

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	4
1.1 Historický kontext a vývoj	4
1.2 Klúčové oblasti aplikácie AI v doprave	4
1.2.1 Manažment dopravných aktív	4
1.2.2 Dopravná bezpečnosť	5
1.2.3 Dopravné operácie	5
1.2.4 Autonómne vozidlá	5
1.2.5 Digitálne dvojčatá	5
1.2.6 Generatívna AI	5
2 Technologické aspekty AI v doprave	6
2.1 Klúčové technologické modely	6
2.1.1 Symbolická vs. dátovo-riadená AI	6
2.1.2 Techniky strojového a hlbokého učenia	6
2.2 Generatívna AI a veľké jazykové modely	6
2.2.1 Architektúra Transformers a LLM	6
2.2.2 GAN a difúzne modely	7
2.3 Integrácia AI do subsystémov ITS	7
2.3.1 Dialóg a uvažovanie	7
2.3.2 Predikcia a rozhodovanie	7
2.3.3 Multimodálna generácia	7
2.4 Technologická infraštruktúra	7
2.4.1 Senzory a IoT	7
2.4.2 Edge a cloud computing	7
2.4.3 Komunikačné technológie	7
3 Aplikácie AI v dopravných systémoch	8
3.1 Cestná doprava	8
3.1.1 Autonómne vozidlá	8
3.1.2 Riadenie premávky	8
3.2 Železničná doprava	8
3.2.1 Automatizácia prevádzky vlakov (ATO)	9
3.2.2 Európsky systém riadenia železničnej premávky (ERTMS)	9
3.2.3 Prediktívna údržba	9
3.3 Letecká doprava	9
3.3.1 Riadenie letovej prevádzky (ATM)	9
3.3.2 Letiskové operácie a bezpečnosť	9
3.3.3 Výskumné projekty EÚ	9

3.4	Námorná doprava, plavba a prístavy	10
3.4.1	Autonómna plavba	10
3.4.2	Inteligentné prístavy	10
3.4.3	Optimalizácia prístavných operácií	10
3.4.4	Výzvy v námornej doprave	10
4	Výzvy a etické aspekty implementácie AI v doprave	11
4.1	Technické a bezpečnostné výzvy	11
4.2	Legislatívne a regulačné výzvy	11
4.3	Etické problémy	11
4.4	Sociálno-ekonomicke dopady	12
4.5	Budúce smerovanie a riešenia	12
Záver		13

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-ekonomickej 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 algoritnoch 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 pre-skúmať 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 sústredí na šesť hlavných domén, ktoré sú identifikované ako kľúčové pre transformáciu dopravných systémov:

1.2.1 Manažment dopravných aktív

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

údržbu a optimalizáciu zdrojov” [6]. „Štúdie ukazujú, že AI techniky ako počítačové videenie a hlboké učenie môžu detektovať 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 rýchlosťí” [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 Äutonomous 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 dvojčata

„Digitálne dvojčata sú virtuálnymi replikami fyzických aktív alebo systémov, ktoré využívajú údaje v reálnom čase na simuláciu, analýzu a optimalizáciu operácií” [6]. „Washington State Department of Transportation (WSDOT) vyvinul digitálne dvojča plávajúceho mosta I-90, čo viedlo k vylepšenému monitorovaniu konštrukcie a odhadovanému návratu investícii až 2000%” [6].

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 summarizáciu 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“ [9]. „Dátovo-riadená AI, využívajúca strojové učenie a analýzu veľkých dát, umožňuje objavovať vzory a robiť predikcie, čo z nej urobilo jadro moderných ITS“ [9].

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“ [11].

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) revolucionalizoval spracovanie sekvenčných dát pomocou attention mechanizmu“ [12]. „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, 11, 15].

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, 11].

2.3 Integrácia AI do subsystémov ITS

„ITS pozostáva zo štyroch subsystémov: cestného, vozidlového, cestovateľského a riadiaceho“ [8, 1]. „AIGC sa do nich integruje cez tri oblasti: dialóg a uvažovanie, predikcia a rozhodovanie, a multimodálna generácia“ [11].

2.3.1 Dialóg a uvažovanie

„LLM vylepšujú komunikáciu v ITS. Inteligentní virtuálni asistenti vo vozidlách poskytujú personalizované navigačné pokyny“ [11]. „Zatiaľ čo automatická analýza nehôd urýchľuje určovanie príčin a zodpovednosti“ [5, 16].

2.3.2 Predikcia a rozhodovanie

„AI modely optimalizujú časovanie semaforov a dynamické smerovanie premávky“ [10]. „Pokročilé modely ako ST-LLM predpovedajú dopyt po prepravných prostriedkoch s vysokou presnosťou“ [7].

2.3.3 Multimodálna generácia

„AIGC generuje fotorealistické scenáre pre testovanie autonómnych vozidiel, čím zvyšuje bezpečnosť a efektivitu testovania“ [14, 13]. „Kombinácia s digitálnymi dvojčatami umožňuje simulovať vplyv dopravných opatrení“ [13].

2.4 Technologická infraštruktúra

2.4.1 Senzory a IoT

„Dopravné systémy sú nasýtené senzormi (kamery, radary, GPS), ktoré tvoria internet vecí a produkujú dátu pre AI analýzy“ [9].

2.4.2 Edge a cloud computing

„Edge computing umožňuje okamžitú analýzu priamo v zariadení, zatiaľ čo cloud computing poskytuje výkon pre trénovanie veľkých AI modelov“ [11].

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“ [9].

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“ [9].

3.1.1 Autonómne vozidlá

Vývoj autonómnych vozidiel je jednou z najprelomovejších aplikácií AI. „Autonómne vozidlá sú založené na rôznych senzoroch, ako sú GPS, kamery a radary, v kombinácii s aktuátormi, riadiacimi jednotkami a softvérom“ [9]. Niektoré technológie preberajú iba určité funkcie vodiča (ako parkovanie), zatiaľ čo iné sú určené na úplné nahradenie vodiča [9]. „Testovanie plne autonómnych vozidiel prebieha v obmedzenom počte jazdných situácií a oblastí“ [9].

3.1.2 Riadenie premávky

„AI technológie sa tiež uplatňujú pri riadení cestnej premávky, pomáhajúc analyzovať vzory premávky, jej objem a ďalšie faktory“ [9]. 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 prispôsobujú aktuálnym dopravným podmienkam“ [9].

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“ [9].

3.2.1 Automatizácia prevádzky vlakov (ATO)

„Jedným z najvýrečnejších príkladov využitia AI v železničnej technike je jej prínos k automatizácii prevádzky vlakov“ [9]. Medzinárodná elektrotechnická komisia stanovila štyri štandardné stupne automatizácie vlakov, pričom tretí stupeň zodpovedá bezvodičovej prevádzke a štvrtý autonómnej a neobsluhovanej prevádzke vlakov [9].

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“ [9]. Okrem zabezpečenia technickej kompatibility medzi národnými železničnými systémami môže ERTMS v kombinácii s ATO znížiť náklady železničných operátorov a spotrebú energie, ako aj zvýšiť rýchlosť, dochvíľnosť, bezpečnosť a kapacitu tratí [9].

3.2.3 Prediktívna údržba

„Pre železničných operátorov a manažérov infraštruktúry je schopnosť predvídať možné poruchy predtým, ako k nim dôjde, veľmi cenná“ [9]. „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“ [9].

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 počiatkoch“ [9].

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 objektov leteckej dopravy“ [9]. 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 [9].

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“ [9]. Použitie AI a veľkých dát sa pre letiská stáva čoraz dôležitejšie a používa sa na lepšiu analýzu dopytu na trhu, zlepšenie bezpečnostnej kontroly a prispôsobenie skúsenosti cestujúcich [9].

3.3.3 Výskumné projekty EÚ

„Spoločný podnik SESAR podporil množstvo výskumných projektov týkajúcich sa AI a riadenia leteckej dopravy“ [9]. Projekt INTUIT skúmal potenciál strojového učenia a

vizuálnej analytiky, zatiaľ čo projekt COPTRA sa zameral na predpovedanie trajektórií bližšie ku štartu alebo počas letu [9].

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” [9].

3.4.1 Autonómna plavba

„Hoci medzera medzi súčasnou situáciou a plne autonómnymi loďami je veľká, výskum a pilotné projekty autonómnej plavby pokračujú” [9]. 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 [9]. „Existuje tiež potenciál pre použitie autonómnych lodí v pobrežnej plavbe a na vnútrozemských vodných cestách” [9].

3.4.2 Inteligentné prístavy

„Použitie pokročilých digitálnych technológií v celom prostredí prístavu je známe ako koncept „inteligentného” alebo „smart” prístavu” [9]. „Medzi prístavy považované za najpokročilejšie v premenení na inteligentný prístav patria Singapore, Rotterdam, Tianjin a Dubaj” [9].

3.4.3 Optimalizácia prístavných operácií

„AI je len jednou z niekoľkých kľúčových technológií používaných v inteligentnom prístave” [9]. „V prístavných prevádzkových systémoch sa používa napríklad na plánovanie vybavenia prístavu (na optimalizáciu použitia žeriavov a vozidiel) a plánovanie dostupnosti kotvišť” [9]. „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%” [9].

3.4.4 Výzvy v námornej doprave

„Pre akékoľvek použitie AI sú zber, kvalita, konzistentnosť a objem dostupných údajov prvoradé” [9]. „Niektoré problémy s kvalitou a množstvom údajov vznikajú pri údajoch o výkone a navigácii lodí zhromažďovaných senzormi a systémami na získavanie údajov” [9]. „Údaje môžu byť chybné kvôli poruchám senzorov alebo ľudskej intervencii” [9].

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“ [9]. 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“ [9]. Úspešný útok môže mať katastrofálne následky.

Výskum generatívnej AI identifikuje ďalšie riziká. „AIGC je náchylné k problému „hallucinácií“, kde generovaný obsah nemusí zodpovedať skutočnosti“ [11]. 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“ [9]. Súčasné pravidlá predokladajú ľudského vodiča, čo sa mení s autonómnymi systémami.

EÚ aktívne pracuje na prispôsobení regulačného rámca. „V decembri 2018 Komisia zverejnila návrh etických smerníc AI a posudzuje, či sú národné a európske bezpečnostné a zodpovednostné rámce vhodné“ [9]. Harmónia medzinárodných predpisov je kľúčová pre globálnu implementáciu.

4.3 Etické problémy

Trolley problém v autonómnych vozidlach rozdeľuje odbornú verejnosť. „Keď čelia situáciám život verus život, otázka, ako by sa mal rozhodovať algoritmus AI v plne automatizovanom vozidle, rozdeľuje názory“ [9]. 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“ [9]. 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 zraniteľnosť alebo nepresné odpovede môžu viest k nehodám“ [11]. Ochrana duševného vlastníctva a ochrana súkromia sú ďalšie problémy.

4.4 Sociálno-ekonomicke dopady

AI mení štruktúru pracovného trhu v dopravnom sektore. „Predpokladá sa, že AI prispieje k vytvoreniu nových pracovných miest, zániku iných a zmene väčšiny“ [9]. 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“ [9]. 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“ [11]. 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“ [9]. Koordinovaný prístup znižuje fragmentáciu.

Vzdelávanie a rekvalifikácia sú kľúčové pre prispôsobenie sa zmene. „Títo vodiči budú potrebovať rekvalifikáciu, aby si našli inú prácu“ [9]. 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“ [11].

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 zápcch

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 zamierať 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] Chenxi Liu et al. „Spatial-temporal large language model for traffic prediction“. In: *arXiv preprint arXiv:2401.10134* (2024).
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] Ashish Vaswani et al. „Attention is All You Need“. In: *Advances in Neural Information Processing Systems* 30 (2017), s. 5998–6008.
- [13] Xin Wang et al. „Parallel driving with big models and foundation intelligence in cyber-physical-social spaces“. In: *Research* 7 (2024), s. 0349.

- [14] 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.
- [15] 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).
- [16] 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.