PD.TVZ.HR
POLYTECHNIC & DESIGN Vol. 13, No. 1, 2025.
Mrežna inačica: ISSN 2459-6302
Tiskana inačica: ISSN 1849-1995
DOI: 10.19279/TVZ.PD.2024-13-1-08

TELEMETRIJSKA ANALIZA U SIMULACIJI F1 UTRKA

TELEMETRY ANALYSIS IN F1 RACING SIMULATION

Luka Gustetić[1], Željko Kovačević[2], Aleksandar Stojanović[2]

[1]Tehničko veleučilište u Zagrebu, Vrbik 8, 10000 Zagreb, Hrvatska, student
[2]Tehničko veleučilište u Zagrebu, Vrbik 8, 10000 Zagreb, Hrvatska

SAŽETAK

Ovaj rad prikazuje razvoj sustava za analizu telemetrijskih podataka u F1 simulacijama temeljenima na igri F1 24, s naglaskom na točnom i preglednom praćenju podataka u stvarnom vremenu. Sustav interpretira UDP pakete igre, izdvaja relevantne informacije i prikazuje ključne trkaće metrike putem prilagođenog grafičkog sučelja. Doprinos rada očituje se i u implementaciji dodatne logike kojom se nadopunjuju ograničeni izvorni podaci, uključujući izračun nedostupnih metrika, poput vremena trećeg sektora, te korekciju nedosljednosti u prikazu, kao što su pogrešne oznake sektora izazvane funkcijom vremenskog povratka (engl. *flashback*). Sustav uključuje i relacijsku bazu podataka za trajnu pohranu rezultata, podršku za višekorisnički rad te integraciju s vanjskim servisima za automatske notifikacije. Modularna arhitektura omogućuje ponovnu uporabu pojedinih komponenti, poput logike za obradu krugova. Predloženi sustav predstavlja značajan doprinos u području korisnički orijentirane telemetrijske analize simulacijskih podataka i nudi potencijalnu primjenu u širem kontekstu, poput edukacije, e-sporta i analize podataka u stvarnom vremenu.

Ključne riječi: *Formula 1, simulacija, telemetrija, trkaća metrika, e-sport*

ABSTRACT

This paper presents the development of a system for analyzing telemetry data in F1 simulations based on the F1 24 game, with an emphasis on accurate and transparent real-time data monitoring. The system interprets UDP packets of the game, extracts relevant information and displays key racing metrics via a customized graphical interface. The contribution of the work is also reflected in the implementation of additional logic that complements the limited source data, including the calculation of unavailable metrics, such as the third sector time, and the correction of display inconsistencies, such as incorrect sector labels caused by the time return function (*flashback*). The system also includes a relational database for permanent storage of results, support for multi-user work and integration with external services for automatic notifications. The modular architecture allows for the reuse of individual components, such as the logic for processing laps. The proposed system represents a significant contribution to the field of user-oriented telemetry analysis of simulation data and offers potential applications in broader contexts, such as education, e-sports and real-time data analysis.

Keywords: *Formula 1, simulation, telemetry, racing metrics, e-sport*

1. UVOD

1. INTRODUCTION

Razvoj računalnih simulacija posljednjih desetljeća uvelike je unaprijedio područja poput inženjerskog projektiranja [1], vojne obuke [2], obrazovanja [3, 4] i sporta [5]. Jedno od posebno zanimljivih područja primjene simulacijskih tehnologija su auto utrke, gdje se simulacije koriste kako bi se unaprijedilo razumijevanje dinamike vozila, performansi vozača i optimizacija trkaćih strategija. Unutar tog konteksta, telemetrijska analiza u F1

simulacijama postaje ključno sredstvo za uvid u performanse vozača i mehaničkih sustava te omogućuje donošenje informiranih odluka u stvarnom vremenu.

Iako profesionalne F1 momčadi koriste sofisticirane sustave za obradu telemetrije, rastuća popularnost e-sporta i simulacijskog utrkivanja (engl. *sim racing*) dovodi do razvoja alata namijenjenih širem spektru korisnika. Današnje komercijalne igre poput F1 24 omogućuju pristup stvarnim i realističnim telemetrijskim podacima putem mrežnih protokola poput UDP-a, čime se otvaraju nove mogućnosti za razvoj sustava koji analiziraju i prikazuju podatke na način prilagođen korisnicima različitih razina stručnosti [6].

U ovom radu predstavljen je sustav koji omogućuje precizno praćenje telemetrijskih podataka u stvarnom vremenu, njihovu obradu i vizualizaciju putem korisnički prilagođenog sučelja. Poseban je naglasak stavljen na nadopunu ograničenih podataka koje nudi sama igra, uključujući izračun nedostupnih metrika i obradu rubnih slučajeva koji se pojavljuju tijekom utrke. Sustav uključuje i mogućnosti višekorisničke podrške, stalne pohrane podataka u relacijskoj bazi podataka, kao i integraciju s vanjskim servisima za notifikacije, čime se pruža sveobuhvatna infrastruktura za telemetrijsku analizu u simulacijskom kontekstu.

Ovakvi sustavi ne samo da podižu razinu kompetitivnosti u e-sportu, već imaju potencijalnu primjenu u edukaciji (npr. u nastavi računalnih mreža, obradi signala ili bazama podataka), istraživačkom radu i čak razvoju naprednih autonomnih vozačkih sustava temeljenih na podacima iz simulacija.

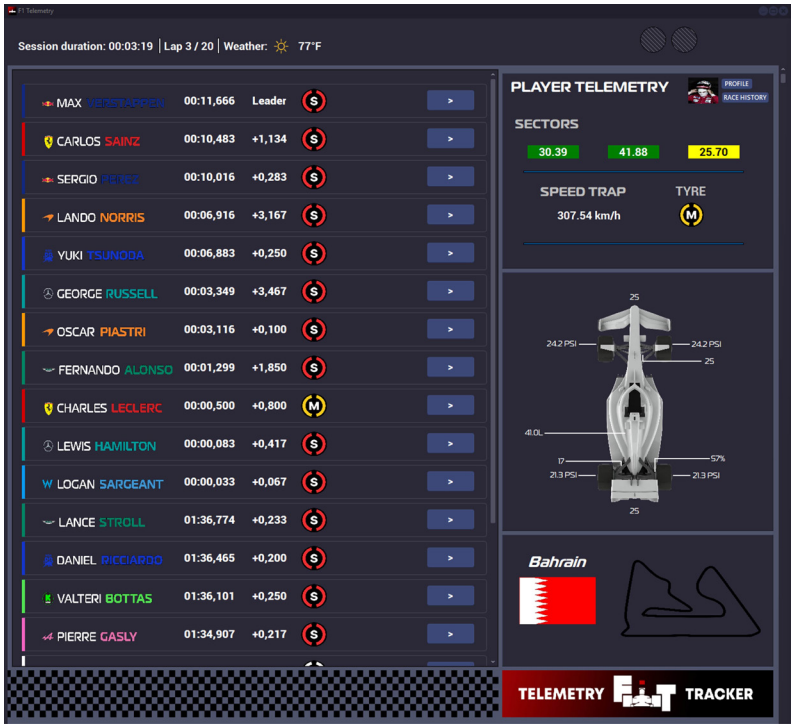
U kontekstu simulacija F1 utrka, novija istraživanja naglašavaju važnost primjene telemetrije u svrhu analize vožnje, poboljšanja korisničkog iskustva i razvoja alata za obuku [7]. Dempsey i suradnici [8] te Bugeja i suradnici [9] razvili su sustav za povratne informacije u stvarnom vremenu koji koristi telemetrijske podatke kako bi unaprijedio trening vozača u simulacijama. Lee i suradnici [10] fokusirali su se na integraciju haptičkih efekata temeljenih na telemetriji, što je rezultiralo poboljšanim doživljajem vožnje u igrama. Nadalje, Hojaji i tim [11, 12] koristili su strojno učenje i opsežne telemetrijske podatke iz simulacijskih platformi kako bi predvidjeli performanse vozača te identificirali ključne metrike koje razlikuju uspješne vozače od manje vještih. Na tehničkoj razini, Tan [13] i Fathizadeh i Ayyad [14] predstavili su razvoj i primjenu telemetrijskih sustava za Formula SAE vozila, čime su omogućili detaljno praćenje i analizu performansi vozila u stvarnom vremenu, što ima jasnu primjenu i u simulacijskom kontekstu.

2. ARHITEKTURA SUSTAVA
2. SYSTEM ARCHITECTURE

Sustav je razvijen kao klijent igre F1 24 koja putem UDP protokola šalje razne strukturirane podatke. Ti podatci uključuju informacije o bolidima vozača poput trenutačnog vremena kruga, brzine bolida, temperature guma i drugih relevantnih mjerenja. Aplikacija te podatke prima te ih interpretira, sprema i prikazuje kako bi vozaču bitne informacije bile lako i brzo dostupne tijekom pa i poslije utrke.

2.1. TIJEK OBRADE I PRIKAZA PODATAKA U STVARNOM VREMENU
2.1. DATA PROCESSING AND REAL-TIME DISPLAY FLOW

Pri početku utrke igre F1 24 aplikacija putem UDP poslužitelj komponente počinje kontinuirano primati veliki broj strukturiranih paketa koji se dostavljaju prema unaprijed definiranom portu 20777. Svaki paket poslan UDP protokolom sadrži specifične vrste podataka strukturirane prema službenoj dokumentaciji igre [15]. Podatci u paketima uključuju različite aktualne informacije o trenutačnoj sesiji i aktualnoj telemetriji vozača. Primjerice, Lap Data paket sastoji se od dvije strukture. Prva struktura sadržava zaglavlje paketa (engl. *packet header*), što je zajedničko svim tipovima paketa, te polje *lap data* koje uključuje drugu strukturu s podatcima specifičnim za bolid svakog vozača. Ovi podatci obuhvaćaju dio detalja svih bolida u aktivnoj sesiji i trenutačnom krugu, poput delte do vozača ispred, što je jedna od najbitnijih metrika vozaču Formule 1. Paketi



Slika 1 *Glavni modul aplikacije [autorski rad]*

Figure 1 *Main module of the application [author's work]*

se šalju i interpretiraju frekvencijom do 60 puta u sekundi, čime se postiže gotovo istovremeni odziv između stanja u igri i prikaza u korisničkom sučelju aplikacije, što dovodi do niske latencije prikaza podataka. Svaki paket jasno je identificiran identifikatorom, što omogućuje aplikaciji da svaki paket pri primitku izravno interpretira metodama odgovarajućih klasa te mapira obrađene podatke u članove klasa rađene po paketima. Ovim procesom omogućuje se strukturiran i efikasan pristup informacijama unutar koda.

Igra F1 24 koristi efikasni prijenos podataka UDP protokolom, kojim se šalju samo minimalni ali ključni podatci potrebni za rekonstrukciju ostatka informacija. Iz tog razloga ova aplikacija dodatno obrađuje i računa izvedene vrijednosti, poput vremena trećeg sektora koje igra ne šalje izravno, već se mora izračunati na temelju drugih prenesenih podataka. Sektori u igri F1 24 predstavljaju podjelu staze na tri dijela što služi za preciznu analizu vremena na različitim dijelovima kruga. Mjerenje vremena prolaska kroz svaki sektor posebno je bitan zbog optimizacije performansi vozača. Izračunavanjem vrijednosti trećeg sektora uočena je greška u prikazu drugog sektora koji se nepravilno označuje žutom bojom za sporije vrijeme kada vozač postavlja bolje tj. brže vrijeme. Prikaz pravilnog bojanja sektora implementiranog u aplikaciji vidljiv je na Slici 1.

Uz taj nedostatak, igra ne podržava označavanje sektora bojama u slučaju da je iskorišten tzv. flashback to jest vremenski povratak unazad u igri. Ta funkcionalnost omogućava igraču da ispravi pogrešku i nastavi utrku iz ranije odabrane točke u trenutačnom ili prijašnjem krugu utrke što ga potencijalno vraća sektor unazad. Takva situacija uvodi niz rubnih slučajeva koji trebaju dodatnu obradu i implementaciju logike, što je u aplikaciji uspješno realizirano s pomoću posebne klase koja prati prethodne sektore i korigira ih u slučaju rubnih slučajeva, što omogućuje aplikaciji pristup ažurnim informacijama.

Nadalje, dio izvedenih informacija dobivenih poslanim paketima zatim se prikazuje u različitim dijelovima sučelja aplikacije. Podatci vezani uz pojedine vozače, kao što su tip guma, vremenske razlike do vozača ispred te ostale relevantne statistike, prikazuju se u komponenti koja sadrži panele svih vozača, sortirane prema njihovom aktualnom poretku. Ovi podatci ažuriraju se u stvarnom vremenu tijekom utrke. Osim toga, aplikacija sadrži i zaseban odjeljak posvećen informacijama o trenutačnoj sesiji. Primjerice, zastava države u kojoj se utrka odvija dohvaća se pomoću SOAP servisa kako bi u slučaju dolaska nove staze u kalendar Formule 1 prikaz svejedno bio ispravan. Na kraju, najvažniji dio posvećen je isključivo podatcima vozača korisnika, čime se

omogućuje brz i jasan pregled tijekom same utrke, kao što je prikazano na Slici 1.

2.2. BAZA PODATAKA
2.2. DATABASE

U sustavu se koristi relacijska baza podataka koja omogućuje organiziranu pohranu detaljnih informacija o utrkama, korisnicima, konfiguraciji korištenih bolida te sveukupnim statistikama. Pohrana podataka ima ključnu ulogu u jer aplikaciji u bilo kojem trenutku pruža mogućnost dohvata informacija o odvoženim utrkama za naknadne analize performansi. Sustav je realiziran na temelju korisnika te svi entiteti u bazi podataka (tablice *races, stats, setups*) referenciraju jedinstveni identifikator korisnika (primarni ključ iz tablice *users*) koji se generira prilikom registracije, odnosno prilikom stvaranja korisničkog profila u aplikaciji. Budući da video igra F1 24 ne podržava višekorisnički pristup, ova aplikacija je posebno pogodna za korisnike koji igraju na istom računalu jer aplikacija filtrira prikaz podataka isključivo na prijavljenog korisnika, bez miješanja podataka s drugim korisnicima aplikacije. Navedena je funkcionalnost implementirana unutar modula za prikaz povijesti utrka, kao što je prikazano na Slici 2. Na prikazanom dijalogu vidljiva je i detaljna statistika utrke (je li natjecatelj utrku završio uspješno, u kojem vremenu, koji je bio najbrži krug itd.), te je moguće dohvatiti i korištene konfiguracije bolida u svrhu daljnje analize rezultata.

Uz to, aplikacija podržava i pristup bez registracije pri kojem se u bazu ne pohranjuju podatci, već je analiza dostupna isključivo putem privremenih podataka prikazanih na korisničkom sučelju. U tom načinu rada aplikacije, pojedini moduli su zaključani te preusmjeravaju korisnika na prijavu.

2.3. OPĆI PREGLED SUSTAVA S PRIKAZOM TIJEKA PODATAKA
2.3. GENERAL SYSTEM OVERVIEW WITH DATA FLOW DIAGRAM

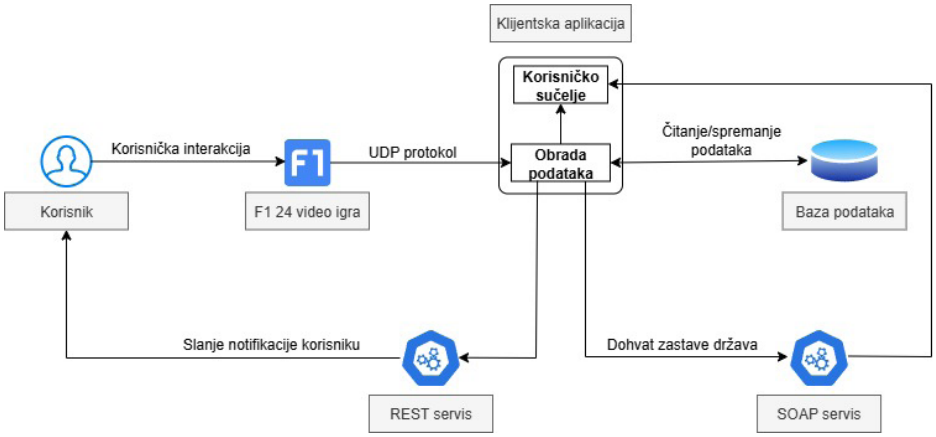
Na Slici 3 prikazan je kompletan tijek podataka od izvora (F1 24 videoigre), preko aplikacijske logike, baze podataka i vanjskih servisa, do korisničkog sučelja. Cjelokupni tijek procesa započinje interakcijom korisnika s videoigrom, pri čemu igra generira veliku količinu telemetrijskih podataka, uključujući informacije o brzini vozila, broju okretaja, položaju na stazi, stanju bolida i drugim ključnim parametrima. Ti se podatci zatim kontinuirano šalju putem UDP protokola prema aplikaciji. UDP je primarno postavljen zbog svoje niske latencije, što je bitno kod vremenski osjetljivih podataka, pri čemu se eventualni gubitak paketa smatra prihvatljivim. Pri primitku paketa aplikacija izvršava obradu podataka, pretvaranje sirovih binarnih vrijednosti u razumljive informacije te izvođenje dodatnih računanja, primjerice vremena sesije i sektora te prosječnih i najbržih

Id	Track name	Race alias	Finish position	Total time	Race finished	Average lap time	Weather	Fastest lap
66	Silverstone Circuit	Good race pace	2	00:23:01	1	01:30,241	Clear	01:29,540
67	Silverstone Circuit		3	00:22:33	1	01:29,542	Clear	01:24,241
68	Silverstone Circuit	Great cornering	1	00:22:21	1	01:33,241	Cloudy	01:25,203
69	Red Bull Ring		4	01:00:21	1	01:14,241	Clear	01:13,221
70	Red Bull Ring	Bad race, lost to hami	6	00:23:01	0	01:13,223	Wet	01:12,133
71	Yas Marina Circuit		5	00:32:15	0	01:23,103	Clear	01:21,553
72	Yas Marina Circuit		7	00:34:25	0	01:22,353	Clear	01:21,111
73	Red Bull Ring	Best race driven yet	1	00:52:01	1	01:13,223	Clear	01:11,532
75	Circuit de Monaco		20	00:02:02	1	01:13,523	Wet	01:11,602
80	Bahrain International Circuit		1	00:20:05	1	01:15,740	Clear	01:11,505
83	Jeddah Corniche Circuit		20	00:03:09	1	01:12,223	Cloudy	01:10,122
84	Circuit de Monaco		2	00:23:11	1	01:11,456	Clear	01:09,553
85	Bahrain International Circuit		1	00:02:01	0	01:11,223	Clear	01:11,111
86	Bahrain International Circuit		3	00:10:20	1	01:12,150	Clear	01:12,003
89	Bahrain International Circuit		3	01:01:16	1	01:18,455	Wet	01:18,455
92	Bahrain International Circuit		10	00:05:15	0	01:18,570	Clear	01:16,990
93	Baku City Circuit		16	00:20:13	0	01:19,234	Wet	01:17,124
94	Las Vegas Street Circuit		1	00:00:06	1	00:00,000	Clear	00:00,000
95	Circuit of the Americas (COTA)		2	01:01:16	1	01:23,645	Clear	00:00,000
96	Circuit of the Americas (COTA)		1	00:32:06	0	01:33,234	Cloudy	01:29,540
97	Bahrain International Circuit		1	00:11:10	0	01:33,543	Clear	01:28,999
98	Interlagos – Autódromo José Carlos I		1	00:20:01	1	01:23,123	Clear	01:20,002
99	Interlagos – Autódromo José Carlos I		1	00:23:10	1	01:22,110	Clear	01:18,002

Race info	Setup alias	Front left pressure	Front right pressure	Rear left pressure	Rear right pressure	Front wing aero	Rear wing aero	Rear suspe
Red Bull Ring - Best race driven yet - 00:52:01		22.7	22.7	20.5	20.5	50	50	24

Slika 2 *Modul povijesti utrka [autorski rad]*

Figure 2 *Race history module [author's work]*



Slika 3 *Dijagram sustava [autorski rad]*

Figure 3 *System diagram [author's work]*

krugova. Obrađeni podatci se nadalje prosljeđuju korisničkom sučelju koje omogućuje pregled telemetrijskih informacija u realnom vremenu. Igrač korisničko sučelje može pratiti putem dodatnog monitora tijekom utrke. Ako igrač nema mogućnost dodatnog monitora, obrađenu telemetriju može pregledati naknadno nakon utrke. Središnja logika sustava povezana je i s relacijskom bazom podataka, gdje aplikacija šalje obrađene podatke na trajnu pohranu te ih čita i prikazuje na korisničkom sučelju na zahtjev korisnika. Osim lokalnih resursa, aplikacija koristi i vanjske web servise SOAP i REST. Preko SOAP protokola dohvaća se dio vizualnih elementa korisničkog sučelja koji su promjenjivi, poput zastava država dok se putem REST servisa šalju notifikacije na pametni sat korisnika. Notifikacije se aktiviraju kada je korisnik udaljen 10, 5 ili 3 kruga do kraja utrke, čime se ostvaruje taktilna povezanost između aplikacije i korisnika. Ove obavijesti služe kao indikator približavanja završetka utrke, omogućujući korisniku istovremenu reakciju kroz vibraciju pametnoga sata bez potrebe za stalnim vizualnim pregledom sučelja. Naravno, u slučaju da korisnik ne posjeduje pametni sat, opcija se može isključiti putem menija u aplikaciji koji potom mijenja ini datoteku koja sadržava autentifikacijske postavke o servisu. REST je arhitekturalni stil koji koristi HTTP metode (GET, POST, PUT, DELETE) nad URI resursima. U okviru servisa implementirano je programsko sučelje (engl. *Application Programming Interface*, *API*) „Pushover“, koji koristi autentifikaciju putem aplikacijskog tokena i korisničkog ključa putem HTTPS protokola čime se osigurava tajnost i integritet podataka unutar komunikacije. Često je jednostavniji i brži za integraciju s web i mobilnim klijentima. S druge strane SOAP je protokol koji koristi XML poruke i WSDL za strogo definirane operacije, pogodan za transakcijske sustave i visoku razinu sigurnosti koju osigurava WS-Security standard. Njime se omogućuje digitalno potpisivanje i enkripcija poruka, čime se postiže integritet podataka te autentifikacija pošiljatelja. Odluka o uporabi oba pristupa donesena je jer sustav zahtijeva robusnu i standardiziranu integraciju s vanjskim sustavima (što je bolje podržano SOAP-om), ali i lagano programsko sučelje za javni ili mobilni pristup (što je pogodnije za REST).

3. ISTAKNUTE FUNKCIONALNOSTI NOVOG SUSTAVA

3. FEATURED FUNCTIONALITIES OF THE NEW SYSTEM

Sustav je osmišljen tako da obuhvati sve korisnike aplikacije, od onih koji imaju napredno znanje o analizi performansi, kojima su važni ažurni i točni telemetrijski podatci, do korisnika s manjim tehničkim predznanjem, kojima je ključan intuitivan i organiziran prikaz podataka. Na taj način aplikacija nudi unikatno rješenje koje svima omogućuje jednostavno korištenje glavnog sučelja s prikazom elementarnih podataka, dok onima željnim detaljnije analize nudi izravan pristup detaljnoj povijesti utrka i vizualnim prikazima telemetrijskih podataka kao što je prikazano u Slici 2 te Slici 4. Navedeni podatci obuhvaćaju poredak vozača, status guma te važne događaje poput crvene zastave ili sigurnosnog automobila koji su jasno prikazani na sučelju putem vizualno istaknutih elemenata. Važan dio sustava čini vlastito razvijena logika za obradu

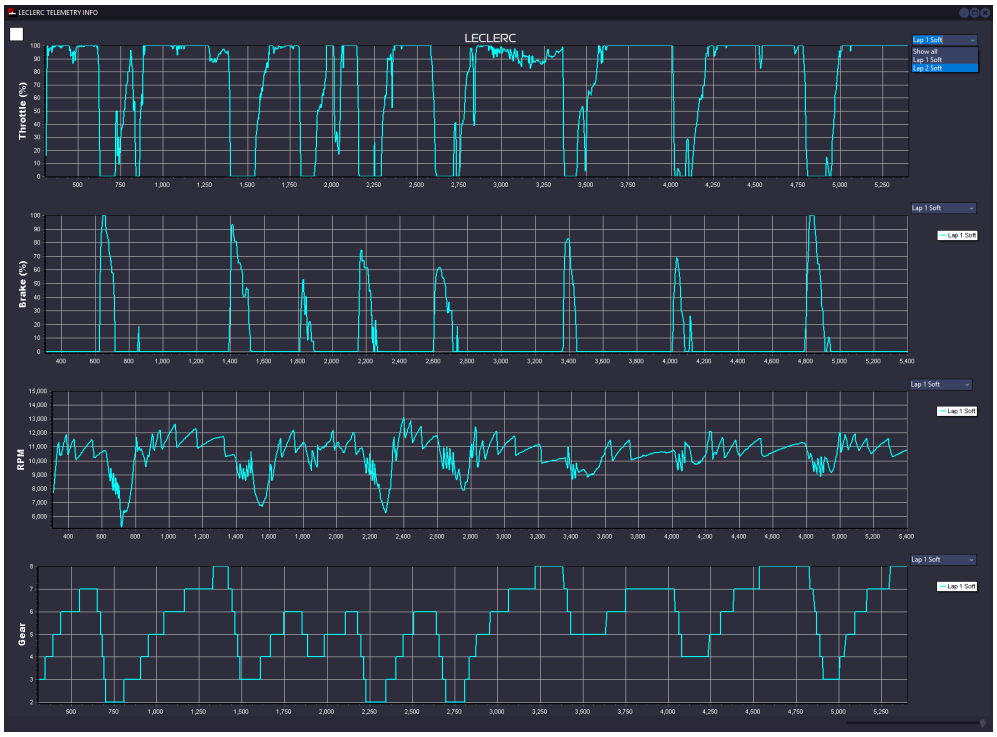
spomenutih podataka, koja omogućuje izvođenje dodatnih informacija temeljenih na ograničenim podacima dobivenim iz igre. Implementacijom posebne obrade rubnih slučajeva, poput onih uzrokovanih opcijama igre ili limitiranosti podataka u paketima, sustav uspješno nadoknađuje nedostupne i neizravno pristupačne informacije, čime se dobivaju potpuni i točni podatci. Zbog potrebe ponovne iskoristivosti dio tog sustava, specifično bilježenja i obrade vremena krugova, izdvojen je kao samostalna DLL biblioteka čime je omogućena integracija navedene logike u buduća slična rješenja temeljena na ovom sustavu. Uza sve navedeno, u slučaju da korisnik nije zadovoljan trenutačnom obradom podataka, postoji mogućnost izvoza podataka u XML i JSON formatu. Time se korisniku pruža sloboda korištenja podataka te omogućuje dodatna analiza već obrađenih podataka bez potrebe implementacije vlastite logike dohvata i dekodiranja podataka.

4. REZULTATI
4. RESULTS

U razvijenom sustavu analize telemetrije F1 simulacija bitno je da su svi podatci ažurni, precizni i prikazani na način koji je razumljiv korisniku. U vidu toga, ova aplikacija stavlja fokus na jasne grafičke i točne podatke koji će biti razumljivi svakom korisniku. Metrike u stilu grafova vrlo često su korištene u svijetu Formule 1 jer omogućuju smislen i lako čitljiv prikaz odnosa različitih informacija u realnom vremenu. U aplikaciji su dostupne četiri vrste grafova koji se dinamički pune relevantnim podatcima (Slika 4).

Dinamička implementacija grafova uključuje automatsko ažuriranje i popunjavanje serija tijekom simulacije utrke. Prilikom ulaska u novi krug, stara serija se pohranjuje i skriva kako bi bila dostupna za analizu poslije utrke te kako ne bi smetala u prikazu nove serije. Prikaz grafova može se mijenjati između prikaza po pojedinačnom krugu te sveukupnog prikaza krugova pri čemu se boje serija automatski mijenjaju kako bi se osigurala jasna distinkcija između njih.

Dodatno, kako bi se osigurala točnost podataka predviđenih za kasniju analizu, implementirano je odgođeno učitavanje grafova. Ako je aplikacija aktivna od samog početka utrke, svi podatci bilježe se automatski. Međutim, ako je aplikacija pokrenuta tijekom trajanja simulacije, korisnik mora pritisnuti gumb za otvaranje grafa kako bi se podatci krenuli bilježiti. Na ovaj način osigurana



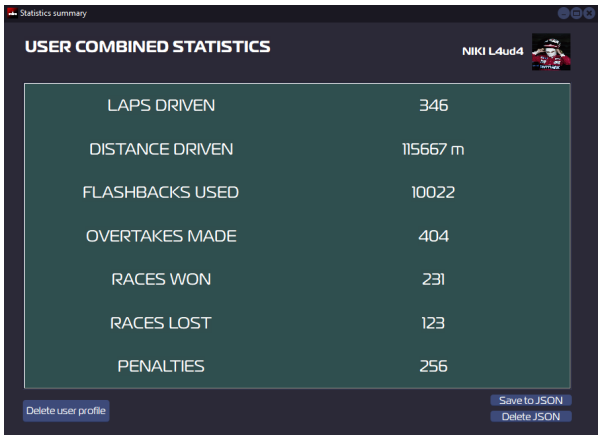
Slika 4 *Izlazni grafovi performansi [autorski rad]*

Figure 4 *Performance output graphs [author's work]*

je dosljednost informacija i sprječavanje polovičnih podataka.

Implementirani grafovi koji uključuju podatak o trenutku i intenzitetu kočenja, dodavanja gasa, broju okretaja motora i pripadajuću brzinu bolida u odnosu na prijeđeni dio kruga predstavljaju važnu metriku vozaču za prepoznavanje potencijalnog prostora za napredak vremena na stazi. Vozaču simulacije te informacije postaju mnogo korisnije kada vlastite performanse može usporediti s performansama bržeg vozača. Rješenje tog problema implementirano je na način opcije usporedbe podataka temeljene na preklapanju grafova dvaju vozača. Na taj način precizno se mogu uspoređivati razlike u vožnji vozača kroz pojedine dijelove staze odabranog kruga. Primjer grafa jednog vozača prikazan je u Slici 4.

Uz tehnički detaljne grafove, aplikacija prijavljenim korisnicima omogućuje praćenje sveobuhvatnih statistika temeljenih na događajima tijekom utrke kao što se može vidjeti u Slici 5. Bilježe se podatci poput broja sudara, ukupnog broja prijeđenih krugova, ostvarenih pobjeda, izgubljenih utrka i sličnih metrika. Ove statistike korisniku omogućuju uvid u vlastite performanse od datuma kreiranja profila te uvode element međusobne usporedbe među korisnicima aplikacije. Takva implementacija uvodi komponentu gamifikacije [16] gdje se po tehnički manje zahtjevnim informacijama može prepoznati uloženi trud i vještina korisnika. Time se podiže razina angažiranosti i motivacija za poboljšavanje te se otvara prostor za buduću nadogradnju aplikacije u vidu rang lista, izazova i drugih dodatnih funkcionalnosti.



Slika 5 *Modul sveobuhvatnih statistika [autorski rad]*

Figure 5 *Comprehensive statistics module [author's work]*

5. ZAKLJUČAK
5. CONCLUSION

U ovom radu predstavljen je sustav za telemetrijsku analizu u F1 simulacijama, koji omogućuje precizan prikaz i obradu podataka u stvarnom vremenu. Poseban doprinos ostvaren je kroz nadogradnju ograničenih podataka iz igre kroz dodatnu logiku za izračun izvedenih metrika i korekciju nedosljednosti. Sustav nudi višekorisničku podršku, trajnu pohranu podataka te mogućnost izvoza i usporedne analize, uz modularan pristup koji omogućuje ponovnu uporabu komponenti.

U budućem radu planira se proširenje sustava u smjeru automatske analize performansi korištenjem strojnog učenja, kao i uvođenje naprednijih vizualizacija te sustava rangiranja korisnika. Također, razmatra se podrška za dodatne simulacijske platforme i mobilne uređaje.

6. REFERENCE
6. REFERENCES

[1.] K. R. Gutekunst, R. Cruise, "Human Factors Simulation to Support Software Design", Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, vol. 31, pp. 1416–1420, DOI: https://doi.org/10.1177/154193128703101225, 1987.

[2.] J. Brynielsson, S. Lindquist, L. Luotsinen, "Efficient Implementation of Simulation Support for Tactical-Level Military Training", Military Training Conference Proceedings, pp. 1–12, 2016.

[3.] E. Bradley, B. Kendall, "A Review of Computer Simulations in Teacher Education", Journal of Educational Technology Systems, vol. 43, pp. 12–3, https://doi.org/10.2190/ET.43.1.b, 2014.

[4.] K. Friedl, H. O'Neil, "Designing and using computer simulations in medical education and training: an introduction", Military Medicine, vol. 178, suppl. 10, pp. 1–6, DOI: https://doi.org/10.7205/MILMED-D-13-00209, 2013.

[5.] M. Lauren, K. Quarrie, D. Galligan, "Insights from the Application of an Agent-Based Computer Simulation as a Coaching Tool for Top-Level Rugby Union", International Journal of Sports Science & Coaching, vol. 8, pp. 493–504, DOI: https://doi.org/10.1260/1747-

9541.8.3.493, 2013.

[6.] E. Preosti, "Data Analysis for Formula 1", Berkeley Scientific Journal, vol. 25, no. 2, pp. 53–56, DOI: https://doi.org/10.5070/BS325254500, 2021.

[7.] F. Alonso, M. Faus, J. V. Riera, M. Fernandez-Marin, and S. A. Useche, "Effectiveness of Driving Simulators for Drivers' Training: A Systematic Review," Applied Sciences, vol. 13, no. 9, pp. 5266, DOI: https://doi.org/10.3390/app13095266, 2023.

[8.] M. Dempsey, G. Fish, J. Gabriel, D. Beltran, "High Fidelity Multibody Vehicle Dynamics Models for Driver-in-the-Loop Simulators", Proceedings of the 11th International Modelica Conference, pp. 273–280, DOI: https://doi.org/10.3384/ECP15118273, 2015.

[9.] K. Bugeja, S. Spina, F. Buhagiar (2017). "Telemetry-based optimization for user training in racing simulators" 2017 9th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications (VS-Games), 31–38. DOI: https://doi.org/10.1109/VS-GAMES.2017.8055808

[10.] J. Lee, J. Kim, J. Kang, E. Jo, D. C. Park, S. Choi (2024). "Telemetry-Based Haptic Rendering for Racing Game Experience Improvement" IEEE Transactions on Haptics, 17, 72–79. DOI: https://doi.org/10.1109/TOH.2024.3357885

[11.] F. Hojaji, A. J. Toth, J. M. Joyce, M. J. Campbell (2023). "An AI Approach for Analyzing Driving Behavior in Simulated Racing Using Telemetry Data", u Proceedings of the 21st International Conference on Artificial Intelligence in Education (str. 194–203). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-49065-1_19

[12.] F. Hojaji, A. J. Toth, J. M. Joyce, M. J. Campbell (2024). "AI-enabled prediction of sim racing performance using telemetry data" Computers in Human Behavior Reports, 100414. DOI: https://doi.org/10.1016/j.chbr.2024.100414

[13.] F. Tan (2011). "Development of Electric Formula SAE Real-time Telemetry Software", Diplomski rad, University of Western Australia.

[14.] M. Fathizadeh, A. Ayyad (2017). "Application of Remote Telemetry for Improving Formula SAE Car Performance", u S. S. Chau (Ur.), Transactions on Engineering Technologies. Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-2191-7_17

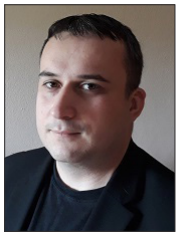
[15.] EA Sports. Data Output from F1® 24 Game. 2024. Dostupno na: https://forums.ea.com/discussions/f1-24-general-discussion-en/f1-24-udp-specification/8369125. Pristupljeno 19. rujna 2025.

[16.] S. Deterding, D. Dixon, R. Khaled, L. Nacke, "From Game Design Elements to Gamefulness: Defining 'Gamification'", Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference, vol. 15, pp. 9–15, DOI: https://doi.org/10.1145/2181037.2181040, 2011.

AUTORI · *AUTHORS*

• **Luka Gustetić** - student je druge godine Informatike na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu, ambiciozan i motiviran za pronalazak inovativnih rješenja za stvarne probleme. Posjeduje praktično iskustvo u osiguravanju kvalitete softvera (QA) te akademsko znanje programskih jezika (Python, C++), baza podataka i web tehnologija. Kroz sudjelovanje u dva europska projekta razvio je vještine timskog rada i istraživanja. Nositelj je crnog pojasa u judu, što potvrđuje iznimnu disciplinu i ustrajnost.

Korespondencija · *Correspondence*
luka.gustetic@tvz.hr



• **Željko Kovačević** - Biografija autora nalazi se na web stranicama https://nastava.tvz.hr/zkovacevic/.

Korespondencija · *Correspondence*
zeljko.kovacevic@tvz.hr

• **Aleksandar Stojanović** - Nepromijenjena biografija nalazi u časopisu P&D, Svezak. 11, Br. 4 iz 2023. godine.

Korespondencija · *Correspondence*
aleksandar.stojanovic@tvz.hr