

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Umelá inteligencia v dopravných systémoch

Semestrálna práca

Štúdijný program: Informatika

Štúdijný odbor: Aplikovaná Informatika

Predmet: Písanie dokumentov a správa verzií

Obsah

1	Úvod	5
1.1	Historický kontext a vývoj	5
1.2	Kľúčové oblasti aplikácie AI v doprave	5
1.2.1	Manažment dopravných aktív	5
1.2.2	Dopravná bezpečnosť	6
1.2.3	Dopravné operácie	6
1.2.4	Autonómne vozidlá	6
1.2.5	Digitálne dvojčatá	6
1.2.6	Generatívna AI	7
2	Technologické aspekty AI v doprave	8
2.1	Kľúčové technologické modely	8
2.1.1	Symbolická vs. dátovo-riadená AI	8
2.1.2	Techniky strojového a hlbokého učenia	8
2.2	Generatívna AI a veľké jazykové modely	8
2.2.1	Architektúra Transformers a LLM	8
2.2.2	GAN a difúzne modely	9
2.3	Integrácia AI do subsystémov ITS	9
2.3.1	Dialóg a uvažovanie	9
2.3.2	Predikcia a rozhodovanie	9
2.3.3	Multimodálna generácia	9
2.4	Technologická infraštruktúra	9
2.4.1	Senzory	9
2.4.2	Edge a cloud computing	10
2.4.3	Komunikačné technológie	10
3	Aplikácie AI v dopravných systémoch	11
3.1	Cestná doprava	11
3.1.1	Autonómne vozidlá	11
3.1.2	Riadenie premávky	11
3.2	Železničná doprava	11
3.2.1	Automatizácia prevádzky vlakov (ATO)	12
3.2.2	Európsky systém riadenia železničnej premávky (ERTMS)	12
3.2.3	Prediktívna údržba	12
3.3	Letecká doprava	12
3.3.1	Riadenie letovej prevádzky (ATM)	12
3.3.2	Letiskové operácie a bezpečnosť	12
3.3.3	Výskumné projekty EÚ	12

3.4	Námorná doprava, plavba a prístavy	13
3.4.1	Autonómna plavba	13
3.4.2	Inteligentné prístavy	13
3.4.3	Optimalizácia prístavných operácií	13
3.4.4	Výzvy v námornej doprave	13
4	Výzvy a etické aspekty implementácie AI v doprave	14
4.1	Technické a bezpečnostné výzvy	14
4.2	Legislatívne a regulačné výzvy	14
4.3	Etické problémy	14
4.4	Sociálno-ekonomické dopady	15
4.5	Budúce smerovanie a riešenia	15
	Záver	16

Zoznam obrázkov

1.1	Schéma digitálneho dvojčata mostu. Zobrazený je proces prepojenia fyzického mostu s jeho virtuálnym modelom, vrátane monitorovania záťaže, identifikácie poškodenia, vyhodnocovania výkonu a systémov včasného varovania.(Zdroj:[7])	7
2.1	Ilustrácia senzorového systému autonómneho vozidla. Zobrazené sú typické senzory: dlhodosahový radar vpredu, dlhodosahový LiDAR vpredu, predná kamera, okolité kamery, 360° otočný LiDAR, bočné radary a LiDARy so širokým zorným poľom, ako aj riadiaca jednotka ADAS/AD. (Zdroj: ID-TechEx Research)	10

Abstrakt

Táto práca skúma integráciu umelej inteligencie (AI) do moderných dopravných systémov. Cieľom práce je analýza technologických aspektov, praktických aplikácií a výziev spojených s implementáciou AI v doprave. Práca vychádza z rozsiahleho výskumného reportu Wisconsinského ministerstva dopravy a ďalších akademických zdrojov.

Práca je štruktúrovaná do piatich hlavných kapitol. V úvode sú definované kľúčové oblasti pôsobenia AI v doprave: manažment, bezpečnosť, operácie, autonómne vozidlá, digitálne dvojčatá a generatívna AI. Technologická časť detailne kľúčové architektúry a modely, vrátane strojového a hlbokého učenia, transformer architektúry a veľkých jazykových modelov. Kapitola o aplikáciách poskytuje prehľad implementácií vo všetkých druhoch dopravy s konkrétnymi príkladmi z praxe.

Štvrtá kapitola venuje výzvam a etickým aspektom, analyzujúc problémy kvality dát, kybernetickej bezpečnosti, regulačného rámca, transparentnosti algoritmov a sociálno-ekonomických dopadov. Záver sumarizuje hlavné zistenia a navrhuje smerovanie budúceho vývoja.

Hlavným prínosom práce je komplexný prehľad interdisciplinárnej problematiky AI v doprave, ktorý spája technické aspekty s etickými a regulačnými úvahami. Práca dokladuje, že AI má potenciál revolučne zmeniť dopravné systémy, no jej úspešná integrácia si vyžaduje vyvážený prístup k technologickému pokroku a riadeniu súvisiacich rizík.

Kľúčové slová: umelá inteligencia, inteligentné dopravné systémy, autonómna doprava, generatívna AI, etika umelnej inteligencie, dopravné technológie

Kapitola 1

Úvod

Umelá inteligencia (AI) sa v poslednom desaťročí stala jednou z najviac ovplyvňujúcich technológií 21. storočia, ktorá prináša revolúciu v mnohých priemyselných odvetviach vrátane dopravy. „Schopnosť AI analyzovať rozsiahle dátové súbory, rozpoznávať vzory, učiť sa z historických údajov a robiť prediktívne rozhodnutia otvára nové možnosti pre optimalizáciu dopravných systémov” [6]. Integrácia AI do dopravy nie je len technologickou inováciou, ale nevyhnutnosťou pre riešenie dlhodobých výziev, ako sú dopravné preťaženia, bezpečnostné problémy a neefektívne využívanie infraštruktúry.

Dopravné systémy po celom svete sa potýkajú s rastúcou komplexitou, zvyšujúcim sa počtom vozidiel a meniacimi sa potrebami mobility. „Tradičné metódy manažmentu dopravných sietí, ako je manuálne monitorovanie premávky a údržba infraštruktúry, už nestačia na efektívne zvládanie týchto požiadaviek” [6]. Práve v tomto kontexte ponúka AI nové možnosti na optimalizáciu dopravy prostredníctvom pokročilých algoritmov strojového učenia, spracovania obrazu a analýzy veľkých dát.

1.1 Historický kontext a vývoj

Využitie AI v doprave má svoje korene v jednoduchších algoritmoch na riadenie dopravy v 70. a 80. rokoch minulého storočia. S rozvojom výpočtového výkonu a dostupnosťou dát v 21. storočí však došlo k významnému zrýchleniu implementácie AI riešení. „Ministerstvo dopravy USA (USDOT) vo spolupráci s Federálnou správou diaľnic (FHWA), Federálnou železničnou správou (FRA) a Federálnou leteckou správou (FAA) začalo aktívne preskúmať potenciál AI v dopravnom ekosystéme” [6]. Tieto snahy svedčia o systémovom prístupe k integrácii AI do dopravnej infraštruktúry.

1.2 Kľúčové oblasti aplikácie AI v doprave

V súčasnosti sa výskum a implementácia AI v doprave sústreďujú na šesť hlavných domén, ktoré sú identifikované ako kľúčové pre transformáciu dopravných systémov:

1.2.1 Manažment dopravných aktív

AI významne zlepšuje efektívnosť monitorovania a údržby dopravnej infraštruktúry. „Aplikácie zahŕňajú automatizované vyhodnocovanie stavu vozoviek a mostov, prediktívnu

údržbu a optimalizáciu zdrojov” [6]. „Štúdie ukazujú, že AI techniky ako počítačové videnie a hlboké učenie môžu detekovať defekty ako trhliny alebo koróziu s vysokou presnosťou, čím sa znižuje potreba manuálnych inšpekcií a zvyšuje sa bezpečnosť” [6].

1.2.2 Dopravná bezpečnosť

AI aplikácie v dopravnej bezpečnosti zahŕňajú systémy na predikciu nehôd, monitorovanie zraniteľných účastníkov premávky a hodnotenie nebezpečenstiev na cestách. „Techniky počítačového videnia a strojového učenia umožňujú spracovanie dát v reálnom čase a neustále zlepšovanie bezpečnostných systémov” [6]. „Hawaii Department of Transportation (HDOT) sa napríklad zapojil do Intersection Safety Challenge implementáciou systémov na báze AI pre detekciu zraniteľných účastníkov premávky a vylepšenie systémov včasného varovania ”[6].

1.2.3 Dopravné operácie

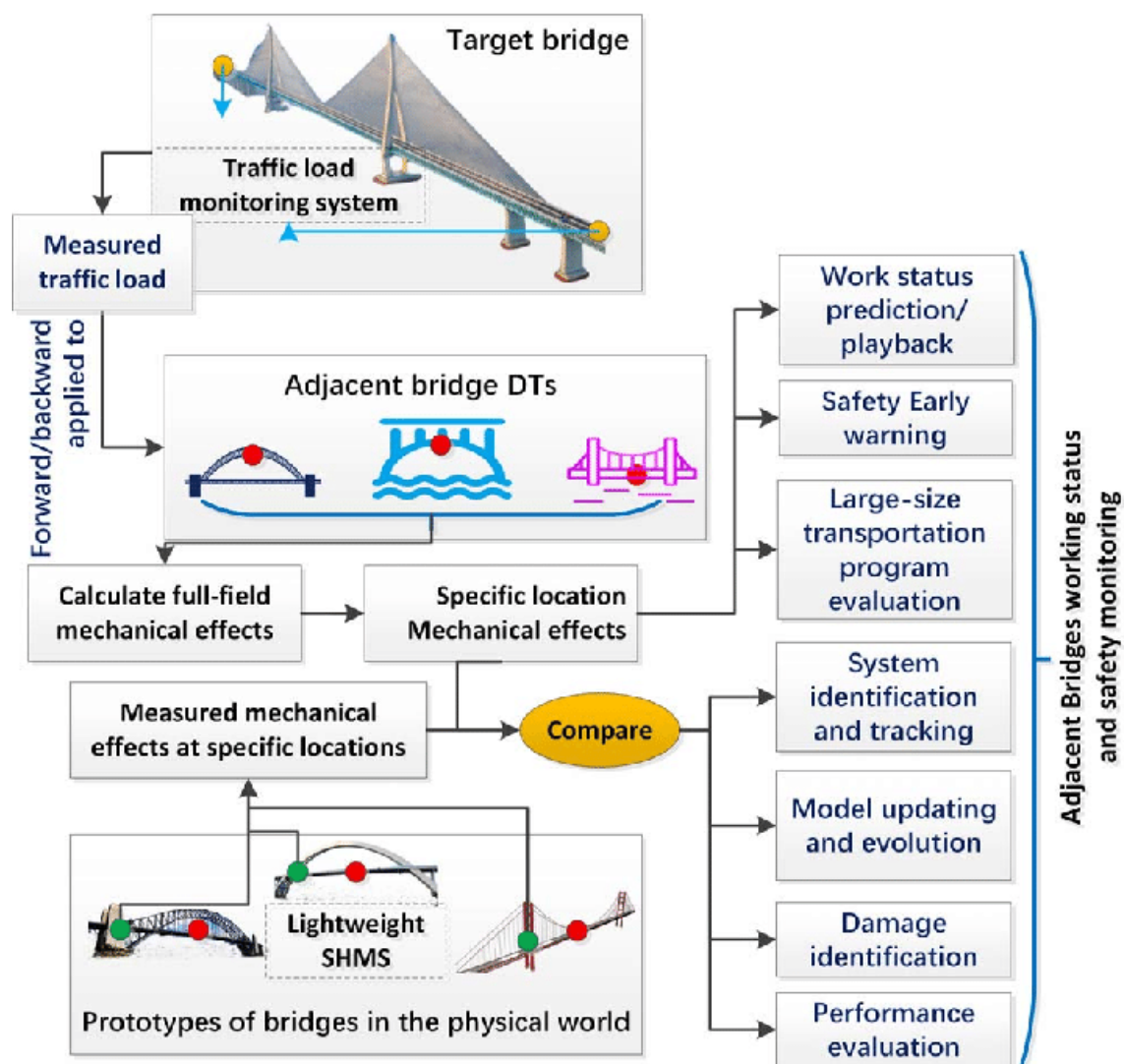
„AI optimalizuje dopravné operácie prostredníctvom aplikácií ako ramp metering, predikcia toku premávky, optimalizácia časovania semaforov a variabilné obmedzenia rýchlostí” [6]. „Florida Department of Transportation (FDOT) implementoval nástroje na riadenie premávky využívajúce AI na optimalizáciu časovania semaforov pozdĺž mestských tepien s cieľom znížiť kongescie v špičke” [6].

1.2.4 Autonómne vozidlá

Autonómne vozidlá predstavujú jednu z najtransformujúcejších aplikácií AI v doprave. „Illinois Department of Transportation (IDOT) spustil iniciatívu „Autonomous Illinois”, ktorá vytvára pilotné zóny pre testovanie autonómnych vozidiel v reálnom prostredí prostredníctvom spolupráce verejného a súkromného sektora a akademickej obce” [6].

1.2.5 Digitálne dvojčatá

„Digitálne dvojčatá sú virtuálnymi replikami fyzických aktív alebo systémov, ktoré využívajú údaje v reálnom čase na simuláciu, analýzu a optimalizáciu operácií” [6]. Ako je znázornené na obrázku 1.1, táto technológia umožňuje vytvorenie komplexného prepojenia medzi fyzickou infraštruktúrou a jej digitálnym modelom.



Obr. 1.1: Schéma digitálneho dvojčata mostu. Zobrazený je proces prepojenia fyzického mostu s jeho virtuálnym modelom, vrátane monitorovania záťaže, identifikácie poškodenia, vyhodnocovania výkonu a systémov včasného varovania. (Zdroj: [7])

1.2.6 Generatívna AI

Generatívna AI nachádza uplatnenie v doprave najmä v autonómnej jazde, predikcii premávky a tvorbe realistických simulačných scenárov. „California Department of Transportation (Caltrans) testuje využitie generatívnej AI na sumarizáciu dokumentov a generovanie interných správ, čím zefektívňuje pracovné postupy a zlepšuje správu znalostí“ [6].

Kapitola 2

Technologické aspekty AI v doprave

Umelá inteligencia predstavuje komplexný ekosystém technológií, ktorých úspešná integrácia do dopravy vyžaduje pochopenie základných komponentov. Táto kapitola poskytuje prehľad kľúčových technológií poháňajúcich moderné inteligentné dopravné systémy (ITS), s dôrazom na generatívnu AI.

2.1 Kľúčové technologické modely

2.1.1 Symbolická vs. dátovo-riadená AI

Historický vývoj AI sa delí na dva modely. „Symbolická AI, založená na manuálne vytvorených pravidlách, bola obmedzená v komplexných prostrediach ako doprava” [10]. „Dátovo-riadená AI, využívajúca strojové učenie a analýzu veľkých dát, umožňuje objavovať vzory a robiť predikcie, čo z nej urobilo jadro moderných ITS” [10].

2.1.2 Techniky strojového a hlbokého učenia

Hlboké učenie, ako podmnožina strojového učenia, umožňuje spracovanie komplexných dát. „Konvolučné neurónové siete (CNN) sú nevyhnutné pre spracovanie obrazu z kamier, zatiaľ čo rekurentné siete (RNN) sú vhodné na analýzu časových radov pre predikciu dopravnej záťaže” [12].

2.2 Generatívna AI a veľké jazykové modely

Generatívna AI prináša kvalitatívny skok tým, že dokáže generovať nový obsah namiesto len analýzy existujúcich dát.

2.2.1 Architektúra Transformers a LLM

„Model Transformer (2017) revolucionizoval spracovanie sekvenčných dát pomocou attention mechanizmu” [13]. „Stal sa základom pre veľké jazykové modely (LLM) ako GPT-3, ktoré dokážu komplexne uvažovať a sú použiteľné na interpretáciu dopravných scenárov a analýzu nehôd” [2, 12, 16].

2.2.2 GAN a difúzne modely

„Generatívne adversariálne siete (GAN) vytvárajú realistické obrazy prostredníctvom súboja generátora a diskriminátora” [3]. „Difúzne modely generujú obsah postupným odstraňovaním šumu, čo je ideálne pre tvorbu simulácií pre testovanie autonómnych vozidiel” [4, 12].

2.3 Integrácia AI do subsystémov ITS

„ITS pozostáva zo štyroch subsystémov: cestného, vozidlového, cestovateľského a riadiaceho” [9, 1]. „AIGC sa do nich integruje cez tri oblasti: dialóg a uvažovanie, predikcia a rozhodovanie, a multimodálna generácia” [12].

2.3.1 Dialóg a uvažovanie

„LLM vylepšujú komunikáciu v ITS. Intelligentní virtuálni asistenti vo vozidlách poskytujú personalizované navigačné pokyny” [12]. „Zatiaľ čo automatická analýza nehôd urýchľuje určovanie príčin a zodpovednosti” [5, 17].

2.3.2 Predikcia a rozhodovanie

„AI modely optimalizujú časovanie semaforov a dynamické smerovanie premávky” [11]. „Pokročilé modely ako ST-LLM predpovedajú dopyt po prepravných prostriedkoch s vysokou presnosťou” [8].

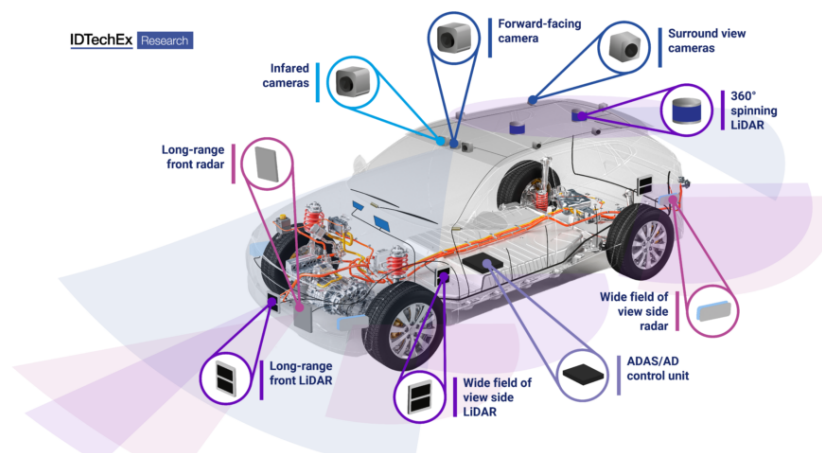
2.3.3 Multimodálna generácia

„AIGC generuje fotorealistické scenáre pre testovanie autonómnych vozidiel, čím zvyšuje bezpečnosť a efektívnosť testovania” [15, 14]. „Kombinácia s digitálnymi dvojčatami umožňuje simulovať vplyv dopravných opatrení” [14].

2.4 Technologická infraštruktúra

2.4.1 Senzory

„Dopravné systémy sú nasýtené senzormi (kamery, radary, GPS), ktoré tvoria internet vecí a produkujú dáta pre AI analýzy” [10]. Typickú konfiguráciu takýchto senzorov v autonómnom vozidle ilustruje obrázok 2.1.



Obr. 2.1: Ilustrácia senzorového systému autonómneho vozidla. Zobrazené sú typické senzory: dlhodosahový radar vpredu, dlhodosahový LiDAR vpredu, predná kamera, okolité kamery, 360° otočný LiDAR, bočné radary a LiDARy so širokým zorným poľom, ako aj riadiaca jednotka ADAS/AD. (Zdroj: IDTechEx Research)

Vysvetlenie jednotlivých komponentov:

- **Radar:** Vhodný na meranie rýchlosti a vzdialenosti, funguje za akéhokoľvek počasia
- **LiDAR:** Poskytuje presné 3D mapovanie prostredia, citlivý na poveternostné podmienky
- **Kamery:** Rozpoznávajú farby, texty a detaily, vyžadujú dobré osvetlenie
- **ADAS/AD jednotka:** Spája dáta zo všetkých senzorov a rozhoduje o ďalšej trase

2.4.2 Edge a cloud computing

„Edge computing umožňuje okamžitú analýzu priamo v zariadení, zatiaľ čo cloud computing poskytuje výkon pre tréning veľkých AI modelov” [12].

2.4.3 Komunikačné technológie

„Komunikácia vozidlo so všetkým (V2X) a 5G siete sú nevyhnutné pre prenos dát v reálnom čase pre kooperatívne autonómne vozidlá” [10].

Kapitola 3

Aplikácie AI v dopravných systémoch

Umelá inteligencia nachádza praktické využitie vo všetkých druhoch dopravy, pričom každý systém má svoje špecifické výzvy. Táto kapitola analyzuje kľúčové aplikácie AI v cestnej, železničnej, leteckej a námornej doprave, s dôrazom na reálne implementácie a ich vplyv.

3.1 Cestná doprava

Cestná doprava je kde sa AI aplikuje najviditeľnejšie. „Cestná doprava je jedným z odvetví, kde sa AI najúspešnejšie uplatňuje, otvárajúc úplne novú úroveň spolupráce medzi rôznymi účastníkmi premávky” [10].

3.1.1 Autonómne vozidlá

Vývoj autonómnych vozidiel je jednou z najprelomovejších aplikácií AI. „Autonómne vozidlá sú založené na rôznych senzoch, ako sú GPS, kamery a radary, v kombinácii s aktuátormi, riadiacimi jednotkami a softvérom” [10]. Typickú konfiguráciu takýchto senzorov ilustruje obrázok 2.1 v kapitole 2. Niektoré technológie preberajú iba určité funkcie vodiča (ako parkovanie), zatiaľ čo iné sú určené na úplné nahradenie vodiča [10].

3.1.2 Riadenie premávky

„AI technológie sa tiež uplatňujú pri riadení cestnej premávky, pomáhajúc analyzovať vzory premávky, jej objem a ďalšie faktory” [10]. Tieto systémy poskytujú vodičom informácie o najrýchlejšej trase, čím zmierňujú dopravné zápchy. „AI technológie tiež pomáhajú udržiavať plynulosť premávky prostredníctvom dopravných signálov a semaforov, ktoré sa v reálnom čase prispôbujú aktuálnym dopravným podmienkam” [10].

3.2 Železničná doprava

Železničná doprava využíva AI predovšetkým na automatizáciu, údržbu a bezpečnosť. „AI môže zlepšiť výrobu, prevádzku a údržbu pre železničných operátorov a manažérov infraštruktúry” [10].

3.2.1 Automatizácia prevádzky vlakov (ATO)

„Jedným z najvýrečnejších príkladov využitia AI v železničnej technike je jej prínos k automatizácii prevádzky vlakov” [10]. Medzinárodná elektrotechnická komisia stanovila štyri štandardné stupne automatizácie vlakov, pričom tretí stupeň zodpovedá bezvodičovej prevádzke a štvrtý autonómnej a neobsluhovanej prevádzke vlakov [10].

3.2.2 Európsky systém riadenia železničnej premávky (ERTMS)

„V EU je prvým kľúčovým krokom k zavedeniu ATO a riešení AI v železničnej doprave nasadenie európskeho systému riadenia železničnej premávky” [10]. Okrem zabezpečenia technickej kompatibility medzi národnými železničnými systémami môže ERTMS v kombinácii s ATO znížiť náklady železničných operátorov a spotrebu energie, ako aj zvýšiť rýchlosť, dochvilnosť, bezpečnosť a kapacitu tratí [10].

3.2.3 Prediktívna údržba

„Pre železničných operátorov a manažérov infraštruktúry je schopnosť predvídať možné poruchy predtým, ako k nim dôjde, veľmi cenná” [10]. „Dnes môže AI využiť silu údajov poskytovaných senzormi umiestnenými na kritických komponentoch vlakov alebo infraštruktúry na extrahovanie informácií v správnom čase a odporúčanie opatrení na údržbu” [10].

3.3 Letecká doprava

Letecký priemysel využíva AI už desaťročia, no vstupujeme do novej éry s pokročilými možnosťami. „Použitie AI v prevádzke leteckej dopravy je ešte v počiatočnom štádiu” [10].

3.3.1 Riadenie letovej prevádzky (ATM)

„Pokroky v automatizácii a výpočtovej sile, využívajúce technológie spojené s strojovým učením a modelmi analýzy údajov, sa používajú na zlepšenie riadenia rastúcich objemov leteckej dopravy” [10]. Vývoj systémov bezpilotných leteckých systémov a systémov riadenia premávky bezpilotných systémov pomocou vylepšených výpočtových schopností vytvorí nové príležitosti na zlepšenie existujúcich systémov riadenia premávky, noriem odstupu a návrhu priestoru [10].

3.3.2 Letiskové operácie a bezpečnosť

„AI môže uľahčiť prechod k bezproblémovej bezpečnosti letísk, pretože je schopná spracovať veľké množstvo údajov, a to historických aj v reálnom čase, a detegovať anomálie” [10]. Použitie AI a veľkých dát sa pre letiská stáva čoraz dôležitejšie a používa sa na lepšiu analýzu dopytu na trhu, zlepšenie bezpečnostnej kontroly a prispôbenie skúsenosti cestujúcich [10].

3.3.3 Výskumné projekty EÚ

„Spoločný podnik SESAR podporil množstvo výskumných projektov týkajúcich sa AI a riadenia leteckej dopravy” [10]. Projekt INTUIT skúmal potenciál strojového učenia a

vizuálnej analytiky, zatiaľ čo projekt COPTRA sa zameriaval na predpovedanie trajektórií bližšie ku štartu alebo počas letu [10].

3.4 Námorná doprava, plavba a prístavy

Vodná doprava prechádza významnou digitálnou transformáciou s AI. „V priebehu posledných dvadsiatich rokov prešli námorná a vnútrozemská vodná doprava dôležitým vývojom” [10].

3.4.1 Autonómna plavba

„Hoci medzera medzi súčasnou situáciou a plne autonómnymi loďami je veľká, výskum a pilotné projekty autonómnej plavby pokračujú” [10]. Projekt MUNIN financovaný EÚ vyvinul a otestoval koncept autonómnej obchodnej lode, ktorou primárne riadia automatizované palubné rozhodovacie systémy, ale kontroluje ju vzdialený operátor na pevnine [10]. „Existuje tiež potenciál pre použitie autonómnych lodí v pobrežnej plavbe a na vnútrozemských vodných cestách” [10].

3.4.2 Inteligentné prístavy

„Použitie pokročilých digitálnych technológií v celom prostredí prístavu je známe ako koncept „inteligentného” alebo „smart” prístavu” [10]. „Medzi prístavy považované za najpokročilejšie v premenení na inteligentný prístav patria Singapore, Rotterdam, Tianjin a Dubaj” [10].

3.4.3 Optimalizácia prístavných operácií

„AI je len jednou z niekoľkých kľúčových technológií používaných v inteligentnom prístave” [10]. „V prístavných prevádzkových systémoch sa používa napríklad na plánovanie vybavenia prístavu (na optimalizáciu použitia žeriavov a vozidiel) a plánovanie dostupnosti kotvišťa” [10]. „Prístav Rotterdam aplikuje AI na údaje na určenie odhadovaného času príchodu a odchodu lode, čo pomohlo znížiť čakaciu dobu pre plavidlá v prístave o 20%” [10].

3.4.4 Výzvy v námornej doprave

„Pre akékoľvek použitie AI sú zber, kvalita, konzistentnosť a objem dostupných údajov prvoradé” [10]. „Niektoré problémy s kvalitou a množstvom údajov vznikajú pri údajoch o výkone a navigácii lodí zhromažďovaných senzormi a systémami na získavanie údajov” [10]. „Údaje môžu byť chybné kvôli poruchám senzorov alebo ľudskej intervencii” [10].

Kapitola 4

Výzvy a etické aspekty implementácie AI v doprave

Integrácia umelej inteligencie do dopravy prináša okrem príležitostí aj zložité výzvy. Táto kapitola analyzuje problémy technického a etického charakteru.

4.1 Technické a bezpečnostné výzvy

Kvalita dát je základným predpokladom úspechu AI systémov. „Pre akékoľvek použitie AI sú zber, kvalita, konzistentnosť a objem dostupných údajov prvoradé” [10]. V praxi sa často stretávame s neúplnými alebo nekonzistentnými dátami z rôznych zdrojov.

Kybernetická bezpečnosť predstavuje kritickú oblasť. „AI aplikácie v doprave vyvolávajú obavy týkajúce sa kybernetickej bezpečnosti, najmä v kontexte autonómnych vozidiel a systémov riadenia dopravy” [10]. Úspešný útok môže mať katastrofálne následky.

Výskum generatívnej AI identifikuje ďalšie riziká. „AIGC je náchylné k problému „halucinácií”, kde generovaný obsah nemusí zodpovedať skutočnosti” [12]. V dopravnom prostredí môže nepresná detekcia alebo chybné rozhodovanie viesť k nehodám.

4.2 Legislatívne a regulačné výzvy

Určenie zodpovednosti pri nehodách autonómnych systémov je komplexnou otázkou. „V prípade nehody je ďalšou výzvou, ktorú je potrebné riešiť, zodpovednosť” [10]. Súčasnú pravidlá predpokladajú ľudského vodiča, čo sa mení s autonómnymi systémami.

EÚ aktívne pracuje na prispôbení regulačného rámca. „V decembri 2018 Komisia zverejnila návrh etických smerníc AI a posudzuje, či sú národné a európske bezpečnostné a zodpovednostné rámce vhodné” [10]. Harmónia medzinárodných predpisov je kľúčová pre globálnu implementáciu.

4.3 Etické problémy

Trolley problém v autonómnych vozidlách rozdeľuje odbornú verejnosť. „Keď čelia situáciám život verzus život, otázka, ako by sa mal rozhodovať algoritmus AI v plne automatizovanom vozidle, rozdeľuje názory” [10]. Etické nastavenie algoritmov vyžaduje širokú diskusiu.

Transparentnosť rozhodovania je základom dôvery. „Princíp transparentnosti by mal byť dodržaný tým, že by malo byť vždy možné poskytnúť zdôvodnenie akéhokoľvek rozhodnutia prijatého s pomocou AI” [10]. Problém „čiernej skrinky” komplikuje pochopenie rozhodovacích procesov.

Generatívna AI prináša nové etické výzvy. „Aplikácia AIGC vyvoláva právne a etické obavy... modely nemusia plne dodržiavať existujúce predpisy a potenciálne zraniteľnosti alebo nepresné odpovede môžu viesť k nehodám” [12]. Ochrana duševného vlastníctva a ochrana súkromia sú ďalšie problémy.

4.4 Sociálno-ekonomické dopady

AI mení štruktúru pracovného trhu v dopravnom sektore. „Predpokladá sa, že AI prispieje k vytvoreniu nových pracovných miest, zániku iných a zmene väčšiny” [10]. Zatiaľ čo niektoré pozície môžu zaniknúť, vznikajú nové role vyžadujúce špecifické zručnosti.

Prijatie technológií verejnosťou je kľúčové pre ich úspech. „Nedávny prieskum Eurobarometer o autonómnych systémoch ukázal, že respondenti sú pohodlnejší s autonómnymi vozidlami prepravujúcimi tovar ako s cestovaním v takom vozidle sami” [10]. Dôvera verejnosti sa buduje pomaly a vyžaduje transparentnosť.

Generatívna AI prináša výzvy v oblasti ľudsko-strojovej spolupráce. „S rozvojom AIGC sú tradičné pracovné trhy výrazne narušené... úlohy ľudí sa už neobmedzujú na vykonávanie opakujúcich sa úloh, ale teraz vyžadujú schopnosť efektívne spolupracovať s novými technológiami” [12]. Táto transformácia si vyžaduje aktívne prispôsobenie vzdelávacích systémov.

4.5 Budúce smerovanie a riešenia

Medzinárodná spolupráca a štandardizácia sú nevyhnutné. „Európsky parlament vyzval na vytvorenie európskej agentúry pre robotiku a AI a požiadal Komisiu, aby predložila návrh legislatívneho nástroja o právnych otázkach súvisiacich s vývojom a používaním robotiky a AI” [10]. Koordinovaný prístup znižuje fragmentáciu.

Vzdelávanie a rekvalifikácia sú kľúčové pre prispôsobenie sa zmene. „Títo vodiči budú potrebovať rekvalifikáciu, aby si našli inú prácu” [10]. Transformácia pracovného trhu si vyžaduje aktívne opatrenia v oblasti vzdelávania a odbornej prípravy.

Budúci výskum by sa mal sústrediť na komplexné riešenia. „Existujúci výskum sa väčšinou zameriava na špecifické subsystémy a technológie... budúci výskum by sa mal zamerať na vývoj univerzálneho veľkého modelu, ktorý integruje tieto tri AIGC technológie a koordinuje štyri subsystémy ITS” [12].

Záver

Integrácia AI do dopravy predstavuje proces s možnosťami pre efektivitu, bezpečnosť a udržateľnosť, ale aj s výraznými výzvami. Táto práca poskytla prehľad stavu, technológií a aplikácií AI vo všetkých dopravných odvetviach.

Hlavný prínos AI spočíva v schopnosti spracovať veľké objemy dát v reálnom čase, čo umožňuje:

- **Optimalizáciu prevádzky** adaptívnym riadením premávky a inteligentným plánovaním
- **Zvýšenie bezpečnosti** systémami na predikciu nehôd a podporu autonómnych systémov
- **Zlepšenie komfortu** personalizovanými službami a znížením zápch

Napriek potenciálu existujú kritické bariéry:

1. **Technologické:** Spoľahlivosť systémov, kvalita dát a kybernetická bezpečnosť
2. **Regulačné:** Chýbajúci legislatívny rámec pre autonómne systémy a problematika zodpovednosti
3. **Etické:** Ochrana súkromia, „problém čiernej skrinky“ a dôvera verejnosti

Budúci vývoj by sa mal zamerať na adaptívne AI modely, medzinárodnú spoluprácu pri tvorbe noriem, vzdelávanie pracovnej sily a výskum pokročilých technológií ako LLM.

AI už nie je víziou, ale reálnym nástrojom, ktorý mení dopravu. Úspešná integrácia si vyžaduje komplexný prístup zohľadňujúci technické, etické a sociálne aspekty.

Zoznam referencií

- [1] Murad Alams, Joaquim Ferreira a José Fonseca. „Introduction to Intelligent Transportation Systems“. In: *Intelligent Transportation Systems: Dependable Vehicular Communications for Improved Road Safety* (2016), s. 1–17.
- [2] Tom B. Brown et al. „Language Models are Few-Shot Learners“. In: *Advances in Neural Information Processing Systems* 33 (2020), s. 1877–1901.
- [3] Ian J. Goodfellow et al. „Generative Adversarial Nets“. In: *Advances in Neural Information Processing Systems* 27 (2014), s. 2672–2680.
- [4] Jonathan Ho, Ajay Jain a Pieter Abbeel. „Denoising Diffusion Probabilistic Models“. In: *Advances in Neural Information Processing Systems* 33 (2020), s. 6840–6851.
- [5] Jun Chen, Shuai Lu a Li Zhong. „An autonomous intelligent liability determination method for minor accidents based on collision detection and large language models“. In: *Applied Sciences* 14.17 (2024), s. 7716.
- [6] Sikai Chen et al. *Artificial Intelligence in Transportation*. Final Report 0092-24-14. WisDOT Research & Library Unit. University of Wisconsin-Madison a University of Wisconsin-Milwaukee, 2025.
- [7] J.-S. Kang, K. Chung a E. J. Hong. „Multimedia knowledge-based bridge health monitoring using digital twin“. In: *Multimedia Tools and Applications* 80.26–27 (2021), s. 34609–34624. DOI: 10.1007/s11042-021-10649-x.
- [8] Chenxi Liu et al. „Spatial-temporal large language model for traffic prediction“. In: *arXiv preprint arXiv:2401.10134* (2024).
- [9] Rodolfo I. Meneguette, Robson E. De Grande a Antonio A. F. Loureiro. „Intelligent Transportation Systems“. In: *Intelligent Transport System in Smart Cities: Aspects and Challenges of Vehicular Networks and Cloud* (2018), s. 1–21.
- [10] Maria Niestadt et al. *Artificial intelligence in transport: Current and future developments, opportunities and challenges*. Briefing PE 635.609. European Parliamentary Research Service (EPRS), 2019.
- [11] Andrea Pompigna a Raffaele Mauro. „Smartroads: A state of the art of highways innovations in the Smart Age“. In: *Engineering Science and Technology, an International Journal* 25 (2022), s. 100986.
- [12] Rui Rong et al. „Generative artificial intelligence in intelligent transportation systems: A systematic review of applications“. In: *Frontiers of Engineering Management* 12.4 (2025), s. 1020–1036. DOI: 10.1007/s42524-025-4241-9.
- [13] Ashish Vaswani et al. „Attention is All You Need“. In: *Advances in Neural Information Processing Systems* 30 (2017), s. 5998–6008.

- [14] Xin Wang et al. „Parallel driving with big models and foundation intelligence in cyber-physical-social spaces“. In: *Research* 7 (2024), s. 0349.
- [15] Hao Xu et al. „Leveraging generative AI for urban digital twins: a scoping review on the autonomous generation of urban data, scenarios, designs, and 3D city models for smart city advancement“. In: *Urban Informatics* 3.1 (2024), s. 29.
- [16] Ou Zheng et al. „ChatGPT is on the horizon: Could a large language model be all we need for intelligent transportation?“ In: *arXiv preprint arXiv:2303.05382* (2023).
- [17] Xin Zhou a Alois C. Knoll. „GPT-4V as traffic assistant: An in-depth look at vision language model on complex traffic events“. In: *arXiv preprint arXiv:2402.02205* (2024).

Upozornenie o používaní AI

V tejto práci boli vygenerované úvod, abstrakt a záverečná časť s pomocou veľkého jazykového modelu DeepSeek. Obsahová štruktúra, citácie a analytická časť práce (kapitoly 2-4) sú výsledkom vlastnej práce autora a analýzy zdrojov.