

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2022

Svatoslav Novik



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

ANALÝZA CHOVÁNÍ ŘIDIČŮ A JEJICH STYLU ŘÍZENÍ

ANALYSIS OF CAR DRIVERS' BEHAVIOUR AND DRIVING STYLE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Svatoslav Novik

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ondrej Mihálik

BRNO 2022

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Svatoslav Novik

ID: 186148

Ročník: 3

Akademický rok: 2021/22

NÁZEV TÉMATU:

Analýza chování řidičů a jejich stylu řízení

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Úkolem studenta je vytvoření souboru funkcí a skriptů v prostředí MATLAB, které umožní automatizované zpracování dat ze simulátoru vozidla. Důraz by měl být kladen na vyhodnocení kvality řízení pomocí různých kritérií známých z teorie řízení a na následnou analýzu výsledků pomocí strojového učení.

1. Seznamte se se simulátorem vozidla UAMT FEKT a popište signály, které je možno získat pro vyhodnocování chování řidiče.
2. Považujte řidiče za regulátor a automobil za regulovanou soustavu. Vytvořte algoritmy pro výpočet nepoužívanějších kritérií kvality regulace: kvadratické kritérium, reakční čas, doba náběhu, velikost překmitu atd. Zvažte z jak dlouhých úseků dat by se měla kritéria vyhodnocovat.
3. Modelujte chování řidiče jako LTI systém. Na základě poskytnutých dat vyberte vhodnou strukturu modelu lidského regulátoru a implementujte algoritmy pro automatizovanou identifikaci jeho parametrů.
4. Získané veličiny využijte jako vstupní příznaky pro strojové učení. Ověřte, zdali je možné určit identitu řidiče pouze na základě těchto příznaků a zhodnoťte, které z nich mají pro klasifikaci největší význam.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

1. MULDER, M. et al. „Manual Control Cybernetics: State-of-the-Art and Current Trends.“ IEEE Transactions on Human-Machine Systems. 2018, roč. 48, č. 5, str. 1–18.
2. MICHALÍK, D. „Driver Behaviour Analysis Method Using Vehicle Driving Simulator. Proceedings of the 26th Conference STUDENT EEICT 2020.“ Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. 2020, str. 371–375.

Termín zadání: 7.2.2022

Termín odevzdání: 23.5.2022

Vedoucí práce: Ing. Ondřej Mihálik

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Bezpečnost při řízení je velmi důležitým tématem, kterému je třeba věnovat pozornost. Za tímto účelem jsou implementovány nejrůznější asistenční systémy, které se zaměřují především na analýzu řízení a ovládání vozu řidičem. Pro lepší pochopení výkonu řidiče byl vytvořen program pro získávání cenných údajů a příslušných charakteristik. K získání údajů jsme použili interně navržený laboratorně vyrobený simulátor řízení vozidla. Při simulaci řízení motorového vozidla byla naměřena data řidiče (regulační odchylka a úhel volantu), které se v prostředí MATLAB zkoumala a vyhodnocovala pomocí integrálních kritérií (absolutní, kvadratické a ITAE). Získané hodnoty se pak použili jako trénovací množina pro strojové učení, které využívá metody kvadratické a lineární diskriminační analýzy. Získali jsme tak potřebné informace o tom, jaké hodnoty jsou nejvhodnější pro co nejpřesnější určování řidiče, při opakování jízd.

KLÍČOVÁ SLOVA

Simulátor řízení automobilu, integrální kritéria kvality, MATLAB, strojové učení, zpětnovazební regulace, analýza řízení

ABSTRACT

Driving safety remains one of the important issues. Various assistance systems are also implemented, which focus mainly on the analysis of driving and control of the car by the driver. To understand the performance of the driver's control, a program was created to obtain valuable data and relevant characteristics. To obtain the data, we used an internally designed, laboratory-made vehicle driving simulator. Driver data was measured from the motor vehicle driving simulation, and these were examined and evaluated in the MATLAB environment thanks to integral criteria and other calculated parameters. The obtained values were then used as a training set for the machine learning, using LDA and QDA methods (linear and quadratic discriminant analyzing). This method then provided information on which values are most appropriate and then determines as precisely as possible which driver may be involved in future measures, when this information is not stated in advance.

KEYWORDS

Driving vehicle simulator, integral criterion of quality, MATLAB, machine learning, feedback regulation, driving analysis

NOVIK, Svatoslav. *Vyhodnocení kvality regulace řidiče vozidla*. Brno, 2022, 35 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce: Ing. Ondřej Mihálik

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Vyhodnocení kvality regulace řidiče vozidla“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Miháliku Ondrejovi za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci, i Ing. Jakobovi Vybulkovi za odborné konzultace.

Obsah

1 Úvod	4
2 Teoretická část	5
2.1 Zpětnovazební regulace	5
2.2 Integrální kritéria kvality	6
2.3 Systém druhého řádu	8
2.3.1 Laplaceova transformace	8
2.4 Časová kritéria	9
2.4.1 Reakční čas	9
2.4.2 Doba náběhu	9
2.4.3 Doba tlumení	9
2.5 Diskriminační analýza	9
2.5.1 Lineární a kvadratická diskriminanční analýza (LDA a QDA)	9
3 Praktická část	11
3.1 Postup zpracování dat	11
3.2 Popis simulátoru na Ústavu měření a automatizace	11
3.3 Algoritmus detekce integrální plochy	13
3.4 Měření signálu	13
3.4.1 Detekce odchylky a akční veličiny	14
3.4.2 Trojúhelníkový detektor	15
3.4.3 Výpočet integrálních kritérií	16
3.4.4 Výpočet časových kritérií	17
4 Výsledky	18
4.0.1 Použití identifikace soustavy	23
4.0.2 Použití diskriminační analýzy	25
5 Diskuze	32
6 Závěr	33
Literatura	34

Seznam obrázků

2.1	Regulator obecné schéma	5
2.2	Regulator zjednodušené zapojení	6
2.3	Odchylka	7
2.4	Vyobrazení rozdělení množinového prostoru	10
3.1	Diagram	11
3.2	Simulator	12
3.3	Diagram	13
3.4	GrafSignalu	14
3.5	Regulator	15
3.6	Vymezení ploch	16
3.7	Ukázka funkce výpočtu reakčního času	17
4.1	Histogram řidiče 002	19
4.2	Histogram řidiče 005	20
4.3	Histogram řidiče 069	21
4.4	Histogram řidiče 074	22
4.5	Vyobrazení matice trénovací množiny se správnými a chybnými prvky	24
4.6	Odchylky metodou QDA	28
4.7	Odchylky metodou LDA	28
4.8	Zobrazení predikcí	29
4.9	Vyobrazení rozdělení trénovací množiny	30
4.10	Vyobrazení matice trénovací množiny	31

Seznam tabulek

4.1	Tabulka statistik řidičů	23
4.2	Přesnost metody LDA	26
4.3	Přesnost metody QDA	27

1 Úvod

U všech nejmodernějších technologií představuje bezpečnost nejdůležitější parametr. Vědci a inženýři se pokoušejí kombinovat adekvátní bezpečnostní opatření pro všechny příslušné aspekty tak, aby cena nebyla devastující. To samozřejmě platí i pro automobilový průmysl a vývoj nových technologií, které jsou nebo budou implementovány v moderních automobilech. Za účelem vyhodnocení bezpečnosti řízení vozidla bývá prováděno mnoho testů. Takové hodnocení však bývá poměrně nákladné a co je nejdůležitější, potenciálně nebezpečné pro řidiče samotné. Jak se uvádí v článku [1], roku 2019 vyšetřovali policisté přes 100 tisíc dopravních nehod, z nichž většinu (80 %) zavinili právě řidiči motorových vozidel. Důvody byly různé, především špatný způsob jízdy (67,7 %), nedání přednosti (15,6 %) a jiné.

Proto pro ochranu řidiče se využívá simulátor[10]. Na Ústavu automatizace a měřící techniky VUT v Brně se takový simulátor nachází a bylo pro něj vytvořena simulovaná dráha v jádře Unreal Engine.

Tato práce se zabývá problematikou analýz jízd ze simulace, kde se provádí měření při průběhu řízení. Jedná se o řízení řidiče automobilu, kde simulovány jsou podmínky podobné reálným situacím vzniklých na silnici/dálnici. Díky simulátoru řidič, který nehledě na to jak by danou jízdu prováděl, neohrožuje ani sebe ani svoje okolí[9]. Pro vyhodnocování kvality jízd používáme **integrální kritéria kvality**. Tato kritéria jsou určena pro vyhodnocování kvality regulace a zde v práci jsou použita jako jedny z parametrů k analýze naměřených hodnot z jízd. Spolu s nimi jsou spočítané i další veličiny (reakční čas, doba náběhu...), které se pak použijí jako trénovací množina pro strojové učení, využívající lineární a diskriminační metodu pro analýzu a naučení klasifikace určitého řidiče a jeho stylu jízdy.

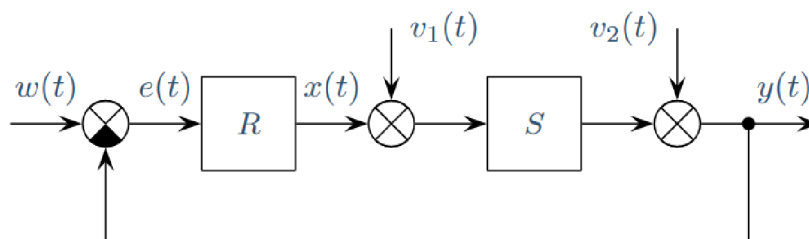
2 Teoretická část

2.1 Zpětnovazební regulace

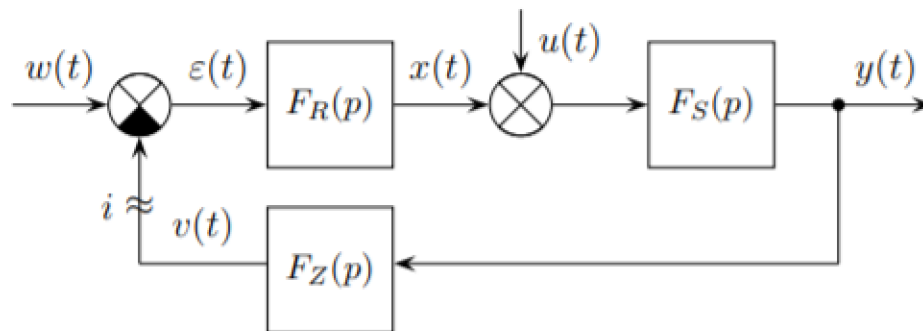
Z teoretického hlediska lze systém [2] popsat jako zapojení zpětnovazební regulace. Je to cílevědomé působení na objekt, kde cílem je dosáhnout předem daného stavu. Obecné Blokové schéma zpětnovazební regulace je na obrázku 2.1, kde veličina $e(t)$ je regulační odchylka, která je definovaná jako rozdíl žádané $w(t)$ a výstupní $y(t)$ hodnoty. Veličina $x(t)$ se nazývá akční.

Obecně regulace má dva hlavní úkoly. Buď co nejpřesněji sledovat hodnotu nebo nejrychleji reagovat na poruchu a kompenzovat ji co nejvíce. V tomto případě se jedná o regulaci, kde je snaha co nejrychleji snížit hodnotu odchylky. Jako hlavní nástroj pro vyhodnocení rychlosti a kvality regulace nám slouží zmíněné integrální kritéria kvality. Mimo tato kritéria byly použity i další parametry, které budou následně použity jako charakteristika řidiče.

V našem případě lze použít zjednodušeného zapojení, kde přenos zpětné vazby $F_z(p)$ se rovná jedné.



Obr. 2.1: Obecné blokové schéma regulátoru se zpětnou vazbou



Obr. 2.2: Zjednodušené blokové schéma zpětnovazebního zapojení

Ostatní značení v blokovém schématu 2.2 jsou:

- S : řízená soustava (simulátor)
- R : regulovaná soustava (řidič)
- $w(t)$: žádaná hodnota, také zvaná řídicí
- $v_1(t)$: porucha na vstupu soustavy
- $v_2(t)$: porucha na výstupu soustavy
- $y(t)$: výstup soustavy

Jelikož se jedná pouze o sledování pohybu a reakce, Veličiny $v_1(t)$ a $v_2(t)$ nebyly pro zjednodušení v tomto započítány. V reálném případě tyto veličiny by mohli charakterizovat nepříznivé situace, které vznikají na pozemních komunikacích (náhlé brzdění jiného vozidla, kluzká dráha, vliv větru...).

Jako nástroj pro určení kvality regulace jsou zde použita integrální kritéria kvality. Stabilita regulačního obvodu je jednou z nutných podmínek pro určení správnosti funkce regulace.

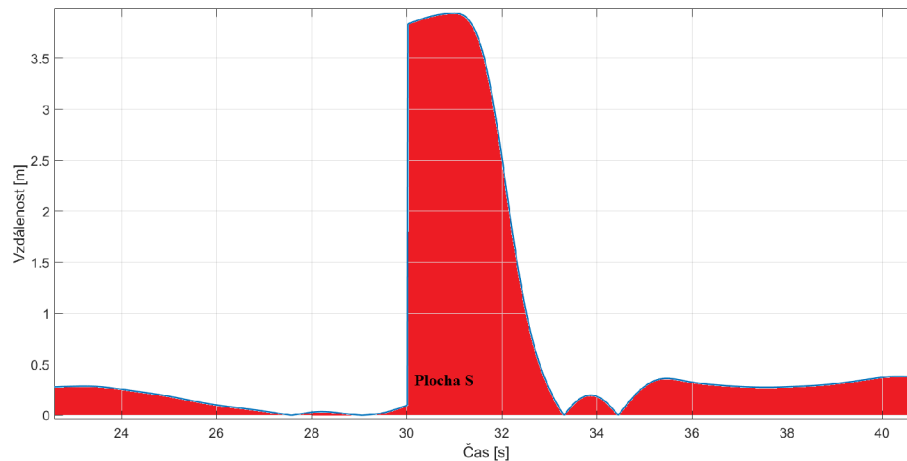
2.2 Integrální kritéria kvality

Obecně při návrhu regulátoru pro řízení daného procesu požadujeme, aby měl průběh výstupní veličiny při řízení určitý charakter. Pod pojmem kvality řízení máme na mysli chování řízené veličiny v průběhu řízení. Je známo, že jedním z nejméně příznivých případů, které musí regulační obvod zvládnout, jsou skokové změny signálů do něj vstupujících. Proto zpravidla vyšetřujeme chování regulačního obvodu při skokových změnách žádané hodnoty výstupu (referenčního signálu) resp. poruchy. Je-li regulační pochod vyhovující pro skokové změny vstupních signálů, můžeme očekávat, že bude vyhovující i pro jiné omezené signály, které nemají tvar skoku.

Integrální kritéria charakterizují průběh regulačního pochodu na nekonečném časovém horizontu. Existuje jich celá řada. Výběr vhodného kritéria tedy do značné míry souvisí s typem řízeného procesu. Dále je potřeba si uvědomit, že i když se ve

skutečnosti daná úloha považuje za řízení realizované v konečném čase, teoreticky probíhá na nekonečném časovém horizontu a některá kritéria jsou založena právě na tomto teoretickém předpokladu.

Při návrhu regulátorů se snažíme, aby jednotlivé integrály nabývaly minimálních hodnot. Tedy v tomto případě, čím menší je hodnota, tím lépe řidič reagoval na požadavek změny pruhu.



Obr. 2.3: Průběh regulační odchytky

Obecný vzorec pro integrální kritéria je ve tvaru:

$$J_{m,n} = \int_0^{\infty} t^m |e(t)|^n dt = \int_0^{\infty} t^m |w(t) - y(t)|^n dt.$$

Kde za hodnoty m a n lze dosadit stupně kořenů a následně z toho vychází tvary integrálních kritérií. Jedny z nejznámějších integrálních kritérií jsou:

- **Integrální kritérium regulační odchytky:**

$$J_1 = \int_0^{\infty} e(t) dt = \int_0^{\infty} [w(t) - y(t)] dt \quad (2.1)$$

- **Integrální kritérium absolutní hodnoty regulační odchytky:**

$$J_2 = \int_0^{\infty} |e(t)| dt = \int_0^{\infty} |[w(t) - y(t)]| dt \quad (2.2)$$

- **Integrální kritérium kvadratické hodnoty regulační odchytky:**

$$J_3 = \int_0^{\infty} e^2(t) dt = \int_0^{\infty} [w(t) - y(t)]^2 dt \quad (2.3)$$

- **Integrální kritérium Integral of time weighted absolute error (ITAE):**

$$J_4 = \int_0^{\infty} t \cdot |e(t)| dt = \int_0^{\infty} t \cdot [w(t) - y(t)] dt \quad (2.4)$$

Integrál představuje plochu S vymezenou křivkou $e(t)$ – regulační odchylkou, horizontální a vertikální osou, jak je vidět na obr. 2.3. Existuje i řada jiných integrálních kritérií, ale my se zabýváme aperiodickými signály, jelikož při změně pruhu nebyl dán pohyb volantu v konkrétní periodě. Proto se při analýze omezíme na tři výše uvedená kritéria (absolutní, kvadratické a ITAE).

2.3 Systém druhého řádu

Zde je použita integrální transformace zvaná jako *Laplaceova transformace*. Blok ve zpětnovazebním zapojení jako systém $F_s(p)$ si lze představit jako systém druhého řádu, popsáný rovnicí

$$F(p) = \frac{k}{T^2 \cdot p^2 + 2 \cdot T \cdot \xi \cdot p + 1} \cdot e^{-p\tau}, \quad (2.5)$$

kde T je perioda, k zesílení a ξ tlumení. Proměnná p je komplexní proměnná Laplaceovy transformace.

2.3.1 Laplaceova transformace

Systémy pracující se signály se obecně popisují lineárními diferenciálními rovnicemi. Lze použít integrálních transformací, aby nahradily operace derivování a integrování na operace násobení či dělení. A tedy vlastní řešení diferenciální rovnice je převedeno na řešení soustavy lineárních rovnic.

Pro způsob popisu chování systému se používá operátorový přenos, kdy diferenciální rovnice je vyjádřena v jiné podobě. Pro zavedení pojmu operátorový přenos potřebujeme matematický nástroj. Laplaceova transformace[7] je předpis, který každé takové funkci přiřazuje její obraz $F(p)$, což je i funkcí komplexní proměnné, je definována vztahem:

$$F(p) = \int_0^{\infty} f(t) \cdot e^{-pt} dt \quad (2.6)$$

Proměnná p je komplexní číslo, její vztah je $p = c + j\omega$. Funkce $f(t)$ se nazývá vzor. Dolní mez integrálu je zde nulová, protože reprezentuje i nulovou hodnotu $f(t)$ v záporném čase, tedy signál začíná v nule.

2.4 Časová kritéria

2.4.1 Reakční čas

Reakční čas je doba, která uplyne mezi podnětem a odpovědí lidského organismu. V podstatě jde o jednu z hlavních kvantitativních charakteristik při hodnocení motorické činnosti člověka. V obecném případě sestává reakční čas ze dvou základních složek: senzorické a motorické.

2.4.2 Doba náběhu

Doba náběhu je čas potřebný pro výstup signálu pro zvýšení úrovně signálu z 10% na 90%. U digitálních měřicích zařízení je to doba potřebná k výstupu stabilní měřené hodnoty.

2.4.3 Doba tlumení

Poslední z měřených hodnot je doba tlumení, která se změří z tlumeného kmitání. Jedná se o mechanické kmitání, které po určité době ustává.

2.5 Diskriminační analýza

Jako nástroj pro dělení dat prostoru příznaků použijeme tzv. diskriminační analýzu, jednu z metod mnohorozměrné statistické analýzy, která se na základě trénovací množiny snaží rozlišit objekty pocházející z konečného počtu tříd (kategorií) [5]. Tvar matice trénovací množiny je uveden níže.

$$\begin{bmatrix} a_1 & a_2 & \dots & a_n \\ b_1 & b_2 & \dots & b_n \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ m_1 & m_2 & \dots & m_n \end{bmatrix}, \quad (2.7)$$

kde a_i, b_i, \dots, m_i jsou parametry objektů a $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ jsou objekty.

2.5.1 Lineární a kvadratická diskriminanční analýza (LDA a QDA)

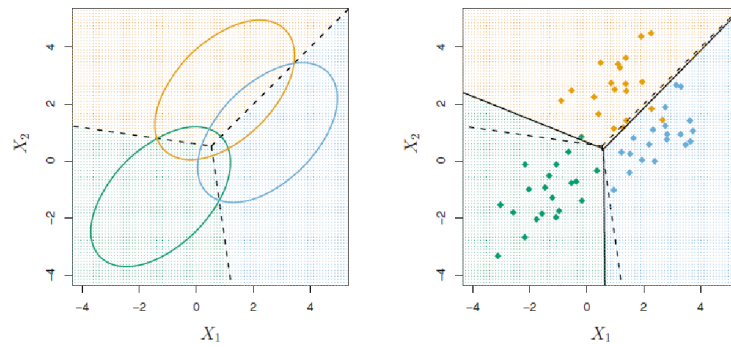
Tyto metody se používají pro předpovídání kvalitativní odpovědi na pozorování [5]. Definuje pravděpodobnost příslušnosti pozorování k určité kategorii nebo skupině. Logická regrese se obvykle používá pro binomickou klasifikaci, ale lze ji použít i pro

vícenásobnou klasifikaci. Slouží tedy k diskriminaci (rozlišení) objektů pocházejících z konečného počtu tříd (kategorií) na základě objektů z jisté podmnožiny všech objektů, tzv. trénovací množiny, sestavením rozhodovacího pravidla a k následné klasifikaci (zařazení) objektů zbylých (těch mimo trénovací množinu) aplikací získaného pravidla do jiných tříd, které představují odhad skutečných tříd. Je i předpoklad, že objekty ze stejné třídy vykazují „podobné“ znaky, a o objektech mimo trénovací množinu předem nevíme, do které třídy patří.

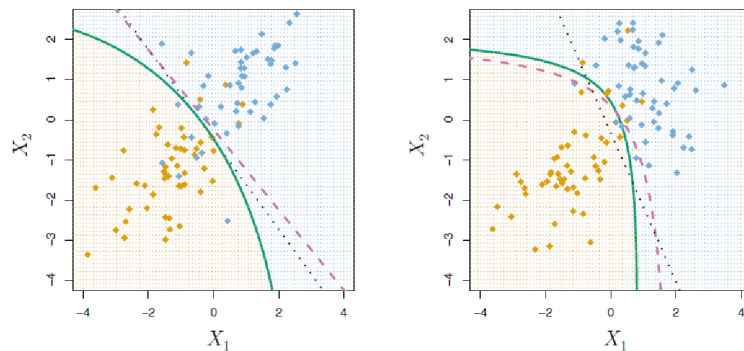
Z použitých metod jsou zde použity lineární a kvadratická diskriminační analýza. Pomocí vypočítaných diskriminantů najdeme koeficienty pro vykreslení, v tomto případě přímky (pro LDA) a kuželosečky (pro QDA), kterými se pak budeme snažit konkrétní prostor rozdělit. Lze ale vykreslovat i křivky pro rozdělení prostoru, které lze popsat rovnicí

$$a \cdot x^2 + b \cdot x + c \cdot y^2 + d \cdot y = r. \quad (2.8)$$

Některé z možných výsledků při použití diskriminační analýzy ukazuje obrázek 2.4.



(a) Příklad rozdělení prostoru



(b) Detail přímky dělící množinu

Obr. 2.4: Vyobrazení rozdělení množinového prostoru

3 Praktická část

Nastudované teoretické poznatky byly použity pro výpočet hodnot řidičů z jízdy. Ty pak byly uloženy do matice, která je použita jako vstup k lineární diskriminační analýze. Popsané bloky ve zpětnovazebním zapojení 2.2 v tomto případě řidič reprezentuje regulátor a simulátor zde působí jako soustava. Regulační odchylka $e(t)$ konkrétně indikuje vzdálenost mezi předešlým a novým pruhem.

3.1 Postup zpracování dat

Postup provedení úkolů v této práci lze zobrazit pomocí hlavního blokového schématu (viz 3.1). Nejprve se měří a ukládají data ze simulátoru, pak se zpracovávají v programu MATLAB a na závěr umělá inteligence provede klasifikaci pomocí LDA. Nejdříve si postupně popíšeme každý blok tohoto schématu.



Obr. 3.1: Hlavní blokové schéma

3.2 Popis simulátoru na Ústavu měření a automatizace

Pro co nejpřesnější analýzu kvality jízdy řidiče v motorovém vozidle je potřeba provádět reálné jízdy, zaznamenávat měřená data a sbírat informace pro vyhodnocení. Pokud se jedná o měření při běžném reálném řízení, může docházet k určitým nebezpečným rizikům, především když se jedná o nezkušeného řidiče, je šance že vzniknou i katastrofické následky. A proto přichází v úvahu jiná možnost, provádění jízdy mimo normální provoz, tedy její simulace. I když tam nevznikají všechny situace, které mohou vzniknout při normální jízdě po komunikaci, ale pro základní analýzu je to dostačující.

Pro vytvoření bezpečného prostředí byl na Ústavu automatizace zprovozněn simulátor motorového vozidla (viz obrázek 3.2). Simulátor [3] je složen z několika klíčových prvků:

1. Herní prostředí od Unreal Engine, ve kterém je simulace řízení vytvořena. Unreal Engine je uživatelsky přívětivý, má velmi nápomocnou komunitu[8] a také má spoustu dostupných sad.
2. Simulované události, které mohou vznikat při jízdě autem v reálném životě (např. překážka na vozovce). Z chování řidiče se poté získávají potřebná data pro analýzu.
3. Komponenty pro simulování místa řidiče (volant, sedačka, pedály, řadicí páka a širokoúhlý monitor).
4. Měření dat (úhel volantu, doba jízdy, srdeční tep...).



Obr. 3.2: Aktuální vzhled simulátoru

3.3 Algoritmus detekce integrální plochy

Pro bližší pochopení následujícího procesu zpracování a vytvoření programu, jsou jednotlivé kroky popsány v blokovém diagramu 3.3. Na úplném začátku byly získány hodnoty (diskrétní signály), které byly poslány ze simulátoru do prostředí MATLAB. Nejdříve získané hodnoty projdou procesem předzpracováním. Hlavně eliminace hodnot, které neodpovídají počátečné (v tomto případě nula). Tím se odstraní nevhodné detekce signálů. Většinou počáteční a koncové, které zachycují pozici volantu na začátku a na konci, čímž mohou narušovat následný výpočet. Počáteční a koncové vychýlení by neodpovídalo v konkrétních případech pozici, ve které by se normálně nacházel volant, nebo by způsoboval neúplné detekce signálu. Tím se zajistí lepší přehlednost a správný výpočet kritérií a doplňujících parametrů. Následuje krok prahování, během kterého se detekují správné vrcholy z naměřených signálů (vrcholy který patří k odchylce a ne ty které patří k šumu).



Obr. 3.3: Blokový diagram algoritmu pro nalezení hodnot

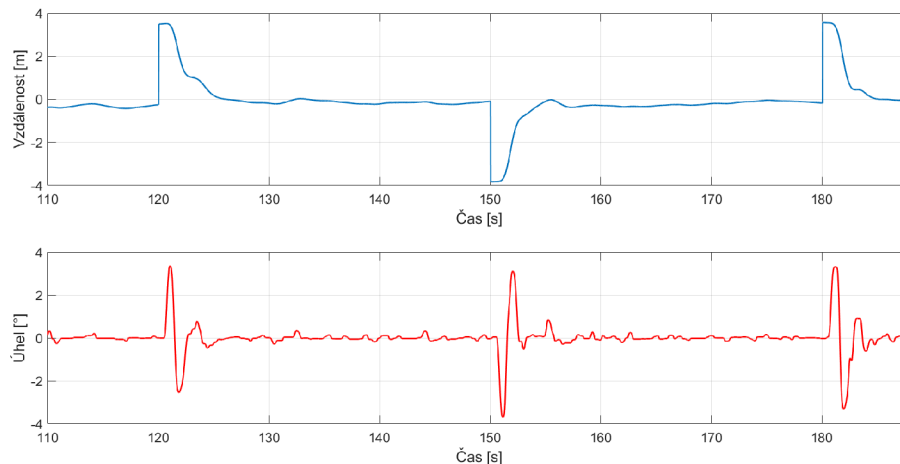
Následně se zpracovaný signál rozdělí na segmenty (každý segment obsahuje detekovaný vrchol) a ty se pak postupně posílají do trojúhelníkového detektoru, který přesněji určí začátek a konec špiček, aby se ze segmentu přesněji spočítala integrální kritéria. Integrální kritérium regulační odchylky sice použito nebylo, ale je uvedeno, jelikož z něj vychází ostatní kritéria. Spolu s kritérii je vypočítán i reakční čas, doba náběhu a doba překmitu.

3.4 Měření signálu

Pro tvorbu algoritmu byly náhodně vybrány 4 naměřené jízdy, které podstoupili různí řidiči. Jízdy probíhaly na simulované trati se dvěma pruhy a každá trvala přibližně 6-7 minut. Řidiči dostávali během řízení povely (indikace pomocí šipky na monitoru) ke změně z původního prvního pruhu na druhý. Jízda vždy začínala v jednom pruhu, ze kterého řidiči přejížděli do toho druhého. Během jednoho měření

takových změn proběhlo různý počet ale v průměru to vychází na 20 přejíždění z pruhu. Zaznamenávány byly pohyby volantu a doba vzniku požadavku o přeřazení. Měření probíhalo na simulátoru. Hodnoty byly ukládány do textového souboru ve tvaru tabulky pro následné zpracování. Z tabulky byly vybrány hodnoty *Time* (čas, celková doba simulované jízdy), *Wheel angle* (úhel volantu) a *Spline Distance* (regulační odchylka, zde vyznačuje vzdálenost od pruhu). Příklad signálů úhlu volantu a regulační odchylky je na obrázku 3.4.

Použitý soubor obsahuje i jiné informace o řidiči, např. tep, vychýlení od prostředního pruhu apod., ale ty pro výpočet nemají význam.



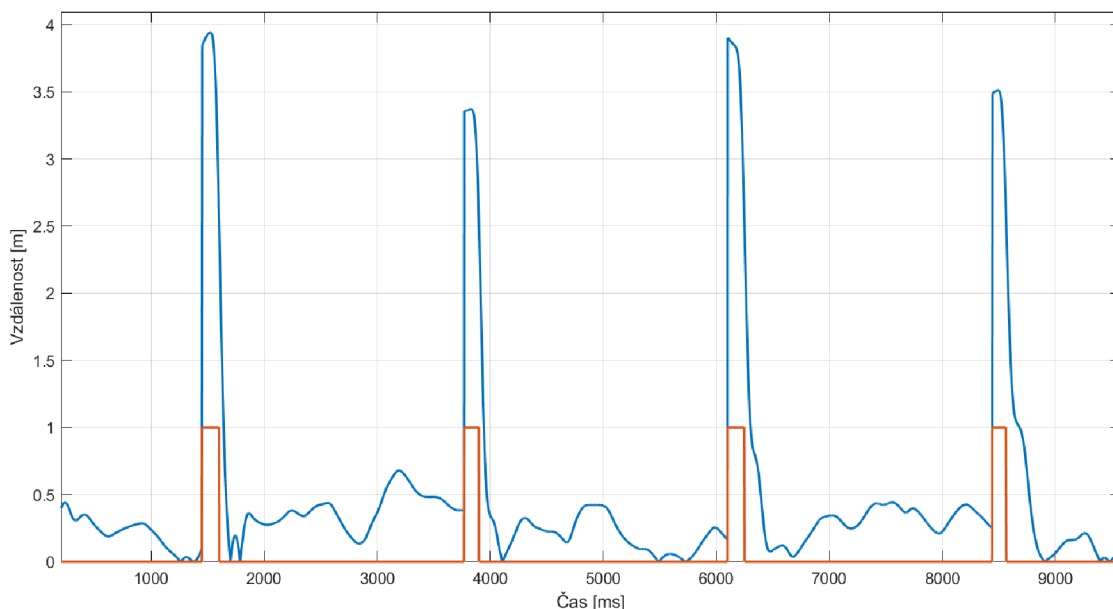
Obr. 3.4: Průběh signálů, úhel volantu a vzdálenost od pruhu

3.4.1 Detekce odchylky a akční veličiny

Signál *Spline Distance* musel překročit určitý práh, který byl nastaven na hodnotu 2,5 m. Byl pevně nastaven, aby se potřebný signál pro výpočet dokázat odlišit od šumu, jinak by se nenalezly hlavní špičky (maximální vzdálenost od aktuálního pruhu do druhého) a kritéria by byla nepřesná. Obrázek 3.5 modrou barvou zobrazuje naměřenou odchylku a červená barva indikuje, že oblast bude započítána do výpočtu, jelikož přesáhla nastavený práh, tím pádem se jedná o detekci, kde řidič prováděl změnu pruhu. Tyto oblasti se ukládají a zpracovávají se pro zjištění začátku a konce špičky (přesněji se berou vzorky se špičkou a dalších 1000 vzorků oddálených zleva/zprava od špičky).

Je také patrné, že signály pouze nabývají kladných hodnot, jelikož proběhlo předzpracování, nastavení na absolutní hodnotu. Tato úprava je vhodnější pro integrální kritéria. Další úpravou bylo odstranění první a poslední hodnoty, pro nenařazení algoritmu, protože volant nemusí hned od startu jízdy být v neutrální poloze

a to samé platí i po skončení jízdy. Pro přesnější vymezení plochy se použil trojúhelníkový detektor, který je popsán níže. Toto vymezení je potřeba, aby se nevzala ostatní část plochy až po následující špičku, jelikož pak při sumaci i ona se započte a kritéria budou méně přesná.

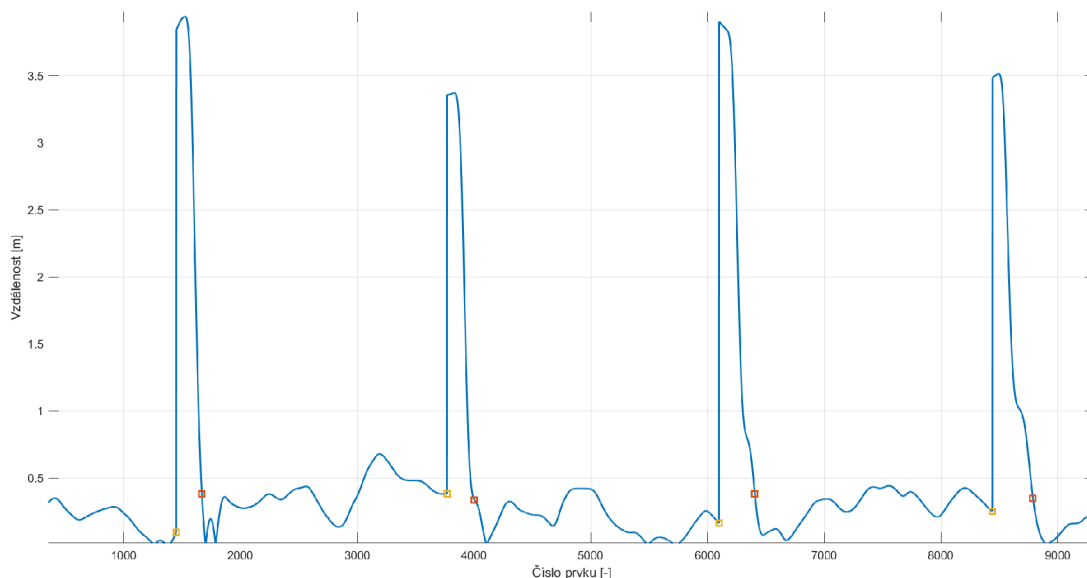


Obr. 3.5: Zobrazení příkladu detekce hodnot. Modře – měřená odchylka, červeně – překročení prahové hodnoty 2,5

3.4.2 Trojúhelníkový detektor

Pro přesná nalezení začátku a konce plochy (začátek a konec regulačního děje) byl použit trojúhelníkový detektor podobným způsobem jak byl popsán v [6]. Do detektoru byly poslány segmenty dat. Detektor projde všechny body segmentu tak, že se začne počítat plocha z prvního, posledního a aktuálního bodu trojúhelníku. Aktuální bod je postupný výběr z bodů mezi prvním a posledním bodem segmentu. Na výstupu detektoru vrátí pozici bodu, kde vychází maximální plocha trojúhelníku.

Špička se nejprve rozdělí na dva podsegmenty. Každý podsegment je tvořen maximální hodnotou špičky a 1 000 vzorků před nebo za maximální hodnotou. Tam vzniknou dva podsegmenty, na které je aplikován trojúhelníkový detektor. Výsledkem je počáteční a koncová hodnota celé špičky. Byla zvolena vzdálenost $N=1000$ vzorků a tedy množina jednoho segmentu je $\langle 1. \text{překročení prahu} - N, \text{špička} \rangle$ a druhého $\langle \text{špička}, N + \text{poslední překročení prahu} \rangle$. Výsledné vymezení je zobrazeno zelenými (začátek dané plochy) a červenými (konec dané plochy) čtverci na obrázku č.3.6. Tímto mechanismem se najde začátek/konec plochy pro integrování.



Obr. 3.6: Vymezení ploch

Všechny rozdělené segmenty se pak v algoritmu ukládají a jsou využity pro výpočet integrálních kritérií. Toto je jeden ze způsobů zpracování hodnot.

3.4.3 Výpočet integrálních kritérií

Jelikož se jedná o diskrétní signály, tak se výsledné integrály aproximují sumou:

- **aproximace integrálu absolutní hodnoty regulační odchylky:**

$$J_2 = \int_i^j |e(t)| dt \approx \sum_i^j |e[k]| \cdot T_s \quad (3.1)$$

- **aproximace integrálu kvadratické hodnoty regulační odchylky:**

$$J_3 = \int_i^j e^2(t) dt \approx \sum_i^j e^2[k] \cdot T_s \quad (3.2)$$

- **aproximace integrálu ITAE kritéria:**

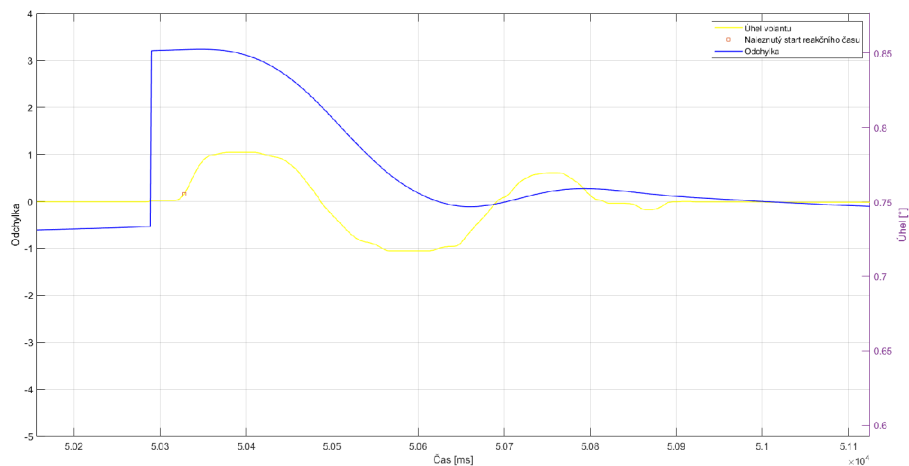
$$J_4 = \int_i^j t \cdot |e(t)| dt \approx \sum_i^j e[k] \cdot k \cdot T_s^2 \quad (3.3)$$

Kde $e(t)$ je změřená odchylka, T_s perioda vzorkování, i je počáteční bod vybrané plochy a j je její konečný bod. Nevýhodou integrálního kritéria odchylky 2.1 je, že i při kmitavých dějích může vrátit hodnotu, která daný děj nevystihuje správně, a proto byla vybrána 3.1, 3.2 a 3.3. Tato obsahují absolutní a kvadratickou hodnotu, tím pádem všechny hodnoty pod nulou budou mít kladné znaménko a jsou použitelné i pro kmitavé průběhy (v tomto případě se může jednat o časté a rychlé pohyby volantem při přejíždění do jiného pruhu).

3.4.4 Výpočet časových kritérií

Po získání ploch pro integraci bylo potřeba zjistit ostatní parametry. Následně se v programu počítá reakční čas. Zde už je potřeba získat informace i z druhého signálu, akční veličiny (pohyb volantu). Reakční čas charakterizuje dobu od startu signálu a startu pohybu volantu.

Obrázek č.3.7 zobrazuje nalezení bodu na druhém signálu pro výpočet reakčního času. Zde se provede rozdíl začátku vrcholu odchylky a nalezeného bodu. Nejednalo se o úplný začátek, ale přibližně 25 % po jeho začátku.



Obr. 3.7: Nalezení začátku pro výpočet reakčního času

Po získání tohoto parametru se přešlo k hledání dalšího, a to doby náběhu. Průběh hledání byl velice podobný jako u hledání reakčního času, ale zde se vzala hodnota 10%. Jedná se o čas potřebný pro výstup signálu pro zvýšení úrovně signálu z 10% na 90%.

Poslední z hledaných časových parametrů je doba překmitu.

Detekce doby překmitu

Proces detekce doby překmitu začne když hodnota regulační odchylky (vzdálenosti od středového pruhu) při klesání překročí nulu a začne jít do záporných hodnot. To znamená že řidič správně změnil pruh ale aby v něm už zůstal, začal se od správného oddalovat. Konec doby překmitu se určí tak, že hodnota vzdálenosti se opětovně bude vracet na nulu nebo se limitně nule hodně blížit. Ne vždy se objevuje, proto se celkový počet daného kritéria může u každého řidiče měnit.

4 Výsledky

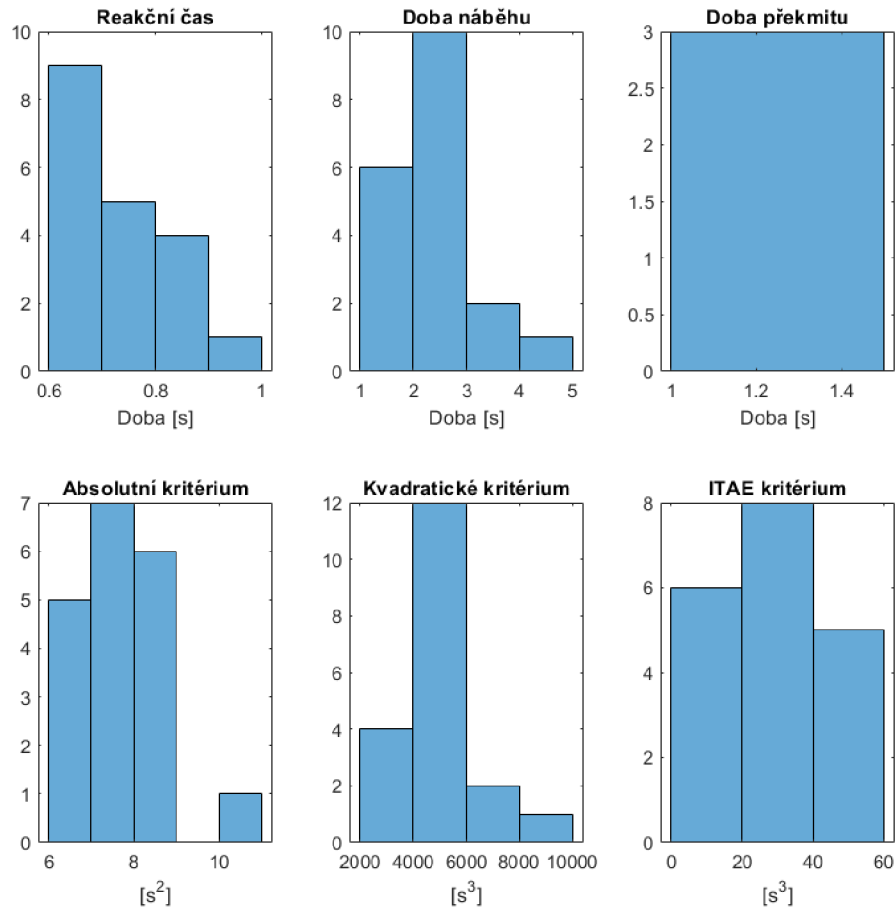
Před použitím diskriminační analýzy pro predikci řidičů byla vytvořena statistika, kde se analyzuje charakteristika jízdy daného řidiče. Výsledky byly zaneseny do histogramu. Histogramy slouží k vyobrazení hodnot naměřených a vypočítaných u jednotlivého řidiče. To nám může pomoci lépe pochopit a popsat lidské reakce na změnu během silničního/dálničního provozu.

Nejdříve se vyobrazí hodnoty integrálních kritérií všech řidičů analyzovaných v této práci, konkrétně se bude jednat o řidiče s rozpoznávacím číslem 002, 005, 069 a 074. Tato data budou potrobněji popsána a také se díky tomu naleznou charakteristické veličiny pro uvedené řidiče. Společně s integrálními kritérii se vyobrazí i kritéria časová, která budou stejným způsobem analyzována.

Samotná a podrobnější statistika je i součástí vytvořeného algoritmu, který získané informace ukládá do sktruktur, a jsou podrobně popsány. Mimo histogramy se tam i ukládají informace o průměrech, mediánech a i kvartilech.

Integrální a časová kritéria

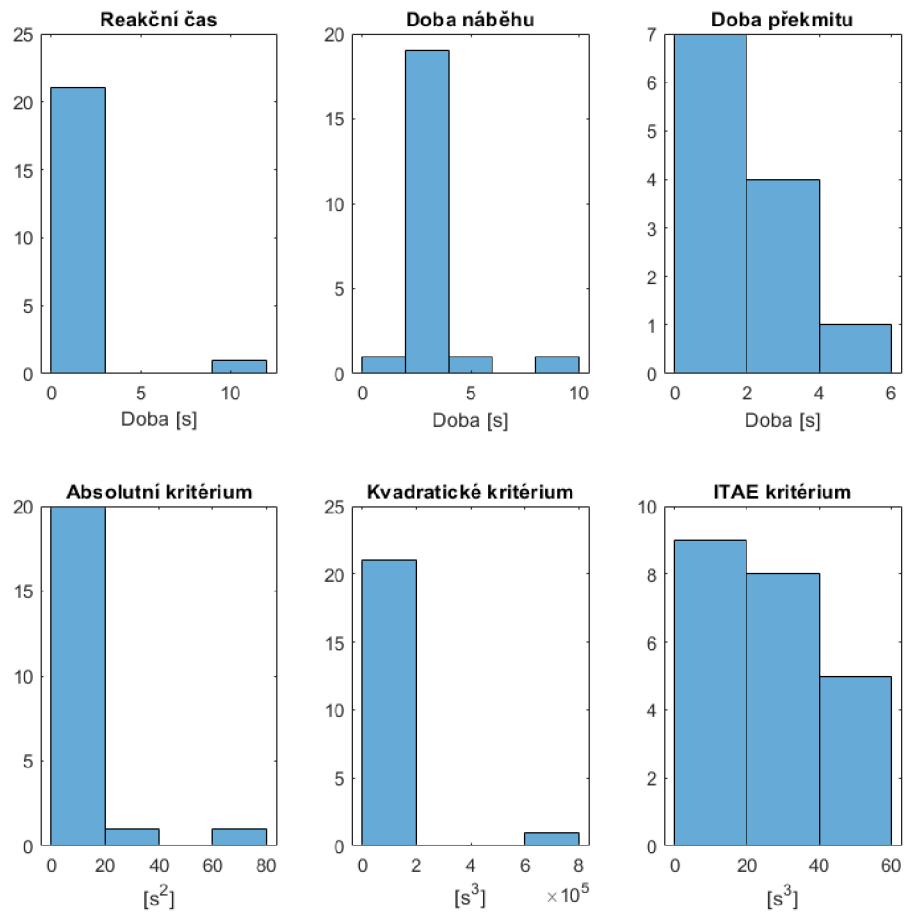
Pro řidiče 002 jsou vykreslena na obrázku 4.1.



Obr. 4.1: Histogram kritérií pro řidiče 002

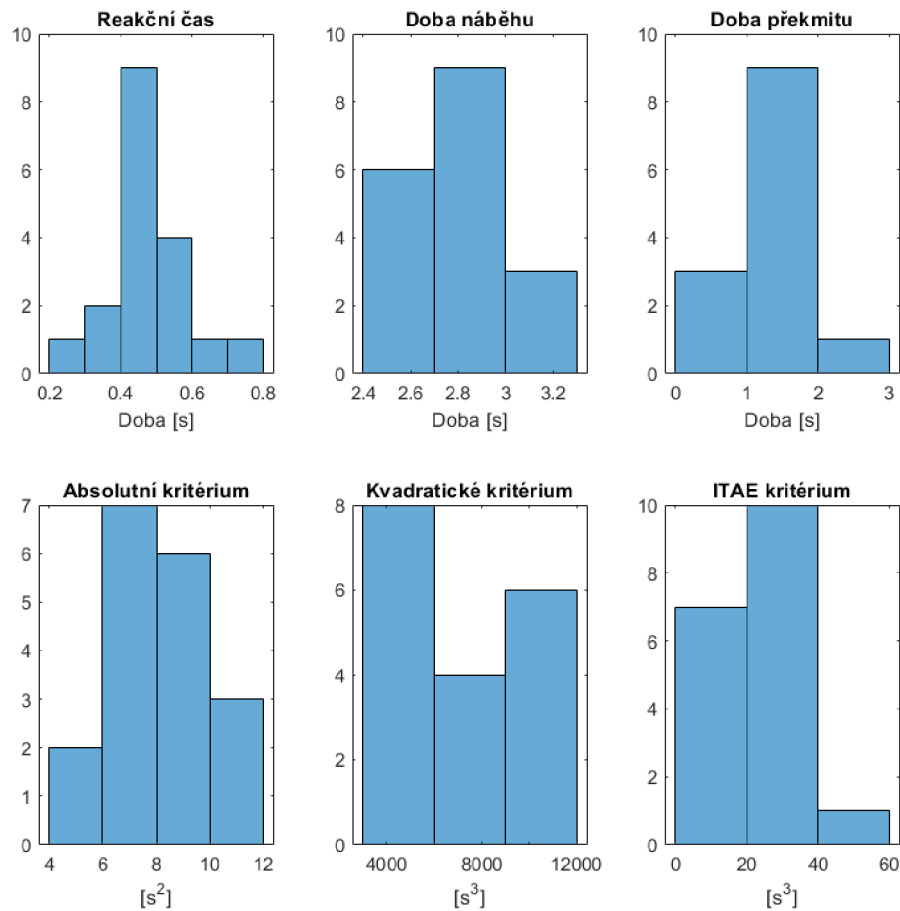
U řidiče 002 je patrné, že pro absolutní kritérium je nejčastější hodnota mezi 7 – 8 sekundami, pro kvadratické mezi $(4 - 5) \cdot 10^3 \text{ s}^3$ a ITAE mezi $(2 - 4) \cdot 10^3 \text{ s}^3$.

Dále se sledoval řidič 005 a jeho naměřená a spočítaná kritéria jsou opět uvedena v histogramech níže.



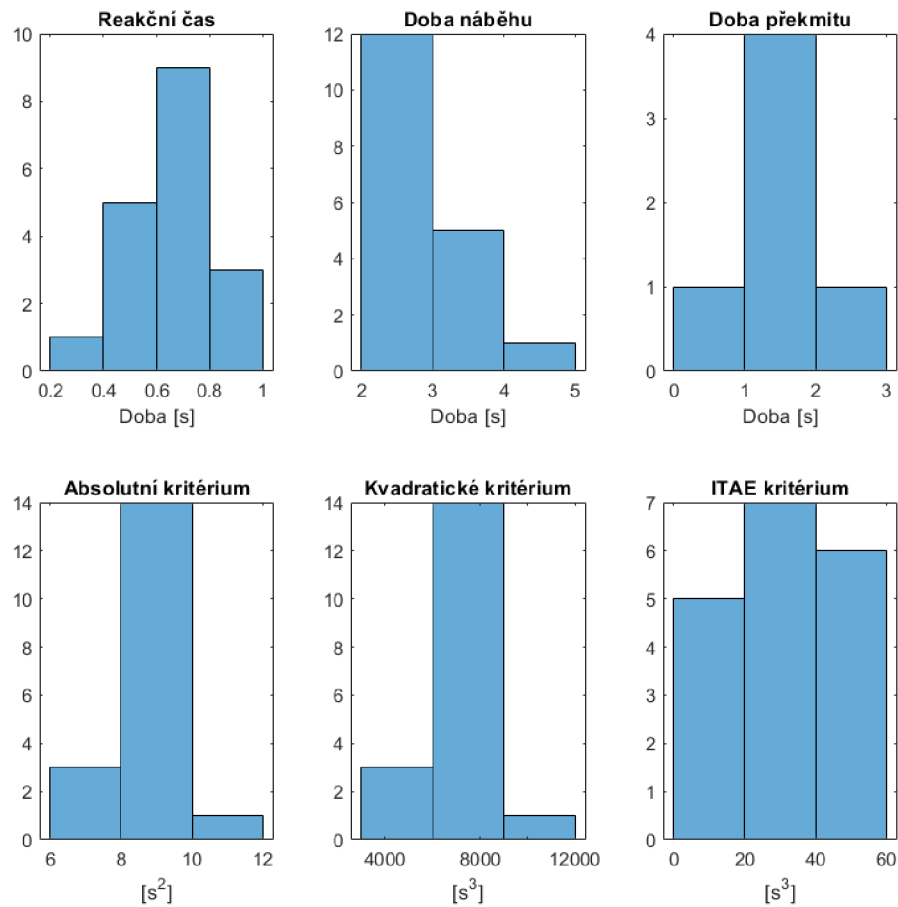
Obr. 4.2: Histogram kritérií pro řidiče 005

U uvedeného řidiče jsou charakteristické hodnoty absolutního kritéria kolem 20s, kvadratického se pohybují kolem $2 \cdot 10^5 s^3$ a ITAE opět hodnoty mezi $(2 - 4) \cdot 10^3 s^3$. V posledním kritériu jsou si podobné s řidičem 002. Předposlední sledovaný řidič 069 měl tvar histogramu následný:



Obr. 4.3: Histogram kritérií pro řidiče 069

Charakteristické hodnoty jsou následující: pro absolutní kritérium hodnoty mezi $(6 - 8) s^2$. U kvadratického kritéria hodnoty se pohybují mezi $8 \cdot 10^3 s^3$ a ITAE nabývá hodnot nejvíce mezi $(2 - 4) \cdot 10^3 s^3$. Podle absolutního kritéria lze usoudit, že reakci řidič 069 má nejrychlejší. Ale zbývá ještě vyhodnotit řidiče 074. A tedy řidič 074 má rozsah hodnot následující:



Obr. 4.4: Histogram kritérií pro řidiče 074

Absolutní kritérium se pohybuje mezi $(8 - 10) \text{ s}^2$, Kvadratické podobně jako u řidiče 074, se hodnoty pohybují mezi $8 \cdot 10^3 \text{ s}^3$ a ITAE hodnoty mezi $(2 - 4) \cdot 10^3 \text{ s}^3$.

Jelikož některá kritéria jsou u řidičů skoro stejná, pouhé jejich použití by byly jako vstupní příznaky pro strojové učení nedostatečné a proto pro lepší klasifikaci se přidala i časová kritéria. Následující kapitola se i touto oblastí zabývá a opět se pro každého řidiče blíže popíše. Pro řidiče 002, reakční čas se pohybuje mezi hodnotami $(0,7 - 0,8) \text{ s}$. U doby náběhu se čas pohybuje mezi $(2 - 3)$ sekundami a doba překmitu $(1 - 1,5)$ sekund. Lze vyvodit, že reakce pro tohoto řidiče nebyla z nejrychlejších. Obvykle optimální reakční čas se pohybuje do $(0,3 - 0,4)$ sekund. Pro řidiče 005 jsou časová kritéria následující. Průměrný reakční čas u něj byl $0,9 \text{ s}$, takže reakce byla dokonce pomalejší, než u řidiče 002. Také i dobu náběhu měl delší, v průměru cca 5 sekund. To indikuje dobu přeražení do jiného pruhu. Histogram řidiče 069 ukazuje že reakční čas měl jeden z lepších, a to v rozmezí $(0,4 - 0,6) \text{ s}$. Doba náběhu nabývala hodnot mezi $(2,7 - 3) \text{ s}$ a doba překmitu do 2 s. Prozatím nejlepší výsledek. Zbývá tedy analyzovat řidiče 074. Poslední analyzovaný řidič má

reakční čas mezi (0,6 – 0,8) s. Doba náběhu trvala déle, (3 – 4) s. Ale dobu překmitu měl rychlejší, pouze mezi hodnotami (1 – 2) s. Je vidět, že přidáním těchto hodnot lze zvýšit úspěšnost klasifikace řidiče po splnění jízdy.

Průměry, mediány a kvartily

Jako další statistické hodnoty byly i nalezeny průměry a mediány integrálních kritérií pro srovnání, který z uvedených řidičů zvládal co nejrychleji a nejkvalitněji potlačit odchytku, v tomto případě se posunout na střední pruh. Uvedené hodnoty byly sepsány do tabulky níže: Z této tabulky lze vyvodit, že nejlépe se vypořádal s úlohou

číslo řidiče	Průměr [s^2]	Medián [s^2]	(1.) Kvartil [s^2]	(3.) Kvartil [s^2]
002	7,64	7,77	6,99	8,05
005	12,73	8,09	7,35	10,28
069	8,19	7,91	7,21	9,58
074	8,88	8,92	8,63	9,56

Tab. 4.1: Tabulka hodnot pro absolutní integrální kritérium

řidič číslo 002, tedy integrační plocha byla co nejmenší a tím pádem regulaci prováděl co nejrychleji.

4.0.1 Použití identifikace soustavy

Před tím než se přistoupí k diskriminační analýze, je potřeba popsat řidiče pomocí přenosové soustavy. K Nalezení požadovaného tvaru nám pomůže identifikační příkaz v MATLABu *Estimate transfer function*, který se použije pro nalezení co nejvíce podobné přenosové soustavy, která by se dala popsat tvarem zlomku polynomů, kde kořeny čitatele reprezentují nuly a kořeny jmenovatele póly. Po nalezení se pak provede přepočítání na tvar, kde jsou parametry jako časová konstanta T , zesílení k a tlumení ξ . Tedy tvar:

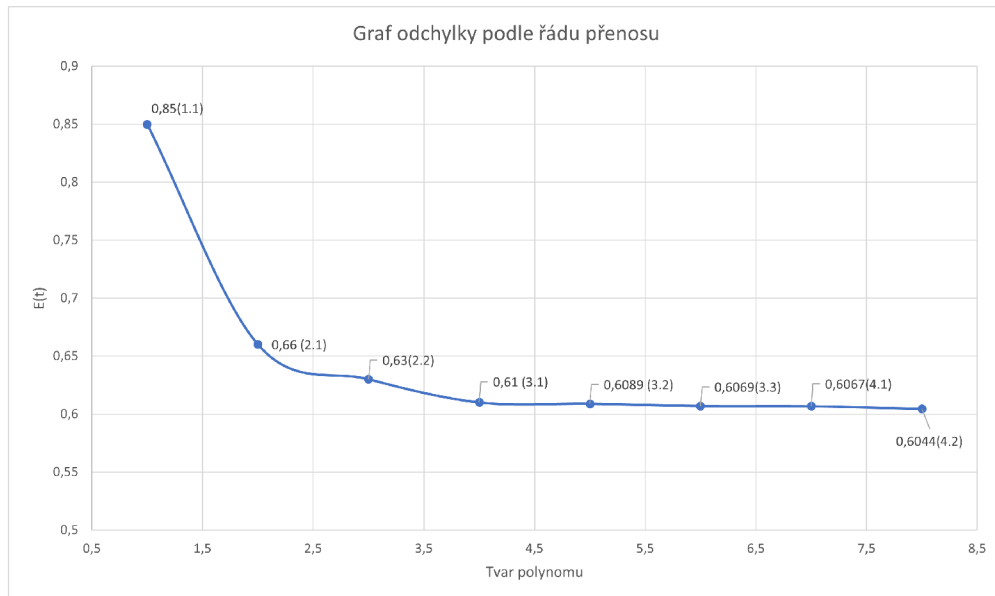
$$F(p) = \frac{k}{T^2 \cdot p^2 + 2 \cdot T \cdot \xi \cdot p + 1} \quad (4.1)$$

Při provádění identifikace se vybíraly tvary vhodné pro identifikaci řidiče jako přenos soustavy. Pro pomoc při určování se použil výpočet:

$$E_n = \int_0^T |y(t) - y_m(t)|^2 dt \quad (4.2)$$

E_n je odchyška vyjadřující rozdíl mezi reálnou funkcí a funkcí identifikovanou, označena jako $y_m(t)$. Vykreslený graf 4.5 těchto odchylek, kde v závorkách u hodnot je

napsán počet pólů a nul ve tvaru (*pocet_polu.pocet_nul*), zobrazuje, že při dvou pólech a jedné nule prudce klesá a při dalším navyšování stupně pólů a nul se odchylka příliš nemění, jen v řádech desetín. Proto je obecně vhodné vybrat přenos s maximálně třemi póly a třemi nulami, jednak kvůli zmíněné minimální změně odchylky a také pak přenos nebude zbytečně složitý a bude případně i nerealizovatelný.



Obr. 4.5: Vyobrazení matice trénovací množiny se správnými a chybnými prvky

Pro výpočty v této práci se vybral tvar s 2 póly a žádnou nulou, aby se jednodušeji získávaly členy z rovnice 4.3 (perioda, tlumení a zesílení). V tomto případě si to lze představit jako zapojení 2 článků.

Příklad výpočtu perioda, tlumení a zesílení

Při použití identifikace program vypíše konstanty v zlomku a je potřeba je upravit aby se do matice uložil správný tvar. Například jeden z identifikovaných tvarů je:

$$F(p) = \frac{1,0086}{0,5651 \cdot p^2 + 8,1973 \cdot 10^{-10} \cdot p + 1} \quad (4.3)$$

Zesílení $k = 1,0086$ je už rovnou ve správném tvaru, nyní je potřeba získat periodu a tlumení. Z prvního členu lze získat periodu pouze odmocněním, tedy $T = \sqrt{0,5651} = 0,7517$ s a tento výsledek pak použít do druhého členu a vypočítat tlumení, $2 \cdot 0,7517 \cdot \xi = 8,1973 \cdot 10^{-10} \rightarrow \xi = \frac{8,1973 \cdot 10^{-10}}{2 \cdot 0,7517} = 2,6167 \cdot 10^{-12}$. Stejným postupem byly vypočítány tyto konstanty i pro ostatní řidiče.

4.0.2 Použití diskriminační analýzy

Posledním praktickým krokem v této práci, bylo použití umělé inteligence z předložené trénovací množiny se naučit identifikaci. Také dokázala rozpoznat, které ze získaných parametrů se nejvíce hodí použít pro charakteristiku řidiče. Zjednoduší to výpočet pro další jízdy, zrychlí výpočetní proces a dá nám to představu, jaké parametry použít a jaké nepoužívat a tím pádem není potřeba je následně vypočítávat.

Pro tento proces naučení se vytvořil skript v MATLAB aplikaci, který spustí metody LDA a QDA. Jako vstup se použije matice 4.4 uložených parametrů. Všechny hodnoty z měření byly uloženy do textového souboru, potřebné hodnoty pak načteny do prostředí MATLAB (každý soubor reprezentuje jednu provedenou jízdu). Výstupem po zpracování je sloupcový vektor, který zobrazuje, který řádek patří určitému řidiči (značení tříd pro výpočet). Koeficient n v matici reprezentuje celkový počet nahraných jízd do programu pro vypočítávání. Spustí se LDA a QDA metody, a podle přesností se rozhoduje, které parametry a jaká metoda bude nejlepší možnost pro trénování rozpoznání řidiče. Matice uložených příznaků, které byly získány a vypočítány, má tedy tvar:

$$\begin{pmatrix} J_{21} & J_{31} & J_{41} & \text{reakční čas}_1 & \text{doba náběhu}_1 & \text{doba překmitu}_1 & T_1 & k_1 & \xi_1 \\ J_{22} & J_{32} & \dots & \text{reakční čas}_2 & \dots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \dots & \dots & \dots & \ddots & \dots & \vdots & & \\ J_{2n} & J_{3n} & \dots & \dots & \dots & \text{doba překmitu}_n & T_n & k_n & \xi_n \end{pmatrix}$$

Všechny spočítané parametry se postupně pod sebe uloží do matice, a předložená matice bude uvedena trénovací množina, která půjde na vstup. Na výstup umělá inteligence dostane sloupcový vektor, který říká, jaké příznaky patří řidiči 002, pak kde jsou parametry řidiče 069 apod.

Po tomhle kroce uložení příznaků a podání informace který z příznaků patří určitému řidiči, je potřeba určit, jaká kombinace příznaků je nejvhodnější pro identifikaci a klasifikaci řidiče.

Protože celkem možností naleznutých příznaků je 2^n , a zde se použilo přesně osm příznaků a tedy je možné vytvořit až 256 možností, dodatečný skript také vytvořil všechny tyto kombinace, spočítal odchylku a vybral tu, které má odchylku nejmenší. Všechny dosažené kombinace příznaků a i odchylek se uložily a skrip i vypsal, jaké hodnoty se použili pro dosažení nejmenší odchylky. V našem případě se použilo 255 kombinací, první kombinace kde se nepoužije žádný příznak se nezapočítavala, jelikož je potřeba zkusit alespoň jeden parametr. Pro přehlednost a příklad se některé výsledné přesnosti zapsaly do tabulky níže, zkoušeli se různé kombinace a vybíralo se, jaké parametry se započítají a jaké se naopak zanedbají. Také se i vybírala použitá metoda. J_2, J_3, J_4 označují absolutní, kvadratické a ITAE kritéria, t_1 označíme jako reakční čas, t_2 jako dobu náběhu a t_3 jako dobu překmitu. T_n je perioda, k_n zesílení a ξ_n tlumení. Tyto poslední tři hodnoty byly získány ze vzorce identifikační soustavy 4.3.

použitá metoda	započítané parametry	dosažená přesnost
LDA	$J_2, J_3, J_4, t_1, t_2, t_3$	25,0%
LDA	J_2, J_3, J_4, t_1, t_2	43,2%
LDA	J_2, J_3, J_4, t_1	36,4%
LDA	J_3, J_4, t_1	44,3%
LDA	$J_2, J_3, J_4, t_1, t_2, t_3$	26,1%
⋮	⋮	⋮
LDA	J_2, t_1, k, T	52,3%

Tab. 4.2: Vyobrazení příkladu použití metody LDA a její přesnost

Zde je uvedena metoda lineární diskriminační analýza. Byly použity a započítány parametry, které tvoří trénovací množinu. Následně pak metoda aplikuje na vybrané množiny pro predikci. Procentuálně byla uvedena přesnost a lze pozorovat, že nejvíce přesná byla trénovací množina s parametry J_2, t_1, k, T . Při použití metody LDA byla dosažena přesnost 52,3%.

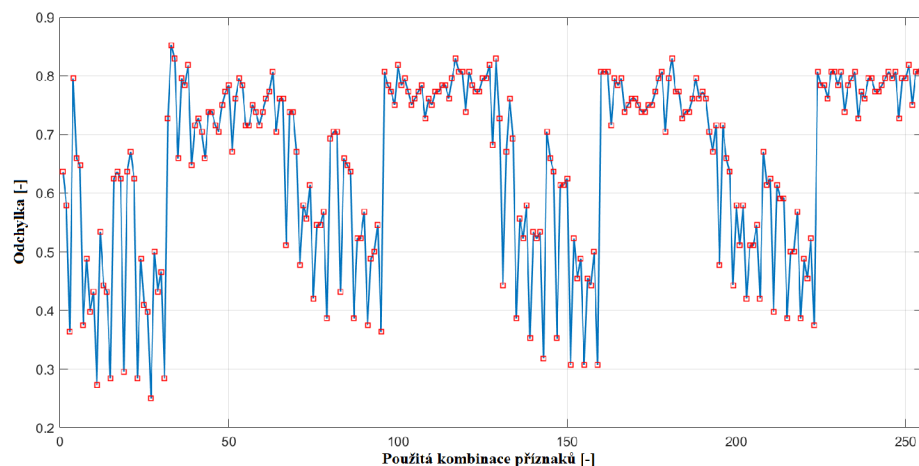
Nyní lze provést obdobné predikce pro metodu QDA. Opět se vytvořila tabulka 4.3 s možnými kombinacemi a výsledky byly do ní zapsány.

použitá metoda	započítané parametry	dosažená přesnost
QDA	J_2	37,5%
QDA	J_2, J_3	36,4%
QDA	J_2, J_3, J_4	63,6%
QDA	J_2, J_3, J_4, t_1	21,6%
QDA	J_2, J_3, J_4, t_1, t_2	35,2%
QDA	$J_2, J_3, J_4, t_1, t_2, t_3$	63,6%
⋮	⋮	⋮
QDA	J_2, J_3, J_4, t_1	79,5%

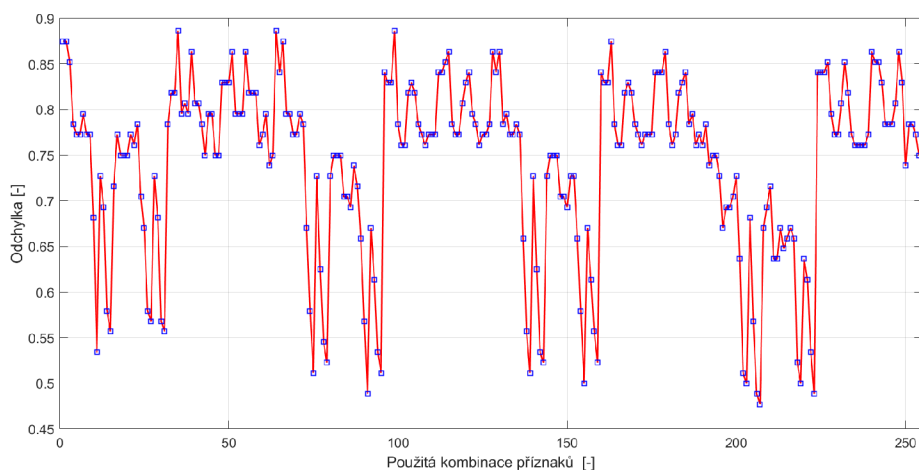
Tab. 4.3: Vyobrazení metod a jejich přesnost

Toto opětovné provedení nám ještě více pomohlo přiblížit, jaký parametr významně mění výslednou predikci, a to sice J_4 , tedy ITAE kritérium, tabulka ukazuje snižování přesnosti. U LDA snížilo z 27,3% na 18,2%. U metody QDA dokonce ze 63,6% na 51,1%. Ale při dosažení nejlepšího výsledku je ITAE kritérium s kombinací s reakčním časem a ostatními kritérii nejvhodnější. Lze pozorovat u ostatních hodnot přesnosti, že veličina doba překmitu má negativní vliv na celkovou přesnost a z toho lze usoudit že je to parametr, který není vhodný pro budoucí rozpoznávání řidičů a je potřeba jej zanedbat u následných výpočtů. Diskuze ohledně ostatních parametrů je uvedena v závěru, nyní můžeme vykreslit odchylky všech kombinací příznaků.

Obecně při vykreslení chyb predikce 4.6 podle dané kombinace osmi příznaků (označení kombinace v grafu čtvercem) je viditelné, že použití QDA metody pro různé kombinace trénovacích množin se odchylka pohybuje v rozmezí 0.2 – 0.8, kde odchylka 0.2 je pro nás nepříznivější a odpovídá 79,5%.



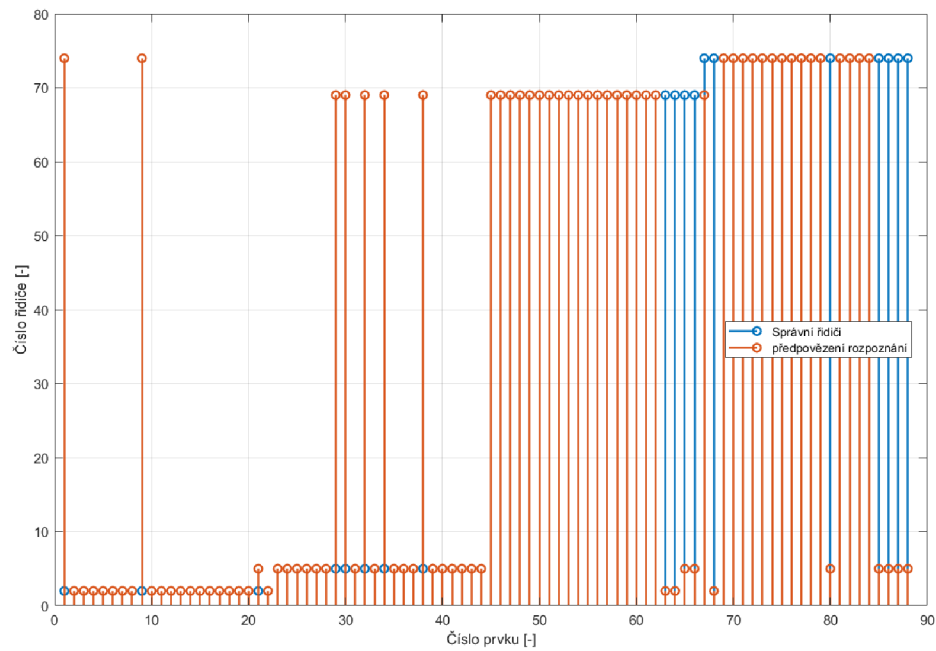
Obr. 4.6: Vykreslení odchylek pro všechny kombinace použitých příznaků metodou QDA



Obr. 4.7: Vykreslení odchylek pro všechny kombinace použitých příznaků metodou LDA

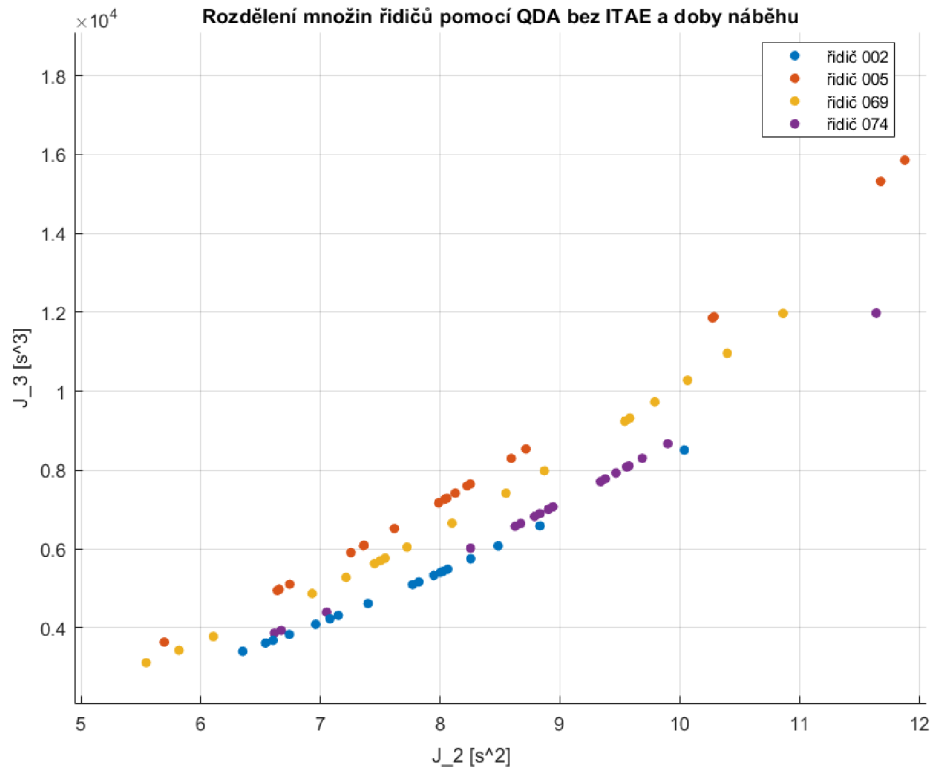
Pro srovnání je zobrazeno i rozmezí chyb metodou LDA 4.7 , kde je patrné rozmezí 0.4 – 0.8, kde minimální odchylka začíná 0.45, která v reálu označuje úspěšnost predikce 55%. Tím se ukazuje že lepší metoda pro předpovězení řidiče za volantem bude metoda QDA a i lépe vyhodnocuje jaké příznaky je potřeba pro úspěšnější predikci použít.

Graf 4.8 ukazuje výsledek QDA metody po přivedení trénovací množiny, v našem případě matice uložených příznaků, a výstup čísla řidičů. Modře jsou vyznačeny pravé označení řidičů a červeně jsou označeny přiřazené prvky. Je i vidět že umělé



Obr. 4.8: Zobrazení správných a špatných predikcí

inteligenci se i podařilo správně predikovat konkrétního řidiče. Lze i použitou metodu QDA graficky zobrazit, zda-li je možné tyto řidiče od sebe rozpoznat. Graf vyobrazených množin 4.9 ukazuje rozdělení této metody. Trénovací množina tedy obasuje 4 parametry (J_2 , J_3 , J_4 a t_1). Dále strojové učení se rozhodlo o závislosti z uvedených parametrů, jaké dva lze použít pro co nejpřesnější grafickou identifikaci. Graf 4.9 ukazuje, že je vhodné brát závislost mezi J_2 a J_3 . Tím pádem i jako výsledek dostáváme přehledné rozdělení daných řidičů do množin.



Obr. 4.9: Vyobrazení rozdělení trénovací množiny

Také lze z grafu vyzpozorovat, že řidiči 002 a 074 mají skoro stejné hodnoty. Kdyby se tedy brali pouze integrální kritéria, v některých případech by bylo složitější rozeznat osobu za volantem. Proto se přidala i časová kritéria, aby diskriminační analýza měla více hodnot a dokázala najít více odlišností mezi osobami, které jízdy provádějí.

Pro přehlednější zobrazení kvality klasifikátoru se data vyobrazují do tzv. matice záměn. Ve sloupcích se jedná o skutečnou hodnotu předpovídaného znaku a v řádcích předpověď klasifikátoru. Buňky matice obsahují četnosti toho, kolikrát došlo na zkoumané trénovací množině k dané kombinaci skutečné a předpověděné hodnoty. Případy na diagonále matice záměn jsou klasifikovány správně, mimo diagonálu se jedná o chyby. Čísla reprezentují o jakého řidiče se jedná.

Model QDA

	2	5	69	74
2	18	3		1
5		18	4	
69		5	16	1
74	1	5	1	15
	2	5	69	74
Správná třída	Predikovaná třída			

Obr. 4.10: Vyobrazení matice trénovací množiny

5 Diskuze

Pozorovali se celkem 4 jízdy různých řidičů, kde se sbírala data a z těchto dat se pak počítaly parametry, kterými lze popsat kvalitu řízení motorového vozidla. Jelikož provádění testovacích jízd může být značným způsobem rizikové, byly dané jízdy provedeny na simulátoru vytvořeném na Ústavu automatizace a měřicí techniky VUT. Získávaly se signály regulační odchylky a akční veličiny.

Získaný signál regulační odchylky se pak použil identifikačním nástrojem pro nalezení parametrů pro popis chování řidiče jako LTI systému. Přenos s žádnou nulou a dvěma poly je dostačující, jelikož při zvyšování jejich počtu, se výsledná odchylka mění minimálně.

Signály se zpracovali pomocí výpočtů intergálních a časových kritérií. Následně se výsledky využily jako vstupní příznaky pro strojové učení (proběhlo uložení do matice).

Byl vytvořen další skript, který zkouší různé kombinace příznaků a tyto kombinace byly použity jako trénovací množiny pro metody LDA a QDA. Celkem šlo vytvořit 255 kombinací příznaků. Nejvíce byla úspěšná metoda QDA s přesností 79,5%. Kombinace nejpřesnějších parametrů je tedy integrální absolutní, kvadratické, ITAE a reakční čas. Došlo i k nesprávným predikcím, ale je vidět že z takových prvků je nepatrné množství.

Z výsledků této práce lze tedy usoudit, že z pouhých získaných parametrů je nejlepší do množiny započítat integrální absolutní, kvadratické a ITAE kritérium a k tomu z časových kritérií přidat reakční čas. Pak má identifikační metoda QDA úspěšnost 79,5%. Při přidání ostatních kritérií lze pozorovat, že zbylé parametry snižují přesnost predikce výsledné analýzy. Pro predikci je nejvhodnější použití těchto čtyř parametrů (J_2, J_3, J_4, t_1) .

6 Závěr

Byly naměřeny průběhy hodnot ze simulátoru, konkrétně dva, úhel volantu a vzdálenost od pruhu. Při použití teorie řízení zpětnovazebního zapojení si lze představit úhel volantu jako akční veličinu $x(t)$ a vzdálenost jako regulační odchylku $e(t)$. Řidič reprezentuje regulovanou soustavu a po použití identifikace se vybral tvar přenosu LTI systému s dvěma póly a žádnou nulou. Pro každého řidiče byla spočítány hodnoty konstant v přenosu, tedy zesílení, perioda a konstanta tlumení.

V následující části se hledali kritéria, které lze spočítat z uvedených průběhů. Vybraly se tři integrální kritéria, která vypovídají o kvalitě regulace, absolutní (J_2), kvadratické (J_3) a ITAE (J_4). Dále se rozhodla vypočítat kritéria časová: reakční čas (t_1), doba náběhu (t_2) a doba překmitu (t_3).

Všechna uvedená kritéria s hodnotami konstant z přenosu druhého řádu soustavy se uložila do matice o velikosti $m \times n$, kde m je nejvyšší počet vrcholů vzdálenosti pro jednoho řidiče násobený celkovým počtem analyzovaných řidičů a n je počet kritérií. Ta pak sloužila jako vstup pro umělou inteligenci a pomocí metod lineární a kvadratické diskriminační analýzy (LDA a QDA) pomohla rozhodnout, která kritéria lze použít pro identifikaci řidiče podle jeho stylu řízení. Umělá inteligence hned vyloučila tlumení jako nevhodný parametr, kvůli jeho velmi nízkým hodnotám a tedy zbylých osm se testovalo. Z těchto osmi šlo vytvořit celkem 255 použitelných kombinací. První kombinace se nepočítala jelikož je to situace kde se nevolí žádný z příznaků.

Vytvořená skripta v prostředí MATLAB počítala kritéria a jako výstup byla získaná matice příznaků, a další skript automaticky testoval všechny uvedené možnosti a ukládaly se odchylky, které vypovídají o úspěšnosti predikce. Nejúspěšnější byla kombinace příznaků J_2, J_3, J_4, t_1 , procentuálně vyjádřena 79,5%. Proto z uvedených analyzovaných devíti příznaků je nejlepší volit uvedené čtyři: integrální absolutní, kvadratické a ITAE kritérium. K těmto integrálním kritériím se z časových přidal reakční čas.

Literatura

- [1] *Srovnávač pojištění provozovaný firmou PFP*[online]. Liberec: 2020, [cit. 15.06.2020]. Dostupné z URL: [<https://www.srovnator.cz/clanky/10-nejcastejsich-pricin-dopravnich-nehod/>](https://www.srovnator.cz/clanky/10-nejcastejsich-pricin-dopravnich-nehod/).
- [2] P.BLÁHA, P.VAVŘÍN. *Řízení a regulace I*. VUT v Brně, 2005.
- [3] MICHALÍK, David and JIRGL, Miroslav and ARM, Jakub and FIEDLER, Petr *Developing an Unreal Engine 4-Based Vehicle Driving Simulator Applicable in Driver Behavior Analysis—A Technical Perspective*. VUT v Brně, 2021. Dostupné z URL: [<https://www.mdpi.com/2313-576X/7/2/25>](https://www.mdpi.com/2313-576X/7/2/25).
- [4] BENGLER, Klaus, Klaus DIETMAYER, Berthold FARBER, Markus MAURER, Christoph STILLER a Hermann WINNER. *Three Decades of Driver Assistance Systems: Review and Future Perspectives*. IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine [online]. 2014, 6(4), 6-22 [cit. 2021-5-13]. ISSN 1939-1390. Dostupné z: doi:10.1109/MITS.2014.2336271 Int. J. Veh. Technol. 2013, 2013, 526180.
- [5] JAMES, Gareth, Daniela WITTEN, Trevor HASTIE a Robert TIBSHIRANI. *An introduction to statistical learning: with applications in R*. New York: Springer, [2013]. Springer texts in statistics, 103. ISBN 978-1-4614-7138-7.
- [6] LI, Yanjun, et al. *A new approach of QRS complex detection based on matched filtering and triangle character analysis*. Australasian physical engineering sciences in medicine 35.3 (2012): 341-356.
- [7] PÍRKO, Zdeněk, and Jan Veit. *Laplaceova transformace: Základy teorie a užití v elektrotechnice: Vysokošk. učebnice..* SNTL, 1972.
- [8] Satheesh, P.V. *Unreal Engine 4 Game Development Essentials: Master the Basics of Unreal Engine 4 to Build Stunning Video Games; Community Experience Distilled*, Packt Publ.: Birmingham, UK, 2016.
- [9] Mulder, M.; Abbink, D.A.; Boer, E.R. *The effect of haptic guidance on curve negotiation behavior of young, experienced drivers*. In Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Singapore, 12–15 October 2008; pp. 804–809.

- [10] Guo, C.; Sentouh, C.; Popieul, J.C.; Haué, J.B.; Langlois, S.; Loeillet, J.J.; Soualmi, B.; Nguyen That, T. *Cooperation between driver and automated driving system: Implementation and evaluation*. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 2019, 61, 314–325. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1369847816306623?via%3Dihub//>>.