



IKER
GAZTE
NAZIOARTEKO
IKERKETA EUSKARAZ

V. IKERGAZTE NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2023ko maiatzaren 17, 18 eta 19a
Donostia, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)



Aitortu-PartekatuBerdin 3.0

INGENIARITZA ETA ARKITEKTURA

**Erosotasunean oinarritutako
gidari estiloaren identifikazioa
adimen artifizialaren bitartez**

*Jon Ander Ruiz Colmenares eta
Estibaliz Asua Uriarte*

159-166 or.

<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.v.03.21>

ANTOLATZAILEA:



BABESLEAK:



LAGUNTZAILEAK:



Erosotasunean oinarritutako gidari estiloaren identifikazioa adimen artifizialaren bitartez

Jon Ander Ruiz Colmenares¹, Estibaliz Asua Uriarte¹

Elektrizitate eta Elektronikako saila, Zientzia eta Teknologia Fakultatea, UPV/EHU, 48940 Leioa, Espainia.

jonander.ruiz@ehu.eus

Laburpena

Gidarien erosotasuna hobetzeari buruzko ikerketa gero eta garrantzi handiagoa duen ildo da. Artikulu honek, ikuspuntu hori kontutan hartuta, gidatzeko estiloen identifikazioan lehen urrats bat ematen du. Lehenik eta behin, bidaiariak eroso edo ez eroso bezala kalifikatutako laginak bereizteko, zorabioa kuantifikatzen duen aldagai batean atari-magnitude metodo simple bat aztertzen da. Bigarrenik, zuhaitzetan oinarritutako algoritmo konplexuago bat helburu berdinarekin doitu eta ebaluatu da. Lortutako aurretiko emaitzak positiboak dira: atari-magnitudean oinarritutako metodoak emaitza onak lortzen baditu ere, zuhaitzetan oinarritutako algoritmoak hobekuntza oso handia erakusten du, eta datu gutxiarekin entrenatuta klase eroso/ez eroso iragartzeko oso eraginkorra dela frogatu da. Lortutako emaitzak askoz konplexuagoa izango den konforta ebaluatzeke lehenengo urratsaren frogapenak dira.

Hitz gakoak: Adimen artifiziala, Erosotasuna, Gidariari Laguntzeko Sistema Aurreratuak

Abstract

Research on improving the comfort of passengers while driving is becoming more popular. This study introduces a first step into driving style identification from comfort perspective. First, a simple threshold method is tested in a variable that quantifies motion sickness to separate uncomfortable and comfortable driving. Secondly, a more complex tree-based algorithm is trained and tested with the same purpose. The obtained results are favourable: although the threshold method obtains good results, the tree-based algorithm shows a significant improvement, and is very effective in recognizing comfortable/uncomfortable classes with little data. These promising results pave the way for a more complex experimentation that follows the same work.

Keywords: Machine Learning, Comfort, Advanced Driver Assistance Systems

1 Sarrera eta motibazioa

Aurrerapen ugari eta garrantzitsuak egin dira automobilgintzan, beste hainbat arlotan emandako aurrerapausuak automobilgintzan eragin zuzena baitute, materialak, elektronika, konputazioa edo sentsoreak, besteak beste. Gainera, adimen artifizialaren (AA) azken aldiko garapenak funtsezko eragina izan du auto autonomoan ere, autoetan sistema adimentsuak gero eta nabariagoak izanik.

Aipatutako etengabeko hobekuntzari esker, autoren inguruan, ikerketa-eremu berriak ireki dira azken denboraldi honetan. Energiaren optimizazioa eta ibilgailuaren kontsumoaren hobekuntza (J. Tunnell eta Bradley, 2022), adibidez.

Era berean, erosotasuna, gero eta presentzia handiagoa duen ikerketa esparrua da, eta garapen-prozesu osoan gero eta garrantzi handiagoa ematen zaio, baita produkzioko lehen faseetan ere (Woolridge eta Chan-Pensley, 2022). Automobilgintzan egindako aurrerapenak direla-eta, gidaria bidaiari huts bihurtzen hasi da, erosotasunak oraindik garrantzia handiago izanik (M. Elbani eta Jazar, 2015).

Gainera, kotxe-autonomoen eta teknologia berrien onarpena, gidari eta bidaiariak kotxean sentitzen duen fidagarritasun eta erosotasunarekin lotuta dago (Khan eta Sundstrom, 2007). Beraz, honen inguruko ikerkuntza ezinbestekoa da automobilgintzan.

Idea hauekin, eta adimen artifizialaren ikerketa arloan gertatu diren aurrerapenak erabiliz, artikulua honetan honakoa planteatzen da: Bi gidarik hiru ibilbidetan egindako datuak aztertuz, beraien gidatze estiloa iragartzeko gai den eredu bat sortzea. Honetarako, 2 sekzioan arloari buruzko informazioa ematen da, Gidarien Laguntza Sistemak aurkezten dira, eta erosotasunari buruzko bibliografia aztertzen da. Gero, 3 sekzioan, erosotasunaren metrikak, datuen bilketaren prozesua eta erabilitako algoritmoak azaltzen dira. Ondoren, lortutako eredu eta emaitzen analisia egiten da 4 sekzioan. Bukatzeko, ondorioak garatzen dira.

2 Arloko egoera

Gidariari Laguntzeko Sistema Aurreratuen (Advanced Driver Assistance Systems, ADAS) garapena begibistakoa da, hauen oinarriko helburua ibilgailuko kideen segurtasuna bermatzea izanik. Sistema hauek ibilgailuan duten asistentzia-mailaren arabera, Automozio Ingeniariaren Elkarteak (SAE) SAE J 3016-2021 estandarrean zehazten ditu gidatzearen automatizazio-maila desberdinak. Horiek 0 eta 5 tarteko eskala batean definitzen dira, eta gidatzeari laguntzeko sistema estandarrik sailkatzeko oinarri gisa balio dute, nahiz eta oraindik sailkapena hobetzeko aukera dagoen (Hopkins eta Schwanen, 2021). 1. eta 2. mailetan, gidariari laguntza sinpleak dauzkaten sistemak daude, hala nola, gurpilen blokeoaren aurkako sistema (ABS) (Fling eta Fenton, 1981) edo diagonalaren kontrol dinamikoak eta moldagarriak (Eichelberger eta McCartt, 2016). 3. eta 4. mailetan, gidariak bolantean jarraitu behar du uneoro, normalean automobila funtzio nagusiak egiten baditu ere, egoera konplexuegia denean gidaria bolantea hartu behar duelako. 5. mailako sailkapena izatea, autoa erabat autonomoa dela adierazten du.

Gaur egun, sistema horien eraginkortasuna frogatzen duten ikerketa ugari daude. Adibide gisa, Spicerrek eta Bahouthek balazta automatikoei eragindako segurtasunaren hobekuntza, erreian mantentzeko laguntza eta horien konbinazioa aztertzen dute (R. Spicer eta Bahouth, 2018), emaitza oso positiboak erakutsiz. Bestalde, emaitza oso antzekoekin, puntu itsuen monitorizazioa ikertzen du Cicchinok (Cicchino, 2018).

Erosotasunean oinarritutako ADA sistemen garapena nahiko berria den ildo da. Gainera, erosotasuna, ikertzeko oso aldagai konplexua da faktore askoren mende baitago. Ibilgailuaren dinamikak berak (Z. Htike eta Velenis, 2022) edota bidearen ezaugarriak (Asua et al., 2022) *Bidaiazte konfort*-a deritzon konfortean du eragina, hau da, autoaren mugimenduagatik sentitu daitekeen konfort falta.

Baina, gainera, erosotasun-sentsazioa subjektiboa izateak nabarmen zailtzen du konfort faltaren ebaluazio objektiboa. Adina, adibidez, faktore erabakigarria izan daiteke (F. Hartwich eta Krems, 2018). Horretaz aparte, bakoitzaren gidatzeko estiloak, egoera berdinen aurrean balorazio guztiz ezberdinak izatea ondorioztu dezake (H. Bellem eta Krems, 2018). Ibilgailuan esertzeko moduak ere eragina izan dezake *Bidaiazte konfort*-ean, orientazioak eta gorputz-jarrerak (T. Nguyen eta Wong, 2019), adibidez.

3 Ikerketaren muina

Bidaiazte konfort faltaren zergatia ebaluatzeko, aldagai anitz hartu behar dira kontutan: ibilbidearen ezaugarria, gidatzeko estiloa, kotxea, bidaiariaren ezaugarriak, etab. Horretarako, adimen artifizialaren laguntza baliogarria izan daiteke.

Artikulu honetan, gidari bakar batek, ezaugarri desberdinak dituzten hiru ibilbidetan gidatuko du. Gainera, ibilbide horiek bi modu ezberdinetan gidatzeko eskatu zaio. Kotxeko bidaiari guztien arabera, ibilbidea burutu den bigarren aldiaren zorabioa eta konfort falta askoz handiagoa izan da, lehenengoan aldiz, guztiz eroso sentitu dira.

La honetan, konfortaren ikuspuntutik gidatze estiloa identifikatzea dugu helburu, momentuz bi sailkapen nagusi aukeratuz: gidatze eroso eta deserosoa. Horretarako, bi metodo erabiliko dira: Atari-Magnitude baten banaketa eta ikasketa automatikoan oinarritutako algoritmoa: XGBoost (Chen eta Guestrin, 2016).

Artikuluaren zehar ikertutakoa abiapuntua besterik ez dela esan beharrik ez dago, baina kanpaina esperimental handiago baten oinarriak zehazteko balio du. Gainera, adimen artifizialaren erabilera helburu honetarako bideragarria izan daitekeen aztertuko da. Ikerkuntza orokortzeko, gidatzeko mota bi horiek hainbat gidari bihurtu daitezke, egindako hiru ibilbide izan beharrean ezaugarri desberdineko hainbat ibilbide beharko liriteke, eta kotxe bakarra erabil beharrean hainbat kotxerekin ere burutu daiteke ikerketa.

3.1 Erosotasunaren ebaluazio objektiboa

Erosotasun falta bibrazioen maiztasunarekin eta intentsitatearekin lotuta dago, gero eta intentsitate altuagoa, gero eta deserosotasun, zorabio eta estres handiagoa. Espozizio denbora luzeagoek are gehiago larriagotzen dute dese-

rosotasuna. Orokorrean, giza gorputzak 10 Hz baino maiztasun handiagoak diren bibrazioak ahultzen ditu baina baxuekin ez da berdina gertatzen, konkretuki 0.1 Hz-0.2 Hz-ko maiztasunen ondorioz kotxean zorabioa sentitzen da (Ruiz Colmenares et al., 2023).

Lan honetan, zorabioarekin erlazioatutako maiztasunak aztertuko dira. Zorabioaren dosiaren balioa (MSDV) goragalea izateko probabilitatearen neurria da, eta horren ebaluazioa ISO-2631 (ISO 2631-1:1997, 1997) araudian zehazten da. Arau honek MSDV norabide bertikalean (MSDV_z) ematen badu ere, badaude beste hainbat ikerketa azelerazioen albo norabide eta luzera norabidean ebaluatzea ere garrantzitsua dela frogatzen dutenak. Horrela ba, gure aurreko ikerketarekin bat eginez (Ruiz Colmenares et al., 2023), 1 ekuazioak adierazten duen bezala, hiru ardatzetako emaitzak konbinatu egiten dira $MSDV_{xyz}$ zorabio kriterioa lortzeko.

$$MSDV_{xyz} = \sqrt{\int_0^T (a_{x,w_f}(t))^2 dt + \int_0^T (a_{y,w_f}(t))^2 dt + \int_0^T (a_{z,w_f}(t))^2 dt} \quad (1)$$

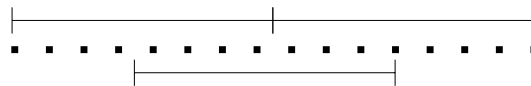
1. Ekuazioan ikusten denez, MSDV-aren kalkulua kotxearen azelerazioetan oinarritzen da: $a_x(t)$, $a_y(t)$ eta $a_z(t)$. Baina azelerazio horiek 0.2 Hz-tan maximoa duen iragazki batetik pasaraziko dira, maiztasun desberdin bakoitzari indargabetze faktore bat aplikatuz. Horrela ba, $a_{x,w_f}(t)$, $a_{y,w_f}(t)$ eta $a_{z,w_f}(t)$ lortuko dira. Zorabioa, esposizio denboraren menpekora denez, iragazkitik lortutako azelerazioa denbora tarte batean integratzen da.

3.2 Datuen neurketa eta prozesamendua

Datuak hartzeko, ibilgailuen CAN-BUSean oinarritutako datu-sistema erabili da. Datu-eskuratze honen bidez, ibilgailuaren barne-ordenagailuko seinaleak lortu eta prozesatu dira. Neurtutako seinaleak hauek dira: Acc_X (luzera-azelerazioa), Acc_Y (albo-azelerazioa), Acc_Z (azelerazio bertikala), BA (bolante-angelua), AP (azelerazio-pedala), BP (balaztatze-pedala), ERPM (motorraren erreboluzioak), AT (albo-torquea) eta Vs (abiadura).

CAN-BUSaren funtzionamendua dela-eta, laginketa ez da guztiz uniformea. Barneko sistemek datuak hartzen dituzten bakoitzean kotxearen ordenagailu zentralera bidaltzen dira eta CAN-BUS protokoloa jarraituz ateratzen dira, laginketa denboran desberdintasun hori sortuz. Hori konpontzeko, seinaleak interpolatu egin dira, eta ondoren, berriro 2 Hz-tan lagindu dira. Datuekin lan egiteko, 4 segundutako datu leihoak egin dira, 2 segunduko gainazarpenerekin, hau da, leiho bakoitza zortzi neurketaz osatuta dago, azkenengo lau puntuak hurrengo leihoarekin komunean izanik (ikusi 1. Irudia).

1. Irudia: Leihoketa prozesuaren eskema. Neurtzen diren 16 punturekin hiru leihoren hedapena ikusten da.



3.3 Adimen Artifizialeko Teknikak

Adimen artifizialeko tekniketarako, laginak sailkatzeko edo taldekatzeko gai diren ereduak sor daitezke. Neurtutako datu multzoak bi zatitan banatzen dira: lehenengo partea entrenatzeko erabiliko da (orokorrean datuen 2/3 inguru), eta bigarrena, berriz, entrenatutako sistema ebaluatzeko (entrenatzeko erabili ez dituen datu ezberdinen aurrean erantzun egokia ematen duen ala ez aztertzeko).

Lan honetan, datuak bidaiarien konfortaren arabera sailkatzeko XGBoost algoritmoa erabiliko da. XGBoostek datuak aztertzeko *zuhaitz* bezala ezagutzen diren baldintza multzoak erabiliko ditu. Datuei baldintza bat aplikatzen diogun bakoitzean bi azpimultzo lortuko ditugu, bereizketa horiek *adarrak* izango dira. Prozesu hau *zuhaitza*-k dauzkan baldintza guztiekin egingo da, bata bestearen ondoren. Azkenean sortutako *adar* guztien bukaeran gelditzen diren azpimultzo baldintzatuak *hostoak* izango dira. *Hosto* hauek intereseko aldagaiari buruzko informazioa edukiko dute. XGBoostek *zuhaitz* asko eraikiko ditu, eta bakoitzean lortzen duen informazioa hurrengo *zuhaitz*-tan aplikatuko dituen baldintzetan eragina izango du. Lortutako *zuhaitz* guztien informazioarekin guk eskatutako aldagaia iragartzeko ahalmena garatuko du XGBoostek (Chen eta Guestrin, 2016).

1 Taulan klasifikazio batean lortu ahal diren emaitza motak aurkitu ditzakegu. Emaitzak ebaluatzeko, hiru kriterio erabiliko dira, klasifikazio lanetan ohi erabiltzen direnak: *Zehaztasuna*, *Osotasuna* eta *F1-puntuazioa*.

1. Taula: Klasifikazio batean lortu ahal diren emaitza mota desberdinak.

		Predikzioa	
		0	1
Benetazkoa	0	Benetazko Negatiboa	Positibo Faltsua
	1	Negatibo Faltsua	Benetazko Positiboa

- *Zehaztasuna* modeloak positibo bezala iragarritako puntuetatik benetan zenbat diren positibo iragartzen duen ebaluazio metrika da.

$$Zehaztasuna = \frac{BP}{BP + PF} \quad (2)$$

- *Osotasuna* datubasean dauden positibo guztietatik positibo bezala iragarritako ehuneko adierazten duen ebaluazio metrika da.

$$Osotasuna = \frac{BP}{BP + NF} \quad (3)$$

- *F1-puntuazioa*, *Zehaztasuna* eta *Osotasuna* konbinatzen dituen metrika da.

$$F1_{puntuazioa} = 2 \cdot \frac{Zehaztasuna \cdot Osotasuna}{Zehaztasuna + Osotasuna} \quad (4)$$

4 Emaitzak

Lan honetan, sistema adimenduak, lehenengo bi ibilbideetako datuetatik sortutako leihoak erabiliko ditu entrenatzeko. Horren ondoren, hirugarren ibilbideko edozein leiho hartuta, leiho hori bidaiariak eroso edo ez eroso bezala etiketatu duen iragarri behar du. Adimen artifizialak duen ahalmena ebaluatzeko, atari-magnitueda deritzon metodoa aplikatuko da lehenengo, lortzen diren emaitzak adimen artifizialak lortzen dituenekin konparatuz.

4.1 Atari-magnitudearen metodoa

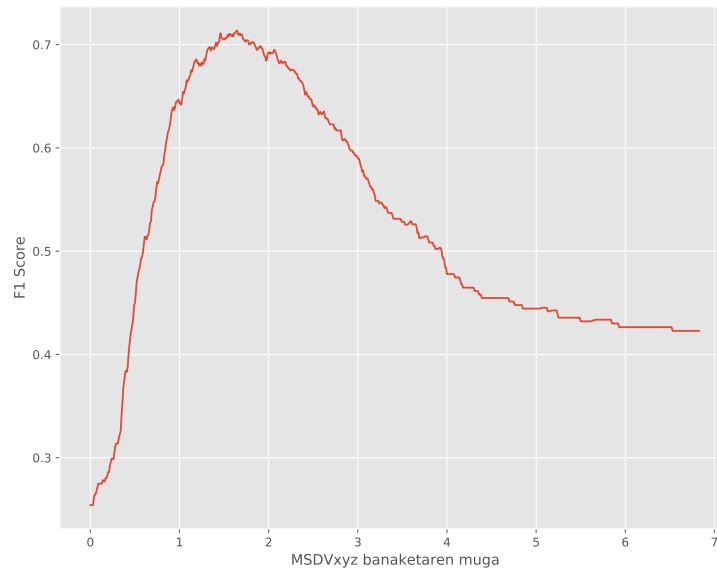
Aurretik azaldu bezala, *MSDV_{xyz}* azelerazioetatik objetiboki kalkulaturako aldagai bat da. Logikoa dirudi, *MDSV_{xyz}*-ren balio batetik behera bidaiariak eroso bezala definituko dutela leihoa eta hortik gora, deseroso. Horrela ba, atal honetan, *MSDV_{xyz}* aldagaiak duen balio bakoitzarentzako banaketa bat egingo da. Balio horretatik gora, ez eroso bezala definituko dira leiho guztiak, eta banaketatik behera eroso. Lortutako erantzunak datubasean dauzkagun bidaiarien erantzunekin konparatuko ditugu klasifikazio metrikak kalkulatu. Balio guztiekin lortzen diren f1puntuazio guztiak 2. Irudian aurkitu ditzakegu.

Irudian ikusi dezakegun moduan, f1-en puntuazio maximoa (emaitzarik onena) *MSDV_{xyz}* = 1.45 baliorako lortzen da. Puntu hau konfort kriterio bezala kontsideratuta, klasifikadore metrika guztien kalkuluak 2. Taulan ikusi ahal dira.

2. Taula: Atari-magnitueda erabiliz lortutako banaketa hoberenaren sailkatzaile metrikak

	<i>Precision</i>	<i>Recall</i>	<i>f1-score</i>	<i>Datu kantitatea</i>
Erosoa	0.73	0.80	0.76	355
Deserosoa	0.69	0.60	0.65	263
Batazbestekoa	0.71	0.70	0.71	618

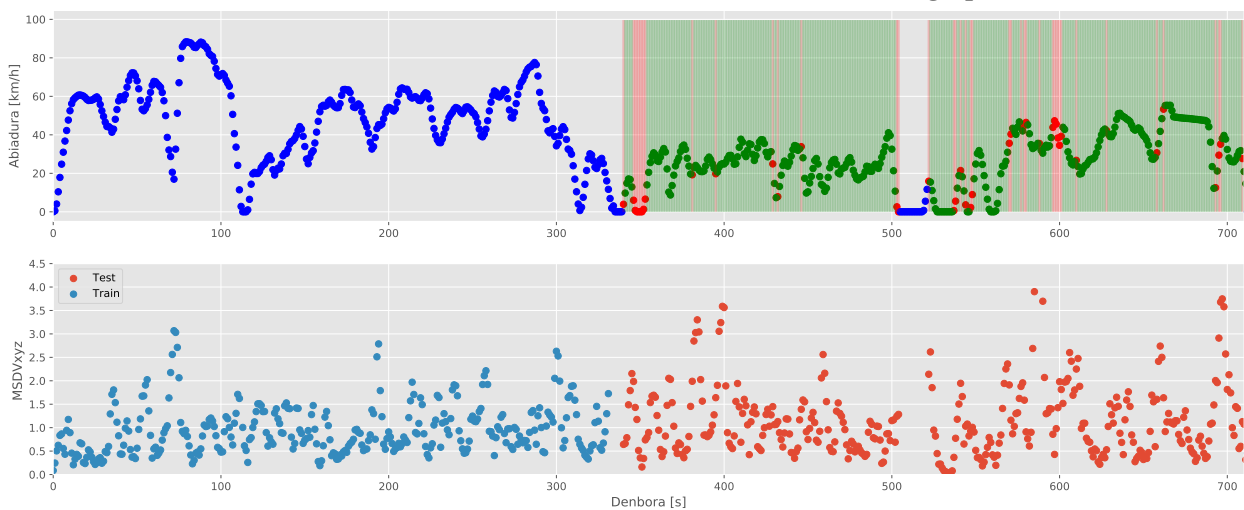
2. Irudia: MSDVxyz-ren balio bakoitzean egindako banaketaren ondoren lortutako f1-puntuazio guztiak.



Atari maiztasun guztiak aztertuz eta horietako balio hobereana ezarriz egindako banaketaren emaitza 0.71 f1-eko puntuazioa izan da. Sailkapen lanetan emaitza hori ona bada ere, eroso eta deseroso klaseen arteko desberdintasun nabaria ikus dezakegu emaitzetan (0.76 f1-puntuazioa erosoentzako eta 0.65 f1-puntuazioa deserosoentzako).

Aipatzekoa da lortutako Atari-Maiztasuna ($MSDVxyz = 1.45$) ibilbide konkretu honetarako dela, ibilbide gehiago gehituz gero, emaitza hoberenak lortzeko atari-maiztasunaren balioa birkalkulatu beharko litzateke.

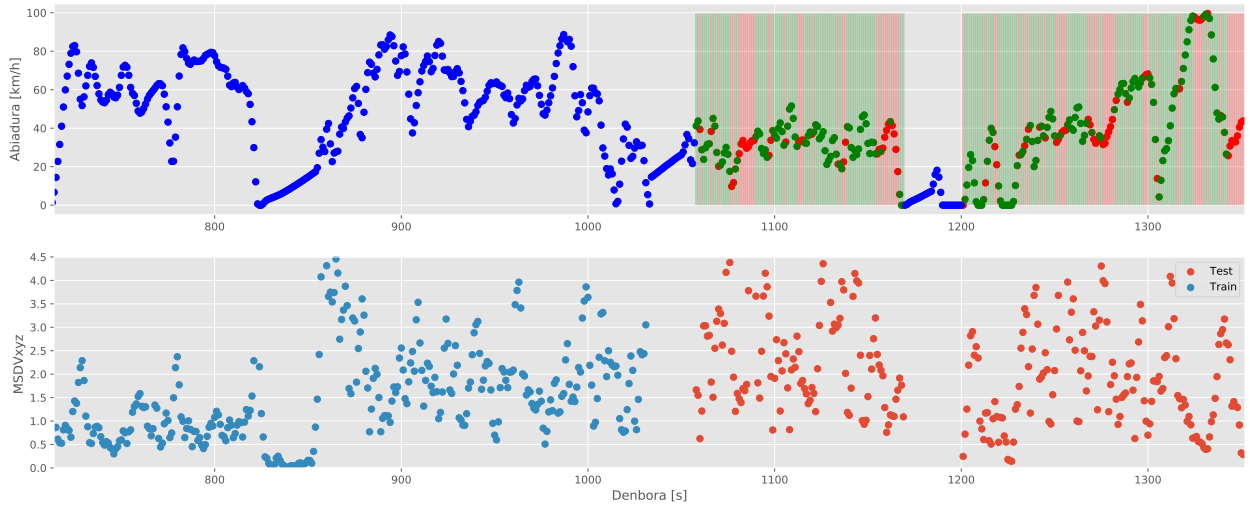
3. Irudia: Eroso bezala ebaluatutako ibilbidearen abiadura eta iragarpenak



4.2 XGBoost algoritmoaren emaitzak

XGBoost modeloa entrenatzeko lehenengo bi ibilbideetako datu guztiak erabili dira, eroso eta ez eroso bezala etiketatutako guztiak, hirugarren ibilbidea ebaluatzeko utziz. Emaitzak 3. eta 4. Irudietan ikus daitezke, bidaiariak eroso bezala definitutako ibilbidea 3 Irudian eta ez eroso bezala definitutakoa 4 Irudian. Irudi bakoitzaren goiko grafikoan, autoaren abiadura dago ikusgai. Urdinez irudikatutako zatia, modeloa entrenatzeko erabili den ibilbideko zatia adierazten da, eta iragarpenak (hirugarren ibilbideko datuak) berdeak edo gorriak dira. Puntua berdea

4. Irudia: Ez eroso bezala ebaluatutako ibilbidearen abiadura eta iragarpenak



bada sailkatzaileak bidaiariaren konfort maila ondo igarri duela esan nahi du, aldiz, gorria bada txarto igarri du. Irudien beheko grafikoan $MSDV_{xyz}$ irudikatzen da.

Sailkatzaileak lortutako emaitzak 3. Taulan laburtzen dira. Azkeneko sailkatzaileak lortutako emaitza 0.79 f1-eko puntuazioa lortzen du. Emaitzak aztertuz, iragarpena hobea da eroso den kasuentzako (0.83 f1-puntuazioa). Nolanahi ere, sailkatzailearen emaitzak onak dira, eta gehitu ahal ditugun beste ibilbideen gaineko aplikagarritasuna iragartzen du.

3. Taula: Lortutako sailkatzailearen metrikak.

	<i>Precision</i>	<i>Recall</i>	<i>f1-score</i>	<i>Datu kantitatea</i>
Erosoa	0.79	0.88	0.83	355
Deserosoa	0.81	0.68	0.74	263
Batazbestekoa	0.8	0.78	0.79	618

5 Ondorioak

Aurreko atalean lortutako emaitzak ikusita, hasierako helburuak bete direla esan daiteke. Lortutako datuei zorabio dosiaren atari-magnitude banaketan egitean edota XGBoost algoritmoa sailkatzaile bezala aplikatuta lortzen diren emaitzak onak izan dira.

Atari-magnituearen metodoaren bidez egindako banaketa sinplearekin 0.71ko f1-puntuazioa lortzen da. Bes-tetik, AA modeloen boterearen adibide da bigarren atala, XGBoostek konfortaren ikuspuntutik estiloa iragartzeko gai da, 0.79ko f1-puntuazioa batekin. Lehenengo metodoarekin konparatuz, zuzenean 0.08ko hobekuntza lortzen du. Gainera, atari-magnitueda ibilbide eta egoera espezifiko bakoitzarentzako birkalkulatu behar den magnitueda da, algoritmoak lortutako ereduak, ordea, aplikagarritasun zuzen handiagoa du.

Datuen egituraren ondorioz, gidatze eroso bezala etiketatutako puntu gehiago genituen eta hori bi emaitzetan ikusi da: atari-magnituedan leiho erosoak 0.76 f1-puntuazioa lortuz eta modeloaren iragarpen ahalmenean datu erosoekin 0.83 f1-puntuaziora helduz.

Kanpaina esperimentalari dagokionez, diseinatutako prozesua egokia dela esan daiteke, eta batez ere eskalagarria.

Oro har, erosotasunaren ikerketan lortutako emaitzak ikusita, Adimen Artifiziala, metrika objektibo (MSDV) eta sentazio subjektibo pertsonalak bateratzeko gai den eredu dela baieztatu dezakegu, etorkizunera begira ikerketa ildoak zabalduz.

6 Etorkizuna

Hasieran esan bezala, datu basea osatzea ezinbestekoa izango da ikerketa sakonagoa egin ahal izateko. Alde batetik, egindako ibilbidearen orokortzea ezinbestekoa da. Artikulu honetan, hiru ibilbide konkretu aztertu dira baina gero eta ezaugarri ezberdinetako ibilbide gehiago izan, emaitzak aberatsagoak izango dira. Bestetik, gidari desberdinekin lortutako datuak txertatzea funtsekoa izango da, honek, konfortaren ikuspuntutik gidatzeko estiloaren iragarpena egitea ahalbidetuko baitu. Bukatzeko, ezaugarri desberdineko autoak erabiltzea ere datubasea eta emaitzak aberasteko aukera bikaina da.

Honetaz gain, artikuluan aztertutako algoritmoen denbora errealean erantzun beharko duen implementazio fisikoa ere etorkizunean garatzeko helburu bat da. Diseinu hauek auto birtual batean ebaluatzeko aukera izango dugu garapenaren amaieran. Horretarako, ibilgailu-simulagailu bat erabiliko da, Automotive Intelligent Center (AIC) ikerketa erakundearen garatutakoa.

Erreferentziak

- Asua, E., Gutiérrez-Zaballa, J., Mata-Carballeira, O., Ruiz, J. A., & del Campo, I. (2022). Analysis of the motion sickness and the lack of comfort in car passengers. *Applied Sciences*, 12(8).
- Chen, T. & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. In *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, KDD '16, 785–794, New York, NY, USA. ACM.
- Cicchino, J. B. (2018). Effects of blind spot monitoring systems on police-reported lane-change crashes. *Traffic Injury Prevention*, 19:615–622.
- Eichelberger, A. H. & McCartt, A. T. (2016). «toyota drivers' experiences with dynamic radar cruise control, pre-collision system, and lane-keeping assist,». *Journal of Safety Research*, 56:67–73.
- F. Hartwich, M. B. & Krems, J. (February 2018). Driving comfort, enjoyment, and acceptance of automated driving - effects of drivers' age and driving style familiarity. *Ergonomics*, 61:1–55.
- Fling, R. T. & Fenton, R. E. (1981). «a describing-function approach to antiskid design,». *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 30:134–144.
- H. Bellem, B. Thiel, M. S. & Krems, J. F. (2018). Comfort in automated driving: An analysis of preferences for different automated driving styles and their dependence on personality traits. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 55:90–100.
- Hopkins, D. & Schwanen, T. (2021). «talking about automated vehicles: What do levels of automation do?». *Technology in Society*, 64(2):101–488.
- ISO 2631-1:1997 (1997). Mechanical vibration and shock – evaluation of human exposure to whole-body vibration – part 1: General requirements. iso 2631-1 international organisation for standardisation. Standard, International Organization for Standardization, Geneva, CH.
- J. Tunnell, Z. D. Asher, S. P. & Bradley, T. H. (July 2022). Toward improving vehicle fuel economy with adas. *SAE International Journal of Connected and Automated Vehicles*, 1.
- Khan, M. S. & Sundstrom, J. (2007). Effects of vibration on sedentary activities in passenger trains. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 26:43–55.
- M. Elbanhawi, M. S. & Jazar, R. (October 2015). Improved manoeuvring of autonomous passenger vehicles: Simulations and field results. *Journal of Vibration and Control*.
- R. Spicer, A. V. & Bahouth, G. (2018). Field effectiveness evaluation of advanced driver assistance systems. *Traffic Injury Prevention*, 19:S91–S95.
- Ruiz Colmenares, J. A., Asua Uriarte, E., & del Campo, I. (2023). Driving-style assessment from a motion sickness perspective based on machine learning techniques. *Applied Sciences*, 13(3).
- T. Nguyen, N. NguyenDinh, B. L. & Wong, Y. D. (2019). Insight into the lateral ride discomfort thresholds of young-adult bus passengers at multiple postures: Case of singapore. *Case Studies on Transport Policy*, 7:617–627.
- Woolridge, E. & Chan-Pensley, J. (2022). Measuring user's comfort in autonomous vehicles. *Human Drive*.
- Z. Htike, G. Papaioannou, E. S. & Velenis, E. (2022). Fundamentals of motion planning for mitigating motion sickness in automated vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 71:2375–2384.

7 Eskerrak eta Oharrak

Artikulu hau Jon Ander Ruiz Colmenares eta Estibalitz Asua Uriarte izenpean badago ere, ikerketa hau elektrizitate eta elektronika saileko *Elektronika Digitaleko Diseinu* taldea eta *Tresneria eta Kontrol Esperimentalaren* taldeei esker egin izan da. Automotive Intelligence Center (AIC) ikerketa zentroari ere eskerrak eman behar zaizkio, datu-eskuratze sisteman egindako lankidetzagatik eta produktu finala beraien simulatzailean frogatzeko aukera emateagatik. Artikulu honetan landutakoa, egileek (Asua et al., 2022) eta (Ruiz Colmenares et al., 2023) argitalpenetako ikerkuntzaren jarraipena da.