

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ



Момир Аџемовић

ПРЕДИКЦИЈА ТРАЈЕКТОРИЈА ВИШЕ
ОБЈЕКТА НА СЦЕНИ

мастер рад

Београд, 2022.

Ментор:

др Младен Николић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Математички факултет

Чланови комисије:

др Јована Ковачевић, доцент
Универзитет у Београду, Математички факултет

др Александар Картељ, доцент
Универзитет у Београду, Математички факултет

Датум одбране: 15. септембар 2022.

посвета... у изради...

Наслов мастер рада: Предикција трајекторија више објеката на сцени

Резиме: У изради...

Кључне речи: машинско учење, аутономна вожња, растеризација, графовске неуронске мреже

Садржај

1	Увод	1
2	Преглед постојећих техника за изабрану тему	2
3	Припрема података	3
3.1	Претпроцесирање података	3
4	Преглед метода за евалуацију модела	7
5	Техника заснована на разумевању контекста обрадом растеризоване сцене	10
6	Техника заснована на разумевању контекста обрадом сцене представљене графом	11
7	Евалуација примењених техника	12
8	Закључак	13

Глава 1

Увод

У изради...

Глава 2

Преглед постојећих техника за изабрану тему

У изради...

Глава 3

Припрема података

Основни скуп података за тренирање и тестирање техника предикције трајекторија је *Argoverse Motion Forecasting* скуп података који се састоји од детаљних мапа саобраћаја (*eng.* „*HD maps*“) које садрже геометријске и семантичке податке сцена. Постоје две *HD* сцене за градове Питсбург и у Мајами. Коришћењем аутономних возила су генерисани сценарији који представљају неколико узастопних слика сцена (у табеларном формату) на деловима мапа. Сви детаљи о овом скупу података се могу пронаћи на адреси www.argoverse.org [?].

Кључне информације које се издвајају из сваког сценарију су:

- Мапа сценарија (Питсбург или Мајами);
- Трајекторије агената;
- Трајекторије осталих објеката на сцени;
- Возне (централне) линије.

3.1 Претпроцесирање података

Подаци сваког сценарија се векторизују и чувају у полу-структурираном формату. За парсирање и обраду улазних података се користи *argoverse API* интерфејс.

Трајекторија агента¹ се дели на два дела: историја (својства) и реализација (будуће вредности). Реализација се састоји од N_r опажања x и y релативних координата² тј. облик реализације је $(N_r, 2)$. Историја се аналогно формира да садржи историју N_h опажања x и y релативних координата. Овај део трајекторије иде непосредно пре реализације. Посматрамо следеће случајеве:

¹Низ (x, y) тачака, где је приближна временска разлика између две тачке око 0.1 секунде

²Све координате се нормализују тако да су релативне у односу на последње опажање у трајекторији историје агента

- Постоји више од $N_h + N_r$ опажања: Одбацује се реп трајекторије (првих неколико вредности хронолошки гледано);
- Постоји мање од $N_{hmin} + N_r$ опажања: Сценарио се одбацује (сматра се да је невалидан);
- Постоји између $N_{hmin} + N_r$ и $N_h + N_r$ опажања: реп трајекторије се допуњава до димензије $N_h + N_r$ посматрано као да објекат мирује у тим тренуцима.

Коначно, облик историје је $(N_h, 3)$, где трећа вредност означава да ли је опажање право (1) или допуњено (0).

Трајекторије суседних објеката се деле на два дела аналогно трајекторији агента. Неопходно је да се синхронизују трајекторије суседних објеката по временским ознакама (eng. *timestamp*) са трајекторијом агента, јер не постоји у сваком тренутку исти број објеката на сцени. Након синхронизације се трајекторије деле на историју и реализацију и проверава се да ли дужине тих делова задовољавају критеријуме:

- Уколико је дужина трајекторије историје краћа од N_{hmin} , онда се објекат одбацује;
- Уколико је дужина трајекторије реализације краћа од N_{romin} , онда се објекат одбацује.

Као додатна провера, за сваки сусед се провера растојање од агента. Уколико је сусед превише далеко, онда се он одбацује. Критеријум за одбацивање суседа узима у обзир брзину агента (по x и y оси одвоједно) и растојање њихових последњих опажања у трајекторији историје. Уколико неки од следећих услова није испуњен, сусед се игнорише у сценарију: $\frac{O_n^x}{A_s^x} \leq T_{steps}$, $\frac{O_n^y}{A_s^y} \leq T_{steps}$, где је O_n^x (O_n^y) нормализована x (y) координата суседа, $\frac{x}{s}$ ($\frac{y}{s}$) је наивно апроксимирана³ брзина агента по x (y) оси и T_{steps} је параметар толеранције. Трајекторије се секу или допуњавају до фиксног облика. Векторизован облик: $(N_n, N_h, 3)$ и $(N_n, N_r, 3)$, где је N_n број судедних објеката.

На основу локације агента се издвајају сегменти централних линија (возне путање) које нису даље од агента за више од D_{lsinit} . Уколико нема пронађених сегмената централних линија, онда се вредност за D_{lsinit} множи K_{ls} ⁴ пута до највише D_{lsmax} (ако и даље нема сегмената, онда се сценарио одбацује). За сваки сегмент се чува низ од 10 (x, y) координата приширених са метаподацима:

- *is_intersection* - да ли се сегмент сече са неким сегментом,
- *turn_right* - да ли је у питању скретање у десно,

³Брзина се апроксимира као просек промена координата у трајекторији историје

⁴ D_{lsinit} и K_{ls} су фиксне вредности у *argoverse* интерфејсу

Ознака параметра	Објашњење
N_r	Дужина трајекторије реализације (део који се предвиђа)
N_h	Дужина трајекторија историје
N_{hmin}	Минимална дужина трајекторије историје пре допуњавања
N_{hmin}	Минимална дужина трајекторије историје суседа пре допуњавања
N_{rmin}	Минимална дужина трајекторије реализације суседа пре допуњавања
T_{steps}	Умножак максималног растојања до сегмента централне линије
D_{lsmax}	Максимално растојање до централне линије

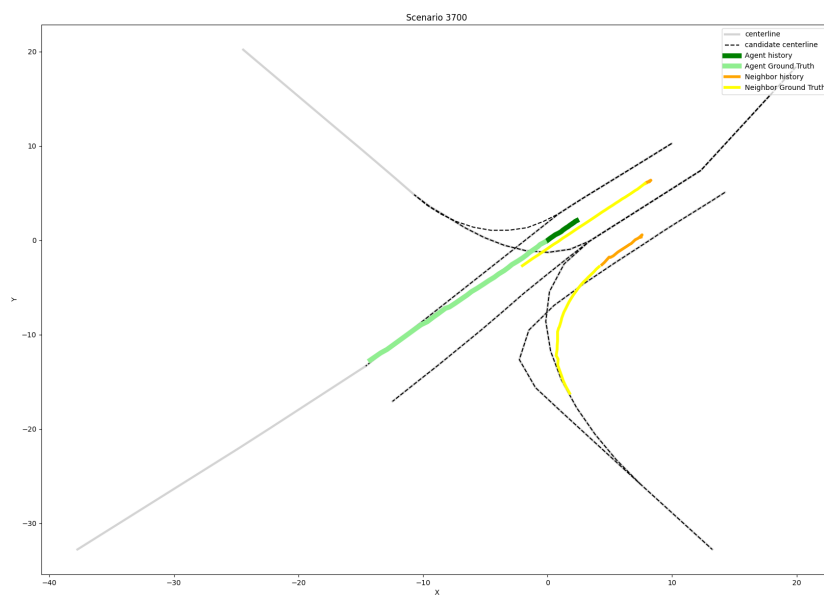
Табела 3.1: Преглед параметара припреме података

- *turn_left* - да ли је у питању скретање у лево,
- *turn_none* - да ли нема стретања,
- *is_traffic_control* - да ли постоји контрола саобраћаја.

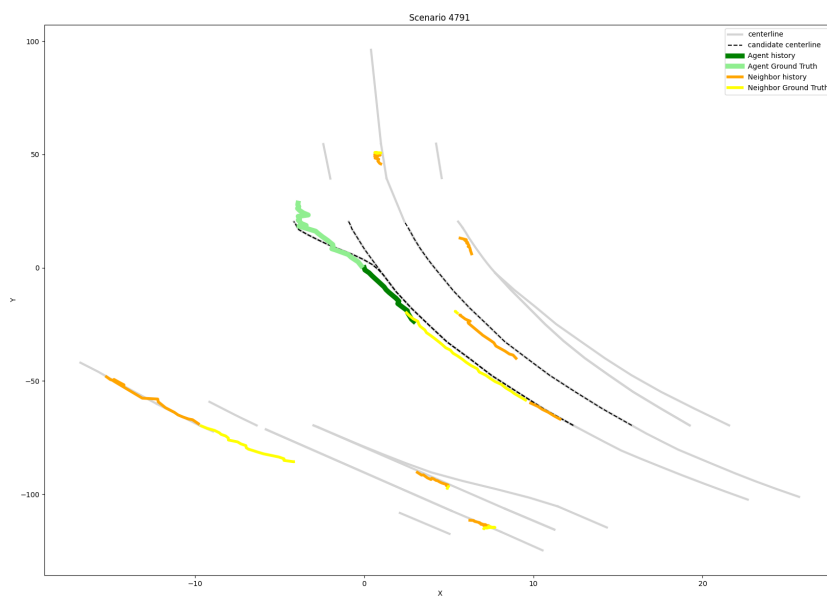
Коначан облик је $(N_{ls}, 10, 7)$.

Скуп кандидата централних сегмената линија за предикције трајекторија: Постоји коначан број централних сегмената линија по којој објекат може да се креће у скоријој будућности, због чега је корисно да се као улаз у модел користе централне линије као кандидати. Основа алгоритма за проналазак ових кандидата се налази у *argoverse* интерфејсу [?]. Кандидати се проналазе коришћењем трајекторије историје агента. Коначан векторизован облик је: $(N_c, N_r, 3)$, где је N_c број пронађених кандидата, N_r дужина трајекторије реализације. Пошто се централне линије допуњавају по потреби до димензије N_r , користи се трећа координата за маску. Погледати табелу 3.1 за преглед свих параметара процеса.

На сликама 3.1 и 3.2 се налазе примери два визуализована сценарија након претходне припреме. У овом формату нису прикази делови сцене на којој је могућа вожња, али постоје (централне линије) тј. путање по којима се возила најчнше крећу. Изузеци су у случају неких скретања, промени линија, ...



Слика 3.1: Визуализација припремљених података - Пример 1



Слика 3.2: Визуализација припремљених података - Пример 2

Глава 4

Преглед метода за евалуацију модела

Неке од стандардних метрика за евалуацију квалитета предикције трајекторија су „просечна грешка одступања“ (*eng. ADE - Average Displacement Error*) и „последња грешка одступања“ (*eng. FDE - Final Displacement Error*). У наставку се користе енглеске скраћенице ADE и FDE. Метрика ADE се добија упросечавањем еуклидског растојања између временски синхронизованих тачака трајекторија предикције и реализације. Метрика FDE узима у обзир само последњу тачку. [?] [?] У наставку се налазе формуле у случају да се посматра тачно један објекат (нпр. само агент):

$$ADE = \frac{1}{T} \sum_{k=1}^T \sqrt{(x_k - \hat{x}_k)^2 + (y_k - \hat{y}_k)^2}$$

$$FDE = \sqrt{(x_{last} - \hat{x}_{last})^2 + (y_{last} - \hat{y}_{last})^2}$$

Метрике се једноставно уопштавају у случајевима где постоји више објеката на сцени:

$$ADE = \frac{1}{T \times N} \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^T \sqrt{(x_k^n - \hat{x}_k^n)^2 + (y_k^n - \hat{y}_k^n)^2}$$

$$FDE = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \sqrt{(x_{last}^n - \hat{x}_{last}^n)^2 + (y_{last}^n - \hat{y}_{last}^n)^2}$$

Ове једноставне метрике су погодне када претпостављамо да је расподела трајекторија унимодална тј. природа трајекторија је претежно детерминистичке. Неки скуповима података трајекторија имају јачу стохастичку природу због стохастичке природе самих објеката (трајекторија) или непотпуних опажања окружења. Пример таквог скупа података је скуп трајекторија пешака. Пешак који је прешао пешачки прелаз, може у том тренутку да скрене лево или десно. У том случају имају два

вероватна сценарија за исту историју трајекторије (углавном немамо информације о циљевима самог пешака). [?] [?]

Скуп „најбољи из групе“ (*eng.* „*Best of Many*“) техника узимају у обзир мулти-модалну природу расподела трајекторија. Модел може да генерише неколико различитих предикција трајекторија и за сваку трајекторију одговарајућу вероватноћу (поузданост). Као грешка се узима предикција која је најбоља по дефинисаном критеријуму (критеријум не мора да се поклапа са самом мером која се користи). [?] [?] Претходно наведене технике *ADE* и *FDE* се уопштавају у *minADE* и *minFDE*. Због једноставности узимају се у обзир облици са једним објектом: [?] [?]

$$\min ADE = ADE(\arg \min_{\hat{T}_{raj}^k} FDE(\hat{T}_{raj}^k, T_{raj}), T_{raj}), k \in \{1, \dots, K\}$$

$$\min FDE = \min FDE(\hat{T}_{raj}^k, T_{raj}), k \in \{1, \dots, K\}$$

Уколико модел генерише више од K трајекторија, узима се и обзир првих K по поузданости. У специјалном случају када је $K = 1$, онда *minFDE* постаје *FDE*, а *minADE* се и даље разликује по избору „главне“ трајекторије. Проблем са *minADE* и *minFDE* је у томе што не узимају у обзир остале трајекторије поред најбоље и самим тим се не прави разлика између предикције са свим dobrim трајекторијама и предикције са једном добром трајекторијом. [?] Друга замерка овим метрикама је што не узимају у обзир поузданост предикција након филтрирања K трајекторија. Уколико је најбоља трајекторија прецизна, желимо и даље да знамо да ли је модел сигуран или је добар резултат последица „среће“. Модификоване метрике: [?]

$$p\text{-minADE} = \sum_{k=1}^T ADE(\hat{T}_{raj}^k, T_{raj}) - \ln P(\hat{T}_{raj}^k | E_{nv})$$

$$p\text{-minFDE}_{prob} = \sum_{k=1}^T FDE(\hat{T}_{raj}^k, T_{raj}) - \ln P(\hat{T}_{raj}^k | E_{nv})$$

Овде је $p(T_{raj} | E_{nv})$ условљена вероватноћа те трајекторије у односу на стање окружења. Уколико метрика *ADE* (*FDE*) има малу вредност за одговарајућу трајекторију, али њена одговарајућа вероватноћа има малу вредност, онда негативан логаритам те вероватноће има велику вредност. [?] У имплементацији се ова вероватноћа ограничава са доње стране, како не би дошло до прекорачења због велике апсолутне вредности након примене логаритма на веома мале вредности.

Уместо упросечавања $L2$ растојања у сваком кораку, могу да се броје кораци у којима трајекторије одступају за више од MR_{thresh} . Мотивација за ову метрику је чињеница да одступање које је 1 или 2 метра од реализације није толико релевантно у односу на велику разлику одступања. [?] Такође постоји верзија метрике која узима

у обзир вероватноћу и кажњава предикцију модела ако је добра, а модел је ипак несигуран.

$$MR = \sum_{k=1}^T I(\|\hat{T}_{traj}^k - T_{traj}\|_2 \geq MR_{thresh})$$

$$MR_{prob} = \sum_{k=1}^T I(\|\hat{T}_{traj}^k - T_{traj}\|_2 \geq MR_{thresh}) + I(\|\hat{T}_{traj}^k - T_{traj}\|_2 < MR_{thresh}) \cdot (1.0 - P(\hat{T}_{traj}^k | E_{nv}))$$

У случају *Argoverse* скупа података, за параметар MR_{thresh} се узима 4 пиксела тј. 2 метра у реалном свету.

Све до сада наведене метрике су опште примене на било које објекте за које се предвиђају трајекторије. Пошто је агент увек возило, може да се анализира да ли предикција трајекторија скреће са пута. Због тога се уводи метрика „сагланост са продучјем вожње“ (*eng. DAC - Drivable Area Compliance*), која одређује учесталост трајекторија које нису скренуле са пута од изабраних K трајекторија: [?]

$$DAC = \frac{DAC_{occurrences}}{T}$$

У евалуацији модела се узимају у обзир све метрике. За параметар K се узима вредност 6.

Глава 5

Техника заснована на разумевању контекста обрадом растеризоване сцене

У изради...

Глава 6

Техника заснована на разумевању контекста обрадом сцене представљене графом

У изради...

Глава 7

Евалуација примењених техника

У изради...

Глава 8

Закључак

У изради...

Биографија аутора

Момир Аџемовић У изради...