



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ

DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

**ZOBRAZENÍ LIDAROVÝCH, KAMEROVÝCH
A VEKTOROVÝCH DAT Z ŽELEZNIČNÍHO
MOBILNÍHO MAPOVACÍHO SYSTÉMU**

THESIS TITLE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ZUZANA MIŠKAŇOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ KLÍMA, Ph.D.

BRNO 2025

Zadání bakalářské práce



164356

Ústav: Ústav počítačové grafiky a multimédií (UPGM)
Studentka: **Miškaňová Zuzana**
Program: Informační technologie
Název: **Zobrazení lidarových, kamerových a vektorových dat z železničního mobilního mapovacího systému**
Kategorie: Uživatelská rozhraní
Akademický rok: 2024/25

Zadání:

1. Seznamte se možnostmi vizualizace obrazových a geometrických dat z mobilních mapovacích systémů.
2. Navrhněte uživatelský systém pro vizualizaci agregovaných dat ze senzorů umístěných na čele vlaku včetně vektorových mapových dat.
3. Navržený systém implementujte v podobě uživatelské aplikace v prostředí Python s využitím existujících nástrojů a knihoven.
4. Proveďte experimenty s dodanými daty a vyhodnoťte vlastnosti a uživatelskou přívětivost aplikace.
5. Presentujte dosažené výsledky.

Literatura:

Dle doporučení vedoucího.

Při obhajobě semestrální části projektu je požadováno:

Body 1, 2 a částečně 3.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování práce viz <https://www.fit.vut.cz/study/theses/>

Vedoucí práce: **Klíma Ondřej, Ing., Ph.D.**
Vedoucí ústavu: Černocký Jan, prof. Dr. Ing.
Datum zadání: 1.11.2024
Termín pro odevzdání: 14.5.2025
Datum schválení: 12.11.2024

Abstrakt

Do tohoto odstavce bude zapsán výtah (abstrakt) práce v českém (slovenském) jazyce.

Abstract

Do tohoto odstavce bude zapsán výtah (abstrakt) práce v anglickém jazyce.

Kľúčové slová

vizualizácia dát, mračno bodov, Python, deck.gl, webové aplikácie, Dash

Keywords

data visualization, point cloud, Python, deck.gl, web applications, Dash

Citácia

MIŠKAŇOVÁ, Zuzana. *Zobrazení lidarových, kamerových a vektorových dat z železničního mobilního mapovacího systému*. Brno, 2025. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Ing. Ondřej Klíma, Ph.D.

Zobrazení lidarových, kamerových a vektorových dat z železničního mobilního mapovacího systému

Prehlásenie

Prehlasujem...

.....

Zuzana Miškaňová

23. januára 2025

Podakovanie

...

Obsah

Kapitola 1

Úvod

Kapitola 2

Vizualizácia dát z mobilných mapovacích systémov

[stručný popis, aké dáta produkujú m. m. s.]

2.1 Dierkový model kamery – teoretický základ zobrazenia

[...]

2.2 Existujúce možnosti zobrazenia dát z mobilných mapovacích systémov

[popis základných knižníc aj programov, ako napr. CloudCompare]

2.2.1 Riešenia dostupné v jazyku Python

Framework deck.gl a jeho nadstavba Pydeck

Javascriptový framework deck.gl je určený na zobrazovanie dát najmä na mapových podkladoch. Vyznačuje sa vysokou presnosťou a výkonnosťou. Pre akceleráciu využíva rozhrania WebGPU a WebGL2 [?].

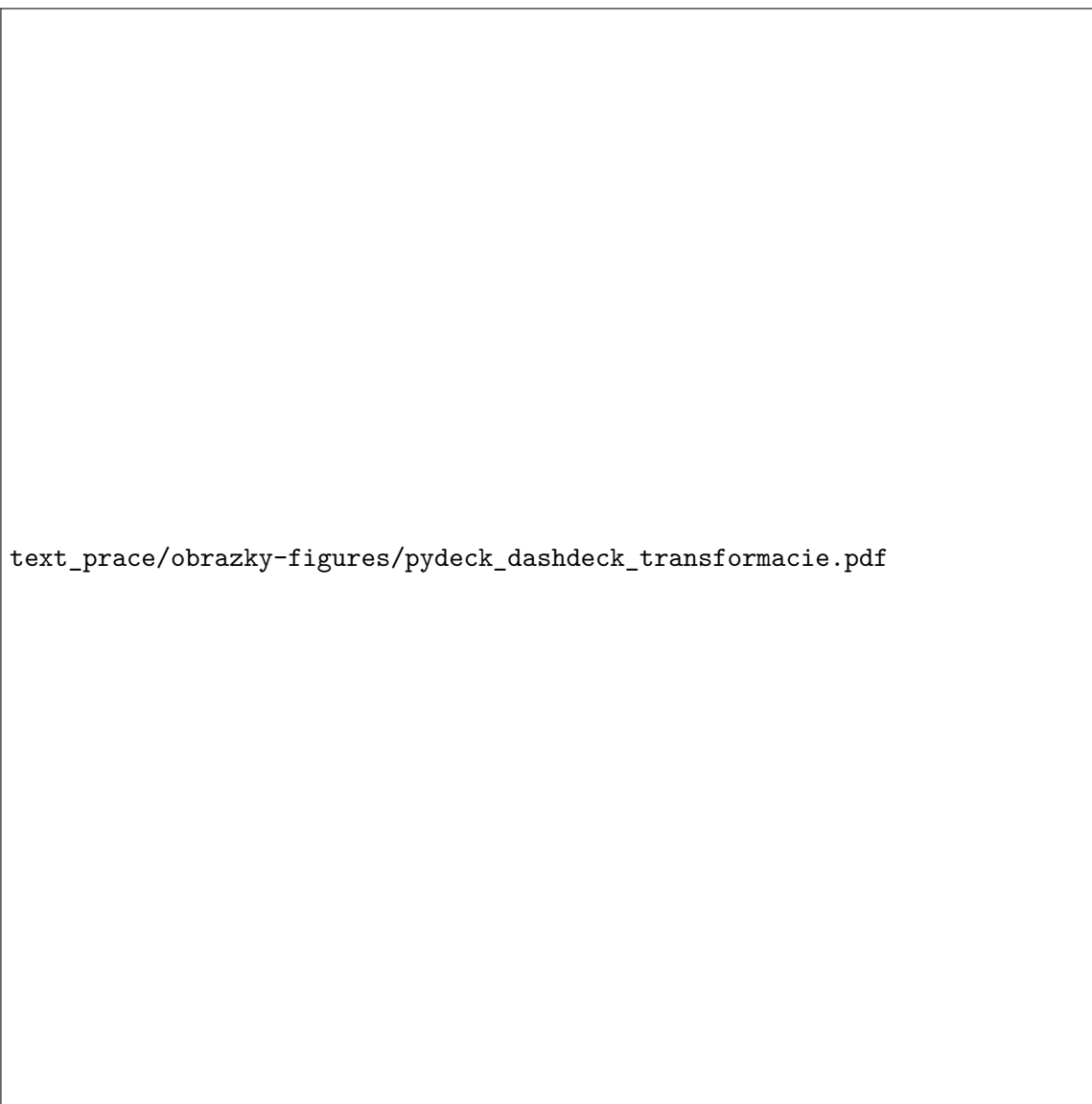
Vizualizácia dát v deck.gl sa skladá z dvoch základných častí:

- Vrstvy (**Layers**). Do vrstiev sa ukladajú zobrazované dáta. Framework deck.gl ponúka vyše 30 preddefinovaných typov vrstiev. Pre túto prácu je významná najmä vrstva **PointCloudLayer**, ktorá je určená na zobrazenie mračna bodov, a vrstva **LineLayer**, ktorá je určená na zobrazenie čiar.
- Pohľad (**View**). Definuje vlastnosti kamery, napríklad zorné pole a prednú a zadnú orezávaciu rovinu (*near plane* a *far plane*). Časť **ViewState** určuje polohu a smer pohľadu kamery. Typ pohľadu definuje spôsob interakcie vizualizácie s používateľom, napríklad pre zobrazenie trate z pohľadu strojevedúceho je ideálny typ **FirstPersonView**.

Napriek tomu, že je framework deck.gl primárne určený pre použitie v Javascripte, je možné ho použiť aj v jazyku Python, a to pomocou knižnice **Pydeck**. Tá je pomerne jednoduchá a podstatou jej činnosti je, že prevedie kód napísaný v jazyku Python do formátu

JSON. Framework `deck.gl` má totiž modul `@deck.gl/json`, ktorý prijíma reprezentáciu vizualizácie vo formáte JSON a transformuje ju do javascriptového kódu (na definície funkcií a `deck.gl` objektov)¹.

Knižnica `Pydeck` je dobrým prostriedkom na vytvorenie jednoduchých vizualizácií, s ktorými môže používateľ interagovať pohybmi myši. Jej možnosti sú však oproti pôvodnému frameworku `deck.gl` veľmi obmedzené. Nie je však vhodná na vytváranie zložitejších animácií s veľkým množstvom dát, pretože sa aj po tej najmenej zmene musia dáta a definícia vizualizácie nanovo prevádzať do formátu JSON a následne na javascriptový kód (obrázok ??), čo je veľmi časovo náročné.



Obr. 2.1: Schéma vzťahov medzi technológiami `Pydeck`, `Dash Deck` a `deck.gl`.

¹Ukážka rozhrania modulu `@deck.gl/json` je na <https://deck.gl/playground>.

2.3 Frameworky pre tvorbu interaktívnej webovej aplikácie v jazyku Python

Porovnanie frameworkov Streamlit a Dash

Streamlit a Dash sú frameworky, ktoré majú rovnaké zameranie: oba slúžia na tvorbu webových aplikácií pre prácu s dátami (*data apps*) v jazyku Python. Dash je oproti Streamlitu na nižšej úrovni abstrakcie, pretože sám o sebe nemá žiaden vizuálny štýl a mnohé jeho komponenty sa priamo mapujú na HTML elementy, napríklad `dash.html.Div` a `dash.html.H1` [?][?].

Oba frameworky majú podporu pre Pydeck, u Streamlitu je priamo k dispozícii element `st.pydeck_chart` a k Dashu má na tento účel vytvorenú prídavnú knižnicu **Dash Deck**. Ukázalo sa však, že `st.pydeck_chart` podporuje iba pohľad `MapView`, ktorý je určený na zobrazenie dát na mape a nedá sa použiť na perspektívne zobrazenie bodov v trojrozmernom priestore.

Dash Deck má navyše tú výhodu, že umožňuje vynechať Pydeck a definovať zobrazenie pomocou slovníkov so štruktúrou zodpovedajúcou tej, ktorú vyžaduje modul `@deck.gl/json`, čo je znázornené na obrázku ???. To trochu zefektívni vykonávanie zmien vo vizualizácii, keďže taká reprezentácia umožní jednoduchšie vykonávanie úprav.

Popis frameworku Dash

[...]

Kapitola 3

Návrh aplikácie pre vizualizáciu dát z železničného mobilného mapovacieho systému

Cieľom tejto práce je vytvoriť používateľskú aplikáciu. Výsledná aplikácia by mala byť webová, aby ju bolo možné spustiť jednoducho pomocou webového prehliadača. Mala by spĺňať nasledujúce body:

- Zobrazenie dát z mobilného mapovacieho systému. Tieto dáta sú tvorené mračnom bodov, kamerovým záznamom, vektorovými dátami a údajmi o pohybe vlaku a mali by byť zobrazené z pohľadu strojvedúceho vlaku.
- Umožniť používateľovi vybrať si konkrétnu pozíciu vlaku aj prehrať si animáciu pohybu vlaku.
- Umožniť používateľovi nahrať súbory s dátami na zobrazenie: súbor s mračnom bodov, video z kamery na čele vlaku, súbor s vektorovými dátami, textové súbory s údajmi o pohybe vlaku - pole translácií a pole rotácií.
- Poskytnúť používateľovi možnosti prispôsobenia zobrazenia, ako napríklad zmeny viditeľnosti jednotlivých vrstiev (mračno bodov, vektorové dáta, kamerový záznam) a základné nastavenia zobrazenia mračna bodov (rôzne farebné škály podľa intenzity, veľkosť a priehľadnosť bodov, zobrazenie bodov len do určitej vzdialenosti) aj vektorových dát (farba a hrúbka čiar). Užitočná by bola aj možnosť doladiť parametre zobrazovania mračna bodov a vektorových dát (posun aj otočenie kamery doprava/dolava, nahor/nadol, ohnisková vzdialenosť), aby bolo možné toto zobrazenie prispôbiť záznamu z kamery. Kamera totiž môže byť na vlaku rôzne umiestnená a údaje z nej môžu byť oproti údajom z mračna bodov posunuté.
- Zobrazovať prejazdný profil vlaku v istej vzdialenosti pred vlakom a umožňovať prehrať animáciu jeho pohybu (podľa vektorových údajoch o koľajniciach).
- Detekovať prekážky na trati.
- Umožňovať kolorizáciu mračna bodov podľa kamerového záznamu.

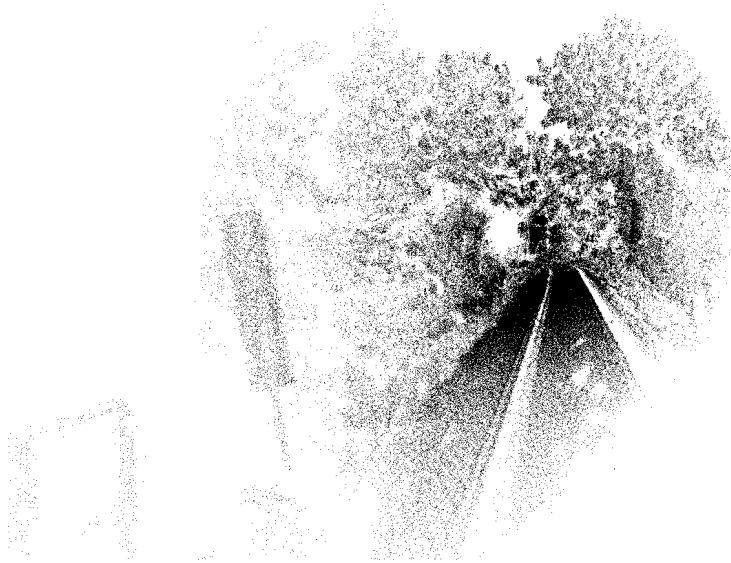
3.1 Návrh používateľského rozhrania

[návrh vrátane popisu zvolených farebných škál]

Kapitola 4

Implementácia navrhnutej aplikácie

Prvou fázou implementácie bolo napísanie skriptu v jazyku Python, ktorý vykresľoval mračno bodov bez použitia špeciálnych knižníc či frameworkov. K dispozícii pritom bola jedna sada ukážkových dát, ktorá sa skladala z mračna bodov, kalibračnej matice a postupnosti translácií a rotácií, ktoré predstavovali pohyb vlaku po trati. Mračno bodov obsahovalo 201 880 bodov s intenzitou od 0 do 42 a bolo definovaných 500 polôh vlaku. K tomu boli dodané obrázky, ktoré ukazovali, ako by mal vyzerat výsledok zobrazenia (obrázok ??).



Obr. 4.1: Referenčný obrázok, ktorý bol dodaný na začiatku práce spolu s mračnom bodov a údajmi o pohybe kamery v ňom. Obrázok je tu pre lepšiu viditeľnosť s invertovanými farbami a zväčšeným kontrastom.

Cieľom tejto prvotnej fázy bolo najmä oboznámenie sa s dátami a základnými princípmi vykresľovania bodov. Výsledky, ktoré sa nakoniec podarilo dosiahnuť, boli podobné referenčným obrázkom, aj keď nie úplne identické. Ukázalo sa, že údaje o pohybe kamery majú iný súradnicový systém ako mračno bodov (líšilo sa poradie os) a že je potrebné pri-

dať isté posunutie a otočenie, aby sa výsledky podobali referenčným obrázkom (posunutie kamery do stredu vlaku, podľa dodaných dát bola naľavo od stredu).

Ďalej už nasledovala práca s existujúcimi knižnicami a frameworkami v jazyku Python. Prvotným plánom bolo použiť knižnicu Pydeck (pre vizualizáciu dát) s frameworkom Streamlit (pre tvorbu GUI). Pydeck bol zvolený preto, že je nadstavbou nad javascriptovým frameworkom deck.gl, ktorý na vykresľovanie dát využíva grafickú kartu a má dobrú výkonnosť. Ukázalo sa však, že Streamlit nepodporuje Pydeck v plnej miere, a teda sa nedá využiť. Preto bol namiesto Streamlitu použitý framework Dash, ktorý už mal podporu pre Pydeck dostatočnú.

Pomocou tohto frameworku bola vytvorená jednoduchá webová aplikácia zobrazujúca ukážkové dáta a umožňujúca základné nastavenia vzhľadu. Do tejto aplikácie bolo zahrnuté aj zobrazovanie kamerového záznamu, pre tento účel bolo provizórne použité video z prejazdu tej istej trate natočené v roku 2012. Pri tom sa zistilo, že vykresľovanie dát pomocou kombinácie knižníc Pydeck a Dash Deck tak, ako je to vo vzorových príkladoch v dokumentácii knižnice Dash Deck, je značne neefektívne. Jedno vykreslenie mračna bodov zaberalo zhruba 3 sekundy, čo bolo spôsobené transformáciami medzi rôznymi formátmi, ako to bolo popísané v sekcii ??.

Tento čas sa podarilo významne zredukovať použitím knižnice Dash Deck bez knižnice Pydeck. Výsledok však stále nebol dosť dobrý na to, aby mohla hladko bežať animácia pohybu vlaku, a ani napriek rôznym pokusom sa ho už nepodarilo v rámci tejto kombinácie technológií vo významnejšej miere vylepšiť. Čas vykreslenia mračna bodov bol pritom úmerný počtu bodov a príčina neefektivity bola v spôsobe implementácie knižnice Dash Deck. Na výkonnosť malo navyše vplyv aj zobrazovanie videa. Bolo preto rozhodnuté optimalizovať vykresľovanie dát vynechaním knižnice Dash Deck a použitím frameworku deck.gl priamo z jazyka Javascript.

4.1 Optimalizácia vykresľovania mračna bodov priamym použitím jazyka JavaScript

Pythonový framework Dash interne používa na vytváranie používateľského rozhrania JavaScript, konkrétne framework React [?]. Jeho tvorcovia ráтали s tým, že vývojári, ktorí ho budú používať, budú niekedy chcieť priamo použiť javascriptový kód. Preto to tento framework umožňuje viacerými spôsobmi:

- Klientske callbacky. Podobajú sa tým štandardným, ale na rozdiel od nich bežia iba na klientovi a píšú sa v jazyku JavaScript. Štandardné callbacky bežia na serveri a píšú sa v Pythone.
- Skripty v jazyku JavaScript, ktoré je možné pripojiť k generovanej HTML stránke. Spustia sa automaticky pri otvorení stránky v prehliadači.
- Vytváranie vlastných komponentov používateľského rozhrania pomocou frameworku React.

V tejto práci bola pre jednoduchosť využitá prvá a druhá možnosť. Bol napísaný skript `visualisation.js`, v ktorom sú definované funkcie pre zobrazenie a zmeny zobrazenia dát pomocou deck.gl. Odkazy na tieto funkcie sú potom priradené do objektu `window`, aby bolo možné volať ich z klientskych callbackov. Tento objekt teda tvorí rozhranie skriptu `visualisation.js`, ktoré je využívané zvyškom kódu aplikácie.

Pre správne pripojenie zdrojových kódov frameworku deck.gl k javascriptovému kódu tak, aby mohol fungovať v rámci aplikácie napísanej vo frameworku Dash, je nutné použiť bundler. V rámci tejto práce bol použitý bundler Webpack. Výstupnému skriptu je potrebné nastaviť príponu `.mjs`, aby ho Dash spustil ako modul.

Výkonnosť vykresľovania mračna bodov pred a po optimalizácii je vzhľadom na riadenie animácie pomocou komponentu `Interval` pomerne ťažké určiť. Ten má síce podľa dokumentácie zabezpečovať periodické volanie funkcií, ale v praxi sa ukázalo, že jeho presnosť nie je veľká a navyše animáciu spomaľuje, pretože funguje na základe komunikácie medzi klientom a serverom. Preto by bolo vhodné ho niečím nahradiť, napríklad riadením animácie v Javascripte iba na klientskej strane.

Nastavenie parametra <code>interval</code> [ms]	Čas, za ktorý prebehla celá animácia (500 snímok) [s]	Priemerný čas vykreslenia jedného snímku [ms]

Tabuľka 4.1: Výkonnosť vykresľovania mračna bodov obsahujúceho 201 880 bodov pred optimalizáciou, teda iba pomocou kódu v jazyku Python. Použité technológie: Python, Dash, Dash Deck.

Nastavenie parametra <code>interval</code> [ms]	Čas, za ktorý prebehla celá animácia (500 snímok) [s]	Priemerný čas vykreslenia jedného snímku [ms]

Tabuľka 4.2: Výkonnosť vykresľovania mračna bodov obsahujúceho 201 880 bodov po optimalizácii, teda iba pomocou vloženia kódu v jazyku Javascript. Použité technológie: Python, Dash, Javascript, deck.gl.

4.2 Experimenty a vyhodnotenie výsledkov

Kapitola 5

Záver