
#print("Accuracy: " + str(accuracy_percent) + " %")
results.append(predicted_classes)
results.append(accuracy)

return results

classifier = BinaryClassifier("normal")
accuracy = evaluate(classifier, pos_features_pdf, neg_features_pdf, val_dataset.
    ↪xs[:, FOI], val_dataset.targets)[1]
print(accuracy)

```

0.809

Nainstancujte dva generativní klasifikátory: jeden s rovnoměrnými priory a jeden s apriorní pravděpodobností 0.75 pro třídu 0 (negativní příklady). Pomocí funkce `evaluate()` vyhodnoťte jejich úspěšnost na validačních datech.

(2 řádky, 1 bod)

```

[9]: classifier_flat_prior = None
    classifier_full_prior = None

classifier_flat_prior = BinaryClassifier("normal")
classifier_full_prior = BinaryClassifier("aprior")

print('flat:', evaluate(classifier_flat_prior, pos_features_pdf, ↪
    ↪neg_features_pdf, val_dataset.xs[:, FOI], val_dataset.targets)[1])
print('full:', evaluate(classifier_full_prior, pos_features_pdf, ↪
    ↪neg_features_pdf, val_dataset.xs[:, FOI], val_dataset.targets)[1])

flat_prior_predictions = evaluate(classifier_flat_prior, pos_features_pdf, ↪
    ↪neg_features_pdf, val_dataset.xs[:, FOI], val_dataset.targets)[0]
full_prior_predictions = evaluate(classifier_full_prior, pos_features_pdf, ↪
    ↪neg_features_pdf, val_dataset.xs[:, FOI], val_dataset.targets)[0]

```

flat: 0.809

full: 0.8475

Vykreslete průběh posteriorní pravděpodobnosti třídy 1 jako funkci příznaku 5 pro oba klasifikátory, opět v rozsahu $<-0.5; 1.5>$. Do grafu zakreslete i histogramy rozložení trénovacích dat, opět s `density=True` pro zachování dynamického rozsahu.

(8 řádků, 1 bod)

Interpretujte, přímo v této textové buňce, každou rozhodovací hranici, která je v grafu patrná (**3 věty, 2 body**): Z obou grafů můžeme vidět, že histogram validačních dat, kdy jejich hodnota byla předpovězena jako pozitivní, zasahuje přibližně svým umístěním pod graf funkce normálního rozdělení pro pozitivní testované případy. Také dle množství vykreslených bodů víme, že počet vykreslených bodů při rovnoměrných priorách (758 bodů) byl vyšší jak počet pozitivně predikovaných bodů v apriorním rozložení (561 bodů), tedy v apriorním rozložení bylo méně hodnot predikováno jako třída 1. Obecně v grafu vidíme i aproximaci trénovacích pozitivních a negativních dat pomocí křivek normálního rozdělení, kdy každá z nich má jinou směrodatnou odchylku a střední hodnotu (tyto hodnoty byly zjištěny z naměřených trénovacích dat výše). Můžeme tedy i odhadnout, že negativně predikovaná validační data budou mít přibližně histogram rozložení ležící pod aproximací negativních trénovacích dat křivkou normálního rozdělení.

```
[10]: # function for getting positive predicted points used for plotting histogram
def getPointsToPlot(all_points, all_predictions):
    points_to_plot = list()

    for point, prediction in zip(all_points, all_predictions):
        if (prediction == 1):
            points_to_plot.append(point)

    return points_to_plot

p_poss = scipy.stats.norm.pdf(train_dataset.pos[:, FOI], pos_features_pdf[0],
    ↪pos_features_pdf[1])
p_negs = scipy.stats.norm.pdf(train_dataset.neg[:, FOI], neg_features_pdf[0],
    ↪neg_features_pdf[1])

points_to_plot_flat = getPointsToPlot(val_dataset.xs[:, FOI].tolist(),
    ↪flat_prior_predictions)
print("Number of positive predicted points for prior: " +
    ↪str(len(points_to_plot_flat)))
points_to_plot_full = getPointsToPlot(val_dataset.xs[:, FOI].tolist(),
    ↪full_prior_predictions)
print("Number of positive predicted points for aprior: " +
    ↪str(len(points_to_plot_full)))

figure = plt.figure(figsize=(10, 10))

x_poss = np.linspace(pos_features_pdf[0] - 3*pos_features_pdf[1],
    ↪pos_features_pdf[0] + 3*pos_features_pdf[1], 100)
p_poss_pdf = scipy.stats.norm.pdf(x_poss, pos_features_pdf[0],
    ↪pos_features_pdf[1])
x_negs = np.linspace(neg_features_pdf[0] - 3*neg_features_pdf[1],
    ↪neg_features_pdf[0] + 3*neg_features_pdf[1], 100)
p_negs_pdf = scipy.stats.norm.pdf(x_negs, neg_features_pdf[0],
    ↪neg_features_pdf[1])
```

```

graph_plot_flat = figure.add_subplot(2,1,1)
graph_plot_flat.plot(x_poss, p_poss_pdf, color = "royalblue", label="positive_
↳gauss train data")
graph_plot_flat.plot(x_negs, p_negs_pdf, color = "maroon", label="negative_
↳gauss train data")
graph_plot_flat.hist(points_to_plot_flat, bins=np.linspace(-0.5,1.5),
↳density=True, color = "navy", label="prediction of positive class")
graph_plot_flat.legend(prop={'size': 10})
graph_plot_flat.set_title("Histogram for Flat Prior Classifier", fontsize=10)

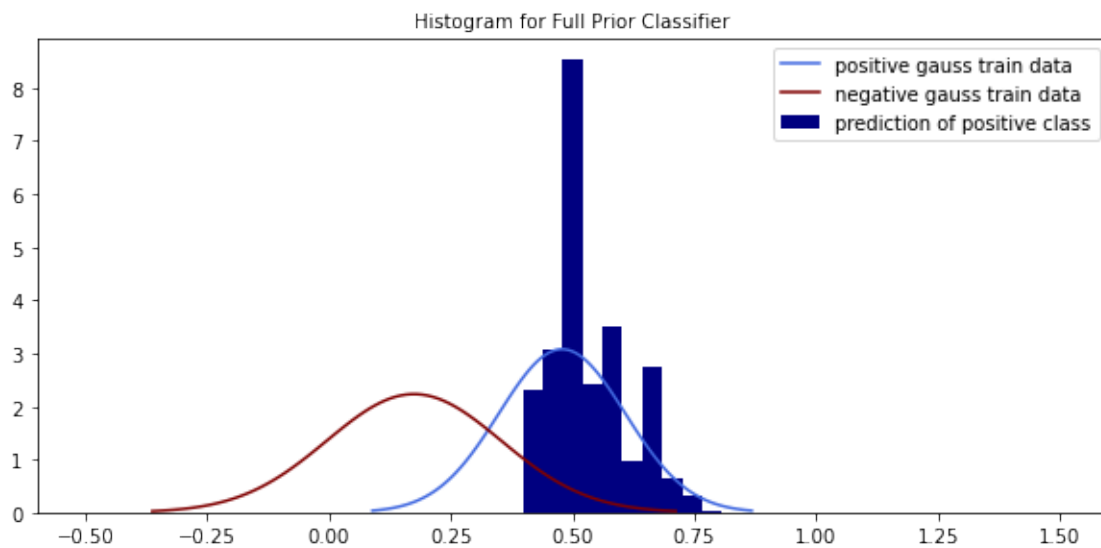
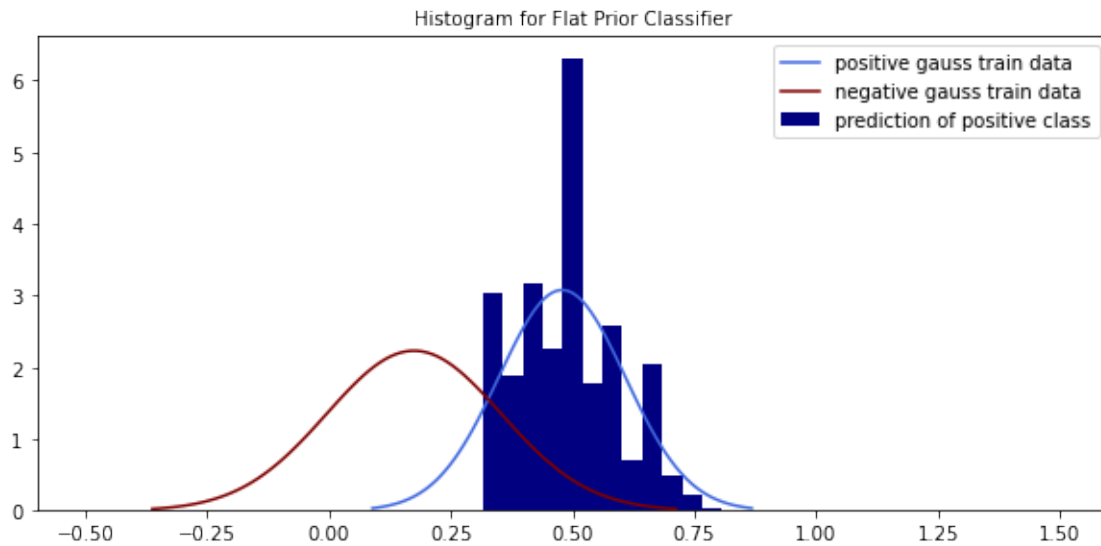
graph_plot_full = figure.add_subplot(2,1,2)
graph_plot_full.plot(x_poss, p_poss_pdf, color = "royalblue", label="positive_
↳gauss train data")
graph_plot_full.plot(x_negs, p_negs_pdf, color = "maroon", label="negative_
↳gauss train data")
graph_plot_full.hist(points_to_plot_full, bins=np.linspace(-0.5,1.5),
↳density=True, color = "navy", label="prediction of positive class")
graph_plot_full.legend(prop={'size': 10})
graph_plot_full.set_title("Histogram for Full Prior Classifier", fontsize=10)

```

Number of positive predicted points for prior: 758

Number of positive predicted points for aprior: 561

[10]: Text(0.5, 1.0, 'Histogram for Full Prior Classifier')



4 Diskriminativní klasifikátory

V následující části budete přímo modelovat posteriorní pravděpodobnost třídy 1. Modely budou založeny na PyTorchu, ten si prosím nainstalujte. GPU rozhodně nepotřebujete, veškeré výpočty budou velmi rychlé, ne-li bleskové.

Do začátku máte poskytnutou třídu klasifikátoru z jednoho příznaku.

```
[11]: import torch
import torch.nn.functional as F

class LogisticRegression(torch.nn.Module):
```

```

def __init__(self):
    super().__init__()
    self.w = torch.nn.parameter.Parameter(torch.tensor([1.0]))
    self.b = torch.nn.parameter.Parameter(torch.tensor([0.0]))

def forward(self, x):
    return torch.sigmoid(self.w*x + self.b)

def prob_class_1(self, x):
    prob = self(torch.from_numpy(x))
    return prob.detach().numpy()

```

Pro trénování diskriminativních modelů budete potřebovat minibatche. Implementujte funkci, která je bude z daných vstupních a cílových hodnot vytvářet. Výsledkem musí být možno iterovat, ideálně funkci napište jako generátor (využijte klíčové slovo `yield`). Jednotlivé prvky výstupu budou dvojice PyTorchových `FloatTensorů` (musíte zkonvertovat z numpy a nastavit typ) – první prvek vstupní data, druhý očekávané výstupy. Počítejte s tím, že vstup bude numpyovské pole, rozumná implementace využije `np.random.permutation()` a [Advanced Indexing](#).

Připravený kód funkci použijte na konstrukci tří minibatchí pro trénování identity, měli byste vidět celkem pět prvků náhodně uspořádaných do dvojic, ovšem s tím, že s sebou budou mít odpovídající výstupy.

(6 řádků, 2 body)

```

[12]: def batch_provider(xs, targets, batch_size=10):
    data_torch = torch.from_numpy(xs).float()
    targets_torch = torch.from_numpy(targets).float()

    dataset = torch.utils.data.TensorDataset(data_torch, targets_torch)
    # create minibatches
    dataloader = torch.utils.data.DataLoader(dataset, batch_size, shuffle=True)
    return dataloader

inputs = np.asarray([1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0])
targets = np.asarray([1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0])
for x, t in batch_provider(inputs, targets, 2):
    print(f'x: {x}, t: {t}')

```

```

x: tensor([2., 3.]), t: tensor([2., 3.])
x: tensor([4., 5.]), t: tensor([4., 5.])
x: tensor([1.]), t: tensor([1.])

```

Dalším krokem je implementovat funkci, která model vytvoří a natrénuje. Jejím výstupem bude (1) natrénovaný model, (2) průběh trénovací loss a (3) průběh validační přesnosti. Jako model vracejte ten, který dosáhne nejlepší validační přesnosti. Jako loss použijte binární cross-entropii (`F.binary_cross_entropy()`), akumulujte ji přes minibatche a logujte průměr. Pro výpočet validační přesnosti využijte funkci `evaluate()`. Oba průběhy vracejte jako obyčejné seznamy.

V implementaci budete potřebovat dvě zanořené smyčky: jednu pro epochy (průchody přes celý

dataset) a uvnitř druhou, která bude iterovat přes jednotlivé minibatche. Na konci každé epochy vyhodnoťte model na validačních datech. K datasetům (trénovacímu a validačnímu) přistupujte bezostyšně jako ke globálním proměnným.

(cca 14 řádků, 3 body)

```
[13]: # function for final prediction of test dataset
def evaluateSingleLogisticRegression(classifier, inputs, targets ):
    accuracy = train_single_fea_llr(FOI, 100, 0.01, 2, inputs, targets)[2]
    return max(accuracy)

def train_single_fea_llr(fea_no, nb_epochs, lr, batch_size, inputs, targets):
    ''' fea_no -- which feature to train on
        nb_epochs -- how many times to go through the full training data
        lr -- learning rate
        batch_size -- size of minibatches
    '''
    model = LogisticRegression()
    best_model = copy.deepcopy(model)
    losses = []
    accuracies = []
    epochs_list = []
    optimizer = torch.optim.SGD(model.parameters(), lr=lr)

    inputs = inputs[:, fea_no]

    dataloader = batch_provider(inputs, targets, 2)

    for i in range(nb_epochs):
        correctly_classified = 0
        #print("Processing epoch number: " + str(i))
        epochs_list.append(i) # add number of new epoch to list
        all_predictions = list()
        minibatches_iterations = 0
        losses_minibatches_sum = 0

        for x, t in batch_provider(inputs, targets, batch_size):
            #print(f'x: {x}, t: {t}')
            sigmoid_result = model.forward(x)
            loss = F.binary_cross_entropy(model.forward(x), t)
            optimizer.zero_grad()
            loss.backward()
            optimizer.step()

            losses_minibatches_sum = losses_minibatches_sum + loss.item() #
        ↪accumulate losses of minibatches
        minibatches_iterations += 1
```

```

val_predictions = model.prob_class_1(val_dataset.xs[:, FOI])
# threshold predictions to 0 or 1, compare with real value and compute
→accuracy
k = np.where(val_predictions<0.5,0,np.where(val_predictions>=0.
→5,1,val_predictions))

for target, prediction in zip(val_dataset.targets, k):
    all_predictions.append(prediction)
    if (target == prediction):
        correctly_classified += 1

accuracy = (correctly_classified / np.shape(val_dataset.targets)[0])

# deepcopy if model has better accuracy then max accuracy from list
if (len(accuracies) > 0):
    if (accuracy > max(accuracies)):
        best_model = copy.deepcopy(model)

accuracies.append(accuracy) # save accuracy of val dataset of processed
→epoch to list
loss_average = losses_minibatches_sum / minibatches_iterations #
→compute average loss for epoch
losses.append(loss_average) # save loss of processed epoch to list

#print("Accuracy for this epoch: " + str(accuracy))

#print(accuracies)
return best_model, losses, accuracies, epochs_list, all_predictions

# train model on training data
best_model, losses, accuracies, epochs_list, lr_all_predictions =
→train_single_fea_llr(5, 100, 0.01, 2, train_dataset.xs[:,], train_dataset.
→targets)
print("Max accuracy of model: " + str(max(accuracies)))

```

Max accuracy of model: 0.845

Funkci zavolejte a natrénujte model. Uvedte zde parametry, které vám dají slušný výsledek. Měli byste dostat přesnost srovnatelnou s generativním klasifikátorem s nastavenými priory. Neměli byste potřebovat víc než 100 epoch. Vykreslete průběh trénovací loss a validační přesnosti, osu x značte v epochách.

V druhém grafu vykreslete histogramy trénovacích dat a pravděpodobnost třídy 1 pro x od -0.5 do 1.5, podobně jako výše u generativních klasifikátorů. Při výpočtu výstupů využijte `torch.no_grad():` (1 + 6 + 9 řádků, 1 bod)

Parametry udávající slušný výsledek: Počet epoch: 100 Learning rate: 0.01 Velikost minibatches: 2

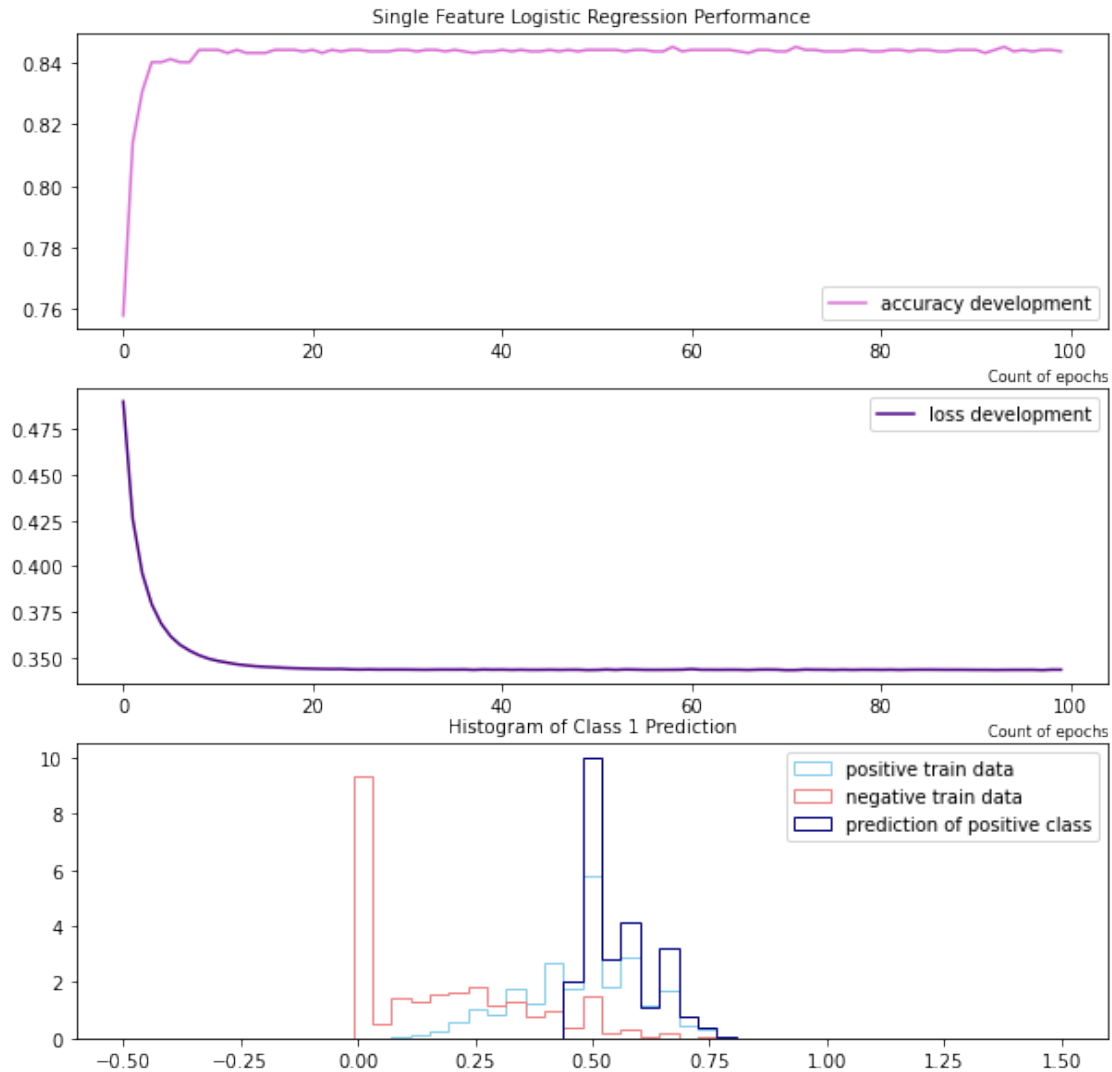
```
[14]: points_to_plot_lr = getPointsToPlot(val_dataset.xs[:, FOI], lr_all_predictions)

figure = plt.figure(figsize=(10, 10))
performance_plot = figure.add_subplot(3,1,1)
performance_plot.plot(epochs_list, accuracies, color = "orchid",
    ↳label="accuracy development")
performance_plot.set_xlabel('Count of epochs', fontsize=8,
    ↳horizontalalignment='right', x=1.0)
performance_plot.legend(prop={'size': 10})
performance_plot.set_title('Single Feature Logistic Regression Performance',
    ↳fontsize=10)

performance_plot2 = figure.add_subplot(3,1,2)
performance_plot2.plot(epochs_list, losses, color = "indigo", label="loss
    ↳development")
performance_plot2.set_xlabel('Count of epochs', fontsize=8,
    ↳horizontalalignment='right', x=1.0)
performance_plot2.legend(prop={'size': 10})

data_plot = figure.add_subplot(3,1,3)
data_plot.hist(train_dataset.pos[:, FOI], bins=np.linspace(-0.5,1.5),
    ↳density=True, histtype='step', color = "skyblue", label="positive train
    ↳data")
data_plot.hist(train_dataset.neg[:, FOI], bins=np.linspace(-0.5,1.5),
    ↳density=True, histtype='step', color = "lightcoral", label="negative train
    ↳data")
data_plot.hist(points_to_plot_lr, bins=np.linspace(-0.5,1.5), density=True,
    ↳histtype='step', color = "navy", label="prediction of positive class")
data_plot.legend(prop={'size': 10})
data_plot.set_title('Histogram of Class 1 Prediction', fontsize=10)
```

```
[14]: Text(0.5, 1.0, 'Histogram of Class 1 Prediction')
```

4.1 Všechny vstupní příznaky

V posledním cvičení natrénujete logistickou regresi, která využije všech sedm vstupních příznaků.

Prvním krokem je naimplementovat příslušný model. Bezostyšně zkopírujte tělo třídy `LogisticRegression` a upravte ji tak, aby zvládala libovolný počet vstupů, využijte `torch.nn.Linear`. U výstupu metody `.forward()` dejte pozor, aby měl výstup tvar `[N]`; pravděpodobně budete potřebovat `squeeze`.

(9 řádků, 1 bod)

```
[15]: import torch
import torch.nn.functional as F
```

```

class FullLogisticRegression(torch.nn.Module):
    def __init__(self):
        super().__init__()
        self.w = torch.nn.parameter.Parameter(torch.tensor([1.0]))
        self.b = torch.nn.parameter.Parameter(torch.tensor([0.0]))
        self.hidden = torch.nn.Linear(7, 1)

    def forward(self, x):
        x_numpy_array = (self.hidden(x)).detach().numpy()
        x_numpy_array_converted = x_numpy_array.flatten()
        x = torch.from_numpy(x_numpy_array_converted).float()
        x = torch.sigmoid(self.w*x + self.b)
        return x

    def prob_class_1(self, x):
        prob = self(torch.from_numpy(x))
        return prob.detach().numpy()

```

Podobně jako u jednodimenzionální regrese implementujte funkci pro trénování plné logistické regrese. V ideálním případě vyfaktorujete společnou implementaci, které budete pouze předávat různá trénovací a validační data.

Zvědaví mohou zkusit Adama jako optimalizátor namísto obyčejného SGD.

Funkci zavolejte, natrénujte model. Opět vykreslete průběh trénovací loss a validační přesnosti. Měli byste se s přesností dostat nad 90 %.

(ne víc než cca 30 řádků při kopírování, 1 bod)

```

[16]: # function for final prediction of test dataset
def evaluateFullLogisticRegression(classifier, inputs, targets ):
    accuracy = train_all_fea_llr(100, 0.01, 2, inputs, targets)[2]
    return max(accuracy)

def train_all_fea_llr(nb_epochs, lr, batch_size, inputs, targets):

    model = FullLogisticRegression()
    best_model = copy.deepcopy(model)
    losses = []
    accuracies = []
    epochs_list = []
    optimizer = torch.optim.Adam(model.parameters(), lr=lr) # use Adam for
    →better accuracy

    dataloader = batch_provider(inputs, targets, 2)

    for i in range(nb_epochs):
        correctly_classified = 0
        #print("Processing epoch number: " + str(i))

```

```

epochs_list.append(i)
minibatches_iterations = 0
losses_minibatches_sum = 0

for x, t in batch_provider(inputs, targets, batch_size):
    #print(f'x: {x}, t: {t}')
    sigmoid_result = model.forward(x)
    loss = F.binary_cross_entropy(model.forward(x), t)
    optimizer.zero_grad()
    loss.backward()
    optimizer.step()

    losses_minibatches_sum = losses_minibatches_sum + loss.item() #
    ↳ accumulate losses of minibatches
    minibatches_iterations += 1

    # convert float64 val_dataset to float32 because of prob_class_1
    val_dataset_inputs = val_dataset.xs[:].astype(np.float32)
    val_predictions = model.prob_class_1(val_dataset_inputs)
    # threshold predictions to 0 or 1, compare with real value and compute
    ↳ accuracy
    k = np.where(val_predictions<0.5,0,np.where(val_predictions>=0.
    ↳ 5,1,val_predictions))

    for target, prediction in zip(val_dataset.targets, k):
        if (target == prediction):
            correctly_classified += 1

    accuracy = (correctly_classified / np.shape(val_dataset.targets)[0])
    # deepcopy if model has better accuracy then max accuracy from list
    if (len(accuracies) > 0):
        if (accuracy > max(accuracies)):
            best_model = copy.deepcopy(model)

    accuracies.append(accuracy) # save accuracy of val dataset of processed
    ↳ epoch to list
    loss_average = losses_minibatches_sum / minibatches_iterations #
    ↳ compute average loss for epoch
    losses.append(loss_average) # save loss of processed epoch to list

    #print("Accuracy for this epoch: " + str(accuracy))

    #print(accuracies)
    return best_model, losses, accuracies, epochs_list

best_model_full, losses_full, accuracies_full, epochs_list_full =
    ↳ train_all_fea_llr(100, 0.01, 2, train_dataset.xs[:], train_dataset.targets)

```

```

print("Max accuracy of model: " + str(max(accuracies_full)))

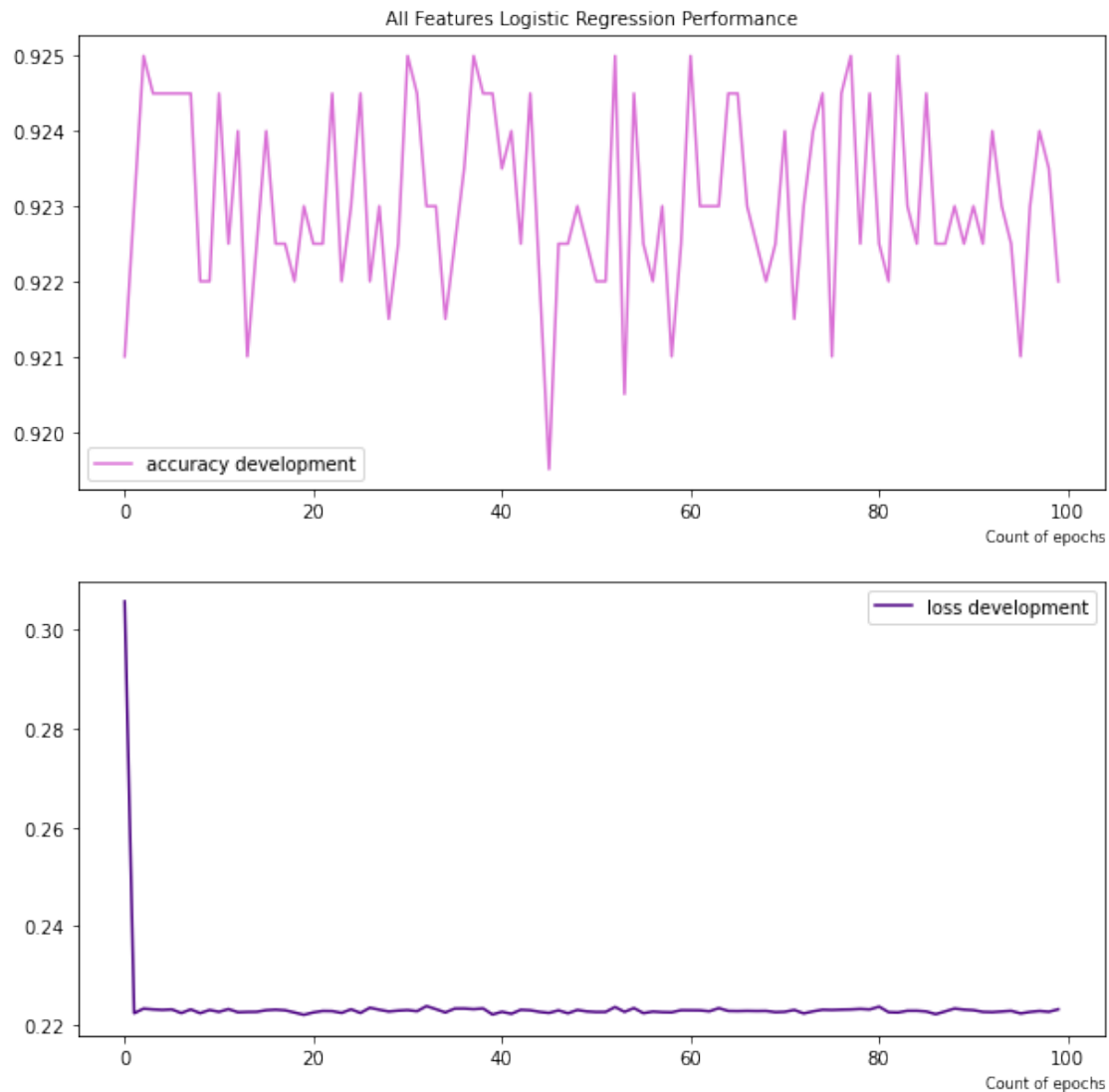
figure = plt.figure(figsize=(10, 10))
performance_plot = figure.add_subplot(2,1,1)
performance_plot.plot(epochs_list_full, accuracies_full, color = "orchid",
    ↪label="accuracy development")
performance_plot.set_title('All Features Logistic Regression Performance',
    ↪fontsize=10)
performance_plot.set_xlabel('Count of epochs', fontsize=8,
    ↪horizontalalignment='right', x=1.0)
performance_plot.legend(prop={'size': 10})

performance_plot2 = figure.add_subplot(2,1,2)
performance_plot2.plot(epochs_list_full, losses_full, color = "indigo",
    ↪label="loss development")
performance_plot2.set_xlabel('Count of epochs', fontsize=8,
    ↪horizontalalignment='right', x=1.0)
performance_plot2.legend(prop={'size': 10})

```

Max accuracy of model: 0.925

[16]: <matplotlib.legend.Legend at 0x7f28f0f84130>



5 Závěrem

Konečně vyhodnoťte všech pět vytvořených klasifikátorů na testovacích datech. Stačí doplnit jejich názvy a předat jim příznaky, na které jsou zvyklé.

(0.5 bodu)

```
[17]: xs_full = test_dataset.xs
xs_foi = test_dataset.xs[:, FOI]
targets = test_dataset.targets

print('Baseline:', evaluateBaseline(PriorClassifier(0), xs_foi, targets))
```

```

print('Generative classifier (w/o prior):',  

      ↳evaluateBinaryClassifier(BinaryClassifier("normal"), xs_foi, targets))  

print('Generative classifier (correct):',  

      ↳evaluateBinaryClassifier(BinaryClassifier("aprior"), xs_foi, targets))  

print('Logistic regression:',  

      ↳evaluateSingleLogisticRegression(LogisticRegression(), xs_full, targets ))  

print('logistic regression all features:',  

      ↳evaluateFullLogisticRegression(FullLogisticRegression(), xs_full, targets ))

```

Baseline: 0.75

Generative classifier (w/o prior): 0.8

Generative classifier (correct): 0.846

Logistic regression: 0.845

logistic regression all features: 0.9385

Blahopřejeme ke zvládnutí domácí úlohy! Notebook spustte načisto (Kernel -> Restart & Run all), vyexportuje jako PDF a odevzdejte pojmenovaný svým loginem.

Mimochodem, vstupní data nejsou synteticky generovaná. Nasbírali jsme je z projektu; Vaše klasifikátory v této domácí úloze predikují, že daný hráč vyhraje; takže by se daly použít jako heuristika pro ohodnocování listových uzlů ve stavovém prostoru hry. Pro představu, odhadujete to z pozic pět kol před koncem partie pro daného hráče. Poskytnuté příznaky popisují globální charakteristiky stavu hry jako je například poměr délky hranic předmětného hráče k ostatním hranicím.

[]: