

Ako vyhľadávajú Google Maps*

Adrián Maslák

Slovenská technická univerzita v Bratislave
Fakulta informatiky a informačných technológií
xmaslaka@stuba.sk

16. December 2023

Abstrakt

Google Maps je sofistikovaný systém máp priamo v našich zariadeniach ktorý nám umožňuje nájsť nové miesta, získať pokyny na prepravu z bodu A do bodu B. Pomôcka ktorú každodenne používa viac než miliarda používateľov. Aplikácia Google Maps je písaná v jazykoch C++, JavaScript, XML a AJAX. Na vypočítanie najkratšej trasy sú použité dva algoritmy, Dijkstrov algoritmus a A* algoritmus ktoré sú najrýchlejšie a najefektívnejšie pri hľadaní najkratšej trasy v grafoch, kde si môžeme cesty predstaviť ako jeden graf. Do týchto vyhľadávaní zasahujú aj reálne faktory ako hustota premávky alebo počasie. Vďaka dlhému vývoju nám táto aplikácia umožňuje nájsť aj alternatívne trasy a všetky dopravné obmedzenia. Článok končí objasnením fungovania tohto komplexného systému, spresnením využitých funkcií a algoritmov.

Témou tohto článku je vyhľadávanie Google Maps. Google maps je každodenná pomôcka miliónov používateľov a preto treba objasniť ako to celé vlastne funguje. Pod pojmom fungovania máme na mysli systém vďaka ktorému môžeme využívať náš prenosný atlas, ktorý nás dostane z bodu A do bodu B. Celkovo sa článok zameriáva na vyhľadávacie algoritmy ale aj na vplyv premávky a udalostí v reálnom čase na vyhľadanie najkratšej, najrýchlejšej a najefektívnejšej trasy. Z pohľadu laika možno sa to zdá ako zanedbateľná vec, ale pre obecnosť s technickým zameraním to je komplexné riešenie ktoré zahŕňa enormné množstvo úsilia, pozornosti a logického myslenia.

1 Úvod

[11] Google Mapy sú jednou z najväčších inovácií v histórii technológie. [6]

Príchod tejto aplikácie od giganta v technologickom svete Google Inc. Google Mapy umožňujú používateľom hľadať najkratšie a najefektívnejšie trasy do ich destinácie. Google Mapy získali takmer 70 miliónov používateľov. [2] Postupom času boli pridané mnohé funkcie okrem navigácie. Technológia a algoritmy použité v tomto systéme sú veľmi pokročilé. [12] Google uchováva a analyzuje nespočetné množstvo dát vrátane historických údajov a údajov ktoré prebiehajú v reálnom čase, to je čo robí Google Mapy neskutočne progresívne a presné.

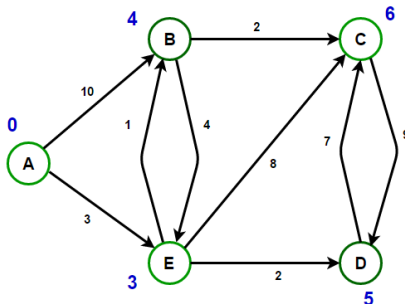
*Semestrálny projekt v predmete Metódy inžinierskej práce, ak. rok 2023/24, vedenie: Vladimír Mlynarovič

2 Google Maps: Použité algoritmy

Google Maps, ako jedna z najpopulárnejších a najpoužívanějších navigačných aplikácií na svete, poskytuje užívateľom detailné mapy, presné navigačné pokyny a cenné dopravné informácie. Za týmto úspechom stojí široké spektrum sofistikovaných algoritmov a technológií, ktoré pracujú v pozadí, aby zabezpečili, že každá cesta je čo najefektívnejšia a najbezpečnejšia. [3] Tieto algoritmy sú základom Google Maps a umožňujú aplikácii riešiť rôzne výzvy, ako sú plánovanie trás, predpovedanie a riadenie dopravy, ako aj rýchla adaptácia na meniace sa podmienky v reálnom čase. Vďaka pokročilým výpočtovým metódam a masívnemu využitiu dát Google Maps dokáže efektívne spracovávať a analyzovať obrovské množstvo informácií, čo z neho robí mimoriadne presný a užívateľsky prívetivý nástroj.

2.1 Dijkstrov algoritmus

Je to veľmi efektívny algoritmus vynájdený Edsger W. Dijkstrom v roku 1956. [5] Tento algoritmus sa používa pri hľadaní najkratšej trasy medzi bodmi v ohodnotených grafoch. Komplexnosť riešenia tohto grafu vieme vyjadriť ako $\theta((V + E) \log V)$



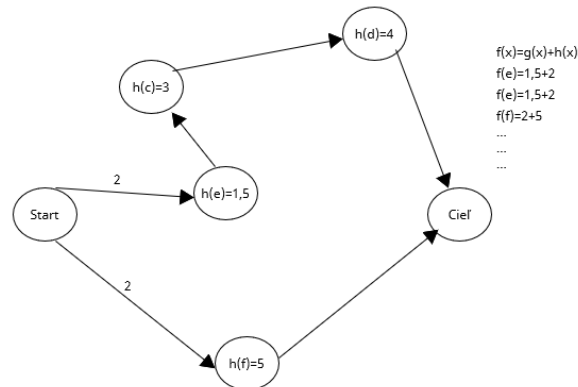
Obr. 1: Dijkstrov Algoritmus

Google Maps zapájajú grafové dátové štruktúry na výpočet najkratšej trasy zo zdroja (bod A) do cieľovej destinácie (bod B). Grafová analýza obsahuje mnoho bodov a hrán cez ktoré tento algoritmus putuje a nachádza najkratšiu trasu. Aj keď je tento algoritmus jeden z najpopulárnejších, enormné množstvo bodov a hrán môže zapríčiniť zlyhanie v dôsledku predĺženia času alebo nedostatku pamäte. Drastické zväčšovanie grafu limituje efektívnosť algoritmu. [10] **Dijkstrov algoritmus** je základom teórie grafov, bol kľúčovým bodom na vývoj digitálnych navigačných systémov. Zatiaľ čo aktuálne algoritmy používané Google Maps sú omnoho viac komplexnejšie. Dijkstrovo dedičstvo vo vyhľadávaní najkratšej trasy je stále nepopierateľné. Je to klasický prípad ako teoretické koncepty počítačových vied prenikajú do praktického sveta s obrovským vplyvom na naše životy.

2.2 A* algoritmus

A* Algoritmus je flexibilný, viac efektívny. Tento algoritmus patrí do skupiny heuristických 8 algoritmov. Google Maps ho momentálne používajú na hľada-

nie najkratšej trasy. Dokáže prijať väčšie grafy, čo je výhoda oproti Dijkstrovmu algoritmu. A* algoritmus je široko používaný algoritmus, keďže používa a kombinuje informácie z iných algoritmov. Vzhľadom na to, že A* poskytuje rýchle a optimalizované riešenia, je ideálny pre real-time aplikácie ako Google Maps, kde užívatelia očakávajú rýchle a presné navigačné pokyny. Komplexnosť riešenia tohto grafu vieme vyjadriť ako $\theta(b^d)$



Obr. 2: A* Algoritmus

1. Inicializácia

- Algoritmus začína s otvoreným zoznamom, kde je začiatkový uzol a s prázdny zatvoreným zoznamom.

2. Výber hrany

- Algoritmus vyberie uzol z otvoreného zoznamu s najnižšou hodnotou

$$f(x) = g(x) + h(x)$$

- $g(x)$:- Cena cesty od štartovacieho bodu k danému uzlu a
- $h(x)$:- Odhadovaná hodnota do cieľa z bodu n. - Heuristická časť algoritmu.
- $f(x)$:- Celková vyčíslená hodnota každého bodu.

3. Opakovanie

- Pre každého suseda vybraného uzla sa vypočíta hodnota $f(x)$ a ak nie je v otvorenom zozname, pridá sa do neho.
- Tento proces sa opakuje, kým algoritmus nenájde cieľový uzol alebo kým otvorený zoznam neostane prázdny (čo znamená, že cesta neexistuje).

4. Výstup

- Keď sa dosiahne cieľový uzol, algoritmus rekonštruuje cestu od cieľa späť k počiatočnému bodu (cesta sa obvykle ukladá prostredníctvom odkazov na rodičovské uzly). Výsledkom je najkratšia odhadovaná trasa.

Celková váha vypočítaná algoritmom by nemala byť preceňovaná, keďže ide o heuristický algoritmus. Teda váha grafu, cesta po hranách z bodu A do bodu B má byť rovnaká alebo väčšia ako odhad váhy grafu. Narozdiel od iných algoritmov sa tento zaoberá priamo na cieľovú destináciu (bod B). Zvyšné body a hrany neberie do úvahy. Taktiež berie do úvahy parametre ako časové požiadavky, vzdialenosť, optimalizáciu a vyberanie lepšej trasy.

2.3 Porovnanie

V súčasnej dobe sa pri vývoji aplikácií ako Google Maps čoraz viac kládne dôraz na efektívnosť a presnosť pri hľadaní trás. Dve základné techniky, ktoré sa pri tom používajú, sú Dijkstrov algoritmus a A* algoritmus. Každý z týchto algoritmov má svoje špecifické vlastnosti a použitie, ktoré ich robia vhodnými pre rôzne druhy úloh v rámci navigačných systémov. Dijkstrov algoritmus je známy pre jeho presnosť a jednoduchosť, zatiaľ čo A* algoritmus vyniká svojou efektívnosťou v komplexných a rozsiahlych grafoch vďaka použitiu heuristických metód.

Faktor	Dijkstrov Algoritmus	A* Algoritmus
Funkcia	Najkratšia trasa	Odhad najkratšej trasy
Zložitosť	$O((V + E) \log V)$	$O(b^d)$
Použitie	Malé grafy	Veľké grafy
Nevýhody	Komplexné grafy	Závislý od heuristiky
Google Maps	Tradičné plánovanie ciest	Dynamické plánovanie ciest

Tabuľka 1: Porovnanie Dijkstrovho algoritmu a A* algoritmu

3 Street View

V roku 2007, [8] Google maps predstavilo novú funkciu s názvom Street View. Táto neskutočná inovácia sa osvedčila ako obrovský milník v histórii navigácie a GPS. Street View poskytuje 3-rozmerný, HD, panoramatický pohľad na dokumentované ulice, mestá, cesty a mnohé ďalšie oblasti priamo z vášho mobilného telefónu alebo počítača. Prekvapivo tieto záznamy sú manuálne vyhotovené tímom Google Maps pomocou auta vybaveným viackamerovou sústavou a ďalším potrebným vybavením. Tieto záznamy sú následne použité na generovanie street view.

Následne prichádza proces spájania týchto fotografií. Tieto fotografie sú snímávané v panoramatickom režime ktorý dokáže zachytiť širší uhol scenérie. Na spojenie fotografií tím Google Maps vytvoril nový algoritmus na základe optického toku, ktorého princípom je jemne deformovať každú z fotiek tak, aby sa medzi sebou prekrývali. Tento proces musí byť kontrolovaný a opakovaný niekoľko krát, aby nevznikali vizuálne anomálie. Na zjednodušenie procesu spájania fotografií ho môžeme rozdeliť na dva menšie kroky:



Obr. 3: Street View vybavenie

1. Optický tok

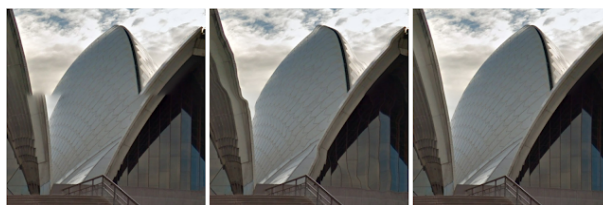
- Prvý krok je nájsť korešpondujúce pixely a ich lokáciu kde sa prekrývajú. Použitím algoritmov neskôr vypočítame optický tok z jedného obrázka na druhý. Toto poskytuje jemné a husté korespondenčné pole.



Obr. 4: Optický tok

2. Globálna optimalizácia

- Druhý krok je deformovať obrázky tak, aby sa súčasne zarovnávali s korešpondečnými bodmi z prekrývajúcich sa regiónov. Keď sú spájané do jednej veľkej panorámy, súprava deformovaných obrázkov by mala byť spojená korektne.

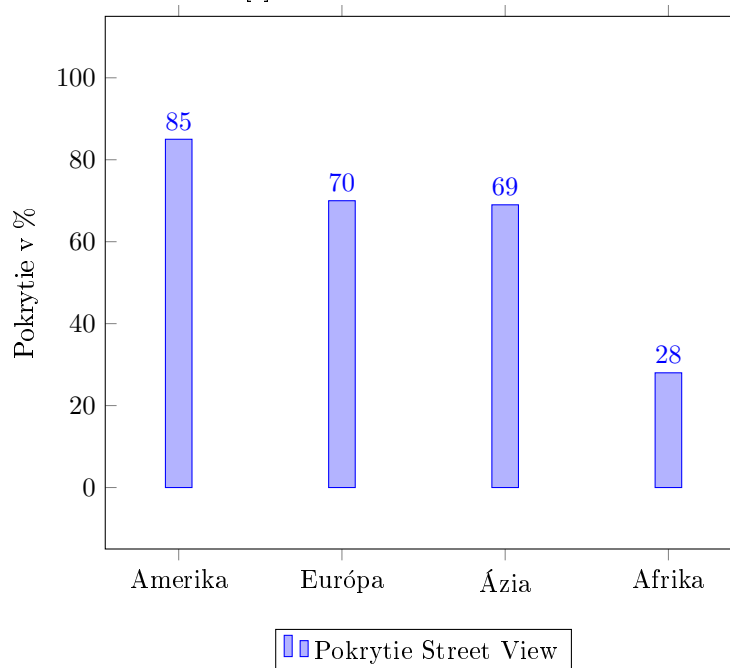


Obr. 5: Spajanie panorámy

4 Porovnanie pokrytia

Funkcia Street View funguje už od spomínaného roku 2007, po spustení sa masívne rozrástla na obrovský projekt mapovania zemegule. Avšak, miera pokrytia

Street View sa líši v rôznych regiónoch sveta, čo je ovplyvnené rôznymi faktormi, vrátane geografie, infraštruktúry a priorit spoločnosti Google. V nasledujúcom grafe porovnávame odhadované percentuálne pokrytie Street View na štyroch hlavných kontinentoch: Amerika, Európa, Ázia a Afrika. Toto porovnanie nám poskytuje prehľad o rozsahu a dosahu tohto technologického úsilia a ukazuje, ako digitálna dostupnosť a mapovanie majú nerovnomerné rozloženie na celom svete. Dôležité je poznamenať, že tieto údaje sú približné a môžu sa líšiť od aktuálnych podmienok. [1]



5 Analýza cestnej premávky

Google Mapy narozdiel od iných GPS a navigačných systémov používajú aktuálne dáta. [9] Čo umožňuje vyberať rýchlejšie trasy, vyhnúť sa dopravným obmedzeniam. Google Mapy analyzujú cestnú premávku kombináciou aktuálnych dát od používateľov a historických vzorov dopravnej situácie. Machine learning techniky ako grafové neurónové siete tieto predpovede spresňujú. Google Mapy taktiež zvažujú použitie smerodajných údajov od miestnych samospráv za účelom zlepšiť predpovede na základe dopravných podmienok ako stav cesty, maximálna povolená rýchlosť alebo nehodovosť určitých úsekov. Tieto rôznorodé dáta umožňujú odporúčiť najefektívnejšiu cestu ako aj predpovedať dopravné podmienky.

5.1 Predpoveď dopravnej situácie

Aplikácia zbiera dáta počas používania. Toto umožňuje aplikácií pochopiť aktuálnu dopravnú situáciu na cestách po celom svete. Síce tieto dáta umožňujú zistiť aktuálne predpoklady - či nás dopravná záпча obmedzí alebo nie- nedokážu predpokladať aká bude situácia za 10, 20 alebo aj 50 minút v našej ceste.

Na predpoveď premávky, Google používa historické údaje kombinované s aktuálnymi s využitím neurónových sietí. Tento proces slúži na presné generovanie odporúčaných alebo viac efektívnych trás alebo predpovede predpokladaného príchodu.

5.2 Detekovanie vzorov v doprave

Google Maps predikujú dopravu zapájaním algoritmov na spracovanie historických dát. Celý proces začína zbieraním enormného množstva anonymizovaných dát zo zariadení používateľov. Algoritmy analyzujú tieto dáta na detekovanie bežných vzorov v doprave, ako napríklad ranné zápchy. Tieto vzory sú kritické pre predikčné modely ktoré odhadujú ako sa premávka bude správať v budúcnosti. Avšak, nie vždy je premávka konzistentá. Google Maps taktiež identifikujú anomálie v premávke - nezvyčajné udalosti ako dopravné nehody alebo cestné uzávierky, učí sa z nich, aby vylepšilo presnosť svojich predikcií. Počas vývinu premávky sa tieto predikčné modely menia, zapájajú najaktuálnejšie dáta na zaistenie presnosti a spoľahlivosti predikcií.

6 Adaptácia k zmenám v doprave

Google Maps zhromažďuje anonymné dáta o polohe a rýchlosti od miliónov užívateľov, ktorí používajú aplikáciu. Tieto údaje poskytujú informácie o aktuálnych podmienkach na cestách, ako sú rýchlosť premávky a dopravné zápchy. Okrem dát od užívateľov Google Maps tiež zahŕňa informácie z rôznych externých zdrojov, vrátane dopravných kamer, správ od miestnych dopravných úradov a ďalších spoľahlivých zdrojov.

Google Maps využíva pokročilé algoritmy, ktoré analyzujú historické dáta o premávke a aktuálne podmienky na cestách na predpovedanie možných zápch a zmeny v premávke. Tieto predpovede umožňujú aplikácii poskytnúť alternatívne trasy, ak sa aktuálne podmienky zmenia. Keď aplikácia zistí, že na plánovanej trase vznikla dopravná záпча alebo iná prekážka, dokáže rýchlo navrhnúť alternatívne trasy, aby užívateľa dostala do cieľa čo najefektívnejšie.

Google Maps využíva techniky strojového učenia a neurónových sietí na analýzu veľkého množstva dát a na zlepšenie predpovedí dopravných vzorcov. Tieto technológie umožňujú aplikácii neustále sa učiť a zlepšovať svoje predpovede a odporúčania. Google Maps tiež umožňuje užívateľom hlásiť dopravné udalosti, ako sú nehody alebo uzávierky ciest. Tieto informácie sa môžu využiť na aktualizáciu stavu premávky a na zlepšenie presnosti navigácie pre ostatných užívateľov. Google Maps neustále čelí výzvam, ako sú rýchlo sa meniace podmienky, právne obmedzenia v niektorých krajinách a potreba presných a aktuálnych údajov.

7 Predpokladaný príchod

Najzákladnejšie a najviac podstatné kritérium pre Google Maps bolo predpovedať čas dosiahnutia zadanej lokácie. Na túto funkciu bol používaný A* algoritmus 2.2 ktorý pomáhal získať najkratšiu cestu zo začiatku do cieľa. Tento algoritmus však nebral do úvahy udalosti v reálnom čase, ako dopravná záпча alebo nehody. Na predídenie nesprávneho predpokladu začalo v roku 2007

Google zbierať mnohé data z mobilných zariadení v danom smere na všetkých možných trasách. Manipulovanie s týmito dátami pomohlo spresniť predpoklad, napríklad priemerná rýchlosť z akéhokoľvek zariadenia dokázala určiť najlepšiu trasu. Používateľ dokáže nájsť trasu pridaním zopár stopiek alebo vyhnutím sa frekventovaným križovatkám.

Bývalý inžinier z Googlu Richard Russell odpovedal na jednu otázku "Faktory ako oficiálne rýchlostné obmedzenia a odporúčaná rýchlosť sú zrejme odvodené od typov ciest, historických priemerných rýchlostí za určité obdobie, aktuálnych priemerných rýchlostí od používateľov a informácií z reálneho času. Sú mix rôznych dát ktoré pomáhajú predpovedať najlepšie ako sa dá."

To znamená, že kolekcia dát ako priemerná rýchlosť, odporúčaná rýchlosť pomáhajú analyzovať stav cestnej premávky a vypočítať predpoklad z bodu A do bodu B. 5 Historické dáta taktiež prispievajú analyzovať rôzne vzory a opakované sa scenáre medzi dvomi určitými bodmi. Kvôli zákonu o spracovávaní dát a ochrane spotrebiteľa však Google nemôže brať do úvahy osobnú rýchlosť používateľa, ale môže určiť príchod pomocou faktorou ako zostávajúca vzdialenosť, priemerná rýchlosť v reálnom čase s vplyvom aktuálnej premávky a iných. Google Maps sa môže chváliť, že s takmer 100 percentnou istotou dokázu presne predpokladať príchod používateľa do cieľovej destinácie.

8 Heuristický algoritmus

Heuristické algoritmy sú základom riešenia výpočtových problémov, najmä pri riešení zložitých problémov, kde su klasické metódy nepraktické z dôvodu časových alebo výpočtových obmedzení. [13] Pojem **heuristika** pochádza z gréckeho slova /grécke slovo/ - čo v preklade znamená nájsť, objaviť. Táto metóda spočíva v približnom riešení problémov. Prvý odhad sa postupom času zlepšuje na základe predošlých skúseností. Tento postup je schopný v niektorých prípadoch priniesť výsledok, aj keď neprebral všetky možnosti. Výsledok je spravidla vyjadrený dvoma spôsobmi. Buď ako kladný výsledok (odpoveď) alebo ako výrok neurčitosti. V porovnaní s exaktnými algoritmami, heuristické algoritmy často dosahujú rýchlejšie výsledky, najmä v prípadoch s veľkými dátovými množstvami alebo komplexnými problémami. [4] [7]

8.1 Heuristika v Google maps

Heuristické algoritmy sú navrhnuté tak, aby nám poskytli postačujúce riešenia v zmysluplnom časovom rozmedzí. Nie vždy sú schopné určiť absolútne najlepšiu trasu, ale nájdu veľmi dobrú trasu veľmi rýchlo a efektívne, čo je zásadné v reálnom čase.

A* Algoritmus: Google Maps pravdepodobne používa A* algoritmus alebo jeho varianty, ktoré kombinujú reálne náklady na dosiahnutie bodu (podobne ako Dijkstrov algoritmus) a heuristický odhad vzdialenosti od tohto bodu do cieľa. Táto heuristika umožňuje algoritmu efektívne navigovať v rozsiahlych grafoch a rýchlo nájsť optimálnu cestu.

Google Maps používa historické údaje o premávke na vytváranie modelov typických dopravných vzorcov v rôznych časoch a na rôznych miestach. Tieto modely slúžia ako heuristika na predpovedanie budúcich podmienok v doprave. Aplikácia kombinuje tieto historické modely s údajmi získanými v reálnom čase

(napríklad rýchlosť pohybu vozidiel na cestách) na poskytovanie presných a aktuálnych dopravných informácií. Na základe heuristických predpovedí a aktuálnych údajov Google Maps dokáže dynamicky prispôbiť navrhované trasy, aby reagoval na zmeny v doprave, ako sú dopravné zápchy, nehody alebo uzávierky ciest.

9 Záver

V tomto článku sme sa pozreli na rôzne techniky a algoritmy Google Maps. Ukázali sme, že aplikácia nie je len o jednoduchom navigovaní, ale využíva komplexné algoritmy, ako sú Dijkstrov algoritmus a A*, a tiež techniky strojového učenia. Toto všetko umožňuje aplikácii rýchlo reagovať na zmeny v premávke. Google Maps dokáže spracovať veľké množstvá dát z rôznych zdrojov, čo je skvelý príklad pokroku v oblasti informačných systémov a umelého inteligencia. Aplikácia tiež ukazuje, ako dôležité sú heuristické metódy pre rýchle a efektívne navigačné rozhodnutia. Napriek svojej sofistikovanosti, Google Maps neustále pracuje na zlepšovaní, aby poskytoval ešte lepšie a prispôbené služby svojim používateľom po celom svete.

10 Reakcia na témy z prednášok

Účasť na prvej prednáške mi otvorila nové perspektívy, ako vnímať a aplikovať technické znalosti a zručnosti v praxi. Tento koncept sa stal ešte relevantnejším pri písaní článku o Google Maps.

Inžinierska gramotnosť nie je len o hlbokých technických znalostiach, ale aj o schopnosti tieto znalosti aplikovať na riešenie komplexných problémov. Google Maps je príkladom aplikácie širokej škály inžinierskych disciplín – od algoritmov, ako sú Dijkstrov algoritmus a A* algoritmus pre výpočet trás, cez spracovanie veľkých objemov dát pre analýzu dopravy, až po vývoj intuitívneho užívateľského rozhrania.

Udržiateľnosť a Etika Prednáška na túto tému mi priniesla nové pohľady na zodpovednosť ktorej dnes čelia inžinieri. Pri aplikácii týchto konceptov som si uvedomil aký dôležitý je udržiateľný a etický prístup v oblasti technologického rozvoja.

Google Maps, ako nástroj dnes využíva milióny ľudí na celom svete. Je to príkladom technológie, kde etické a udržiateľné rozhodnutia majú obrovský dopad. Od zbierania až po spracúvanie dát, cez rešpektovanie súkromia používateľov a ich bezpečnosť.

Historické súvislosti Táto prednáška pripomenula, že pochopenie histórie informatiky je nevyhnutné pre pochopenie súčasných technológií a pre vytváranie budúcich inovácií. História informatiky, spojená s príbehom Google Maps, dokazuje, že súčasné technologické dosiahnutia sú výsledkom dlhého radu inovácií a objavov. Zaujímavé bolo aj uvedenie si, ako rýchly pokrok v oblasti mobilných technológií umožnil vznik a neustály rozvoj mobilných aplikácií. Google Maps, s jeho schopnosťou poskytnúť detailné navigačné pokyny, je priamym dôsledkom tohto technologického pokroku. Táto aplikácia demonštruje, ako sa

historické inovácie premietli do praktických aplikácií, ktoré nám dnes uľahčujú každodenný život.

Literatúra

- [1] Coverage of google street view. https://en.wikipedia.org/wiki/Coverage_of_Google_Street_View.
- [2] How does google map works? <https://www.geeksforgeeks.org/how-does-google-map-works/>.
- [3] S. Cloud. Which algorithm does google maps use to compute the direction between 2 points? <https://saturncloud.io/blog/which-algorithm-does-google-maps-use-to-compute-the-direction-between-2-points/>.
- [4] L. E. Cárdenas-Barrón. Heuristic algorithm based on reduce and optimize approach for a selective and periodic inventory routing problem in a waste vegetable oil collection environment. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527319300349>.
- [5] ganga4518. The algorithms behind the working of google maps. <https://blog.codechef.com/2021/08/30/the-algorithms-behind-the-working-of-google-maps-dijkstras-and-a-star-algorithm/>.
- [6] P. L. Heeket Mehtah, Pratik Kanani. Google maps. https://www.researchgate.net/profile/Pratik-Kanani/publication/333117435_Google_Maps/links/5eb6cc7da6fdcc1f1dcb10aa/Google-Maps.pdf.
- [7] N. Kokash. An introduction to heuristic algorithms. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=8314bf30780871868076775ba62759f1faf8c9f0>.
- [8] M. Krainin. Seamless google street view panoramas. <https://blog.research.google/2017/11/seamless-google-street-view-panoramas.html?m=1>.
- [9] J. Lau. Google maps 101: How ai helps predict traffic and determine routes. <https://blog.google/products/maps/google-maps-101-how-ai-helps-predict-traffic-and-determine-routes/>.
- [10] S. Singh. The algorithms behind the working of google maps. <https://medium.com/@sachin.singh.professional/the-algorithms-behind-the-working-of-google-maps-73c379bcc9b9>.
- [11] G. Svennerberg. Beginning google maps. https://books.google.sk/books?hl=sk&lr=&id=FaoqmUoJRDcC&oi=fnd&pg=PR1&dq=google+maps&ots=kYVik6YIhZ&sig=awJJU8kmj00M24P__H1LfeFQTZ0&redir_esc=y#v=onepage&q=google%20maps&f=false.
- [12] J. Wallis. How does google maps work? – the tech behind series. <https://intuji.com/the-tech-behind-google-maps/>.
- [13] Wikipedia. Heuristic (computer science). [https://en.wikipedia.org/wiki/Heuristic_\(computer_science\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Heuristic_(computer_science)).