



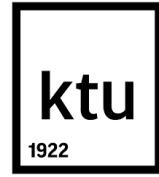
**Kauno technologijos universitetas**  
Informatikos fakultetas

**Gatvės lygio vaizdų peržiūros programa komandinėje eilutėje**  
Baigiamasis bakalauro studijų projektas

**Arnas Bradauskas ir Ignas Survila**  
Projekto autoriai

**doc. prakt. Evaldas Guogis**  
Vadovas

**Kaunas, 2025**



**Kauno technologijos universitetas**  
Informatikos fakultetas

# **Gatvės lygio vaizdų peržiūros programa komandinėje eilutėje**

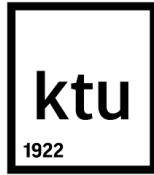
Baigiamasis bakalauro studijų projektas  
Programų sistemas (6121BX012)

**Arnas Bradauskas ir Ignas Survila**  
Projekto autoriai

**doc. prakt. Evaldas Guogis**  
Vadovas

**prof. Tomas Blažauskas**  
Recenzentas

**Kaunas, 2025**



**Kauno technologijos universitetas**

Informatikos fakultetas

Arnas Bradauskas ir Ignas Survila

## **Gatvės lygio vaizdų peržiūros programa komandinėje eilutėje**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamajį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinių etikos kodekse nustatytyų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojos projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąraše;
3. įstatymu nenumatyta piniginių sumų už baigiamajį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjės (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinių nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinių etikos ir procedūrų kontroleriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinių etikos pažeidimą.

Arnas Bradauskas ir Ignas Survila  
*Patvirtinta elektroniniu būdu*

Arnas Bradauskas ir Ignas Survila. Gatvės lygio vaizdų peržiūros programa komandinėje eilutėje. Baigiamasis bakalauro studijų projektas. Vadovas doc. prakt. Evaldas Guogis. Informatikos fakultetas, Kauno technologijos universitetas.

Studijų kryptis ir sritis: Informatikos mokslai, Programų sistemos.

Reikšminiai žodžiai: komandinė eilutė, CLI, gatvės lygio vaizdai, ASCII menas, terminalas, TUI, Scala, vizualizacija terminale.

Kaunas, 2025. 93 p.

### **Santrauka**

Šis baigiamasis bakalauro studijų projektas pristato inovatyvų sprendimą – programą, skirtą interaktyviai naršyti pasaulio gatves naudojant tik komandinės eilutės sasają. Darbo epicentre – fundamentalus klausimas apie komandinės eilutės, kaip terpės, tinkamumą vizualiai turtingoms aplikacijoms. Pagrindinis projekto tikslas yra dvejopas: pirma, atlikti išsamią komandinės eilutės aplinkos techninių ir vartotojo sasajos apribojimų analizę tokio tipo programos kontekste. Antra, remiantis šia analize, suprojektuoti ir realizuoti veikiantį prototipą, demonstruojantį gatvės lygio vaizdų peržiūrą ASCII formatu.

Projekte detaliai gilinamas i praktinius iššūkius, su kuriais susidurta implementuojant sprendimą: pradedant ribotu spalvų ir grafinių elementų palaikymu terminale, baigiant poreikiu sukurti intuityvią navigacijos sistemą be tradicinių grafinių valdiklių. Aprašomi pasirinkti kompromisai ir kūrybiniai sprendimai, leidusieji šiuos apribojimus apeiti ar sušvelninti. Svarbi darbo dalis yra išorinių paslaugų, tokius kaip „Mapillary“ API gatvės vaizdų tiekimui, ir kitų programinės įrangos bibliotekų („JLine“ terminalo valdymui, „Cats Effect“ pašalinių efektų valdymui) integravimo analizė ir praktinis pritaikymas. Ypatingas dėmesys skiriama jvairių ASCII meno generavimo algoritmului (šviesumo, kraštinių detekcijos) tyrimui ir jų efektyvumui dinamiškai konvertuojant fotografinius vaizdus į tekstinę reprezentaciją.

Techninė projekto realizacija atlikta naudojant „Scala“ programavimo kalbą, kuri pasirinkta dėl jos galingos tipų sistemos, funkcinio programavimo paradigmos palaikymo ir geros integracijos su „Java“ ekosistema. Projektinė ataskaita, savo ruožtu, parengta naudojant „Typst“ – modernią, kodu pagrįstą dokumentų rengimo sistemą. Siekiant atitikti akademinius reikalavimus ir užtikrinti dokumento kokybę, šiam darbui buvo sukurtas specialus „Typst“ šablonas.

Arnas Bradauskas ir Ignas Survila. Street-Level Image Viewer in Command Line. Bachelor's Final Degree Project. Supervisor doc. prakt. Evaldas Guogis. Faculty of Informatics, Kaunas University of Technology.

Study field and area: Computer Sciences, Software Systems.

Keywords: command-line, CLI, street-level imagery, ASCII Art, terminal, TUI, Scala, Terminal Visualization.

Kaunas, 2025. 93 pages.

## **Summary**

This final bachelor's thesis project introduces an innovative solution: a program designed for interactively navigating global streets using solely a command-line interface. At the core of this work lies a fundamental inquiry into the suitability of the command-line environment as a medium for visually rich applications. The primary objective of the project is twofold: firstly, to conduct a comprehensive analysis of the technical and user interface limitations of the command-line environment within the context of such an application. Secondly, based on this analysis, to design and implement a functional prototype demonstrating street-level image viewing in ASCII format.

The project delves into the practical challenges encountered during the implementation of the solution, ranging from the limited support for colors and graphical elements in the terminal to the necessity of creating an intuitive navigation system without traditional graphical widgets. It describes the chosen compromises and creative solutions that allowed these limitations to be circumvented or mitigated. A significant part of the work involves the analysis and practical application of integrating external services, such as the Mapillary API for sourcing street-level imagery, and other software libraries (JLine for terminal control, Cats Effect for asynchronicity). Particular attention is given to the investigation of various ASCII art generation algorithms (luminance-based, edge detection) and their effectiveness in dynamically converting photographic images into a textual representation.

The technical implementation of the project was carried out using the Scala programming language, chosen for its powerful type system, support for functional programming paradigms, and good integration with the Java ecosystem. The project report, in turn, was prepared using Typst – a modern, code-based document preparation system. To meet academic requirements and ensure the quality of the document, a custom Typst template was developed specifically for this work.

# Turinys

Paveikslų sąrašas .....	9
Santrumpų ir terminų sąrašas .....	10
Įvadas .....	13
Darbo problematika ir aktualumas .....	13
Darbo tikslas ir uždaviniai .....	13
Darbo struktūra .....	13
Sistemos apimtis .....	13
1. Darbo rengimo įrankis „Typst“ .....	14
1.1. Tradicinių Įrankių Apžvalga ir Jų Trūkumai Projekto Kontekste .....	14
1.2. Kodėl „Typst“? Argumentai Pasirinkimui .....	15
1.3. Galimi trūkumai ir kompromisai .....	16
1.4. Problemos, su kuriomis susidūrėme .....	16
1.4.1. Tarpai tarp eilučių .....	16
1.4.2. Bibliografija .....	16
1.5. Išvada .....	16
2. Analizė .....	17
2.1. Techninis pasiūlymas .....	17
2.1.1. Sistemos apibrėžimas .....	17
2.1.2. Bendras veiklos tikslas ir pagrįstumas .....	17
2.1.3. Egzistuojančių sprendimų analizė .....	18
2.2. Techninių galimybių analizė .....	21
2.2.1. Pagrindinės techninės kliūtys ir sprendimai .....	21
3. Projektas .....	24
3.1. Reikalavių specifikacija .....	24
3.1.1. Realizacijai keliami funkciniai reikalavimai .....	24
3.1.2. Komercinė specifikacija .....	25
3.1.3. Sistemos funkcijos .....	26
3.1.4. Naudotojo sąsajos specifikacija .....	29
3.1.5. Realizacijai keliami nefunkciniai reikalavimai .....	31
3.1.6. Techninė specifikacija .....	33
3.2. Projektavimo metodai .....	33
3.2.1. Kodėl „Scala“? .....	33
3.2.2. Funkcinis programavimas su „Scala“ .....	37
3.2.3. Projektavimo valdymas ir eiga .....	43
3.2.4. Projektavimo technologija .....	43
3.3. Sistemos projektas .....	45
3.3.1. Statinis sistemos vaizdas .....	45
4. Realizacija .....	48
4.1. Komandinės eilutės techniniai apribojimai .....	48
4.2. Gatvės vaizdo sąsajos pasirinkimas .....	49
4.2.1. Pirminis kandidatas: „Google Street View“ .....	49
4.2.2. Alternatyvų paieška ir „Mapillary“ pasirinkimas .....	50
4.2.3. Išvada .....	50
4.3. Papildomai naudotos sąsajos .....	50
4.3.1. „TravelTime“: Geokodavimo ir kelionės laiko analizės platforma .....	51

4.3.2. „Imgur“: Vaizdų talpinimo ir dalinimosi paslauga .....	51
4.4. Naudotojo sėsajos bibliotekos pasirinkimas .....	52
4.4.1. Pradinis bandymas: „tui-scala“ .....	52
4.4.2. „tui-scala“ apribojimai ir išsūkiai .....	52
4.4.3. Sprendimas: nuosavas TUI modulis .....	53
4.4.4. Išvada .....	53
4.5. Programos konfigūravimas .....	53
4.6. Programos paleidimas .....	55
4.6.1. Techninių reikalavimų analizė ir bibliotekos pasirinkimas .....	55
4.6.2. Argumentų struktūros įgyvendinimas su „Decline“ .....	56
4.6.3. Išvados .....	56
4.7. Naudotojo sėsajos ir navigacijos projektavimas .....	57
4.7.1. Pagrindiniai projektavimo principai .....	57
4.7.2. Sąveikos modelis .....	57
4.7.3. Naudotojo sėsajos elementai .....	57
4.7.4. Navigacijos realizacija .....	58
4.7.5. Grįžtamasis ryšys naudotojui .....	59
4.7.6. Išvada .....	59
4.8. Nuotraukų konvertavimas į ASCII .....	59
4.8.1. ASCII .....	59
4.8.2. ASCII menas .....	60
4.9. Pasiruošimas konvertuoti nuotraukas į ASCII .....	60
4.9.1. Nuotraukos proporcijų išlaikymas .....	60
4.9.2. ASCII simbolių dydžio pasirinkimas .....	61
4.9.3. Nuotraukos reprezentacija pilkos spalvos tonais .....	61
4.9.4. ASCII simbolių rinkinio pasirinkimas .....	62
4.9.5. Tinkamos duomenų struktūros pasirinkimas .....	62
4.10. Nuotraukų konvertavimo į ASCII meną algoritmai .....	63
4.10.1. Šviesumo algoritmas (angl. <i>Luminance</i> ) .....	63
4.10.2. Sobelio kraštų atpažinimo algoritmas (angl. <i>Sobel edge detection</i> ) .....	66
4.10.3. Canny kraštų atpažinimo algoritmas (angl. <i>Canny edge detection</i> ) .....	68
4.10.4. Papildomi vaizdų konvertavimo į ASCII metodai .....	71
4.11. ASCII spalvos .....	74
5. Testavimas .....	76
5.1. Testavimo planas .....	76
5.1.1. Vienetiniai testai (angl. <i>unit tests</i> ) .....	76
5.1.2. Naudotojo sėsajos (TUI) testavimas .....	76
5.1.3. Našumo testavimas .....	76
5.1.4. Suderinamumo testavimas .....	76
5.2. Testavimo kriterijai .....	77
5.3. Vienetų testavimas .....	77
5.3.1. Ribojimai ir netaikyti vienetų testai .....	78
5.4. Naudotojo sėsajos (TUI) testavimas .....	79
5.5. Našumo testavimas .....	80
5.6. Suderinamumo testavimas .....	81
6. Dokumentacija naudotojui .....	82

6.1.	Apibendrintas sistemos galimybių aprašymas .....	82
6.2.	Naudotojo vadovas .....	82
6.2.1.	Konfigūracija .....	82
6.2.2.	Paleidimas .....	84
6.2.3.	Pagalba .....	85
6.2.4.	Programos naudojimas .....	86
7.	Išvados .....	88
	Literatūros sąrašas .....	90

## Paveikslų sąrašas

1 pav.	Panaudojimo atvejų diagrama .....	27
2 pav.	Pagrindinio „Street View“ lango prototipas .....	30
3 pav.	Konfigūracijos „Config“ lango prototipas. ....	30
4 pav.	Pagalbos „Help“ lango prototipas. ....	31
5 pav.	Diegimo diagrama .....	45
6 pav.	Paketų diagrama .....	46
7 pav.	ASCII rezultato palyginimas naudojant skirtingą galimų spalvų kiekį. ....	48
8 pav.	Pasirenkamas konfigūracinio scenarijaus nustatymas. ....	54
9 pav.	Įrašomas konfigūracinio scenarijaus nustatymas. ....	54
10 pav.	Konfigūracijos pasirinkimo apžvalga. ....	54
11 pav.	Spausdinimo mašinėles menas, kūrėjas Julius Nelson 1939m. ....	60
12 pav.	Palyginimas tarp paprasto ir išplėsto simbolių rinkinio. ....	62
13 pav.	Šviesumo algoritmo pavyzdys naudojant Brailio simbolių rinkinį. ....	65
14 pav.	Šviesumo algoritmo pavyzdys naudojant išplėstajį simbolių rinkinį. ....	65
15 pav.	Sobelio algoritmo pavyzdys naudojant Brailio simbolių rinkinį. ....	67
16 pav.	Optimalus Sobelio algoritmo pavyzdys. ....	68
17 pav.	Canny algoritmo pavyzdys naudojant išplėstajį simbolių rinkinį. ....	70
18 pav.	Optimalus Canny algoritmo pavyzdys. ....	70
19 pav.	Canny algoritmo pavyzdys atvaizduojant gatvės lygio vaizdus. ....	72
20 pav.	Idealus vaizdas konvertavimui su Brailio metodu. ....	73
21 pav.	Vieno simbolio užpildymo metodo rezultato pavyzdys. ....	74
22 pav.	Palyginimas tarp originalių spalvų ir stipraus protanopijos filtro. ....	75

# Santrumpų ir terminų sąrašas

## Santrumpos:

**API** (angl. *Application Programming Interface*) – programų sėsaja, leidžianti skirtingoms programoms sąveikauti tarpusavyje.

**ASCII** (angl. *American Standard Code for Information Interchange*) – standartizuotas simbolių kodavimo rinkinys, naudojamas tekstuvi vaizduoti kompiuteriuose.

**CLI** (angl. *Command Line Interface*) – komandinės eilutės sėsaja, leidžianti vartotojui sąveikauti su kompiuterio programa tekstinių komandų pagalba.

**GUI** (angl. *Graphical User Interface*) – grafinė vartotojo sėsaja, leidžianti vartotojui sąveikauti su programa per grafinius elementus (langus, mygtukus ir pan.).

**HOCON** (angl. *Human-Optimized Config Object Notation*) – žmogui optimizuotas konfigūracijos objektų žymėjimas, konfigūracijos failų formatas.

**JSON** (angl. *JavaScript Object Notation*) – lengvas duomenų mainų formatas, dažnai naudojamas API atsakuose.

**JVM** (angl. *Java Virtual Machine*) – Java virtuali mašina bei aplinka, kurioje vykdomos Java ir kitomis JVM kalbomis parašytos programos.

**RGB** (angl. *Red, Green, Blue*) – raudonos, žalios ir mėlynos spalvų modelis, naudojamas spalvoms atvaizduoti ekranuose.

**TUI** (angl. *Terminal User Interface*) – terminalo vartotojo sėsaja, tekstinė sėsaja veikianti komandinės eilutės aplinkoje.

**UML** (angl. *Unified Modeling Language*) – unifikuota modeliavimo kalba, standartizuota grafinė kalba programinės įrangos sistemoms vizualizuoti, specifikuoti ir dokumentuoti.

**URL** (angl. *Uniform Resource Locator*) – universalus naršyklų adresas, interneto adresas.

**UTF-8** – populiarus kintamo ilgio simbolių kodavimo standartas, palaikantis daugumą pasaulyje rašmenų.

**WYSIWYG** (angl. *What You See Is What You Get*) – „Ką matai, tą ir gauni“ redagavimo principas, kai turinys redagavimo metu atrodo taip pat, kaip galutiniame rezultate.

## Terminai:

**ANSI escape koduotė** – specialios simbolių sekos, naudojamos terminale valdyti teksto spalvas, formatavimą ir žymeklio poziciją.

**ASCII menas** – grafinio dizaino technika, kai vaizdai kuriami naudojant ASCII simbolius.

**Atviras kodas** (angl. *Open source*) – programinė įranga, kurios išeities kodas yra viešai prieinamas ir gali būti laisvai naudojamas, modifikuojamas bei platinamas.

**Brailio raštas** – taškinis raštas, skirtas akliams ir silpnaregiams skaityti ir rašyti liečiant.

**Buferis** (angl. *buffer*) – laikina atminties sritis, naudojama duomenims saugoti juos perduodant ar apdorojant.

**Deklaratyvus programavimas** – programavimo paradigma, kurioje aprašoma, ką programa turi padaryti, o ne kaip tai padaryti.

**Demonas** (angl. *daemon*) – fone veikianti programa, kuri nevykdo tiesioginės sąveikos su vartotoju, bet atlieka tam tikras sistemos užduotis.

**Duomenų normalizacija** – procesas, kai duomenys transformuojami į standartinį formatą ar intervalą.

**Gatvės lygio vaizdas (angl. Street View)** – technologija, leidžianti peržiūrėti panoramines gatvių nuotraukas, dažniausiai integruota į žemėlapį paslaugas.

**Geokodavimas (angl. geocoding)** – procesas, kurio metu tekstinis adresas (pvz., gatvė, miestas) paverčiamas geografinėmis koordinatėmis (platuma ir ilguma).

**Iteracinis programavimas (angl. iterative development)** – programinės įrangos kūrimo metodologija, kai produktas kuriamas palaipsniui, mažomis dalimis, kiekvieną jų testuojant ir tobulinant per kelias iteracijas.

**Karkasas (angl. framework)** – programinės įrangos struktūra, teikianti bendrą funkcionalumą ir nurodanti, kaip kurti aplikacijas.

**Kodo biblioteka** – iš anksto parašyto kodo rinkinys (funkcijų, klasių), kurį programuotojai gali naudoti savo programose, siekdamি pagreitinti kūrimo procesą.

**Komandinės eilutės argumentas** – papildoma informacija, perduodama programai ją paleidžiant komandinę eilutę, siekiant pakeisti jos veikimą.

**Kraštinių atpažinimas (angl. Edge detection)** – vaizdų apdorojimo technika, skirta identifikuoti taškus skaitmeniniame vaizde, kuriuose ryškiai keičiasi šviesumas.

**Metaduomenys (angl. metadata)** – duomenys apie duomenis; pavyzdžiui, nuotraukos metaduomenys gali apimti jos sukūrimo datą, geografines koordinates, kameros modelį.

**Monada (angl. monad)** – dizaino šablonas funkcinėse programavimo kalbose, leidžiantis struktūriuoti skaičiavimus ir valdyti šalutinius efektus.

**Nuotraukos rezoliucija** – vaizdo detalumo lygis, dažniausiai išreiškiamas pikselių skaičiumi horizontaliai ir vertikaliai.

**Objektinis programavimas** – programavimo paradigma, pagrįsta objektų sąvoka, kurie gali turėti duomenis (atributus) ir elgseną (metodus).

**Paketas (angl. package)** – susijusių klasių ir modulių grupė, organizuota į vieną vardų sritį.

**Pikselis (angl. pixel)** – mažiausias skaitmeninio vaizdo elementas.

**Programavimo paradigma** – fundamentali programavimo stiliaus koncepcija, pavyzdžiui, objektinis, funkcinis, struktūrinis programavimas.

**Prototipavimas (angl. prototyping)** – greitas veikiančio modelio kūrimas, siekiant išbandyti idėjas ir surinkti grįžtamajį ryšį ankstyvoje projekto stadioje.

**Rastrinė grafika (angl. raster graphics)** – skaitmeninių vaizdų tipas, sudarytas iš pikselių tinklelio.

**Referencinis skaidrumas (angl. referential transparency)** – savybė, kai išraiška gali būti pakeista jos reikšme nepakeičiant programos elgsenos. Būdinga gryno funkcinio programavimo funkcijoms.

**Repozitorija (angl. repository)** – saugykla, kurioje laikomas programos kodas ir jo versijų istorija.

**Sąsaja (angl. interface)** – ribinė sritis, per kurią sąveikauja du skirtinių komponentai ar sistemos.

**Scenarijus (angl. script)** – programa ar instrukcijų seka, dažnai skirta automatizuoti tam tikras užduotis.

**Simbolių rinkinys (angl. character set)** – apibrėžta simbolių aibė, naudojama teksto kodavimui.

**Sobelio operatorius (angl. Sobel operator)** – vaizdų apdorojimo filtras, naudojamas kraštinėms aptiktii, apskaičiuojant apytikslį vaizdo šviesumo gradientą.

**Struktūrinis programavimas** – programavimo paradigma, pagrįsta programos skaidymu į mažesnes, valdomas dalis (pvz., funkcijas, procedūras) ir ribojant valdymo struktūrų naudojimą.

**Šalutinis efektas** – funkcijos poveikis, kuris keičia būseną už funkcijos ribų arba sąveikauja su išoriniu pasaule (pvz., spausdinimas, failo keitimas).

**Terminalo emulatorius** – programa, imituojanti fizinio kompiuterio terminalo veikimą grafinėje aplinkoje.

**Tiesinis susiejimas (angl. linear mapping)** – metodas, kai vieno intervalo reikšmės proporcingai perkeliamas į kitą intervalą. Naudojamas šviesumo reikšmes konvertuojant į simbolių indeksus.

**Tipografija** – teksto rinkimo ir maketavimo menas bei technika.

**Triukšmas** – atsitiktiniai vaizdo šviesumo ar spalvos svyravimai, kurie nėra originalios scenos dalis.

**Vienetų testas (angl. unit test)** – programinės įrangos testavimo metodas, kai tikrinamos mažiausios programos dalys (vienetai, pvz., funkcijos ar metodai) izoliuotai.

**Virtuali mašina (angl. virtual machine)** – programinė įranga, emuliuojanti kompiuterio sistemą ir leidžianti vykdyti programas nepriklausomai nuo fizinės aparatinės įrangos.

**Ženklinimo kalba (angl. markup language)** – kompiuterinė kalba, naudojanti žymes tekstui anotuoti, apibrėžiant jo struktūrą ir pateikimą (pvz., HTML, LaTeX).

# **Įvadas**

## **Darbo problematika ir aktualumas**

Šiuolaikiniame technologijų pasaulyje gatvių vaizdai ir geografinė informacija paprastai pateikiami per grafinės sąsajas, tačiau komandinės eilutės (angl. *Command line interface*) aplinka išlieka svarbi daugeliui informacinių technologijų profesionalų ir entuziastų. Šio darbo problematika kyla iš smalsumo ir noro ištirti naujas komandinės eilutės pritaikymo galimybes – ar įmanoma sukurti interaktyvią sąsają gatvės lygio vaizdams, ir jei taip, ar tokia sąsaja gali būti intuityvi ir patogi naudoti. Tai yra ne tik techninio įgyvendinamumo klausimas, bet ir žmogaus-kompiuterio sąveikos tyrimas neįprastoje aplinkoje.

Projekto aktualumas pasireiškia kaip alternatyvių sąsajų tyrinėjimas ir kūrybinis eksperimentas, praplečiantis komandinės eilutės galimybes. Tokia sąsaja galėtų būti įdomi programuotojams, sistemų administratoriams ir kitiems specialistams, kurie daug laiko praleidžia terminalo aplinkoje ir vertina galimybę greitai pasiekti informaciją nepaliekančios aplinkos. Be to, projektas atskleidžia ASCII stiliums meno potencialą perteikti sudėtingą vaizdinę informaciją ir kelia klausimus apie tai, kaip skirtinges sąsajos formos veikia mūsų suvokimą ir sąveiką su geografinė informacija.

Projektas apima kompiuterių mokslų, žmogaus-kompiuterio sąveikos ir kūrybinių technologijų sritis. Praktinė darbo reikšmė slypi ne tik galimame sukurto įrankio naudojime, bet ir naujų idėjų generavime apie tai, kaip vaizdinis turinys gali būti pristatomas nestandardiniai būdais.

## **Darbo tikslas ir uždaviniai**

Darbo pagrindinis tikslas – sukurti ir ištirti interaktyvią komandinės eilutės sąsają, kuri leistų naudotojams naršyti gatvių vaizdus ASCII formatu, siekiant nustatyti tokios sistemos techninį įgyvendinamumą ir naudojimo patogumą be tradicinės grafinės aplinkos.

Uždaviniai:

1. Išanalizuoti esamas technologijas ir metodus, skirtus vaizdiniam turiniui konvertuoti į ASCII formatą, bei įvertinti jų tinkamumą interaktyviai gatvių vaizdų sistemai.
2. Ištirti „Street View“ programavimo sąsajos (API) galimybes ir apribojimus, siekiant efektyviai gauti ir apdoroti gatvių vaizdų duomenis komandinės eilutės aplinkoje.
3. Sukurti prototipą, demonstruojantį ASCII formatu pateikiamą gatvių vaizdų naršymą, išskaitant judėjimą erdvėje.
4. Parengti ir įgyvendinti intuityvią navigacijos sistemą, pritaikytą specifiniams komandinės eilutės aplinkos apribojimams ir galimybėms.
5. Įgyvendinti žaidybinę programos funkciją, kuri leistų naudotojui lengvai pamatyti esamą funkcionalumą.
6. Atlirkti sukurtos sistemos testavimą, vertinant tiek techninį veikimą, tiek naudotojo patirties aspektus skirtinges naudojimo aplinkose.
7. Nustatyti ir dokumentuoti šio tipo sąsajos praktinio taikymo ribas, galimybes ir tobulinimo kryptis.
8. Įvertinti projekto rezultatus ir suformuluoti išvadas apie ASCII komandinės eilutės sąsajų potencialą interaktyvioms geografinėms sistemoms.

## **Darbo struktūra**

aaa

## **Sistemos apimtis**

aaa

# **1. Darbo rengimo įrankis „Typst“**

Baigiamojo darbo rengimas yra sudėtingas procesas, reikalaujantis ne tik turinio kūrimo, bet ir nuoseklaus jo formatavimo bei struktūrizavimo. Tradiciškai akademiniuose darbuose dominuoja du pagrindiniai įrankiai: teksto redaktoriai, tokie kaip „Microsoft Word“ (ar jo atitikmenys, pvz., „LibreOffice Writer“), ir tipografinė sistema „LaTeX“. Šiame darbe, siekiant efektyvesnio ir lankstesnio rengimo proceso, buvo pasirinktas alternatyvus, modernus įrankis – „Typst“ [1]. Šiame skyriuje argumentuojamas šis pasirinkimas, lyginant wojį su labiau įprastomis alternatyvomis.

## **1.1. Tradicinių Įrankių Apžvalga ir Jų Trūkumai Projekto Kontekste**

1. WYSIWYG (angl. *What you see is what you get*) ( redaktoriai („Microsoft Word“ ir kt.): šie įrankiai yra populiarūs dėl savo vizualios sąsajos („ką matai, tą ir gauni“) ir palyginti žemo pradinio naudojimo slenksčio. Jie tinkamai paprastesniems dokumentams, tačiau rengiant sudėtingos struktūros mokslinių darbų, ypač informacinių technologijų srityje, išryškėja jų trūkumai:
  - Formatavimo konsistencijos išlaikymas: didelės apimties darbe rankiniu būdu užtikrinti vienodą stilių antraštėms, citatoms, kodų pavyzdžiams, paveikslėliams ir lentelėms yra sudėtinga ir atima daug laiko. Stilių sistemos padeda, bet dažnai reikalauja nuolatinės priežiūros.
  - Struktūros valdymas: dokumento dalijų pertvarky whole, skyrių pernumeravimas, kryžminių nuorodų ir turinio automatinis atnaujinimas gali tapti komplikuotas.
  - Versijų valdymas ir bendradarbiavimas: šiuo redaktoriu naudojami dvejetainiai failų formatai sunkiai integruojasi su versijų kontrolės sistemomis (pvz., „Git“), kurios yra esminės programinės įrangos kūrimo praktikoje ir naudingos rašant bet kokį ilgą tekstą. Pakeitimų sekimas ir sujungimas yra ribotas. Tai mums ypač svarbu todėl, nes ši bakalaurinė darbų rašome dviese.
  - Automatizavimas: galimybės automatizuoti pasikartojančias užduotis ar integravoti programinį kodą dokumento generavimui yra labai ribotos.
2. „LaTeX“: tai ilgametis akademinių publikacijų standartas, ypač tiksliuosiuose moksluose ir informatikoje. „LaTeX“ yra tipografinė sistema, pagrįsta ženklinimo kalba (angl. *markup language*), leidžianti autorui sutelkti dėmesį į turinį, o formatavimą patikėti sistemai. Jos privalumai sprendžia daugelį „Word“ problemų:
  - Puiki tipografinė kokybė: ypač matematinių formulų ir sudėtingų maketu atveju.
  - Struktūra ir konsistencija: griežta struktūra ir stilių valdymas užtikrina dokumento vientisumą.
  - Automatizavimas: bibliografijos, turinio, paveikslų sąrašų, kryžminių nuorodų generavimas yra standartinė funkcijos dalis.
  - Tekstinis formatas: *.tex* failai yra paprasto teksto, todėl puikiai tinkamai versijų kontrolei su „Git“.
  - Plati ekosistema: daugybė paketų ir šablonų įvairiems poreikiams.Tačiau „LaTeX“ taip pat turi trūkumų, ypač šiuolaikiniam kūrėjui:
  - Sintaksės sudėtingumas: „LaTeX“ sintaksė, nors ir galinga, dažnai yra gana sudėtinga, reikalaujanti daug specialiųjų simbolių (‐, {, }) ir gali būti sunkiai išskaitoma.
  - Mokymosi kreivė: įvaldyti „LaTeX“ iki lygio, leidžiančio laisvai kurti ir modifikuoti sudėtingus dokumentus, reikalauja nemažai laiko ir pastangų.
  - Klaidų pranešimai: gali būti sunkiai suprantami, ypač pradedantiesiems.
  - Kompiliavimo greitis: didelių dokumentų su daug paketų kompiliavimas gali užtrukti.
  - Programavimo galimybės: nors „TeX“ yra Turingo užbaigta (angl. *Turing-Complete*) kalba, jos makro sistema yra gana specifinė ir nepriłygti modernių skriptų kalbų lankstumui.

## 1.2. Kodėl „Typst“? Argumentai Pasirinkimui

Atsižvelgiant į norą naudoti kodu pagrįstą dokumentų rengimo sistemą (dėl versijavimo, automatišavimo ir struktūros privalumų), tačiau siekiant išvengti kai kurių „LaTeX“ sudėtingumų, buvo pasirinkta „Typst“. Tai palyginti nauja, bet sparčiai populiarėjanti, kodu pagrįsta tipografinė sistema, sukurta su tikslu suderinti „LaTeX“ galią su modernesne ir paprastesne sintakse bei naudojimo patirtimi. Pagrindiniai „Typst“ privalumai šio darbo kontekste:

1. Moderni ir paprasta sintaksė: „Typst“ sintaksė yra įkvėpta „Markdown“ ir modernių programavimo kalbų. Ji yra žymiai glaustesnė ir intuityvesnė nei „LaTeX“. Paprastiems formatavimo veiksmams (pvz., paryškinimas, kursyvas, antraštės, sąrašai) naudojama lengvai įsimenama sintaksė, panaši į „Markdown“, o sudėtingesniems elementams (pvz., puslapio konfigūracija, funkcijos) naudojama aiški funkcinė sintaksė.

```
// Pavyzdys: Typst sintaksė paprasta
= Skyriaus Antraštė
Čia yra *paryškintas* ir _kursyvu_ parašytas tekstas.

#figure(
    image("images/logo.png", width: 4cm),
    caption: [Logotipas],
)
```

2. Nuožulnesnė mokymosi kreivė: pradėti naudotis „Typst“ ir pasiekti gerų rezultatų galima žymiai greičiau nei naudojant „LaTeX“. Pagrindinės funkcijos yra lengvai perprantamos, o sudėtingesni aspektai yra logiškai struktūrizuoti.
3. Puiki dokumentacija: „Typst“ turi išsamią, interaktyvią ir lengvai naršomą oficialią dokumentaciją su gausiais pavyzdžiais [2]. Tai labai palengvina mokymąsi ir problemų sprendimą.
4. Greitas kompiliavimas: „Typst“ yra sukurtas su dideliu dėmesiu našumui. Kompiliavimas, ypač inkrementinis (kai keičiama tik dalis dokumento), yra ženkliai greitesnis nei daugeliu atvejų su „LaTeX“ [3]. Tai leidžia matyti pakeitimų rezultatus beveik akimirksniu, kas pagerina rašymo ir taisymo procesą.
5. Integravtos galios programavimo galimybės: skirtingai nuo „LaTeX“ makro sistemos, „Typst“ turi integravtą, modernią skriptų kalbą. Galima lengvai apibrėžti kintamuosius, funkcijas, naudoti ciklus ir sąlygas tiesiogiai dokumento kode. Tai atveria plačias galimybes automatizacijai, duomenų vizualizavimui ar nestandardinių elementų kūrimui be būtinybės ieškoti ar kurti sudėtingus išorinius paketus (įskiepius).

```
// Pavyzdys: Typst programavimas
#let project_name = "ASCII Street View CLI"
Šiame darbe aprašoma sistema #project_name.

#for i in range(1, 4) {
    [Punktas #i]
}
```

6. Geras įrankių palaikymas: „Typst“ turi puikų „Language Server Protocol“ (LSP) palaikymą, kas reiškia, kad populiarūs kodų redaktoriai (pvz., „Visual Studio Code“, „NeoVim“ ar net „IntelliJ IDEA“) gali teikti sintaksės paryškinimą, automatinį raktažodžių užbaigimą, klaidų tikrinimą realiu laiku ir kitas pagalbos funkcijas, kurios ženkliai padidina produktyvumą.
7. Tekstinis formatas ir „Git“ suderinamumas: kaip ir „LaTeX“, „Typst“ naudoja paprasto teksto .typ failus, kurie idealiai tinka versijų kontrolei su „Git“.

8. Dokument konfigūracija: sistema leidžia lengvai keisti viso dokumento stilių ir įvairius parametrus vienoje vietoje.

### 1.3. Galimi trūkumai ir kompromisai

Nors „Typst“ siūlo daug privalumų, kaip palyginti naujas įrankis, jis turi ir tam tikrų aspektų, į kuriuos reikėjo atsižvelgti:

- Ekosistema ir bendruomenė: „Typst“ paketą ir šablonų ekosistema bei naudotojų bendruomenė yra mažesnė nei „LaTeX“. Tai reiškia, kad kai kuriems labai specifiniams poreikiams gali nebūti paruošto sprendimo (nors integruotas programavimas dažnai leidžia jį sukurti).
- Institucijų įpratimas: kai kuriose akademinėse institucijose ar leidyklose „LaTeX“ gali būti labiau įprastas ar net reikalaujamas formatas. Tačiau šio darbo kontekste lankstumas ir kūrimo efektyvumas buvo laikomi svarbesniais veiksniais. Taip pat mums buvo įdomu išbandyti mažiau naudojamą įrankį, įvertinti jo galimybes ir galbūt palikti veikiantį bei reikalavimus atitinkantį šabloną kitoms kartoms.
- Produktas dar nebaigtas: šios ataskaitos rašymo metu, naujausia „Typst“ versija yra 0.13.1 – tai reiškia, jog įrankis gali būti nepilnai realizuotas bei gali turėti spragų.

### 1.4. Problemos, su kuriomis susidūrėme

Kadangi „Typst“ yra sąlyginai naujas įrankis ir jis nėra plačiai naudojamas „KTU“ rašto darbų kūrime, kai kurie reikalavimai gali kelti iššūkių.

#### 1.4.1. Tarpai tarp eilučių

Pagal rašto darbų metodinius nurodymus, tarpai tarp eilučių turėtų būti 1,15 (matavimo vienetas nėra nurodytas). „Typst“ įrankyje egzistuoja *leading* nustatymas, kuris būtent tai ir nurodo. Tačiau su 1,15 reikšme, tarpai tarp eilučių tapo žymiai per dideli. Tai reiškia, jog šis įrankis naudoja kitokį tarpų skaičiavimą, nei, pavyzdžiui, „MS Word“.

Rankiniu būdu testuojant, mūsų nuomone 0,65 tarpas atrodo panašus į kitus pavyzdžius.

```
#set par(  
    leading: 0.65em  
)
```

#### 1.4.2. Bibliografija

„KTU“ rašto darbų reikalavimai nurodo, jog bibliografija turi būti ISO-690:2021 formato. „Typst“ įrankis naudoja specialius .csl formato failus bibliografijos formatavimui.

Deja, bet šiuo metu neegzistuoja (arba mes nesugebėjome rasti) .csl failo ISO-690:2021 formatui, todėl teko patiemis adaptuoti esančias konfigūracijas, kad daugmaž atitinkti reikiamą formatą.

### 1.5. Išvada

Apibendrinant, „Typst“ pasirinkimas šiam baigiamajam darbui buvo sąmoningas ir pagristas sprendimas. Jis leido pasinaudoti kodu pagrįsto dokumentų rengimo privalumais (struktūra, versijų valdymas, automatizavimas), kartu išvengiant „LaTeX“ sudėtingumo ir lėtumo. Moderni sintaksė, greitas kompliliavimas, puiki dokumentacija, integruotas programavimas ir geras įrankių palaikymas padarė darbo rašymo procesą efektyvesnį, sklandesnį ir malonesnį. Nors įrankis yra naujesnis nei „LaTeX“, jo teikiami privalumai nusvérė galimus ekosistemos dydžio trūkumus, ypač IT srities projektui, kur modernių įrankių įvaldymas ir taikymas yra aktualus.

## 2. Analizė

### 2.1. Techninis pasiūlymas

#### 2.1.1. Sistemos apibrėžimas

Kuriama sistema yra specializuota komandinės eilutės (angl. *Command line interface*) aplikacija, skirta interaktyviam gatvės lygio panoraminių vaizdų naršymui. Pagrindinė jos funkcija – gauti geografinės vietovės panoraminį vaizdą per išorinę paslaugą (konkrečiai, planuojama naudoti „Mapillary“ API), apdoroti gautą vaizdinę medžiagą realiu laiku konvertuojant ją į tekstinį ASCII formatą, ir atvaizduoti šį rezultatą tiesiogiai naudotojo terminalo lange.

Sistema neapsiribos vien statisku vaizdų rodymu. Ji suteiks naudotojui galimybę interaktyviai navi-guoti po virtualią erdvę: judėti pirmyn ir atgal numanoma kelio kryptimi. Ši navigacija bus valdoma per klaviatūros komandas, pritaikytas specifinei CLI aplinkai. ASCII konvertavimo procesas bus optimizuotas siekiant ne tik greitaveikos, bet ir kuo aiškesnio erdinės informacijos bei objektų kontūrų perteikimo naudojant ribotą simbolių rinkinį.

Be pagrindinių naršymo funkcijų, į sistemą bus integruotas žaidybinis elementas. Programa turės žaidimo režimą funkcionalumu primenantį populiarų internetinį žaidimą „Geoguessr“ [4]. Šio režimo tikslas – ne tik pademonstruoti visas programos galimybes (judėjimą, sąveiką), bet ir padaryti pirmąją pažintį su įrankiu įdomesne bei intuityvesne.

Šiame projekte kuriama visa sistema nuo pradžios iki galo: nuo sėsajos su išoriniu API, vaizdų apdorojimo algoritmo, ASCII atvaizdavimo logikos iki naudotojo sėsajos ir navigacijos valdymo komandinėje eilutėje. Sistema kuriama kaip savarankiškas įrankis, nereikalaujantis papildomų grafinių bibliotekų ar aplinkų, išskyrus standartinį terminalą.

#### 2.1.2. Bendras veiklos tikslas ir pagrįstumas

Pagrindinis šio projekto veiklos tikslas yra ištirti ir praplėsti komandinės eilutės sėsajos (CLI) taikymo ribas, demonstruojant, kaip sudetinga vizualinė ir geografinė informacija gali būti interaktyviai pateikiama ir valdoma netradicinėje, tekstinėje aplinkoje. Siekiama ne tik įrodyti techninį tokios sistemos įgyvendinamumą, bet ir įvertinti jos potencialų naudojimo patogumą bei praktiškumą specifinei naudotojų grupei – informacinių technologijų profesionalams ir entuziastams, kurie dažnai dirba terminalo aplinkoje.

Numatoma nauda yra daugiausia nekomercinė:

- Technologinis eksperimentas ir ribų tyrimas: projektas praplės supratimą apie CLI galimybes ir ASCII meno potencialą atvaizduojant dinamišką vizualinę informaciją, aktyviai ieškant taškų, kur ši technologija pasiekia savo limitus.
- Žmogaus-kompiuterio sąveikos tyrimas: bus gauta įžvalgų apie naudotojo patirtį sąveikaujant su geografinė informacija neįprastoje sėsajoje.
- Potencialus nišinis įrankis: sukurta programa, išskaitant jos žaidimo režimą, galėtų tapti įdomiu ir galbūt net naudingu įrankiu tiems, kas vertina galimybę greitai pasiekti informaciją ir pramogauti nepaliekan komandinės eilutės aplinkos.
- Idėjų generavimas: projektas gali paskatinti naujas idėjas apie alternatyvius duomenų vizualizavimo ir sąveikos būdus.

Nors tiesioginės komercinės naudos ar finansinio atsipirkimo iš šio projekto nėra tikimasi, jo sėkmingas įgyvendinimas turės reikšmingą vertę kaip konceptcijos įrodymas (angl. *Proof of concept*). Šis projektas veiks kaip praktinis pavyzdys, paneigiantis nusistovėjusias nuostatas, jog komandinė eilutė tinkta tik paprastoms tekstinėms operacijoms ir griežtai struktūruotiems duomenims. Šis projektas

demonstroja, kad net vizualiai sudėtinga ir interaktyvi užduotis, kaip realaus laiko gatvių vaizdų naršymas, gali būti sėkmingai realizuota pasitelkiant ASCII reprezentaciją komandinės eilutės aplinkoje.

Toks precedentas turi potencialą įkvėpti platesnę kūrėjų ir technologijų entuziastų bendruomenę permąstyti komandinės eilutės dizaino galimybes ir jos taikymo sritis. Tai gali pasireikšti įvairiai: nuo interaktyvesnių duomenų analizės ir vizualizavimo įrankių kūrimo, vaizdingesnių ir informatyvesnių serverių ar procesų stebėjimo sasajų iki prieinamesnių alternatyvų naudotojams, dirbantiems riboto pralaidumo tinkluose ar naudojantims specializuotą įrangą. Galiausiai, šis projektas, nors ir nišinis, gali prisdėti prie subtilaus komandinės eilutės suvokimo pokyčio – iš gryna utilitaraus, kartais bauginančio įrankio į lanksčią, galingą ir potencialiai labai kūrybišką platformą inovacijoms.

### **2.1.3. Egzistuojančių sprendimų analizė**

Šiame skyriuje apžvelgiami egzistuojantys sprendimai, susiję su projekto tikslais. Analizė padalinta į dvi dalis: pirmojoje nagrinėjami kiti vaizdų į ASCII meną konvertavimo įrankiai, kurie sudaro technologinį pagrindą vizualinės informacijos pateikimui tekstinėje aplinkoje. Antrojoje dalyje bus analizuojami populiarios egzistuojančios programos, kurių alternatyvios versijos buvo išleistas išskirtinai naudojant komandinės eilutės naudotojo sasajas.

#### **Nuotraukų konvertavimo į ASCII įrankiai**

Vaizdo konvertavimas į ASCII meną yra nusistovėjusi technika, leidžianti apytiksliai atkurti vaizdinę informaciją naudojant standartinius spausdinamus simbolius. Egzistuoja įvairių įgyvendinimų, kurie skiriasi prieinamumu, lankstumu ir pritaikymo sritimi.

Internetiniai konvertavimo įrankiai – tai labiausiai paplitę ir naudotojui draugiškiausi įrankiai, skirti greitam ir paprastam vienkartiniam vaizdų konvertavimui. Jie nereikalauja jokios techninės konfigūracijos ar diegimo, sugeneruotą rezultatą naudotojas gali nusikopijuoti į iškarpinę. Šių įrankių pavyzdžiai:

- „[ASCII-art-generator.org](http://ASCII-art-generator.org)“ [5]: Ši svetainė yra tipiškas pavyzdys, leidžiantis naudotojui įkelti paveikslėli (pvz., JPG, PNG, GIF) arba pateikti jo URL. Naudotojas gali pasirinkti keletą pagrindinių parametrų:
  - Išvesties dydis: nurodomas pasirenkant norimą rezultato plotį, kas lemia detalumo lygi.
  - Simbolių rinkinys: nėra simbolių rinkinio pasirinkimo.
  - Algoritmai: nėra algoritmų pasirinkimo galimybės.
  - Spalvos: įrankis palaiko spalvoto ir monochromatinio ASCII generavimą, naudojant HTML spalvas fone ar pačius simbolius.
  - Taikymas: tinka greitam vizualiniams efektui gauti, socialinių tinklų įrašams ar kaip pramoga.
- „[ASCIIart.eu](http://ASCIIart.eu)“ [6]: Veikia panašiai kaip ankstesnis pavyzdys, tačiau šikart daug dėmesio sutelkiama į rezultato sudedamujų dalij modifikavimą. Įkėlus vaizdą puslapis leidžia eksperimentuoti su plačiu nustatymu pasirinkimu.
  - Išvesties dydis: nurodomas pasirenkant norimą rezultato plotį, kas lemia detalumo lygi.
  - Simbolių rinkinys: platus simbolių aibės pasirinkimas.
  - Algoritmai: puslapis leidžia pasirinkti spalvų maišymo ir kraštų atpažinimo algoritmus.
  - Spalvos: platus spalvų reprezentavimo nustatymai, leidžiantys keisti kontrastą, atspalvį, invertuoti spalvas.
  - Taikymas: paprastas įrankis atliekantis ASCII konvertaciją, tačiau pažengusiems naudotojams suteikiama didelė konfigūravimo laisvė.
- „[Manytools.org](http://Manytools.org)“ [7]: Šis įrankis dažnai siūlo šiek tiek daugiau techninių parinkčių nei kiti internetiniai konverteriai:

- ▶ Išvesties dydis: nurodomas pasirenkant norimą rezultato plotį, kas lemia detalumo lygi.
- ▶ Simbolių rinkinys: nėra simbolių rinkinio pasirinkimo.
- ▶ Algoritmai: puslapis leidžia pasirinkti spalvų maišymo ir kraštų atpažinimo algoritmus.
- ▶ Spalvos: svarbi funkcija – galimybė generuoti ne tik vienospalvi, bet ir spalvotą ASCII meną, naudojant ANSI valdymo kodus (angl. *ANSII escape codes*), kurie leidžia atvaizduoti spalvas standartiniuose terminaluose.
- ▶ Taikymas: paprastas įrankis atliekantis ASCII konvertaciją, pasižymintis minimaliomis konfigūravimo galimybėmis

Komandinės eilutės konvertavimo įrankiai: Šie įrankiai yra sukurti veikti tiesiogiai terminalo aplinkoje, todėl yra žymiai lankstesni ir tinkamesni automatizavimui bei integracijai į kitas programas. Šie įrankiai lengvai įdiegiami per paketų tvarkykles. Šiu įrankių pavyzdžiai:

- „jp2a“ – vienas iš senesnių ir plačiai žinomų CLI įrankių, parašytas C kalba [8].
  - ▶ Funkcionalumas: specializuojasi JPEG konvertavime, nors dažnai palaiko ir kitus formatus per išorines bibliotekas, pavyzdžiu, „libpng“. Konvertuoja vaizdą į ASCII simbolius, atsižvelgdamas į pikselių šviesumą.
  - ▶ Parinktys: Leidžia nurodyti išvesties plotį, aukštį, naudoti ANSI spalvas, pasirinkti kraštinių išryškinimo algoritmus, invertuoti išvestį.
  - ▶ Taikymas: Greitas vaizdų peržiūrėjimas terminale, sistemų stebėjimo įrankių papildymas, pavyzdžiu, rodant logotipo ASCII versiją.
  - ▶ Trūkumai projekto kontekste: Sukurtas konvertuoti pavienius failus. Nors teoriškai galima nukreipti vaizdo srautą, jis nėra optimizuotas realaus laiko interaktyviam atvaizdavimui.
- „libcaca“ – tai ne tik įrankis, bet ir galinga C biblioteka, skirta pažangiam tekstiniam vaizdavimui [9].
  - ▶ Funkcionalumas: šis įrankis daro daugiau nei paprastas ASCII konvertavimas. Jis palaiko ne tik ASCII ar ANSI, bet ir „Unicode“ simbolius, įvairius spalvų maišymo algoritmus, kad pagerintų vaizdo kokybę ribotoje spalvų paletėje. Yra galimybė vaizdo įrašams pritaikyti ASCII simbolių filtru.
  - ▶ Parinktys: Leidžia pasirinkti šriftą, spalvų maišymo algoritmą, spalvų režimą, išvesties formatą (ANSI, HTML ir kt.).
  - ▶ Taikymas: Aukštesnės kokybės spalvoto ASCII meno generavimas, vaizdo įrašų peržiūra terminale, demonstracinės programos.
  - ▶ Trūkumai projekto kontekste: Pati biblioteka yra labai galinga, bet ji yra orientuotas į failų konvertavimą. Nors biblioteka suteiktų reikiamus primityvus interaktyvumui, jį reikėtų programuoti papildomai. Realizuoti sudėtingą interaktyvią sąsają (kaip gatvių vaizdų naršymas) vien „libcaca“ pagalba būtų nemenkas iššūkis.
- „ascii\_magic“ – modernesnis sprendimas, parašytas Python kalba, lengvai integruojamas į Python projektus [10].
  - ▶ Funkcionalumas: veikia kaip Python biblioteka ir kaip CLI įrankis. Leidžia konvertuoti vaizdus iš failų, URL adresų. Palaiko spalvotą ANSI išvestį.
  - ▶ Parinktys: galima nurodyti išvesties stupelių skaičių, simbolių rinkinį, spalvų režimą.
  - ▶ Taikymas: Lengvai integruojamas į Python programas, greitas prototipavimas, automatizuotos užduotys.
  - ▶ Trūkumai projekto kontekste: Kaip ir kiti CLI įrankiai, pats savaime nesuteikia interaktyvios sąsajos. Tai labiau statinio konvertavimo biblioteka. Interaktyvumas (naršymas, žaidimas) reikalaučia papildomos logikos, naudojant šią biblioteką kaip vieną iš komponentų.

Atlikta egzistuojančių vaizdo į ASCII konvertavimo sprendimų analizė rodo, kad technologija yra gerai išvystyta ir prieinama įvairiomis formomis – nuo paprastų internetinių įrankių iki galingų programavimo bibliotekų. Internetiniai įrankiai yra patogūs vienkartiniams konvertavimams, tačiau visiškai netinka šio projekto tikslams dėl savo statinio pobūdžio, interaktyvumo stokos ir neįmanomos integracijos į CLI darbo eiga. Tuo tarpu komandinės eilutės įrankiai yra žingsnis arčiau, nes veikia terminale ir gali būti automatizuojami. Jie demonstruoja potencialą vaizdinei informacijai pateikti komandinėje eilutėje, įskaitant spalvotą ANSI meną. Tačiau jie vis dar yra orientuoti į statinių failų konvertavimą. Jų panaudojimas projekte reikalautų papildomų įrankių interaktyvumui valdyti. Vis dėlto, nė vienas iš analizuotų sprendimų tiesiogiai nesiūlo pilnai integruotos sistemos, kuri leistų interaktyviai naršyti gatvių vaizdus vien tik komandinės eilutės sasajoje, naudojant ASCII reprezentaciją. Egzistuojantys įrankiai sprendžia tik vaizdo konvertavimo problemą, bet ne interaktyvios, dinamiškos, į gatvęs vaizdo reprezentavimą orientuotas komandinės eilutės aplikacijos kūrimo iššūkį. Šis projektas siekia užpildyti šią nišą, sujungdamas ASCII vizualizavimo technikas su interaktyviu valdymu ir specifiniu geografiniu turiniu, taip praplečiant suvokimą apie komandinės eilutės galimybes.

### **Programos naudojančios komandinės eilutės sasają**

Pirmojoje dalyje išnagrinėjus specifinius vaizdo konvertavimo į ASCII meną įrankius, antrojoje dalyje dėmesys krypsta į platesnį kontekstą – egzistuojančias komandinės eilutės (angl. *Command-line interface*) alternatyvas plačiai naudojamoms paslaugoms, kurios tradiciškai pasiekiamos per grafines naudotojo sasajas (angl. *Graphical user interfaces*) arba interneto naršykles. Šios analizės tikslas – įvertinti, kaip sudėtingos, interaktyvios ir dažnai vizualiai turtingos paslaugos adaptuojamos ribotai, tekstinei komandinės eilutės aplinkai, kokie yra tokų sprendimų privalumai, trūkumai ir pritaikymo sritys. Tai padės geriau suprasti šio projekto (interaktyvaus gatvių vaizdų naršymo komandinėje eilutėje) potencialą ir iššūkius, lyginant jį su jau egzistuojančiais komandinės eilutės sasajų principais. Analizei pasirinkti du gerai žinomi pavyzdžiai: el. pašto paslauga (konkrečiai „Gmail“) ir muzikos transliavimo platforma („Spotify“).

„Gmail“, kaip ir dauguma modernių el. pašto paslaugų, pirmiausia yra pasiekama per naršyklės sasają arba specializuotas grafines programas („Outlook“, „Thunderbird“, mobiliųjų programėlių). Šios sasajos siūlo vizualiai patrauklų laiškų atvaizdavimą, lengvą priedų valdymą, WYSIWYG redaktorius ir integruotas kalendoriaus bei kontaktų funkcijas. Tačiau egzistuoja ir komandinės eilutės alternatyvos, skirtos el. pašto valdymui tiesiogiai iš terminalo:

- „mutt“: klasikinis, itin konfigūruojama komandinės eilutės el. pašto klientinė programa, dažnai naudojama su „Gmail“ per IMAP ar SMTP protokolus. Nors senas, jis vis dar populiarus tarp programuotojų ir sistemų administratorių dėl savo efektyvumo ir lankstumo.
- „himalaya“: modernus, Rust kalba parašyta el. pašto klientinė programa, palaikanti „Gmail“ ir kitas IMAP paslaugas, galinti pasiūlyti patogesnę naudotojo patirtį nei tradiciniai įrankiai.
- „lieer“: įrankis, skirtas „Gmail“ sinchronizavimui ir darbui neprisijungus, integruojamas su kitais komandinės eilutės įrankiais.

Spotify“ paslauga yra neatsiejama nuo vizualiai turtingos grafinės sasajos – albumų viršeliai, atlikėjų nuotraukos, kuruojami grojaraščiai su paveikslėliais, dinamiškos rekomendacijos. Atrodytų, kad tokia paslauga sunkiai įsivaizduojama tekstinėje aplinkoje, tačiau egzistuoja keletas populiarų tekstinės naudotojo sasajos klientinių programų:

- „spotify-tui“: populiarai klientinė programai, veikianti terminale bei siūlanti į grafinę panašią sasają, kuri yra valdomą klaviatūra. Reikalauja oficialaus „Spotify“ demono (angl. *daemon*) veikimui fone.
- „ncspot“: panašus į „spotify-tui“, naudojantis „ncurses“ biblioteką ir siūlantis grojaraščių naršymo, paieškos ir grojimo valdymo funkcijas.

- „spotifyd“: ne interaktyvus klientas, o demonas, leidžiantis transliuoti „Spotify“ muziką įrenginyje be oficialios grafinės programos, dažnai naudojamas kartu su paprastesniais komandinės eilutės valdymo įrankiais.

Palyginimas su grafinėmis „Gmail“ ir „Spotify“ sėsajomis:

- Naudotojo sėsaja ir patirtis: šios klientinės programos naudoja tekstinę sėsają, valdomą klaviatūra. Tai reikalauja išmokti komandas ir klavišų kombinacijas, tačiau patyrusiems naudotojams leidžia dirbti labai greitai ir efektyviai. Trūksta vizualinio patrauklumo, sudėtinga atvaizduoti HTML formato turinį ar peržiūrėti įterptus paveikslėlius. Tuo tarpu grafinė naudotojo sėsaja siūlo intuityvią, pelēs valdomą sėsają, lengvai suprantamą pradedantiesiems, ir pilną vizualinį turinio atvaizdavimą.
- Funkcionalumas: pagrindinės funkcijos originalių programų funkcijos yra prieinamos komandinės eilutės alternatyvose. Tačiau pažangesnės funkcijos dažnai paremtos sudėtingomis grafinėmis sėsajomis gali būti neprieinamos arba sunkiai naudojamos.
- Našumas ir resursų naudojimas: lyginant su grafinių sėsajų programomis, komandinės eilutės alternatyvos naudoja minimaliai sistemos resursų, veikia greitai net ir naudojant senesnes kompiuterių sistemas ar itin lėtą tinklo ryšį.
- Automatizavimas ir integracija: programos lengvai integruojamos į scenarijus ir automatizuotas darbo eigas, pavyzdžiui, automatinis laiškų apdorojimas, pranešimai. Tai yra didelis privalumas programuotojams ir sistemos administratoriams.

Analizė rodo, kad net sudėtingos, į grafines varotojo sėsajas orientuotos paslaugos kaip „Gmail“ ir „Spotify“ gali būti sėkmingai adaptuotos komandinei eilutei. Šios alternatyvos dažniausiai siūlo didesnį našumą, mažesnį resursų naudojimą, geresnes automatizavimo galimybes ir klaviatūra paremtą naudojimą. Tačiau tai pasiekama aukojant vizualinį patrauklumą, intuityvumą pradedantiesiems naudotojams ir kartais dalį grafinės sėsajos siūlomo funkcionalumo, ypač susijusio su įvairiu medijos turiniu ar sudėtingomis vizualinėmis sąveikomis. Šie pavyzdžiai yra svarbūs šio projekto kontekste, nes jie įrodo, jog interaktyvios ir funkcionalios patirtys yra įmanomos komandinėje eilutėje net ir toms užduotims, kurios atrodo neatsiejamos nuo grafinių sėsajų. Nors gatvių vaizdų naršymas yra itin vizuali užduotis, egzistuojantys komandinės eilutės sprendimai rodo, kad tekstinė reprezentacija (šiuo atveju, ASCII menas) kartu su gerai apgalvota interaktyvia navigacija gali sukurti veikiančią ir potencialiai naudingą alternatyvą grafinėmis sėsajomis pagrįstoms sistemoms, užpildant nišą naudotojams, vertinantiesiems komandinės eilutės privalumus. Iššūkis lieka efektyviai pertekti vizualinę informaciją ir sukurti intuityvią navigacijos sistemą tekstinėje aplinkoje.

## 2.2. Techninių galimybių analizė

Šiame skyriuje analizuojamos techninės kliūtys ir apribojimai, su kuriais susidurta kuriant komandinės eilutės sėsają „Street View“ tipo platformai, naudojant ASCII meną vaizdams atvaizduoti. Analizė apima tiek išorinius veiksnius (pavyzdžiui, priklausomybes nuo trečiųjų šalių paslaugų), tiek vidinius (pavyzdžiui, pasirinktos technologinės aplinkos apribojimus).

### 2.2.1. Pagrindinės techninės kliūtys ir sprendimai

#### Prieiga prie „Street View“ duomenų ir API kainodara

Pradinė idėja: Idealus variantas būtų buvęs naudoti plačiausiai paplitusią ir didžiausią aprėptį turinčią „Google Street View“ platformą.

Kliūtis: „Google Maps Platform“ programavimo sėsaja, išskaitant „Street View“ prieigą, neturi nemokamo plano, tinkamo projekto mastui, o mokami planai viršijo projekto finansines galimybes (arba buvo nepraktiški nekomerciniam/eksperimentiniam projektui). Tai tapo esminiui finansiniu ir techniniu barjeru realizuoti pradinę viziją naudojant „Google“ duomenis.

**Sprendimas:** Siekiant užtikrinti projekto įgyvendinamumą, buvo pasirinkta alternatyvi platforma – „Mapillary“. „Mapillary“ programavimo sasaja siūlė nemokamą prieigos modelį.

**Liekamasis apribojimas:** Nors „Mapillary“ leido testi projektą, jos duomenų aprėptis tam tikrose geografinėse vietovėse gali būti mažesnė nei „Google Street View“, kas yra techninis apribojimas galutinio produkto naudojimo geografijai. Taip pat, dėl to kad ši sasaja yra nemokama, ji nėra ypatingai patikima, pavyzdžiui, ribojamos dėžės (angl. *bounding box*) užklausos dažnai yra atmetamos dėl per didelio bendro užklausų kieko – tenka laukti, kol „Mapillary“ serveriai bus mažiau naudojami. Šis laukimas yra pagrindinis veiksny, lemiantis galimą naudotojo sasajos vėlavimą keičiant vaizdus.

### **Terminalo aplinkos grafiniai apribojimai**

**Kliūtis:** Standartinė komandinės eilutės (terminalo) aplinka turi esminių grafinių galimybių apribojimų, lyginant su grafinėmis naudotojo sasajomis (angl. *graphical user interface* arba *GUI*). Tai tiesiogiai paveikė galimybes atvaizduoti „Street View“ vaizdus ir kurti naudotojo sasają:

**Spalvų palaikymas:** Daugelis standartinių terminalų emuliatorių ir populiarų terminalo naudotojo sasajos (angl. *terminal user interface* arba *TUI*) bibliotekų dėl atgalinio suderinamumo arba papras-tumo dažnai palaiko ribotą spalvų paletę (pvz., 16 spalvų) arba neleidžia pilnai išnaudoti modernesnių terminalų galimybių (pavyzdžiui, 256 spalvų palaikymo). Tai ženkliai apribotų galimybes tiksliai ir detaliai konvertuoti fotografinius vaizdus į ASCII meną, išlaikant vizualinį aiškumą, jei būtų pasikliauta tik standartiniai įrankiai.

**Šrifto dydžio ir stiliaus variacijos:** Terminalai natūraliai nepalaiko skirtinį šrifto dydžių ar stilių naudojimo viename ekrano lange, kas apsunkino intuityvios ir vizualiai struktūruotos naudotojo sasajos elementų (pavyzdžiui, antraščių, mygtukų, informacinių blokų) kūrimą.

**Sprendimas/Poveikis:**

- **Spalvoms:** Siekiant įveikti standartinių bibliotekų apribojimus ir pagerinti ASCII meno kokybę, buvo sukurtas nuosavas TUI modulis/komponentas, specialiai pritaikytas išnaudoti platesnes modernių terminalų spalvų galimybes (ypač 256 spalvų režimą). Tai leido pasiekti detalesnį vaizdą, tačiau pareikalavo papildomų programavimo pastangų.
- **Šriftams/UI Elementams:** UI elementai, kuriems įprastai būtų naudojami skirtinį šrifto dydžiai (pavadinimai, meniu punktai), taip pat buvo realizuoti kaip ASCII menas, leidžiantis vizualiai juos atskirti ir struktūruoti sasają, tačiau padidinant generuojamo vaizdo sudėtingumą.

### **Vaizdo reprezentacijos tikslumas**

**Kliūtis:** Pats fotografinio vaizdo konvertavimas į ASCII meną yra techniškai ribotas procesas. Nepri-klausomai nuo algoritmų, ASCII reprezentacija visada bus ženkliai žemesnės raiškos ir detalumo nei pradinis vaizdas. Tai yra fundamentalus techninis apribojimas, lemiantis, kad galutinis produktas gali perteikti tik apytikslį vaizdą, o ne tikslią fotografinę kopiją. Projekto įgyvendinamumas apsiriboją būtent tokio aproksimuoto vaizdo pateikimu.

**Našumo aspektas:** Dinaminis ASCII meno generavimas ir atvaizdavimas terminale, ypač naviguojant (t.y., dažnai keičiantis vaizdui), gali atrodyti lėtas. Tačiau pagrindinė vėlavimo priežastis dažniausiai yra ne pats ASCII meno generavimo procesas (kuris yra sąlyginai greitas modernioje technikoje), o laukimas, kol bus gautas atsakymas iš „Mapillary“ API. Senesniuose kompiuteriuose ar lėtesniuose terminaluose pats generavimas taip pat gali prisdėti prie nevisiškai sklandaus veikimo, kas yra techninis naudojimo patirties apribojimas.

**Išvada:** Nepaisant identifikuotų techninių kliūčių, susijusių su API prieiga ir jos patikimumu, terminalo aplinkos ribotumais ir vaizdo konversijos prigimtimi, projektas buvo techniškai įgyvendinamas pasirinkus alternatyvius sprendimus (pavyzdžiui, „Mapillary“ programavimo sasaja, nuosavas TUI modulis skirtas geresniams spalvų išnaudojimui) ir pripažistant neišvengiamus platformos apribojimus

(ASCII meno detalumo lygi, priklausomybė nuo „Mapillary“ atsako laiko). Šie sprendimai leido sukurti veikiantį prototipą ar produktą, nors galutinis rezultatas ir skiriasi nuo hipotetinio idealaus varianto, kuris galėtų būti sukurtas neribojant finansų ar technologinių platformų galimybių.

### 3. Projeketas

#### 3.1. Reikalavių specifikacija

##### 3.1.1. Realizacijai keliami funkciniai reikalavimai

Šiame skyriuje apibrėžiami pagrindiniai nefunkciniai reikalavimai, keliami kuriamai sistemai, apimantys jos naudojimo patogumą, veikimo charakteristikas, aplinkos sąlygas ir kitus svarbius aspektus.

##### Reikalavimai panaudojamumui

- Intuityvi navigacija: sistema turi leisti naudotojui naršyti (judėti pirmyn/atgal arba į aplinkines lokacijas) naudojant aiškius ir lengvai įsimenamus klaviatūros klavišus, įprastus komandinės eilutės aplinkoje (pvz., rodyklių klavišai, WASD ar panašiai).
- Aiškus atsakas: sasaja turi aiškiai informuoti naudotoją apie dabartinę būseną (pvz., vaizdo krovimas, klaida gaunant duomenis iš „Mapillary“ sasajos).
- Mokymosi paprastumas: bazinis sistemos naudojimas (paleidimas, pagrindinė navigacija) turėtų būti lengvai perprantamas tikslinei auditorijai (komandinės eilutės naudotojams), pateikiant trumpą pagalbos informaciją paleidimo metu arba per specialią komandą (pvz., --help).
- Klaidų apdorojimas: sistema turi korektiškai apdoroti numatomas klaidas (pvz., „Mapillary“ nepasieliamumas, neteisingos koordinatės, interneto ryšio nebuvinimas) ir pateikti naudotojui suprantamą klaidos pranešimą, neužlūžtant pačiai programai.

##### Reikalavimai vykdymo charakteristikoms

- Atsako laikas (angl. *response time*): nors bendras atsako laikas priklauso nuo „Mapillary“, pati ASCII vaizdo generavimo ir atvaizdavimo terminale operacija turėtų būti pakankamai sparti, kad nesukeltų reikšmingo papildomo vėlavimo modernioje techninėje įrangoje po atsakymo gavimo.
- Resursų naudojimas (angl. *resource usage*): programa neturėtų nepagrįstai apkrauti sistemos resursų, veikdama kaip tipinė komandinės eilutės aplikacija.

##### Reikalavimai veikimo sąlygoms

- Terminalo suderinamumas (angl. *terminal compatibility*): sistema turi siekti veikti populiaruose terminalų emuliatoriuose, palaikančiuose bent 256 spalvas (pvz., „GNOME Terminal“, „Konsole“, „iTerm2“, „Windows Terminal“), pagrindinėse operacinėse sistemoje („Linux“, „macOS“, „Windows“).
- Priklausomybė nuo tinklo (angl. *network dependency*): veikimui būtinas aktyvus interneto ryšys prieigai prie „Mapillary“ programavimo sasajos.
- Programinės įrangos priklausomybės (angl. *software dependencies*): reikalingos priklausomybės (pvz., specifinė „JVM“ versija, „Docker“ ir panašiai) turi būti aiškiai dokumentuotos.

##### Reikalavimai sistemos išvaizdai

- Vizualinis aiškumas (angl. *visual clarity*): ASCII menas, nors ir riboto detalumo, turėtų būti gene-ruojamas taip, kad pagrindiniai objektai ir erdvės kryptis būtų bent apytiksliai atpažistami. Spalvų naudojimas (kai palaikoma) turėtų didinti aiškumą.
- Sąsajos konsistencija (angl. *interface consistency*): tekstiniai naudotojo sasajos elementai (pranešimai, meniu, pagalba) turėtų naudoti nuoseklų formatavimą ir stilių visoje aplikacijoje.

##### Reikalavimai sistemos priežiūrai

- Kodo struktūra ir skaitymas (angl. *code structure and readability*): kodas turi būti logiškai struktūruotas (pvz., pagal modulius ar klasses) ir parašytas laikantis bendrų programavimo gerosios

praktikos principų (pvz., prasmingi pavadinimai, komentarai sudėtingesnėse vietose), kad būtų lengviau jį suprasti ir modifikuoti ateityje, kas ypač svarbu akademiniams darbui.

### **Reikalavimai saugumui**

- Išorinės sąsajos raktų apsauga (angl. *API key protection*): jei naudojamas „Mapillary“ ar kitokios sąsajos raktas, jis neturėtų būti tiesiogiai įkoduotas viešai prieinamame kode. Rekomenduojama naudoti konfigūracijos failą ar aplinkos kintamąjį.
- Duomenų privatumas (angl. *data privacy*): sistema neturėtų rinkti, saugoti ar perduoti jokių naudotojo asmeninių duomenų, išskyrus tuos, kurie būtini išorinės sąsajos užklausoms (pvz., geografinės koordinatės).

### **Teisiniai reikalavimai**

- Išorinės programavimo sąsajos naudojimo sąlygos (angl. *API Terms of Service*): sistemos naudojimas turi nepažeisti „Mapillary“ naudojimo sąlygų ir politikos.
- Bibliotekų licencijos (angl. *library licensing*): Naudojamos trečiųjų šalių bibliotekos turi turėti su projekto tikslais (pvz., akademinis, galimai atviras kodas) suderinamas licencijas, ir turi būti laikomasi tų licencijų reikalavimų.

#### **3.1.2. Komercinė specifikacija**

Šiame skyrelyje apibräžiami pagrindiniai projekto tikslai, naudotojai ir apribojimai. Projektas neturi formalaus išorinio užsakovo. Tai yra akademinis darbas, vykdomas, siekiant ištirti komandinės eilutės sąsajų galimybes atvaizduojant sudėtingą vizualinę informaciją, šiuo atveju – gatvės lygio vaizdus, ir įvertinti tokios sąsajos efektyvumą bei panaudojamumą interaktyvioms programoms, įskaitant „Geoguessr“ tipo žaidimo funkcionalumą. Šis darbas nebus pardavinėjamas kaip produktas, dėl šios priežasties ataskaitoje nėra skaičiuojami teoriniai pajamų ir galimo pelno rodikliai.

Tiketini produkto tiksliniai naudotojai yra:

- Asmenys, dažnai dirbantys komandinės eilutės aplinkoje ir besidomintys jos galimybėmis. Šiai grupei priklauso programinės įrangos kūrėjai, sistemų administratoriai, sistemų palaikymo specialistai, techninių specialybų studentai ir kiti patyrę kompiuterių naudotojai, kuriems komandinė eilutė yra įprasta ir efektyvi darbo priemonė. Tai žmonės, kuriuos domina ne tik standartinis šios sąsajos naudojimas, bet ir inovatyvūs jos pritaikymo būdai. Šis projektas jiems gali būti įdomus kaip techninis eksperimentas, demonstruojantis, kaip komandinė gali būti panaudota netradicinėms, vizualiai sudėtingoms užduotims, tokioms kaip gatvės vaizdų naršymas. Jie gali vertinti galimybę greitai peržiūrėti vietoves ar žaisti vietovės atpažinimo žaidimą neišeinant iš terminalo aplinkos.
- Technologijų entuziastai, norintys išbandyti netradicinį būdą sąveikauti su geografiniais duomenimis ir žaidimais. Ši grupė platesnė ir nebūtinai apima tik komandinės eilutės ekspertus. Tai gali būti žmonės, besidomintys technologijų naujovėmis, kūrybišku programavimu, „retro“ kompiuterija, ASCII menu ar tiesiog ieškantys unikalių skaitmeninių patircių. Pagrindinis traukos elementas jiems yra projekto originalumas ir „kitonišumas“ – galimybė pamatyti pažiastamą pasaulį per visiškai kitokią, tekstinę prizmę. Šiuos naudotojus gali žavėti technologinis iššūkis – kaip realistiskas vaizdas transformuoojamas į ribotų galimybų ASCII simbolių rinkinį, išlaikant bent dalį atpažystamumo.
- Galimi naudotojai, besidomintys „Geoguessr“ tipo žaidimais ir norintys išbandyti jo variantą komandinės eilutės aplinkoje. Ši grupė specifiškai orientuota į žaidimo aspektą. Tai gali būti „Geoguessr“ ar panašių geografinių žaidimų fanai, kurie ieško naujų šio žaidimo patircių arba tiesiog nori jį žaisti lengvoje, greitai pasileidžiančioje aplinkoje (terminale). Juos gali sudominti minimalistinis žaidimo pateikimas ir iššūkis atpažinti vietoves iš supaprastinto ASCII vaizdo. Šiai grupei gali būti mažiau svarbūs techniniai aspektai, bet daugiau – pats žaidimo procesas.

Nors naudotojų grupės skirtingos, jas vienija domėjimasis netradiciniai technologiniai sprendimai ir komandinės eilutės aplinkos galimybėmis, peržengiančiomis įprasto naudojimo ribas. Projekto sėkmė priklausys nuo gebėjimo pateikti funkcionalų, įdomų ir pakankamai intuityvų sprendimą visoms šioms grupėms, atsižvelgiant į specifinius kiekvienos iš jų lūkesčius.

### **3.1.3. Sistemos funkcijos**

Ši UML panaudojimo atvejų diagrama (1 pav.) vaizduoja kuriamos programos funkcionalumą ir pagrindines sąveikas tarp naudotojo ir programos bei išorinių sistemų: „Mapillary API“, „Imgur API“, „TravelTime API“. Sistema yra padalinta į dvi pagrindines posistemės: gatvės vaizdo ir konfigūracijos.



1 pav. Panaudojimo atvejų diagrama

Aktoriai:

- Naudotojas: pagrindinis sistemos aktorius – žmogus, kuris sąveikauja su programa per komandinę eilutę, norėdamas peržiūrėti gatvės vaizdus, žaisti spėliojimo žaidimą ar konfigūruoti programą.

- „Mapillary API“: išorinė sistema, kuri yra naudojama gatvės lygio vaizdams gauti pagal indeksą, koordinates ar adresą.
- „Imgur API“: išorinė sistema, naudojama dalinimuisi sugeneruotais ASCII paveikslukais socialinėje medijoje.
- „TravelTime API“: išorinė sistema, naudojama kartu su „Mapillary API“ suteikia naudotojui galimybę ieškoti vietovių pagal adresą ar žymias vietas.

Gatvės vaizdo posistemė – atsakinga už pagrindinių programos veikimą – gatvės vaizdų gavimą, atvaizdavimą ir programos valdymą.

Pagrindiniai programos paleidimo būdai (tiesiogiai kviečiami naudotojo):

- Paleisti programą naudojant paveiksluko ID: naudotojas paleidžia programą nurodydamas konkretną „Mapillary“ vaizdo indeksą, taip pasirinkdamas pradinį navigacijos tašką.
- Paleisti programą naudojant koordinatėmis: naudotojas paleidžia programą nurodydamas geografinės koordinates.
- Paleisti programą naudojant lokacijos pavadinimą / adresą: naudotojas paleidžia programą nurodydamas vietos pavadinimą ar adresą. „TravelTime API“ naudojamas įvestos vietovės geolokacijai.
- Paleisti programą šalies spėliojimo režimu: naudotojas paleidžia programą specialiu režimu, skirtu žaisti šalies atpažinimo žaidimą. Šis režimas papildomai suteikia šalies spėjimo funkciją.

Pagrindinis panaudojimo atvejis: Gauti gatvės vaizdą: šis atvejis be išimties yra naudojamas paleidus programą su bet kuriuo iš keturių paleidimo būdų. Tai reiškia, kad norint paleisti programą su indeksu, koordinatėmis, adresu ar žaidimo režime, būtinai reikia gauti gatvės vaizdą. Šis atvejis sąveikauja su „Mapillary API“.

Veiksmai, papildantys gatvės vaizdo gavimo panaudojimo atvejį (galimi po vaizdo gavimo):

- Naviguoti į šalia esančias vietas: naudotojas gali judėti į gretimus vaizdus.
- Išsaugoti ASCII paveiksluką PNG formatu: naudotojas gali išsaugoti sugeneruotą ASCII vaizdą kaip PNG failą.
- Dalintis paveiksluku socialinėje medijoje: naudotojas gali pasidalinti vaizdu socialinėje medijoje naudodamas sugeneruotą nuorodą.
- Atidaryti pagalbos meniu: naudotojas gali išsikvesti pagalbos informaciją, kuri talpina programos paaiškinimus ir galimas įvestis.
- Išeiti iš aplikacijos: naudotojas gali uždaryti programą.

Žaidimo režimo funkcionalumas: Bandyt i atspėti šalį: šis atvejis yra galimas jei programa yra šalies spėliojimo režime. Tai reiškia, kad paleidus žaidimo režimą, naudotojas gali bandyti atspėti šalį, kurios vaizdas yra pateikiamas programos.

Konfigūracijos posistemė yra atsakinga už programos nustatymų valdymą ir konfigūracinio failo sukūrimą.

Pagrindinis inicijavimo būdas (tiesiogiai kviečiamas Naudotojo): Paleisti konfigūravimo scenarijų: naudotojas inicijuoja programos konfigūravimo procesą. Pirmąkart paleidus konfigūravimo scenarijų, programa automatiškai įdiegs trūkstamus paketus, priklausomai nuo naudojamos operacinės sistemos.

Konfigūravimo veiksmai (vykdomi konfigūravimo scenarijaus metu):

- „Mapillary API“ rakto įvedimas: naudotojo prašoma įvesti „Mapillary“ raktą, tai yra standartinė ir būtina konfigūravimo dalis.
- „Imgur API“ ir „TravelTime API“ raktų įvedimas: naudotojo klausiamas, ar šis nori įvesti papildomus raktus. Šie raktai néra būtini programos veikimui.

Parametru pasirinkimas:

- Pasirinkti ASCII konvertavimo algoritmą: naudotojas turi pasirinkti norimą vaizdų konvertavimo algoritmą.
- Pasirinkti rezoliucijos mažinimo koeficientą: naudotojas turi pasirinkti koeficientą, kurio reikšme yra sumažinama pateikiamų ASCII vaizdų rezoliucija. Šis veiksmas yra būtinės, nes kitu atveju vaizdas gali netiapti į ekraną.
- Pasirinkti spalvų filtrą: naudotojas gali pasirinkti spalvų filtrą, variantai apima kontrasto didinimo, pagalbos spalvų neskiriantiems žmonėms filtrus.
- Pasirinkti simbolių rinkinį: naudotojas privalo pasirinkti simbolių rinkinį, iš kurio bus sudarytas galutinis ASCII vaizdas.

Konfigūracijos failo valdymas (papildo konfigūravimo scenarijaus paleidimo panaudojimo atveji):

- Išsaugoti suformuotą konfigūracinį failą: naudotojas gali išsaugoti nustatymus į CONF failą.
- Pamatyti suformuotą konfigūracinį failą: naudotojas gali peržiūrėti esamus nustatymus konfigūraciniame faile.

Diagrama aiškiai parodo, kaip naudotojas gali sąveikauti su sistema paleidžiant ją skirtingais režimais (peržiūros, žaidimo, konfigūravimo, žaidimo), kokios pagrindinės funkcijos yra prieinamos kiekviename režime (vaizdo gavimas, navigacija, spėjimas) ir kaip sistema sąveikauja su išorinėmis API paslaugomis („Mapillary“, „Imgur“, „TravelTime“) šioms funkcijoms įgyvendinti. Rysiai „<>“ ir „<>“ parodo privalomas ir pasirenkamas funkcionalumo dalis.

### **3.1.4. Naudotojo sėsajos specifikacija**

Šiame skyriuje pristatysime kuriamos komandinės eilutės programos naudotojo sėsajos prototipą. Prototipas parodo pagrindines sistemos dalis: pagrindinį „Street View“, vaizdą, „Config“ nustatymų langą ir „Help“, pagalbos skiltį. Šie prototipai padeda perteikti esminę programos struktūrą, navigacijos elementus ir bendrą stilių, kurį matysime galutiniame produkte. Prototipo dizainas yra pritaikytas komandinei eilutei: minimalistinis, tekstinis, su vienspalve spalvų gama.

Bendra langų struktūra:

- Viršutiniai skirtukai: ekrano viršuje yra trys pagrindiniai navigacijos žymekliai: „CONFIG“, „MAIN“ ir „HELP“, naudojantis jais bus galima naviguoti tarp skirtingu langų. Dabartinis langas vizualiai išsiskirs iš kitų.
- Lango turinys: didžiąją langą dalį užims pagrindinė lankomo lango funkcija, ar tai gatvės lygio atvaizdavimas, ar pagalbinė informacija su programos valdymu.
- Valdymo mygtukai: lango apačioje bus matomi aktualūs konkrečiam langui mygtukai. Tai gali būti įvesties langai, saugojimo, grįžimo atgal mygtukai ir t.t.

Programos prototipo langai:

- Pagrindinis langas „Street View“ (2 pav.)



**2 pav.** Pagrindinio „Street View“ lango prototipas.

Paskirtis: tai pagrindinis programos langas, kuriame naudotojas matys ir saveikaus su pagrindiniu programos funkcionalumu – navigacija gatvės lygio vaizduose. Per apačioje esantį įvesties langą naudotojas galės įvesti norimos vietas koordinates arba adresą. Taip pat apačioje bus rodomi galimi įvesties mygtukai leidžiantys naudotojui naviguoti.

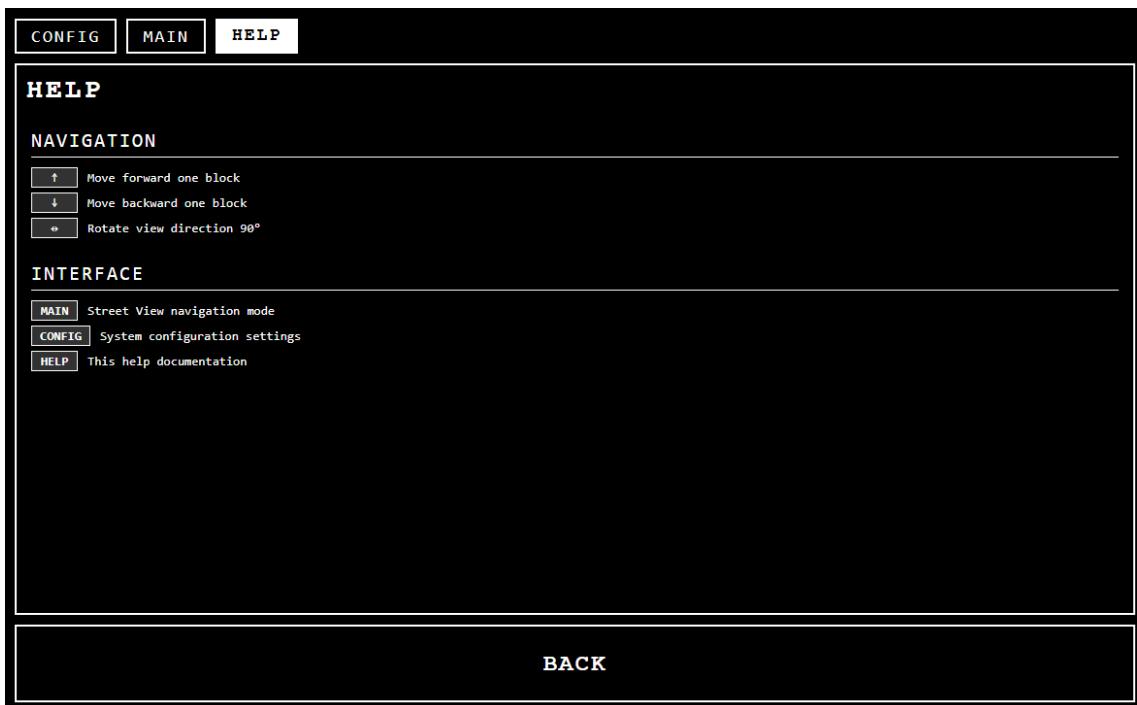
- Konfigūracijos langas „Config“ (3 pav.)



**3 pav.** Konfigūracijos „Config“ lango prototipas.

Paskirtis: šis langas, leidžia naudotojui keisti įvairius programos nustatymus. Čia bus galima konfigūruoti programą: įvesti API raktus, pasirinkti programos vizualinį stilių bei įjungti kitas programos funkcijas. Apačioje esantys mygtukai leis išsaugoti arba sugrąžinti konfigūraciją į pradinę tašką.

- Pagalbos langas „Help“ (4 pav.)



**4 pav.** Pagalbos „Help“ lango prototipas.

Paskirtis: šis langas suteikia naudotojui informaciją apie programos naudojimą ir valdymą.

Programos stilius yra specifiškai pritaikytas naudojimui komandinėje eilutėje, kur svarbiau funkcionalumas ir našumas, o ne moderni vizualinė estetika. Visi trys langų prototipai demonstruoja nuoseklų dizaino sprendimą:

- Minimalizmas: sasaja yra labai paprasta, be grafinių perteklinių elementų. Tai užtikrina greitą veikimą ir aiškumą.
- Tekstinė sasaja: didžioji dalis informacijos ir valdymo pateikiama tekstu ir standartiniais formų elementais.
- Vienspalvė schema: naudojamas didelio kontrasto tamsus režimas leidžia lengvai ižiūrėti visus programos elementus.
- Aiški struktūra ir navigacija: pagrindinės programos dalys lengvai pasiekiamos per nuolatinę viršutinę navigacijos juostą.

Šis programos vaizdas buvo suplanuotas įgyvendinti projekto pradžioje. Tačiau dėl terminalo naudotojo sasajos apribojimų, projekto eigo buvo pakankamai žymiai nukrypta nuo pradinės vizijos. Plačiau problemos, su kuriomis buvo susidurta aprašomos skyriuje „Komandinės eilutės techniniai apribojimai“.

### 3.1.5. Realizacijai keliami nefunkciniai reikalavimai

Be funkinių reikalavimų, kurie apibrėžia, ką sistema turi atlikti, lygiai taip pat svarbu apibrėžti, kaip sistema tai darys ir kokie kokybiniai kriterijai jai keliami. Nefunkciniai reikalavimai nusako esminius programos atributus, tokius kaip jos naudojimo patogumas, veikimo greitis, patikimumas ir išvaizda. Šiame skyriuje detalizuojami kokybiniai reikalavimai, keliami kuriamos programos realizacijai, siekiant užtikrinti gerą naudotojo patirtį ir sklandų veikimą.

- Reikalavimai sistemos išvaizdai:
  - ▶ Nors programa veikia terminale ir neturi grafinės sasajos, jos išvesties – ASCII meno – vizualinė kokybė yra svarbi. Sugeneruotas ASCII paveikslėlis turi vizualiai atpažistamai atspindėti pagrindinius originalios nuotraukos kontūrus ir šviesumo lygius.

- ▶ Programos pateikiami pranešimai turi būti aiškiai matomi, vizualiai išsiskirti iš bendro programos vaizdo.
- Reikalavimai panaudojamumui:
  - ▶ Programos paleidimas bus valdomas per komandinės eilutės argumentus. Argumentų sintaksė turi būti aiški ir logiška.
  - ▶ Pagalbos funkcija turi būti prieinama bet kuriuo programos veikimo momentu.
  - ▶ Klaidų pranešimai turi būti informatyvūs, nurodantys problemos priežastį (pvz., „Failas nerastas“, „Nepalaikomas nuotraukos formatas“, „Neteisingas argumentas“).
  - ▶ Programa turi turėti numatytuosius nustatymus, kad ją būtų galima naudoti pateikiant minimalų argumentų skaičių.
- Reikalavimai programos našumui:
  - ▶ Programa turi konvertuoti tipinės raiškos 1920x1080 pikselių gatvės lygio nuotrauką per priimtiną laiką, ne ilgiau nei 5 sekundės, nepriklausomai nuo naudotojo naudojamos techninės įrangos.
  - ▶ Programa neturi naudoti neproporcingai daug operatyviosios atminties (angl. *random access memory*) ar procesoriaus resursų. Atminties naudojimas neturėtų drastiškai augti naudojantis programa ilgą laiką.
- Reikalavimai veikimo sąlygoms:
  - ▶ Programa turi veikti visose populiariose operacinėse sistemoje: „Windows“, „Linux“, „MacOS“.
  - ▶ Programos veikimui reikalingos bibliotekos turi būti aiškiai nurodytos dokumentacijoje.
- Reikalavimai sistemos priežiūrai:
  - ▶ Programos kodas turi būti pakankamai komentuotas, kad būtų suprantama jo logika ir struktūra.
  - ▶ Programos struktūra turėtų būti modulinė, atskiriant skirtinges funkcijas, pavyzdžiui, argumentų apdorojimas, nuotraukos nuskaitymas, konvertavimo logika, išvesties formavimas).
  - ▶ Programos vystymui turi būti naudojama versijų kontrolės sistema, pavyzdžiui, Git.
- Reikalavimai saugumui:
  - ▶ Programa turi saugiai apdoroti naudotojo pateiktus API raktus, vengiant jų paviešinimo trečiosioms šalims.
  - ▶ Komandinės eilutės argumentai turi būti tinkamai validuojami, siekiant išvengti neplanuotų programos panaudojimo atvejų.
  - ▶ Naudojamos išorinės bibliotekos turėtų būti reguliariai atnaujinamos, siekiant ištaisyti žinomas saugumo spragias.
  - ▶ Programai paleisti neturi būti reikalingos administratoriaus teisės.
- Kultūriniai-politiniai reikalavimai:
  - ▶ Programa turi veikti nepriklausomai nuo sistemos lokalizacijos nustatymų (angl. *locale*).
- Teisiniai reikalavimai:
  - ▶ Programa turi būti platinama su aiškiai nurodyta licencija nekomenciniams tikslams.
  - ▶ Turi būti laikomasi visų naudojamų trečiųjų šalių bibliotekų licencijų reikalavimų.

Baigiant nefunkcinių reikalavimų apžvalgą, svarbu pabrėžti jų įtaką galutiniam produktui. Nors kuria ma programa yra terminalo įrankis, reikalavimai panaudojamumui ir ASCII meno kokybei tiesiogiai lemia naudotojo patirtį. Vykdymo charakteristikų reikalavimai užtikrina, kad nuotraukų apdorojimas vyktų per priimtiną laiką, neapkraunant sistemos resursų. Tuo tarpu reikalavimai priežiūrai, saugumui ir veikimo sąlygoms garantuoja programos ilgaamžiškumą, patikimumą ir pritaikomumą skirtingose aplinkose. Visų šių aspektų visuma formuoja galutinio produkto kokybę ir praktinę vertę.

### **3.1.6. Techninė specifikacija**

Šiame skyriuje apibrėžiama techninė aplinka ir išoriniai resursai, būtini kuriamos programos veikimui. Programos paleidimui ir naudojimui reikalinga komandinės eilutės sąsaja, kuri yra prieinama daugumoje šiuolaikinių operacinių sistemų, tokį kaip „Windows“, „Linux“, „MacOS“. Terminalo aplinka turi palaikyti UTF-8 koduotę, kadangi ASCII menui generuoti gali būti naudojami ne tik standartiniai ASCII simboliai. Taip pat programos veikimui bus reikalinga „Java Runtime Environment“ vykdymo aplinka bei kelios bibliotekos, kurios bus automatiškai įdiegiamos pirmąkart paleidus programą.

Kalbant apie techninės įrangos reikalavimus, programa yra sukurta taip, kad nebūtų reikli sistemos resursams. Ji turėtų sklandžiai veikti praktiškai bet kokioje šiuolaikinėje kompiuterinėje sistemoje, neturinčioje išskirtinai didelių skaičiavimo pajėgumų. Naudotojams nereikia rūpintis specifiniais procesoriaus greičio ar operatyviosios atminties kiekio reikalavimais, nes sistemos našumo poveikis programai yra minimalus.

Vis dėlto, yra keli esminiai išoriniai reikalavimai. Pirma, programos veikimui būtinas aktyvus interneto ryšys. Tai reikalinga todėl, kad programa savykauja su išorinėmis paslaugomis internetu, visų pirma gaudama nuotraukų duomenis. Antra, norint naudotis pagrindine programos funkcija – gatvės lygio vaizdų navigavimu – privaloma turėti galiojantį „Mapillary“ API raktą. Be šio rakto, programa negalės gauti pradinių nuotraukų duomenų.

Programa taip pat palaiko sąsajas su keliomis papildomomis, tačiau nebūtinomis, išorinėmis paslaugomis. Naudotojai, norintys naudotis galimybe automatiškai įkelti sugeneruotą ASCII meną į „Imgur“ platformą, turės pateikti „Imgur“ API raktą. O norint naudotis geolokacijos paslaugomis, gali būti reikalingas „TravelTime“ API raktas. Šių papildomų raktų nebuvimas netrukdy pagrindiniams nuotraukų konvertavimo procesui, bet apribos prieigą prie atitinkamų išplėstinių funkcijų. Naudotojai patys atsakingi už visų reikalingų API raktų gavimą ir naudojimą pagal paslaugų teikėjų sąlygas.

## **3.2. Projektavimo metodai**

### **3.2.1. Kodėl „Scala“?**

Programavimo kalbos yra pagrindinis tarpininkas tarp žmogiškos logikos ir mašininio kodo – jos leidžia programuotojams paversti abstrakčias idėjas ir problemų sprendimo metodus į instrukcijas, kurias kompiuteriai gali vykdyti. Tinkamos programavimo kalbos pasirinkimas projektui yra kritinis sprendimas, kuris daro įtaką kūrimo efektyvumui, sistemos veikimui, priežiūrai ir galiausiai projekto sėkmėi. Šiame skyriuje pateikiamas kontekstas „Scala“ pasirinkimui kaip šios disertacijos įgyvendinimo kalbai, nagrinėjant platesnį programavimo kalbų kraštovaizdį, jų evoliuciją ir įvairias paradigmas, kurias jos atstovauja.

Manome, jog galima išskirti kelis tipus programavimo kalbų, priklausomai nuo jų sukūrimo laiko bei paskirties.

#### **Mašininis kodas**

Ankstyviausi kompiuteriai reikalavo programavimo dvejetainiu mašininiu kodu – 1 ir 0 sekomis, tiesiogiai atitinkančiomis procesoriaus instrukcijas. Šis metodas, nors ir tiesiogiai vykdomas apatinės įrangos, žmogui programuotojui buvo labai varginantis ir linkęs į klaidas.

Taigi šis programavimo metodas yra sudėtingas, juo parašytas programinis kodas yra praktiškai kalbant neįskaitomas, bei jį naudojant yra labai lengva padaryti klaidą. Ar yra bent vienas tikslas programuoti mašininiu kodu? Teoriškai, taip – mašininis kodas suteikia programuotojui paties žemiausio lygio prieigą prie procesoriaus instrukcijų. Tai leidžia patyrusiam programuotojui pasiekti didesnę greitaveiklą, tikslesnį veikimą bei mažesnį galutinio failo dydį. Visa tai yra labai naudinga specifinėse

situacijose, kai resursai yra ypatingai riboti. Tačiau net tokiu atveju, dauguma profesionalų rinktūsi įrankį, suteikiantį šiek tiek daugiau abstrakcijos.

### Asemblerio kalbos

Asemblerio kalbos pristatė simbolinius mašininių instrukcijų atvaizdavimus, leidžiančius programuotojams naudoti žmogui suprantamą kodą vietoje dvejetainių procesoriaus instrukcijų. Nors vis dar glaudžiai susietos su aparatinės įrangos architektūra, asemblerio kalbos buvo pirmojoji abstrakcija nuo mašininio kodo.

Šiais laikais kompiuteriai yra taip stipriai pažengę, jog programinio kodo rašymas Asemblerio kalbomis dažniausiai yra visiškai nepraktiškas sprendimas. Kai egzistuoja tiek daug aukštesnio lygio kalbų, Asemblerio kalbos naudojamos tik esant labai griežtiems resursų ir greičio reikalavimams – panašiai kaip mašininis kodas. Vienas pavyzdys tokio panaudojimo – „Apollo-11“ orientacinio kompiuterio programinis kodas [11]. Šis kompiuteris turėjo labai ribotą atminties kiekį – 2048 žodžius atsitiktinės prieigos atminties bei 36 864 žodžius pagrindinės atminties [12]. Taip pat, žinoma, kompiuterio procesorius lyginant su šių dienų standartais buvo ypatingai silpnas, dėl ko reikėjo parašyti patį optimaliausią kodą.

Žinoma, „Apollo-11“ skrydžio laikais nebuvo daug alternatyvų Asemblerio kalboms, tačiau ir šiomis dienomis jos vis dar yra naudojamos operacinių sistemų branduliuose, realaus laiko programose, įrenginių tvarkyklose ir kitose programose, kur greitis ir resursų valdymas yra kritinis taškas.

### Ankstyvosios aukšto lygio kalbos

Šešto dešimtmečio pabaigoje ir septinto dešimtmečio pradžioje įvyko proveržis programavimo kalbų srityje – buvo sukurtos pirmosios tuo metu vadintinos aukšto lygio kalbos: „FORTRAN“, „COBOL“, „LISP“ ir „ALGOL“. Šios kalbos pristatė revoliucinį pokytį programavimo procesuose, nes jos leido programuotojams:

- Rašyti kodą, kuris buvo nepriklausomas nuo konkretaus kompiuterio architektūros
- Naudoti abstrakcias matematines išraiškas vietoj procesoriaus instrukcijų
- Struktūruoti programas į funkcijas ir procedūras
- Kurti programas, kurios buvo žymiai lengviau skaitomos ir suprantamos žmonėms

„FORTRAN“ (angl. *Formula Translation*) buvo sukurta moksliniams skaičiavimams ir tapo pirmaja plačiai naudojama aukšto lygio kalba. Ji leido mokslininkams ir inžinieriams rašyti programas matematinėmis formulėmis, o ne mašininėmis instrukcijomis. „COBOL“ (angl. *Common Business-Oriented Language*) buvo sukurta verslo aplikacijoms ir pasižymėjo itin skaitoma anglų kalba. Ji buvo specialiai sukurta taip, kad netechninio išsilavinimo žmonės galėtų skaityti ir suprasti programinį kodą. Nepaisant savo amžiaus, „COBOL“ vis dar naudojama kai kuriose finansų ir vyriausybinėse sistemose. „LISP“ (angl. *List Processing*) buvo sukurta dirbtinio intelekto tyrimams ir įvedė tokias konцепcijas kaip rekursija, dinaminis tipizavimas ir automatinis atminties valdymas. Ji buvo pirmoji funkcinė programavimo kalba ir turėjo didžiulę įtaką vėlesnėms programavimo kalboms. „ALGOL“ (angl. *Algorithmic Language*) buvo sukurta kaip universalii algoritmų aprašymo kalba. Ji įvedė blokų struktūrą, lokalius kintamuosius ir procedūras su parametrais. „ALGOL“ tapo daugelio vėlesnių kalbų, tokį kaip „Pascal“, „C“ ir „Java“ protėviu.

### „C“ kalba ir sisteminės kalbos

„C“ kalba, sukurta „Bell“ laboratorijose 1972 metais (<https://www.geeksforgeeks.org/c-language-introduction/>), tapo viena įtakingiausių programavimo kalbų istorijoje. Ji užėmė unikalią nišą tarp žemo lygio asemblerio kalbų ir aukšto lygio kalbų, siūlydama išskirtinį balansą tarp efektyvumo ir abstrakcijos. „C“ buvo sukurta „UNIX“ operacinei sistemai kurti ir greitai tapo standartu sisteminiam programavimui. Ji suteikė programuotojams galimybę tiesiogiai manipuliuoti kompiuterio atmintimi

naudojant rodykles, bet tuo pačiu siūlė struktūrinę sintaksę ir modulinę struktūrą. C kalba pasižymėjo perkeliamumu – programos, parašytos viename kompiuteryje, galėjo būti nesunkiai adaptuotos kitam, kas buvo revoliucinis pokytis to meto kontekste. Daugelis šiuolaikinių operacinių sistemų, išskaitant „Linux“ ir „Windows“, yra parašytos „C“ kalba, o jos įtaka matoma beveik visose vėlesnėse programavimo kalbose, išskaitant „C++“, „Java“, „C#“ ir net „Python“.

## **Modernios kalbos**

Šiais laikais programavimo kalbų pasirinkimas yra beveik begalinis. Yra įvairiausią kalbų visokioms problemoms spręsti. Interpretuoojamos kalbos kaip „Python“ idealiai tinkai lengvai suprantamiems, greitai parašomiems scenarijams. „Java“, „C#“ ir kitos panašios aukšto lygio objektinės kalbos pasižymi savo tipų saugumu ir skalabilumu didelės apimties programose. „Rust“ ir „Zig“ yra puikios modernios alternativeros sistemų programavimo standartui „C“. Turint tiek daug pasirinkimo laisvės, renkantis programavimo kalbą galima daugiau galvoti apie jos stilių bei abstrakcijos lygi.

## **Abstrakcijos lygmu**

Renkantis programavimo kalbą svarbu nuspręsti, kiek žemo lygio kontrolės reikės mūsų kuriamam projektui. Pavyzdžiui, jei pasirinksime tai, ką šiais laikais vadintume žemo lygio kalbomis, kaip „C“ ar „Rust“, galėtume daug atidžiau kontroliuoti visus programos veikimo niuansus, bet tai reikalautų daug daugiau laiko bei didesnio programinio kodo kiekio, taip pat didintų kodo sudėtingumą. Aukšto lygio kalba kaip „Java“ paspartintų programos kūrimą, nes aukšto lygio kalbose paprastai nereikia pačiam programuotojui valdyti atminties, jose būna daug įskiepių, kurie gali padėti išspręsti įvairias problemas, bei kodo sudėtingumas dažniausiai būna žymiai maženis.

Mūsų projektas šiuo atveju yra pakankamai lankstus – komandinės eilutės programą tikrai galima rašyti ir aukšto, ir žemo lygio kalbomis. Šiam projektui nėra skirta jokių griežtų greičio ar apimties apribojimų, todėl pasirinkome naudoti aukštesnio lygio kalbą, kad programinio kodo rašymo metu būtų galima daugiau dėmėsio telkti programos funkcionalumui.

## **Kompiliuojama ar interpretuojama kalba?**

Programavimo kalbos paprastai yra skirstomos į 2 pagrindinius tipus priklausomai nuo to, kaip jų kodas yra paleidžiamas:

- Kompiliuojamos kalbos – programinis kodas yra paverčiamas mašininiu (arba kokiui nors tarpiniu) kodu, kuris po to verčiamas mašininiu, kaip „Java Virtual Machine“). To rezultatas – ilgesnis programos paleidimas programuojant, bet greitesnis veikimas, nes kompiliatorius gali optimizuoti mašininį kodą prieš jo įvykdymą. Taip pat dauguma sintaksės ar kitokių klaidų aptinkama prieš programos paleidimą, kompiliavimo metu.
- Interpretuoojamos kalbos – programinis kodas yra vykdomas eilutė po eilutės, iš eilės, nėra jokio tarpinio žingsnio tarp kodo parašymo ir paleidimo. Tai puikiai tinkai įvairiems scenarijams (angl. *scripts*), tačiau stipriai nukenčia programos greitaveika.

Siekdami neprarasti per daug programos veikimo spartumo, nusprendėme pasirinkti kompiliuojamą programavimo kalbą.

## **Statiniai ar dinaminiai tipai?**

Programavimo kalbos yra skirstomos į 2 pagrindines grupes pagal tai, kaip jos kontroliuoja kintamųjų tipus:

- Statiniai tipai – kiekviena reikšmė ar kintamasis programiniame kode turi savo tipą (*int*, *char* ir t.t.), tas tipas negali keistis programos eigoje. Tai suteikia savotinio saugumo, neleidžia programuotojui daryti žmogiškų klaidų. Taip pat turint statinę tipų sistemą, galima kurti savo tipus, taip pridedant dar daugiau saugumo, pavyzdžiu:

```
def doSomething(name: String, surname: String) = ()  
doSomething("pavardenis", "vardenis")
```

Matome, kad galime iškvesti funkciją *doSomething* įvedę vardą ir pavardę apkeistus vietomis. Tačiau, jei sukurtume savo tipus vardui ir pavardei, to būtų galima išvengti:

```
case class Name(value: String)  
case class Surname(value: String)  
def doSomething(name: Name, surname: Surname) = ()  
doSomething(Surname("pavardenis"), Name("vardenis"))
```

Šiuo atveju kompiliavimo metu matytume klaidą, kuri išgelbėtų mus nuo atsitiktinio funkcijos argumentų sumaišymo.

- Dinaminiai tipai – kiekvienos reikšmės ar kintamojo tipas gali kisti programos vykdymo metu, pavydžiui:

```
some_value = "text"  
some_value = 123
```

Kalba su dinaminiais tipais leistų atlikti tokį reikšmės pakeitimą. Tai gali būti pravartu nišinėse situacijoje, tačiau didelės apimties programoje toks programavimo stilus sukelia riziką padaryti daugybę klaidų, kurias vėliau yra labai sunku surasti.

Mūsų programos apimtis būs salyginai didelė, todėl mes pasirinkome nudoti kalbą su statiniais tipais.

### Programavimo paradigma

Robert Cecil Martin savo knygoje „Clean Architecture“ [13] išskiria tris pagrindines programavimo paradigmas: struktūrinis, objektinis bei funkcinis programavimas. Pagal autorių, kiekviena paradigma ne suteikia mums kažką, o priešingai – jos atima galimybę iš programuotojų rašyti kodą, kuris lengvai priveda prie klaidų.

- „Pirmoji priimta (bet ne pirmoji išrasta) paradigma buvo struktūrinis programavimas, kurį 1968 m. atrado Edsger Wybe Dijkstra. Dijkstra įrodė, kad nevaržomų šuolių (angl. *goto* teiginiai) naudojimas yra žalingas programos struktūrai. (...) šiuos šuolius pakeitė geriau pažįstamomis konstrukcijomis *if/then/else* ir *do/while/until*.

Struktūrinio programavimo paradigmą galima apibendrinti taip: Struktūrinis programavimas nustato tiesioginio valdymo perdavimo drausmę.“

- „Antroji priimta paradigma iš tikrujų buvo atrasta dvejais metais anksčiau, t.y. 1966 m. Ole Johano Dahlia ir Kristeno Nygaardo. Šie du programuotojai pastebėjo, kad „AGOL“ kalbos funkcijų iškvietimo dėklo (angl. *stack*) rėmelį galima perkelti į krūvą (angl. *heap*), taip sudarant galimybę funkcijos deklaruotiemis vietiniams kintamiesiems egzistuoti ilgą laiką po to, kai funkcijos reikšmė buvo grąžinta. Funkcija tapo klasės konstruktoriaumi, o vietiniai kintamieji tapo egzemplioriaus kintamaisiais, o įterptinės funkcijos – metodais. Tai neišvengiamai privėdė prie polimorfizmo atradimo disciplinuotai naudojant funkcijų rodykles.

Objektinio programavimo paradigmą galima apibendrinti taip: Objektinis programavimas programavimas įveda drausmę netiesioginiams valdymo perdavimui.“

- „Trečioji paradigma, kuri tik neseniai pradėta taikyti, buvo pirmoji. išrasta. Iš tiesų ji buvo išrasta anksčiau nei pats kompiuterių programavimas. Funkciniis programavimas yra tiesioginis rezultatas Alonzo Čerčo darbo, kuris 1936 m. išrado lambda integralinį ir differentiacinį skaičiavimą (angl.

*lambda calculus*), spręsdamas tą pačią matematinę problemą, kuri buvo tuo pat metu motyvavo Alaną Tiuringą.“

Autorius toliau aiškina, jog pagrindinė *lambda calculus* savoka yra nekintamumas, t. y. nuostata, kad simbolių reikšmės nesikeičia. Tai reiškia, kad funkcinėje kalboje nėra priskyrimo teiginio. Realybėje kartais yra sunku apsieiti be vertės keitimo, todėl: „Dauguma funkcinių kalbų iš tikrujų turi tam tikrų priemonių kintamojo vertei keisti, bet tačiau tik labai griežtai laikantis drausmės.“

Funkcinio programavimo paradigmą galima autorius apibendrina taip: „Funkcinis programavimas nustato priskyrimo discipliną.“

Funkcinis programavimas mums ypač pasirodė įdomus, nes matematinio stiliaus kodas be reikšmių keitimo ne tik padeda išvengti sudėtingo bei klaidingo kodo, bet dažniausiai ir padeda tą pačią problemą išspręsti greičiau ir suprantamiau. Dėl šios priežasties savo programai kurti pasirinkome funkcinio stiliaus kalbą. Detaliau apie funkcinį programavimą ir jo privalumus kalbėsime tolimesniuose skyriuose.

### **Programavimo kalba**

Po šios nuoseklios analizės mes turime bendrą idėją, ko tikimės iš pasirinktos programavimo kalbos:

- salyginai aukšto abstrakcijos lygio;
- galimybės kodą kompiliuoti;
- griežtų statinių tipų;
- funkcinio programavimo stiliaus;

Yra daugybė pasirinkimų, atitinkančių šiuos kriterijus, kaip „Haskell“, „Clojure“, „Scala“, „F#“, „OCaml“ bei daugybė kitų. Visos šios kalbos yra plačiai naudojamos didelėse įmonėse ir yra puikiai tinkamos spręsti įvairiausioms problemoms, taip pat ir mūsų projektui:

- „Facebook“, socialinės medijos platforma, naudoja „Haskell“ programavimo kalbą siekiant kovoti su šlamštu savo platformoje [14].
- „Walmart“, JAV mažmeninės prekybos centras, naudoja „Clojure“ savo duomenų valdymo sistemai [15].
- „X“ (anksčiau buvusi „Twitter“ socialinės medijos platforma), plačiai naudoja „Scala“.
- „Microsoft“, JAV programinės ir techninės įrangos gamintojas, sukūrė ir naudoja „F#“ įvairiomis paslaugomis [16].
- „Jane Street“, JAV patentuota prekybos įmonė, naudoja „OCaml“ prekybos sistemoms ir finansinei analizei [17].

Žinodami, jog beveik visas programavimo kalbas galima vienaip ar kitaip panaudoti, sprendžiant pačias įvairiausias problemas, galutiniame kalbos pasirinkime labiausiai vadovavomės esama pažintimi su kalba. Pasirinkę kalbą, kurios pagrindus jau žinome, galime sutelkti daugiau dėmesio pačiam programos veikimui. Šitaip mąstant, prieš akis iškyla pagrindinis favoritas – „Scala“.

#### **3.2.2. Funkcinis programavimas su „Scala“**

##### **Apie „Scala“**

„Scala“ programavimo kalba, taip pat kaip ir „Java“, yra skirta dirbtis su „JVM“ (*Java Virtual Machine*) platforma – tai reiškia, jog programinis kodas yra kompiliuojamas ne tiesiai į dvejetainį kodą, o į specialų bitų kodą (angl. *bytecode*), kuris gali veikti bet kokioje operacinėje sistemoje. Taip pat tai reiškia, jog „Scala“ kode galima naudotis ne tik „Scala“ įskiepiais, viskuo, ką mums suteikia „Java“ programavimo kalba, net galime tiesiogiai kreiptis į „Java“ kodą. Tai yra ypač svarbus privalumas, žinant, jog „Scala“ yra salyginai nepopuliari kalba, kurioje gali trūkti norimų įskiepių.

Ši programavimo kalba išsiskiria nuo kitų funkinių kalbų tuo, jog ji nėra vien tik funkcinė. Joje, priešingai nei kalboje kaip „Haskell“, galime kurti kintamas reikšmes, nors tai nėra rekomenduojama. Taip pat „Scala“ turi klases, bruožus (angl. *trait*) ir daugybę kitų kodo projektavimo modelių, kuriuos dažnai matome objektinio stiliaus kalbose – tai stipriai palengvina darbą žmogui, pirmą kartą bandančiam funkcinį programavimą.

„Scala“ buvo sukurta 2004 metais Martino Odersky [18], siekiant sukurti modernią programavimo kalbą, kuri apjungtų objektinio ir funkcinio programavimo privalumus. Vienas didžiausių „Scala“ privalumų yra jos išraiškingumas – dažnai galima parašyti daugiau funkcionalumo su mažiau kodo eilučių, palyginus su „Java“ ar kitomis tradicinėmis kalbomis. Štai pavyzdys, kaip paprasčiau gali atrodyti funkcinis kodas. Šių kodo tikslas – išfiltruoti iš skaičių sąrašo tik tuos skaičius, kurie dalinasi iš dviejų, ir gauti jų kvadratus.

„Java“ pavyzdys:

```
List<Integer> result = new ArrayList<>();
for (Integer number : numbers) {
    if (number % 2 == 0) {
        result.add(number * number);
    }
}
```

„Scala“ pavyzdys:

```
val result = numbers.filter(_ % 2 == 0).map(x => x * x)
```

Toks programavimo stilus, bent mūsų nuomone, yra daug lengviau skaitomas žmogui. Dideliame projekte tai žymiai palengina svetimo žmogaus kodo skaitymą, o pati projekto apimtis būna žymiai mažesnė, lyginant su tradicinėmis programavimo kalbomis. Taip pat, kadangi nėra naudojamos jokios kintamos reikšmės, tokį kodą yra saugu naudoti lygiagrečioje aplinkoje, nereikia papildomai galvoti apie lenktynių sąlygas.

Statinis tipizavimas yra dar vienas svarbus „Scala“ bruožas. Nors programuotojui nebūtina nurodyti kintamųjų tipus (dėl automatinio tipo išvedimo mechanizmo), kompiliatorius vis tiek aptinka tipo nesuderinamumo klaidas kompiliavimo metu, o ne vykdymo metu. Tai padeda išvengti daugelio klaidų dar prieš paleidžiant programą.

„Scala“ turi turtingą sintaksę, kuri leidžia kurti aiškias, glaučias ir elegantiškas duomenų struktūras bei algoritmus. Šabloninis atitikimas (angl. *pattern matching*), aukštesnės eilės funkcijos, tingi (angl *lazy*) inicializacija ir nemutuojamų duomenų struktūrų palaikymas – tai tik keletas funkcinio programavimo bruožų, kuriuos egzistuoja „Scala“ kalboje.

Pramonėje „Scala“ dažnai naudojama didelės apimties duomenų apdorojimo sistemoje. „Apache Spark“ [19], vienas populiariausiu didelių duomenų apdorojimo karkasų, yra parašytas būtent „Scala“ kalba. Tokios įmonės kaip „X“, „LinkedIn“ ir „Netflix“ [20] naudoja „Scala“ savo pagrindinėse sistemoje dėl jos gebėjimo efektyviai valdyti lygiagrečias užduotis ir didelius duomenų srautus.

„Scala“ ekosistema taip pat siūlo keletą galingų įrankių ir įskiepių, tokį kaip „Akka“ [21] (aktorių modeliu pagrįsta lygiagretumo sistema), „Play Framework“ [22] (tinklalapių kūrimo karkasas) ir „Cats“ [23] (funkcinio programavimo abstrakcijos). Šios bibliotekos padeda programuotojams kurti tvarų, testuojamą ir lengvai prižiūrimą kodą.

Nors „Scala“ mokymosi kreivė gali būti šiek tiek statesnė nei kai kurių kitų programavimo kalbų, jos teikiami privalumai – ypač kuriant sudėtingas, didelio masto sistemas – dažnai atperka pradinį

mokymosi laiką. Tai yra puikus pasirinkimas programuotojams, norintiems išplėsti savo įgūdžius ir įsisavinti funkcinio programavimo koncepcijas, išlaikant pažįstamą objektinio programavimo aplinką.

### „Cats-Effect“ karkasas

Kaip minėjome anksčiau, „Scala“ nėra idealiai funkcinė kalba. Vienas pagrindinis funkcionalumas, kurio nėra šioje programavimo kalboje, kuris dažnai randamas kitose funkcinėse programavimo kalbose – efektų valdymas.

Prieš aiškinantis kaip reikia valdyti šalutinius efektus, reikia suprasti, kas tiksliai yra funkcinis programavimas. Funkcinis programavimas yra pagristas matematinėmis funkcijomis, taigi jomis ir galime pasinaudoti apibūdinant funkcinio programavimo paradigmą. Štai pažiūrekime į šią funkciją:

$$f(x) = 3x$$

Tokia funkcija yra tarytum sujungimas tarp dviejų skaičių sarašų. Pavyzdžiui, sarašas (1, 2, 3) patampa sarašu (3, 6, 9). Kiekviena įvestis turi vieną ir tik vieną išvestę. Nesvarbu kokia yra išvestis, jai visada bus išvestis (nėra jokių išimčių). Funkcijos rezultatas yra tiesiogiai išvedamas iš įvesties ir iš nieko daugiau (neskaitant žinoma kitokių konstantų, kaip 3). Funkcija tik apskaičiuoja išvestę ir nieko daugiau – ji nekeičia kažkokį kitų reikšmių, nesiuncia laisko, neperka obuolių – ji tik įvestį paverčia išvestimi. Tai ir yra visa esmė funkcinio programavimo.

Svarbi tokį grynų funkcijų savybė yra referencinis skaidrumas (angl. *referential transparency*). Tai reiškia, kad bet kurį funkcijos iškvietimą su konkrečiomis įvesties reikšmėmis galima mintyse (ar net kodo pertvarkymo metu) pakeisti jos rezultatu, nepakeičiant programos elgsenos visumos. Pavyzdžiui, jei žinome, kad mūsų funkcija  $f(2)$  visada grąžina 6, mes galime visur programoje, kur matome  $f(2)$ , įsivaizduoti tiesiog reikšmę 6. Tai daro kodą daug lengviau suprantamą, testuojamą ir nuspėjamą, nes funkcijos rezultatas nepriklauso nuo jokių paslėptų faktorių ar ankstesnių įvykių – tik nuo jos argumentų.

Panagrinėkime kelis pavyzdžius.

```
def doSomething(value: Int) = value * 3
```

Štai čia matome funkciame programavime vadinamą gryną (angl. *pure*) funkciją – ji įvestį paverčiame išvestimi ir nieko daugiau. Ji yra referenciskai skaidri. Pasižiūrekime, kokie pavyzdžiai nebūtų grynos funkcijos ir kaip galėtume jas paversti grynomis funkcijomis.

```
def doSomething(value: Int) = 5 / value
```

Ši funkcija dalina iš įvesties – tai reiškia, jog ne kiekvienai reikšmei yra išvestis. T.y. reikšmei 0 išvesties nėra – programoje įvyks dalybos iš nulio klaida. Tai galima išspręsti pridėjë papildomą sąlygą, kuri patikrintų įvestį:

```
def doSomething(value: Int) =  
    if (value == 0) 0  
    else 5 / value
```

Dabar ši funkcija yra gryna. Galima ir kitaip sugadinti funkcijos grynumą:

```
def doSomething(value: Int) = {  
    x++ // Šalutinis kintamos reikšmės padidinimas  
    println("Šalutinis spausdinimas") // Šalutinis spausdinimas  
    value * 3  
}
```

Ši funkcija nebėra gryna, nes ji daro daugiau, nei reikia norint gauti išvestį. Ji pažeidžia referencinį skaidrumą, nes jos iškvietimas ne tik grąžina reikšmę, bet ir turi šalutinį poveikį (pakeičia x reikšmę, išspausdina tekštą), todėl negalime jos tiesiog pakeisti rezultatu, neprarasdami šių poveikių. Kitaip tariant, turėtų būti aišku ką daro funkcija vien iš jos įvesties ir išvesties tipų, net neskaitant pačios funkcijos realizacijos. Tokie šalutiniai efektai žymiai apsunkina programos klaidų ieškojimą ir kodo supratimą.

Tačiau kai kurios funkcijos negali būti idealiai grynos. Pavyzdžiu, spausdinimas į ekraną ar HTTP užklausa – abi šios funkcijos priklauso nuo išorinės aplinkos. Jei programa neturi kur spausdinti, ji neveiks. Jei serveris į kurį siunčiame užklausą neegzistuoja ar neveikia, mūsų programa taip pat neveiks. Šiai problemai spręsti funkcinėse programavimo kalbose paprastai yra kažkokia forma efektų valdymo.

Efektų valdymas funkciame programavime yra būdas tvarkyti šalutinius efektus (angl. *side effects*) – procesus, kurie keičia programos būseną už funkcijos apręties ribų, pavyzdžiu, duomenų nuskaitymas ar išryšumas, tinklo operacijos, atsitiktinių skaičių generavimas ir panašios operacijos. Tradicinėse funkcinėse kalbose šalutiniai efektai yra aiškiai apibrėžiami ir izoliuojami, kas leidžia programuotojams tiksliai žinoti, kokius poveikius gali turėti jų funkcijos. Tai suteikia geresnes galimybes testuoti kodą, lengviau suprasti programos veikimą, išvengti netikėtų šalutinių pasekmių bei nesunkiai valdyti programos klaidas. „Cats-Effect“ [24] karkasas „Scala“ programavimo kalbai įveda šią koncepciją per IO monadą ir kitus abstrakcijos mechanizmus, kurie leidžia programuotojams apibrėžti ir komponuoti efektus deklaratyviu būdu, kartu išlaikant griežtą tipų saugumą.

Toliau panagrinėsime koks tikslas yra naudoti efektų valdymo karkasą kaip „Cats-Effect“ bei kokias problemas jis padeda išspręsti.

Esminė šio karkaso abstrakcija yra pluoštai (angl. *Fibers*) [25]. Tai yra „Cats-Effect“ paralelizmo pagrindas. Pluoštai yra lengvos gijos, skirtos reprezentuoti seką veiksmų, kurie programos veikimo metu galiausiai bus realizuoti. Pluoštai yra ypatingai lengvi – vienas pluoštas užima vos 150 baitų atminties. Tai reiškia, jog mes galima sukurti dešimtis milijonų pluoštų be jokių problemų. Per daug nelendant į technines detales, galima jų naudą apibendrinti taip – pluoštai leidžia mums lengvai, be papildomo vargo, valdyti paralelizmą bei suteikia mums galimybę bet kurį skaičiavimo procesą sustabdyti ar atšaukti, net jei jis jau yra vykdomas.

Šio karkaso konteksta efektas (angl. *effect*) [25] yra veiksmo (ar veiksmų) apibrėžimas, kuris bus įvykdytas, kai vyks kodo vertinimas (angl. *evaluation*). Pagrindinis tokis efektas yra IO.

```
val spausdintuvas: IO[Unit] = IO.println("Labas, pasauli!")
```

Šiame kodo fragmente reikšmė *spausdintuvas* yra aprašomas veiksmo, kuris atspausdina tekštą į komandinę eilutę. Nesvarbu, kiek kartų mes iškviesime šią reikšmę, spausdinimas nebus įvykdytas nė karto, pavyzdžiu:

```
def function(): IO[Unit] = {
    spausdintuvas
    spausdintuvas
    spausdintuvas
}

function()

// Nespausdina nieko
```

Šis kodas neišspausdins teksto nė karto, nes mes dar nenurodėme, jog efektą reikia įvykdyti. Jei įvykdytume visą funkciją, spausdinimas įvyktų tik vieną kartą, nes paskutinę reikšmę funkcijoje yra jos rezultatas:

```
def function(): IO[Unit] = {
    spausdintuvas
    spausdintuvas
    spausdintuvas
}

function().unsafeRunSync()

// Labas, pasauli!
```

Jei nurodytume, jog efektas turi būti įvykdytas, tekstas būtų išspausdintas kiekvieną kartą:

```
def function(): Unit = {
    spausdintuvas.unsafeRunSync()
    spausdintuvas.unsafeRunSync()
    spausdintuvas.unsafeRunSync()
}

function()

// Labas, pasauli!
// Labas, pasauli!
// Labas, pasauli!
```

Arba apjungiant efektus:

```
def function(): IO[Unit] = {
    for {
        _ <- spausdintuvas
        _ <- spausdintuvas
        _ <- spausdintuvas
    } yield ()
}

function().unsafeRunSync()

// Labas, pasauli!
// Labas, pasauli!
// Labas, pasauli!
```

Tai mums leidžia dirbti su bet kokiomis reikšmėmis, net tokiomis kaip *Unit* (kitose kalbose dažniau naudojamas terminas yra *void*) taip pat, kaip dirbtume su paprastomis reikšmėmis, kaip *Int*, *String* ar kitomis – jas galime naudoti, perpanaudoti, grąžinti naują reikšmę ir panašiai. Tai yra galima todėl, nes mes programiniame kode dirbame ne su pačia šalutine reikšme, o su jos apibūdinimu.

Dažnas IO monados apibūdinimas skamba taip: IO aprašo transformaciją iš vienos pasaulio būsenos į kitą. Kiekvienas veiksmas IO viduje yra ne pats veiksmas, o receptas naujai pasaulio būsenai, kuri gautuosi įvykdžius tą veiksmą. Kaip matome, šitoks apibūdinimas nepažeidžia funkcinio programma-

vimo taisyklių – nebuvo jokių kintamų reikšmių ar tiesioginių šalutinių efektų pačiame aprašyme, tik dvi atskiro, nekintamos koncepcijos – pasaulis prieš ir po veiksmo aprašymo.

Tuo tarpu „Scala“ paralelizmo monada „Future“ to negali.

```
val spausdintuvas: Future[Unit] = Future(println("Labas, pasauli!"))
```

Kad ir kiek kvestume šia reikšmę, ji išspausdins rezultatą vieną ir tiek vieną kartą, vykdymada efektą iš karto ją sukūrus. Tai nėra intuityvu, neleidžia mums perpanaudoti reikšmės ateityje ir pažeidžia referencinį skaidrumą (angl. *referential transparency*) – pagrindinį funkcinio programavimo principą, kurio IO laikosi dėl savo tingumo (angl. laziness).

Anksčiau minėjome klaidų valdymą. „Cats-Effect“ karkasas mums taip pat suteikia paprastas ir intuityvias sąsajas valdyti klaidoms, įvykiuoms IO monados veiksmų metu. Mes galime saugiai dirbt su galimai klaidą sukeliančiais efektais naudodami metodus kaip *attempt* (kuris paverčia rezultatą kurio galime negauti dėl klaidos į *Either* tipą, kuris saugo arba rezultatą, arba įvykusią klaidą) arba *handleErrorWith* (kuris leidžia aprašyti, kaip elgtis klaidos atveju).

```
val galimaiKlaidingas: IO[Int] = IO(5 / 0) // Efektas, kuris mes klaida

val apdorotaKlaida: IO[Int] = galimaiKlaidingas.handleErrorWith { klaida =>
    // Jei įvyko klaida, atspausdiname pranešimą ir grąžiname numatytają reikšmę
    IO.println(s"Įvyko klaida: ${klaida.getMessage}") *> IO.pure(-1)
}
```

Dar vienas ypatingai patogus dalykas, kurį suteikia šis karkasas, yra resursų valdymas. Daugelis šalutinių efektų apima darbą su resursais, kuriuos reikia ne tik atidaryti ar įsigyti, bet ir saugiai uždaryti ar paleisti, nepriklausomai nuo to, ar operacijos su jais pavyko, ar įvyko klaida (pavyzdžiu, failų skaitytuvi, duomenų bazių prisijungimai, tinklo lizdai). Rankiniu būdu tai užtikrinti sudėtinga ir linkę į kladas (resursų nutekėjimą). „Cats-Effect“ siūlo elegantišką sprendimą – *Resource* duomenų tipą. Jis aprašo, kaip įsigyti (angl. *acquire*) resursą ir kaip jį paleisti (angl. *release*).

```
import cats.effect._
import java.io._

// Aprašome, kaip saugiai gauti ir uždaryti failo skaitytuvą
def failoSkaitytuvas(kelias: String): Resource[IO, BufferedReader] =
    Resource.make {
        IO(new BufferedReader(new FileReader(kelias))) // Kaip įsigyti
    } { skaitytuvas =>
        IO(skaitytuvas.close()).handleErrorWith(_ => IO.unit) // Kaip paleisti
        (užtikrintai)
    }

// Naudojame resursą saugiai: .use garantuoja, kad release bus iškviestas
val saugusSkaitymas: IO[String] = failoSkaitytuvas("manoFailas.txt").use
{ skaitytuvas =>
    IO(skaitytuvas.readLine()) // Darbas su resursu
}
```

Tai užtikrina, jog resursai bus paleisti net jei programoje įvyks klaida, ar ji bus nutraukta rankiniu būdu.

Visos šitos abstrakcijos leidžia mums rašyti lengviau suprantamą, pertvarkomą ir patikimesnį programinį kodą. Žinant, jog šio projekto dydis bus sąlyginai didelis, o Jame daug pašalinių efektų dirbant su komandinės eilutės spausdinimu, konfigūracinių failų nuskaitymu, išorinių sąsajų bendaravimu bei daugybe baitų ir kitokių tipų transformacijų, šios abstrakcijos mums labai padėjo parašyti patikimai veikiančią programą.

### **3.2.3. Projektavimo valdymas ir eiga**

Atsižvelgiant į projekto tiriamąjį ir eksperimentinį pobūdį bei pradinį neapibrežtumą dėl galutinio sprendimo techninio įgyvendinamumo, nebuvvo taikomas griežtas, iš anksto suplanuotas programinės įrangos kūrimo modelis, pavyzdžiu i, krioklio (angl. *waterfall*). Vietoj to, buvo pasirinktas lankstus, iteracinis ir inkrementinis (angl. *iterative and incremental*) kūrimo procesas, turintis prototipavimo (angl. *prototyping*) ir eksperimentinio kūrimo (angl. *exploratory development*) bruožų.

Projekto eiga buvo valdoma dinamiškai, reagujant į kylančius iššūkius ir atradimus:

1. Pradinis tyrimas ir analizė: pirmiausia buvo atlikta esamų technologijų analizė (ASCII generavimo metodai, „Street View“ tipo sąsajų galimybės ir apribojimai), siekiant įvertinti bendrą idėjos įgyvendinamumą.
2. Komponentų identifikavimas: pagrindinės sistemos dalys (pvz., prieiga prie „Mapillary“, vaizdo konvertavimas į ASCII, terminalo naudotojo sąsajos (TUI) modulis, navigacijos logika) buvo identifikuotos kaip atskiri funkciniai blokai.
3. Iteracinis kūrimas ir integravimas:
  - Buvo kuriamos ir testuojamos nedidelės, atskiros funkcionalumo dalys (pvz., pirmenis užklausų siuntimas, bazinis ASCII generavimas).
  - Veikiantys komponentai buvo palaipsniui integruojami tarpusavyje.
  - Kiekvienos iteracijos pabaigoje buvo vertinamas rezultatas, sprendžiami iškilę techniniai sunkumai (pvz., „Mapillary“ patikimumo problemos, terminalo spalvų palaikymo iššūkiai).
4. Adaptacija ir krypties koregavimas: remiantis iteracijų rezultatais ir techninių galimybių analize, buvo priimami sprendimai dėl tolimesnės eigos. Pavyzdžiu, paaškėjus standartinių TUI bibliotekų apribojimams, buvo nuspresta kurti nuosavą TUI komponentą. Susidūrus su „Google Street View“ „API“ kainodaros kliūtimis, buvo pereita prie „Mapillary“.
5. Funkcionalumo plėtra: įsitikinus pagrindinių dalių veikimu, buvo pridedamos papildomos funkcijos (pvz., navigacijos patobulinimai, žaidybinis elementas).

Šis lankstus požiūris leido nuolat tikrinti technines hipotezes ir prisitaikyti prie realių apribojimų, kas buvo būtina tokio pobūdžio eksperimentiniam projektui. Darbai nebuvvo skirtomi pagal griežtą grafiką, o prioritetai buvo nustatomi pagal einamujų iteracijų poreikius ir techninę būtinybę.

### **3.2.4. Projektavimo technologija**

Dėl anksčiau minėto iteracinio ir eksperimentinio projekto pobūdžio, nebuvvo naudojamos specifinės formalios projektavimo technologijos ar griežti grafiniai žymėjimo standartai (notacijos), tokie kaip UML (angl. *Unified Modeling Language*) diagramos, visai sistemai aprašyti iš anksto. Sistemos projektas ir architektūra formavosi palaipsniui, vykstant kūrimo procesui.

Pagrindiniai projektavimo sprendimai ir sistemos struktūra buvo įtvirtinti ir dokumentuoti šiais būdais:

- Kodas kaip dokumentacija: pati programos kodo struktūra (moduliai, klasės, funkcijos), parinkti pavadinimai ir vidiniai komentarai tarnavo kaip pagrindinis techninio projekto artefaktas. Buvo stengiamasi laikytis bendrų programavimo gerosios praktikos principų, kad kodas būtų kuo aiškesnis ir lengviau suprantamas.

- Tekstinė dokumentacija: esminiai projektavimo sprendimai, ypač susiję su techniniais apribojimais ir pasirinktomis alternatyvomis (pvz., „Street View“ sąsajos pasirinkimas, TUI realizacija), yra aprašyti šiame baigiamajame darbe.
- Prototipavimas: funkcionalumo dalys buvo greitai prototipuoojamos ir testuoojamos tiesiogiai terminalo aplinkoje, kas leido empiriskai patikrinti projektavimo idėjas.

Nors formalūs projektavimo įrankiai nebuvo naudojami, kūrimo procese pasitelkti šie standartiniai programinės įrangos kūrimo įrankiai:

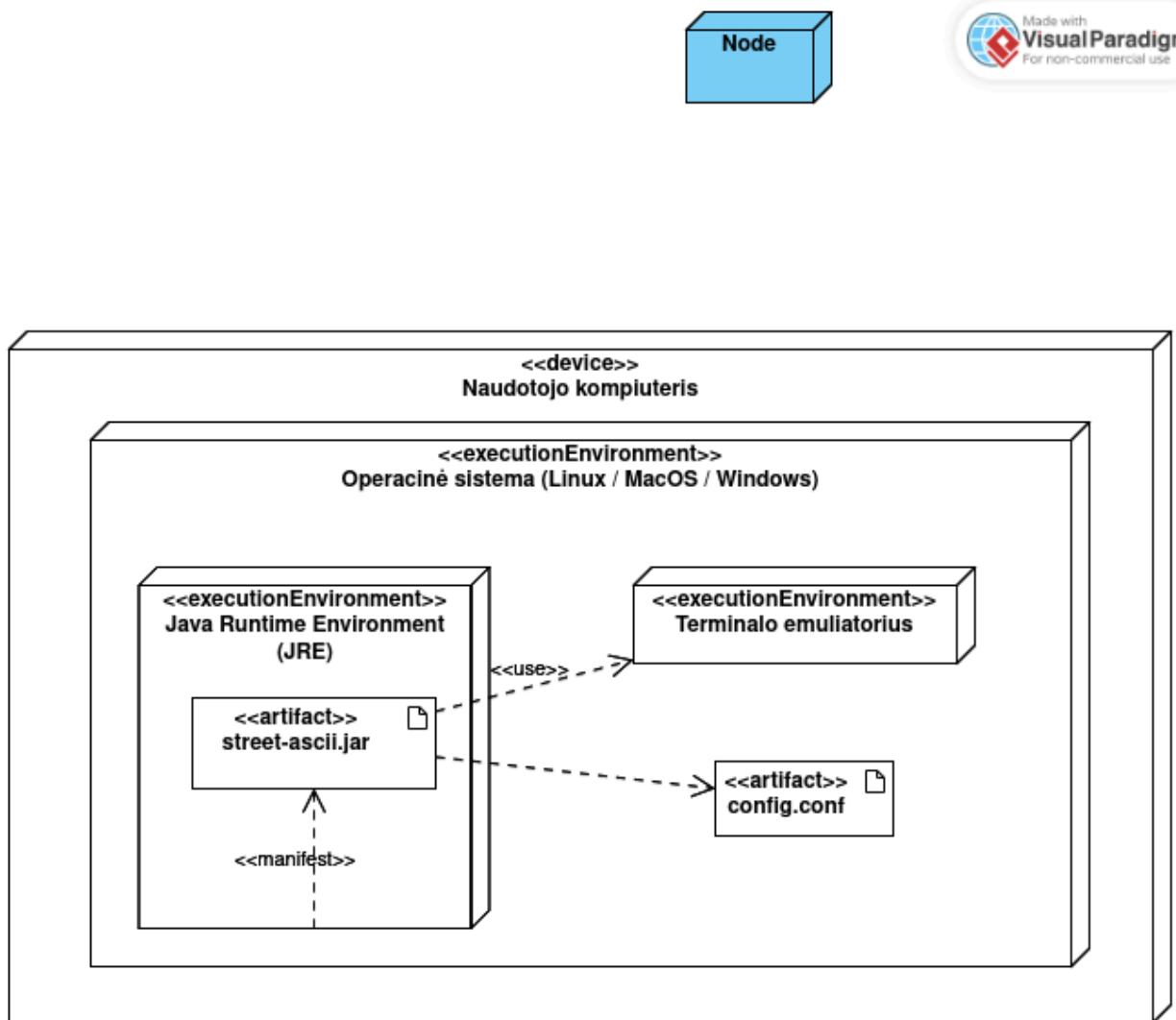
- Programavimo kalba: „Scala“ (su „Java“ virtualia mašina).
- Kūrimo aplinka (angl. *Integrated development environment* arba *IDE*): „IntelliJ IDEA“ su „Scala“ įskiepiu.
- Versijų kontrolės sistema: „Git“, kodui saugoti ir versijuoti, tiketina, naudojant platformą „GitHub“.
- Bibliotekų valdymas ir projekto kompliliavimas: „sbt“ („Scala Build Tool“) – standartinis įrankis „Scala“ projektams.
- Tikslinė aplinka: įvairūs terminalų emulatoriai („Linux“, „macOS“, „Windows“ sistemose), palai-kantys 256 spalvas.

Apibendrinant, projektavimo technologija šiame darbe buvo labiau orientuota į praktinį įgyvendinimą ir laipsnišką sprendimo formavimą, o ne į išankstinių formalų modeliavimą.

### 3.3. Sistemos projektas

#### 3.3.1. Statinis sistemos vaizdas

##### Diegimo diagrama

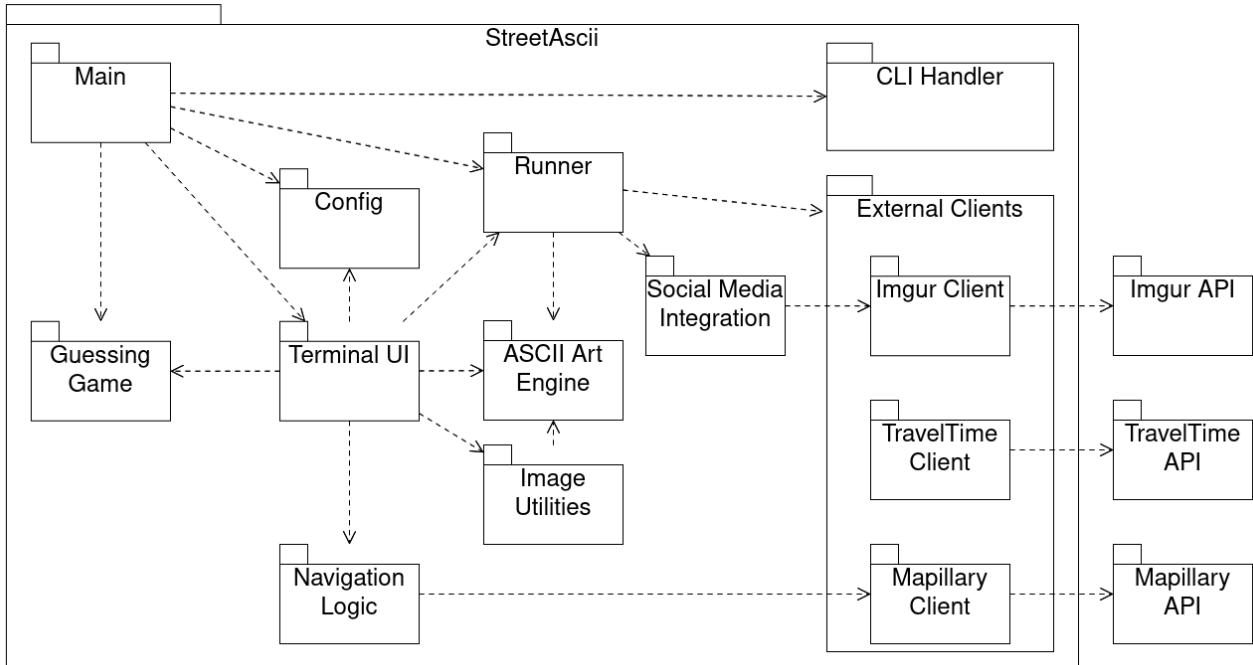


5 pav. Diegimo diagrama

Diegimo diagramos iliustracijoje (5 pav.) matome, jog mūsų programos diegimas nėra sudėtingas.

- Programa turi *.jar* failą, kurio paleidimui reikia JRE („Java Runtime Environment“) [26].
- Programos įvesčiai / išvesčiai yra reikalingas terminalo emuliatorius, pageidautinai palaikantis bent 256 spalvas.
- Programa taip pat priklauso nuo konfigūracinio *file\_name.conf* failo, kurime yra nurodyti įvairių išorinių sąsajų raktai bei kiti programos nustatymai.

## Paketų diagrama



6 pav. Paketų diagrama

Paketų diogramos iliustracijoje (6 pav.) matome, jog mūsų programa yra suskirstyta į įvairius paketus, kiekvienas jų yra atsakingas už skirtingą funkcionalumą. Ryšiai tarp paketų nusako, kaip paketai bendrauja tarpusavyje, t.y. kokie paketai naudoja kitus paketus.

- *Main* – pagrindinis paketas, iš kurio yra paleidžiama programa.
- *Config* – konfigūracinio failo pavertimo „Scala“ tipais logika.
- *CLI Handler* – programos paleidimo naudojant komandinės eilutės argumentus logika.
- *Terminal UI* – terminalo naudotojo sėsajos modulis, suteikiantis ASCII teksto spausdinimo bei naudotojo įvesties (valdymo klaviatūros klavišais) funkcionalumą.
- *ASCII Art Engine* – nuotraukos baitų pavertimas ASCII menu naudojant įvairius algoritmus logika.
- *Navigation Logic* – navigacijos tarp nuotraukų (pvz., atstumo bei krypties skaičiavimo iki arti esančių nuotraukų) logika.
- *Guessing Game* – nuotraukos šalies spėliojimo logika bei išsaugotos lokacijos.
- *Runner* – programos orkestratorius, apjungiantis kelių paketų logiką į paprastas, lengvai naudojanamas funkcijas.
- *Image Utilities* – teksto pavertimo paveikslėliu logika bei įvairių naudotojui skirtų pranešimų saugykla.
- *Social Media Integration* – socialinės medijos pasidalinimo nuorodų formavimo logika.
- *External Clients* – komunikavimo su išorinėmis sėsajomis logika.
  - *Mapillary Client* – komunikacijos su „Mapillary“ [27] API logika nuotraukų gavimui.

- ▶ *TravelTime Client* – komunikacijos su „TravelTime“ [28] API logika geokodavimo (angl. *geocoding*) – adreso pavertimo koordinatėmis – logika.
- ▶ *Imgur Client* – komunikacijos su „Imgur“ [29] API logika nuotraukų išoriniam saugojimui.

Visi šie paketai yra kiek įmanoma izoliuoti, tiesiogiai nepriklausantys nuo kitų. Toks programavimo stilius mums labai padėjo lengvai daryti įvairius progamos pakeitimus bei netrukdyti vienas kitam dirbant komandoje.

## 4. Realizacija

### 4.1. Komandinės eilutės techniniai apribojimai

Kuriant gatvės lygio vaizdų peržiūros programą komandinės eilutės sąsajoje, susiduriama su tam tikrais techniniais apribojimais, kurie būdingi šiai aplinkai ir daro įtaką tiek programos funkcionalumui, tiek naudotojo patirčiai. Nors komandinės eilutės pasirinkimas gali turėti savų privalumų, pavyzdžiu, resursų taupymas, automatizavimo galimybės, prieinamumas specifinėse aplinkose, svarbu aiškiai įvardinti šios technologijos trūkumus kuriamos programos kontekste.

Pagrindinės techninės limitacijos yra šios:

- Apribota įvestis tik klaviatūra:
  - Visa sąveika su programa vyksta tik per klaviatūros komandas ir tekstinę įvestį.
  - Didžioji dalis terminalų nepalaiko pelės ar liečiamojo ekrano įvesties komandų, kurios leistų interaktyvų programos valdymą, pavyzdžiui, paslinkti, priartinti tam tikrą tašką paspaudimu. Tai apsunkina intuityvų naršymą ir geografinės vietos pasirinkimą, įvedimas reikalauja tikslaus adreso ar koordinacių įrašymo.
- Ribotas spalvų palaikymas:
  - Skirtingi terminalų emulatoriai ir operacinės sistemos palaiko skirtingą spalvų skaičių, nuo monochrominio vaizdo iki 8, 16 ar 256 skirtinių spalvų [30].
  - Kuo mažiau spalvų palaiko naudojamas terminalo emulatorius, tuo daugiau informacijos praranda atvaizduojant gatvės lygio vaizdus komandinėje eilutėje. Pateikto pavyzdžio (7 pav.) kairėje nuotrauka atvaizduojama pasitelkiant tik 16 pagrindinių ANSI spalvų, tuo tarpu dešinėje matomos viso 16,7 milijono RGB spekto spalvų.



7 pav. ASCII rezultato palyginimas naudojant skirtingą galimų spalvų kiekį.

- Vienodas teksto dydis:
  - Standartinėse komandinės eilutės aplinkose nėra paprasto būdo vienu metu tame pačiame ekranе atvaizduoti tekstą keliais skirtingais dydžiais kaip įprasta grafinėse sąsajose.
  - Norint sutalpinti didelės raiškos ASCII vaizdą terminale reikia žymiai sumažinti teksto dydį, tačiau tada sumažės ir bus neįskaitomi visi kiti tekstiniai programos elementai. Dėl to projekto kūrimo metu buvo nuspręsta vienu metu atvaizduoti arba sugeneruotą ASCII meną, arba pagalbinį, paaiškinamąjį tekštą.
- Tekstinis vaizdų reprezentavimas:
  - Žemėlapiai ir maršrutai turi būti atvaizduojami naudojant tekstinius ASCII ar Unicode simbolius.
  - Toks vaizdavimas yra gerokai mažiau detalus nei vektoriniai ar rastriniai vaizdai grafinėse sąsajose. Sudėtingų gatvės lygio fotografijų atvaizdavimas yra labai supaprastintas ir informatyvumu niekada neprilygs originalioms rastrinėms nuotraukoms.

- Grafinių elementų trūkumas:
  - ▶ Skirtingi terminalų emuliatoriai nepalaiko įprastų grafinių elementų, tokų kaip jaustukai (angl. *emoji*), krypties rodyklės [31]. Tai apsunkina informacijos perteikimo galimybes ir tenka ieškoti alternatyvų arba išvis atsisakyti tam tikrų sprendimų.
- Sudėtingesnė naudotojo sąsaja:
  - ▶ Naudotojai turi išmokti specifines programos komandas, jų sintaksę ir parametrus. Nėra vizualių meniu, mygtukų ar užuominų, kurios padėtų atrasti funkcijas.
  - ▶ Navigacijos užduotys, kurios grafinės sąsajos aplinkoje būtų atliekamos keliais paspaudimais, komandinėje eilutėje dažnai reikalauja net kelių komandų įvedimo.
- Ribotos dinaminio atnaujinimo galimybės:
  - ▶ Nors įmanoma atnaujinti ekrano turinį iš naujo užkraunant programos turinį, sklandus, realaus laiko vaizdo atnaujinimas yra techniškai sudėtingesnis ir dažnai sukelia ekrano mirgėjimą.
  - ▶ Tai padaro perėjimą tarp skirtinės gatvės lygio vaizdų mažiau malonų akių, žinoma, anksčiau minėtas ekrano mirgėjimas gali neigiamai įtakoti epilepsija turinčių naudotojų patirtį.

Kaip matome, pasirinkimas kurti komandinės eilutės programą verčia apsvartyti daug naujų aspektų, į kuriuos neturėtume kreipti dėmesio naudojant grafinę sąsają. Programos veikimas priklauso nuo didelio kieko kintamųjų, kurių dalis net nepriekauso nuo mūsų – programos kūrėjų. Programos išvaizda ir elgsena gali nežymiai skirtis priklausomai nuo naudojamo terminalo emuliatoriaus ir jo konfigūracijos (šriftai, spalvų schemas, Unicode palaikymas). Užtikrinti visiškai vienodą patirtį visose platformose ir terminaluose yra sudėtinga, tačiau būtina, jog programa galėtų būti paleista ir jos bazinės funkcijos veiktu teisingai.

## 4.2. Gatvės vaizdo sąsajos pasirinkimas

Vienas iš esminių šio projekto reikalavimų – prieiga prie gatvės lygio panoraminės vaizdinės medžiagos. Tokie duomenys leidžia naudotojui virtualiai „keliauti“ ir tyrinėti aplinką. Rinkoje egzistuoja keletas platformų, teikiančių tokius duomenis per programavimo sąsajas (API), tačiau jų prieigos modeliai, duomenų aprėptis ir kainodara ženkliai skiriasi. Šiame skyriuje aptariamas sąsajos pasirinkimo procesas ir pagrindiniai motyvai, lėmę galutinį sprendimą.

### 4.2.1. Pirminis kandidatas: „Google Street View“

Natūralus pirmasis pasirinkimas daugeliui projektų, susijusių su gatvių vaizdais, yra „Google Street View“. Ši platforma yra plačiausiai žinoma ir pasižymi bene didžiausia geografine duomenų aprėptimi pasaulyje. „Google“ teikia prieigą prie šių duomenų per „Google Maps Platform“ paslaugų rinkinį, išskaitant „Street View Static API“ [32].

Pagrindiniai „Google Street View“ privalumai projektui būtų buvę:

- Didžiulė aprėptis: galimybė naudotis vaizdais iš daugybės vietovių visame pasaulyje.
- Duomenų kokybė ir aktualumas: dažnai atnaujinami ir aukštos raiškos vaizdai.
- Išplėtota sąsaja: palyginti gerai dokumentuota ir plačiai naudojama sąsaja.

Tačiau pagrindinė kliūtis, sutrukdomasi pasirinkti „Google Street View“, buvo jos kainodaros modelis. Nors „Google Maps Platform“ galbūt gal suteikti nemokamo naudojimo galimybes, pats kainodaros modelis (angl. *pay-as-you-go*) ir jo stebėjimas gali būti painus akademinio projekto kontekste, kur biudžetas yra itin ribotas arba jo nėra visai. Projektui, kurio metu vykdomas intensyvus kūrimas, eksperimentavimas ir testavimas (ypač naršant ir nuolat keičiant vaizdus), egzistavo reali rizika greitai išnaudoti nemokamą mėnesinį kreditą (jei toks išvis yra) ir netikėtai patirti išlaidų. Kadangi mokami planai viršijo projekto finansines galimybes [33], o dalinai nemokamas modelis kėlė neapibrėžtumo, buvo nuspręsta ieškoti alternatyvos, kuri siūlytų visiškai nemokamą ir aiškesnę prieigą prie duomenų.

Šis poreikis išvengti bet kokios finansinės rizikos ir sudėtingumo tapo esminių veiksnių ieškant kitos platformos.

#### **4.2.2. Alternatyvų paieška ir „Mapillary“ pasirinkimas**

Susidūrus su „Google Street View“ kainodaros apribojimais, buvo pradėta ieškoti alternatyvių platformų, kurios tektų prieigą prie gatvės lygio vaizdų per programavimo sasają ir turėtų projektui priimtinesnį prieigos modelį. Po analizės buvo pasirinkta platforma „Mapillary“ [34].

„Mapillary“, kurį 2020 metais įsigijo „Meta“ (anksčiau „Facebook“) [35], yra bendruomenės principais paremta platforma, skirta gatvės lygio vaizdams rinkti ir dalintis. Jos pasirinkimą lėmė keli pagrindiniai veiksnių:

1. Nemokama programavimo sasajos prieiga: „Mapillary“ teikia programavimo sasają („Mapillary API v4“), kuri leidžia nemokamai gauti prieigą prie vaizdų sekų, metaduomenų ir pačių vaizdų [27]. Nors ir egzistuoja tam tikri naudojimo limitai bei, kaip pastebėta techninių galimybių analizėje, kartais pasitaiko patikimumo problemų dėl didelio serverių apkrovimo, nemokamas prieigos modelis buvo esminis veiksnyς, leidęs testi projektą neperžengiant biudžeto ribų.
2. Atvirų duomenų aspektai ir bendruomenės indėlis: nors pati „Mapillary“ platforma ir jos pagrindinė programinė įranga nėra atviro kodo (angl. *open source*), jos veikimo principas remiasi bendruomenės kuriamais duomenimis. Didelė dalis i „Mapillary“ įkeltų vaizdų yra licencijuojami pagal atvirą „Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International“ (CC BY-SA) licenciją [36, 37]. Tai reiškia, kad duomenys gali būti laisvai naudojami (nurodant autorystę ir platinant išvestinius kūrinius ta pačia licencija), kas atitinka akademinio projekto dvasią. Be to, „Mapillary“ aktyviai integruojasi su „OpenStreetMap“ projektu, papildydama jį gatvių vaizdais.
3. Galimybė prisidėti prie duomenų rinkimo: „Mapillary“ leidžia bet kam įkelti savo surinktus gatvių vaizdus naudojant išmanujį telefoną ar kitas kameras [38]. Tai suteikia potencialią galimybę patiemems projekto autoriams ar kitiems entuziastams papildyti duomenų bazę tose vietovėse, kurios projektui yra aktualios, bet „Mapillary“ aprėptis yra nepakankama. Šis aspektas ypač svarbus nišiniams ar lokaliems projektams.
4. Pakankamas funkcionalumas projektui: Nors „Mapillary“ sasaja galbūt nėra tokia išplėtota ar turinti tiek pagalbinių funkcijų kaip „Google Maps Platform“, ji suteikė visas projektui būtinias pagrindines galimybes: gauti vaizdus pagal geografines koordinates, naršyti vaizdų sekas (judėti pirmyn ir atgal) ir gauti reikalingus metaduomenis (pvz., vaizdo kryptį).

#### **4.2.3. Išvada**

Nors „Google Street View“ iš pradžių atrodė kaip technologiskai pranašesnis dėl savo aprėpties ir brandumo, jos kainodara buvo nepriimtina šiam akademiniam projektui. „Mapillary“ buvo pasirinkta kaip tinkamiausia alternatyva dėl savo nemokamo programavimo sasajos prieigos modelio, bendruomenės kuriamų ir dažnai atviromis licencijomis prieinamų duomenų bei galimybės patiemems prisidėti prie duomenų bazės pildymo. Nors teko susitaikyti su potencialiai mažesne geografine aprėptimi tam tikrose vietovėse ir kartais pasitaikančiais programavimo sasajos patikimumo svyruvimais, šie kompromisai leido įgyvendinti projekto tikslus laikantis nustatytų resursų ribų.

### **4.3. Papildomai naudotos sasajos**

Taip pat naudojome dvi papildomas išorines sasajas, siekiant suteikti papildomo funkcionalumo mūsų programai.

#### **4.3.1. „TravelTime“: Geokodavimo ir kelionės laiko analizės platforma**

„TravelTime“ [39] yra specializuota platforma, teikianti pažangius irankius darbui su geografine informacija, ypač orientuotas į kelionės laikų skaičiavimą ir maršrutizavimą įvairiomis transporto priemonėmis. Platforma leidžia ne tik nustatyti kelionės trukmę tarp taškų, bet ir generuoti pasiekiamumo zonas, analizuoti maršrutus bei atlkti kitas su lokacija susijusias operacijas.

Šiame projekte pagrindinis „TravelTime“ platformos panaudojimas yra susijęs su jos teikiama geokodavimo (angl. *geocoding*) paslauga. Geokodavimas – tai procesas, kurio metu tekstinis adresas (pvz., gatvė, namo numeris, miestas) yra paverčiamas tiksliomis geografinėmis koordinatėmis (platumą ir ilgumą). Ši funkcija yra prieinama per „TravelTime“ programavimo sasažą (API) [28]. Mūsų kuriamoje programoje šis funkcionalumas yra kritiskai svarbus naudotojo patogumui: jis leidžia naudotojui tiesiog įvesti norimos vietas adresą, o programa, pasinaudodama „TravelTime“ paslauga, automatiškai nustato tos vietas koordinates. Šios koordinatės vėliau naudojamos kitoms programos funkcijoms, pavyzdžiu, pradinio taško nustatymui žemėlapyje ar gatvės vaizdų paieškai aplink nurodytą adresą. Sprendimą integruti būtent „TravelTime“ platformą lėmė keli esminiai veiksniai:

1. Komandos nario patirtis ir prieiga: vienas iš projekto komandos narių (Arnas Bradauskas) dirba „TravelTime“ įmonėje. Ši aplinkybė suteikė unikalią galimybę gauti tiesioginę techninę pagalbą, gilesnį API veikimo principų supratimą ir greitesnį galimų problemų sprendimą. Tai ypač vertinga vykdant projektą su ribotais laiko ištakliais.
2. Funkcionalumo tikslumas ir patikimumas: „TravelTime“ geokodavimo paslauga pasižymi aukštu tikslumu ir patikimumu, kas yra būtina salyga norint užtikrinti kokybišką programos veikimą ir teigiamą naudotojo patirtį. Netikslus adresų konvertavimas galėtų lemти klaidingą programos elgseną ir prastus rezultatus.
3. Specializuota paskirtis: nors egzistuoja ir kitų geokodavimo paslaugų teikėjų, „TravelTime“ specializacija lokacijos analizės srityje ir jų įsipareigojimas teikti kokybiškus geografinius duomenis padarė šią platformą patraukliu pasirinkimu projektui, kurio viena iš kerninių funkcijų yra darbas su adresais ir koordinatėmis.

Nors projekte tiesiogiai neišnaudojamos visos „TravelTime“ kelionių laikų skaičiavimo galimybės, jos geokodavimo funkcionalumas tapo svarbia programos dalimi, užtikrinančia sklandų adresų pavertimą koordinatėmis.

#### **4.3.2. „Imgur“: Vaizdų talpinimo ir dalinimosi paslauga**

„Imgur“ [40] yra plačiai žinoma ir viena populiariausių internetinių platformų, skirta vaizdinei medžiagai – nuotraukoms, GIF animacijoms ir trumpiemis vaizdo klipams – talpinti, saugoti bei ja dalintis su kitais interneto naudotojais. Platforma pasižymi paprastu naudojimu ir didele naudotojų bendruomene.

Projekto kontekste „Imgur“ platforma yra pasitelkiama kaip išorinė paslauga, leidžianti automatizuoti nuotraukų įkėlimo procesą ir gauti stabilias, viešai prieinamas nuorodas į įkeltus vaizdus. Šiam tikslui naudojama „Imgur“ programavimo sasaža (API) [29], kuri suteikia galimybę programiškai valdyti nuotraukų įkėlimą be tiesioginio naudotojo įsikišimo į „Imgur“ svetainę. Mūsų programoje ši funkcija veikia taip: sugeneruota ar apdorota nuotrauka yra automatiškai įkeliamā į „Imgur“ serverius. Sėkmingai įkėlus, „Imgur“ API grąžina unikalią, tiesioginę nuorodą į tą nuotrauką.

Gauta nuoroda yra itin svarbi įgyvendinant programos socialinės medijos pasidalinimo funkcionalumą. Kai naudotojas nori pasidalinti programos turiniu (pvz., įdomiu rastu vaizdu) socialiniuose tinkluose, būtina turėti viešai prieinamą nuorodą į vaizdą. „Imgur“ suteikta nuoroda užtikrina, kad dalinantis informacija socialiniuose tinkluose būtų korektiškai atvaizduojama nuotraukos peržiūra (angl. *rich preview*), taip padidinant įrašo patrauklumą ir informatyvumą.

„Imgur“ platformos pasirinkimą šiam tikslui lėmė šie pagrindiniai privalumai:

1. Nemokamas naudojimas ir prieinamumas: „Imgur“ leidžia nemokamai talpinti didelį kiekį vaizdų ir naudotis jos API (su tam tikrais užklausų limitais), kas yra ypač aktualu akademiniu ar asmeniniu projekto kontekste, kur biudžetas dažnai yra ribotas arba jo nėra.
2. Paprasta ir gerai dokumentuota API: „Imgur“ API yra palyginti nesudėtinga integruoti į įvairias programavimo kalbas ir platformas. Jos dokumentacija yra aiški, o pats integracijos procesas nereikalauja didelių laiko sąnaudų.

Atsižvelgiant į šiuos veiksnius, „Imgur“ buvo pasirinkta kaip efektyvus ir praktiškas sprendimas projekto poreikiams, susijusiems su automatizuotu nuotraukų talpinimu ir jų nuorodų panaudojimu socialinės medijos integracijoje.

## 4.4. Naudotojo sasajos bibliotekos pasirinkimas

Kuriant komandinės eilutės aplikaciją, ypač interaktyvią, svarbus sprendimas yra naudotojo sasajos (angl. *Terminal User Interface – TUI*) realizavimo būdas. Nors projekto pagrindinis tikslas buvo atvaizduoti gatvių vaizdus ASCII formatu, reikėjo mechanizmo naudotojo įvesties (navigacijos komandų) apdorojimui ir informacijos (pvz., pagalbos, būsenos pranešimų) pateikimui. Siame skyriuje aptariamas TUI sprendimo pasirinkimo procesas. Kaip minėta ankstesniuose skyriuose, pagrindiniu aplikacijos karkasu buvo pasirinktas „Cats Effect“, todėl TUI sprendimas turėjo derėti prie šios ekosistemos.

### 4.4.1. Pradinis bandymas: „tui-scala“

Pradiniame etape buvo svarstoma galimybė naudoti egzistuojančią TUI biblioteką, siekiant paspartinti kūrimo procesą ir pasinaudoti paruoštais naudotojo sasajos komponentais (langais, lentelėmis, sąrašais). Buvo pasirinkta išbandyti biblioteką „tui-scala“ [41]. Tai yra „Scala“ kalbai skirta sasaja (angl. *wrapper*) populiariai „Rust“ kalbos bibliotekai „tui-rs“, kuri siūlo deklaratyvų būdą kurti sudėtingas terminalo sasajas.

Tikėtasi, kad „tui-scala“ leis lengvai sukurti struktūrizuotą naudotojo sasają, galbūt su atskirais langais informacijai ar navigacijos parinktimis.

### 4.4.2. „tui-scala“ apribojimai ir iššūkiai

Tęsiant įgyvendinimą naudojant „tui-scala“, paaiškėjo keletas esminių trūkumų, kurie trukdė pasiekti projekto tikslus:

1. Spalvų palaikymo apribojimai: svarbiausia problema buvo susijusi su spalvų atvaizdavimu. Norint kuo tiksliau perteikti fotografinį vaizdą ASCII formatu, būtina išnaudoti platesnes terminalo spalvų galimybes (idealiu atveju – 256 spalvas arba 24 bitų „True Color“). Atliekant bandymus paaiškėjo, kad „tui-scala“ (arba jos sasaja su „tui-rs“ tuo metu) efektyviai apridojo spalvų naudojimą iki standartinės 16 spalvų paletės. Net bandant nurodyti specifines RGB reikšmes, jos dažnai buvo konvertuojamos į artimiausią atitinkmenį iš 16 spalvų rinkinio. Tai ženkliai sumažino generuojamo ASCII vaizdo detalumą ir vizualinį patrauklumą.
2. Sasajos sudėtingumas ir ekrano ploto poreikis: Projekto eigoje tapo aišku, kad pagrindinis prioritetas yra maksimaliai

išnaudoti terminalo ekrano plotą pačiam ASCII vaizdui. Kuo didesnė skiriamoji geba (simbolių skaičius), tuo detalesnį vaizdą galima pavaizduoti. Sudėtingesni „tui-scala“ komponentai (pvz., rėmeliai, atskiri langai meniu) būtų užėmę brangų ekrano plotą, kuris galėjo būti panaudotas pačiam vaizdui. Kadangi pagrindinė aplikacijos funkcija – vaizdo atvaizdavimas, o naudotojo sąveika apsi-

riboja keliomis paprastomis komandomis (navigacija, pagalba, išėjimas), pilnavertės TUI bibliotekos teikiamos galimybės tapo neberekalingos ir netgi trukdančios.

#### **4.4.3. Sprendimas: nuosavas TUI modulis**

Atsižvelgiant į „tui-scala“ apribojimus, buvo priimtas sprendimas atsisakyti išorinės TUI bibliotekos ir sukurti nuosavą, minimalų TUI modulį, pritaikytą specifiniams projekto poreikiams. Šis modulis, matomas pateiktame *CustomTUI.scala* kode, remiasi keliomis pagrindinėmis technologijomis ir principais:

1. Tiesioginis terminalo valdymas su „JLine“: buvo panaudota „Java“ biblioteka „JLine“ [42]. Ji suteikia galimybę žemu lygiu sąveikauti su terminalu:
  - Ijungti „raw“ režimą (*terminal.enterRawMode()*), kuris leidžia nuskaityti kiekvieną klavišo paspaudimą iš karto, neatliekant standartinio eilutės buferizavimo ar redagavimo.
  - Tiesiogiai nuskaityti naudotojo įvestį (*terminal.reader().read()*).
  - Valdyti terminalo būseną, pavyzdžiui, išvalyti ekraną naudojant terminalo galimybes (*terminal.puts(InfoCmp.Capability.clear\_screen)*).
2. Tiesioginis ANSI spalvų kodų generavimas: siekiant įveikti 16 spalvų apribojimą, buvo realizuota funkcija, kuri tiesiogiai generuoja ANSI escape sekas 24 bitų „True Color“ spalvoms (pvz., *u001B[38;2;r;g;bm*). Tai leido perduoti terminalui tikslią RGB informaciją kiekvienam ASCII simboliumi, jei terminalo emulatorius palaiko šį režimą.
3. Efektyvus išvedimas su *BufferedWriter*: siekiant optimizuoti viso ekrano perpiešimą (kas vyksta keičiant vaizdą), išvedimui į terminalą buvo naudojamas *java.io.BufferedWriter*. Tai leidžia sukaupti visą perpiešiamą ekrano turinį į buferį (angl. *buffer*) ir išvesti jį vienu kartu, kas yra efektyviau nei rašyti kiekvieną simbolį ar eilutę atskirai.
4. Minimalizmas: nuosavas modulis realizuoja tik būtiniausią funkcionalumą: spalvoto ASCII tinklelio atvaizdavimą, ekrano valymą ir klavišų nuskaitymą. Neapkraunama papildomais komponentais, kurių projektui nereikia.

#### **4.4.4. Išvada**

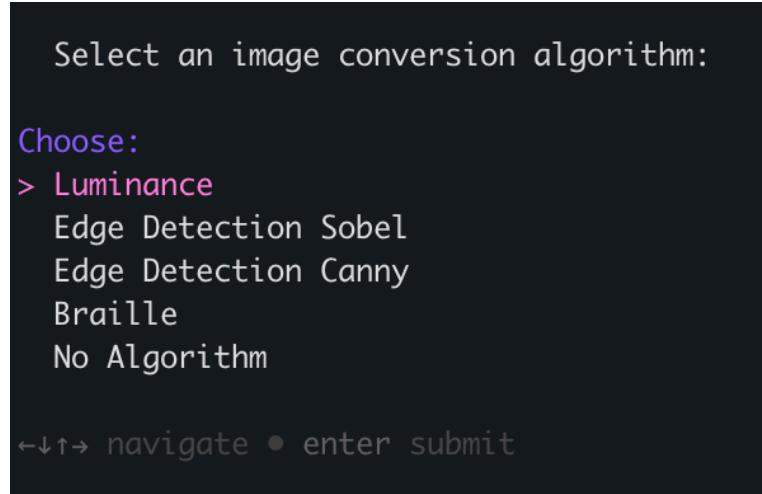
Nors išorinės TUI bibliotekos, tokios kaip „tui-scala“, siūlo patogius įrankius standartinėms terminalo sąsajoms kurti, šio projekto specifiniai reikalavimai – ypač poreikis tiksliai valdyti spalvas (daugiau nei 16) ir maksimaliai išnaudoti ekrano plotą vaizdui – atskleidė jų trūkumus. Sprendimas sukurti nuosavą, minimalų TUI modulį naudojant „JLine“ ir tiesioginį ANSI kodų generavimą, nors ir pareikalavo daugiau pradinio programavimo pastangų, leido įveikti šiuos apribojimus ir pasiekti norimą rezultatą – spalvotą ASCII gatvės vaizdą, užimantį visą terminalo langą, su paprastu klaviatūros valdymu.

### **4.5. Programos konfigūravimas**

Kadangi gatvės lygio navigavimo programa turi daug skirtingų nustatymų, kaip algoritmai, simbolių rinkiniai, spalvų filtrai ir kiti, kiekvienu kartą pasirinkti juos per programos parametrus būtų nepatogu. Todėl buvo priimtas sprendimas programos nustatymus importuoti iš HOCON konfigūracinio failo. Visa šio failo tipo esmė yra naudoti JSON semantiką, tačiau atvaiduoti jį lengvai žmogui įskaitomu stiliumi [43]. Sekant naudotojo dokumentaciją ši failą tūrėtų būti nesunku keisti rankiniu būdu. Žinoma, taip naudotojai gali pasirinkti neoptimalius nustatymus. Dėl šios priežasties buvo sukurti konfigūraciniai scenarijai dar labiau palengvinantys konfigūravimą. Šie scenarijai buvo pritaikyti populiariausioms operacinėms sistemoms: „Windows“, „Macos“, „Linux Debian“. Šie naudoja „Gum“

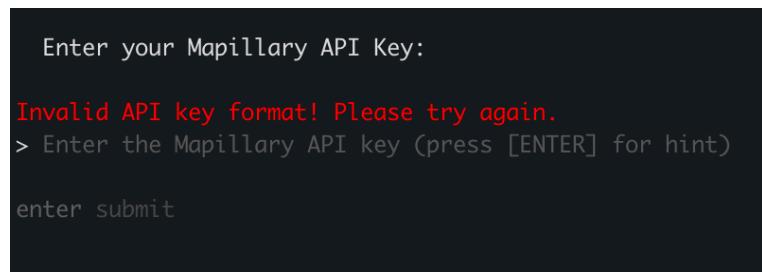
TUI biblioteką skirtą pagražinti konfigūracinius vedlio scenarijus [44]. Naudotojui pačiam instaliuoti jokių papildomų bibliotekų nereikės, visa tai atliekama automatiškai pirmąkart paleidus scenarijų. Konfigūraciniai scenarijai veda naudotoją per visus programos nustatymus, kai kurie iš jų yra būtini, kai kurie – ne. Juose egzistuoja dviejų tipų įvestys:

- Pasirenkami nustatymai – tai parinktys, kurias tereikia pasirinkti iš galimų variantų (8 pav.). Tai būna sąrašas galimybių, per kurias naviguojama rodyklių pagalba .



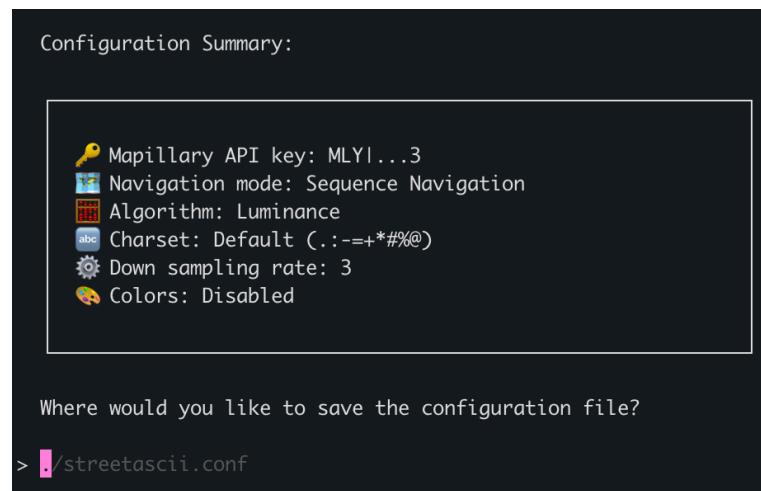
**8 pav.** Pasirenkamas konfigūracinio scenarijaus nustatymas.

- Įvedami nustatymai – naudotojas šiuos nustatymus turi įvesti pats, tai dažniausiai bus skaitinės reikšmės arba API raktai (9 pav.). Šie pasirinkimai yra ribojami įvesties validacijos.



**9 pav.** Irašomas konfigūracinio scenarijaus nustatymas.

Galiausiai, kai pasirenkami visi parametrai – naudotojui pristatoma konfigūracijos apžvalga ir leidžiama sukurti konfigūracinį failą (10 pav.). Po šio žingsnio jau esame pasiruošę paleisti pagrindinę programą.



**10 pav.** Konfigūracijos pasirinkimo apžvalga.

## 4.6. Programos paleidimas

Programos paleidimas per komandinę eilutę yra fundamentalus interakcijos būdas, suteikiantis lankstumo ir galimybę automatizuoti užduotis. Mūsų kuriama „StreetAscii“ programa nėra išimtis – jai reikalinga sistema, leidžianti naudotojui nurodyti įvairius paleidimo parametrus. Programa palaiko keturis pagrindinius veikimo režimus:

1. Pagal „Mapillary“ nuotraukos identifikatorių.
2. Pagal geografinės koordinates.
3. Pagal vietovės adresą.
4. Lokacijos spėliojimo režimu.

Kiekvienas iš šių režimų gali turėti specifinius, jam būdingus argumentus. Pavyzdžiu, visi režimai leidžia nurodyti kelią iki konfigūracinio failo naudojant `--config` (arba `-c`) parinktį. Be to, naudotojui turi būti prieinama aiški ir struktūruota pagalbos informacija (`--help`), detalizuojanti galimas komandas, jų parinktis ir vėliavėles (angl. *flags*).

### 4.6.1. Techninių reikalavimų analizė ir bibliotekos pasirinkimas

Siekiant efektyviai valdyti komandinės eilutės argumentus Scala programoje, patogu naudoti tam skirtą įskiepį. Pagrindiniai reikalavimai tokiai bibliotekai buvo šie:

- Deklaratyvi sasaja: galimybė apibrėžti komandų struktūrą (subkomandas, parinktis, argumentus) aiškiai ir glaučiai.
- Tipų saugumas: biblioteka turėtų užtikrinti, kad išanalizuoti argumentai atitiktų nurodytus tipus (pvz., `String`, `Int`, pasirinktinis tipas), taip sumažinant klaidų tikimybę programos vykdymo metu.
- Automatinis pagalbos generavimas: gebėjimas automatiškai sukurti informatyvius pagalbos pranešimus pagal apibrėžtą komandų struktūrą.
- Klaidingo įvedimo valdymas: aiškūs ir naudingi pranešimai naudotojui, jei argumentai įvesti neteisingai.
- Kompoziciškumas: galimybė lengvai derinti ir komponuoti skirtinges komandų dalis, ypač dirbant su subkomandomis.
- Integracija su funkcinio programavimo paradigma: kadangi projektas kuriamas naudojant Scala ir funkcinio programavimo principus (pvz., „Cats Effect“ biblioteką efektams valdyti), pageidautina, kad argumentų analizės biblioteka natūraliai įsilietų į šią ekosistemą.

Atsižvelgiant į šiuos kriterijus, projekte buvo pasirinkta „Decline“ [45] biblioteka. „Decline“ yra kompozicinė komandinės eilutės argumentų analizės biblioteka Scala kalbai, įkvėpta „Haskell“ bibliotekos „optparse-applicative“.

Pagrindiniai „Decline“ privalumai, lėmę jos pasirinkimą:

1. Funkcinis ir kompozicinės dizainas: „Decline“ leidžia konstruoti komandų analizatorius (angl. *parsers*) naudojant aplifikatyvinius funktorius (angl. *applicative functors*) ir kitus funkcinio programavimo konstruktus. Tai užtikrina aukštą kompoziciškumo lygį ir leidžia elegantiškai apibrėžti sudėtingas komandų struktūras. Užuot rašius imperatyvų kodą argumentams tikrinti ir išrinkinėti, su „Decline“ komandų struktūra aprašoma deklaratyviai, o biblioteka pasirūpina analizės logika.
2. Tipų saugumas: analizuojant argumentus, „Decline“ grąžina reikšmes su Scala tipais. Jei naudotojas pateikia argumentą, neatitinkančią laukiamo tipo (pvz., teksto vietoj skaičiaus), biblioteka automatiškai sugeneruos klaidą dar prieš programos logikai pradedant vykdyti pagrindines užduotis. Tai padeda anksti aptikti klaidas ir užtikrina didesnį programos patikimumą.
3. Automatinis pagalbos meniu: biblioteka automatiškai generuoja `--help` išvestį, kuri yra nuosekli ir pritaikyta apibrėžtomis komandoms bei parinktimis. Kaip matyti iš pateiktų naudojimo pavyzdžių programos paleidimo dokumentacijoje, pagalbos meniu yra kontekstinis – *street-ascii.jar --help*

rodo bendrą informaciją, o *street-ascii.jar guessing --help* rodo specifinę informaciją *guessing* subkomandai. Ši funkcija suaupo daug laiko, nes nereikia rankiniu būdu kurti ir palaikyti pagalbos tekštų.

4. Minimalios priklausomybės: „Decline“ turi nedaug išorinių priklausomybių, kas yra privalumas siekiant išlaikyti projekto priklausomybių medžiagą mažesnį ir išvengti galimų konfliktų.
5. Geras integravimas su „Cats“ ekosistema: nors „Decline“ tiesiogiai nepriklauso nuo „Cats“, jos funkcinis stilius ir naudojami modeliai (pvz., *Validated* klaidų kaupimui) gerai dera su „Cats“ ir „Cats Effect“ naudojamais principais.

#### **4.6.2. Argumentų struktūros įgyvendinimas su „Decline“**

Programoje „StreetAscii“ „Decline“ biblioteka naudojama apibrėžti pagrindinę komandų struktūrą. Yra viena pagrindinė komanda (*StreetAscii*), kuri gali būti iškiesta su viena iš keturių subkomandų: *id*, *coordinates*, *address* arba *guessing*. Kiekviena subkomanda gali turėti savo specifines parinktis. Pavyzdžiu, *coordinates* ir *address* subkomandos papildomai priima *--radius* parinktį paieškos spinduliu nurodyti, o visos subkomandos priima neprivalomą *--config* (arba *-c*) parinktį konfigūracijos failo kelio nurodymui.

Biblioteka leidžia apibrėžti kiekvieną parinktį (pvz., *--config*), argumentą (pvz., konkretus ID *id* subkomandai) ar vėliavėlę (pvz., *--help*) kaip atskirą analizatorių. Šie individualūs analizatoriai veliau jungiami (komponuojami) į sudėtingesnes struktūras, atitinkančias subkomandas, o galiausiai – į vieną bendrą komandos analizatorių.

Šis deklaratyvus būdas aprašyti komandinės eilutės sąsają ne tik supaprastina patį argumentų analizės logikos kūrimą, bet ir užtikrina, kad naudotojui pateikiama pagalbos informacija bei klaidų pranešimai būtų nuoseklūs ir automatiškai atnaujinami pasikeitus komandų struktūrai.

Naudojant „Decline“, programos pagrindinė paleidimo logika gali tiesiog perduoti komandinės eilutes argumentus (*args: Array[String]*) bibliotekai. „Decline“ atlieka analizę ir, sėkmės atveju, grąžina tipizuotą objektą, reprezentuojantį pasirinktą veikimo režimą ir jo parametrus (pvz., objektą, nurodantį, kad pasirinktas *guessing* režimas ir pateiktas konkretus konfigūracijos failo kelias). Nesėkmės atveju (pvz., trūksta privalomo argumento arba pateiktas neteisingas formatas), „Decline“ grąžina klaidą, kurią programa gali tvarkingai apdoroti ir parodyti naudotojui informatyvų pranešimą, dažnai kartu su pasiūlymu pasinaudoti *--help*.

Apibendrinant, „Decline“ pasirinkimas leido sukurti tvirtą, tipų saugią ir naudotojui draugišką komandinės eilutės sąsają, minimaliomis pastangomis įgyvendinant sudėtingus reikalavimus dėl skirtingų paleidimo režimų ir jų parametrų. Tai leido kūrėjams labiau susikoncentruoti į pagrindinę programos funkcionalumą, o ne į komandinės eilutės argumentų analizės subtilybes.

#### **4.6.3. Išvados**

Praktikoje, kuriant *address* subkomandą, paaškėjo tam tikras jos naudojimo ypatumas. Nors galimybė paleisti programą nurodant vietovės adresą yra patogi, geokodavimo paslauga (šiuo atveju „TravelTime API“) paprastai grąžina koordinates, atitinkančias objekto ar pastato centrą. Kadangi „Mapillary“ gatvės lygio vaizdų padengimas retai būna pačiame pastato centre (dažniau aplinkinėse gatvėse), tiesioginis šių koordinačių naudojimas su numatytuoju mažu paieškos spinduliu dažnai neduoda rezultatų. Dėl šios priežasties, naudojant paleidimą pagal adresą, naudotojui dažnai tenka rankiniu būdu padidinti paieškos spindulį per *--radius* parinktį, kad programa rastų artimiausius padengtus gatvės vaizdus aplink geokoduotą tašką. Tai šiek tiek sumažina pradinį šios funkcijos patogumą, tačiau galimybė reguliuoti spindulį išlieka svarbi.

Be šio vieno nepatogumo, visos kitos subkomandos veikė kaip tikėtasi, nes naudotojas turi nurodyti arba konkrečias koordinates, arba nuotraukos identifikatorių – tokiu atveju naudotojas turi galimybę tiksliai valdyti, ką jis nori pamatyti, nepriklausomai nuo geokodavimo rezultato.

## 4.7. Naudotojo sasajos ir navigacijos projektavimas

Sukūrus nuosavą TUI modulį, kitas svarbus etapas buvo suprojektuoti naudotojo sasają (UI) ir sąveikos (UX) modelį, kuris leistų intuityviai naršyti gatvių vaizdus ASCII formatu komandinės eilutės aplinkoje. Pagrindinis iššūkis – suderinti poreikį pateikti kuo detalesnį vaizdą su būtinybe suteikti naudotojui valdymo įrankius ir grįztamąjį ryšį, visa tai darant tekstinėje aplinkoje be tradicinių grafinių elementų.

### 4.7.1. Pagrindiniai projektavimo principai

Projektuojant sasają, vadovautasi keliais pagrindiniais principais:

1. Vaizdo Prioritetas: svarbiausias tikslas buvo maksimaliai išnaudoti terminalo lango plotą pačiam ASCII gatvės vaizdui. Dėl šios priežasties atsisakyta nuolat matomų sasajos elementų (pvz., meniu juostų, būsenos eilučių), kurie atimtų vietą iš vaizdo.
2. Minimalizmas ir Paprastumas: valdymas turėjo būti kuo paprastesnis, naudojant nedidelį kiekį lengvai įsimenamų komandų (klavišų). Vengta sudėtingų komandų sekų ar daugiapakopių meniu.
3. Tiesioginė Sąveika: naudojant „JLine“ bibliotekos „raw“ režimą, siekta, kad sistema reaguotų į kiekvieną klavišo paspaudimą nedelsiant, suteikiant tiesioginės kontrolės pojūtį.
4. Kontekstinė Informacija: papildoma informacija (pvz., pagalba, navigacijos parinktys) turėjo būti pateikiama tik tada, kai jos reikia, laikinai uždengiant pagrindinį vaizdą, o ne būnant matomai nuolat.

### 4.7.2. Sąveikos modelis

Pasirinktas sąveikos modelis yra pagrįstas būsenomis (angl. *state-based*) ir valdomas vieno simbolio komandomis. Pagrindinė būsena yra ASCII gatvės vaizdo rodymas. Naudotojui paspaudus tam tikrą klavišą, programa pereina į kitą būseną arba atlieka veiksmą:

- Vaizdo rodymas (pagrindinė būsena): rodydamas vaizdą, programa laukia naudotojo įvesties.
- Veiksmo sužadinimas: klavišo paspaudimas (pvz.,  $n$ ,  $h$ ,  $g$ ,  $q$ ) inicijuoja perėjimą.
- Informacijos pateikimas bei parinkčių rodymas: paspaudus pagalbos ( $h$ ) ar navigacijos ( $n$ ) klavišą, ekranas išvalomas, ir vietoje pagrindinio vaizdo laikinai parodoma tekstinė informacija arba galimų veiksmų sąrašas (pvz., navigacijos krypcijų), sugeneruotas kaip ASCII tekstas. Programa pereina į laukimo būseną, kol naudotojas pasirenka vieną iš pateiktų parinkčių arba grįžta.
- Navigacija: pasirinkus navigacijos kryptį, inicijuojamas naujo vaizdo duomenų gavimas, po kurio vėl perpiešiamas pagrindinis vaizdas su nauja lokacija.
- Kiti Veiksmai: kitos komandas (pvz., ekrano perpiešimas  $r$ , dalinimas  $s$ ) atlieka atitinkamą veiksmą ir dažniausiai grįžta į pagrindinę vaizdo rodymo būseną.
- Išėjimas: paspaudus išėjimo klavišą ( $q$ ), programa baigia darbą.

Šis modelis leidžia išlaikyti švarią pagrindinę sasają (tik vaizdas) ir pateikti papildomas funkcijas pagal poreikį.

### 4.7.3. Naudotojo sasajos elementai

Dėl pasirinkto minimalistinio požiūrio, sasajos elementai yra labai paprasti:

- Pagrindinis ASCII Vaizdas: užima visą terminalo plotą, atvaizduojamas naudojant spalvotus ANSI valdymo kodus.

- Laikinos tekstinių persidengimo sritys (angl. *overlays*): pagalba, navigacijos parinktys, žaidimo klausimai ar kiti pranešimai yra dinamiškai generuojami kaip tekstas ir paverčiami į ASCII meną, laikinai pakeičiantys pagrindinį gatvės vaizdą. Tai leidžia pateikti informaciją nenaudojant nuolatinių UI valdiklių.

#### 4.7.4. Navigacijos realizacija

Navigacija yra viena pagrindinių interaktyvių programos funkcijų, leidžianti naudotojui virtualiai judėti po aplinką. Ji realizuota taip, kad suteiktų lankstumo priklausomai nuo turimų duomenų ir naujotojo pageidavimų. Programa palaiko du pagrindinius navigacijos tipus, kuriuos galima pasirinkti konfigūracijos faile: navigaciją pagal sekas (angl. *sequence-based*) ir navigaciją pagal atstumą (angl. *proximity-based* arba *radius-based*).

Bendras navigacijos procesas vyksta taip:

1. Naudotojas inicijuoja navigacijos režimą paspausdamas tam skirtą klavišą (*n*).
2. Sistema, atsižvelgdama į konfigūracijoje nustatyta navigacijos tipą ir esamos „Mapillary“ nuotraukos metaduomenis, pateikia galimų judėjimo krypčių sąrašą. Šis sąrašas rodomas kaip tekstinis ASCII menas, persidengiantis su pagrindiniu vaizdu.
3. Naudotojas pasirenka vieną iš pateiktų krypčių paspausdamas atitinkamą klavišą (pvz., skaičių ar raidę, nurodytą sąraše).
4. Programa kreipiasi į „Mapillary“ API, prašydama naujos vietas vaizdo duomenų pagal pasirinktą kryptį (t.y., naują nuotraukos identifikatorių).
5. Gavus naujus duomenis, ekranas yra perpiešiamas su nauju ASCII vaizdu, atitinkančiu naujają lokaciją.

Detaliau apie kiekvieną navigacijos tipą ir jo realizaciją:

- Navigacija pagal sekas (angl. *Sequence-based navigation*):
  - ▶ Logika: šis navigacijos tipas remiasi „Mapillary“ nuotraukų sekomis. Seka – tai eilė nuotraukų, padarytų judant tam tikra trajektorija (pvz., važiuojant gatve). Jei dabartinė rodoma nuotrauka priklauso sekai, programa bando rasti ankstesnę ir vėlesnę nuotrauką toje pačioje sekoje.
  - ▶ Igyvendinimas:
    1. Pirmiausia kreipiamasi į „Mapillary“ API, prašoma visų nuotraukų identifikatorių (ID), priklausančių dabartinės nuotraukos sekai.
    2. Gavus visų sekos nuotraukų ID sąrašą, nustatoma dabartinės nuotraukos pozicija šiame sąraše.
    3. Remiantis šia pozicija, identifikuojamas ankstesnis (jei yra) ir vėlesnis (jei yra) nuotraukos ID sekoje.
    4. Naudotojui pateikiamas parinktys judėti pirmyn (angl. *forwards*) arba atgal (angl. *backwards*) seka.
  - ▶ Privalumai: dažniausiai užtikrina sklandų ir logišką judėjimą ta pačia gatve ar keliu. Nuotraukos dydis naviguojant visuomet yra toks pats, dienos laikas taip pat pastovus.
  - ▶ Trūkumai: veikia tik tada, kai nuotrauka priklauso sekai – kitu atveju nei pirmyn, nei atgal paeiti nebus galima. Neleidžia pasukti į šonines gatves ar tyrinėti aplinkos laisviau, jei nėra tiesioginės sekos jungties.
- Navigacija pagal atstumą/artumą (angl. *Proximity-based navigation*):
  - ▶ Logika: šis tipas leidžia naudotojui judėti į artimiausias aplinkines nuotraukas, nepriklausomai nuo sekų. Paieška atliekama tam tikru spinduliu aplink dabartinę naudotojo poziciją.
  - ▶ Igyvendinimas:
    1. Kreipiamasi į „Mapillary“ API, pateikiant dabartinės nuotraukos koordinates ir paieškos spindulį.

2. API grąžina sąrašą nuotraukų, esančių nurodytame spindulyje. Iš šio sąrašo pašalinama pati dabartinė nuotrauka, kad nebūtų siūloma judeti į tą pačią vietą.
  3. Kiekvienai likusiai aplinkinei nuotraukai, taikant Haversine [46] formulę, apskaičiuojamas atstumas nuo dabartinės pozicijos.
  4. Nuotraukos surūšiuojamos pagal atstumą (nuo artimiausios iki tolimiausios).
  5. Paimamas ribotas kiekis (5) artimiausių nuotraukų.
  6. Naudotojui pateikiamas šių artimiausių lokacijų sąrašas, dažnai nurodant atstumą ir apytikslę kryptį. Kryptis apskaičiuojama lyginant dabartinių kompaso kampą su guoliu (angl. *bearing*) į tikslinę koordinatę.
- ▶ Privalumai: suteikia daugiau laisvės tyrinėti aplinką, leidžia pereiti į šonines gatves ar kitus objektus, kurie nėra tiesiogiai sujungti seką.
  - ▶ Trūkumai: kartais gali pasiūlyti judėjimą, kuris nėra logiškas kelio atžvilgiu (pvz., peršokti į kitą gatvę pusę ar į paralelinę gatvę). Rezultatų kokybė priklauso nuo „Mapillary“ padengimo tankumo toje vietoje. Galima gauti kitokio dydžio nuotrauką ar vaizdą kitokiu dienos laiku (pvz. iš dienos perėjimas į naktį).

Pasirinkus navigacijos kryptį, programa gauna naujosios nuotraukos identifikatorius ir iniciuoja naujo vaizdo gavimo bei atvaizdavimo procesą, kaip aprašyta bendroje navigacijos eigoje.

Taip pat patogesniams demonstravimui sukūrėme greitesnį sekos navigacijos režimą, kuris kaskart nerodo pasirinkimų judeti pirmyn ar atgal. Taip padarėme todėl, nes naviguojant kaskart matyti šiuos du pasirinkimus yra nebūtina bei sunkiau matyti pasikeitimų tarp dabartinio ir praeito paveiksluko.

#### **4.7.5. Grįztamasis ryšys naudotojui**

Grįztamasis ryšys tekstinėje sąsajoje yra ribotas, bet užtikrinamas keliais būdais:

- Ekrano pokyčiai: ekrano išvalymas ir naujo turinio (vaizdo ar tekstinės informacijos) atvaizdavimas aiškiai parodo, kad įvyko perėjimas tarp būsenų ar įvykdytas veiksmas.
- Tiesioginis atsakas: dėl „raw“ režimo, naudotojas mato greitą reakciją į klavišų paspaudimus (nors duomenų gavimas iš „Mapillary“ gali užtrukti).
- Klaidų pranešimai: įvykus klaidai (pvz., nepavykus gauti duomenų iš „API“), pateikiamas tekstinis klaidos pranešimas.

#### **4.7.6. Išvada**

Projektuojant šios ASCII „Street View“ aplikacijos naudotojo sąsają ir navigaciją, pagrindinis dėmesys skirtas balansui tarp maksimalaus informatyvumo (detalaus ASCII vaizdo) ir naudojimo paprastumo komandinės eilutės aplinkoje. Pasirinktas minimalistinis, būsenomis paremtas sąveikos modelis su laikinomis tekstinėmis persidengimo sritimis leido įgyvendinti pagrindines naršymo funkcijas, neaukojant ekrano ploto pagrindiniams vaizdams. Nors tokis sprendimas reikalauja naudotojo adaptacijos prie neįprastos sąsajos, jis atspindi komandinės eilutės aplinkos specifiką ir galimybes.

### **4.8. Nuotraukų konvertavimas į ASCII**

#### **4.8.1. ASCII**

Ascii (angl. *American Standard Code for Information interchange*) yra vienas iš populiariausių teksto simbolių kodavimo formatų, naudojamas atvaizduoti tekstą kompiuterinėse sistemose ir internete [47]. Šis kodavimo standartas buvo sukurtas 1963 metais siekiant, jog skirtingų gamintojų kompiuterių sistemos galėtų dalintis ir apdoroti informaciją. ASCII simboliai skirstomi į dvi grupes: spausdinamuosius ir nespausdinamuosius. Spausdinamieji simboliai apima raides, skaičius, skirybos ženklus bei specialius simbolius, tuo tarpu nespausdinamųjų aibė yra sudaryta iš eilučių pabaigos ženklų,

tabuliacijos simbolių ir t.t. Šiame bakalauriniame darbe daugiausiai dėmesio skirsiame spausdinamiesiems simboliams, kadangi tik iš jų gali būti atvaizduojami įvairūs vaizdai. ASCII standartas pasižymi paprastu ir kompaktišku simbolių kodavimu, kadangi vienam simboliui reprezentuoti užtenka vos 7 arba 8 bitų, priklausomai ar naudojama išplėstinių ASCII simbolių aibė. Šis paprastumas ir yra vienas iš didžiausių šio formato minusų, nes palaikomi yra tik 255 unikalūs simboliai. Tai lėmė, jog 2003 metais standartų organizacija IETF (angl. *Internet Engineering Task Force*) įvedė naujają „Unicode“ simbolių kodavimo standartą. Šis standartas pakeitė ASCII, tačiau naujasis formatas pilnai palaiko ASCII atgalinio suderinamumo pagalba. Nors šiomis dienomis naudojame „Unicode“ standartą, 255 simbolių rinkinys, anksčiau priklausęs ASCII formatui, vis dar vadinamas ASCII.

#### 4.8.2. ASCII menas

ASCII menas tai grafinio dizaino technika, kuria vaizdai atvaizduojami pasitelkiant teksto simbolius. Šios meno formos pirmieji egzemplioriai užfiksuoti dar prieš ASCII standarto sukūrimą (11 pav.).



11 pav. Spausdinimo mašinėles menas, kūrėjas Julius Nelson 1939m.

Vaizdų iš simbolių kūrimo pradžia siejama net ne su kompiuteriais, o su XIX amžiuje plačiai naudojamomis rašymo mašinėlėmis. Vaizdų sudarymas iš simbolių buvo skatinamas rašymo mašinelių gamintojų rengiamuose turnyruose [48]. Antrasis ASCII meno populiarumo šuolis buvo matomas XX amžiaus viduryje, kai vis daugiau žmonių turėjo prieigą prie pirmųjų kompiuterių. Žinoma, tais laikais kompiuteriai dar neturėjo grafinių sasajų, todėl vaizdus reprezentuoti buvo galima tik ASCII simboliais. Spausdinti ir masiškai platinti teksto simbolių meną kompiuterio pagalba buvo žymiai paprasčiau, nei naudojantis spausdinimo mašinėle. Tačiau sparčiai populiarėjant grafinėms naudotojo sasajoms, ASCII menas buvo pakeistas rastrinės grafikos. Šiomis dienomis ASCII menas naudojimas nišiniuose sistemose ir programose dėl savo stilistinių priežasčių ir nostalgijos.

### 4.9. Pasiruošimas konvertuoti nuotraukas į ASCII

#### 4.9.1. Nuotraukos proporcijų išlaikymas

Siekiant konvertuoti nuotraukos pikselius į ASCII simbolius, susiduriame su proporcijų išlaikymo problema. Kitaip nei rastrinėje grafikoje, kurioje nuotraukos atvaizduojamos vienodo pločio ir aukščio pikseliais, teksto simboliai yra nevienodų dimensijų. Todėl tiesiogiai konvertuojant nuotrauką gausi-

me vaizdą ištemptą vertikaliai. Pavyzdžiui, šrifto stiliaus „Courier New“ simbolių dimensijos turi santykį 1:0,6, tai yra plotis sudaro 60% aukščio. Žinoma, teigti apie šį santykį galime tik dėl to, nes visi šio, konsolėms pritaikyto šrifto stiliaus simbolių plotis yra vienodas. Dėl paprastumo ir minimaliaus poveikio galutiniam rezultatui buvo laikoma, jog šis santykis yra 1:0,5, kitaip tariant aukštis yra du kartus didesnis už plotį. Siekiant išspręsti šią problemą būtina du kartus sumažinti vertikalią orginalios nuotraukos rezoliuciją, galimi keli sprendimo būdai:

- Vertikalios rezoliucijos sumažinimas pašalinant kas antrą nuotraukos pikselių eilutę. Šis metodas yra pats greičiausias, nereikalaujantis daug kompiuterio resursų. Išlaikomi aiškūs kraštai, tačiau šios kraštinės ne visais atvejais susijungs kaip orginaliame vaizde dėl apdorojimo metų prarandamos informacijos.
- Vertikalios rezoliucijos sumažinimas apskaičiuojant vidurkį tarp gretimų pikselių. Šiuo atveju gretimų pikselių reikšmių vidurkiai yra naudojami sukurti naują pikselio reikšmę neprarandant informacijos. Tačiau pagrindinis šio metodo minusas yra neryškus kraštų atvaizdavimas, kadangi dažnu atveju kelių visiškai skirtinį pikselių reikšmės yra sumaišomos į vieną.

#### **4.9.2. ASCII simbolių dydžio pasirinkimas**

Modernūs fotoaparatai geba sukurti labai aukštostas rezoliucijos nuotraukas. Šie vaizdai yra sudaryti iš kelių milijonų pikselių. Konvertuojant kiekvieną nuotraukos pikselį į atskirą ASCII simbolį, gautas rezultatas nesutips į jokį komerciškai prieinamą ekraną. Šios problemos sprendimas yra elementarus – sumažinti šrifto dydį. Šis sprendimas turi daug teigiamų savybių, pavyzdžiui, sumažinus šriftą iki pačio mažiausio leidžiamo dydžio, rezultatas dažnu atveju kokybe neatsiliks nuo orginalaus rastrinio vaizdo. Taip pat, kuo mažesnis yra gaunamas paveiksliukas, tuo lengviau žmogaus smegenys geba atpažinti jo turinį. Mažesnį plotą užimantys objektai dažniausiai suvokiami per jų formą arba figūrą, o didesni objetai suprantami kaip fonas [49]. Dėl to suprasti abstraktų paveikslą žiūrint iš toli yra lengviau, tas pats gali būti pritaikyta ir ASCII menui. Žinoma, mažesnis šriftas ne visada yra geriau. Iš teksto simbolių kuriamo vaizdo esmė nėra pati aukščiausia kokybė. ASCII menas yra kuriamas dėl stilistinių tikslų. Taigi sumažinti šrifto dydį galima tik tiek, kol vis dar bus galima iškaityti individualius simbolius. Norint pasiekti optimalų rezultatą būtina suderinti abu anksčiau aptartus reikalavimus.

#### **4.9.3. Nuotraukos reprezentacija pilkos spalvos tonais**

ASCII meną galima skirstyti į 2 grupes: spalvotąjį ir nespalvotąjį. Kadangi visi kadrų gaunami iš gatvės lygio platformų „Google Maps“ ir „Mapillary“ jau bus spalvoti, pasirūpinti reikės tik konvertavimui iš RGB į pilkus atspalvius. Kovertuoti turėsime kiekvieną nuotraukos pikselį, tai atlikti galima pasitelkus viena iš trijų galimų formulų:

- Svertinis vidurkis – remiasi žmogaus akies jautrumu skirtinoms spalvoms. Kadangi žalia spalva žmogaus akiai atrodo šviesiausia, jos koeficientas yra didžiausias. Toliau mažėjimo tvarka sekā raudona ir galiausiai mėlyna spalvos.

$$Y=0.299 \times R + 0.587 \times G + 0.114 \times B$$

- Vidurkis – ši formulė yra pati paprasčiausia. Visos spalvos turi vienodą svorį skaičiuojant pilkos spalvos reikšmę.

$$Y=(R+G+B)/3$$

- Reliatyvus šviesumas – naujesnė svertinio vidurkio formulės atmaina. Kaip ir ankstesnėje formulėje, koeficientai apskaičiuoti remiantis akies jautrumu šviesai. Tačiau šiekart atsižvelgiama į modernių vaizduoklių ir ekranų technologijas bei naujus tyrimus apie akies šviesos suvokimą.

$$Y=0.2126 \times R + 0.7152 \times G + 0.0722 \times B$$

Čia R – raudonos RGB spalvos reikšmė, G – žalios spalvos reikšmė, o B – mėlynos.

#### 4.9.4. ASCII simbolių rinkinio pasirinkimas

Tinkamo simbolių rinkinio pasirinkimas yra vienas iš svarbiausių ASCII meno kūrimo etapų. Šis pasirinkimas daro įtaką galutinio rezultato detalumui, kontrasto intervalui bei įtakoja žmogaus galimybę atpažinti vaizduojamus objektus. ASCII mene šviesumą reprezentuoti naudojamas simbolių tankis. Jei ASCII meno fonas yra juodas, o simboliai balti, tai simboliai užimantys mažai vienos reprezentuotos tamsias nuotraukos vietas. Tuo tarpu simboliai užimantys didžiąją simboliui leistiną vietą vaizduos šviesiasias nuotraukos dalis:

- Tarpo simbolis „ „, tankis 0%.
- Taškas „=“, tankis apie 25%.
- Solidus blokas „/“, tankis 100%.

Vienos simbolių aibės tinkančios kiekvienai nuotraukai atvaizduoti nėra. Šis pasirinkimas dažniausiai bus įtakojamas objektų, kuriuos yra siekiama atvaizduoti. Kuo didesnė ši aibė, tuo detalesnius objektus bus galima atvaizduoti. Šiame projekte dažnu atveju teks atvaizduoti medžius, todėl detalūs simbolių rinkiniai bus naudojami siekiant kuo detalesnio rezultato. Pateiktuose pavyzdžiuose (12 pav.) bus naudojami šie, paprastas ir išplėstas, simbolių rinkiniai:

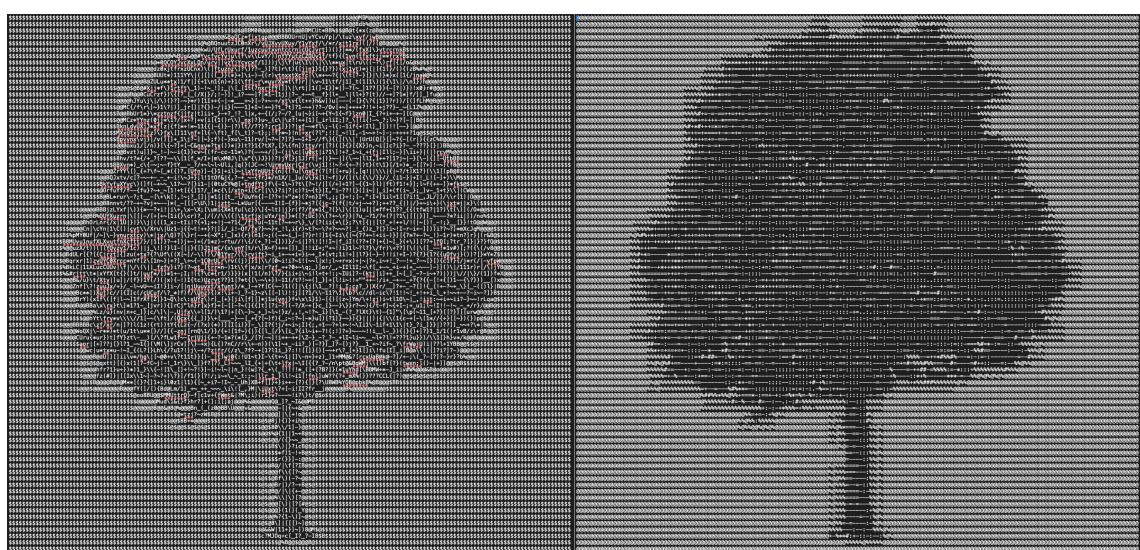
- Paprastas simbolių rinkinys

```
. : -=+\*\'%\@
```

- Išplėstas simbolių rinkinys

```
. '^\",:;Il!i~+_?][{}{1}(|\\/*tfjrxnuvczXYUJCLQ00Zmwqpd़bhao*#MW&8%B@$
```

Kairėje pusėje matome medžio atvaizdą sugeneruotą su išplėstu simbolių rinkiniu, o dešinėje – paprastu. Naudojant paprastąjį rinkinį gauname atvaizdą, kuriame subjekto detales skiriasi ryškiai skirtingais atspalviais. Nors detalumo nuotraukoje yra nedaug, palyginus su išplėstuoju simbolių rinkiniu. Šiame atspalvių skirtumai yra beveik nematomi, visas detalumo pojūtis sudaromas iš pačių simbolių. Šalutinis šio rinkinio efektas yra labai didelis nuotraukos triukšmingumas (angl. *noise*).



12 pav. Palyginimas tarp paprasto ir išplėsto simbolių rinkinio.

#### 4.9.5. Tinkamos duomenų struktūros pasirinkimas

Pradiniame projekto etape pasirinkome naudoti standartinę sąrašo (angl. *list*) duomenų struktūrą dėl jos patogumo ir funkcinio programavimo paradigmos atitikimo. Programavimo kalboje „Scala“ sąrašas iš tiesų veikia kaip susieto sąrašo (angl. *linked list*) tipo duomenų struktūra, kuri puikiai tinka

funkcinėms operacijoms [50]. Ji taip pat užtikrina nekintamumą (angl. *immutability*), kas atitiko mūsų pradinį projekto dizainą.

Tačiau konvertuojant didelės apimties nuotraukas į ASCII meną, pastebėjome reikšmingą veikimo efektyvumo sumažėjimą. Tai ypač išryškėjo dirbant su originalios rezoliucijos nuotraukomis. Naudojant sąrašo duomenų struktūrą elementus tenka pasiekti nuosekliai einant nuo sąrašo pradžios. Su kai kuriais ASCII konvertavimo algoritmais programa užtrukdavo netgi keliolika sekundžių, kol būdavo sugeneruotas vaizdas. Toks laukimo laikas buvo nepriimtinas, kadangi nefunkciniai reikalavimai nurodė maksimalų 5 sekundes trunkančią vaizdą apdorojimą.

Sprendžiant šią problemą, nuspindieme naudoti masyvo duomenų struktūrą. „Scala“ masyvas užtikrina O(1) sudėtingumo prieigą prie bet kurio elemento pagal indeksą. Nors ši duomenų struktūra yra kintama (angl. *mutable*) ir mažiau atitinka funkcinio programavimo principus, jo našumo privalumai mūsų atveju buvo svarbesni. Perėjimas prie masyvo struktūros pareikalavo tam tikrų kodo architektūros pakeitimų, tačiau rezultatai buvo įspūdingi.

Po migracijos prie masyvo duomenų struktūros, pastebėjome žymų programos veikimo pagreitėjimą, ypač dirbant su daugiau skaičiavimų reikalaujančiais algoritmais. Visi algoritmai pradėjo grąžinti rezultatus per mažiau nei vieną sekundę. Kadangi dėl šio pakeitimo generavimo laikas saugiai tenkino nefunkcinius greitaveikos reikalavimus, buvo nuspręsta nelygiagretinti nuotraukų konvertavimo į ASCII meną veikimo. Detalius algoritmu greitaveikos rodikliai aprašyti testavimo skyriuje.

## 4.10. Nuotraukų konvertavimo į ASCII meną algoritmai

Ankstesniuose skyriuose aptarėme ASCII standarto pagrindus, ASCII meno istoriją ir svarbiausių pasiruošimo etapus, būtinus norint kokybiškai konvertuoti skaitmeninę nuotrauką į ASCII meną. Buvo išspręstos proporcijų išlaikymo problemas, aptartas šrifto dydžio parinkimo klausimas, nuotraukos konvertuotos į pilkų tonų paletę ir pasirinkti tinkami ASCII simbolių rinkiniai, kurie veikia kaip mūsų „spalvų“ paletė. Dabar pereisime prie pagrindinės konvertavimo proceso dalies – algoritmų, kurie atlieka faktinį vaizdo duomenų pavertimą teksto simboliais. Pagrindinis iššūkis yra sukurti metodą, kuris kiekvienam nuotraukos pikseliui (arba pikselių grupėi) priskirtų tinkamiausią ASCII simbolį iš pasirinkto rinkinio, atsižvelgiant į to pikselio šviesumą ar kitas vaizdo savybes. Skirtingi algoritmai naudoja skirtingas strategijas šiam susiejimui atliki, todėl gaunami rezultatai gali skirtis savo stiliumi, detalumu ir akcentuojamomis vaizdo ypatybėmis. Šiame skyriuje detaliau apžvelgsime du pagrindinius metodus, naudojamus nuotraukų konvertavimui į ASCII meną: šviesumo algoritmą, kuris remiasi tiesioginiu pikselių šviesumo atitikimu simbolių tankiui, ir kraštų atpažinimo algoritmą, kuris siekia išryškinti vaizdo struktūrą ir kontūrus. Kiekvienas algoritmas turi savo privalumų ir trūkumų, kuriuos aptarsime tolesniuose poskyriuose.

### 4.10.1. Šviesumo algoritmas (angl. *Luminance*)

Šviesumo algoritmas yra vienas pamatiniai ir bene dažniausiai taikomų metodų skaitmeninių vaizdų transformavimui į ASCII meną. Jo pagrindinė idėja yra intuityvi ir tiesiogiai susijusi su tuo, kaip mes vizualiai suvokiami šviesumą ir tamsumą. Algoritmas veikia remdamasis tiesioginiu atitikimu tarp kiekvieno nuotraukos taško (pikselio) šviesumo lygio ir pasirinkto ASCII simbolio vizualinio „svorio“ arba „tankio“. Paprastai tariant, tamsesniems vaizdo fragmentams atvaizduoti parenkami simboliai, kurie užima mažiau vietos arba atrodo „lengvesni“ (pavyzdžiui, taškas „.“, kablelis „“), tuo tarpu šviesesnės sritys reprezentuojamos „tankesniais“ ar daugiau ploto padengiančiais simboliais (pvz., dolerių ženklas „\$“, procento ženklas „%“ ar net pilnas blokas „█“). Žinoma, šis principas gali būti ir atvirkštinis, jei pasirenkamas šviesus fonas ir tamsūs simboliai – tuomet tankiausi simboliai atitiks tamsiausias vaizdo dalis.

Norint pritaikyti šį algoritmą, pirmiausia reikia turėti vaizdą, paruoštą pagal anksčiau aptartus principus: konvertuotą į pilkos spalvos tonų paletę. Tokiame vaizde kiekvienas pikselis nebenturi sudētingos RGB spalvos informacijos, o yra apibūdinamas viena skaitine reikšme, nurodančia jo šviesumą. Dažniausiai ši reikšmė svyruoja intervale nuo 0 (visiškai juoda) iki 255 (visiškai balta). Kitas būtinas komponentas yra ASCII simbolių rinkinys, kuris tarnaus kaip mūsų „ASCII paletė“. Svarbu, kad šis rinkinys būtų iš anksto surikiuotas pagal simbolių vizualinį tankį – nuo mažiausiai tankaus iki tankiausio. Pavyzdžiu, paprastas rinkinys galėtų būti „:-=+\*#%@“, kur „.“ yra mažiausio tankio, o „@“ – didžiausio.

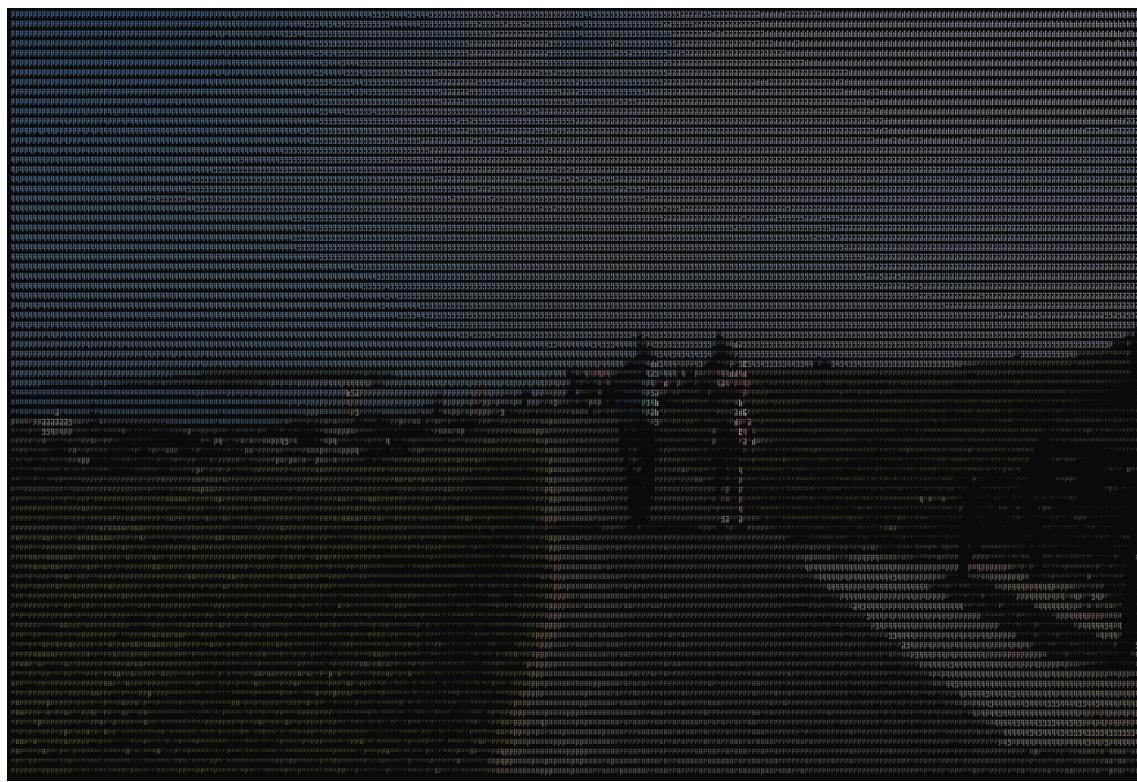
Pats konvertavimo procesas vyksta iteruojant per kiekvieną pilkų tonų nuotraukos pikselį. Kiekviename aplankytam pikseliui yra nuskaitoma jo šviesumo reikšmė (skaičius tarp 0 ir 255). Ši reikšmė turi būti transformuota į indeksą, atitinkantį poziciją mūsų surikiuotame ASCII simbolių rinkinyje. Populiariausias ir paprasčiausias būdas tai padaryti yra tiesinis susiejimas (angl. *linear mapping*) [51]. Tarkime, mūsų simbolių rinkinyje yra N simbolių. Tuomet visą šviesumo intervalą [0, 255] galima proporcingai padalinti į N dalį. Kiekvienna dalis atitiks vieną simbolį. Pikselio šviesumo reikšmę galima konvertuoti į simbolių rinkinio indeksą naudojant formulę:

$$i = \text{floor}( L * (N - 1) / 255 ),$$

čia L yra pikselio šviesumo reikšmė, N yra bendras simbolių skaičius pasirinktame ASCII rinkinyje, (N - 1) yra didžiausias galimas indekso numeris simbolių rinkinyje, dalijymas iš 255 normalizuja šviesumo reikšmę į intervalą [0, N-1].

Kai kiekvienam pikseliui priskiriamas atitinkamas ASCII simbolis, šie simboliai yra išdėstomi į dvimatę struktūrą, atkartojančią pradinės nuotraukos matmenis. Eilutės atskiriamos naujos eilutės simboliais („\n“), taip suformuojant galutinį ASCII meno kūrinį, paruoštą atvaizdavimui ekrane ar failė.

Galutinio rezultato kokybė, naudojant šviesumo algoritmą, labai priklauso nuo kelių veiksnių. Esminę įtaką daro pasirinktas ASCII simbolių rinkinys. Kuo daugiau simbolių tame yra ir kuo tolgyiau pasiskirstęs jų vizualinis tankis tai yra, kuo mažesni „šuoliai“ tarp gretimų simbolių tankumo, tuo glotnesnius atspalvių perėjimus ir detalesnį vaizdą galima išgauti. Prastai parinktas rinkinys, kuriame simbolių tankis kinta netolygiai arba kuriame yra mažai simbolių, gali lemti grubų, „laiptuotą“ vaizdą su prarastomis detalėmis. Toliau pateikiamas šviesumo algoritmo pavyzdys naudojant Brailio simbolių rinkinį (13 pav.).



**13 pav.** Šviesumo algoritmo pavyzdys naudojant Brailio simbolų rinkinį.

Šiuo būdu atvaizduojant nuotraukas mažiau tankūs Brailio simbolai padaro spalvų skirtumus ryškesnius, kadangi daugiau juodo komandinės eilutės fono yra matoma. Toliau bandome konvertuoti naudojant anksčiau aprašytą išplėstają simbolų aibę (14 pav.).



**14 pav.** Šviesumo algoritmo pavyzdys naudojant išplėstajį simbolų rinkinį.

Nepaisant galimų trūkumų, šviesumo algoritmas turi akivaizdžių privalumų. Pirmiausia, jis yra konceptualiai paprastas ir lengvai įgyvendinamas programuojant. Antra, jis yra efektyvus skaičiavimų prasme, nes kiekvieno pikselio apdorojimas reikalauja tik kelių paprastų aritmetinių operacijų. Dėl

šių savybių jis veikia greitai net ir apdorojant didelės raiškos nuotraukas. Be to, šis metodas gana gerai perteikia bendrą vaizdo šviesumo pasiskirstymą, kas dažnai yra pagrindinis ASCII meno tikslas.

Vis dėlto, šis paprastumas turi savo kainą. Algoritmas linkęs prarasti smulkias detales ir ypač aštrius kontūrus, nes jis neanalizuojat pikselio aplinkos ar formų vaizde – kiekvienas pikselis traktuojamas izoliuotai, atsižvelgiant tik į jo paties šviesumą [52]. Todėl objektai su sudėtingomis tekštūromis ar ryškiomis ribomis gali atrodyti sulieti. Kaip minėta, rezultato kokybė kritiškai priklauso nuo simbolių rinkinio – netinkamas rinkinys gali visiškai sugadinti vaizdą.

Apibendrinant, šviesumo algoritmas yra fundamentalus ASCII meno generavimo įrankis, puikiai tinkantis kaip atspirties taškas arba tais atvejais, kai siekiama greitai gauti bendrą vaizdo įspūdį, perteikiant jo toninius perėjimus. Nors jis gali ne visada išsaugoti visas detales, jo paprastumas ir efektyvumas daro jį populiaru pasirinkimu daugeliui taikymų.

#### 4.10.2. Sobelio kraštų atpažinimo algoritmas (angl. *Sobel edge detection*)

Kontūrų atpažinimo algoritmas siūlo alternatyvų būdą vaizdo konvertavimui į ASCII meną, lyginant su šviesumo atvaizdavimu. Užuot tiesiogiai konvertavus pikselių šviesumą į simbolius, šis metodas pirmiausia siekia identifikuoti ir pabrėžti vaizdo kontūrus – linijas ir ribas tarp skirtingu objektų ar sričių. Galutinis ASCII kūrinys tokiu būdu primena eskizą ar linijinį piešinį, išryškinančią formas, o ne toninius perėjimus. Šis metodas remiasi standartinėmis skaitmeninio vaizdų apdorojimo technikomis, dažniausiai naudojant filtrus, tokius kaip Sobelio operatorius, siekiant aptikti staigius šviesumo pokyčius vaizde.

Pagrindinė algoritmo idėja yra ta, kad kontūrai vaizde atsiranda ten, kur gretimų pikselių šviesumo reikšmės smarkiai skiriasi. Algoritmas analizuojat kiekvieno pikselio kaimynystę, kad įvertintų šio šviesumo pokyčio stiprumą arba gradientą. Ten, kur pokytis yra didelis, laikoma, kad yra kontūras; kur pokytis mažas, pavyzdžiui, lygiuose, vientisos spalvos plotuose – kontūro nėra.

Algoritmo veikimas prasideda, kaip ir šviesumo algoritmo atveju, nuo vaizdo paruošimo – konvertavimo į pilkų atspalvių paletę. Kiekvienas pikselis čia taip pat apibūdinamas viena šviesumo reikšme. Toliau vykdomi šie žingsniai, siekiant rasti kraštus nuotraukoje:

- Pasiruošimas ir kraštinių pikselių apdorojimas: pirmiausia patikrinami vaizdo matmenys. Kadangi kontūrų aptikimui naudojamas  $3 \times 3$  dydžio filtras (Sobelio operatorius), vaizdas turi būti bent 3 pikselių aukščio ir pločio. Jei vaizdas per mažas, algoritmas grąžina originalų vaizdą. Svarbu pažymėti, kad kontūrų skaičiavimas atliekamas tik vidiniams vaizdo pikseliams, aplink kuriuos galima suformuoti pilną  $3 \times 3$  matricą. Pats kraštinis vieno pikselio pločio rėmelis dažniausiai lieka neapdorotas – jo pikseliai išlaiko pradinę pilko tono reikšmę.
- Sobelio operatoriaus taikymas: kiekvienam vidiniam pikseliui  $(x, y)$  yra išskiriama jo  $3 \times 3$  matrica. Šiai matricai yra pritaikomi du Sobelio filtrai (angl. *kernels*) [53]:
  - ▶  $\text{sobelX} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$  – aptinka vertikalius kontūrus (pokyčius horizontalia kryptimi).
  - ▶  $\text{sobelY} = \begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}$  – aptinka horizontalius kontūrus (pokyčius vertikalia kryptimi).
- Filtro reikšmių sumavimas: kiekvienas  $3 \times 3$  matricos pikselio šviesumo reikšmė padauginama iš atitinkamo Sobelio filtro elemento, ir visi rezultatai sumuojami. Taip gaunamos dvi reikšmės:  $gx$  (gradiento X kryptimi įvertis) ir  $gy$  (gradiento Y kryptimi įvertis).
- Gradiento stiprumo skaičiavimas: gautos  $gx$  ir  $gy$  reikšmės parodo, koks stiprus yra šviesumo pokytis atitinkamai horizontalia ir vertikalia kryptimis. Bendra kontūro stiprumo reikšmė, apskaičiuojama naudojant Pitagoro teoremą [54]. Gauta reikšmė normalizuojama, kad tilptų į  $[0, 255]$  intervalą. Ši reikšmė parodo, kontūro ryškumą tame taške.

- Kraštų invertavimas: algoritmas numato galimybę rezultatą invertuoti. Tai reiškia, kad ryškūs kontūrai gaus mažą reikšmę ir bus atvaizduojami tamsiai, o lygūs plotai gaus didelę reikšmę ir bus šviesūs. Tai dažnai yra pageidaujamas efektas ASCII mene, nes kontūrai gali būti prastai matomi priklausomai nuo komandinės eilutės fono spalvos.
- Rezultato formavimas: po šių žingsnių gaunamas naujas dvimatis masyvas, kurio kiekvienas elementas atitinka apskaičiuotą kontūro stiprumo reikšmę normalizuotą intervale [0, 255].

Galiausiai, programa naudoja šį kontūrų stiprumo masyvą ir konvertuoja jį į ASCII simbolius. Šis konvertavimo etapas yra identiškas tam, kuris naudojamas šviesumo algoritme, vienintelis skirtumas, jog šikart formulėje pridėta ir kontūro stiprumo reikšmė:

$$i = \text{floor}( E * (N - 1) / 255 ),$$

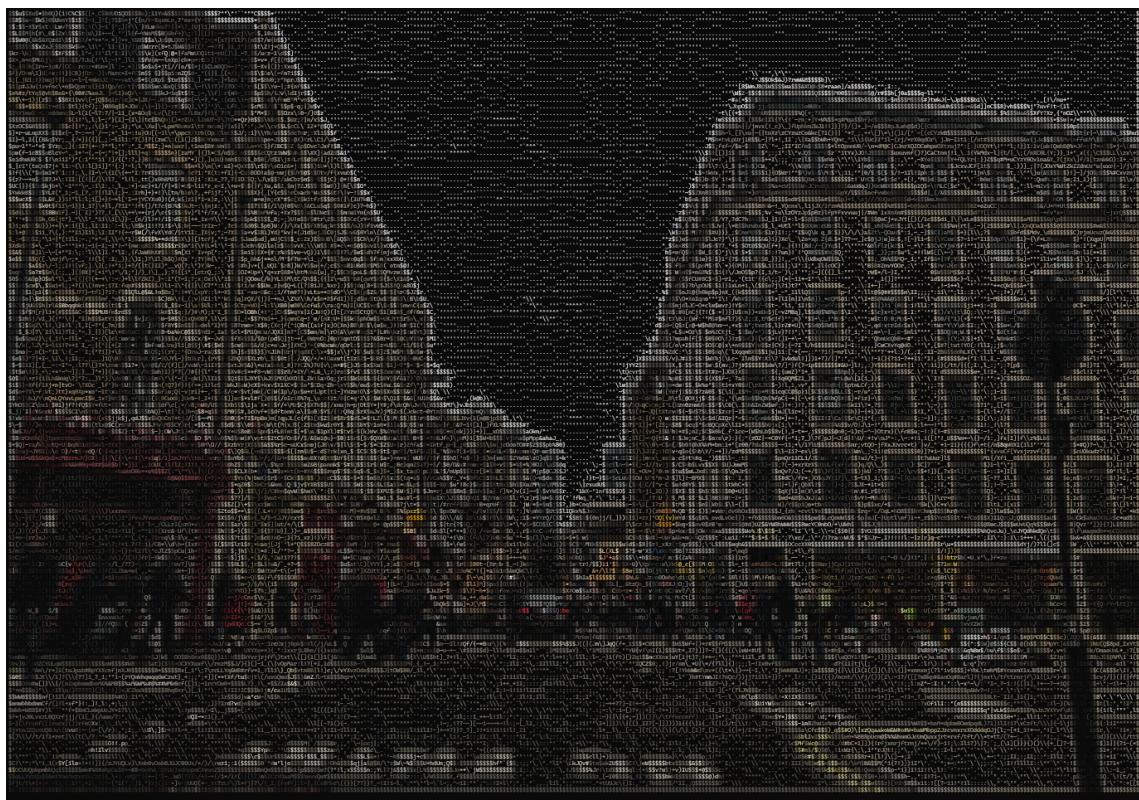
čia E yra pikselio kontūro stiprumo reikšmė (0-255), N yra simbolių skaičius rinkinyje. Kiekvienam pikseliui parenkamas atitinkamas simbolis, suformuojant galutinį ASCII meno kūrinį.

Rezultato kokybė, naudojant šį kraštų atpažinimo algoritmą, priklauso nuo kelių veiksnių. Sobelio operatorius yra gana paprastas ir jautrus triukšmui vaizde – atsitiktiniai maži šviesumo svyravimai gali būti klaidingai interpretuojami kaip kontūrai. Gauti kontūrai taip pat gali būti storesni nei tikėtasi. Kaip ir šviesumo algoritmo atveju, pasirinktas ASCII simbolių rinkinys yra labai svarbus – jis lemia, kaip bus atvaizduojami skirtingo stiprumo kontūrai. Toliau pateikiamas rezultatas naudojant išplėstinį simbolių rinkinį (15 pav.).



15 pav. Sobelio algoritmo pavyzdys naudojant Brailio simbolių rinkinį.

Kaip matome šis algoritmas išryškino ryškiausius kraštus lyginant su šviesumo algoritmu. Pagrindiniai išryškinti kraštai yra tarp dangaus ir žemės taip pat aprink suolelj. Tačiau šioje nuotraukoje labai didelio šio algoritmo efekto nesimato, pabandykime konvertuoti miesto nuotrauką su daugiau ryškių kraštinių (16 pav.). Šiame pavyzdyme geriau atsiskleidžia algoritmo privalumai, žymiai labiau išryškinamos pastatų detaliės.



**16 pav.** Optimalus Sobelio algoritmo pavyzdys.

Apibendrinant, kontūrų išryškinimo algoritmas yra vertinga ASCII meno generavimo technika, ypač tinkama, kai norima pabrėžti vaizdo struktūrą ir formas, o ne fotorealistišką šviesumo atvaizdavimą. Šis algoritmas gali išryškinti detales, kurios būtų prarandamos naudojant šviesumo atvaizdavimo algoritmą, ypač jei vaizde yra daug panašaus šviesumo, bet aiškių ribų turinčių plotų.

#### 4.10.3. Canny kraštų atpažinimo algoritmas (angl. *Canny edge detection*)

Canny kontūrų išryškinimo algoritmas yra laikomas vienu iš efektyviausių ir plačiausiai naudojamų metodų kontūrams aptiki skaitmeniniuose vaizduose. Lyginant su paprastesniais metodais, pavyzdžiui, pagrįstais tik Sobelio operatoriumi, Canny algoritmas siekia ne tik identifikuoti šviesumo pokyčius, bet ir optimizuoti rezultatus pagal tris pagrindinius kriterijus: tikslų aptikimą (kuo daugiau realių kontūrų aptinkama, kuo mažiau klaidingų), tikslią lokalizaciją (aptiki kontūrai turi būti kuo arčiau tikrujų kontūrų vaizde) ir minimalistinį efektą (vienas realus kontūras turi generuoti tik vieną aptiktą kontūrą). Pritaikytas ASCII meno generavimui, šis algoritmas leidžia sukurti detalius, plonų linijų, „eskizą“ primenančius vaizdus, potencialiai atvaizduojant ir kontūrų kryptį.

Algoritmo veikimas susideda iš kelių nuoseklių etapų [55], kurių kiekvienas remiasi ankstesnio etapo rezultatais:

- Pradinis paruošimas ir triukšmo mažinimas:
  - Kaip ir kitiems vaizdo apdorojimo algoritmams, pirmiausia reikalingas pilkų atspalvių vaizdas, kur kiekvienas pikselis turi reikšmę tarp 0 ir 255.
  - Prieš ieškant kontūrų, vaizdas yra apdorojamas  $5 \times 5$  Gauso filtru. Šio žingsnio tikslas yra sumažinti vaizdo triukšmą, kurie galėtų būti klaidingai interpretuojami kaip kontūrai vėlesniuose etapuose. Gauso filtras „sušvelnina“ vaizdą, pakeisdamas kiekvieno pikselio reikšmę svertiniu jo ir kaimyninių reikšmių vidurkiu. Didesis  $5 \times 5$  dydžio filtras leidžia efektyviau sumažinti triukšmą, nors ir šiek tiek labiau sulieja vaizdą. Kraštinių 2 pikselių pločio rėmeliai lieka neapdoroti.
- Gradiento intensyvumo ir krypties radimas:

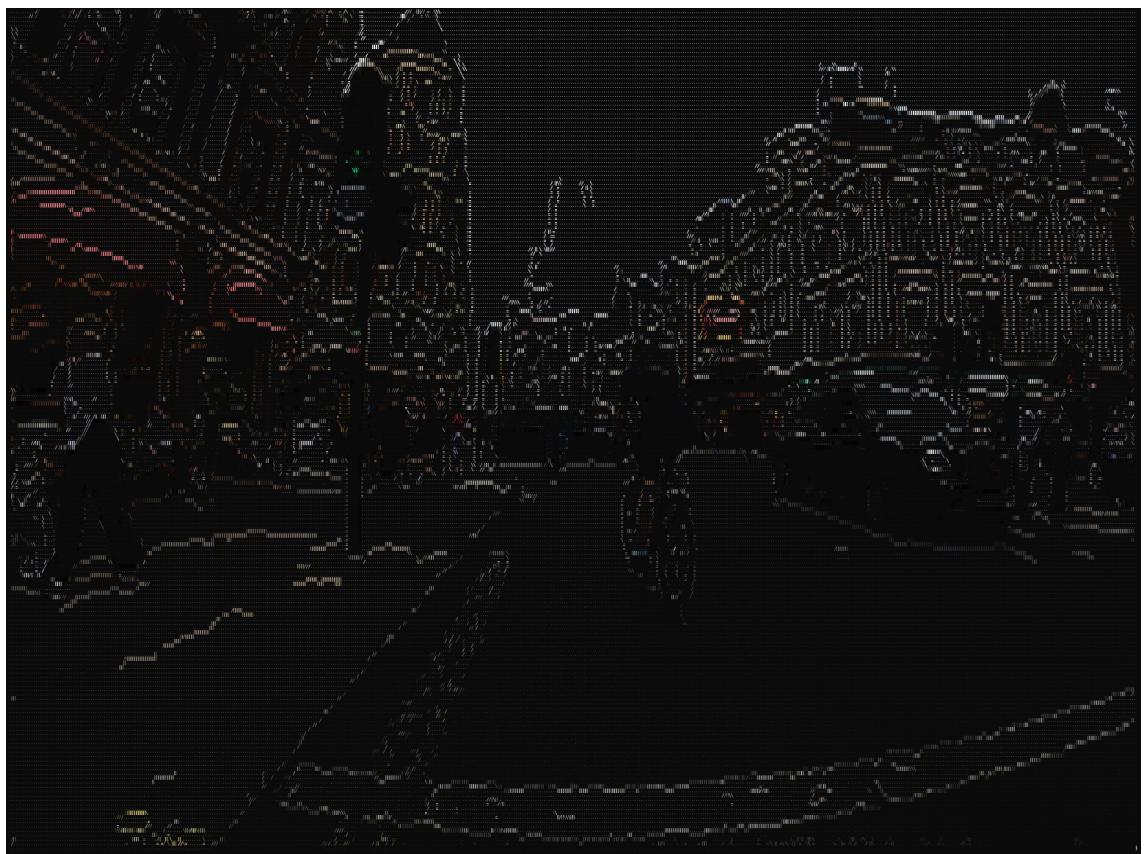
- ▶ Šiame žingsnyje naudojami 3x3 Sobelio operatoriai (sobelX ir sobelY), kad būtų apskaičiuotas šviesumo pokyčio (gradiento) stiprumas ir kryptis kiekvienam sulieto vaizdo pikseliui.
- ▶ Stiprumas parodo, kiek stiprus yra kontūras tame taške. Ji normalizuojama intervale [0, 255].
- ▶ Kryptis parodo kontūro orientaciją. Ši kryptis yra esminė Canny algoritmo dalis, nes ji naudojama vėlesniame etapuose siekiant atvaizduoti kraštinių kryptį ASCII simboliais. Kryptis yra supaprastinama į vieną iš keturių pagrindinių krypčių:  $0^\circ$  (horizontali),  $45^\circ$  (linkstanti į dešinę),  $90^\circ$  (vertikali) arba  $135^\circ$  (linkstanti į kairę).
- ▶ Rezultatas yra du masyvai: vienas su gradiento reikšmėmis ir kitas su supaprastintomis kryptimis.
- Ne maksimumų slopinimas:
  - ▶ Kontūrai, gauti po gradiento skaičiavimo, dažnai būna storesni nei vienas pikselis. Šio etapo tikslas yra suploninti šiuos kontūrus iki vieno pikselio pločio linijų.
  - ▶ Kiekvienam pikseliui tikrinama jo gradiento reikšmė. Ji lyginama su dviejų kaimyninių pikselių reikšmėmis išilgai gradiento krypties, nustatytos ankstesniame žingsnyje. Pavyzdžiui, jei kryptis yra  $90^\circ$  (vertikali), pikselis lyginamas su kaimynais viršuje ir apačioje. Tik tie pikseliai, kurių reikšmė yra lokalai didžiausia (t.y., didesnė arba lygi abiejų kaimynų išilgai gradiento krypties reikšmėms), išlaiko savo reikšmę. Visų kitų pikseliai nustatomi į 0. Taip užtikrinama, kad kontūro linija būtų kuo plonesnė.
- Trūkumų taisymas:
  - ▶ Tai paskutinis ir vienas svarbiausių Canny algoritmo žingsnių, skirtas atskirti tikrus kontūrus nuo triukšmo sukeltų artefaktų ir sujungti nutrūkusius kontūrų segmentus.
  - ▶ Naudojamos dvi slenkstinės reikšmės: aukšta ir žema ribos, pikseliai, kurių reikšmė viršija aukštą ribą, iš karto laikomi „stipriaus“ kontūrų taškais ir pažymimi galutine kontūro reikšme. Pikseliai, kurių reikšmė yra tarp žemos ir aukštostos ribų, laikomi „silpnais“ kontūrų taškais. Jie potencialiai gali būti kontūro dalis, bet tik jei yra susiję su stipriu kontūru. Pikseliai, kurių reikšmė yra mažesnė už žemąją ribą, atmetami kaip triukšmas.
  - ▶ Toliau rekursyviai vykdomas kontūrų sekimas: pradedant nuo stiprių kontūrų taškų, ieškoma greta esančių silpnų taškų. Visi silpni taškai, kurie tiesiogiai ar netiesiogiai jungiasi prie stipraus taško taip pat tampa galutinio kontūro dalimi. Silpni taškai, kurie neprisijungia prie jokio stipraus kontūro, galiausiai atmetami.
  - ▶ Rezultatas: gaunamas galutinis kontūrų žemėlapis, kuriami kontūrai yra ploni, geriau sujungti ir mažiau paveikti triukšmo.
- Galutinis apdorojimas ir konvertavimas į ASCII meną:
  - ▶ Gautas kontūrų žemėlapis gali būti invertuojamas, jei norima, kad kontūrai būtų tamsūs šviesiame fone.
  - ▶ Tikrinama kiekvieno pikselio kontūro reikšmė. Jei ji pakankamai didelė, kad būtų laikoma kontūru – programa parenka specialų ASCII simbolį, atspindintį kontūro kryptį: „-, |, /, “ arba stipresnius jų variantus „=, ||, \, \“. Jei pikselis nelaikomas kontūru ir yra fono dalis – jis paliekamas tuščias.

Sugeneravus tą pačią vaizdą su išplėstiniu simbolių rinkiniu gauname (17 pav.) pateiktą rezultatą. Vėlgi kadangi nuotrauka neturėjo labai daug ryškių kraštinių, rezultatas vaizdo detalumu stipriai atsiliaika nuo kitų algoritmų.



**17 pav.** Canny algoritmo pavyzdys naudojant išplėstajį simbolių rinkinį.

Tačiau, kaip ir su Sobelio algoritmu, tereikia pasirinkti tinkamą nuotrauką su dideliu kiekiu kraštinių, kad šis algoritmas sužibėtų. Žemiau pateikiama nuotrauka yra optimali pasirinktam algoritmui (18 pav.).



**18 pav.** Optimalius Canny algoritmo pavyzdys.

Canny kraštų atpažinimo algoritmo rezultatas labai priklauso nuo parinktų parametru: Gauso filtro dydžio ir nuo slenkstinių ribų reikšmių. Per aukšti slenksčiai gali praleisti svarbius kontūrus, per žemi – įtraukti daug triukšmo. Pagrindinis šio algoritmo pranašumas, lyginant su Sobelio algortimu, yra geresnis triukšmo valdymas, dėl pradinio Gauso filtravimo algoritmas yra atsparesnis triukšmui. Algoritmas natūraliai apskaičiuoja kontūro kryptį, kurią galima panaudoti stilizuotam ASCII atvaizdavimui. Tačiau šie pranašumai yra pasiekiami skaičiavimo laiko kaina, Canny algoritmas yra gerokai sudėtingesnis ir reikalauja daugiau skaičiavimų nei paprastas šviesumo ar Sobelio algoritmai. Taip pat kaip ir kiti kontūrų aptikimo metodai, jis praranda informaciją apie lygius plotus ir švelnius atspalvių perėjimus. Apibendrinant, Canny algoritmas yra pažangus ir galingas įrankis kontūrams išgauti, leidžiantis generuoti detalius ir struktūriškai tikslius vaizdus iš ASCII simbolių, ypač kai norima pabrėžti formas ir linijas, o ne tik bendrą šviesumą. O galimybę naudoti kryptinę informaciją suteikia rezultatui unikalumo

#### **4.10.4. Papildomi vaizdų konvertavimo į ASCII metodai**

Be šviesumo ir kontūrų atpažinimo algoritmų, kurie yra pamatiniai ir plačiausiai taikomi metodai generuojant ASCII meną iš skaitmeninių vaizdų, egzistuoja ir kiti, netradiciniai ir labiau eksperimentiniai, būdai atlikti šią transformaciją. Šie metodai dažnai nukrypsta nuo tiesioginio pikselių šviesumo ar aiškiai identifikuojamų struktūrinių linijų atvaizdavimo, vietoj to siūlydami alternatyvius vaizdo informacijos kodavimo principus. Nors kai kurie iš šių metodų gali turėti įdomių pritaikymų arba sukurti unikalius vizualinius rezultatus, jie paprastai nėra tokie universalūs kaip anksčiau aptartieji ir dažnai turi specifinių apribojimų ar geriausiai tinkta tik tam tikro tipo vaizdams apdoroti. Jų analizė vis dėlto yra naudinga, nes praplečia supratimą apie galimas vaizdo konvertavimo į tekstą strategijas ir iššūkius. Šiame skyriuje apžvelgsime keletą tokų papildomų konvertavimo būdų, kurie gali būti laikomi labiau eksperimentiniais ar nišiniai.

**Brailio rašto algoritmas** yra dar viena technika skaitmeniniams vaizdams konvertuoti į tekstinį meną, tačiau ji veikia iš esmės skirtingai nei šviesumo ar kontūrų aptikimo algoritmai. Užuot kiekvieną pikselį atvaizdavus vienu ASCII simboliu, šis metodas grupuoja originalaus vaizdo pikselius į mažus blokus (šiuo atveju, 2x4 pikselių) ir kiekvieną tokį bloką atitinka vienas specialus Brailio rašto simbolis [56]. Brailio simboliai yra sudaryti iš 8 taškų matricos (2 stupeliai, 4 eilutės). Kiekvienas iš šių 8 taškų gali būti matomas arba nematomas, leidžiant sukurti  $2^8 = 256$  skirtingas kombinacijas. Algoritmas išnaudoja šią savybę, susiedamas kiekvieno taško būseną su atitinkamo pikselio šviesumu 2x4 bloke.

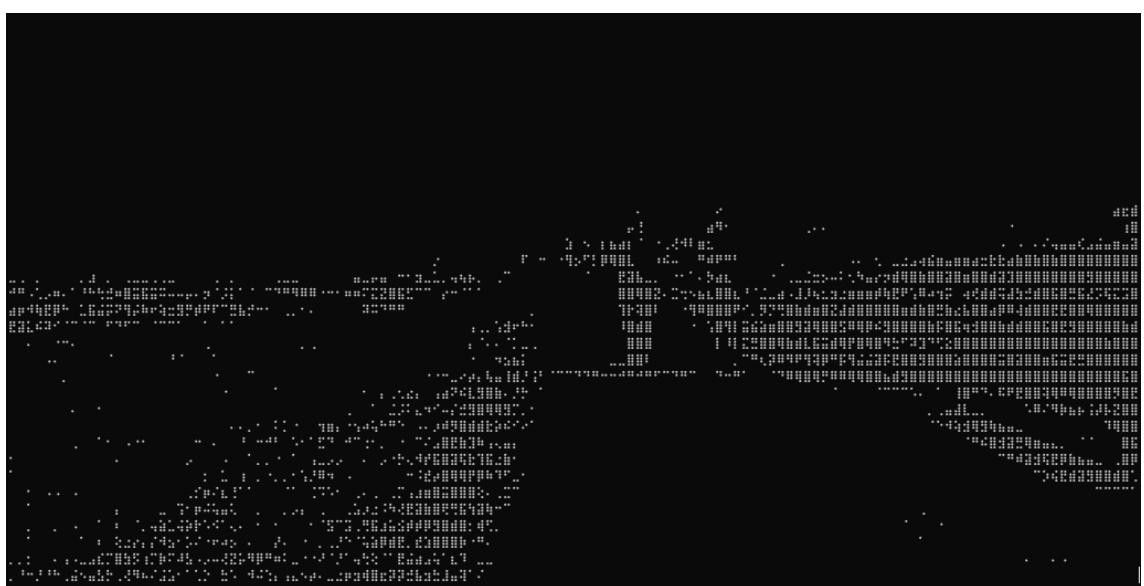
Pagrindinė algoritmo idėja yra tokia:

- Pradinis paruošimas ir slenksčio nustatymas:
  - Kaip įprasta, algoritmas pradeda darbą su vaizdu konvertuotu į pilkus atspalvius. Apskaičiuojamas viso vaizdo vidutinis šviesumas.
  - Nustatomas globalus šviesumo slenkstis. Šis slenkstis bus naudojamas sprendžiant, ar konkretus pikselis yra pakankamai tamsus, kad atitinkamas Brailio taškas būtų matomas.
- Vaizdo padalijimas į blokus:
  - Originalus vaizdas yra padalijamas į 2 pikselių pločio ir 4 pikselių aukščio blokus. Kadangi kiekvienas toks blokas bus atvaizduotas vienu Brailio simboliu, galutinio ASCII vaizdo matmenys bus maždaug perpus mažesni pločio ir keturis kartus mažesni aukščio atžvilgiu .
- Brailio simbolio generavimas kiekvienam blokui:
  - Iteruojama per kiekvieną 2x4 pikselių bloką. Kiekvienam blokui apibrėžiamas 8 Brailio taškų išdėstymas.

- ▶ Toliau kiekvienam iš 8 pikselių tame 2x4 bloke tikrinamas jo šviesumas. Jei pikselio šviesumo reikšmė yra mažesnė už anksčiau apskaičiuotą globalų slenkstį, laikoma, kad šis pikselis yra tamsus. Tokiu atveju, atitinkamas Brailio taškas tampa matomu. Jei pikselio šviesumas yra didesnis ar lygus slenksčiui, atitinkamas Brailio taškas lieka nematomas.
- ▶ Po visų 8 pikselių patikrinimo, gaunamas 8 bitų skaičius, kuris unikalai atspindi tamšią pikselių išsidėstymą 2x4 bloke. Šis skaičius tarnauja kaip indeksas.
- Simbolių priskyrimas ir rezultato formavimas:
  - ▶ Apskaičiuotas indeksas naudojamas parenkant konkretų Brailio simbolį iš specialiai paruošto simbolių rinkinio. Šis rinkinys turi būti sudarytas iš 256 Brailio simbolių.
  - ▶ Parinktas Brailio simbolis įrašomas į atitinkamą vietą galutiniame dvimačiame simbolių masyve. Procesas kartojamas visiems 2x4 blokams, kol suformuojamas visas Brailio ASCII vaizdas

Nors Brailio algoritmas gali pasiekti didesnį efektyvų detalumą nei šviesumo algoritmas, jis turi reikšmingų apribojimų (19 pav.), ypač dirbant su sudėtingomis fotografijomis, tokiomis kaip gatvės lygio vaizdai:

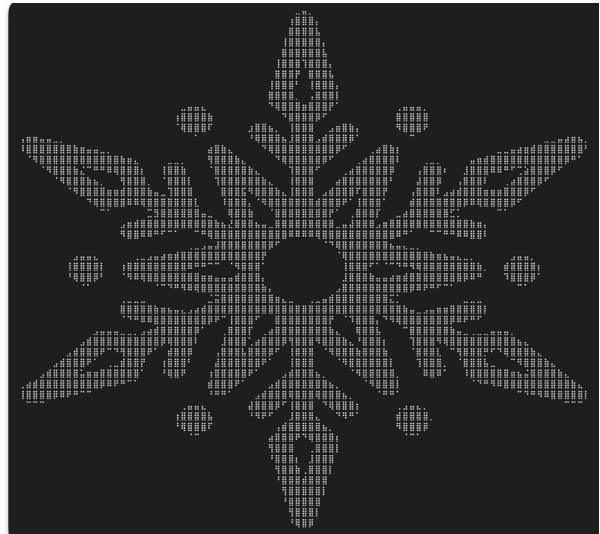
- Globalus slenkstis: didžiausias trūkumas yra vieno globalaus slenksčio naudojimas visam vaizdui. Vaizdai su dideliais šviesumo skirtumais, pavyzdžiui, ryškus dangus ir tamsūs pastatų šešeliai gatvės scenoje bus prastai atvaizduoti. Slenkstis, parinktas pagal vidutinį šviesumą, gali būti per aukštą tamšioms sritims (prarandamos detalės šešeliuose) ir per žemas šviesioms sritims (viskas tampa baltais taškais).
- Dvejetainis atvaizdavimas: šis metodas gali reprezentuoti vaizdą kiekviename 2x4 bloke tik dviejose stadijose – pikselis yra arba tamsus, arba šviesus. Tai reiškia, kad prarandamas labai didelis kiekis informacijos. Švelnūs perėjimai, tekstūros ir šešeliai, būdingi realioms scenoms, negali būti perteikti.
- Nesuderinamumas su spalvotu atvaizdavimu: kadangi vienas šiuo metodu sugeneruoto vaizdo simbolis talpina 8 pikselius, prarandame ir spalvų informaciją. Žinoma, galima būtų naudoti šių pikselių spalvų visdurių, tačiau toks kiekis sumaišytų spalvų ne pagerins, o pakenks galutinio rezultato kokybei.



19 pav. Canny algoritmo pavyzdys atvaizduojant gatvės lygio vaizdus.

Dėl šių priežasčių, Brailio konvertavimo metodas nėra tinkamas atvaizduoti sudėtingus, daug atspalvių turinčius vaizdus, tokius kaip peizažai ar gatvių fotografijos. Jis geriausiai tinkamai tinka monochromatiniams vaizdams, turintiems aiškius kraštus. Rezultatas bus dar geresnis jei yra aiškus atskyrimas

tarp tamsių ir šviesių sričių. Žemiau pateikiama ideali sutuaciją, kurioje būtų naudingas šis konver-tavimo metodas (20 pav.).



**20 pav.** Idealus vaizdas konvertavimui su Brailio metodu.

Brailio metodas yra nišinis ASCII reprezentavimo būdas, turintis unikalių privalumų. Tačiau jo pritaikymas šio projekto ribose yra ribotas dėl ypatingai didelio prarandamos informacijos kieko atvaizduojant chaotiškas gatvės fotografijas.

**Vieno simbolio užpildymo metodas** yra bene pats minimalistiškiausias. Jo veikimo principas radi-kaliai skiriasi nuo anksčiau aptartų algoritmų kadangi šis algoritmas visiškai ignoruoja originalaus vaizdo turinį, išskyrus jo matmenis.

Veikimo Principas:

- Nuskaitomi įvesties vaizdo matmenys – aukštis ir plotis.
- Sukuriama naujas dvimatis simbolių masyvas, turintis lygiai tokius pačius matmenis kaip ir įvesties vaizdas.
- Visa šis masyvas yra užpildomas vienu ir tuo pačiu solidaus bloko „█“ simboliu, kuris pilnai užpildo vienam simbolui skirtą vietą.

Tai reiškia, kad nepriklausomai nuo to, kas buvo pavaizduota originalioje nuotraukoje, šio metodo rezultatas visada bus vientisas stačiakampis, sudarytas iš identiškų simbolių. Iš pirmo žvilgsnio gali atrodyti, kad toks algoritmas yra bevertis, nes jis neperteikia jokios vizualinės informacijos iš pradinio vaizdo per simbolių variaciją. Tačiau jo tikroji paskirtis atskleidžia specifiniame kontekste – spalvoto ASCII meno generavime. Anksčiau išvardinti veiksmai naudojami kaip paruošiamasis žingsnis, suku-riant tekstinį „drobęs“ pagrindą. Nors patys simboliai yra vienodi, spausdinimo į komandinę eilutę etape kiekvienam simbolui bus priskiriama spalva, paimta iš atitinkamos originalaus vaizdo vietas. Tokiu būdu, nors tekstūra yra visiškai vienoda, spalvų variacijos sukuria galutinį vaizdą. Rezultatas primena pikselių meną (angl. *pixel art*), tik vietoj spalvotų kvadratelių naudojami spalvoti ASCII simboliai (21 pav.).



**21 pav.** Vieno simbolio užpildymo metodo rezultato pavyzdys.

Privalumai:

- Itin paprastas ir greitas: pats greičiausias ir paprasčiausias šiame projekte naudotas konvertavimo metodas.
- Pilnas vaizdo padengimas: bloko simboliai pilnai užpildo vaizdą, matomas tik minimalus kiekis vienspalvio fono.

Trūkumai:

- Visiškai neinformatyvus be spalvų: pats savaime, be papildomo spalvinimo etapo, algoritmas nesukuria jokio atpažįstamo vaizdo.
- Neišnaudoja ASCII simbolų įvairovės: priešingai nei tradiciniai algoritmai, šis nepasinaudoja skirtingu simbolų vizualiniu svoriu ar forma detalių ar tekstūrų perteikimui.

Apibendrinant, vieno simbolio užpildymo metodas yra netradicinis ASCII meno generavimo metodas, kuris pats nesukuria vaizdo iš šviesumo ar kontūrų, bet tarnauja kaip fundamentalus žingsnis kuriant spalvotą tekstinį meną, kur vizualinė informacija perteikiama ne per simbolų formą, o per jiems priskiriamas spalvas. Dėl šios priklausomybės nuo vėlesnio spalvinimo ir visiško pradinio vaizdo tekstūrinės informacijos ignoravimo, jis pagrįstai priskiriamas prie eksperimentinių ar specializuotų konvertavimo metodų.

## 4.11. ASCII spalvos

ASCII menas, paremtas tekstiniais simboliais vaizdui kurti, nebūtinai reikalauja spalvų. Monochromatinės jo variacijos, kuriose šviesumo lygiai perteikiami skirtinges simboliais ar jų tankiu, išlieka populiarios ir efektyvios. Vis dėlto, spalvų integravimas į ASCII meną suteikia papildomą dimensiją, leidžiančią lengviau atpažinti nuotraukoje vaizduojamus objektus ir detales. Norint užtikrinti optimalų vaizdo aiškumą ir pritaikyti vaizdą platesniams naudotojų ratui, išskaitant tuos, kurie susiduria su spalvų matymo iššūkiais, į pagalbą pasitelkiami spalvų filtrai.

Vienas iš esminių vaizdo aiškumo aspektų yra kontrastas. Padidinto kontrasto filtras būtent tam ir skirtas. Jis analizuojas viso vaizdo spalvų pasiskirstymą ir dinamiškai ištempia spalvų gamą kiekvie-

name iš pagrindinių spalvų kanalų (raudonos, žalios, mėlynos). Tai reiškia, kad tamsiausios spalvos tampa dar tamsesnės, o šviesiausios – šviesesnės. Šis filtras ypač naudingas tais atvejais, kai originalus vaizdas yra blankus ar jo spalvos pernelyg susiliejusios.

Kitą itin reikšmingą filtrų grupę yra skirta spalvinio matymo sutrikimų (daltonizmo) kompensavimui. Tokie sutrikimai kaip deutanopija (sumažėjęs jautrumas žaliai šviesai), protanopija (sumažėjęs jautrumas raudonai šviesai) ir tritanopija (sumažėjęs jautrumas mėlynai šviesai) ženkliai paveikia tai, kaip žmogus suvokia spalvas [57]. Dėl šių sutrikimų tam tikros spalvų poros tampa sunkiai atskiriamos, kas gali lemti prastesnę naudotojo patirtį.

Realizuoti daltonizmo filtrais siekia sušvelninti šias problemas. Jų tikslas nėra tiesiog atkurti trūksamas spalvas, nes tai yra neįmanoma. Vietoj to, jie modifikuoja esamas vaizdo spalvas taip, kad probleminės spalvų poros būtų transformuotos į tokias, kurias asmuo su konkrečiu sutrikimu galėtų lengviau atskirti. Tai dažnai pasiekiamą keliais būdais:

- Perkeliant informaciją: pavyzdžiui, raudonos ir žalios spalvų skirtumai gali būti subtiliai perkelti į mėlynus ir geltonus atspalvius, kuriuos paveikti asmenys paprastai regi geriau.
- Didinant skirtumus: esami spalvų skirtumai gali būti dirbtinai padidinti. Tai veikia kaip kontrasto didinimo filtras, tačiau jis pritaikomas tik kelioms spalvoms.

Šie korekciniai filtrai ne tik pagerina vaizdo informatyvumą, bet ir leidžia platesniam žmonių ratui naudotis programa. Svarbu paminėti, kad visi filtrai, ypač korekciniai, turi intensyvumo parametrą. Tai leidžia naudotojui pačiam reguliuoti filtro poveikio stiprumą, nes per stipri korekcija kartais gali atrodyti nenatūraliai ir dar labiau pabloginti matomumą (22 pav.).



22 pav. Palyginimas tarp originalių spalvų ir stipraus protanopijos filtro.

## 5. Testavimas

### 5.1. Testavimo planas

Šiame skyriuje apibrėžiamos programos testavimo planas, siekiant užtikrinti jos kokybę, funkcionalumą ir patogumą naudoti. Testavimas bus atliekamas keliais lygiais, apimant vienetinius testus, naudotojo sąsajos testavimą ir našumo bei suderinamumo patikrinimus.

#### 5.1.1. Vienetiniai testai (angl. *unit tests*)

Pagrindinis vienetinių testų tikslas – patikrinti individualių programos komponentų ir funkcijų teisingumą izoliuotai. Bus siekiama padengti svarbiausias programos dalis:

- Algoritmų testavimas: bus tikrinamas kiekvieno ASCII meno generavimo algoritmo (pvz., šviesumo, Sobelio, Canny, Breilio) veikimas su įvairiais įvesties duomenimis, siekiant užtikrinti teisingą vaizdų konvertavimą ir kraštinių atpažinimą.
- JSON skaitymo (angl. *parsing*) testavimas: bus tikrinamas atsako iš išorinių API („Mapillary“, „Imgur“, „TravelTime“) JSON duomenų formatų teisingas nuskaitymas ir interpretavimas, išskaitant ribinius atvejus ir galimas klaidas.
- Konfigūracijos failo apdorojimas: bus testuojamas konfigūracijos failo nuskaitymas, reikšmių interpretavimas ir klaidų valdymas (pvz., trūkstamos reikšmės, neteisingas formatas).
- Pagalbinių funkcijų testavimas: kitos svarbios loginės dalys, tokios kaip navigacijos logika, koordinacių apdorojimas, bus tikrinamos atskirais vienetiniais testais.

#### 5.1.2. Naudotojo sąsajos (TUI) testavimas

Naudotojo sąsajos testavimas bus orientuotas į naudojimo patogumą ir intuityvumą komandinės eilutės aplinkoje:

- Intuityvumas ir valdymas: bus tikrinama, ar programos valdymas klaviatūra yra aiškus, ar komandos yra lengvai įsimenamos ir ar naudotojas gali lengvai atligli norimus veiksmus (pvz., naršyti, keisti nustatymus, gauti pagalbą).
- Pagalbos prieinamumas: bus užtikrinama, kad pagalbos informacija (*h* mygtukas) būtų visada pasiekiamamas iš bet kurios programos būsenos ir pateiktų aktualią informaciją apie galimus veiksmus.
- Klaidų valdymas ir pranešimai: bus tikrinama, kaip sistema reaguoja į neteisingas naudotojo įvestis ar išorinių sistemų klaidas, ar pateikiami aiškūs ir informatyvūs klaidų pranešimai, neleidžiantys naudotojui „užstrigti“.
- Nuoseklumas: bus tikrinamas sąsajos elementų ir veiksmų nuoseklumas visoje programoje.

#### 5.1.3. Našumo testavimas

Našumo testavimo tikslas – užtikrinti, kad programa veiktų pakankamai greitai ir neapkrautų sistemos resursų nepagrįstai:

- Atsako laikas: bus stebima, ar atskiri programos etapai (pvz., vaizdo gavimas iš API, ASCII meno generavimas, ekrano atnaujinimas) neužtrunka nepagrįstai ilgai, ypač lyginant su kitais etapais. Siekiama, kad vaizdo konvertavimas ir atvaizdavimas terminale būtų kuo spartesnis po duomenų gavimo.
- Resursų naudojimas: bus stebimas atminties ir procesoriaus naudojimas programai veikiant, siekiant išvengti didelio resursų sunaudojimo.

#### 5.1.4. Suderinamumo testavimas

Suderinamumo testavimas bus atliekamas siekiant užtikrinti programos veikimą skirtingose operacių sistemoje ir terminalo aplinkose:

- Operacinės sistemos: programa bus testuojama pagrindinėse operacinėse sistemose: „Windows“, „Linux“ (pagrinde „Debian“) ir „macOS“.
- Terminalų emuliatoriai: bus tikrinamas programos veikimas populiaruose terminalų emuliatoriuose, ypač atkreipiant dėmesį į spalvų palaikymą ir specialių simbolių atvaizdavimą.

Šis testavimo planas padės identifikuoti ir ištaisyti galimas klaidas bei pagerinti bendrą programos kokybę ir naudotojo patirtį.

## 5.2. Testavimo kriterijai

Šiame skyriuje apibrėžiami pagrindiniai kriterijai, kuriais bus vadovaujamas vertinant programos testavimo rezultatus ir bendrą jos kokybę. Sėkmingas testavimas bus laikomas tada, kai programa atitiks šiuos kriterijus:

- Funkcinis korektyvumas
  - Visi programos komponentai, ypač ASCII konvertavimo algoritmai ir JSON duomenų skaitymas, veikia teisingai pagal numatyta logiką ir pateikia tikslius rezultatus.
  - Navigacijos funkcijos (judėjimas pirmyn/atgal, tarp artimų taškų) veikia patikimai.
  - Spėliojimo žaidimo logika yra korektyka.
  - Pagalbos funkcija pateikia teisingą ir aktualią informaciją.
- Naudotojo sąsajos kokybė
  - TUI yra intuityvi ir lengvai perprantama tikslinei auditorijai (komandinės eilutės naudotojams).
  - Pagalbos informacija (*h* mygtukas) yra visada pasiekama ir aiški.
  - Naudotojas negali „uzstrigt“ programoje – visada yra aiškus kelias testi veiksmus arba išeiti.
  - Klaidų pranešimai yra informatyvūs ir padeda suprasti problemos priežastį.
- Našumas
  - ASCII meno generavimas ir ekrano atvaizdavimas po duomenų gavimo iš API įvyksta per priimtiną laiką (pvz., mažiau nei 1-2 sekundes modernioje techninėje įrangoje), nesukeliant naudotojui pastebimo diskomforto.
  - Bendras atsako laikas į naudotojo komandas (išskyrus API užklausas) yra greitas.
  - Programa nenaudoja neproporcionaliai daug sistemos resursų (CPU, atminties).
- Stabilumas ir patikimumas
  - Programa veikia stabiliai, be netikėtų „lūžių“ ar užstrigimų normaliomis naudojimo sąlygomis.
  - Programa korektykai tvarko numatomas klaidas (pvz., API atsako klaidos, neteisinga įvestis, tinklo problemos).
- Suderinamumas
  - Programa sėkmingai veikia ir yra vizualiai korektyka pagrindinėse tikslinėse operacinėse sistemos („Windows“, „Linux“, „macOS“).
  - Programa tinkamai atvaizduoja ASCII meną ir spalvas populiaruose terminalų emuliatoriuose, palaikančiuose bent 256 spalvas.

Šie kriterijai padės sistemiškai įvertinti programos parengtį ir identifikuoti sritis, kurioms gali prireikti papildomo dėmesio ar tobulinimo.

## 5.3. Vienetų testavimas

Vienetų testai yra esminė programinės įrangos kūrimo dalis, skirta patikrinti mažiausias logines programos dalis – atskiras funkcijas ar metodus – izoliuotai nuo likusios sistemos. Pagrindinis tikslas yra anksti aptikti klaidas, užtikrinti kodo korektyvumą ir palengvinti kodo priežiūrą bei refaktorizavimą ateityje.

Atsižvelgiant į šio projekto specifiką, vienetų testai buvo sutelkti į tas sritis, kurios teikia didžiausią vertę ir gali būti efektyviai testuojamos izoliuotai.

- JSON duomenų apdorojimas (angl. *parsing*)
  - Buvo kruopščiai testuojamas JSON atsakymų iš išorinių API („Mapillary“, „Imgur“, „TravelTime“) konvertavimas į vidines programos duomenų struktūras.
  - Testai apėmė tiek sėkmingus scenarijus su pilnais ir teisingais duomenimis, tiek atvejus su trūks-tamais laukais ar netikėtais duomenų formatais, siekiant užtikrinti patikimą klaidų valdymą.
- Konfigūracijos failo skaitymas
  - Testuotas *config.conf* failo nuskaitymas, išskaitant teisingą visų parametru interpretavimą pagal jų tipus (pvz., eilutės, skaičiai, loginės reikšmės, specifinės enumeracijos).
  - Patikrinti scenarijai, kai konfigūracijos faile trūksta privalomų parametru arba kai parametru reikšmės yra neteisingo formato, užtikrinant, kad programa elgtusi nuspėjamai.
- ASCII meno generavimo algoritmų išvesties tikrinimas
  - ASCII meno generavimo algoritmai (pvz., šviesumo, Sobelio, Canny, Brailio) kelia unikalų iššūkį vienetų testavimui, nes jų „teisingumas“ dažnai yra subjektyvus ir pirmiausia vertinamas vizualiai.
  - Testavimo strategija
    - Etaloninio rezultato sukūrimas: naudojant programą su konkretiu, žinomu įvesties vaizdu, vi-zualiai patikrinamas ir atrenkamas algoritmiškai sugeneruotas ASCII rezultatas, kuris laikomas „geru“ arba „teisingu“.
    - Rezultato išsaugojimas: šis etaloninis ASCII rezultatas (arba jo reprezentatyvi, lengvai patikrinama dalis) yra išsaugomas kaip testo duomenų dalis.
    - Automatinis palyginimas: vienetų testas tada vykdo atitinkamą algoritmą su ta pačia pradine įvestimi ir lygina gautą ASCII išvestį su išsaugotu etaloniniu rezultatu. Sutapimas laikomas sėkmingu testu.
    - Ši strategija leidžia automatizuoti algoritmo veikimo patikrinimą po kodo pakeitimų, nors pirminis etalono nustatymas remiasi vizualiui vertinimu.
  - Papildomai, buvo testuojami algoritmai su ribiniais atvejais, pavyzdžiui, visiškai juodu ar baltu įvesties vaizdu, kur ASCII išvestis yra lengvai nuspėjama ir be vizualaus patvirtinimo.
- Pagalbinės funkcijos ir vidinė logika:
  - Testuotos įvairios mažesnės, grynos funkcijos (angl. *pure functions*), atsakingos už duomenų transformacijas, koordinačių skaičiavimus, navigacijos logikos dalis (pvz., artimiausiu taškų radimas, sekos elementų identifikavimas) ir kitus vidinius skaičiavimus.

### 5.3.1. Ribojimai ir netaikyti vienetų testai

Kai kurios programos dalys yra sudėtingos arba mažiau naudingos testuoti tradiciniais vienetų testais dėl jų prigimties ir sąsajų su išorine aplinka.

- Tiesioginis terminalo išvedimas (TUI)
  - Naudotojo sąsajos elementų atvaizdavimas tiesiogiai terminale, išskaitant ASCII meno spausdinimą ir interaktyvius meniu, nėra tikrinamas vienetų testais. Tokio testavimo automatizavimas yra sudėtingas ir dažnai trapus.
  - Vietoj to, vienetų testais tikrinama logika, kuri paruošia duomenis atvaizdavimui (pvz., teisingų simbolių sekų ir spalvų ANSI kodų generavimas). Pats vizualinis pateikimas ir sąveika tikrinami rankinio testavimo ir naudotojo sąsajos testavimo metu.
- Tiesioginės API užklausos ir atsakymai

- ▶ Vienetų testai neturėtų priklausyti nuo išorinių tinklo paslaugų (pvz., „Mapillary“ API serverių pasiekiamumo ar atsako laiko). Tokia priklausomybė padarytų testus nestabilius ir lėtus.
- ▶ Todėl API klientų sasajos (*traits*) vienetų testuose yra imituojamos (angl. *mocked*). Testuojama, ar pagrindinė programos logika teisingai sąveikauja su šiomis imitacijomis – t.y., ar ji teisingai formuoja užklausas imitacijai ir ar teisingai apdoroja imituotus atsakymus (tieka sėkmingus, tieka klaidingus). Patys API klientai (jų realizacijos) ir jų reali sąveika su išorinėmis API yra labiau integracių testų objektas, nors šio projekto rėmuose tokie testai nebuvu formaliai rašomi.

Šis selektyvus požiūris į vienetų testus leidžia sutelkti pastangas į programos branduolio logikos patikimumą, tuo pačiu pripažstant tam tikrų sąveikos su išorine aplinka aspektų testavimo sudėtingumą vienetų lygmenyje.

#### **5.4. Naudotojo sasajos (TUI) testavimas**

Terminalo naudotojo sasajos (angl. *Terminal User Interface – TUI*) testavimas šiame projekte yra itin svarbus, nes programa yra skirta naudoti išskirtinai komandinėje eilutėje. Pagrindinis tikslas – užtikrinti, kad sąveika su programa būtų intuityvi, efektyvi ir neklaidintų naudotojo, nepaisant tekstinių aplinkos ribojimų. TUI testavimas daugiausia buvo atliekamas rankiniu būdu, imituojant realius naudotojo veiksmus ir scenarius.

Testavimo metu dėmesys buvo kreipiamas į šiuos aspektus:

- Valdymo ir navigacijos patikimumas
  - ▶ Kruopščiai tikrintas kiekvienos programos būsenos valdymas naudojant klaviatūros komandas (pvz., *n* – navigacija, *g* – spėliojimas (jei aktyvus), *h* – pagalba, *q* – išėjimas, *r* – perpiešti, *s* – dalintis, *c* – išsaugoti).
  - ▶ Tikrinta, ar visos komandos veikia kaip numatyta ir ar perėjimai tarp skirtingų programos būsenų (pvz., pagrindinis vaizdas, pagalbos langas, navigacijos parinktys) yra logiški ir sklandūs.
  - ▶ Atkreiptas dėmesys į tai, ar naudotojas gali lengvai suprasti, kokioje būsenoje jis yra ir kokie veiksmai jam prieinami.
- Pagalbos sistemos efektyvumas
  - ▶ Tikrinta, ar pagalbos informacija, iškviečiama *h* mygtuku, yra pasiekama iš visų pagrindinių programos būsenų.
  - ▶ Vertinta, ar pateikiama pagalbos informacija yra aiški, tiksliai ir atitinka esamą programos kontekstą, padedant naudotojui suprasti galimas komandas ir jų poveikį.
- Klaidų apdorojimas ir naudotojo informavimas
  - ▶ Imituotos įvairios klaidingos situacijos, pavyzdžiui, neteisingų komandų įvedimas, bandymas atlikti veiksmą netinkamoje būsenoje, ar išorinių API (pvz., „Mapillary“) pateiktos klaidos (naudojant imituotus atsakymus arba testuojant realias, bet retas klaidas).
  - ▶ Tikrinta, ar programoje rodomi klaidų pranešimai yra suprantami, informatyvūs ir ar jie padeda naudotojui ištaisyti klaidą arba testi darbą.
  - ▶ Ypatingas dėmesys skirtas tam, kad programa „neužstrigtų“ ir nesugriūtų dėl netikėtų įvykių ar klaidų, o leistų naudotojui grįžti į stabilią būseną arba tvarkingai užbaigti darbą.
- Vizualinio pateikimo nuoseklumas ir aiškumas
  - ▶ Vertintas ASCII meno (tieka pagrindinio gatvės vaizdo, tieka informacinių persidengiančių langų) atvaizdavimo aiškumas ir įskaitomumas.
  - ▶ Stebėta, ar nėra vizualinių artefaktų, tokų kaip neteisingas simbolių išsidėstymas, persidengimai ar ekrano „šiukšlės“ po ekrano perpiešimo.
  - ▶ Tikrintas programos pranešimų, meniu ir kitų tekštinių elementų pateikimo stiliums nuoseklumas.

Šie TUI testavimo aspektai padėjo identifikuoti galimus naudojimo sunkumus, vizualinius netikslumus ir logines klaidas, leidžiant juos ištaisyti ir pagerinti bendrą programos kokybę bei naudotojo patirtį.

## 5.5. Našumo testavimas

Našumo testavimo tikslas – įvertinti, kaip programa naudoja sistemos resursus ir koks yra jos atsako laikas atliekant pagrindines operacijas. Siekta užtikrinti, kad programa veiktu efektyviai ir nesukeltų nepagrištost apkrovos naudotojo kompiuteriui.

Testavimo metu buvo stebimi šie našumo aspektai:

- Resursų naudojimas
  - Operatyvioji atmintis (RAM): testuojant programą, nustatyta, kad veikiantis „Java“ procesas vidutiniškai naudoja iki 1.1–1.3 GB operatyviosios atminties (naujai paleista programa – apie 500MB). Nors ši reikšmė gali atrodyti didelė paprastai komandinės eilutės programai, ji iš dalies paaiškinama „Java“ virtualios mašinos (JVM) ypatumais ir naudojamomis bibliotekomis. Tolimesnėje plėtroje būtų galima ieškoti optimizavimo galimybių, tačiau esamoje stadijoje šis atminties naudojimas laikomas priimtinu, atsižvelgiant į programos funkcionalumą. Taip pat JVM šiukslių surinkėjo (angl. *garbage collector*) nustatymai galėtų pakeisti šiuos rezultatus.
  - Centrinio procesoriaus (CPU) apkrova: stebėta, kad, išskyrus pradinį programos paleidimo etapą, kuris natūraliai reikalauja daugiau resursų, įprasto programos veikimo metu (pvz., naršant vaizdus, generuojant ASCII meną) CPU apkrova išlieka nedidelė. Net ir senesnės kartos procesoriuje (pvz., „Intel(R) Core(TM) i7-6700 CPU @ 3.40GHz“) CPU apkrova paprastai neviršijo 10%. Tai rodo, kad pati programos logika nėra itin reikli procesoriaus resursams.
- Atsako laikas
  - Bendras operacijų greitis: dauguma programos operacijų, tokią kaip ASCII meno generavimas iš gautų vaizdo duomenų, ekrano perpiešimas, navigacijos parinkčių rodymas ar pagalbos meniu iškvietimas, yra atliekamos pakankamai greitai, paprastai per mažiau nei 1–2 sekundes. Tokio greičio operacijos mūsų tikslui yra priimtinos.

Štai, pavyzdžiui, palyginimas kiek užtrunka kiekvienas ASCII generavimo algoritmas:

No Algorithm	- 22ms
Luminance	- 32ms
Braille	- 125ms
Sobel Edge Detection	- 636ms
Canny Edge Detection	- 943ms

Matome, jog net ir ilgiausias algoritmas užtrunka mažiau nei sekundę. Taip pat šie testai buvo daromi su didžiausia mūsų programos leidžiama nuotraukos kokybe. Tikėtina, kad naudotojas naudos bent 3 kartus sumažintą nuotrauką, kas taip pat žymiai sumažins konvertavimo laiką.

- Priklasomybė nuo išorinių API: pastebėta, kad bendras programos atsako laikas, ypač keičiant lokaciją ar pirmą kartą užkraunant vaizdą, labiausiai priklauso nuo „Mapillary“ API atsako greičio. Esant normaliomis tinklo sąlygomis ir serverio apkrovai, atsakas gaunamas pakankamai greitai, tačiau retais atvejais, kai „Mapillary“ atsakas vėluoja, tai tiesiogiai įtakoja ir bendrą programos reakcijos laiką. Šis aspektas yra už programos tiesioginės kontrolės ribų.
- Naudotojo sėsajos reakcija: tiesioginė sąveika su naudotojo sėsaja, pvz., klavišų paspaudimų registravimas, yra momentinė, suteikiant gerą tiesioginės kontrolės pojūtį.

Apibendrinant, našumo testavimas parodė, kad programa, neįskaitant išorinių API priklasomybių, veikia pakankamai efektyviai ir greitai standartinėje techninėje įrangoje. Operatyviosios atminties

naudojimas yra didžiausias pastebėtas resursų aspektas, tačiau jis neturėtų kelti problemų daugumai šiuolaikinių kompiuterių.

## 5.6. Suderinamumo testavimas

Suderinamumo testavimo tikslas – užtikrinti, kad kuriamą programa veiktu korektiškai ir nuosekliai skirtingoje operacinėse sistemoje bei įvairiose terminalo aplinkose. Atsižvelgiant į projekto prigimtį, sederinamumo testavimas buvo atliekamas rankiniu būdu, vykdant programą ir tikrinant jos pagrindines funkcijas šiose platformose:

- Operacinės sistemos:
  - „Linux“: programa buvo testuojama „Debian“ pagrindu veikiančioje distribucijoje.
  - „Windows“: testavimas atliktas standartinėje „Windows“ aplinkoje (pvz., „Windows 10“ / „Windows 11“ naudojant „Command Prompt“ arba „PowerShell“).
  - „macOS“: programa buvo testuojama „macOS“ operacinėje sistemoje.
- Terminalų emulatoriai:
  - Nors specifiniai emulatoriai nebuvę sistemingai dokumentuojami, testavimo metu naudoti standartiniai kiekvienos operacinės sistemos terminalai bei keli populiarūs alternatyvūs emulatoriai (pvz., „Windows Terminal“, „iTerm2“, „macOS“ sistemai, „GNOME Terminal“ ir „kitty“ „Linux“ sistemai).
  - Pagrindinis dėmesys buvo skiriamas ANSI spalvų kodų palaikymui ir teisingam specialių simbolii (naudojamų ASCII mene) atvaizdavimui.

Testavimo rezultatai:

- Bendras funkcionalumas: pagrindinės programos funkcijos – vaizdų gavimas iš „Mapillary“ API, ASCII meno generavimas pagal pasirinktus algoritmus, navigacija tarp vaizdų, pagalbos meniu veikimas, konfigūracijos failo nuskaitymas – veikė stabiliai ir teisingai visose testuotose operacinėse sistemoje. Nebuvo pastebėta kritinių klaidų ar programos „lūžių“, susijusių su operacinės sistemos specifika.
- Spalvų palaikymo tikrinimas: testavimo metu išryškėjo vienintelis reikšmingesnis sederinamumo iššūkis – automatinis terminalo

spalvų palaikymo nustatymas. Skirtingos operacinės sistemos naudoja skirtingesnes aplinkos kintamuosius (angl. *environment variables*) arba metodus terminalo savybėms nustatyti. Pavyzdžiui, kintamieji kaip *TERM* ar *COLORTERM* yra labiau paplitę „Linux“ ir „macOS“ aplinkose, tuo tarpu „Windows“ terminalai gali reikalauti kitokių patikrinimų. Dėl šios priežasties, nors programa stengiasi automatiškai nustatyti spalvų palaikymą, galutinis spalvoto ASCII meno atvaizdavimas priklauso nuo konkretaus terminalo emulatoriaus ir jo konfigūracijos. Naudotojui suteikiama galimybė konfigūracijos faile rankiniu būdu įjungti arba išjungti spalvotą išvestį.

- Simbolių atvaizdavimas: specialūs simboliai, naudojami išplėstiniuose ASCII rinkiniuose ir Brailio rašte, buvo atvaizduojami korektiškai terminaluose, palaikančiuose UTF-8 koduotę (kas yra standartas daugumoje modernių terminalų).

Apibendrinant, sederinamumo testavimas parodė, kad programa yra gerai perkeliama tarp pagrindinių operacių sistemų. Automatinis spalvų palaikymo tikrinimas pasirodė nevertingas, dėl to buvo pasirinkta suteikti rankinį spalvų įjungimo bei išjungimo valdymą per konfigūracijos failą naudotojui.

## 6. Dokumentacija naudotojui

### 6.1. Apibendrintas sistemos galimybių aprašymas

Ši sistema suteikia unikalią galimybę tyrinėti gatvės lygio panoramas tiesiogiai komandinės eilutės aplinkoje, atvaizduojant jas stilizuotu ASCII menu. Pagrindinis tikslas – leisti naudotojui virtualiai „keliauti“ po pasaulį neįprastu, tekstiniu formatu, naudojant klaviatūros komandas vietoj įprastos grafinės sasajos. Sistema sujungia prieigą prie gatvių vaizdų duomenų bazės su dinamišku vaizdų konvertavimu į ASCII simbolius.

Pagrindinės funkcijos, prieinamos galutiniam naudotojui, apima kelias sritis. Visų pirma, naudotojas gali pradėti naršymą įvairiais būdais: nurodydamas konkrečią vietą (pagal geografinės koordinates, adresą ar specifinį „Mapillary“ paveikslėlio identifikatorių) arba pasirinkdamas žaidybinį režimą. Šis režimas pateikia atsitiktinį gatvės vaizdą ASCII formatu, o naudotojo užduotis – atspėti, kurioje šalyje jis yra. Pradėjus naršymą ar žaidimą, naudotojas gali judėti virtualioje aplinkoje: arba pasirinkdamas vieną iš artimiausių aplinkinių vaizdų (navigacija pagal spindulį), arba keliaudamas pirmyn ir atgal pagal „Mapillary“ vaizdų seką.

Be naršymo, sistema suteikia papildomų galimybių. Naudotojas gali bet kuriuo metu išsikvesti pagalbos meniu, kuriame rodomos tuo metu aktyvios klaviatūros komandos. Jei naudotojui patinka konkretus ASCII formatu sugeneruotas vaizdas, jį galima išsaugoti kaip standartinį PNG formato paveikslėlį arba gauti nuorodą, tinkamą dalintis socialiniuose tinkluose (naudojant „Imgur“ paslaugą). Galiausiai, naudotojas gali bet kada baigti darbą su programa. Taip pat numatyta galimybė naudotis specialiu scenarijumi („vedliu“), kuris palengvina pradinės programos konfigūracijos (Programavimo sasajų raktų, vaizdo generavimo parinkčių ir kt.) sukūrimą, nors konfigūracijos failą galima redaguoti ir rankiniu būdu.

### 6.2. Naudotojo vadovas

#### 6.2.1. Konfigūracija

Norint naudoti programą, būtina turėti paruoštą konfigūracinį failą. Kaip minėta praeitame skyriuje šis failas leidžia mums ne tik pasirinkti įvairius ASCII vaizdų generavimo nustatymus, bet ir nurodyti reikiamus programavimo sasajų raktus (angl. *API keys*).

```
api {
    mapillary-key = "MLY|1111111111111111|222222222222222222222222222222"
    imgur-client-id = "Disabled"
    traveltime-app-id = "aaaaaa"
    traveltime-key = "bbbbbb"
}

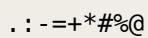
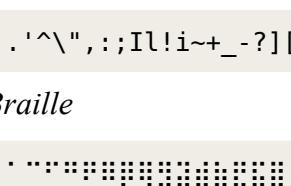
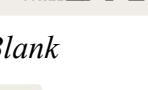
processing {
    navigation-type = "Sequence Navigation"
    algorithm = "Edge Detection Sobel"
    charset = "Blocks Extended"
    down-sampling-rate = 3
}

colors {
    color = true
    color-filter = "No Filter"
}
```

Toliau aptariamos konfigūracinio failo reikšmės, pradedant nuo API nustatymų:

- *mapillary-key* – įvedama „Mapillary“ API rakto reikšmė, ji yra būtina programos veikimui.
- *imgur-client-id* – įvedama „Imgur“ naudotojo identifikacinė reikšmė. Funkcija yra nebūtina ir gali būti išjungta konfigūracijoje nustačius reikšmę *Disabled*.
- *traveltime-app-id* – įvedama „TravelTime“ aplikacijos identifikacinė reikšmė. Funkcija yra nebūtina ir gali būti išjungta konfigūracijoje nustačius reikšmę *Disabled*.
- *traveltime-key* – įvedama „TravelTime“ API rakto reikšmė. Funkcija yra nebūtina ir gali būti išjungta konfigūracijoje nustačius reikšmę *Disabled*.

Nuotraukos konvertavimo į ASCII meną nustatymai:

- *navigation-type* – pasirenkamas gatvės lygio navigacijos tipas:
  - ▶ *Sequence Navigation* – navigacijos tipas leidžiantis naudotojams vaikščioti pirmyn ir atgal vienoje nuoseklioje vaizdų sekoje. Navigacija leidžiama, tol kol vaizdų sekoje yra naujų nuotraukų.
  - ▶ *Proximity Navigation* – navigacijos tipas leidžiantis vaikščioti į 8 skirtinges kryptis, pasirenkant vieną iš 5 galimų sekančių lokacijų. Šiame režime galima judėti tarp skirtinges sekų.
- *algorithm* – pasirenkamas algoritmas ASCII konvertavimui:
  - ▶ *Luminance* – naudojamas šviesumo algoritmas.
  - ▶ *Edge Detection Sobel* – naudojamas Sobelio kraštų atpažinimo algoritmas.
  - ▶ *Edge Detection Canny* – naudojamas Canny kraštų atpažinimo algoritmas.
  - ▶ *Braille* – naudojamas Brailio taškų metodas.
  - ▶ *No Algorithm* – naudojamas vieno simbolio užpildymo metodas.
- *charset* – pasirenkamas tekstinių simbolių rinkinys:
  - ▶ *Default*
  - ▶ 
  - ▶ *Extended*
  - ▶ 
  - ▶ *Braille*
  - ▶ 
  - ▶ *Blocks*
  - ▶ 
  - ▶ *Blocks Extended*
  - ▶ 
  - ▶ *Blank*
  - ▶ 
  - ▶ *Braille Patterns* – visi iš 8 taškų sudaryti Brailio simboliai.

- *down-sampling-rate* – įvedamas skaičius, kuris nurodo nuotraukos rezoliucijos mažinimo koeficientą, rekomenduojama nuo 1 iki 20.

Spalvų nustatymai:

- *color* – nustato ar rezultatas bus spalvotas, galimos reiškmės: *true* arba *false*.
- *color-filter* – pasirenkamas ASCII menui pritaikomas spalvų filtras:

- ▶ *No Filter* – nenaudojamas joks spalvų filtras.
- ▶ *Contrast* – naudojamas padidinto kontrasto filtras.
- ▶ *Tritanopia* – naudojamas Tritanopijos spalvų filtras.
- ▶ *Protanopia* – naudojamas Protanopijos spalvų filtras.
- ▶ *Deuteranopia* – naudojamas Deuteranopijos spalvų filtras.

Ne visos nustatymų kombinacijos grąžins kokybišką rezultatą. Todėl siekiant palengvinti konfigūracinio failo sukūrimą buvo sukurti konfigūraciniai scenarijai, kurie veda naudotoją per per programos nustatymų pasirinkimus. Pirmąkart paleidus scenarijų jis susiinstaliuos reikiamus įskiepius, todėl svarbu pasirinkti tinkamą scenarijaus versiją priklausomai nuo naudojamos operacinės sistemos:

- Windows operacinei sistemai – *windowsScript.bat*
- Linux operacinei sistemai – *linuxScript.sh*
- MacOS operacinei sistemai – *macosScript.sh*

Nors šių scenarijų technologijos skiriasi, bendras veikimas atrodys panašiai. Iš eilės bus prašoma įvesti nustatymų reikšmes, scenarijus pasirūpins, jog pasirinkti nustatymai gerai veiktu tarpusavyje.

### 6.2.2. Paleidimas

Paleisti programą galima keturiais būdais.

#### Pagal koordinates

nurodžius konkrečias koordinates programa ieškos esamų paveikslukų „Mapillary“ platformoje, nubrėždama nedidelį stačiakampį aplink nurodytas koordinates.

```
java -jar street-ascii.jar coordinates 54.901300696008846,11.892028147030498
```

Sėkmingai radus paveiksluką, programe matysite ASCII atvaizduotą jo vaizdą. Įvykus klaidai, ektrane matysite atitinkamą klaidos tekštą, pavyzdžiu:

- Autentifikacijos klaida

```
Origin image parsing failed with error: Authentication failed with status 401:  
Unauthorized
```

- Klaidingų koordinačių klaida

```
Invalid coordinates: LongitudeOutOfRangeError(1111.8920281470305)
```

- Paveikslukų radimo klaida

```
Origin image parsing failed with error: No images found for coordinates =  
Coordinates(54.901300696008846,11.892028147030498), radius = 15m. Try a  
different location or increasing the radius.
```

Ir panašios klaidos.

#### Pagal vietovės adresą

nurodžius vietovės adresą programa kreipsis į „TravelTime“ programavimo sąsają ir bandys paversti adresą į to adreso koordinates. Jei koordinatės bus rastos, toliau pagal jas bus ieškomas paveikslukas taip pat, kaip ir paleidime naudojant koordinates.

Šiam funkcionalumui būtini „TravelTime“ sąsajos raktai.

```
java -jar street-ascii.jar address "Kauno Pilis"
```

Sėkmingai radus paveiksluką, programoje matysite ASCII atvaizduotą jo vaizdą. Įvykus klaidai, ektrane matysite atitinkamą klaidos tekštą, pavyzdžiui:

- Autentifikacijos klaida

```
Error during address geocoding: Cannot use geocoding API, TravelTime credentials were not set
```

- Nepavykusio koordinačių radimo klaida

```
Geocoding did not return any results for address: Neegzistuojantis adresas 12341234
```

Ir panašios klaidos.

#### **Pagal „Mapillary“ paveiksluko unikalų identifikatorių (angl. *id*)**

nurodžius konkretų identifikatorių, programa suras atitinkampą paveiksluka „Mapillary“ platformoje ir jį matysite ekrane. Šis funkcionalumas užtikrina, jog kiekvieną kartą bus gautas tas pats paveikslukas.

```
java -jar street-ascii.jar id 1688256144933335
```

Sėkmingai radus nurodytą paveiksluką, programoje matysite ASCII atvaizduotą jo vaizdą. Įvykus klaidai, ektrane matysite atitinkamą klaidos tekštą.

#### **Lokacijos spėliojo režimu**

Programą galima paleisti lokacijos spėliojo režimu. Taip paleidus, programa atsitiktinai parinks lokaciją, o naudotojas turės atspėti, kokioje šalyje jis yra.

```
java -jar street-ascii.jar guessing
```

Sėkmingai radus nurodytą paveiksluką, programoje matysite ASCII atvaizduotą jo vaizdą bei galésite spėti šalį. Daugiau apie tai, kaip spėlioti, bus aprašyta vėlesniuose dokumentacijos skyriuose.

#### **Konfigūracinio failo nurodymas**

Programai veikti reikalingas konfigūracinis failas, kuriam sukurti yra pateikti specialūs scenarijai, aprašyti konfigūracijos dokumentacijoje. Paleidžiant programą, naudotojas gali pateikti kelią iki konfigūracinio failo.

```
java -jar street-ascii.jar guessing --config ./mano_configuracija.conf
```

```
java -jar street-ascii.jar guessing -c ./mano_configuracija.conf
```

Jei *--config* arba *-c* parametras nėra nurodytas, bus naudojama numatytoji (angl. *default*) reikšmė *./config.conf*.

#### **6.2.3. Pagalba**

Jei naudotojas nežino kaip paleisti programą ar kokie argumentai yra galimi, paleidimo metu galima iškvesti pagalbos meniu naudojant *--help* vėliavę (angl. *flag*). Klaidingo paleidimo metu (pavyzdžiui, bandant paleisti programą su klaidingais parametrais) pagalbos meniu bus pateiktas automatiškai.

- ```
java -jar street-ascii.jar --help
```

Išvestis:

```

Usage:
  StreetAscii id
  StreetAscii coordinates
  StreetAscii address
  StreetAscii guessing

Street imagery in your terminal

Options and flags:
  --help
    Display this help text.
  --version, -v
    Print the version number and exit.

Subcommands:
  id
    Start with a Mapillary image ID
  coordinates
    Start with geographic coordinates
  address
    Start with a street address
  guessing
    Start in guessing mode

```

- `java -jar street-ascii.jar guessing --help`

Išvestis:

```

Usage: StreetAscii guessing [--config <string>]

Start in guessing mode

Options and flags:
  --help
    Display this help text.
  --config <string>, -c <string>
    Path to configuration file

```

Analogiškai galima gauti pagalbos meniu visoms kitoms komandoms.

#### 6.2.4. Programos naudojimas

Paleidus programą naudotojui iškart pateikiamas lokacijos vaizdas. Toliau naudotojas gali naviguoti tarp gatvės lygio vaizdų, išsaugoti vaizdus savo kompiuteryje, pasidalinti jais socialinėje medijoje ir t.t. Iš gatvės lygio vaizdo ekrano programa yra valdoma per tam tikrus klaviatūros mygtukus:

- *n* – atidaroma navigacijos sasaja.
- *s* – sukūriamos „X“ ir „Facebook“ socialinių medijų nuorodos, kurios pasidalina paskutiniu matytu ASCII vaizdu.
- *c* – išsaugo šiuo metu matomą vaizdą naudotojo kompiuteryje kaip PNG failą.
- *h* – atidaro pagalbos meniu, kuris parodo galimus veiksmus.
- *r* – iš naujo atvaizduoja paskutinį sugeneruotą vaizdą komandinėje eilutėje.
- *q* – uždaro programą.

Paspaudus  $n$  mygtuką, priklausomai nuo konfigūracijos failo nustatymų, naudotojas gali naviguoti tarp skirtingų vaizdų vienu iš dviejų būdų, abiejų šiu būdų valdymas irgi skiriasi:

- Sekos navigavimo režime – naudotojas gali vaikščioti pirmyn ir atgal vienoje vaizdų sekoje, šiame ekrane galimi veiksmai:
  - ▶  $f$  – judame į priekį dabartinėje vaizdų sekoje.
  - ▶  $b$  – judame atgal dabartinėje vaizdų sekoje.
  - ▶  $r$  – iš naujo parodomas dabartinis gatvės lygio vaizdas.
  - ▶  $q$  – sustabdyti programą ir išeiti.
- Atstumo navigacijos režime – naudotojas gali vaikščioti į bet kurią pusę, tačiau jam pateikiamos tik 5 artimiausios dabartinės vietos esančios lokacijos.
  - ▶  $[1-5]$  – navigacija vyksta paspaudus vieną iš skaičių klavišų intervale nuo 1 iki 5. Ko pasekoje naudotojas nunešamas į lokaciją pažymėtą atitinkamu numeriu.
  - ▶  $r$  – iš naujo parodomas dabartinis gatvės lygio vaizdas.
  - ▶  $q$  – sustabdyti programą ir išeiti.

Jeigu programa yra paleidžiama spėliojimo režime, naudotojas papildomai gali atidaryti šalies spėjimo meniu, šis atidaromas paspaudus  $g$  mygtuką. Atsidariusiame lange galimos šios įvestys:

- $[1-5]$  – paspaudus bet kurį iš šių mygtukų, įvedamas šalies atvaizduotos gatvės lygio navigacijoje spėjimas.
- $q$  – sustabdyti programą ir išeiti.

Jei naudotojo spėjimas yra teisingas – programa leidžia testi spėliojimą toliau su naujomis atsitiktinėmis lokacijomis. Tačiau jei atsakymas nėra teisingas programa praneša teisingą šalį ir informuoja, jog žaidimas yra baigtas.

## 7. Išvados

Atlikus projektinį darbą padarėme išvadas:

- Komandinės eilutės aplinka, nors dažnai suvokiamas kaip ribota vartotojo sėsajos atžvilgiu, tyrimo metu atskleidė netikėtai plačias galimybes vizualiniam atvaizdavimui. Nors pradinė hipotezė buvo, kad tokia aplinka bus nepajėgi parodyti sudėtingą vaizdinį turinį. Tačiau įgyvendintas projektas pademonstravo, jog tinkamai panaudojant ASCII simbolius ir spalvų kodus, galima sukurti gana detalius vaizdus ir interaktyvius naudotojo sėsajos elementus. Tai leido programai išlaikyti paprastumą ir universalumą, kartu užtikrinant pakankamą funkcionalumą, kad vartotojo patirtis būtų intuityvi ir efektyvi.
- Pagrindinis aprivojimas, su kuriuo susidūrėme dirbdami komandinėje eilutėje, buvo statinis šriftas dydis, kuris ribojo gatvės vaizdą ir sėsajos atvaizdavimo galimybes. Ši problema tapo aktuali bandant atvaizduoti didesnio detalumo nuotraukas. Siekiant, kad ekrane tilptų visas vaizdas reikėjo stipriai mažinti terminalo šriftą, ko pasekoje kiti sėsajos elementai tapo nebeįskaitomi. Tačiau ir ši aprivojimą galima apeiti, tai buvo padaryta sėsajos elementus atvaizduojant atskirai nuo gatvės lygio fotografijų. Sėsajos elementai taip pat buvo paversti nuotraukomis, kurioms būdavo pritaikomas tas pats ASCII konvertavimo algoritmas kaip ir pačiam gatvės vaizdui. Tai leido atvaizduoti aukštost rezoliucijos nuotraukas terminalo sėsajoje ir tuo pačiu suvienodino programos stilių.
- Tyrimo metu lyginome keletos skirtingu algoritmu efektyvumą, atvaizduojant įvairias nuotraukas terminale. Paprasčiausias šviesumo (angl. luminance) algoritmas, kuris parenka ASCII simbolį pagal orginalios nuotraukos pikselių šviesumą, pasirodė esąs universaliausias. Šis algoritmas geriausiai veikė su įvairiais terminalo nustatymais, spalvų schemomis ir skirtingo apšvietimo nuotraukomis, užtikrindamas optimalų kontrastą ir detalių išsaugojimą. Naudojant jį nebuvo susidurta su problemomis kaip: detalumo trūkumas, spalvų nepalaikymas, priklausomybė nuo ryškių nuotraukos kraštų kiekiečių, kurie darė neigiamą įtaką kitų algoritmu rezultatams.
- Nuotraukų apdorojimo laikas buvo iškeltas, kaip vienas iš pagrindinių nefunkcinių programos reikalavimų. Projekto pradžioje programa užtrukdavo net iki keliolikos sekundžių kovertuoti nuotrauką į ASCII meną. Lėto veikimo priežastis buvo netinkamų duomenų struktūrų naudojimas. Vietoje sąrašo duomenų struktūros pradėjus naudoti masyvus programa tapo ženkliai efektyvesnė. Konvertavimo laikas vis dar priklausė nuo originalios nuotraukos raiškos, tačiau šis apdorojimas įvykdavo greičiau nei per sekundę. Šis greitaveikos rodiklis mus tenkino ir buvo nuspresta nelygiagretinti programos.
- Įgyvendinus ir išbandžius du skirtinges navigacijos režimus, sekos (angl. sequence) navigacija akivaizdžiai pranoko atstumo (angl. proximity) navigaciją dėl kelių priežasčių. Sekos režime visos nuotraukos, užfiksuotos vieno fotografo vienu metu, yra vienodos orientacijos, panašaus apšvietimo ir vaizdo kokybės, todėl perėjimas tarp jų yra nuoseklės ir mažiau trikdantis. Be to, sekos režimas veikia patikimai nepriklausomai nuo aplink esančių fotografijų kiekiečių, todėl vartotojui užtikrinamas nuoseklus judėjimas net ir menką žemėlapio padengimą turinčiose vietovėse.
- Projekto metu taikytas funkcinis programavimo stilis, vengiant šalutinių efektų, pasirodė esąs itin naudingas kuriant stabilią ir prognozuojamą programą. Kodas, kuriame funkcijos nepakeičia išorinių būsenų ir grąžina naują reikšmę vietoj esamos modifikavimo, buvo žymiai lengviau testuojamas ir derinamas. Tai leido išvengti daugelio įprastų programavimo klaidų, susijusių su būsenos pasikeitimui netikėtose vietose. Programos veikimas viso projekto metu išliko patikimas net sudėtingesnėse situacijose, o tai sumažino kritinių kodo klaidų skaičių iki minimumo.
- Dirbant su „Mapillary“ API, buvo pastebėti ženklūs patikimumo iššūkiai, ypač naudojant ribojamo lango (angl. bounding box) užklausas geografinėms teritorijoms. Serverių apkrovos metu API dažnai grąžindavo klaidos pranešimus arba visiškai neatsakydavo į užklausas. Šios problemas tapo

ypač akivaizdžios dienos metu, kai serveriai būdavo labiau apkrauti. Kai „Mapillary“ serveriai susidurdavo su problemomis – programa neveikdavo koordinacijų ir adresų paieškos režimuose, kadangi jų veikimas yra paremtas atstumo paieška pagal koordinates. Kiti sekos ir spėliojo režimai šių trikdžių nebuvo įtakojami ir veikdavo įprastai.

- Programos funkcija, leidžianti paleisti ją nurodant gatvės adresą vietoje tikslų koordinacijų, pasirodė esanti ne tokia naudinga praktikoje, kaip buvo tikėtasi projekto pradžioje. Pagrindinė problema kyla dėl geokodavimo paslaugų specifikos – jos paprastai grąžina koordinates, atitinkančias pastato ar objekto centrą, o ne gatvės vaizdą. Dėl to „Mapillary“ duomenų bazėje dažnai nebūdavo nuotraukų tiksliai tose koordinatėse, nes nuotraukos paprastai fiksuojamos iš gatvės perspektyvos. Tai reikalavo papildomos logikos, kad būtų rastos artimiausios nuotraukos aplink nurodytą adresą, tačiau šis sprendimas nėra tikslus ir ne visada grąžindavo norimą rezultatą.

## Literatūros sąrašas

1. Typst. Interaktyvus. [Žiūrėta 20 balandžio 2025]. Prieiga per: <https://typst.app/Official home-page for the Typst typesetting system>.
2. Typst Documentation. Interaktyvus. [Žiūrėta 20 balandžio 2024]. Prieiga per: <https://typst.app/docs/Official documentation landing page for the Typst typesetting system>.
3. Typst Guide for LaTeX Users. *Typst Documentation Guides*. Interaktyvus. [Žiūrėta 20 balandžio 2025]. Prieiga per: <https://typst.app/docs/guides/guide-for-latex-users/Specific guide within the Typst documentation aimed at users transitioning from LaTeX>.
4. GeoGuessr - Let's explore the world!. Interaktyvus. [Žiūrėta 11 gegužės 2025]. Prieiga per: <https://www.geoguessr.com/>
5. ASCII Art Generator. Interaktyvus. [Žiūrėta 11 gegužės 2025]. Prieiga per: <https://www.ascii-art-generator.org/>
6. Image to ASCII Art. Interaktyvus. [Žiūrėta 11 gegužės 2025]. Prieiga per: <https://www.asciiart.eu/image-to-ascii>
7. Convert Images to Ascii Art. Interaktyvus. [Žiūrėta 11 gegužės 2025]. Prieiga per: <https://manytools.org/hacker-tools/convert-images-to-ascii-art/>
8. LARSEN, Christian Stigen. *jp2a*. Interaktyvus. 2016. GitHub. [Žiūrėta 11 gegužės 2025]. Prieiga per: <https://github.com/cslarsen/jp2a>
9. libcaca. Interaktyvus. [Žiūrėta 11 gegužės 2025]. Prieiga per: <http://caca.zoy.org/wiki/libcaca>
10. BARONE, Leandro. *ascii-magic*. Interaktyvus. 2023. [Žiūrėta 11 gegužės 2025]. Prieiga per: <https://pypi.org/project/ascii-magic/>
11. GARRY, Chris. *Original Apollo 11 Guidance Computer (AGC) source code*. Interaktyvus. San Francisco, California : GitHub. [Žiūrėta 10 kovo 2025]. Prieiga per: [https://github.com/chrislgarry/Apollo-11Original Apollo 11 Guidance Computer \(AGC\) source code for the command and lunar modules](https://github.com/chrislgarry/Apollo-11Original Apollo 11 Guidance Computer (AGC) source code for the command and lunar modules).
12. Apollo Guidance Computer. Interaktyvus. San Francisco, California : Wikimedia Foundation, 2025. [Žiūrėta 10 kovo 2024]. Prieiga per: [https://en.wikipedia.org/wiki/Apollo\\_Guidance\\_Computer](https://en.wikipedia.org/wiki/Apollo_Guidance_Computer)
13. MARTIN, Robert C. *Clean Architecture: A Craftsman's Guide to Software Structure and Design*. Upper Saddle River, New Jersey : Prentice Hall, 2017. ISBN 978-0134494166.
14. SIMON MARLOW. Fighting spam with Haskell. *Engineering at Meta*. Interaktyvus. 26 birželio 2015. [Žiūrėta 3 balandžio 2025]. Prieiga per: <https://engineering.fb.com/2015/06/26/security/fighting-spam-with-haskell/>
15. Success Stories. Interaktyvus. [Žiūrėta 3 balandžio 2025]. Prieiga per: [https://clojure.org/community/success\\_stories](https://clojure.org/community/success_stories)A collection of success stories and case studies from companies using Clojure, hosted on the official Clojure website.
16. F# documentation. Interaktyvus. [Žiūrėta 3 balandžio 2024]. Prieiga per: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/fsharp/Official Microsoft documentation landing page for the F# programming language, part of the .NET documentation on Microsoft Learn>.
17. YARON MINSKY. Why OCaml?. *Jane Street Tech Blog*. Interaktyvus. 25 sausio 2016. [Žiūrėta 3 balandžio 2024]. Prieiga per: <https://blog.janestreet.com/why-ocaml/>
18. *History and purposes of Scala*. Interaktyvus. [Žiūrėta 25 kovo 2025]. Prieiga per: <https://www.oreilly.com/library/view/scala-and-spark/9781785280849/005ee526-d74c-4d1e-a1b3-34f6213d5ece.xhtml>

19. JAIN, Prince. Apache Spark With Scala 101—Hands-on Data Analysis Guide (2025). *Chaos Genius Blog*. Interaktyvus. 2025. [Žiūrėta 25 kovo 2025]. Prieiga per: <https://www.chaosgenius.io/blog/apache-spark-with-scala/>
20. ALEX PERIEL. *How Tech Giants Use Scala*. Interaktyvus. [Žiūrėta 25 kovo 2025]. Prieiga per: <https://sysgears.com/articles/how-tech-giants-use-scala/>
21. Akka. Interaktyvus. [Žiūrėta 25 kovo 2025]. Prieiga per: <https://akka.io> Official homepage for the Akka concurrent and distributed actor model toolkit.
22. Play Framework. Interaktyvus. [Žiūrėta 25 kovo 2025]. Prieiga per: <https://www.playframework.com> Official homepage for the Play web application framework.
23. Cats. Interaktyvus. [Žiūrėta 25 kovo 2025]. Prieiga per: <https://typelevel.org/cats> Official homepage for Cats, a functional programming library for Scala, part of the Typelevel ecosystem.
24. Cats Effect. Interaktyvus. [Žiūrėta 25 kovo 2025]. Prieiga per: <https://typelevel.org/cats-effect> Official homepage for Cats Effect, a functional effect system for Scala, part of the Typelevel ecosystem.
25. Core Concepts. *Cats Effect Documentation*. Interaktyvus. [Žiūrėta 25 kovo 2025]. Prieiga per: <https://typelevel.org/cats-effect/docs/conceptsDocumentation> page explaining core concepts of Cats Effect, including Fibers and Effects.
26. Download Java. Interaktyvus. [Žiūrėta 3 gegužės 2025]. Prieiga per: <https://www.java.com/en/download/manual.jsp> Official Oracle page providing manual download options and offline installers for Java Runtime Environment (JRE) for various operating systems.
27. Mapillary API Documentation. Interaktyvus. [Žiūrėta 20 balandžio 2025]. Prieiga per: <https://www.mapillary.com/developer/api-documentation> Landing page for the Mapillary API documentation.
28. TravelTime API Documentation. Interaktyvus. [Žiūrėta 3 gegužės 2025]. Prieiga per: <https://docs.travelttime.com/api/introduction> Introduction page for the TravelTime API, explaining its core functionalities and use cases.
29. Imgur API Documentation. Interaktyvus. [Žiūrėta 3 gegužės 2025]. Prieiga per: <https://apidocs.imgur.com> Official landing page for the Imgur API documentation, providing information on endpoints, authentication, and usage.
30. HAGEMEISTER, Marvin. So you want to render colors in your terminal. Interaktyvus. 23 balandžio 2023. [Žiūrėta 11 gegužės 2025]. Prieiga per: <https://marvinh.dev/blog/terminal-colors/>
31. Terminal Emulators Battle Royale – Unicode Edition!. Interaktyvus. 2023. [Žiūrėta 11 gegužės 2025]. Prieiga per: <https://www.jeffquast.com/post/ucs-detect-test-results/>
32. Street View Static API Overview. Interaktyvus. [Žiūrėta 5 balandžio 2025]. Prieiga per: <https://developers.google.com/maps/documentation/streetview/overview> Overview page for the Street View Static API within the Google Maps Platform documentation.
33. Street View Static API Usage and Billing. Interaktyvus. [Žiūrėta 19 liepos 2024]. Prieiga per: <https://developers.google.com/maps/documentation/streetview/usage-and-billing> Usage and billing details for the Street View Static API within the Google Maps Platform documentation.
34. Mapillary. Interaktyvus. [Žiūrėta 20 balandžio 2025]. Prieiga per: <https://www.mapillary.com> Official homepage for the Mapillary street-level imagery platform.

35. SOLEM, Jan Erik. Mapillary Joins Facebook on the Journey of Improving Maps Everywhere. *Mapillary Blog*. Interaktyvus. 18 birželio 2020. [Žiūrėta 20 balandžio 2025]. Prieiga per: <https://blog.mapillary.com/news/2020/06/18/Mapillary-joins-Facebook.html>
36. Mapillary Terms of Use. Interaktyvus. [Žiūrėta 20 balandžio 2025]. Prieiga per: <https://www.mapillary.com/terms>Official terms of use for the Mapillary platform, including data licensing terms (e.g., section 3.b).
37. Attribution-ShareAlike 4.0 International. Interaktyvus. [Žiūrėta 20 balandžio 2025]. Prieiga per: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>Official license deed for the CC BY-SA 4.0 International license.
38. Mapillary Desktop Uploader: the complete guide. *Mapillary Help Center*. Interaktyvus. kovo 2025. [Žiūrėta 20 balandžio 2025]. Prieiga per: <https://help.mapillary.com/hc/en-us/articles/360020825811-Mapillary-Desktop-Uploader-the-complete-guide>
39. TravelTime Location API. Interaktyvus. [Žiūrėta 3 gegužės 2025]. Prieiga per: <https://traveltime.com/>
40. Imgur Homepage. Interaktyvus. [Žiūrėta 3 gegužės 2025]. Prieiga per: <https://imgur.com/>
41. ØYVIND RADDUM BERG. *tui-scala*. Interaktyvus. GitHub. [Žiūrėta 5 balandžio 2025]. Prieiga per: <https://github.com/oyvindberg/tui-scala>Terminal UI library for Scala.
42. *jline3*. Interaktyvus. [Žiūrėta 19 balandžio 2025]. Prieiga per: <https://github.com/jline/jline3>JLine is a Java library for handling console input.
43. WIJNAND, Dale. *HOCON (Human-Optimized Config Object Notation)*. Interaktyvus. [Žiūrėta 11 gegužės 2025]. Prieiga per: <https://github.com/lightbend/config/blob/main/HOCON.md>
44. *Gum – A tool for glamorous shell scripts*. Interaktyvus. [Žiūrėta 11 gegužės 2025]. Prieiga per: <https://github.com/charmbracelet/gum>
45. Composable command-line parsing for Scala. Interaktyvus. [Žiūrėta 3 gegužės 2025]. Prieiga per: <https://ben.kirw.in/decline/>
46. Haversine formula. Interaktyvus. 2025. [Žiūrėta 10 gegužės 2025]. Prieiga per: [https://en.wikipedia.org/wiki/Haversine\\_formula](https://en.wikipedia.org/wiki/Haversine_formula)Wikipedia article detailing the Haversine formula, commonly used to calculate the great-circle distance between two points on a sphere given their longitudes and latitudes.
47. LOSHIN, Peter ir AWATI, Rahul. *ASCII (American Standard Code for Information Interchange)*. Interaktyvus. Newton, Massachusetts : TechTarget. [Žiūrėta 10 gegužės 2025]. Prieiga per: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/ASCII-American-Standard-Code-for-Information-Interchange>The author attribution is based on external indexing; the article existed by March 2018.
48. WAGNER, Karin. *From ASCII Art to Comic Sans Typography and Popular Culture in the Digital Age*. Interaktyvus. Cambridge, Massachusetts : MIT Press, [no date]. [Žiūrėta 11 gegužės 2025]. Prieiga per: <https://direct.mit.edu/books/oa-monograph/5649/From-ASCII-Art-to-Comic-Sans/Typography-and-Popular>
49. FRISCH, H.L. ir JULESZ, B. *Figure-ground perception and random geometry*. Interaktyvus. 1966. Springer. [Žiūrėta 11 gegužės 2025]. Prieiga per: <https://link.springer.com/article/10.3758/BF03207416>
50. List API Documentation. Interaktyvus. [Žiūrėta 11 gegužės 2025]. Prieiga per: <https://www.scala-lang.org/api/3.x/scala/collection/immutable>List.html>

51. SNELLING, Alex. *How does image to ASCII work?*. Interaktyvus. ASCII Everything. [Žiūrėta 11 gegužės 2025]. Prieiga per: <https://asciieverything.com/ascii-tips/how-does-image-to-ascii-work/>
52. MARKUS, Nenad, FRATARCANGELI, Marco, PANDZI, Igor S. ir AHLBERG, Jorgen. *Fast Rendering of Image Mosaics and ASCII Art*. Interaktyvus. 2015. John Wiley & Sons Ltd. [Žiūrėta 11 gegužės 2025]. Prieiga per: [https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/215545/local\\_215545.pdf](https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/215545/local_215545.pdf)
53. SODHA, Sean. *An Implementation of Sobel Edge Detection*. Interaktyvus. Project Rhea. [Žiūrėta 11 gegužės 2025]. Prieiga per: [https://www.projectrhea.org/rhea/index.php/An\\_Implementation\\_of\\_Sobel\\_Edge\\_Detection](https://www.projectrhea.org/rhea/index.php/An_Implementation_of_Sobel_Edge_Detection)
54. VINCENT, O. R. ir FOLORUNSO, O. *A Descriptive Algorithm for Sobel Image Edge Detection*. Interaktyvus. 2009. Informing Science Institute. [Žiūrėta 11 gegužės 2025]. Prieiga per: <https://proceedings.informingscience.org/InSITE2009/InSITE09p097-107Vincent613.pdf>
55. *What is Canny edge detection?*. Interaktyvus. Educative.io. [Žiūrėta 11 gegužės 2025]. Prieiga per: <https://www.educative.io/answers/what-is-canny-edge-detection>
56. The Braille Alphabet. Interaktyvus. [Žiūrėta 11 gegužės 2025]. Prieiga per: <https://www.pharmabraille.com/pharmaceutical-braille/the-braille-alphabet/>
57. WOODS, Rob. *What are the different types of color blindness?*. Interaktyvus. 24 vasario 2021. All About Vision. [Žiūrėta 11 gegužės 2025]. Prieiga per: <https://www.allaboutvision.com/conditions/color-blindness/types/>