

**MATEMATICKO-FYZIKÁLNÍ
FAKULTA**
Univerzita Karlova

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Matej Kukurugya

Trasy v mapách pro orientační běh

Informatický ústav Univerzity Karlovy

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Ondřej Pangrác, Ph.D.

Studijní program: Informatika (B0613A140006)

Praha 2024

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů. Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona v platném znění, zejména skutečnost, že Univerzita Karlova má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

V dne

Podpis autora

Rád by som poďakoval RNDr. Ondřejovi Pangrácovi, Ph.D. za ochotu a pomoc pri vedení bakalárskej práce. Taktiež by som rád poďakoval svojim rodičom za ich podporu a vytvorenie podmienok, vďaka ktorým bolo možné tvorbu bakalárskej práce započat a dokončiť. Zároveň by som rád poďakoval svojej priateľke za pomoc pri editácii textu bakalárky a cenné konzultácie v oblasti orientačného behu. Špeciálne poďakovanie patrí klubom Šk Sandberg a KOBRA Bratislava za zapožičanie zdrojových súborov máp, na ktorých bola aplikácia testovaná.

Název práce: Trasy v mapách pro orientační běh

Autor: Matej Kukurugya

ústav: Informatický ústav Univerzity Karlovy

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Ondřej Pangrác, Ph.D., Informatický ústav Univerzity Karlovy

Abstrakt: Záměrem této bakalářské práce bylo vytvořit aplikaci, která bude na základě mapových dat hledat vhodnou trasu v prostředí orientačního běhu. Tato tvorba byla rozdělena do dvou částí. První část obsahovala vytvoření návrhu a naprogramování samotné aplikace. Objektový návrh je tím pádem detailně promyšlen a propracován. Druhá část se skládala z vytvoření implementací jednotlivých konceptů aplikace, které se společně podílejí na spracovávání mapových souborů z prostředí orientačního běhu do grafových podob a následném vyhledávání nejrychlejších tras na takto vytvořených mapových reprezentacích. Tato práce tedy primárně pojednává o myšlenkách aplikovaných v průběhu tvorby aplikace a implementacích konceptů využívaných v aplikaci.

Klíčová slova: návrh aplikace, MVVM, hledání tras v otevřeném terénu, orientační běh

Title: Navigation in orienteering maps

Author: Matej Kukurugya

institute: Computer science institute of Charles University

Supervisor: RNDr. Ondřej Pangrác, Ph.D., Computer science institute of Charles University

Abstract: The aim of this bachelor's thesis was to create an application that would find a suitable route in the environment of orienteering based on map data. This development was divided into two parts. The first part involved designing and programming the application itself. The object-oriented design was therefore thoroughly thought out and elaborated. The second part consisted of creating the implementations of the individual concepts of the application, which together contribute to processing of map files from the orienteering environment into graph representations and subsequently searching for the fastest routes on these created map representations. This thesis primarily discusses the ideas applied during the development of the application and the implementations of the concepts used within the application.

Keywords: application design, MVVM, path finding in open terrain, orienteering

Obsah

Úvod	7
1 Všeobecné informácie o aplikácii	9
1.1 Aspekty hľadania najrýchlejšej trasy (v OB)	9
1.1.1 Mapy	9
1.1.2 Mapové reprezentácie	10
1.1.3 Užívateľské modely	10
1.1.4 Výškové dáta	11
1.1.5 Atribútové template-y	11
1.1.6 Vyhľadávacie algoritmy	12
1.2 Zvolené implementačné prostriedky	13
1.2.1 Použitý programovací jazyk	13
1.2.2 Užívateľské rozhranie	13
1.2.3 Architektúra Model-View-ViewModel (MVVM)	14
1.2.4 Reaktívne programovanie	15
2 Architektúra ako celok	16
2.1 MVVM(MV) návrhový vzor	16
2.1.1 View	16
2.1.2 View model	17
2.1.3 Model view	19
2.1.4 Model	20
2.2 Session-y a hlavné okno	20
2.2.1 Session-y	20
2.2.2 Hlavné okno	21
3 Vertikálna štruktúra aplikácie	23
3.1 Hlavné okno	23
3.1.1 Hlavné menu	23
3.1.2 Hlavné nastavenia	23
3.1.3 Konfigurácia výškových dát	24
3.2 Session pre vyhľadávanie ciest v mapách	26
3.2.1 Nastavenia parametrov pre vyhľadávanie cesty	26
3.2.2 Vytváranie mapovej reprezentácie	28
3.2.3 Vyhľadávanie cesty v mape	28
4 Architektúra vrstvy Model	30
4.1 Template-y	30
4.2 Mapy	31
4.3 Mapové reprezentácie	32
4.4 Užívateľské modely	37
4.5 Vyhľadávacie algoritmy	38
4.6 Výškové dáta	41
4.7 Grafika	43
4.8 Reportovanie	44

4.9	Parametre	44
5	Vyhľadávanie trás v mapách pre orientačný beh	46
5.1	Orienteering (ISOM 2017-2) template	46
5.2	Complete, net intertwining map representation	47
5.2.1	Postup spracovania mapy na jej grafovú reprezentáciu . . .	47
5.3	Orienteering (ISOM 2017-2) user model	52
5.3.1	Princíp výpočtu váhy prechodu hrany z poskytnutých atribútov	52
5.3.2	Výpočet A* heuristiky	53
5.4	A* searching algorithm	54
5.4.1	Klasický A* algoritmus	54
5.4.2	Špecifické vlastnosti algoritmu A* v aplikácii.	56
	Záver	57
	Literatura	58
A	Přílohy	59
A.1	Užívateľská dokumentácia	59
A.1.1	Popis	59
A.1.2	Zachádzanie s aplikáciou	59
A.2	Príklad parametrizácie užívateľského modelu	66

Úvod

Veľmi často v živote narážame na situácie, kedy sa potrebujeme dostať z bodu A do bodu B čo najrýchlejším spôsobom. V mnohých prípadoch máme k dispozícii sieť cestných komunikácií či chodníkov, na základe ktorých sa môžeme rozhodovať, ktorá trasa je pre nás vyhovujúca. Pre takéto prípady nám veľmi dobre poslúžia už existujúce navigačné systémy, ktoré majú podrobne zmapovanú cestnú sieť a vedú nám na základe parametrov týchto ciest určiť najrýchlejšiu alebo najúspornejšiu trasu.

Avšak môžu nastať aj situácie, kedy je cestná sieť priveľmi riedka, až takmer neprítomná. Väčšinou takéto situácie nastávajú vo voľnej prírode a oblastiach ďaleko od civilizácie. V takých prípadoch nám konvenčné navigácie veľmi dobre neposlúžia. Ak máme k dispozícii kvalitnú mapu, môžeme sa pokúsiť v nej nájsť vyhovujúcu trasu vlastnými silami, ale často existuje príliš mnoho možností, ktorými sa môžeme vydať. Preto by sa niekedy hodilo mať nástroj, ktorý na základe zadaných parametrov nájde na predloženej mape najrýchlejšiu trasu, po ktorej sa človek môže vydať k vytýčenému cieľu.

Príklady využitia takéhoto software-u by sme mohli nájsť v špecifických profesiách ako sú napríklad lesníctvo, záchranné služby či ozbrojené sily. V týchto profesiách je niekedy potrebné dostať sa na odlahlé miesto, aby bolo možné vykonať ich zámery.

Software by však našiel uplatnenie taktiež v rekreačných aktivitách, ako sú turizmus a šport, ktoré sa často odohrávajú vo voľnej prírode. Z rôznych dôvodov sa potom môže zísť schopnosť nájdania najrýchlejšej trasy späť do najbližšej obývanej oblasti, či už za alebo bez pomoci ciest.

Rád by som vyzdvihol špecificky jedno športové odvetvie, ktoré veľmi úzko súvisí s hľadaním ciest v otvorenom teréne a to *orientačný beh*. „Orientačný beh (skratka OB) je športové odvetvie vytrvalostného charakteru, pri ktorom je úlohou prejsť alebo prebehnúť podľa mapy a buzoly trať vyznačenú na mape za čo najkratší čas. V teréne nie je trať vyznačená, sú tam umiestnené iba kontrolné stanovišťa (Kontroly)“[1]. Tento šport bol hlavnou motiváciou pre vytvorenie aplikácie, v ktorej by si užívateľ mohol nechať vykresliť na mape najrýchlejší postup pre ním zadanú trať.

V tejto práci sú popísané myšlienky použité pri vytváraní spomínanej aplikácie, jej architektúry a implementácie.

V prvej kapitole je možné nájsť abstrakciu nad samotnou problematikou hľadania najrýchlejšej trasy v otvorenom teréne podľa konkrétnej mapy. Táto abstrakcia je poňatá z pohľadu orientačného behu. Ďalej je v nej možné nájsť informácie o využitých prostriedkoch pri implementácii aplikácie. Týmito prostriedkami sú napríklad využívaný jazyk a knižnice, ale aj použitý návrhový vzor architektúry aplikácie.

V nasledujúcej kapitole je predstretý bližší pohľad na spomínanú architektúru aplikácie, jej „horizontálne“ a „vertikálne“ členenie na vrstvy. Funkcie a správanie jednotlivých vrstiev sú v tejto kapitole dopodrobna vysvetlené.

V tretej kapitole sa pozrieme na aktuálne existujúce vertikálne vrstvy aplikácie. Ich funkciu a architektúru popíšeme po jednotlivých častiach. Popíšeme špecifické

vlastnosti a spôsoby použitia týchto častí.

Vo štvrtej kapitole bude možný k nahliadnutiu popis horizontálnej vrstvy zvanej *Model*. Táto vrstva sa delí na mnoho oblastí, z ktorých každá spravuje určitý typ dát a mechanizmov využívaných vo zvyšných vrstvách aplikácie. Štruktúra implementácií jednotlivých oblastí bude v tejto kapitole detailne rozobraná.

Nakoniec v piatej kapitole je uvedený podrobný popis fungovania implementácií jednotlivých konceptov, ktoré spoločne zabezpečujú správne vyhľadávanie trás v mapách orientačného behu. Medzi tieto koncepty patria napríklad vyhľadávací algoritmus, grafová reprezentácia mapy alebo užívateľský model.

Nakoniec v Prílohe A.1 je možné nahliadnuť užívateľskú dokumentáciu ku aplikácii, ktorá popisuje základy jej používania.

Súčasťou bakalárskej práce sú taktiež elektronické prílohy, ktoré boli spoločne s textom pridané do *Studijného informačného systému* (SIS) Karlovej univerzity. Tieto prílohy zahŕňajú:

- Zdrojový kód vytvorenej aplikácie.
- Vygenerovanú programátorskú dokumentáciu na základe dokumentačných komentárov v zdrojovom kóde.
- Ukážkové súbory s mapou a užívateľskými modelmi.

1 Všeobecné informácie o aplikácii

1.1 Aspekty hľadania najrýchlejšej trasy (v OB)

Mapy pre orientačný beh sú veľmi detailné, a bežec má preto mnoho informácií na to, aby si mohol zvoliť ideálnu trasu. Za predpokladu, že bežec nerobí chyby a beží presne podľa svojho zámeru, sú pre výber najrýchlejšieho postupu dôležité dva druhy objektov: líniové (cesty, potoky, prieseky, vrstevnice, ...) a plošné (lúky, kroviská, vodné objekty, močiare, ...). Tie určujú typ terénu nachádzajúci sa v danej časti mapy a tým pádom aj veľkosť odporu, ktorý je kladený rýchlosti behu pretekára. Táto veličina sa dá použiť ako hlavný parameter, ktorý bude určovať preferencie výberu postupu.

Proces hľadania cesty sa skladá z dvoch hlavných častí:

- **vytvorenie mapovej reprezentácie** - Na začiatku je potrebné na základe mapového súboru vygenerovať mapovú reprezentáciu, na ktorej bude možné cestu vyhľadávať. Mapovou reprezentáciou by mal byť objekt, ktorý dobre vystihne topografiu mapy a umožní hľadanie najideálnejšej trasy. V našej aplikácii budú týmito objektmi *orientované ohodnotené grafy*.
- **aplikácia vyhľadávacieho algoritmu** - Mapová reprezentácia s vybraným užívateľským modelom sú predané vyhľadávaciemu algoritmu. Ten za použitia interface-u mapovej reprezentácie a výpočtov užívateľského modelu vyhľadá v mapovej reprezentácii najkratšiu cestu na zadanej trati. V našom prípade najkratšia cesta znamená tá najrýchlejšia.

V nasledujúcich podsekcích spomenieme koncepty, ktoré budú v procese hľadania najrýchlejších ciest vystupovať. Medzi jednotlivými konceptmi sú tvorené rôzne závislosti. Grafické znázornenie týchto závislostí je dostupné k nahliadnutiu na konci sekcie v Obrázku 1.1.

1.1.1 Mapy

Na začiatok je potrebné spomenúť koncept mapy. V procese hľadania ciest bude na viacerých miestach potrebné agregovať dáta z užívateľom vybraného mapového súboru. Aby sme nemuseli neustále čítať priamo zo súboru, budeme si udržiavať jeho obsah v pamäti prívetivejším spôsobom.

Touto formou bude práve *mapa*. Mapa si bude udržiavať všetky objekty definované v mapovom súbore a keď bude potrebné agregovať z daného súboru nejakú informáciu (mapovú reprezentáciu, mapovú grafiku, ...), použije sa namiesto súboru zodpovedajúci mapový objekt.

Je vhodné zmieniť, že koncept mapy je odlišný od konceptu *mapovej reprezentácie*. Mapa, na rozdiel od jej reprezentácie, neobsahuje žiadne zložité prepojenia medzi objektami ktoré v sebe drží. Jej vytvorenie by malo byť rýchle, s lineárnou časovou zložitou v závislosti od veľkosti mapového súboru.

1.1.2 Mapové reprezentácie

Mapové reprezentácie sú jednou z dôležitých zložiek procesu hľadania ciest. Sú to jednotky, na ktorých sa vyhľadávanie uskutočňuje. Mapové objekty sú oproti *mapám* zložitejšie objekty, ktoré už v sebe zahŕňajú plno závislostí a prepojení. Ich generovanie môže zobrať oveľa viac času, ako generovanie mapových objektov.

Ako už bolo spomenuté vyššie, v aplikácii budú mapovými reprezentáciami *orientované, ohodnotené grafy* (ďalej iba grafy). Napriek tomu, že mapová reprezentácia a graf budú v aplikácii reprezentovať rovnaký objekt, ich významy sú odlišné:

- **Mapová reprezentácia** hovorí o tom, ako daný objekt pracuje interne. Popisuje jeho vlastnosti, mechanizmy a spôsoby akými generuje výsledný *graf*, v ktorom sa následne hľadá cesta. Objekt, ktorý je agregovaný z mapy, je v prvom rade mapovou reprezentáciou a až v druhom rade grafom.

Príkladom myšlienky, ktorú môže mapová reprezentácia vyjadrovať je „samozahusťujúci“ sa graf. Takáto mapová reprezentácia počas behu algoritmu zahusťuje predom pripravený graf o ďalšie vrcholy na miestach, v ktorých sa prehľadávanie aktuálne uskutočňuje. Redukuje sa tým veľkosť predom vygenerovaného grafu a zvyšuje jeho presnosť na miestach, kde je to potrebné.

- **Graf** na druhej strane hovorí o vlastnostiach objektu, ktoré sú viditeľné navonok. Bude informovať o „grafových“ službách objektu, ktoré dokáže poskytnúť. Tieto služby môžu byť obmedzené práve vnútornou štruktúrou ktorá je definovaná *mapovou reprezentáciou*. Graf sa berie ako druhotný produkt spracovania mapy.

Príkladom vlastnosti, ktorú môže graf prezentovať vonkajšiemu svetu, je možnosť poskytnutia kompletne vygenerovaného grafu, pri ktorom sa vonkajší užívateľ nemusí obávať, že by sa počas práce s ním graf nejakým spôsobom modifikoval. Túto vlastnosť napríklad nevie zaručiť graf ktorý zodpovedá vyššie zmienenej mapovej reprezentácii, ktorá stav grafu počas práce neustále modifikuje, zahusťuje ho.

Pojmy *mapová reprezentácia* a *graf* reprezentujú dve odlišné myšlienky a v texte budú na ich základe aj využívané. Je však potrebné mať na pamäti, že v aplikácii sú tieto pojmy jednou a tou istou dátovou štruktúrou. Z hľadiska vytvárania a používania sa teda mapová reprezentácia a graf stávajú zameniteľnými.

1.1.3 Uživatelské modely

Je potrebné si uvedomiť, že rôzni bežci majú rôzne schopnosti a preto aj ich preferencie na výber trasy nemusia byť rovnaké. Niektorí sa dokážu rýchlejšie predierať cez husté pasáže, inému ide rýchlejšie beh cez močiar a ďalšiemu vyhovujú dlhšie postupy po cestách.

Preto by bolo vhodné, aby užívateľ aplikácie mal možnosť aplikovať svoje preferencie do procesu vyhľadávania. K tomuto účelu boli vytvorené tzv. „užívateľské modely“. Užívateľ si pomocou nich môže vytvoriť vlastný „profil“, na základe ktorého bude vyhľadávanie cesty prispôbené.

Užívateľské modely vďaka svojej informovanosti nadobúdajú zodpovednosť za výpočty hodnôt, ktoré sú závislé na preferenciách užívateľa. Stávajú sa teda dôležitou zložkou procesu vyhľadávania ciest, nakoľko vyhľadávacie algoritmy sú závislé do nimi vykonávaných výpočtov.

1.1.4 Výškové dáta

Jedným z dôležitých a neopomenuteľných faktorov voľby najrýchlejšieho postupu je prevýšenie, ktoré je potrebné pri jeho prevedení zdolať. Mnoho typov máp popisuje reliéf krajiny pomocou takzvaných *vrstevníc*. Vrstevnica je krivka na mape, ktorá spája body rovnakej nadmorskej výšky. Pre človeka je vrstevnicová abstrakcia výšky terénu veľmi ľahko pochopiteľná a spracovateľná.

Pre strojové spracovanie mapy však vrstevnice predstavujú veľmi neprirodzený spôsob reprezentácie nadmorskej výšky. Vypracovanie reliéfného obrazu za pomoci vrstevníc samotných je veľmi ťažká úloha. V niektorých prípadoch (mapy pre OB napríklad) dokonca jednotlivé vrstevnice nie sú v mapovom súbore reprezentované jedným objektom, nakoľko sú kvôli dobrej čitateľnosti máp na viacerých miestach prerušované.

Z vyššie uvedených dôvodov je v aplikácii zahrnutý systém, ktorý sprostredkováva užívateľom možnosť stiahnutia a spravovania digitálnych výškových dát, ktoré následne môžu byť použité ako pomocný zdroj v procese tvorby mapových reprezentácií. Pre konštrukciu mapových reprezentácií pre niektoré mapové formáty bude nutná prítomnosť zodpovedajúcich výškových dát a pri ich absencii jednoducho nebude možné mapové reprezentácie vytvoriť.

Výškové dáta môžu byť sťahované z viacerých zdrojov. Každý zdroj môže definovať viacero dátových distribúcií, ktoré dokáže ponúknuť. Tieto distribúcie sa väčšinou líšia kvalitou a dostupnosťou sprostredkovaných dát (v niektorých prípadoch je k stiahnutiu výškových dát potrebná užívateľova autorizácia).

1.1.5 Atribútové template-y

Ďalšia vec, nad ktorou je potrebné sa zamyslieť je, akým spôsobom sa bude v grafoch mapových reprezentácií uchovávať informácia o mapových vlastnostiach a atribútoch, ktoré konkrétne vrcholy a hrany grafu reprezentujú. Zároveň je potrebné aby dotyčné vlastnosti dokázal príslušný užívateľský model spracovať a dopočítať z nich hodnoty, potrebné pre beh vyhľadávacích algoritmov. Používané atribúty, ktoré agregujeme z máp do mapových reprezentácií preto musia byť jednotné v celom procese hľadania cesty, od vytvárania mapovej reprezentácie, po spustenie vyhľadávacieho algoritmu.

V aplikácii nám definíciu a jednotnosť atribútov budú zabezpečovať tzv. *template-y*. Každý template bude definovať jedinečnú sadu vrcholových a hranových atribútov. Príkladom pre takúto kolekciu pre potreby OB môže byť napríklad:

- vrcholové atribúty - pozícia, výška, indikátory reprezentovaných terénnych objektov (či sa daný vrchol nachádza na ceste, v húštine, na lúke, v dobre priebežnom lese,...),
- hranové atribúty - či daná hrana reprezentuje úsek nejakej cesty, hranu nejakého objektu (lúky, húštiny, močiaru,...), sklon terénu

Na template-och ako takých bude teda závisieť:

- **výber užívateľských modelov** - model musí vedieť spracovať atribúty definované daným template-om a vrátiť od neho požadované výsledky.
- **formát vybraného mapového súboru** - musí existovať konvertor mapy špecifického formátu na zodpovedajúcu mapovú reprezentáciu, v ktorej vrchoch a hranách sú obsiahnuté atribúty definované daným template-om. Túto závislosť môžeme brať aj opačným smerom - pre vybraný mapový formát môžeme zvoliť len použiteľný template.

1.1.6 Vyhľadávacie algoritmy

Nakoniec nemôžeme opomenúť koncept samotných vyhľadávacích algoritmov, poslednú neodmysliteľnú súčasť procesu hľadania ciest. Vyhľadávací algoritmus, podobne ako *mapová reprezentácia*, reprezentuje koncept vnútorného mechanizmu ktorým je najkratšia cesta v grafe hľadaná. Príkladom takéhoto algoritmu môže byť napríklad algoritmus A^* .

Vstupom do každého algoritmu sú:

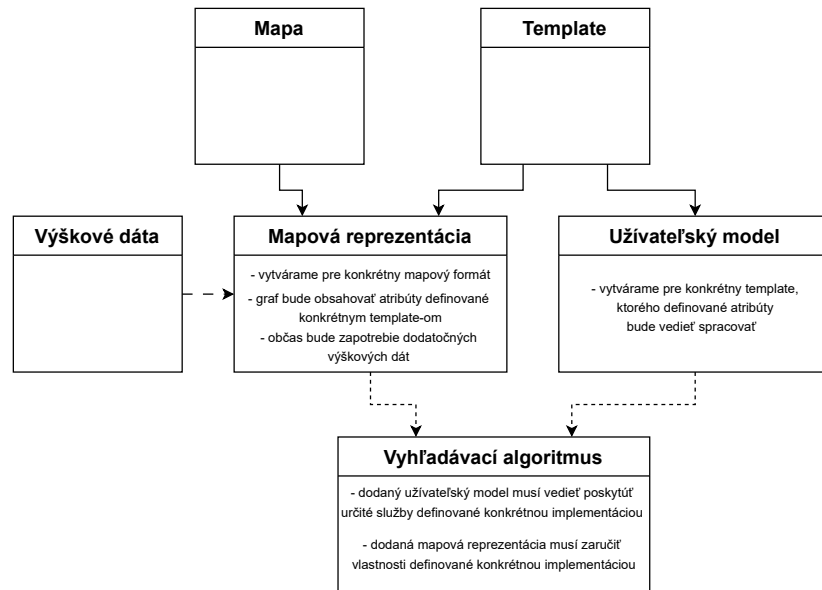
- **graf**, na ktorom je hľadanie najkratšej cesty vykonané a
- **užívateľský model**, ktorý algoritmus nutne potrebuje k výpočtom váh grafových hrán a iných hodnôt potrebných k jeho správne chodu.

Každý algoritmus následne ponúka množinu jeho implementácií. Každá implementácia definuje množinu vlastností, ktoré vložený graf a užívateľský model musia spĺňať. Napríklad implementácie A^* algoritmu budú požadovať, aby užívateľský model bol schopný popri výpočte váh pre grafové hrany, dodať ešte aj výpočet heuristiky využívanej týmto algoritmom.

Stav používaného grafu sa môže počas behu algoritmu meniť. Teda je potrebné ho vždy na konci vyhľadávania opäť vrátiť do pôvodného stavu a zaručiť, že graf je v jednu chvíľu súčasťou len jedného vyhľadávacieho procesu.

Vyhľadávanie samotné je sprostredkované dvomi spôsobmi. Buď sa požiada algoritmus priamo o nájdenie cesty na danej trati alebo sa využije takzvaný *executor* algoritmu.

Executor nám sprostredkuje vybraný algoritmus, ktorý bude pracovať s dodanou mapovou reprezentáciou a užívateľským modelom. Executor si pri inicializácii pre seba uzamkne dodanú mapovú reprezentáciu a až do jeho uvolnenia ju neodoblokuje. Do tejto doby môže prijímať rôzne vstupné trate a vracáť pre nenájdene cesty. Hlavná výhoda executor-ov je práve ich schopnosť uzamknutia mapovej reprezentácie na dlhšiu dobu. Vďaka tomu ju dokážu využívať pre viacero separátnych vyhľadávaní, bez potreby jej neustáleho uvádzania do konzistentného stavu.



Obr. 1.1 Diagram závislostí jednotlivých konceptov

1.2 Zvolené implementačné prostriedky

1.2.1 Použitý programovací jazyk

Pre implementáciu aplikácie bol vybraný jazyk C#. Jazyk bol vybraný pre jeho jednoduchosť a bezpečnosť použitia. Alternatívnou voľbou by mohol byť jazyk Java, ktorý má blízko práve k jazyku C#. Voľba však padla na C# pre široký výber možných framework-ov pre implementáciu GUI.

Ďalšími možnosťami by mohol byť typicky vysoko-úrovňový jazyk Python alebo nízko úrovňový jazyk C++. Nakoľko v aplikácii bude prebiehať mnoho výpočtov, Python by nebol vhodnou voľbou pre nedostatočnú rýchlosť ním vytvoreného strojového kódu. Na druhú stranu, C++ by bol dobrým kandidátom z hľadiska výpočtovej sily. V tomto prípade však narážame na programátorskú neprívetivosť tohto jazyka. Pri takomto väčšom projekte sme považovali za potrebné mať istotu, že nás použitý jazyk v programovaní podrží.

Vhodnou úpravou implementácie by bolo implementovať výpočtovo náročné procesy v jazyku typu C++ a následne túto implementáciu volať externe z C# jadra.

1.2.2 Uživateľské rozhranie

Pre implementáciu uživateľského rozhrania sme sa rozhodli pre *Avalonia UI* framework. Uživateľské rozhranie je veľmi jednoduché. Bolo vytvorené tak, aby zabezpečilo všetku funkcionality.

V C# existuje viacero možných knižníc, z ktorých bolo možné si vybrať:

- GUI knižnice, ktoré sú súčasťou samotného .NET framework-u:
 - **Windows Forms** je klasická GUI knižnica. Je jednoducho použiteľná a vďaka jej dlhoročnej podpore aj robustná a spoľahlivá. Jej vek je však

aj jej nevýhodou, nakoľko vzhľad aplikácií vytvorených za pomoci Windows Forms pôsobí pomerne zastaralo. Ďalšou nevýhodou je rastrová povaha jeho renderovacieho engine-u. Táto vlastnosť sa nehodí pre aplikáciu, ktorej jedným z hlavných účelov je vykresľovanie mapových, vektorových objektov.

- **Windows Presentation Foundation (WPF)** je modernejší nástupca Windows Forms. Aplikácie tvorené touto knižnicou majú modernejší vzhľad a sú generované renderovacím enginom založeným na vektorovej grafike. K programovaniu sa tu využíva popri C# aj XAML, v ktorom sa definuje layout užívateľského rozhrania. Avšak spoločne s Windows Forms je ich nevýhodou platformová závislosť na operačnom systéme Windows.
- **.NET MAUI** je nástupcom *Xamarin.Forms*. Je to open-source-ový cross-platformný framework s množinou UI nástrojových balíčkov pre jednotlivé platformy. Podobne ako vo WPF sa pre vytváranie UI využíva kombinácia C# a XAML.
- Alternatívou k vstavaným .NET GUI knižnicám je práve nezávislá, open-source knižnica **Avalonia UI**. Čo sa vlastností je veľmi dobre porovnateľná s *.NET MAUI*. Hlavný rozdiel medzi týmito dvomi knižnicami je v spôsobe, akým vykresľujú užívateľské rozhranie. Avalonia zapája kresliaci engine poháňaný knižnicou pre 2D grafiku *Skia*. Na druhú stranu MAUI využíva natívne nástrojové balíčky pre každú platformu zvlášť. Ďalším rozdielom je, že Avalonia, na rozdiel od MAUI, podporuje aj niektoré distribúcie Linuxových systémov.

Rozhodnutie nakoniec padlo na využitie framework-u Avalonia UI. Nakoľko je veľmi podobný natívnemu .NET MAUI, rozhodla podpora pre Linuxové systémy a aj kvalitne spravená dokumentácia, z ktorej sa dalo ľahko vyčítať, ako sa s knižnicou má pracovať.

Informované rozhodnutie pre výber GUI knižnice bolo učené na základe zdrojov [2, 3, 4]. Zároveň väčšinu informácií, ktoré sme o Avalonia UI počas tvorby programu čerpali, pochádzali z jej dokumentácie [5].

1.2.3 Architektúra Model-View-ViewModel (MVVM)

Jeden z ďalších dôležitých aspektov, ktorý hral úlohu vo výbere knižnice pre užívateľské rozhranie, bola podpora *MVVM* návrhového vzoru. Dokumentácia Avalonia UI v preklade popisuje architektúru MVVM následovne: „Model-View-View Model (MVVM) návrhový vzor je bežný spôsob štruktúrovania aplikácie užívateľského rozhrania. Používa systém viazania dát, ktorý pomáha presúvať dáta medzi jeho časťami view-om a view model-om. To znamená, že dosahuje oddelenie aplikačnej logiky (view model) od zobrazenia užívateľského rozhrania (view). Oddelenie medzi aplikačnou logikou a obchodnými službami (model) sa bežne dosahuje pomocou systému Dependency Injection (DI).“ [6].

MVVM architektúra je vhodná pre našu aplikáciu, nakoľko pre jej rozsah a komplexnosť by klasická *event-driven code-behind* architektúra nemusela postačovať. Týmto spôsobom zaručíme lepšiu separáciu a dostatočnú vnútornú nezávislosť kódu.

V našej aplikácii bude tento návrhový vzor uplatnený s jemnou obmenou. Vrstva View model, ktorá v pôvodnom návrhovom vzore zastávala úlohu logiky aplikácie, bude rozdelená na dve časti: View model a novovzniknutý *Model view*. Viac informácií o tejto úprave je možné nájsť v Sekcii 2.1.

1.2.4 Reaktívne programovanie

Ďalším dôležitým aspektom aplikácie je Avaloniou a architektúrou MVVM iniciované využitie *reaktívneho programovania*. Avalonia pre aplikáciu tejto paradigmy využíva framework **Reactive UI**.

Tento framework v preklade definuje reaktívne programovanie ako „Reaktívne programovanie je programovanie s asynchrónnymi dátovými tokmi.“ a dodáva „Event bus-y alebo typické udalosti kliknutia sú v podstate asynchrónny tok udalostí, ktorý je možné sledovať a vykonávať na ňom vedľajšie úkony. Reaktívne programovanie je táto myšlienka na steroidoch. Je možné vytvárať dátové toky z čohokoľvek, nielen z udalostí kliknutia a pohybu myši. Tieto toky sú lacné a všadeprítomné, a čokoľvek môže byť tokom: premenné, vstupy od používateľa, vlastnosti, cache, dátové štruktúry, atď.“ [7].

V aplikácii sa bude tento framework využívať prevažne vo vrstvách View a View model, medzi ktorými prebieha väčšina reaktívnej komunikácie.

2 Architektúra ako celok

Architektúra aplikácie má mriežkovú štruktúru. Je tvorená horizontálnymi (MVVM návrhový vzor) a vertikálnymi (*session-y* + hlavné okno) vrstvami. V nasledujúcich sekciách popíšeme, ako jednotlivé vrstvy vyzerajú, aké sú ich úlohy a ako medzi sebou komunikujú. Na konci kapitoly je následne k nahliadnutiu Diagram 2.1 znázorňujúci príklad možnej architektúry aplikácie.

2.1 MVVM(MV) návrhový vzor

Ako už bolo spomenuté v Podsekcii 1.2.3, v aplikácii je využívaný návrhový vzor MVVM s drobnou obmenou. Táto obmena sa týka rozdelenia originálnej vrstvy View model do dvoch častí: View model a Model view. Toto rozdelenie zaručí ešte o niečo lepšiu separáciu kódu a odľahčí tým úlohy View model vrstvy.

MVVM(MV) architektúra teda rozdeľuje aplikáciu na 4 vrstvy: View, View model, Model view a Model. Popis jednotlivých vrstiev je k nahliadnutiu v nasledujúcich podsekciiach.

2.1.1 View

View je vrstva, ktorá popisuje a implementuje grafickú stránku aplikácie a určuje, akým spôsobom sa dáta dodané vrstvou View model zobrazia užívateľovi. View-y sú objekty viazané na zodpovedajúce view model-y za pomoci reaktívneho programovania. Spracovávajú akcie užívateľa a iniciujú reakcie zvyšných vrstiev architektúry prostredníctvom príslušného view model-u. Následne zabezpečujú zobrazovanie dodaných výsledkov reakcie.

View vrstva je implementovaná za pomoci Avalonia UI framework-u. V náväznosti na tento fakt sú v aplikácii použité tri hlavné typy view-ov:

- **Window** - Reprezentujú špecifické okná aplikácie, „top-level“ kontajnery, ktoré v sebe držia nejaký obsah. Okná sami o sebe nedefinujú vzhľad aplikácie. Slúžia predovšetkým ako rám, v ktorom sa striedajú jednotlivé view-y. Každé okno má naviazaný svoj vlastný view model, ktorý drží informáciu o tom, aký view je v danej chvíli v okne zobrazovaný. Naviazaný view model taktiež obsahuje vlastnosti, ktoré priamo súvisia s vlastnosťami daného okna.
- **View** - Sú to hlavné zložky, ktoré nesú grafiku zobrazujúcu sa oknách. Reprezentujú „pohľady“, ktoré sú užívateľovi vykresľované. Každý view je naviazaný na špecifický view model. Viaže sa na jeho vlastnosti a reaktívne vykresľuje dáta, ktoré tieto vlastnosti nadobúdajú.

Býva zvykom že sa konkrétny view zobrazuje práve v jednom konkrétnom okne. V takom prípade si na jeho view model drží referenciu view model daného okna. Za pomoci tejto referencie potom dokáže oknu jeho view model oznámiť, že sa v ňom má daný view zobrazovať.

- **DataTemplate** - Definuje grafickú reprezentáciu dát dodávaných z View model vrstvy do vrstvy View. Pre každý dátový typ, ktorý chce byť správne vykreslený pre užívateľa, musí existovať špecifický dátový template, pomocou

ktorého sa daný údaj vykreslí. Dátové template-y sú špecifické tým, že sú raz definované pre celú aplikáciu, aby sa zachovala konzistencia vykresľovania jednotlivých dátových typov.

Je potrebné podotknúť, že na to, aby údaj vygenerovaný vo vrstve Model bolo možné vykresliť, musí preňho najprv existovať tzv. *data view model*, do ktorého sú jeho informácie zabalené a až v takejto podobe predávané nejakému view model-u, ktorý ich následne pomocou svojich vlastností odovzdá view-u na vykreslenie. Pre každý dátový view model sa následne hľadá príslušný DataTemplate, pomocu ktorého sa v ňom držané informácie zobrazia užívateľovi.

View vrstva je implementovaná pomocou dvoch jazykov: C# a XAML. Pomocou XAML definujeme všetky polohy a tvary grafických objektov a viažeme vlastnosti týchto objektov na vlastnosti z vrstvy View model. Pre každý view máme obecné jeden špecifický XAML súbor, ktorým ho implementujeme. K väčšine XAML súborov je priradený C# zdrojový súbor, v ktorom sa implementuje takzvaný *code-behind*. V tomto zdrojovom súbore môžeme doplniť všetku funkcionálnu view-u, ktorú nebolo možné vyjadriť jazykom XAML.

2.1.2 View model

Druhou v poradí je vrstva View model. Táto vrstva je zodpovedná za logiku spracovania akcií užívateľa oznámených reaktívnym spôsobom View vrstvou. Disponuje vedomím toho, aké akcie a v akom poradí sa majú vykonať pre zabezpečenie správnej reakcie na detegovaný impulz. K tomuto účelu využíva služby nižších vrstiev prostredníctvom volania metód na vrstve Model view. Tá na základe svojej vnútornej logiky vráti odpoveď s požadovanými údajmi. View model následne spracuje dodané dáta a predostrie ich vrstve View, aby ich mohla zobrazit užívateľovi.

View model na základe aplikačnej logiky koriguje a obmedzuje akcie užívateľa a tým zabraňuje vzniku nekonzistentných stavov aplikácie. Taktiež v niektorých prípadoch iniciuje *interakcie* s inými view model-mi za účelom získania ich doplňujúcich služieb do jeho vlastného procesu.

Podobne ako vo View vrstve, sa view model-y delia na tri základné typy:

- **Session view model (Main window view model)** - Zodpovedajú jednotlivým *session*-om, ktoré sú základným kameňom vertikálnej štruktúry aplikácie. Viac informácií o session-och je možné nájsť v Sekcii 2.2.1. Výnimkou je práve *Main window view model*, ktorý je naviazaný na hlavné okno aplikácie a zabezpečuje preň aplikačnú logiku. Klasické session view model-y sú taktiež naviazané zvyčajne na jedno okno z vrstvy View, pre ktoré zabezpečujú aplikačnú logiku.

Každý session view model obsahuje kolekciu príslušných view model-ov, ktoré spoločne implementujú mechanizmus daného session-u. Je zvykom, že v jednej chvíli je aktívny iba jeden view model. O aktívnom view model-i je informované okno viazané na daný session view model. To následne v sebe zobrazuje príslušný view aktívneho view model-u. Informovanie o aktívnom view model-i je hlavnou pracovnou náplňou session view model-u.

K ďalším jeho povinnostiam patrí spracovávanie užívateľom vyvolaných akcií, ktoré sa týkajú samotného naviazaného okna. Príkladom takej akcie môže byť požiadavka o zatvorenie dotyčného okna.

- **View model** - Reprezentujú zložky, ktorých funkcionality sa najväčšmi ponáša na obecnú, vyššie popísanú funkcionality vrstvy View model. Väčšina view model-ov spadá pod réžiu konkrétneho session-u (alebo hlavného okna), pre ktorý implementuje určitú časť jeho mechanizmu. Klasicky sú view model-y naviazané na príslušné view-y z vrstvy View. s tými následne reaktívne komunikujú a reagujú na ich podnety. View model-y sú navzájom nezávislé. To znamená, že medzi nimi neprebíha takmer žiadna komunikácia ani presun dát. Túto funkciu na seba berie Model view vrstva.

Väčšina view model-ov by mala byť zahrnutá v zodpovedajúcom session view model-i (poprípade Main window view model-i). Ten potom zabezpečuje správu toho, ktorý view model je v danej chvíli aktívny.

Výnimkou sú view model-y používané výhradne pre interakcie z iných view model-ov, ktorým týmto spôsobom doručujú svoje služby. Tieto view model-y sú väčšinou vytvorené na mieste interakcie a po jej skončení zanikajú. Pri ich vytváraní sú im zvyčajne predané nejaké vstupné parametre a keď je ich práca dokončená, vracajú jej výsledok.

- **Data view model** - slúžia ako kontajnery pre informácie abstrahované z dát vygenerovaných v Model vrstve. Dáta sú klasicky konvertované do náležitých view model-ov v Model view vrstve a už takto zabalené informácie sú predávané do View model vrstvy, kde sú spracované a pomocou vlastností odovzdané vrstve View na zobrazenie. Data view model-y môžu dodané informácie drobne upravovať takým spôsobom, aby ich bolo jednoduchšie zobrazovať vo View vrstve.

Z toho vyplýva, že na to, aby nejaký údaj vygenerovaný v Model vrstve mohol byť prezentovaný užívateľovi, musí preňho existovať zodpovedajúci data view model. Zároveň na to, aby informácie obsiahnuté v dátovom view model-i mohli byť vykreslené pre užívateľa, musí vo View vrstve existovať vhodný *dátový template*, ktorý sa postará o ich správne grafické znázornenie.

Niektoré data view model-y nielenže obsahujú informácie príslušných dát, ale obsahujú aj dáta samotné. Takéto data view model-y označujeme pomocou slova *wrapping*, keďže tvoria akýsi obal okolo daných objektov. Táto funkcionality je dôležitá hlavne v prípadoch, kedy data view model slúži taktiež pre spätnú komunikáciu s Model view vrstvou. V takých prípadoch musí byť možné identifikovať, ktorú dátovú inštanciu „obaluje“. Wrapping data view model-y sú stotožnené s ich dátovým objektom a tiež sa pomocou neho identifikujú.

View model je prvá z vrstiev, ktorá je kompletne písaná v jazyku C#. Komunikácia medzi View model a View vrstvami funguje čisto na báze reaktívneho programovania za pomoci štruktúr z *Reactive UI* framework-u.

2.1.3 Model view

Tretou v poradí je, do klasickej MVVM architektúry pridaná, Model view vrstva. Táto vrstva je zodpovedná za „vnútornú“ logiku aplikácie. Priamo komunikuje s Model vrstvou a využíva jej zdroje pre zabezpečenie svojich služieb pre View model vrstvu. Dá sa povedať, že nedisponuje vlastným „vedomím“. Medzi jej hlavné úlohy patria:

- prijímanie a spracovávanie požiadaviek od vrstvy View model a dodávanie očakávaných výsledkov,
- zabezpečovať *vnútro-session-ovú* komunikáciu. Model view-y v rámci jedného session-u si na seba držia referencie a predávajú si medzi sebou držané dáta. Táto komunikácia by mala byť vyšším vrstvám skrytá a na povrch by mal byť vidieť iba interface, pomocou ktorého prebieha komunikácia s View model-om,
- konverzia dát, získaných od Model vrstvy, do náležitých data view model-ov pri ich posielaní do vyšších vrstiev.

Na druhú stranu medzi jej povinnosti nepatrí kontrola konzistentnosti jej vlastného stavu. O konzistenciu stavu aplikácie sa má starať View model.

V aplikácii používame model view-y dvoch typov:

- **Session model view (Main window model view)** - Zodpovedajú jednotlivým session-om. (Viac informácií o session-och je možné nájsť v Sekcii 2.2.1). Ich hlavnou úlohou je vytvoriť a distribuovať model view-y patriace danému session-u. Pri ich inicializácii sa medzi model view-mi vytvorí väzby, ktoré sú následne počas behu aplikácie využívané na spomínanú vnútro-session-ovú komunikáciu.

Ďalej zabezpečujú spracovávanie požiadaviek pre príslušný session view model-y. Tieto požiadavky sa typicky týkajú akcií, ktoré súvisia so session-om ako takým. Môže sa jednať napríklad o reakcie na zatváranie príslušného session-ového okna.

Výnimkou je práve *main window model view*, ktorý je viazaný na view model hlavného okna a spracováva jeho požiadavky. V ostatných aspektoch je ale identický s klasickým session model view-om.

Každému session model view-u náleží jeden konkrétny session view model. Ten pri svojej inicializácii predá model view-y, dodané v session model view-e, náležitým view model-om.

- **Model view** - typ, ktorý nesie vyššie popísanú funkcionálnu Model view vrstvy. Zvyčajne pre každý view model existuje dedikovaný model view, ktorý sa stará o zabezpečenie view model-om požadovaných služieb. Nie je to však pravidlo, view model môže obsahovať odkazy na viacero model view-ov, ktorých služby následne využíva alebo sú predané novovytvoreným, v interakciách využívaným view model-om.

Je zvykom, že každý model view spadá pod nejaký konkrétny session alebo hlavné okno. V takom prípade je daný model view vytváraný a distribuovaný príslušným session model view-om/main window model view-om.

2.1.4 Model

Poslednou „horizontálnou“ vrstvou je Model. Je zodpovedná za doručovanie dát vyšším vrstvám a za doručenie mechanizmov pracujúcich s týmito dátami. Model sa svojou štruktúrou diametrálne odlišuje od predchádzajúcich vrstiev. Je tvorený jednotlivými oblasťami, ktoré spravujú dedikovaní *manažéri*. Manažéri sú pristupovaný z jednotlivých model view-ov a doručujú im svoje služby, či už informatívne alebo výpočtové. Predstavujú interface-y ponúkajúce prívetivejší spôsob práce s vnútornými mechanizmami model-ov.

Model je predstaviteľom jedinej perzistentnej „horizontálnej“ vrstvy. Manažéri sú väčšinou singleton triedy, ktoré ponúkajú služby všetkým session-om počas celej doby behu aplikácie. Vďaka tomuto spôsobu obsluhy je Model jediná vrstva, ktorej oblasti nie sú viazané na žiadnu vertikálnu vrstvu (session/hlavné okno). Z návrhu Model vrstvy vyplýva, že model-y musia byť schopné svoje služby dodávať paralelne pre viacero session-ov naraz.

Model vrstva je jednoducho rozširiteľná o nové oblasti. Vďaka *singleton* štruktúre sú oblastní manažéri dosiahnuteľní v podstate z akéhokoľvek miesta v programe, a teda nemusia byť nikde zahrnutí. Manažéri by nemali mať problém prijímať nové, primerane vytvorené implementácie typov mechanizmov a dát z ich oblastí. Napríklad by nemalo byť zložité dodať nový vyhľadávací algoritmus zodpovedajúcemu manažérovi, ktorý ho následne bude ponúkať zvyšku aplikácie. Viac informácií o návrhu architektúry jednotlivých oblastí vrstvy Model je možné nájsť v Kapitole 4.

Špecifickým znakom komunikácie medzi Model a Model view vrstvami je ten, že pri nej dochádza k strate typovej informácie dodávaných dát. Táto vlastnosť je motivovaná jednoduchým faktom, ktorým je udržanie vrstvy Model view jednoduchou. V Model vrstve sa totiž vo veľkom využívajú generiká pre jednoduché prenášanie typovej informácie v ich mechanizmoch.

Využívanie generických typov v Model view vrstve by však prinieslo značné komplikácie v jej implementácii a tomu zodpovedajúce zneprehľadnenie kódu. Už len Model samotný trpí jemnou, generikami spôsobenou neprehľadnosťou. Z tohto dôvodu bolo rozhodnuté zabezpečiť jednoduchosť vrstvy Model view za cenu straty typovej informácie dát tečúcich z model-ov do model view-ov.

Pri opačnom smere komunikácie je manažermi typová informácia dodaných parametrov opäť testovaná a získavaná (väčšinou za pomoci tzv. *generic visitor pattern*). Viac informácií o tejto modifikácii klasického *visitor pattern* návrhového vzoru nájdete v Kapitole 4.

Vo vrstve Model existujú popri manažeroch ešte aj tzv. *sub-manažéri*. Tieto entity sú ale určené pre využitie z vrstvy Model. Podporujú generickú komunikáciu, na ktorej báze model-y fungujú, bez straty typovej informácie, a teda sú príjemnejšie pre model-ovú komunikáciu než klasickí manažéri.

2.2 Session-y a hlavné okno

2.2.1 Session-y

Aplikácia, či už z vizuálneho, logického alebo implementačného hladiska, je rozdelená do tzv. *session-ov*. Session-y sú najväčšie stavebné jednotky, z ktorých

každá predstavuje jedinečný mechanizmus dodávaný aplikáciou. Existencia ich inštancií je pominuteľná - vznikajú a zanikajú na popud užívateľa. Session-ov (aj rovnakého druhu) môže byť v aplikácii spustených viacero naraz. Každý session je klasicky tvorený zodpovedajúcimi objektmi z prvých troch vrstiev horizontálnej štruktúry.

Dodatočne môžu session-y využívať cudzie objekty z prvých troch vrstiev horizontálnej štruktúry, ktoré patria buď hlavnému oknu alebo inému typu session-u. V takom prípade by malo byť ale poriadne rozmyslené, či takéto „postranné“ využitie dáva zmysel a či sa ním neporušujú zásady používania daného view-u, view model-u alebo model view-u.

Popríklad je možné využívať špecifické model view-y a view model-y prostredníctvom *interakcií*. V takom prípade by ale dané objekty mali byť na daný účel prispôsobené (viac informácií v Podsekcii 2.1.2, bod **View model**, 3. odsek).

Session-y sú klasicky rozdelené na logické časti, ktoré spolupracujú na dodaní požadovaného mechanizmu. Môžu napríklad reprezentovať konkrétne fázy jeho procesu. Každá časť je väčšinou tvorená jednou triedou z každej vrstvy View, View model a Model view.

Jednotlivé session-y by medzi sebou nemali navzájom komunikovať ani zdieľať svoje dáta. Mohlo by to viesť k problémom s paralelizáciou služieb vykonávaných vrstvou Model.

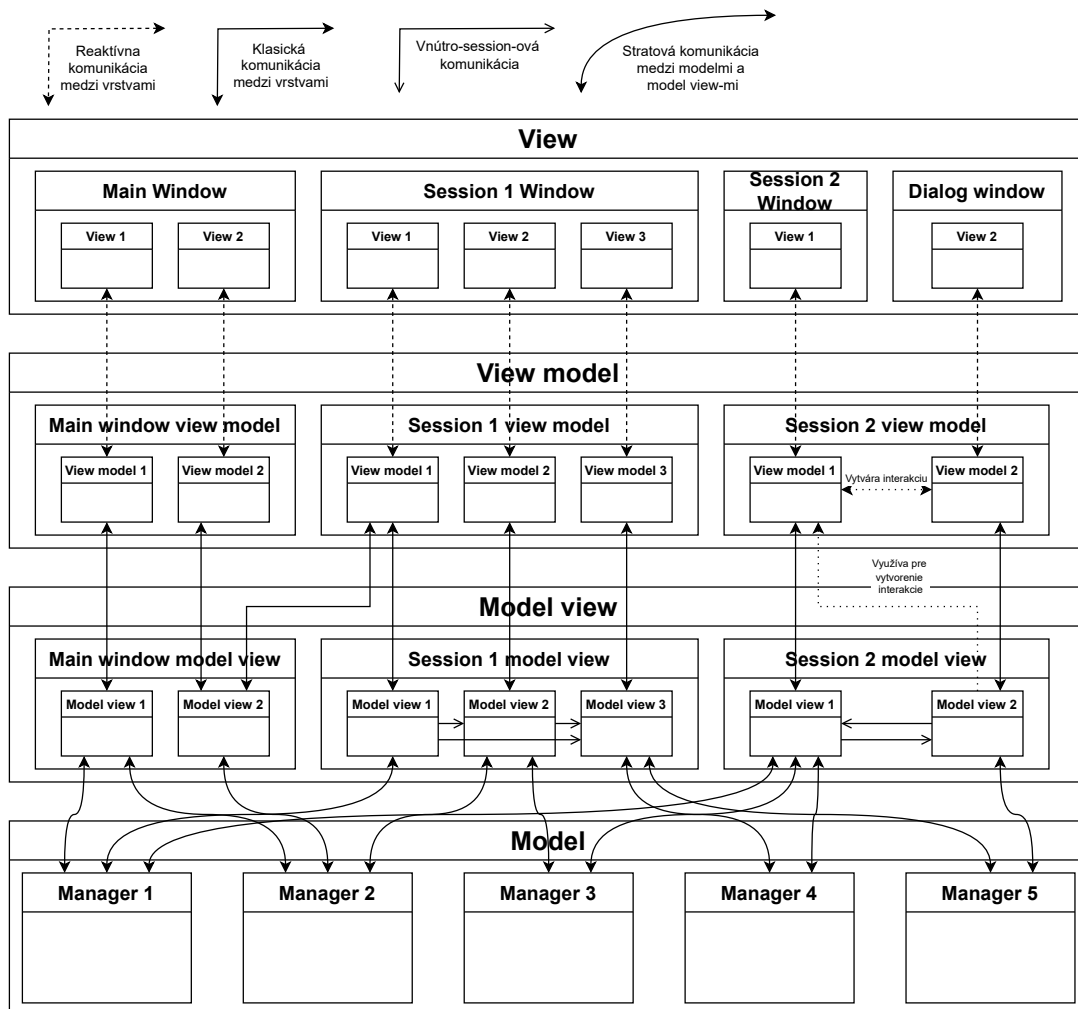
Session-y ako také reprezentujú cestu k všeobecnej rozšíriteľnosti aplikácie o novú aplikačnú logiku. Ak by vznikla potreba, aby aplikácia obsahovala nejaký nový mechanizmus, stačí preňho vytvoriť zodpovedajúci session a upraviť hlavné okno tak, aby ho vedelo ponúknuť užívateľovi.

2.2.2 Hlavné okno

Session-y sú vytvárané a spravované takzvaným *hlavným oknom*. Je to jediná perzistentná „vertikálna“ vrstva aplikácie. Beh aplikácie začína otvorením tohto okna a končí jeho zatvorením. Hlavné okno môže byť používané počas celého behu aplikácie. Pokiaľ je vydaný pokyn na uzavretie hlavného okna, pričom sú stále živé niektoré session-y, užívateľ môže byť na tento fakt upozornený. Ak mu to ale neprekáža, zatvorením hlavného okna sa zavrú aj všetky ostatné a aplikácia sa ukončí. Logika session-ov by mala túto skutočnosť brať do úvahy.

Horizontálna štruktúra hlavného okna je veľmi podobná tej session-ovej. Taktiež využíva MVVM(MV) architektúru. Jej časti sú ale z podstaty hlavného okna vytvárané len raz pri štarte aplikácie a zanikajú pri jej ukončení. *Session view model* a *Session model view* sú nahradené za funkčne identické *Main window view model* a *Main window model view*. Podobne ako pri session-och, aj hlavné okno je rozdelené do niekoľkých častí. Tie si medzi sebou rozdeľujú jeho funkcionality. Niektoré z jeho častí môžu byť sprístupnené rôznym session-om, aby si z nich mohli vytiahnuť potrebné parametre platiace pre celú aplikáciu.

Ako bolo spomenuté na začiatku tejto podsekcie, hlavné okno vytvára, eviduje a spravuje inštancie všetkých session-ov. Definuje maximálny počet aktívnych session-ov, spravuje session-y pri ukončovaní aplikácie, poskytuje *dodávateľa* hlavných parametrov, inicializuje pri vytváraní session-u jeho session view model a session model view.



Obr. 2.1 Príklad možnej „mriežkovej“ štruktúry aplikácie.

3 Vertikálna štruktúra aplikácie

V tejto kapitole uvádzame bližší pohľad na súčasnú podobu hlavného okna a session-ov aplikácie. Aktuálne aplikácia disponuje len jedným typom session-u určeným pre samotné vyhľadávanie ciest v mapách (*Path finding session*). Viac informácií o vertikálnej štruktúre aplikácie je možné nájsť v Sekcii 2.2.

3.1 Hlavné okno

O obecných úlohách hlavného okna sme sa zmienili už v Podsekcii 2.2.2. V tejto sekcii sa pozrieme na aktuálne implementovanú architektúru, ako aj funkcionality hlavného okna.

Hlavné okno je tvorené dvomi časťami: hlavným menu a hlavnými nastaveniami. Popri tom interaktívne využíva v nastaveniach služby mechanizmu pre správu výškových dát.

Ako už bolo spomenuté v Podsekcii 2.2.2, po zatvorení hlavného okna sa ukončuje aj aplikácia. Tým pádom je úlohou hlavného okna zaistiť uloženie všetkých parametrov aplikácie pre využitie v budúcich behoch.

V nasledujúcich podsekciiach popíšeme časti, z ktorých je aktuálne hlavné okno tvorené. Na konci tejto sekcie je zobrazený Diagram 3.1 reprezentujúci jeho architektúru.

3.1.1 Hlavné menu

Hlavné menu je prvá časť, ktorá sa v hlavnom okne užívateľovi po zapnutí aplikácie zobrazí. Obsahuje možnosti vytvorenia inšancií session-ov a možnosť otvorenia hlavných nastavení aplikácie.

View model hlavného menu si vedie evidenciu všetkých otvorených session-ov. Pri detekcii zatvorenia hlavného okna sa stará o ich správne ukončenie. Taktiež si drží referenciu na sprostredkovateľa hlavných nastavení. Toho následne môže predať session-om, ktorý ho môžu použiť pre získanie parametrov platných pre celú aplikáciu.

Zvláštnosťou tejto časti je absencia vlastného model view-u. V aktuálnej podobe aplikácie totiž nie je potrebný, nakoľko hlavné menu nepotrebuje komunikovať so žiadnym modelom ani inou časťou hlavného okna. Ak by táto potreba v budúcnosti vznikla, nemal by byť problém model view pre hlavné menu vytvoriť.

Možné vylepšenie tejto časti by mohlo zahrňovať vypísanie všetkých aktuálne otvorených session-ov pre užívateľa. Zaisťovalo by to preňho jednoduchšiu orientáciu v aplikácii.

3.1.2 Hlavné nastavenia

Hlavné nastavenia sú druhou časťou hlavného okna. Zabezpečujú možnosť pre užívateľa nastaviť parametre, ktoré sú využívané celou aplikáciou.

V aktuálnom stave sú to tri možnosti konfigurácie: možnosť zmeny lokalizácie aplikácie, možnosť konfigurácie typov užívateľských modelov, vytvárania mapových reprezentácií alebo vyhľadávacích algoritmov a možnosť nastavenia implicitne

používaného zdroja výškových dát (presnejšie konkrétnej distribúcie výškových dát daného zdroja).

Lokalizácia je implementovaná na základe lokalizačných .resx zdrojových súborov. Avalonia je schopná takéto zdroje využívať aj na zmenu pevných nápisov aplikácie.

Pre konfiguráciu konkrétneho typu užívateľského modelu, mapovej reprezentácie či vyhľadávacieho algoritmu užívateľ vyberie odpovedajúcu položku v stromovej štruktúre konfigurácií a na spodu okna sa zobrazia možné konfiguračné položky, ktorými môže užívateľ nastaviť správanie daného objektu.

Zdroj výškových dát je nastavovaný za pomoci interakcie s mechanizmom konfigurácie výškových dát. Po stlačení príslušného tlačidla sa v hlavnom okne zobrazí view zodpovedajúci tomuto mechanizmu. Užívateľ si v ňom môže vybrať, ktorú distribúciu dát chce implicitne v aplikácii využívať. Viac informácií ohľadom konfigurácie výškových dát nájdete v nasledujúcej podsekcii.

3.1.3 Konfigurácia výškových dát

Konfigurácia výškových dát má špecifický spôsob využitia. Je určená na to byť otváraná pomocou interakcie, vytvorenej inou časťou aplikácie. Jej hlavnou funkciou je dodávanie mechanizmu sťahovania a mazania výškových dát, ktoré je možné využiť ako dodatočný informačný zdroj pri vytváraní mapových reprezentácií.

Výškové dáta sú sťahované zo špecifických zdrojov. Zdroje výškových dát môžu obsahovať viacero dátových distribúcií. Tie sa môžu líšiť v kvalite, presnosti či dostupnosti dodávaných výškových dát.

Manipulácia s dátami je vykonávaná po oblastiach zvaných *regióny*. Veľkosť a tvar regiónov si každá distribúcia dát definuje sama.

V niektorých prípadoch zdroj výškových dát môže vyžadovať k ich sprístupneniu autorizáciu užívateľa pomocou mena a hesla. Táto autorizácia nemusí byť požadovaná pre všetky jeho dátových distribúciách. V prípade potreby autorizácie mechanizmus zabezpečuje možnosť užívateľovi dané údaje poskytnúť. Následne sa aplikácia pokúsi na ich základe požadované dáta získať.

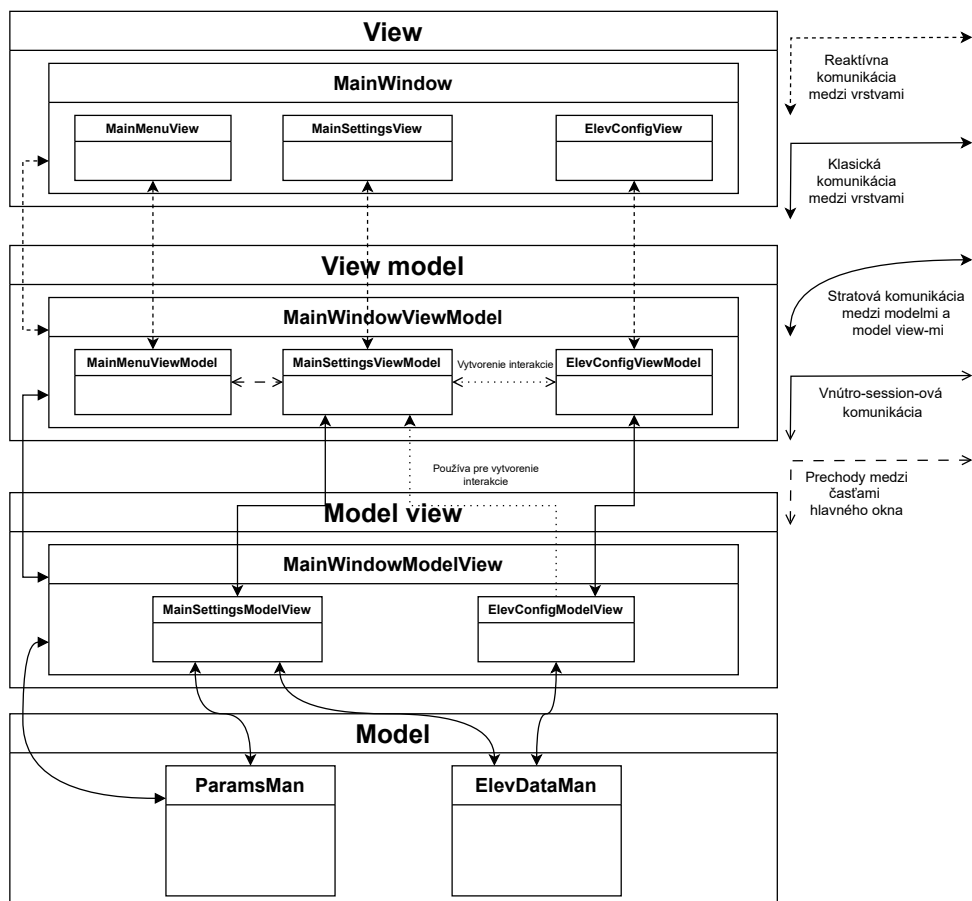
Sťahovanie a mazanie dát prebieha asynchrónne. Užívateľ je informovaný o tom, ktoré regióny su aktuálne stiahnuté, sťahované, neprítomné a odstraňované. Viacero regiónov môže byť sťahovaných/odstraňovaných naraz, či už z jedného alebo rôznych dátových zdrojov. Správne asynchrónne fungovanie manipulácie s dátami zaručujú implementácie zdrojov výškových dát v Model vrstve.

Špecifickou vlastnosťou konfigurácie výškových dát je možnosť ju používať súčasne z viacerých miest v aplikácii. Je navrhnutá tak, aby zvládala korektne akceptovať pokyny z mnohých interakcií naraz. Vďaka za to návrhu model view-u, ktorý poskytuje informácie o tom, v akom štádiu sťahovania sú jednotlivé regióny. Vďaka tomu všetky naviazané view model-y získajú aktuálne informácie a môžu správne korigovať manipuláciu s výškovými dátami.

Spôsob používania konfigurácie výškových dát je nasledovný:

- Pri inicializácii interakcie je novo vytvorenému view model-u (následne použitému v interakcii) predaná aktuálne využívaná distribúcia výškových dát.

- Tá je v konfigurácii nastavená ako aktuálne konfigurovaná a ukázaná pomocou view-u užívateľovi.
- Následne prichádza fáza samotného konfigurovania výškových dát. Užívateľ môže:
 - Zmeniť aktuálne konfigurovanú distribúciu výškových dát.
 - Stahovať a odstraňovať výškové dáta aktuálne vybranej distribúcie. Tieto úkony sú uskutočňované na základe regiónov definovaných konfigurovanou distribúciou.
 - Zadať autorizačné údaje pre možnosť využitia dát zo špecifických distribúcií, ktoré autorizáciu vyžadujú.
 - Ukončiť konfiguračnú interakciu.
- Pri ukončení interakcie sa posledne konfigurovaná distribúcia vráti ako novo zvolená na používanie.



Obr. 3.1 Diagram popisujúci architektúru hlavného okna aplikácie.

3.2 Session pre vyhľadávanie ciest v mapách

Vyhľadávanie ciest v mapách je hlavnou náplňou aplikácie. V tejto sekcii popíšeme typ session-u, ktorý zabezpečuje logiku za doručovaním tejto služby. Mechanizmus hľadania cesty v mapách zahrnuje:

- výber vstupných parametrov tak, aby ich kombinácia bola platná,
- vytvorenie grafickej reprezentácie mapy,
- vytvorenie mapovej reprezentácie, v ktorej sa bude vyhľadávať cesta,
- umožnenie užívateľovi zadať trať, na ktorej sa má cesta vyhľadať,
- spustenie implementácie vybraného vyhľadávacieho algoritmu na zvolenej trati a vykreslenie nájdenej cesty.

V aktuálnej podobe sa mechanizmus vyhľadávania cesty skladá z troch častí:

- Nastavenie parametrov hľadania cesty (template, mapa, užívateľský model, mapová reprezentácia a vyhľadávací algoritmus).
- Vytvorenie mapovej reprezentácie na základe vybranej mapy a template-u. Prípadne za pomoci prítomných výškových dát. Táto časť je navrhnutá pre použitie v interakcii. Interakciu iniciuje časť nastavovania parametrov.
- Spúšťanie zvoleného vyhľadávacieho algoritmu na vytvorenej mapovej reprezentácii za využitia výpočtov vybraného užívateľského modelu. Zahrňuje prijímanie trate od užívateľa a vykresľovanie nájdenej cesty.

Časť, ktorá sa z časových dôvodov nedostala do mechanizmu hľadania cesty je tzv. *relevance-feedback* mechanizmus. Ten by slúžil pre užívateľa na dodatočné nastavenie hodnôt vybraného užívateľského modelu na základe jeho preferencií vzhľadom k aktuálne vybranej mape. Z tejto časti zostal v aplikácii len zodpovedajúci model view, ktorý v tejto chvíli nenesie žiadnu užitočnú funkcionálnosť. Slúži iba pre prenos dát v Model view vrstve. Bol v aplikácii ponechaný z dôvodu plánovaného budúceho rozšírenia aplikácie o relevance-feedback mechanizmus.

V nasledujúcich podsekciiach popíšeme časti, z ktorých je aktuálne session tvorený. Na konci tejto sekcie je zobrazený Diagram 3.2 reprezentujúci jeho architektúru.

3.2.1 Nastavenia parametrov pre vyhľadávanie cesty

Nastavenia parametrov sú prvou časťou, ktorá je užívateľovi po vytvorení session-u predstretá. Ten si za jej pomoci zvolí:

- template atribútov, ktoré budú extrahované do mapovej reprezentácie,
- mapový súbor, na základe ktorého sa bude vytvárať mapová reprezentácia. Teda súbor s mapou, na ktorej bude prebiehať vyhľadávanie ciest.
- súbor s užívateľským modelom, ktorý bude používaný algoritmom na agregáciu hodnôt z atribútov uložených v mapovej reprezentácii

- vyhľadávaci algoritmus použitý na hľadanie ciest v mapovej reprezentácii za pomoci výpočtov vybraného užívateľského modelu

Na začiatku sa predvolia parametre na tie, ktoré boli použité v predchádzajúcej inštancii session-u. Uložené parametre prežívajú aj samotné behy aplikácie.

Vyberanie parametrov sa musí riadiť istými pravidlami z dôvodu závislostí jednotlivých typov objektov, popísaných v podsekciiach Sekcie 1.1. Danými pravidlami sú:

- Jednotlivé parametre sa nastavujú postupne. Najprv je nutné, aby bol vybraný mapový súbor a template. Následne môže byť vybraný aj súbor s užívateľským modelom a typ mapovej reprezentácie. Keď sú všetky štyri predchádzajúce položky vybrané, je možné vybrať vyhľadávaci algoritmus.
- Pre zvolenú kombináciu template-u a formátu mapového súboru musí existovať mapová reprezentácia, ktorá túto kombináciu dokáže spracovať. Taktiež pre zvolený template musí existovať typ užívateľského modelu, ktorý dokáže spracovávať atribúty definované týmto template-om. Nakoniec musí existovať aspoň jedna kombinácia takto definovanej mapovej reprezentácie a užívateľského modelu, ktorú dokáže využiť aspoň jedna implementácia ľubovoľného vyhľadávacieho algoritmu.

Keď je vybraný buď template alebo mapový súbor a výber druhej položky by spôsobil neplatnú kombináciu, prvá položka sa opäť vynuluje. Možným vylepšením by bolo zabezpečenie indikácie platných kombinácií template-ov a formátov mapových súborov.

- Súbor s užívateľským modelom môže byť vybraný len takého typu, ktorý dokáže spracovávať atribúty definované zvoleným template-om a ktorý spolu s vybranou mapovou reprezentáciou je použiteľnou kombináciou pre aspoň jednu implementáciu nejakého vyhľadávacieho algoritmu.
- Vybraný typ mapovej reprezentácie musí obsahovať implementáciu, ktorá dokáže spracovať dvojicu vybraného template-u a formát vybranej mapy. Zároveň s vybraným užívateľským modelom musia tvoriť kombináciu, ktorú dokáže využiť aspoň jedna implementácia nejakého vyhľadávacieho algoritmu.
- Vyhľadávaci algoritmus následne môže byť zvolený len taký, ktorý dokáže využiť vybraný užívateľský model a mapovú reprezentáciu.

Po výbere mapového súboru sa ihneď z agregovanej mapy vytvorí jej grafická reprezentácia a jej náhľad sa zobrazí užívateľovi.

Po dosadení všetkých parametrov môže užívateľ pokračovať do ďalšej časti mechanizmu, ktorou je vytváranie mapovej reprezentácie. V okamihu prechodu do tejto časti sa taktiež uložia aktuálne nastavené parametre, aby mohli byť znovu použité ako predvolené v nasledujúcich inštanciách session-u.

Proces vytvárania mapovej reprezentácie je vykonaný za pomoci interakcie z parametre-nastavovacej časti. Na základe jej výsledku sa následne buď presunieme v mechanizme ďalej do cestu-vyhľadávacej časti (úspešné vytvorenie) alebo zostaneme v nastaveniach (neúspešné vytvorenie).

3.2.2 Vytváranie mapovej reprezentácie

Vytváranie mapovej reprezentácie je akási prechodová časť medzi nastaveniami a samotným vyhľadávaním ciest v mape. Je prevedená za pomoci interakcie iniciovanej v nastaveniach, po dosadení všetkých potrebných parametrov. Táto interakcia je spracovaná pomocou dialógového okna. Pomocou neho môže užívateľ pozorovať priebeh tvorby mapovej reprezentácie a aktívne sa zapájať pri riešení vzniknutých problémov.

Priebeh tvorby mapovej reprezentácie je nasledovný:

- Ihneď po inicializácii tejto časti sa spustí proces kontroly podmienok tvorby mapovej reprezentácie. Aktuálne je využívaná iba kontrola prítomnosti potrebných výškových dát pri procese tvorenia mapovej reprezentácie. (Táto kontrola zahŕňa aj schopnosť mapy dodať informácie o svojej pozícii a rozlohe, ktoré sú nevyhnutné pre získanie zodpovedajúcich výškových dát).

Pokiaľ tvorená mapová reprezentácia indikuje potrebu výškových dát, skontroluje sa, či sú zodpovedajúce dáta prítomné. Pokiaľ dáta prítomné nie sú alebo mapa nie je schopná definovať svoju geografickú polohu/rozlohu, vytváranie mapovej reprezentácie zlyhá a užívateľ sa môže vrátiť do nastavení.

Do budúca je v pláne umožniť užívateľovi riešenie problému nedostatku výškových dát za pomoci interakcie s konfiguráciou výškových dát. Viac informácií o konfigurácii výškových dát je možné nájsť v Podsekcii 3.1.3.

- Pokiaľ kontrola podmienok dobehne úspešne, je automaticky spustený proces vytvárania mapovej reprezentácie. Tento proces môže trvať dlhšiu dobu a teda je užívateľovi umožnené sledovať jeho vývoj alebo ho dokonca prerušiť. Po prerušení je užívateľ vrátený naspäť do nastavení parametrov.

3.2.3 Vyhľadávanie cesty v mape

Po úspešnom vytvorení mapovej reprezentácie sa môžeme presunúť k samotnému vyhľadávaniu ciest v mape. V tejto chvíli máme k dispozícii všetky potrebné dátové zdroje k správne vykonávaniu tejto činnosti.

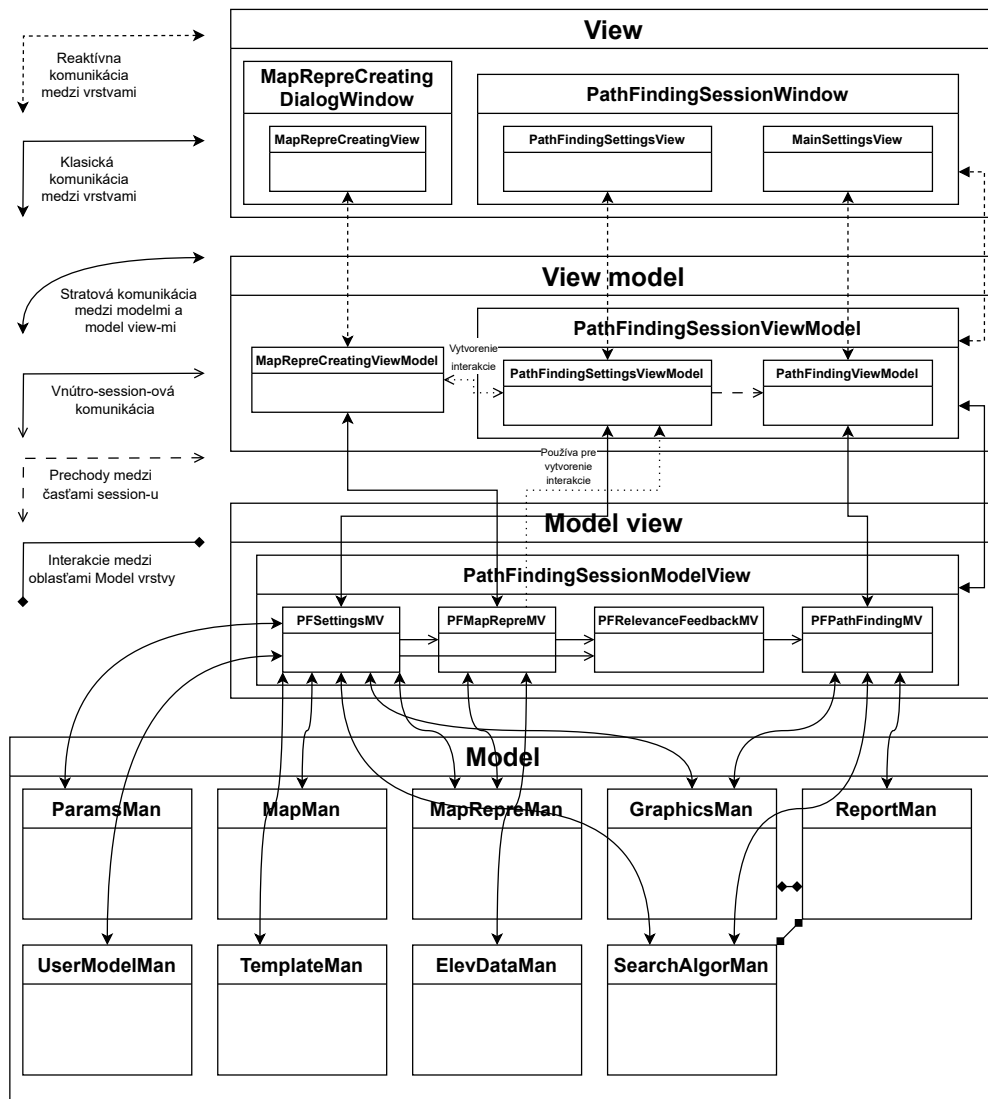
Na začiatku je vykreslená grafika mapy, ktorá bola vytvorená v nastaveniach pri výbere mapového súboru.

Kolobeh vyhľadávania je rozdelený do troch fáz:

- Prvou fázou je umožnenie výberu trate užívateľovi. Trať sa skladá z postupností bodov, medzi ktorými je následne vyhľadávaná cesta. Užívateľ môže pridávať a odoberať koncové body trate.
- Po zadaní cesty prichádza na rad fáza samotného vyhľadávania cesty. Algoritmus má možnosť podávať správy o postupe vyhľadávania, či už pomocou textovej informácie alebo grafického znázorňovania. Užívateľ má možnosť proces vyhľadávania predčasne ukončiť. V takom prípade sa kolobeh vráti do prvej fázy výberu trate.
- Pokiaľ vyhľadávania cesty dobehne úspešne, príde na rad tretia fáza, ktorou je vykreslenie nájdenej cesty. Zároveň sa po strane môžu vypísať informácie o nájdenej trase (napríklad jej dĺžka, prekonané prevýšenie, atď.). V tejto

fáze je užívateľovi umožnené interagovať s nájdenými cestami (s takými, ktoré takúto funkcionality zabezpečujú). Po dokončení prezerania nájdenej cesty sa opäť vrátíme do prvej fázy výberu trate.

Počas ktorejkoľvek fázy je užívateľ schopný približovať, oddalovať a hýbať so zobrazenou grafikou vyhľadávania.



Obr. 3.2 Diagram popisujúci architektúru session-u pre vyhľadávanie cesty v mapách

4 Architektúra vrstvy Model

Model vrstva je štvrtou vrstvou MVVM(MV) architektúry. Táto vrstva je pre zvyšné vrstvy zdrojom dát a mechanizmov, ktoré tieto dáta spracovávajú. Delí sa do mnohých oblastí. Pre komunikáciu s týmito oblasťami sú vytvorení takzvaní *manažéri*. Manažéri sú prístupovaní z Model view vrstvy a doručujú jej svoje služby, či už informatívne alebo výpočtové. Viac informácií o vrstve Model je možné nájsť v Podsekcii 2.1.4.

Implementáciu Model vrstvy z veľkej časti poznačila už spomínaná strata typovej informácie pri komunikácii s Model view vrstvou. Väčšina oblastí sa s touto stratou vysporadúva podobným spôsobom:

- **Komunikácia smerujúca z vrstvy Model** - Pre všetky dátové štruktúry, ktoré sa využívajú mimo vrstvy Model, sú vytvorení predkovia, ktorí sú buď negenerickí alebo obsahujú kovariantné generické parametre. Tým pádom vedia byť prenášaní negenerickým spôsobom mimo vrstvy Model.
- **Komunikácia smerujúca do vrstvy Model** - Pre dátové štruktúry, ktorých typovú informáciu je potrebné v Model vrstve opäť nadobudnúť, bol vytvorený tzv. *Generic visitor pattern*. V prípadoch, kedy nie je potrebné poznať ich presný typ, sa využíva klasické typové testovanie cez operátor *is*.

Generic visitor pattern je obdoba klasického návrhového vzoru *Visitor pattern*. Pracuje na podobnom princípe, kedy je na navštevovanej inštancii volaná metóda **Visit** ktorej sa predá inštancia volajúcej triedy. Následne navštívená inštancia odpovie zavolaním metódy **Accept** na dodanej volajúcej inštancii a predaním samej seba v argumente indikuje, ktorý overload metódy **Accept** sa má zavolať.

V prípade generic visitor pattern-u však volajúca trieda neimplementuje overload metódy **Accept** pre každý možný typ navštevovanej inštancie ale len jednu generickú metódu **Accept<T>**. V typovom parametri T je následne predaná informácia o type navštívenej inštancie.

V nasledujúcich sekciách sa pozrieme detailnejšie na aktuálne existujúce oblasti vrstvy Model a ich vnútorné mechanizmy.

4.1 Template-y

Táto oblasť sa stará o správu atribútových template-ov (len *template-ov* pre jednoduchosť). Viac informácií o myšlienke a funkcii template-ov je možné nájsť v Podsekcii 1.1.5. Čo sa obsahu týka, je to jedna z najmenších oblastí.

Hlavným uzlom pre komunikáciu z Model view vrstvy je singleton trieda **TemplateManager**. Ten ponúka kolekciu všetkých template-ov, ktoré je možné v aplikácii použiť.

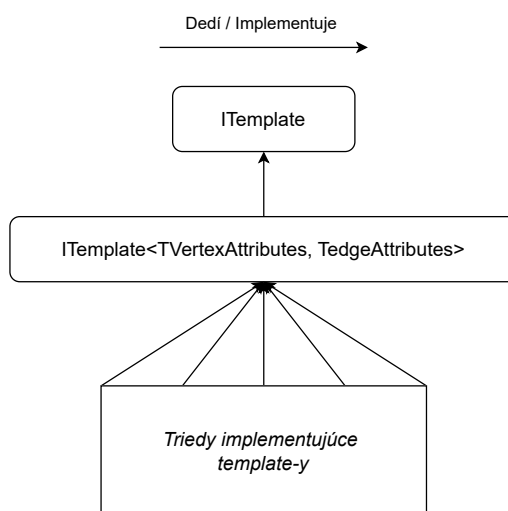
V nasledujúcich odsekoch popíšeme objektovú štruktúru template-ov. Jednoduché grafické znázornenie tejto architektúry je dostupné k nahliadnutiu v Diagrame 4.1.

Template-y sú reprezentované pomocou tried, ktoré implementujú rozhranie `ITemplate<TVertexAttributes, TEdgeAttributes>`. Tento generický interface núti svoje implementácie, aby dosadením jeho typových parametrov indikovali typy vrcholových a hranových atribútov ktoré reprezentujú.

Ďalej v aplikácii existuje ešte aj negenerický predok `ITemplate` spomenutého rozhrania, ktorý slúži na komunikáciu mimo vrstvy Model. Definuje vlastnosti, ktoré sú potrebné pri práci s template-ami vo vonkajšom prostredí. Tento interface by nemal byť nikdy priamo implementovaný.

Template-ové triedy by mali byť implementované ako singleton-y. V aplikácii je totiž vždy využívaná len jedna inštancia každého template-ového typu a to tá zahrnutá v kolekcii template-ov v triede `TemplateManager`.

Template-y podporujú návrhový vzor *generic visitor pattern*. Ten sa svojou funkcionalitou trochu odlišuje od ostatných implementácií. Metóda `Visit` je totiž definovaná v rozhraní `ITemplate`, ale metóda `Accept` vracia typový parameter, ktorý je obmedzený na rozhranie `ITemplate<TVertexAttributes, TEdgeAttributes>`. Tento trik slúži k tomu, aby aj na premennej typu `ITemplate` bolo možné ihneď získať typy vrcholových a hranových atribútov daného template-u. Tento trik funguje na základe predpokladu, že všetky template-ové triedy implementujú rozhranie `ITemplate<TVertexAttributes, TEdgeAttributes>`.



Obr. 4.1 Diagram popisujúci objektovú štruktúru template-ov.

4.2 Mapy

Táto oblasť sa stará o vytváranie a správu mapových objektov. Viac informácií o koncepte Máp je možné nájsť v Podsekcii 1.1.1.

Hlavným uzlom pre komunikáciu z Model view vrstvy je singleton trieda `TemplateManager`. Tá ponúka kolekciu mapových formátov, ktorá obsahuje zástupcov všetkých mapových typov, ktoré je možné v aplikácii využiť. Každý zástupca zastupuje jeden typ mapy, jeden formát. Popri tom ponúka metódy pre vytváranie mapových inštancií a metódy pre identifikáciu mapových formátov.

V nasledujúcich odsekoch popíšeme objektovú štruktúru máp a ich zástupcov. Grafické znázornenie tejto architektúry je možné nahliadnuť v Diagrame 4.2.

Mapy sú reprezentované pomocou tried, ktoré implementujú rozhranie **IMap**. Toto rozhranie nedefinuje žiadnu zaujímavú funkcionality. Obsahuje pár vlastností využívaných mimo vrstvy Model pre identifikáciu mapy.

Triedy máp následne môžu implementovať niektoré z ďalších definovaných rozhraní, ktoré pridávajú svoje kontrakty. Tieto kontrakty sú zamerané na geografické lokalizovanie a rozlohu máp. Sú využívané predovšetkým pri získavaní dodatočných výškových dát zodpovedajúcich konkrétnej mape. Ak si je mapový typ vedomý toho, že na vytvorenie jeho mapovej reprezentácie bude potrebná výpomoc výškových dát, mal by implementovať aspoň jeden z interface-ov, ktorý definuje informácie o geo-lokalite a rozlohe mapy.

Ako už bolo naznačené, pri mapách je potrebné, aby v aplikácii niekto zastupoval ich formáty. K tomuto slúžia triedy implementujúce trojicu rozhraní:

- **IMapFormat<out TMap>** - Je určený pre komunikáciu mimo vrstvy Model. Definuje vlastnosti, ktoré sú potrebné pri práci s mapovým zástupcom vo vonkajšom prostredí a metódu na vytváranie mapy zastupovaného typu. Tento interface by nemal byť priamo implementovaný.
- **IMapIdentifier<in TMap>** - Slúži na identifikáciu zodpovedajúceho mapového formátu pre konkrétny typ mapy. Vďaka kontravariantnej povahe jeho typového parametru bude táto identifikácia fungovať správne aj pre potomkov typu TMap. Tento interface by nemal byť priamo implementovaný.
- **IMapRepresentative<TMap>** - Zastupuje jeden konkrétny typ/formát mapy. Je potomkom predošlých dvoch interface-ov - spája ich funkcionality. Tento interface je určený k tomu, aby bol priamo implementovaný mapovými zástupcami.

Na to, aby bolo možné mapový typ využiť v aplikácii, musí byť jeho zástupca zahrnutý v príslušnej kolekcii v triede **MapManager**. Z tohto dôvodu je na mieste, aby boli títo zástupcovia implementovaní ako singleton triedy.

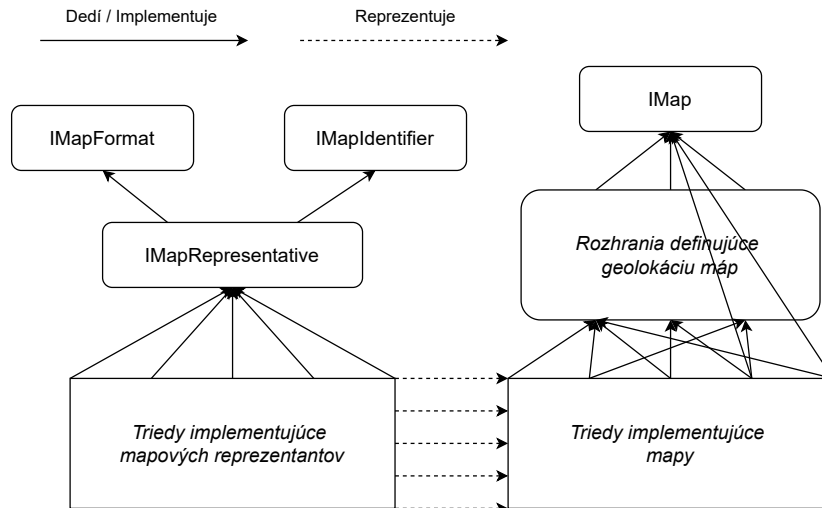
Mapy podporujú návrhový vzor *Generic visitor pattern*. Ten je definovaný ako pre rozhranie **IMap**, tak aj pre rozhranie **IGeoLocatedMap** (pridáva kontrakt o geografickej lokalite mapy).

4.3 Mapové reprezentácie

Ďalšia z oblastí sa stará o vytváranie a spravovanie mapových reprezentácií, resp. grafov. Čo do obsahu aj komplexnosti sa jedná o jednu z najväčších oblastí. Viac informácií o koncepte mapových reprezentácií je možné nájsť v Podsekcii 1.1.2.

Hlavným uzlom pre prácu s touto oblasťou z vonkajšieho prostredia je singleton trieda **MapRepreManager**. Ten ponúka kolekciu obsahujúcu zástupcov všetkých typov mapových reprezentácií, ktoré je možné v aplikácii využiť. Popri tom obsahuje metódy určené na

- vytváranie mapových reprezentácií,
- identifikáciu reprezentácií vytvoriteľných pre konkrétnu kombináciu typov template-u a mapy,



Obr. 4.2 Diagram popisujúci objektovú štruktúru máp a ich zástupcov.

- detekciu potreby výškových dát pri konštrukcii mapovej reprezentácie.

V nasledujúcich odsekoch popíšeme objektovú štruktúru mapových reprezentácií/grafov, ich implementácií a zástupcov. Pre jednoduchšie porozumenie je možné v Diagrame 4.3 nahliadnuť grafické znázornenie tejto architektúry.

Štruktúra dát, ktoré súvisia s mapovými reprezentáciami odzrkadľuje dvojakosť významov mapovej reprezentácie a grafu ako bolo popísané v Podsekcii 1.1.2. Každému typu mapovej reprezentácie je priradený konkrétny typ grafu.

Mapové reprezentácie/grafy sú v aplikácii reprezentované triedami, ktoré implementujú rozhranie **IGraph<TVertex, TEdge>**. Toto rozhranie reprezentuje myšlienku grafu, ktorý zastupuje konkrétnu mapovú reprezentáciu. Jeho typové parametre definujú typy jeho vrcholov a hrán. Obsahuje kontrakty, ktoré musia grafy všetkých typov naplňať. Aktuálne je to len jedna metóda vracajúca graf do jeho základného stavu.

IGraph<TVertexAttributes, TEdgeAttributes> má za predchodcu rozhranie **IMapRepre** reprezentujúce myšlienku samotnej mapovej reprezentácie. Cez toto rozhranie sú mapové reprezentácie/grafy distribuované vonkajšiemu svetu. K tomuto účelu rozhranie definuje vlastnosti využívané mimo vrstvy Model. Grafová podstata mapových reprezentácií je tým vonkajšiemu svetu ukrytá a len špecifické oblasti Model vrstvy ju znova odhaľujú a využívajú.

Každá mapová reprezentácia/graf má množinu svojich implementácií. Implementácie sú tvorené pre konkrétne kombinácie template-ov a mapových formátov. Konkrétny typ mapovej reprezentácie môže byť vytvorený len pre takú kombináciu template-u a mapového formátu, pre ktorý je vytvorená príslušná implementácia.

V aplikácii sú naďalej prítomné ďalšie rozhrania, ktoré môžu (a mali by v čo najväčšom rozsahu) jednotlivé grafy implementovať. Tieto rozhrania definujú kontrakty týkajúce sa vlastností a funkcií generovaných grafov.

Na to aby mohla byť mapová reprezentácia, graf či implementácia v aplikácii použitá, musí pre ne existovať vhodný zástupca. Tento zástupca je následne poskytnutý na patričnom mieste.

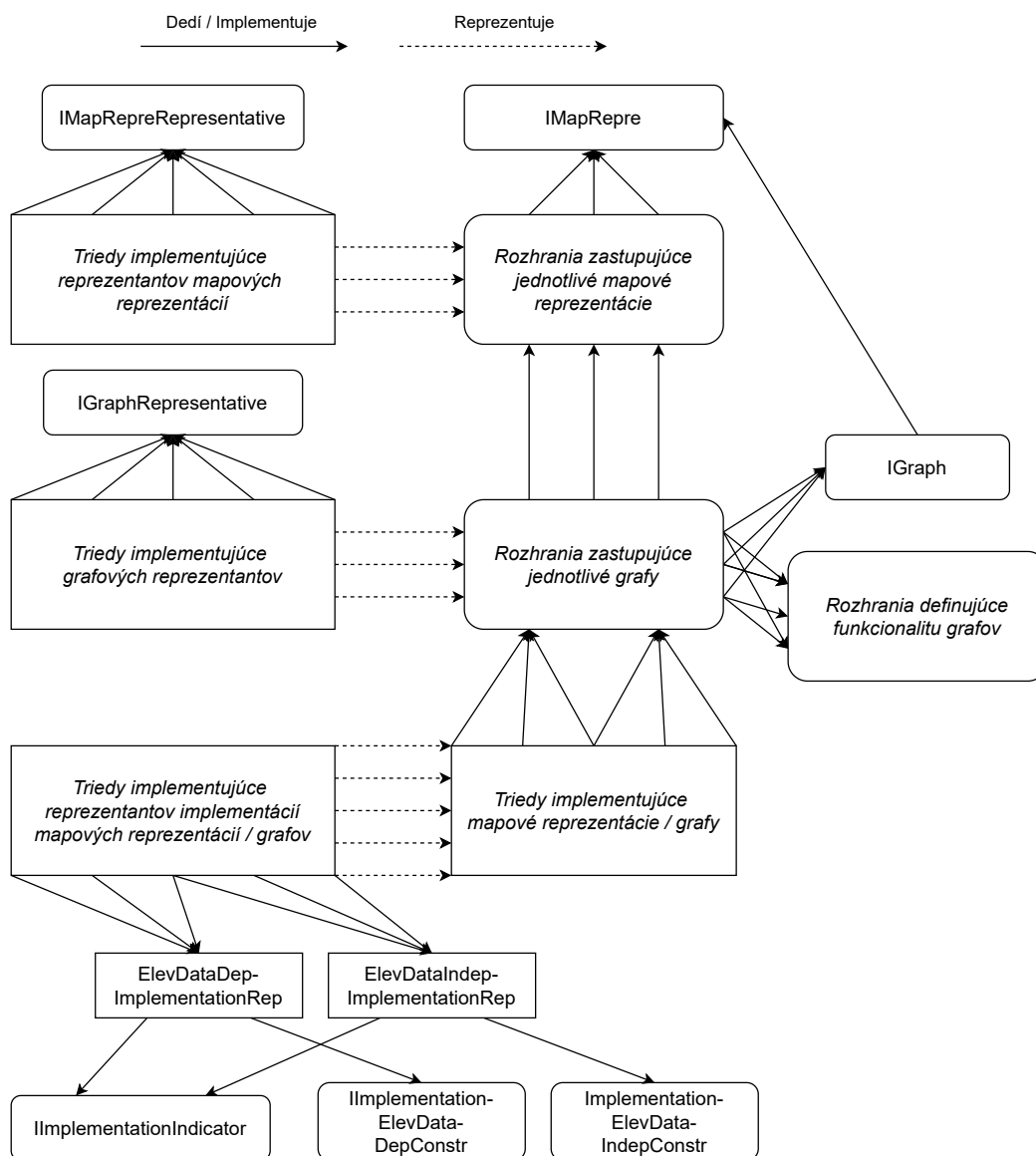
Taktiež disponujú množinou typových parametrov, z ktorých každý má svoj špecifický význam:

- **TTemplate** - definuje typ template-u, pre ktorý je zastupovaná implementácia vytvorená,
- **TGraph** - definuje typ mapovej reprezentácie/grafu, pre ktorý je zastupovaná implementácia vytvorená,
- **TVertex**, **TEdge** - definujú typy vrcholov a hrán z ktorých sa skladá implementácia grafu,
- **TVertexAttributes**, **TEdgeAttributes** - definujú typy atribútov použitých v implementovanom grafe,
- **TMap**, **TUsableSubMap** - tieto parametre sú jemne zavádzajúce. Prvý z nich hovorí o tom, aký typ mapy je navonok indikovaný pomocou vlastnosti mapového formátu. Druhý hovorí o tom, ktorý typ potomok typu **TMap** je v skutočnosti potrebný na vytvorenie mapovej reprezentácie. Malo by byť zaručené okolitým prostredím, že pokiaľ je nejaká mapa správneho formátu, tak je určite možné ju použiť pre vytvorenie mapovej reprezentácie.

Zástupcovia jednotlivých implementácií mapovej reprezentácie sú zahrnutí v kolekcii zástupcu tejto mapovej reprezentácie.

Bolo by vhodné, aby všetci spomenutí zástupcovia boli implementovaní ako singleton triedy. Od každého z nich je totiž za celú dobu behu programu potrebné vytvoriť iba jedinú inštanciu, ktorá je poskytovaná zvyšku aplikácie na patričnom mieste.

Poslednou súčasťou oblasti mapových reprezentácií sú triedy, ktoré reprezentujú vrcholy a hrany používané v grafoch. Jednotlivé typy sa potom líšia dodávanými vlastnosťami.



Obr. 4.3 Diagram popisujúci objektovú štruktúru mapových reprezentácií/grafov, ich implementácií a zástupcov.

4.4 Uživatelské modely

V tejto oblasti sú vytvárané a spravované užívateľské modely. Viac informácií o koncepte užívateľských modelov je možné nájsť v Podsekcii 1.1.3.

Hlavným komunikačným uzlom s touto oblasťou pre Model view vrstvu je singleton trieda `UserModelManager`. Ten ponúka kolekciu všetkých typov užívateľských modelov, ktoré je možné v aplikácii využiť. Mimo to implementuje metódy pre:

- Serializáciu a deserializáciu užívateľských modelov do/z súborov,
- Vytváranie nových inštancií užívateľských modelov,
- Všeobecnú identifikáciu typov užívateľských modelov na základe rôznych typov argumentov.

V nasledujúcich odsekoch popíšeme objektovú štruktúru užívateľských modelov a ich zástupcov. Grafické znázornenie tejto architektúry je dostupné k nahliadnutiu v Diagrame 4.4.

Užívateľské modely sú v aplikácii reprezentované triedami, ktoré implementujú rozhranie `IUserModel<out TTemplate>`. Prostredníctvom tohto rozhrania sú užívateľské modely využívané mimo vrstvy Model. Z tohto dôvodu definuje informatívne vlastnosti, ktoré sú potrebné prevažne vo vonkajšom svete. Popri tom definuje ešte aj kontrakty zaručujúce schopnosť serializácie užívateľského modelu. Každý užívateľský model je viazaný na konkrétny template, typu `TTemplate`. K tomu si každý užívateľský model nesie aj referenciu na inštanciu daného template-u.

Na to aby bol užívateľský model použiteľný vo vyhľadávacích algoritmoch, nestačí aby implementoval predchádzajúce základné rozhranie. Je potrebné aby implementoval následnícke rozhranie `IComputingUserModel<out TTemplate, in TVertexAttributes, in TEdgeAttributes>`. Tento interface sám o sebe nedefinuje žiadny kontrakt. Až jeho následníci definujú výpočtovú funkcionálnosť, ktorú implementujúci užívateľský model vie ponúknuť napríklad vyhľadávaciemu algoritmu.

Jedným z týchto následníkov je interface `IWeightComputingUserModel<out TTemplate, in TVertexAttributes, in TEdgeAttributes>`. Toto rozhranie zaisťuje schopnosť užívateľského modelu, na základe dodaných vrcholových a hránových atribútov, vypočítať váhu zodpovedajúcej hrany. Túto funkcionálnosť by mali spĺňať všetky užívateľské modely, nakoľko veľká časť vyhľadávacích algoritmov potrebuje poznať váhu jednotlivých hrán pre správny výber postupu.

Oproti výpočtovým rozhraniám existuje v tejto oblasti aj špecifické rozhranie `ISettableUserModel`. Toto rozhranie musia implementovať všetky typy užívateľských modelov, ktoré sú určené na to, aby v nich užívateľ mohol konfigurovať nastaviteľné hodnoty (tzv. *Adjustables*) vzhľadom na svoje preferencie. Kontrakt ktorý definuje zaručuje dodanie kolekcie týchto nastaviteľných hodnôt, aby mohli byť dodané užívateľovi a ten s nimi mohol pracovať. Mechanizmus vytvárania a nastavovania užívateľských modelov zatiaľ v aplikácii nie je implementovaný, a teda toto rozhranie aktuálne čaká na svoje využitie.

V aplikácii je potrebné, aby existencia jednotlivých typov užívateľských modelov bola nejakým spôsobom zastúpená. Týmito zástupcami sú triedy implementujúce nasledujúcu trojicu rozhraní:

- **IUserModelType<out TUserModel, out TTemplate>** - Je určený pre komunikáciu mimo vrstvy Model. Definuje vlastnosti, ktoré sú potrebné pri práci so zástupcom užívateľského modelu vo vonkajšom prostredí.

Taktiež obsahuje referenciu na template, na ktorý je zastupovaný užívateľský model viazaný a definuje metódy slúžiace na deserializáciu a vytváranie nových užívateľských modelov. Implementácie deserializácie zástupcu a serializácie zastupovaného užívateľského modelu sa musia zhodovať.

Tento interface by nikdy nemal byť priamo implementovaný.

- **IUserModelTemplateBond<in TTemplate>** - Reprezentuje väzbu užívateľského modelu a template-u. Vďaka kontravariantnej povahe jeho template-ového typového parametru bude táto identifikácia fungovať správne aj pre prírodných potomkov typu TTemplate. Tento interface by nikdy nemal byť priamo implementovaný.
- **IUserModelIdentifier<in TUserModel>** - Identifikuje individuálny užívateľský model alebo jeho potomkov. Vďaka kontravariantnej povahe jeho typového parametru bude táto identifikácia fungovať správne aj pre potomkov typu TUserModel. Tento interface by nikdy nemal byť priamo implementovaný.
- **UserModelRepresentative<TUserModel, TTemplate, TConfiguration>** - Zastupuje jeden konkrétny typ užívateľského modelu viazaného na jeden konkrétny typ template-u. Je potomkom predošlých troch interface-ov - spája ich funkcionality. Táto trieda je určený k tomu, aby z nej priamo dedili zástupcovia užívateľských modelov.

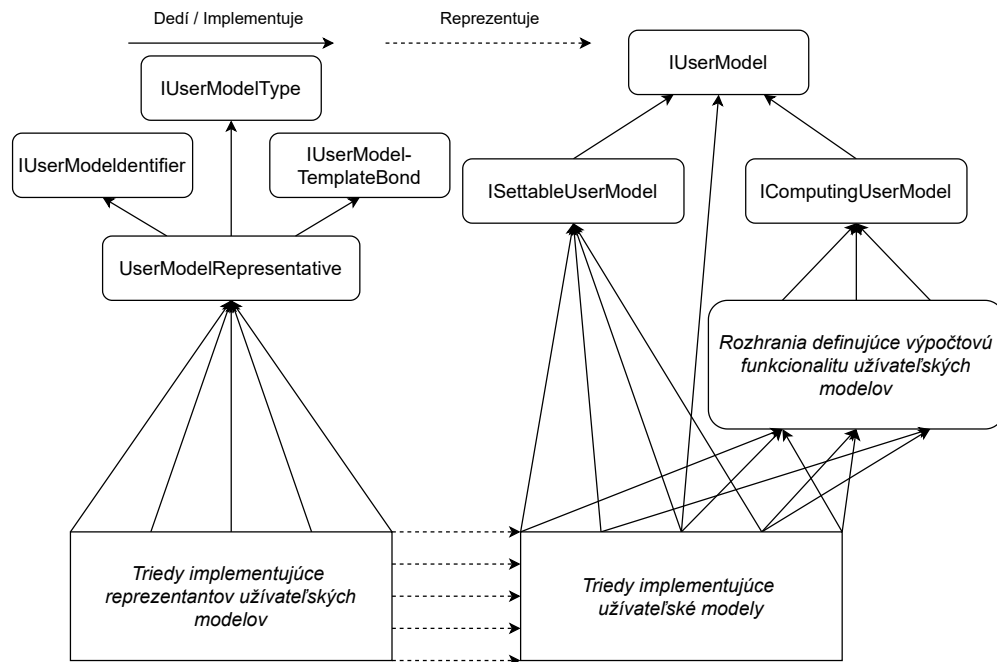
Na to, aby bolo možné typ užívateľského modelu využiť v aplikácii, musí byť jeho zástupca zahrnutý v príslušnej kolekcii triedy **UserModelManager**. Z tohto dôvodu je na mieste, aby títo zástupcovia boli implementovaný ako singleton-y.

4.5 Vyhľadávacie algoritmy

Táto oblasť zahŕňa mechanizmy spravujúce algoritmy pre vyhľadávanie ciest v mapových reprezentáciách. Viac informácií o vyhľadávacích algoritmoch samotných je možné nájsť v Podsekcii 1.1.6.

Hlavným komunikačným uzlom s touto oblasťou pre Model view vrstvu je singleton trieda **SearchingAlgorithmMan**. Táto trieda zverejňuje v kolekcii všetky použiteľné vyhľadávacie algoritmy aplikácie. Popri tom obsahuje metódy zabezpečujúce:

- spúšťanie procesu vyhľadávania cesty na základe dodaného užívateľského modelu a mapovej reprezentácie
- dodávanie *executor*-u vyhľadávacieho algoritmu
- identifikáciu vyhľadávacích algoritmov spustiteľných pre konkrétne kombinácie mapových reprezentácií a užívateľských modelov



Obr. 4.4 Diagram popisujúci objektovú štruktúru užívateľských modelov a ich zástupcov.

V nasledujúcich odsekoch popíšeme objektovú štruktúru vyhľadávacích algoritmov a ich implementácií. Jednoduché grafické znázornenie tejto architektúry je dostupné k nahliadnutiu v Diagrame 4.5.

Vyhľadávacie algoritmy sú v aplikácii reprezentované pomocou tried, ktoré implementujú rozhranie **ISearchingAlgorithm**. Každý algoritmus môže byť implementovaný niekoľkými spôsobmi. Rozhranie preto definuje kolekciu, v ktorej by mali byť všetky použiteľné implementácie daného algoritmu zverejnené. Ďalej definuje a zároveň implementuje metódy, ktoré slúžia na:

- testovanie, či zástupcovia typov mapovej reprezentácie a užívateľského modelu zastupujú použiteľnú kombináciu pre daný algoritmus. Teda či existuje implementácia algoritmu, pre ktorú sú vlastnosti zastupovaných typov dostatočné na použitie,
- samotné spúšťanie vyhľadávacieho procesu. K tomuto účelu sa vyberie pre vstupné argumenty vhodná implementácia algoritmu,
- možnosť získania *executor*-u daného algoritmu. Executor sa vytvorí na základe vhodnej implementácie algoritmu.

Inštancia každého použiteľného vyhľadávacieho algoritmu musí byť obsiahnutá v kolekcii vyhľadávacích algoritmov v príslušnom manažérovi. Inak nebude aplikácia daný vyhľadávací algoritmus registrovať.

Implementácie vyhľadávacích algoritmov sú reprezentované triedami, ktoré implementujú rozhranie **ISearchingAlgorithmImplementation**. Toto rozhranie definuje myšlienky funkcionalít podobné tým z rozhrania **ISearchingAlgorithm**: testovanie typov vstupných mapových reprezentácií a užívateľských modelov, spúšťanie vyhľadávacieho procesu a vytváranie svojich *executor*-ov. V tomto prípade

však nie je táto funkcionálna implementovaná rozhraním a je potrebné aby ju implementácie algoritmov doplnili sami. Na to aby implementácia algoritmu mohla byť použitá, musí byť obsiahnutá v kolekcii implementácií zodpovedajúceho vyhľadávacieho algoritmu.

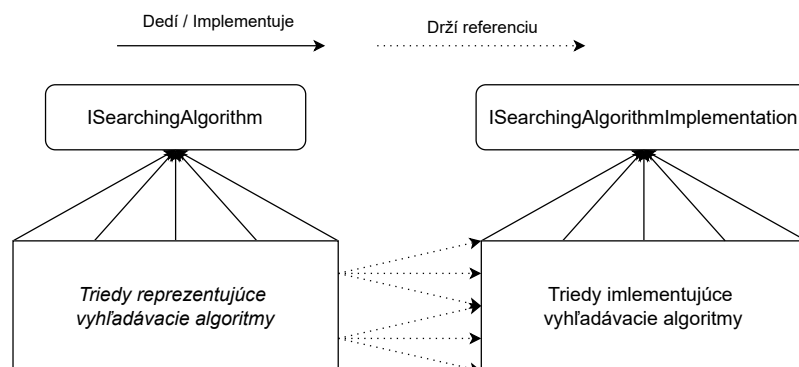
Výsledkom vyhľadávania je inštancia triedy, ktorá implementuje rozhranie **IPath<out TVertexAttributes, out TEdgeAttributes>**. Toto rozhranie reprezentuje nájdenú cestu algoritmom pričom môže v sebe niesť atribúty typov **TVertexAttributes** a **TEdgeAttributes**. Neskôr v Model view vrstve je z tejto cesty vytvorený report, ktorý je následne vyššími vrstvami spracovaný a predvedený užívateľovi. Pre komunikáciu mimo Model vrstvy sa využíva jeho predchodca **IPath**. Toto rozhranie by nemalo byť nikdy priamo implementované.

Vyhľadávacie algoritmy taktiež môžu počas svojho behu podávať report-y o stave vyhľadávania prostredníctvom objektov tried, ktoré implementujú rozhranie **ISearchingState<out TVertexAttributes, out TEdgeAttributes>**. Algoritmus nechá z týchto stavov agregovať report a podá ho k následnému spracovaniu a predvedeniu užívateľovi.

Obidve vyššie spomenuté rozhrania taktiež podporujú návrhový vzor *generic visitor pattern*.

Pokiaľ je po algoritme požadované vytvorenie jeho executor-u, algoritmus zavolá vhodnú svoju implementáciu nech executor vytvorí. Tá ho inicializuje pomocou dodanej mapovej reprezentácie, užívateľského modelu a pridá delegáta na svoju špecifickú metódu zabezpečujúcu beh algoritmu pre executor.

Všetky triedy reprezentujúce vyhľadávacie algoritmy a ich implementácie by mali byť implementované ako singleton triedy. Ich inštancie budú totiž vytvorené v aplikácii len jeden krát.



Obr. 4.5 Diagram popisujúci objektovú štruktúru vyhľadávacích algoritmov a ich implementácií.

4.6 Výškové dáta

Oblasť pre správu a manipuláciu s výškovými dátami. Viac informácií o funkcii výškových dát v aplikácii je možné nájsť v Podsekcii 1.1.4.

Hlavným komunikačným uzlom s touto oblasťou z vrstvy Model view je singleton trieda **ElevDataManager**. Tá ponúka kolekciu všetkých použiteľných zdrojov výškových dát v aplikácii. Popri tom doručuje metódy pre manipuláciu s výškovými dátami (stahovanie a odstraňovanie) a taktiež metódy, ktoré testujú prítomnosť a vracajú prítomné výškové dáta zodpovedajúce rozlohe konkrétnej mapy.

V nasledujúcich odsekoch popíšeme objektovú štruktúru výškových dát, ich zdrojov, distribúcií a regiónov. Pre lepšie porozumenie je v Diagrame 4.6 dostupný náhľad grafického znázornenia architektúry týchto dátových štruktúr.

Výškové dáta sú v aplikácii reprezentované triedami, ktoré implementujú rozhranie **IElevData**. Toto jednoduché rozhranie definuje metódy, ktoré dokážu k zadanej geografickej polohe vrátiť jej nadmorskú výšku. Inštancie týchto tried su na mieru vytvárané tak, aby dokázali dodať výškové dáta primerané polohe a rozlohe konkrétnej mapy.

Výškové dáta sú dodávané jednotlivými zdrojmi. Tie sú v aplikácii reprezentované triedami, ktoré implementujú rozhranie **IElevDataSource**. Zdroje výškových dát sú zložené z viacerých distribúcií, ktoré následne už dodávajú potrebnú funkcionality pre prácu s nimi spravovanými, výškovými dátami. Preto rozhranie **IElevDataSource** definuje kolekciu, v ktorej by mali byť uložené všetky distribúcie daného zdroja na to, aby mohli byť v aplikácii použité. Popri tom definuje ďalších pár vlastností, ktoré sú využívané mimo vrstvy Model (napr. meno daného zdroja).

Jednotlivé distribúcie výškových dát sú v aplikácii reprezentované triedami, ktoré implementujú rozhranie **IElevDataDistribution**. Každá z týchto tried je zodpovedná za prácu s konkrétnou distribúciou výškových dát. Zabezpečujú stahovanie, odstraňovanie a informovanie o ich prítomnosti. Je ponechané na zodpovednosti implementácií, akým spôsobom budú dáta ukladané, načítané do pamäte a spracovávané do inštancií implementácií rozhrania **IElevData**.

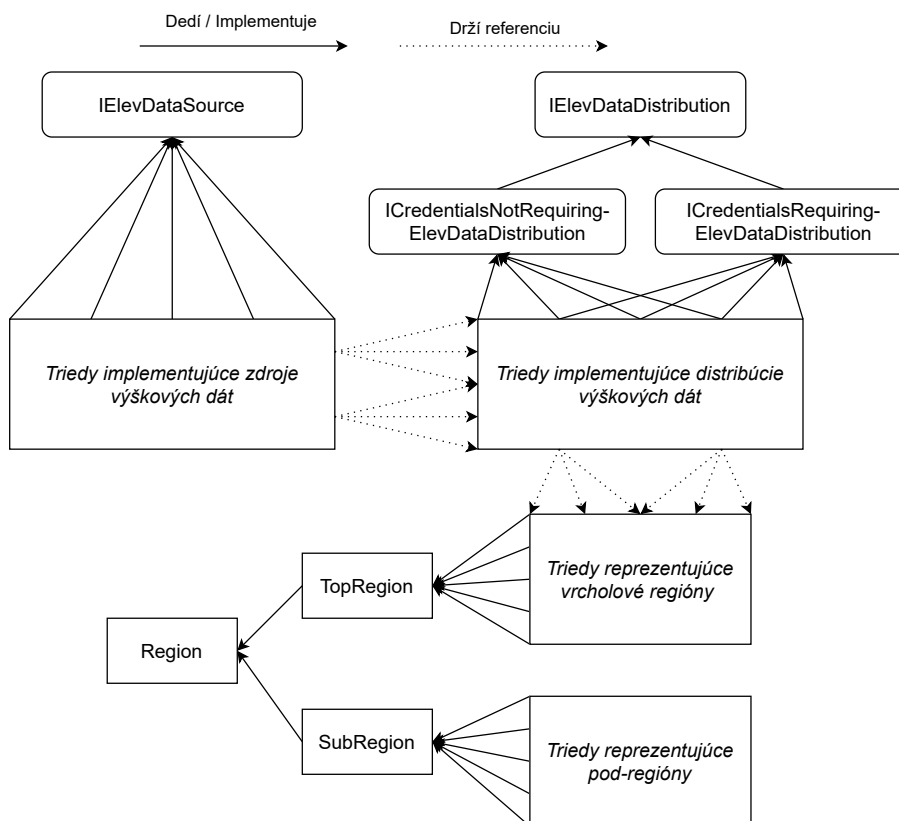
Rozhranie **IElevDataDistribution** by nemalo byť implementované priamo. Namiesto toho by mali byť implementované rozširujúce rozhrania **ICredentialsNotRequiringElevDataDistribution** a **ICredentialsRequiringElevDataDistribution**, ktoré pridávajú samotnú metódu umožňujúcu stahovanie výškových dát. Tieto metódy, resp. rozhrania, sa líšia v potrebe autorizácie pri získavaní výškových dát zo vzdialených zdrojov.

Manipulovanie s výškovými dátami prebieha po takzvaných *regiónoch*. Každá distribúcia si tvar a veľkosť svojich regiónov určuje sama. Následne tieto regióny sprostredkováva v kolekcii **AllTopRegions**, ktorá je definovaná rozhraním **IElevDataDistribution**.

Regióny sú reprezentované triedami, ktoré dedia od abstraktnej triedy **Region** a jej potomkov **TopRegion** a **SubRegion**. Región ako taký definuje svoje meno, svoj tvar za pomoci reťazca geografických súradníc a množinu svojich pod-regiónov. Taktiež definuje identifikátor svojej prítomnosti. Teda toho, či sú jemu zodpovedajúce výškové dáta stiahnuté v počítači a pripravené na použitie alebo nie.

Tento indikátor by mal byť aktualizovaný vždy keď sa prítomnosť dát regiónu zmení. Dôležité však je, že táto informácia by mala byť zachovaná naprieč behmi aplikácie. Teda ak sú v jednom behu aplikácie stiahnuté výškové dáta pre konkrétny región, v nasledujúcom behu by mal región indikovať, že sú jemu prislúchajúce dáta stále k dispozícii.

Regióny sú naďalej delené na *vrcholové regióny* a *pod-regióny*. Pod-regióny sú vždy viazané na nejaký vyšší región a reprezentujú nejakú jeho časť. Vrcholový región potom jednoducho nie je nikoho pod-regiónom. Spomínaná kolekcia `AllTopRegions` obsahuje práve vrcholové regióny definované danou distribúciou.



Obr. 4.6 Diagram popisujúci objektovú štruktúru zdrojov, distribúcií a regiónov výškových dát.

4.7 Grafika

Táto oblasť sa zaoberá problematikou vytvárania objektov, z ktorých sa skladajú grafické reprezentácie rôznych dátových štruktúr. Agregácia grafických objektov sa vykonáva špecifickým asynchrónnym postupom. Vytvorené grafické objekty sa plnia do tzv *kolektoru*. Tým pádom je možné vytvorené objekty paralelne spracovávať a zobrazovať ihneď po ich vytvorení.

Aplikácia obsahuje hneď dva hlavné uzly pre komunikáciu s touto oblasťou:

- **GraphicsManager** je hlavným uzlom pre komunikáciu prichádzajúcu z Model view vrstvy. Zabezpečuje agregáciu grafických objektov pre rôzne dátové štruktúry aplikácie ako sú napríklad mapy.
- **GraphicsSubManager** slúži k rovnakému účelu ako **GraphicsManager**, avšak pre komunikáciu priamo z vrstvy Model. Reprezentuje prívetivejší spôsob komunikácie so zachovaním typových informácií. Dátové štruktúry, pre ktoré zabezpečuje táto trieda agregáciu grafiky, sú napríklad nájdené cesty a stavy vyhľadávacích algoritmov.

Obidve tieto triedy sa riadia návrhovým vzorom singleton.

Grafické objekty sú v aplikácii reprezentované triedami, ktoré implementujú rozhranie **IGraphicObject**. Toto rozhranie neimplementuje takmer žiadnu funkcionálnosť okrem podpory návrhového vzoru *Generic visitor pattern*.

Aby bolo možné grafiku dodanej mapy, cesty či stavu extrahovať, musí pre ňu existovať trieda implementujúca rozhranie **IGraphicsAggregator**, teda presnejšie jedného z jeho špecializovaných potomkov. Títo *agregátori* následne dostanú objekt na spracovanie a kolektor, do ktorého sa majú naklásať vytvorené grafické objekty.

V prípade ciest a stavov vyhľadávacieho algoritmu dostane agregátor aj užívateľský model, ktorý môže využiť na výpočet niektorých hodnôt z vrcholových a hranových atribútov uložených v dodaných cestách/stavoch. Je však potrebné zdôrazniť, že užívateľský model možno nebude schopný tieto služby doručiť. V takom prípade sa musí agregátor zaobísť bez nich. Je možnosť, aby tieto vlastnosti vynucoval napríklad vyhľadávací algoritmus, ktorý pozná potreby pre extrahovanie grafiky ním používaného typu cesty či stavu vyhľadávania.

Bolo by namieste, keby každý užívateľský model dokázal z atribútov vyťažiť aspoň pozície vrcholov mapovej reprezentácie, aby bolo možné nakresliť aspoň základnú reprezentáciu nájdenej cesty či stavu.

Nakoniec sú v tejto oblasti definované dve rozhrania ktoré slúžia pre reprezentáciu grafického zdroja. **IGraphicsSource** definuje jedinú vlastnosť a to zdrojovú kolekciu grafických objektov. Táto zdrojová kolekcia je typu **SourceList** patriaceho do framework-u *Reactive UI*. vo vyšších vrstvách MVVM(MV) architektúry je následne možné tento zdrojový zoznam sledovať a reagovať na jeho aktualizácie.

Špecializácia predošlého rozhrania **IGroundGraphicsSource** dodáva ešte nutnosť, aby daný grafický zdroj definoval aj svoju rozlohu. Triedy implementujúce toto rozhranie sú často využívané ako akési základné grafiky, ktorých rozloha sa ostatné grafické zdroje prispôsobujú.

Implementácie týchto rozhraní sú väčšinou vytvárané mimo vrstvy Model. Sú na mieru vytvorené pre konkrétnu aplikačnú logiku.

4.8 Reportovanie

Oblasti spravujúcej grafiku je architektúrou veľmi podobná oblasť vytvárajúca report-y na základe rôznych typov dátových štruktúr. V aktuálnej podobe aplikácie sú týmito štruktúrami cesty, nájdené vyhľadávacími algoritmami a stavy vyhľadávacích algoritmov. Táto oblasť veľmi často využíva služby triedy **GraphicsSubManager** pre získavanie grafiky, ktorá je pridaná do obsahu report-ov.

Oblasť obsahuje opäť dva hlavné komunikačné uzly:

- **ReportManager** je hlavným uzlom pre komunikáciu prichádzajúcu z Model view vrstvy. Aktuálne zabezpečuje vytváranie report-ov pre nájdené cesty vyhľadávacím algoritmom.
- **ReportSubManager** slúži k rovnakému účelu ako **ReportManager**, avšak pre komunikáciu priamo z vrstvy Model. Reprezentuje prívetivejší spôsob komunikácie so zachovaním typovej informácie. Aktuálne zabezpečuje vytváranie report-ov pre nájdené cesty a stavy vyhľadávacích algoritmov.

Obidve tieto triedy sa riadia návrhovým vzorom singleton.

Pre cesty a stavy vyhľadávania sú reporty v aplikácii reprezentované triedami, ktoré implementujú rozhrania **IPathReport** a **ISearchingReport**. Tieto rozhrania nedefinujú takmer žiadnu funkcionálnosť, okrem podpory návrhového vzoru *generic visitor pattern*.

Podobne ako v oblasti spravujúcej grafiku, na to, aby pre konkrétny typ dátovej štruktúry mohol byť report vytvorený, musí preňho existovať vhodná trieda implementujúca rozhranie **IReportAggregator**, resp. jedného z jeho špecializovaných potomkov. Títo *agregátori* následne dostanú dátovú štruktúru na spracovanie a v niektorých prípadoch aj užívateľský model, ktorý môžu využiť na výpočet hodnôt z vrcholových a hranových atribútov uložených v dodaných dátach. Podobne však ako u grafických agregátorov, nie je zaručené, že užívateľský model bude schopný požadované služby doručiť.

4.9 Parametre

Posledná, jednoduchšia, ale o to dôležitejšia, oblasť je využívaná na spravovanie a ukladanie všemožných parametrov aplikácie. Hlavným uzlom pre komunikáciu s touto oblasťou je singleton trieda **ParamsManager**. V tejto triede je možné uložiť od každého typu parametrov práve jednu inštanciu. Táto inštancia môže byť počas behu algoritmu rôzne upravovaná. Inštancie parametrov sú uložené v slovníku pod kľúčom reprezentujúcom ich vlastný typ.

Keď je zavolaná metóda **SaveAllParams**, tak sa trieda **ParamsManager** pokúsi všetky uložené parametre v slovníku serializovať do súborov pre možnosť ich použitia v budúcich behoch aplikácie.

Pri následnom behu aplikácie sú parametre deserializované zo súborov tzv. „lenivým“ spôsobom. Keď je požiadané o parametre typu, ktorý v slovníku nie je zastúpený, trieda sa pokúsi najprv zistiť, či preňho neexistuje zodpovedajúca serializácia. Ak áno, deserializuje sa inštancia zodpovedajúcich parametrov, vloží sa do slovníku a vráti užívateľovi. Pokiaľ nie, poznačí sa do slovníku neexistencia parametru daného typu a navráti sa hodnota `null`.

Serializácia a deserializácia parametrov do súborov, v ktorých prežívajú beh aplikácie, prebieha za pomoci singleton triedy **DataSerializer**. Táto trieda serializuje objekty do súborov pomocou systémovej triedy *JsonSerializer*. Súbory sú pomenované podľa typu daného serializovaného objektu. To znamená, že v jednu chvíľu pre každý dátový typ dokáže táto trieda serializovať jednu jediná inštanciu. Pri deserializácii, na základe vstupného generického typového parametru nájde súbor so zodpovedajúcim menom a pokúsi sa ho deserializovať do inštancie daného typu.

5 Vyhľadávanie trás v mapách pre orientačný beh

Ako už bolo spomenuté v sekcii 1.1, vyhľadávanie trás v mapách je výsledkom kombinácie viacerých konceptov. V tejto kapitole sa bližšie pozrieme na implementácie týchto konceptov, ktoré sa spoločne podieľajú na vyhľadávaní najrýchlejších trás v mapách z prostredia orientačného behu.

5.1 Orienteering (ISOM 2017-2) template

Tento template definuje vrcholové a hranové atribúty, ktorými dokážeme detailne popísať miesto na mape využívanej v orientačnom behu. Je potrebné, aby dokázali zachytiť topológiu mapy, prostredie, v ktorom sa daný vrchol/hrana nachádza a nadmorskú výšku konkrétneho bodu na mape.

Čo sa mapových značiek týka, využíva sa sada mapových značiek definovaná normou ISOM 2017-2. „Cieľom Medzinárodnej špecifikácie máp pre orientačné športy (ISOM) je poskytnúť mapovú špecifikáciu, ktorú možno používať na celom svete pre rôzne typy terénu, ktoré sú vhodné pre orientačné športy. Táto špecifikácia by sa mala používať v spojení s pravidlami Medzinárodnej federácie orientačných športov (IOF) pre orientačné preteky.“ [8]

Vrcholové atribúty samotné nesú informáciu o polohe vrcholov grafu na mape a indikujú nadmorskú výšku v mieste daného vrcholu. V aktuálnom stave aplikácie nie je možné získať informáciu o nadmorskej výške vrcholov grafu a teda je nadmorská výška všetkých vrcholov v grafoch nastavená na hodnotu 0. To znamená, že pri výbere najrýchlejších trás v mape sa nebude brať do úvahy informácia o prevýšení, ktoré musí bežec na danej ceste prekonať.

Informáciu o okolitom teréne a prostredí následne nesú hranové atribúty, ktoré popisujú okolie jednotlivých hrán grafu. Okolím hrany sa myslí prostredie na ľavej a pravej strane konkrétnej hrany (les, vegetácia, lúka, vodné teleso, mokrad, atď) a prípadná cesta alebo líniová prekážka, ktorá cez danú hranu prechádza.

Okolité prostredie hrany je reprezentované kombináciou indikátorov plošných mapových značiek (rastrov), ktorá zodpovedá korektnej kombinácii taktiež definovanej normou ISOM 2017-2. Pre ľavé a pravé prostredie hrany sú v hranových atribútoch vytvorené dve premenné, v ktorých je možné uložiť akúkoľvek korektnú kombináciu týchto indikátorov. Korektnosť kombinácie indikátorov si musí užívateľ týchto atribútov zabezpečiť sám.

Pre indikovanie toho, že hrana zodpovedá ceste alebo toho, že cez hranu prechádza líniová prekážka, v hranových atribútoch slúži jediná premenná, v ktorej je možné uložiť informáciu o kombinácii jednej cesty, jednej človekom vytvorenej líniovej prekážky a jednej „prírodnej“ líniovej prekážky.

5.2 Complete, net intertwining map representation

Pre grafovú reprezentáciu máp pre orientačný beh bola vytvorená takzvaná *sieť-prepletajúca* mapová reprezentácia. Tvorba orientovaného ohodnoteného grafu tejto mapovej reprezentácie spočíva vo vytvorení siete z vrcholov a hrán vo veľkosti dodanej mapy, a následného korektného postupného vkladania jednotlivých objektov z mapovej reprezentácie do tejto vytvorenej siete. Táto forma tvorby grafu je vhodná pre mapy, ktoré vznikli z mapových formátov, ktoré reprezentujú mapu pomocou množiny geometrických útvarov, ktoré popisujú tvary jednotlivých objektov na mape.

Práve takým formátom je napríklad *OMAP*, ktorý je jedným z formátov využívaných pre reprezentáciu máp orientačného behu a je možné ho v aplikácii spracovať do podoby z ktorej sa bude následne dať vytvoriť *sieť-prepletajúca* mapová reprezentácia.

V následujúcej pod-sekcii popíšeme proces, ktorým je mapa získaná zo súboru formátu *OMAP* postupne spracovávaná do grafovej podoby.

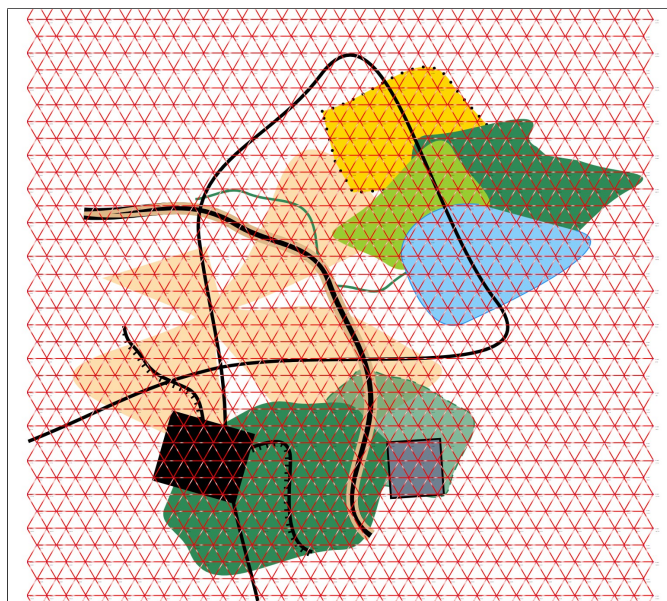
5.2.1 Postup spracovania mapy na jej grafovú reprezentáciu

Na začiatku sa vytvorí spomínaná sieť vrcholov, do ktorej sa budú následne ukladať jednotlivé objekty mapy. Dĺžka hrán v tejto sieti je daná konfiguračným parametrom „štandardná dĺžka hrany“. Na Obrázku 5.1 je možné nahliadnúť vytvorenú sieť nad testovacou mapou.

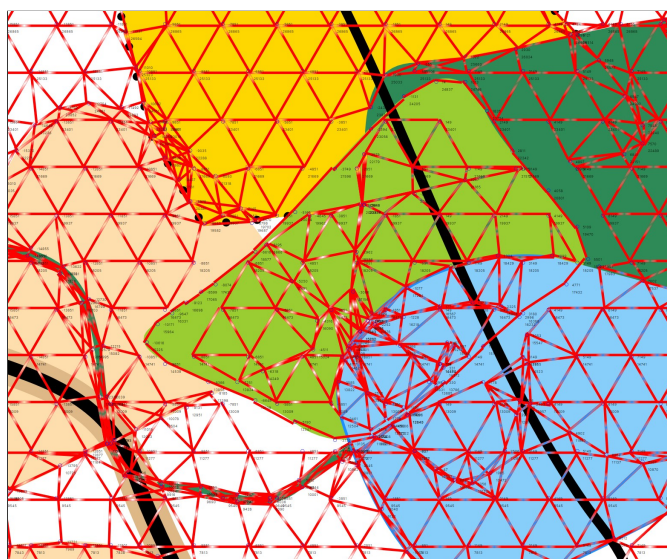
Následne sa začnú spracovávať jednotlivé mapové objekty a to v následujúcom poradí: polygony, cesty a líniové prekážky. Objekty sa postupne vkladajú do vytváraného grafu. Popri tom sa nastavujú atribúty na jednotlivých hranách grafu tak, aby správne zodpovedali značkám vkladanych objektov.

Pridávanie objektov vyzera následovne:

- V prvom rade sa vytvorí retiazka vrcholov spojených hranami odpovedajúca celému obvodu polygonu. Táto vytvorená retiazka však môže na viacerých miestach krížiť samú seba a teda je potrebné aby sa všetky tieto kríženia odstránili. Kríženia odstránime správnymi výmenami križujúcich sa hrán. Z tohto procesu nám môže vyjsť viac disjunktných retiazok, ktoré si následne pozberáme a budeme ich naďalej spracovávať separátne. Taktiež nesmieme kvôli následnému spracovávaniu zabudnúť skontrolovať, či sú vytvorené retiazky „pravotočivé“, teda či pravá strana každej hrany je vnútorná. Pokiaľ tomu u nejakej vytvorenej retiazky nie je, otočíme list retiazkových vrcholov a tým dostaneme pravotočivú retiazku. Táto vlastnosť bude dôležitá v následujúcom spracovaní.
- V druhom kroku musíme prerušiť všetky hrany, ktoré vytvorená retiazka prerušila. Pri identifikovaní prerušených hrán sa využívajú techniky z geometrie a lineárnej algebry. Takýto graf s prerušenými hranami je možné nahliadnúť v Obrázku 5.2. Pre ďalšie spracovanie sa zapamätajú všetky vrcholy, ktorým bola prerušená nejaká hrana.



Obr. 5.1 Sieť grafu zhotovená nad vstupnou mapou. Červené čiary predstavujú grafové hrany.



Obr. 5.2 Retiazka vrcholov (objektu zakázaného priestoru) prerušujúca hrany vytváraného grafu.

- V ďalšom kroku sa pomocou prehľadávania do hĺbky identifikujú všetky vrcholy, ktoré spadajú do vnútra polygonu. Tento spôsob je založený na tom, že všetky hrany spojujúce vnútorné vrcholy polygonu s vrcholmi mimo polygonu boli v predchádzajúcom kroku odstránené a teda DFS neutečie mimo polygonu. Zároveň je zaručené, že sa nájdu všetky vnútorné vrcholy polygonu a to tak, že sa sleduje, či boli nájdené všetky vrcholy, ktorým bola prerušená hrana retiazkou. Pokiaľ DFS nenavštívi všetky tieto vrcholy, spúšťa sa znova inicializovaná jedným z takýchto vrcholov. Hranám týchto vnútorných vrcholov sa upraví atribúty na základe mapovej značky ktorej objekt sa aktuálne spracováva ako je možné nahliadnuť v Obrázku 5.3.
- V posledných krokoch sa retiazka vrcholov pripojí na vrcholy, ktorým bola prerušená aspoň jedna hrana a správne sa na týchto hranách nastaví ich atribúty. Následne sa taktiež nastaví atribúty na hranách samotnej retiazky a retiazka je vložená do grafu. Toto nastavenie atribútov je korektné, teda vytvára iba normou ISOM 2017-2 povolené kombinácie mapových značiek. Proces nastavovania komentárov je zložitý a vysvetľovaný detailnejšie priamo v komentároch programu. Využíva sa pri ňom pravotočivosť retiazok zabezpečená v prvom kroku vytvorenia retiazky. Kompletne pridaný objekt do grafu je možné nahliadnuť v Obrázku 5.4

Aktuálne vytváraná mapová reprezentácia nedokáže zachytiť rôzne rýchlosti behu v mapových značkách ako sú *vegetácie s lepšou rýchlosťou behu v jednom smere* alebo *vinohrady a podobné kultúry*. Pre správne zabezpečenie určenie rýchlostí v týchto značkách by musela byť v procese prítomná zložitá procedúra na vytvorenie správne orientovanej siete vrcholov, v ktorej by sa táto vlastnosť spomínaných značiek dala vyjadriť. V tejto chvíli sú rýchlosti behu v takýchto mapových značkách brané uniformne.

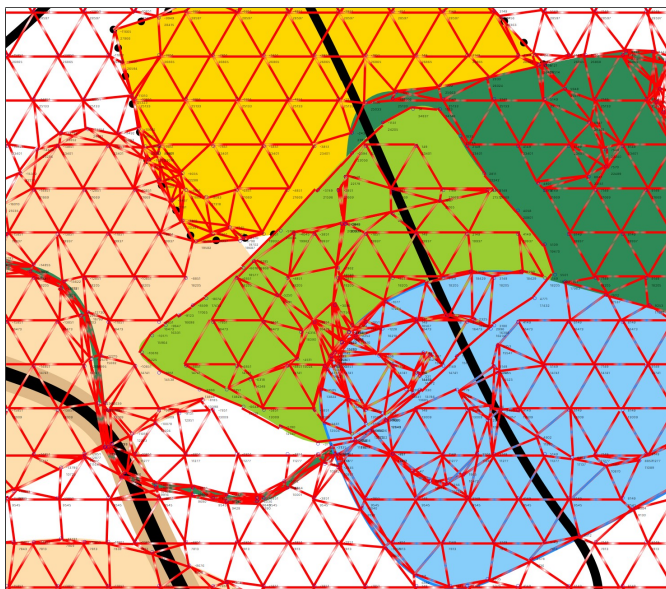
Keď sú všetky polygonálne objekty pridané, prichádzajú na rad cesty. Tie sú pridávané veľmi podobným spôsobom ako polygony, avšak je upustené od kroku, v ktorom sa hľadajú vnútorné vrcholy polygonu a nastavujú sa ich hranám atribúty. Tento krok u ciest nie je potrebný, nakoľko pri pridávaní ciest sa nemení prostredie, v ktorom sa daná cesta nachádza.

Po pripojení cesty do grafu sa nastaví na hranách retiazky cesty atribúty indikujúce existenciu cesty na danej hrane. Na Obrázku 5.5 je možné nahliadnuť plne pridanú cestu do grafu

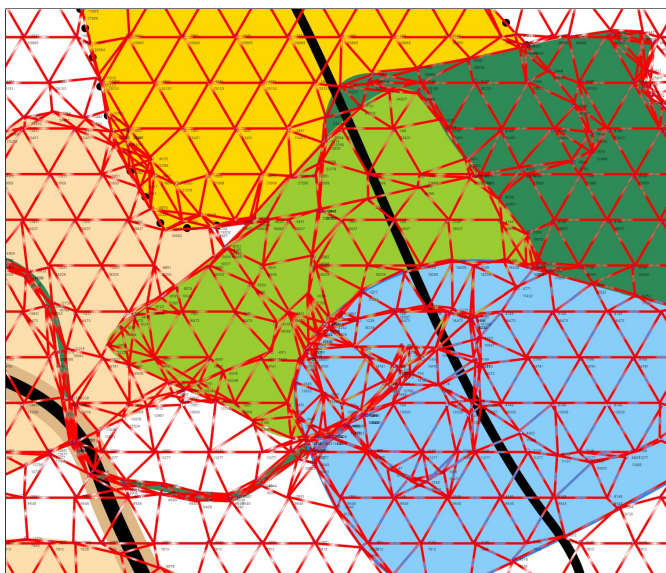
V poslednom rade sa postupne spracujú všetky líniové prekážky, ktoré sú schopné spomaliť alebo dokonca znemožniť bežcov postup. V tomto prípade sa nebudú ako v predošlých prípadoch pridávať retiazky týchto objektov do grafu. Postup spracovania týchto objektov je nasledovný:

- V prvom rade sa opäť vytvorí retiazka vrcholov pospájaných hranami pozdĺž celej dĺžky línie objektu.
- V ďalšom kroku sa nájdu všetky hrany, ktoré táto retiazka kríži, avšak tentokrát sa tieto hrany neodstránia.
- Nakoniec sa iba upraví týmto hranám atribúty tak, aby indikovali, že cez ne prechádza líniová prekážka.

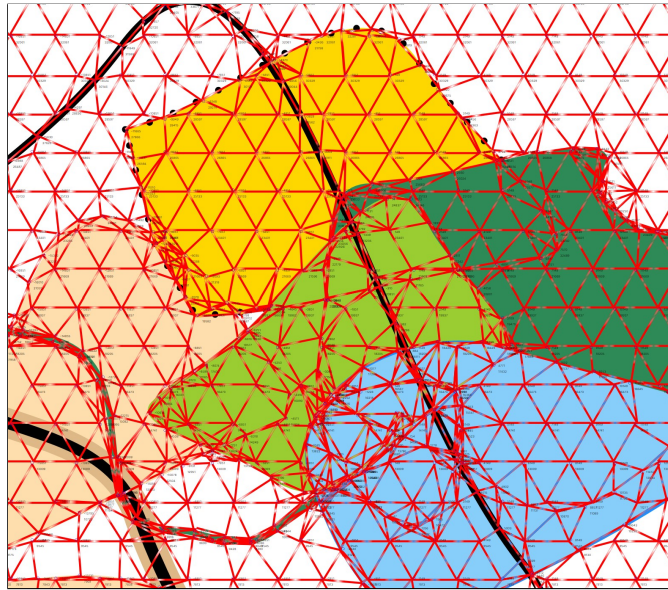
Výsledok vloženia líniovej prekážky do grafu je možné nahliadnuť v Obr. 5.6



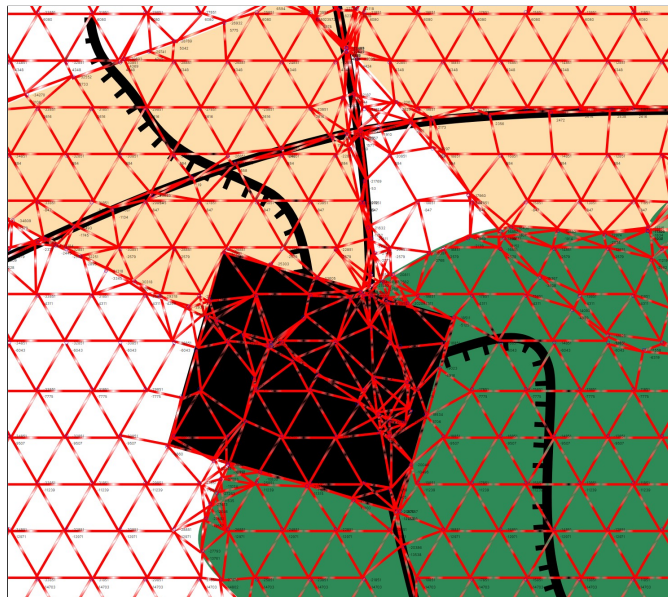
Obr. 5.3 Nastavenie atribútov hrán vrcholov vnútri polygonu(objektu zakázaného priestoru). Atribúty sú na hranách vyznačené farebnými škvrnami vo farbách reprezentovaných mapových značiek.



Obr. 5.4 Pridanie hrán medzi retiazkou a vrcholmi, ktorým bola preseknutá aspoň jedna hrana a nastavenie atribútov na týchto hranách ako aj na hranách retiazky. Atribúty sú na hranách vyznačené farebnými škvrnami vo farbách reprezentovaných mapových značiek.



Obr. 5.5 Pridaná retiazka cesty do grafu. Na hranách pridanej retiazky je možné vidieť malé čierne šmuhy indikujúce atribúty cesty na daných hranách.



Obr. 5.6 Pridaná líniová prekážka (objektu neprekonateľného zrázu) do grafu. Je možné si všimnúť na hranách, ktoré táto prekážka kríži, malé čierne šmuhy, ktoré indikujú, že sa na danej hrane nachádza atribút neprekonateľného zrázu.

5.3 Orienteering (ISOM 2017-2) user model

Užívateľský model naviazaný na template *Orienteering (ISOM 2017-2)*. Umožňuje nastaviť veľkosť spomalenia, ktoré jednotlivé mapové značky pre bežca vytvárajú. Na základe tejto parametrizácie následne dokáže vypočítať čas, ktorý bežcovi zaberie prekonanie konkrétnej hrany grafu.

Príklad, ako môže vyzeráť parametrizácia tohto užívateľského modelu je možné nahliadnuť v Prílohe A.2. Táto parametrizácia vznikla v spolupráci s aktívnym reprezentantom Slovenskej republiky v orientačnom behu.

5.3.1 Princíp výpočtu váhy prechodu hrany z poskytnutých atribútov

Pri výpočte váhy konkrétnej hrany dostane užívateľský model na vstupe atribúty počiatočného a koncového vrcholu tejto hrany a atribúty hrany samotnej.

Výpočet prebieha následovne:

- V prvom rade sa na základe atribútov hrany a koeficientov spomalenia spočítajú koeficienty spomalenia ľavého a pravého prostredia hrany. Koeficient spomalenia je číslo medzi 0 a 1 udávajúce pomer medzi najväčšou možnou rýchlosťou behu a spomalenou rýchlosťou behu daným symbolom na mape. Prostredia hrany môžu byť kombináciou viacerých mapových značiek. Užívateľský model preto vynásobí koeficienty spomalenia všetkých značiek, ktoré sa v ľavom/pravom prostredí nachádzajú a vráti tento produkt ako výsledný koeficient. Výsledné koeficienty spomalenia ľavého a pravého prostredia sa následne porovnajú a vyberie sa ten väčší z nich. Teda bežec si vyberie pre beh po hrane to prostredie, ktoré je preňho efektívnejšie.
- V ďalšom kroku sa započíta efekt cesty na hrane. Pokiaľ je na danej hrane cesta, potom efekt prostredia nehrá pre beh žiadnu rolu a riadime sa iba podľa koeficientu spomalenia danej cesty. Výnimkou v tomto pravidle sú mapové značky pre *menej výrazné malé chodníky a priesečky*. Pri týchto symboloch priebežnosť závisí od prostredia, v ktorom sa nachádzajú. Preto podobne ako pri výpočte kombinácií značiek prostredia hrany sa ich koeficient vynásobí s vypočítaným koeficientom prostredia a tým sa získa koeficient spomalenia týchto objektov. Podotýkame, že koeficienty týchto objektov môžu (a mali by) byť väčšie ako 1 pre zabezpečenie vyššieho koeficientu spomalenia po danom chodníku/priesečku než je koeficient v samotnom prostredí.
- Pokiaľ je výsledný koeficient menší než 0.15, zoberie sa do nasledujúcich krokov táto hodnota namiesto vypočítaného koeficientu. Týmto spôsobom predídeme príliš malým koeficientom spomalenia. Táto technika by sa dala nahradiť vážením koeficientu podľa toho, koľko mapových značiek sa podieľalo na jeho výpočte.
- V treťom kroku dopočítame čas, ktorý je potrebný na prekonanie danej hrany.

- Najprv zo vstupných vrcholových atribútov dopočítame dĺžku hrany medzi nimi.
 - Následne aplikujeme vypočítaný koeficient z predošlých krokov na konštantu predstavujúcu najrýchlejšie tempo, ktoré bežec dokáže dosiahnuť. Teda túto konštantu predelíme vypočítaným koeficientom, čím dostaneme tempo, ktorým bežec pobeží v prostredí danom hranovými atribútmi.
 - Nakoniec vynásobíme tempo so vzdialenosťou, ktorú musí bežec prechodom cez hranu prekonať, a získame čas na prechod tejto hrany.
- V poslednom kroku ešte musíme skontrolovať, či cez danú hranu neprechádza nejaká líniová prekážka. Pokiaľ áno, je potrebné ku času pripočítať čas, ktorý zaberie prekonanie tejto prekážky.
 - Výsledný čas sa vráti ako váha hrany.

Poznámka:

V tejto chvíli užívateľský model pri výpočtu doby na prekonanie konkrétnej hrany nezapočítava faktor prevýšenia, ktoré musí bežec pri prechode danou hranou prekonať. Tento faktor v aktuálnej podobe aplikácie nie je potrebné zahrňovať, nakoľko grafová reprezentácia máp nenesie žiadnu informáciu nadmorskej výšky jednotlivých vrcholov a teda nie je možné prekonané prevýšenie dopočítať. Až po pridaní tejto funkcionality do grafovej reprezentácie bude potrebné upraviť tento užívateľský model tak, aby dokázal prevýšenie vo svojom výpočte zohľadniť.

5.3.2 Výpočet A^* heuristiky

Užívateľský model je popri výpočtu váh hrán z ich atribútov zodpovedný taktiež za výpočet heuristickej funkcie pre A^* algoritmus. Dôvodom, prečo práve užívateľský model je zodpovedný za výpočet tejto heuristiky je ten, že heuristika nezávisí iba na samotnej topológii grafu, ale taktiež na rýchlosti, ktorú dokáže bežec v závislosti na parametrizácii užívateľského modelu dosiahnuť na jednotlivých typoch povrchov / mapových značkách.

Heuristika počítaná užívateľským modelom musí byť *prípustná a monotónna* aby ju bolo možné použiť v implementovanom A^* algoritme. Vysvetlenie týchto dvoch vlastností heuristiky je možné nahliadnuť v spodnej časti Podsekcie 5.4.1.

Pre dosiahnutie prípustnosti heuristickej funkcie potrebujeme, aby funkcia vždy vracala váhu menšiu ako je skutočná cena cesty z daného vrcholu do cieľového. Nakoľko váha hrán je počítaná v čase na ich prekonanie, najnižšia možná váha cesty z daného vrcholu do cieľového je čas, za ktorý bežec prebehne vzdialenosť medzi týmito dvomi vrcholmi po povrchu, po ktorom sa mu pobeží čo najlepšie. Nastavíme preto heuristickú funkciu na hodnotu vypočítanú práve týmto spôsobom. Tým zaručíme, že hodnota heuristiky nikdy nebude vyššia než hodnota skutočnej ceny cesty a teda zabezpečíme jej prípustnosť.

Vyššie popísaná heuristika bude taktiež monotónna, nakoľko čas, za ktorý sa dostaneme z vrcholu priamo do cieľa po ideálnom povrchu bude určite menší alebo rovný času, ktorý by nám zabralo prejsť do iného miesta na mape po akomkoľvek povrchu a následne z daného miesta po ideálnom povrchu prísť do cieľa.

Výpočet heuristickej funkcie užívateľským modelom teda spočíva v:

- nájdení povrchu, po ktorom sa bežcovi beží najlepšie
- vypočítaní času, ktorý bežec bude potrebovať na zdolanie vzdialenosti medzi daným vrcholom a cieľom tempom, ktoré dokáže dosiahnuť na najideálnejšom povrchu

5.4 A* searching algorithm

Algoritmom výberu pre vyhľadávanie najrýchlejších ciest v mapách je algoritmus A*. Tento algoritmus je klasickou prvou voľbou pri úlohách vyhľadávania ciest v ohodnotených grafoch s topologickými vlastnosťami. V našom prípade nepracujeme s grafom, ktorého váhy na hranách na 100% odpovedajú vzdialenostiam medzi jednotlivými vrcholmi, ale za pomoci jednoduchých myšlienok popísaných v Podsekcii 5.3.2 dokážeme tento problém vyriešiť.

V nasledujúcich podsekciiach popíšeme najprv klasický pohľad na algoritmus A* a potom sa pozrieme na jeho úpravy, vďaka ktorým dokáže pracovať nad naším grafom s údajmi od užívateľského modelu.

5.4.1 Klasický A* algoritmus

Články [9] and [10] popisujú A* algoritmus nasledovne:

A* algoritmus je nepriamou kombináciou Dijkstrovho algoritmu pre nachádzania najkratších trás v ohodnotených grafoch a Greedy Best-First-Search algoritmu využívajúceho metódu na usmernenie svojho prehľadávania.

Tajomstvo jeho úspechu spočíva v tom, že kombinuje informácie, ktoré používa Dijkstra algoritmus (uprednostňuje vrcholy, ktoré sú blízko počiatočného bodu) a informácie, ktoré používa Greedy Best-First-Search (uprednostňuje vrcholy, ktoré sú blízko cieľa). V štandardnej terminológii používané pri hovorení o A* znamená $g(n)$ presné náklady cesty z počiatočného bodu do akéhokolvek vrcholu n , a $h(n)$ predstavuje heuristický odhad nákladov z vrcholu n do cieľa. A* vyváži tieto dve hodnoty, keď sa pohybuje z počiatočného bodu do cieľa. Každý raz v hlavnej slučke skúma vrchol n , ktorý má najnižšiu hodnotu $f(n) = g(n) + h(n)$.

Je dôležité vybrať korektnú heuristickú funkciu, aby A* hľadal najkratšie cesty v ohodnotených grafoch. Pri výbere heuristiky môžu nastať nasledujúce prípady:

- Pokiaľ je $h(n) = 0$ pre všetky n , potom vo vyhľadávaní zohráva rolu iba $g(n)$ a A* sa zmení na Dijkstra algoritmus.
- Pokiaľ je $h(n)$ nižšie (alebo rovné) ceny presunu z n do cieľa, potom A* zaručene nájde najkratšiu cestu v grafe. Čím je $h(n)$ nižšie, tým viac vrcholov grafu A* prehľadá, čo spôsobí jeho spomalenie.
- Pokiaľ je $h(n)$ presne rovné cene presunu z n do cieľa, A* bude sledovať práve tú najlepšiu cestu a neprehľadá žiadny vrchol navyše, čo ho robí veľmi efektívnym. Avšak nie vo všetkých prípadoch je možné takúto presnosť heuristiky dosiahnuť.
- Pokiaľ je $h(n)$ niekedy vyššie ako je cena presunu z n do cieľa, A* nezaručuje nájdenie najkratšej cesty v grafe ale dokáže bežať rýchlejšie.

Program 1 A* algoritmus

```
function A_Star(start, goal, h)
  openSet := {start}

  cameFrom := an empty map

  gScore := map with default value of Infinity
  gScore[start] := 0

  fScore := map with default value of Infinity
  fScore[start] := h(start)

  while openSet is not empty
    current := pop vertex from openSet with lowest fScore value
    if current = goal
      return reconstruct_path(cameFrom, current)

    openSet.Remove(current)
    for each neighbor of current
      tentative_gScore := gScore[current] + d(current, neighbor)
      if tentative_gScore < gScore[neighbor]
        cameFrom[neighbor] := current
        gScore[neighbor] := tentative_gScore
        fScore[neighbor] := tentative_gScore + h(neighbor)
        if neighbor not in openSet
          openSet.add(neighbor)
  return failure

function reconstruct_path(cameFrom, current)
  total_path := {current}
  while current in cameFrom.Keys:
    current := cameFrom[current]
    total_path.prepend(current)
  return total_path
```

- Pokiaľ je však $h(n)$ príliš vysoké v porovnaní s $g(n)$, potom začne zohrávať úlohu iba váha $h(n)$ a A* sa stáva Greedy Best-First-Search algoritmom.

Teda pokiaľ vyžadujeme nachádzanie najkratších trás v ohodnotenom grafe, potrebujeme, aby heuristická funkcia bola z hora ohraničená skutočnou cenou cesty z n do cieľa. O takto obmedzenej heuristike následne hovoríme, že je *prípustná*.

Pokiaľ však využívame *grafové prehľadávanie*, pre zabezpečenie nájdenia najkratšej cesty v grafe je potrebné aby heuristika bola taktiež *monotónna*. Jedná sa o istú formu trojuholníkovej nerovnosti kedy hodnota heuristiky vo vrchole n musí byť menšia alebo rovná súčtu ceny prechodu z n do jeho následníka a hodnoty heuristiky v tomto následníkovi. Táto trojuholníková nerovnosť musí platiť vo všetkých vrcholoch a ich následníkoch. Dá sa dokázať, že každá monotónna heuristika je taktiež prípustná.

V Programe 1 je ku nahliadnutiu pseudokód možnej implementácie algoritmu A*. Tento pseudokód bol prevzatý z Článku [11].

5.4.2 Špecifické vlastnosti algoritmu A* v aplikácii.

Implementácia A* v aplikácii nesie nasledujúce špecifiká:

- Algoritmus na vstupe namiesto heuristickej funkcie dostane inštanciu užívateľského modelu, ktorý bude hodnotu heuristickej funkcie pre algoritmus počítať. Zároveň tento užívateľský model je zodpovedný za počítanie váh pre hrany grafu, nakoľko grafová reprezentácia, nad ktorou algoritmus pracuje, nesie iba informácie o vrcholových a hranových atribútoch, je potrebné, aby užívateľský model tieto atribúty spracoval do váh, s ktorými následne už A* dokáže pracovať.
- A* využívaný v aplikácii je implementovaný ako graph search. Z tohto dôvodu je potrebné, aby využívaná heuristika počítaná užívateľským modelom bola okrem *prípustnosti* taktiež *monotónna*.
- Naša implementácia A* si neudržiava kolekciu predchodcov navštívených vrcholov a teda z dôvodu možnosti rekonštrukcie nájdenej cesty vyžaduje po vrchoch vstupného grafu, aby boli schopné si zapamätať svojho predchodcu. Keď je A* narazí na cieľový vrchol, začne sa dotazovať postupne vrcholov na ich predchodcov dokým nenarazí na počiatočný vrchol. Po prevrátení postupnosti predchodcov vrcholov získa retiazku reprezentujúcu nájdenú cestu z počiatku do cieľa.

Závěr

Cielom tejto bakalárskej práce bolo vytvoriť aplikáciu, v ktorej bude možné vyhľadávať cesty v otvorenom teréne na základe dodaného mapového súboru. Vyhľadávanie ciest malo byť konkrétne implementované pre mapy z prostredia športového odvetvia *orientačný beh*.

Práca mala zahrňovať návrh architektúry aplikácie a jej samotnú implementáciu, špecifickú implementáciu na spracovávanie mapových súborov z oblasti orientačného behu, vytvorenie vyhľadávacieho algoritmu, ktorý by dokázal vyhľadávať na vytvorenej mapovej reprezentácii a možnosť užívateľa zahrnúť svoje preferencie do procesu vyhľadávania.

Tieto úlohy boli úspešne naplnené.

- Bol vytvorený kvalitný návrh aplikácie na základe MVVM(MV) návrhového vzoru. Na jeho základe bol následne implementovaný mechanizmus zabezpečujúci logiku za vyhľadávaním ciest v mapách a taktiež mechanizmus hlavného okna, v ktorom je možné spravovať nastavenia určené pre celú aplikáciu. Následne bolo vytvorených 9 oblastí slúžiacich ku získaniu a spracovávaniu dátových štruktúr. Celý program je navrhnutý takým spôsobom, aby bol čo najľahšie rozširiteľný, či už v oblasti aplikačnej logiky alebo typov dátových štruktúr, s ktorými dokáže aplikácia pracovať. Vďaka MVVM(MV) architektúre je aplikáciu jednoduché udržiavať a modifikovať.
- Pre vyhľadávanie ciest v mapách pre orientačný beh bol vytvorený
 - parser pre mapy formátu OMAP a grafické znázornenie týchto máp,
 - template zahrňujúci mapové značky dôležité pri vyhľadávaní najrýchlejších ciest v mapách pre orientačný beh,
 - užívateľský model, ktorý je možné parametrizovať na základe preferencií užívateľa
 - grafová reprezentácia mapy pre orientačný beh, na ktorej sa bude vyhľadávať najrýchlejšia cesta. V tejto chvíli bohužiaľ bez spracovania a aplikovania výškových dát.
 - vyhľadávací algoritmus A*, ktorý je používaný pre vyhľadávanie trás v grafových reprezentáciách máp

Vyhľadávanie samotné dodáva uspokojujúce výsledky. Hlavným problémom, ktorý nebol doposiaľ vyriešený je zakomponovanie informácií o nadmorskej výške do grafovej reprezentácie mapy a spracovanie tejto informácie užívateľským modelom. Preto je vyhľadávanie trás v tejto chvíli možné iba na relatívne plochých mapách, kde dokáže vracat zmysluplné výsledky.

O výsledkoch vyhľadávania by bolo vhodné spraviť exaktnejší výskum, založený na názoroch skúsených orientačných bežcov, avšak z časových dôvodov nebolo možné takýto výskum uskutočniť. Samotné uskutočnenie by taktiež bolo celkom zložité, nakoľko kvalita nájdených trás v mnohých ohľadoch závisí na subjektívnom pohľade jednotlivých bežcov. Z tohto dôvodu sú v aplikácii prítomné užívateľské modely, aby si každý užívateľ mohol vyhľadávanie nastaviť podľa vlastných preferencií.

Literatura

1. SZOS. *Čo je to orientačný beh?* [online]. [cit. 2024-06-29]. Dostupné z : <https://www.orientering.sk/page/co-je-to-orientacny-beh>.
2. ADEGEO; IHSANSFD; ALEXBUCKGIT; V-TRISSHORES; DC THEGEEK. Desktop Guide (WPF .NET). 2023. Dostupné tiež z: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/desktop/wpf/overview/?view=netdesktop-8.0>.
3. DAVIDBRITCH; MHRASLEGARI; JONPRYOR; BANOVVV; JCONREY. What is .NET MAUI? 2024. Dostupné tiež z: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/maui/what-is-maui?view=net-maui-8.0>.
4. JAMES, M. Avalonia UI and MAUI - Something for everyone. 2024. Dostupné tiež z: <https://avaloniaui.net/blog/avalonia-ui-and-maui-something-for-everyone>.
5. *Welcome* [online]. [cit. 2024-06-30]. Dostupné z : <https://docs.avaloniaui.net/docs/welcome>.
6. *The MVVM pattern* [online]. [cit. 2024-06-30]. Dostupné z : <https://docs.avaloniaui.net/docs/concepts/the-mvvm-pattern/>.
7. *Reactive Programming* [online]. [cit. 2024-06-30]. Dostupné z : <https://www.reactiveui.net/docs/reactive-programming/index.html>.
8. *ISOM 2017-2* [online]. [cit. 2024-12-29]. Dostupné z : https://www.orientering.sk/public/files/users/dusan.furucz/IOF_ISOM_2017-2_SK.pdf.
9. PATEL, Amit. Introduction to A*. *From Amit's Thoughts on Pathfinding*. 2024.
10. PATEL, Amit. Heuristics. *From Amit's Thoughts on Pathfinding*. 2024.
11. A* search algorithm. *Wikipedia, the free encyclopedia*. 2024.

A Přílohy

A.1 Uživatelská dokumentácia

A.1.1 Popis

Aplikácia s grafickým užívateľským rozhraním slúžiaca na hľadanie ciest v otvorenom teréne na základe dodaného mapového súboru.

Skladá sa z dvoch častí: hlavného okna a session-u pre vyhľadávanie ciest v mape. Hlavné okno zabezpečuje:

- spúšťanie jednotlivých session-ov
- nastavenie jazyka aplikácie
- nastavenie konfiguráci mapových reprezentácií, vyhľadávacích algoritmov a užívateľských modelov
- nastavenie implicitnej distribúcie výškových dát a konfigurácia výškových dát
- ukončenie aplikácie zatvorením okna

Session vyhľadávajúci cesty v mapách zabezpečuje:

- výber parametrov, na základe ktorých sa bude vyhľadávanie uskutočňovať
- vytvorenie mapovej reprezentácie, v ktorej sa bude hľadať cesta
- interaktívne zadávanie hľadanej trasy v mape a vykresľovanie nájdených ciest užívateľovi

A.1.2 Zachádzanie s aplikáciou

Spustenie aplikácie

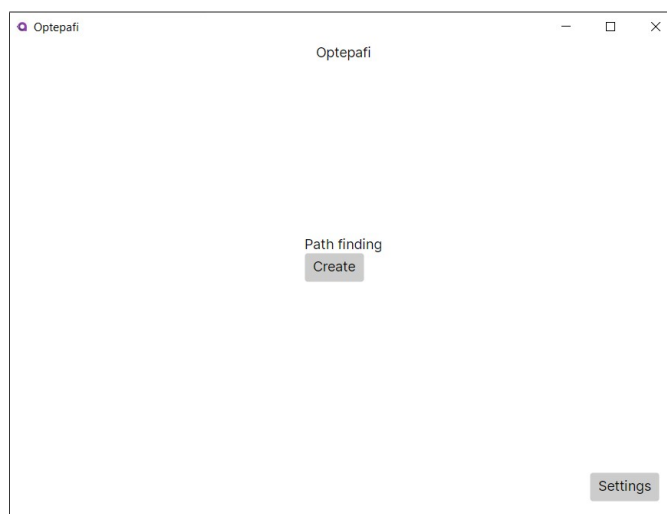
Aplikácia sa spúšťa pomocou spustiteľného súboru *Optepafi.exe*, vytvoreného kompiláciou zdrojového kódu projektu *Optepafi.csproj* v prostredí operačného systému Windows. Po spustení sa na obrazovke objaví hlavé okno s hlavným menu.

Ukončenie behu aplikácie

Aplikácia sa ukončuje pomocou zatvorenia hlavného okna. To sa v prípade otvorených session-ov môže užívateľa dotázať pomocou dialógového okna, či naozaj chce aplikáciu opustiť.

Hlané okno

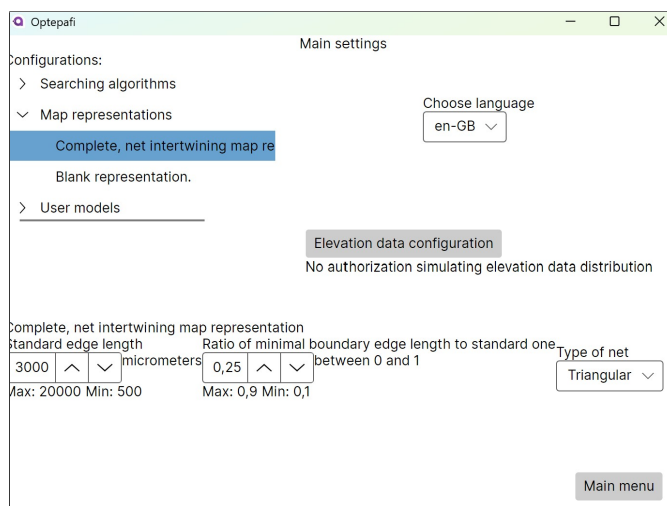
Hlané menu



V hlavnom menu je možné vidieť dve tlačidlá:

- tlačidlo v pravom dolnom rohu slúži pre prechod do hlavných nastavení aplikácie
- tlačidlo uprostred okna slúži pre vytváranie inštancií session-u pre vyhľadávanie ciest v mapách

Hlané nastavenia



V hlavných nastaveniach môžeme:

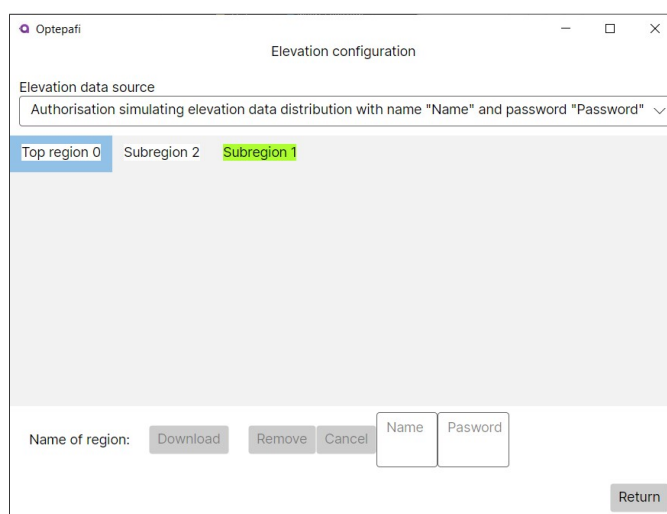
- vybrať jazyk, ktorým chceme aby na nás aplikácia rozprávala. Je možné zvoliť buď slovenskú alebo anglickú lokalizáciu aplikácie.
- prejsť stlačením príslušného tlačidla do konfigurácie výškových dát. Pod týmto tlačidlom môžeme vidieť aktuálne vybranú, implicitne využívanú distribúciu výškových dát.

- nastaviť konkrétnemu typu mapovej reprezentácie, vyhľadávacieho algoritmu alebo užívateľského modelu parametre, podľa ktorých sa bude pri vyhľadávaní ciest riadiť. V tejto chvíli sú nastaviteľné parametre dostupné iba pre mapovú reprezentáciu *Complete, net intertwining map representation*.

Pre tú je možné nastaviť štandardnú dĺžku hrán vo vytvorenom grafe a pomer najkratších povolených hrán ku štandardnej dĺžke hrany v retiazkach vrcholov hraníc mapových objektov vpletených do siete grafu. Tvar siete grafu je možné v tejto chvíli nastaviť iba na *Triangular*.

- stlačením tlačidla v pravom dolnom rohu sa opäť vrátiť do hlavného menu aplikácie.

Konfigurácia výškových dát



V konfigurácii výškových dát môžeme sťahovať a odstraňovať stiahnuté výškové dáta z rôznych zdrojov. Dáta sú sťahované po regiónoch. Posledne konfigurovaná distribúcia sa pri návrate do hlavných nastavení nastaví ako implicitne používaná distribúcia v aplikácii.

Aplikácia farebne indikuje, ktoré regióny sú stiahnuté (zelená), ktoré nie sú (biela), ktoré sú aktuálne sťahované (oranžová) a ktoré odstraňované (červená).

Konfigurácia výškových dát umožňuje:

- Pomocou vrchného boxu vybrať dátovú distribúciu, s ktorej dátami chce užívateľ manipulovať (sťahovať alebo odstraňovať ich).
- Po vybraní distribúcie sa na obrazovke zobrazia regióny a ich pod-regióny
- Následne po vybraní regiónu ho môže užívateľ na základe jeho aktuálneho stavu stiahnuť, odstrániť alebo prerušiť jeho sťahovanie
- Sťahovanie regiónov sa riadi nasledujúcimi pravidlami:
 - Keď sa sťahuje konkrétny región, sťahujú sa aj všetky jeho pod-regióny
 - Pokiaľ je región odstraňovaný, odstraňujú sa aj všetky jeho pod-regióny. Zároveň ak niektorí z jeho nad-regiónov boli doteraz stiahnutí, zmení sa ich stav na nestiahnuté (nejaká ich časť bola odstránená).

- Kedykoľvek je s regiónom manipulované, či už priamo alebo nepriamo, nie je možné na ňom v danej chvíli robiť žiadne operácie. Pokiaľ je región sťahovaný priamo, je možné dané sťahovanie zrušiť.
- Pokiaľ je ku stiahnutiu výškových dát vybranej distribúcie potrebná autorizácia užívateľa, je nutné zadať užívateľské meno a heslo. Pomocou týchto údajov bude možné následne získať výškové dáta z danej distribúcie.
- Po dokončení konfigurácie je možné sa pomocou stlačenia tlačidla v pravom dolnom rohu vrátiť naspäť do hlavných nastavení. Posledne konfigurovaná distribúcia sa nastaví ako aktuálne implicitne používaná.

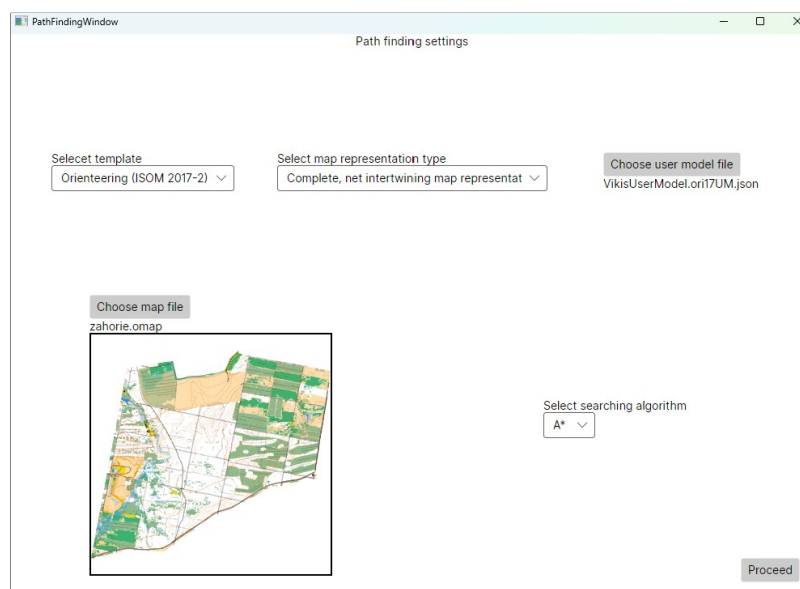
Nakoľko plnohodnotné sťahovanie výškových dát doposiaľ nieje v aplikácii poriadne implementované, je možné si zatiaľ vybrať z dvoch ukázkových zdrojov výškových dát:

- *Simulating elevation data source* - Zdroj simulujúci prácu sťahovania a odstraňovania výškových dát. Skladá sa z dvoch dátových distribúcií:
 - *Authorization simulating elevation data distribution with name 'Name' and password 'Password'* - Simulujúca distribúcia výškových dát, ktorá vyžaduje autorizáciu užívateľa. Užívateľské meno je slovo *Name* a heslo je slovo *Password*. Obsahuje tri regióny, ktoré užívateľ môže „sťahovať a odstraňovať“.
 - *No authorization simulating elevation data distribution* - Simulujúca distribúcia výškových dát, ktorá nevyžaduje autorizáciu užívateľa. Obsahuje tri regióny, ktoré užívateľ môže „sťahovať a odstraňovať“.
- *Not sufficient elevation data source* - Zdroj výškových dát, ktorý nikdy nedokáže zabezpečiť požadované výškové dáta. Obsahuje jednu dátovú distribúciu:
 - *Not sufficient elevation data distribution* - Distribúcia výškových dát, ktorá nikdy nie je schopná dodať potrebné výškové dáta. Nedefinuje žiadny vlastný región.

Session pre vyhľadávanie ciest

Session pre vyhľadávanie ciest je možné vytvoriť v hlavnom menu hlavného okna. Po vytvorení sa zobrazia nastavenia session-ových parametrov.

Nastavenia parametrov



V nastaveniach parametrov je možné vybrať template, mapový súbor, typ mapovej reprezentácie, súbor s užívateľským modelom a vyhľadávací algoritmus, ktoré budú použité v procese vyhľadávania ciest. Na začiatku sú tieto zdroje implicitne nastavené na posledne použité v predchádzajúcej inštancii session-u.

Nastavovanie parametrov sa riadi určitými pravidlami:

- najprv sa vyberá template a mapový súbor, následne súbor s užívateľským modelom a typ mapovej reprezentácie, a na koniec vyhľadávací algoritmus
- pre zvolenú kombináciu template-u a formátu mapového súboru musí platiť:
 - musí existovať mapová reprezentácia, ktorá túto kombináciu dokáže spracovať,
 - taktiež pre zvolený template-u musí existovať typ užívateľského modelu, ktorý dokáže spracovávať atribúty definované týmto template-om,
 - nakoniec musí existovať aspoň jedna kombinácia takto definovanej mapovej reprezentácie a užívateľského modelu, ktorú dokáže využiť aspoň jedna implementácia ľubovôleho vyhľadávacieho algoritmu.
- keď je vybraný buďto template alebo mapový súbor a výber druhej položky by spôsobil neplatnú kombináciu, prvá položka sa opäť vynuluje.
- súbor s užívateľským modelom môže byť vybraný len takého typu, ktorý dokáže spracovávať atribúty definované zvoleným template-om a ktorý spolu s vybranou mapovou reprezentáciou, je vhodnou kombináciou pre aspoň jednu implementáciu nejakého vyhľadávacieho algoritmu.

- typ mapovej reprezentácie musí obsahovať implementáciu, ktorá dokáže spracovať dvojicu vybraného template-u a formát vybranej mapy. Zároveň s vybraným užívateľským modelom musia tvoriť kombináciu, ktorú dokáže využiť aspoň jedna implementácia nejakého vyhľadávacieho algoritmu.
- vyhľadávací algoritmus následne môže byť zvolený len taký, ktorý podporuje typ vybraného užívateľského modelu a mapovej reprezentácie.

Na obrazovke je ďalej možné pozorovať názvy vybraných súborov, ako aj grafický náhľad vybranej mapy.

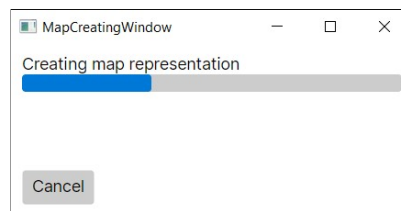
Po vybraní všetkých parametrov môže užívateľ pomocou stlačenia tlačidla v dolnom rohu pokračovať do ďalšej časti mechanizmu, ktorou je vytváranie mapovej reprezentácie.

Je možné vybrať si z nasledujúcich parametrov:

- **Template** - pre vyhľadávanie trás v mapách pre orientačný beh je potrebné zvoliť template *Orienteering (ISOM 2017-2)*
 - následne sú na výber dva ukázkové template-y, demonštrujúce mechaniky aplikácie:
 - *Blank template* - Template, ktorý reprezentuje prázdne vrcholové a hránové atribúty. Slúži pre demonštráciu aplikačných mechanizmov.
 - *Not usable template* - Demonštračný template, ktorý nie je možné využiť pri tvorbe žiadnej mapovej reprezentácie a ani preňho neexistuje zodpovedajúci typ užívateľského modelu.
- **Mapa** - pre vyhľadávanie trás v mapách pre orientačný beh je potrebné zvoliť mapový súbor formátu *.omap*. Tento mapový súbor by mal mať symbolový set rovnaký, ako je základný symbolový novo vytvorenej mapy aplikáciou *OpenOrienteeringMapper*. Pokiaľ sa symbolový set bude líšiť, je možné, že sa niektoré mapové značky budú nesprávne interpretovať.
 - pre účely demonštrácie funkcionalít aplikácie je taktiež možné vybrať aj klasický *textový* súbor. Na obrazovku budú následne vypísané náhodne všetky slová z vybraného textového súboru.
- **Užívateľský model** - pre vyhľadávanie trás v mapách pre orientačný beh je potrebné vybrať užívateľský model, ktorého suffix tvorí *.ori17UM.json* indikujúci užívateľský model ktorý je viazaný na template *Orienteering (ISOM 2017-2)*.
 - pri použití ukázkového templateu *Blank template* je možné taktiež vybrať užívateľský model typu *Blank user model*. Podobne ako naviazaný template, ani tento užívateľský model nezabezpečuje žiadnu funkcionalitu. Slúži pre demonštráciu aplikačných mechanizmov.
- **Mapová reprezentácia** - pre vyhľadávanie trás v mapách pre orientačný beh je potrebné vybrať mapovú reprezentáciu typu *Complete, net intertwining map representation*.
 - pri použití ukázkového template-u *Blank template* alebo textového mapového formátu je možné využiť aj mapovú reprezentáciu *Blank representation*. Táto mapová reprezentácia slúži pre demonštráciu mechanizmov aplikácie.

- **Vyhľadávací algoritmus** - vyhľadávanie trás v mapách pre orientačný beh je sprostredkované algoritmom A^* .
- pre účely demonštrácie funkcionalít aplikácie bol vytvorený taktiež mechanizmus s názvom *Smiley face drawer*. Ten počas svojho behu postupne vykresluje usmievajúce sa tváre medzi jednotlivými bodmi zadanej trate. Na záver sú všetky tváre naraz vykreslené.

Vytváranie mapovej reprezentácie



S vytváraním mapovej reprezentácie môže užívateľ interagovať pomocou dialógového okna. Vytváranie mapovej reprezentácie sa skladá z dvoch častí:

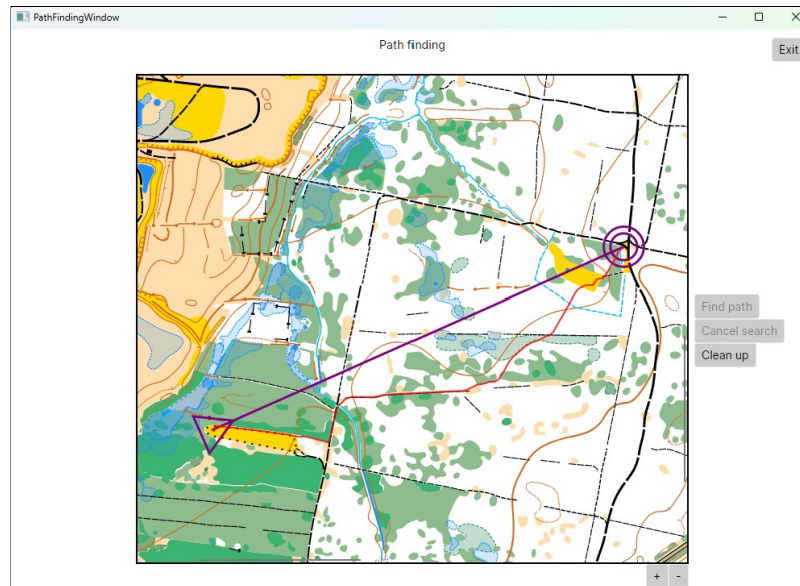
- *kontrola podmienok* - v tejto časti sa kontrolujú podmienky pre vytvorenie mapovej reprezentácie. Pokiaľ sa naskytne nejaký problém, užívateľ ho môže riešiť za pomoci interakcie s dialógovým oknom.
- *vytváranie reprezentácie* - ak sú všetky podmienky splnené, prichádza na rad samotné vytváranie mapovej reprezentácie. Tento proces môže byť zdĺhavý a preto je užívateľovi umožnené sledovať postup vytvárania, ako aj možnosť vytváranie prerušiť.

Pri akomkoľvek neúspechu vytvárania je užívateľ vrátený do nastavení parametrov. Pokiaľ vytváranie prebehne úspešne, je užívateľ pustený do cesty vyhľadávajúceho okna.

Vyhľadávanie cesty

Vyhľadávanie cesty je cyklus zložený z troch fáz:

1. **zadanie trasy** - V prvom rade je potrebné zadať trasu, pre ktorú sa má v mape vyhľadať najrýchlejšia cesta. Užívateľ zadáva body trasy na mape, poprípade ich môže mazať od konca tlačidlom umiestneným v pravom dolnom rohu. Keď je s výberom trasy spokojný, stlačením príslušného tlačidla prejde do fázy vyhľadávania cesty.
2. **vyhľadávanie cesty** - Po výbere trasy prichádza na rad samotné vyhľadávanie cesty. Proces vyhľadávania môže byť dynamicky zobrazovaný užívateľovi. Užívateľ taktiež môže prerušiť proces vyhľadávania príslušným tlačidlom. Pokiaľ je vyhľadávanie prerušené, je cyklus vyhľadávania cesty navrátený do prvej fázy výberu trasy. Pokiaľ sa vyhľadávanie úspešne dokončí, prejde sa ku fáze zobrazenia nájdenej cesty.



3. **zobrazenie nájdenej cesty** - Po úspešnom dokončení vyhľadávania je užívateľovi zobrazená nájdená cesta a jej doplňujúce informácie. Po dokončení prezerania výslednej cesty sa užívateľ stlačením príslušného tlačidla môže navrátiť do prvej fáze vyhľadávacieho cyklu.

Pokiaľ sa vo vstupnej mape nachádzala trať tvorená symbolom *Simple Orienteering Course (799)*, bude táto trať pri otvorení vyhľadávacieho okna ihneď nastavená.

Pokiaľ užívateľ hodlá session pre vyhľadávanie ciest opustiť, môže tak učiniť kedykoľvek pomocou stlačenia tlačidla v pravom hornom rohu obrazovky.

A.2 Príklad parametrizácie užívateľského modelu

Plošné značky + cesty a schody:

- koeficient spomalenia: 0 znamená, že plocha/línia je nepriechodná, 1 znamená plnú rýchlosť, ktorú bežec dokáže dosiahnuť
- ak ide o kombináciu značiek, použije sa násobok koeficientov
- značky ciest sa nekombinujú so značkami okolitého prostredia s výnimkou značiek 507 a 508
- pri značkách 507 a 508 nie je jedno, v akom prostredí sa tieto značky nachádzajú. Ich koeficienty sú teda nastavené na >1 a sú kombinované s koeficientom okolitého prostredia.

Terénne útvary

113 Rozbitý povrch (A): 0.95

114 Veľmi rozbitý povrch (A): 0.80

Skaly a balvany

206 Obrovský balvan alebo skalná veža (A): 0

- 208 Balvanové pole (A): 0.70
 209 Husté balvanové pole (A): 0.55
 210 Kamenistý povrch, pomalý beh (A): 0.65
 211 Kamenistý povrch, chôdza (A): 0.50
 212 Kamenistý povrch, boj (A): 0.35
 213 Piesočný povrch (A): 0.70
 214 Holá skala (A): 0.95
- Voda a močiare*
- 301 Neprekonateľná vodná plocha (A): 0
 302 Plytká vodná plocha (A): 0.50
 307 Neprekonateľný močiar (A): 0
 308 Močiar (A): 0.80
 310 Nevýrazný močiar (A): 0.90
- Vegetácia*
- 401 Otvorená krajina (A): 0.97
 402 Otvorená krajina s rozptýlenými stromami (A): 0.93
 403 Drsná otvorená krajina (A): 0.85
 404 Drsná otvorená krajina s rozptýlenými stromami (A): 0.80
 405 Les (A): 0.90
 406 Vegetácia: pomalý beh (A): 0.70
 407 Vegetácia (podrast): pomalý beh, dobrá viditeľnosť (A): 0.80
 408 Vegetácia: chôdza (A): 0.45
 409 Vegetácia (podrast): chôdza, dobrá viditeľnosť (A): 0.60
 410 Vegetácia: boj (A): 0.20
 412 Obrábaná pôda (A): 0.80
 413 Sad (A): 0.93
 413 Drsný Sad (A): 0.80
 414 Vinohrady alebo podobné (kultúry) (A): 0.90
 414 Drsné vinohrady alebo podobné (kultúry) (A): 0.75
- Cesty*
- 501 Spevnená plocha (A): 1
 502 Široká cesta (L): 1
 503 Cesta (L): 1
 504 Vozová cesta (L): 1
 505 Chodník (L): 0.99
 506 Malý chodník (L): 0.97
 507 Menej výrazný malý chodník (L): 1.07
 508 Priesek alebo líniová trasa terénom (L): 1.07
- Umelé objekty*
- 520 Zakázaný priestor (A): 0
 521 Budova (A): 0
 532 Schodisko (L): 0.93
 709 Neprístupná oblasť (A): 0

Líniové prekážky

- približný čas prekonania v sekundách
- ak je línia neprekonateľná, čas je nastavený na milión sekúnd

Terénne tvary

104 Zemný zráz (L): 2

105 Zemný násyp (L): 2

107 Erózna ryha (L): 4

Skaly a balvany

201 Neprekonateľný zráz (L): 1 000 000

202 Zráz (L): 5

215 Zákop (L): 1

Voda a močiare

304 Prekonateľný vodný tok (L): 3

305 Malý prekonateľný vodný tok (L): 2

Umelé objekty

513 Múr (L): 2

515 Neprekonateľný múr (L): 1 000 000

516 Plot (L): 2

518 Neprekonateľný plot (L): 1 000 000

528 Výrazný líniový objekt (L): 1.5

529 Výrazný neprekonateľný líniový objekt (L): 1 000 000