



**MATEMATICKO-FYZIKÁLNÍ
FAKULTA
Univerzita Karlova**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Jméno Příjmení

Název práce

Název katedry nebo ústavu

Vedoucí bakalářské práce: Vedoucí práce

Studijní program: studijní program

Studijní obor: studijní obor

Praha ROK

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona v platném znění, zejména skutečnost, že Univerzita Karlova má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

V dne

Podpis autora

Poděkování.

Název práce: Název práce

Autor: Jméno Příjmení

Katedra: Název katedry nebo ústavu

Vedoucí bakalářské práce: Vedoucí práce, katedra

Abstrakt: Abstrakt.

Klíčová slova: klíčová slova

Title: Name of thesis

Author: Jméno Příjmení

Department: Name of the department

Supervisor: Vedoucí práce, department

Abstract: Abstract.

Keywords: key words

Obsah

1 Úvod	3
1.1 RTS hry blíže	4
1.1.1 Mapy	6
1.1.2 Jednotky	7
1.1.3 Budovy	10
1.1.4 Suroviny	13
1.1.5 Vývoj technologií	14
1.2 Uživatelé	16
1.2.1 Tvůrci her	16
1.2.2 Hráči her	18
1.3 Ukázková hra	18
1.4 Cíle práce	19
2 Analýza	22
2.1 Herní engine	22
2.2 Rozdíly systémů	22
2.2.1 Zobrazení a ovládání	22
2.2.2 Kompilace	24
2.2.3 Souborové systémy	25
2.2.4 Shrnutí	26
2.3 Formát a načítání dat	26
2.3.1 Struktura balíčku	26
2.3.2 Data entit	27
2.3.3 Formáty assetů	28
2.3.4 Formát uložených úrovní	31
2.4 Poskytovaná funkcionality	32
2.4.1 Mapa	32
2.4.2 Hledání cesty	36
2.4.3 Projektily	38
3 Programátorská dokumentace	41
3.1 Skupina projektů MHUrho	41
3.2 Logika hry	42
3.2.1 LevelManager	42
3.2.2 Entity	42
3.2.3 Načítání hry	43
3.3 Plugins	43
3.4 Manipulace s balíčky	43
3.5 Mapa	43
4 Uživatelská dokumentace	44
Závěr	45
Seznam použité literatury	46

A Přílohy	49
A.1 První příloha	49

1. Úvod

Strategické hry jsou žánrem, ve kterém hráči využívají svých mentálních schopností, především taktického a strategického myšlení, pro porážku jednoho či více nepřátel. Ve většině případů se strategické hry zabývají tématem války. Takto popisuje strategické Ernest Adams ve své knize *Fundamentals of Game Design* [2, str. 419]

Žánr strategických her obsahuje mnoho poddruhů s velice rozdílnými nároky jak na hráče, tak na vývojové prostředí a na vývojáře samotného. Prvním kritériem pro rozdělení strategických her je, zda se hra odehrává jako posloupnost diskrétních tahů, nebo zda se hra odehrává v přímé závislosti na ubíhajícím reálném čase. Druhým kritériem je relativní četnost a důležitost strategických rozhodnutí vůči taktickým rozhodnutím. Tato dvě kritéria použil Mark H. Walker [31] pro jejich rozdělení na tyto poddruhy:

- *Real-time strategy* (RTS) - reálný čas, strategická rozhodnutí,
- *Real-time tactics* (RTT) - reálný čas, taktická rozhodnutí,
- *Turn-based strategy* (TBS) - diskrétní tahy, strategická rozhodnutí,
- *Turn-based tactics* (TBT) - diskrétní tahy, taktická rozhodnutí.

Cílem této práce je vytvořit platformu umožňující tvorbu Real-time strategy (RTS)¹ her. V následujících částech popíšeme rozdíly mezi poddruhy strategických her a vymezíme podmnožinu, jejíž vývoj bude naše platforma podporovat.

Real-time strategy

RTS, v překladu strategické hry probíhající v reálném čase, jsou poddruhem strategických her ve kterém se změny stavu odehrávají v přímé závislosti na změně času v reálném světě. Reakce v reálném čase jsou náročnější jak pro hráče, který je často nucen použít suboptimální strategii, tak pro hru samotnou, která musí provádět výpočet dalšího stavu v omezeném čase. Stejně tak umělá inteligence, jakožto součást hry, musí reagovat na aktivity zbylých hráčů s omezeným časem, což limituje množství dat a složitost výpočtu, které může umělá inteligence použít. Z tohoto důvodu je vývoj RTS her složitým procesem, spojujícím mnoho oborů, který se pokusíme zjednodušit vytvořením naší platformy.

Zbylé poddruhy strategických her neplánujeme v naší platformě explicitně podporovat, ale nijak nevylučujeme, že bude možné do jisté míry využít naší platformu i pro tvorbu těchto poddruhů strategických her. Zároveň je pro tvorbu RTS her výhodné znát příbuzné žánry, z kterých je možno se inspirovat a přebírat některé z jejich mechanik. Z tohoto důvodu ve zkratce popíšeme i zbylé poddruhy.

¹Název "real-time strategy", poprvé použitý při propagaci hry Dune II [33], je připisován prezidentu a spoluzakladateli Westwood Studios [39], Brettu Sperrymu. Toto studio následně využilo zkušenosti získané při tvorbě Dune II pro vývoj jedné z nejznámějších sérií RTS her, Command & Conquer [37].

Real-time tactics

Prvním příbuzným žánrem jsou *Real-time tactics* (RTT) hry, někdy také nazývány fixed-unit real-time hry [30], neboli hry s pevným počtem jednotek probíhající v reálném čase. Hlavním rozdílem, odlišujícím RTT od RTS, je omezení strategických rozhodnutí a větším důrazem na taktická rozhodnutí a micromanagement jednotlivých jednotek. RTT hry nedovolují hráči tvorbu nových jednotek, stavbu budov či produkci surovin, hráč je tedy nucen s jednotkami, které má na začátku souboje, vyhrát celý souboj. Jedním z příkladů čistě RTT her je série Blitzkrieg [35]. Hráč začíná každou misi s jednotkami, které si vybral před misí. Tyto jednotky jsou jediné, které bude moci v průběhu mise využít, což nutí hráče použít svých taktických schopností a maximalizovat účinnost těchto jednotek.

Turn-based strategy

Turn-based strategy jsou strategické hry, ve kterých změny stavu probíhají v diskrétních tazích. Doba mezi tahy často není nijak omezena, což hráči umožňuje vymyslet optimální strategii. Oproti RTS tyto hry často omezují taktickou část problémů a umožňují hráči soustředit se výhradně na strategickou část hry, tedy plánování budov, produkci surovin, vývoj technologií a celkovou strategii pro jeho ekonomiku a armádu. Příkladem tohoto žánru je série her Civilization [8]. Naše platforma nebude explicitně podporovat tahy, myslíme si však, že bude možné toto rozdělení do tahů vytvořit použitím platformou poskytovaných prostředků.

Turn-based tactics

Turn-based tactics umožňují hráči přímé ovládání několika málo jednotek, které v každém tahu mohou provést jeden či více úkonů. Těmito úkony mohou být střelba na nepřátelskou jednotku, vyléčení přátelské jednotky, pohyb po mapě či například zničení terénu. Ukázkovým příkladem je série her X-COM [34]. Ve hře X-COM 2 hráč vlastní až malé desítky jednotek, z kterých vybírá malou skupinu a vysílá ji na jednotlivé mise. Při misi má každá jednotka v každém tahu možnost vykonat dvě akce. Akce může být přesun o omezenou vzdálenost, použití schopnosti či útok na nepřítele. Pro normální jednotky útok ukončuje tah dané jednotky a hráč může provést tah následující.

Shrnutí

Jak můžeme vidět, žánr strategických her zahrnuje hry s velmi rozmanitými vlastnostmi a požadavky. Z tohoto důvodu se naše práce zaměří na podporu vývoje her jednoho konkrétního poddruhu, a to RTS. Přestože naše platforma bude cílena na tvorbu tohoto poddruhu, nevylučujeme, že bude možné využít ji i pro tvorbu her spadajících do jednoho ze zbylých poddruhů strategických her.

1.1 RTS hry blíže

Jak bylo řečeno výše, naše platforma bude navržena pro podporu vývoje RTS her. RTS hry jsou ovšem stále příliš velká množina s příliš rozmanitými mechanika-

kami na to, aby jedna platforma dokázala podporovat všechny možné RTS hry. Proto zde dále omezíme námi podporovanou podmnožinu RTS her.

Již od svého vzniku na konci osmdesátých let a začátku devadesátých let minulého století obsahovaly RTS hry několik konceptů, které lze nalézt v drtivé většině her tohoto žánru i dnes.

Těmito koncepty jsou:

- výroba a ovládání jednotek s cílem ovládnutí části mapy a zničení nepřátelských jednotek a budov;
- stavba budov pro umožnění stavby nových druhů budov, jednotek či získání surovin;
- získávání surovin pro stavbu jednotek a budov;
- výzkum nových technologií.

Tyto koncepty, jako základní kámen RTS her, se bude naše platforma snažit podporovat a zjednodušit tvůrcům her jejich implementaci.

Hlavní inspirací pro tvorbu platformy, a tím i pro typ her, které bude platforma nejjednodušejí podporovat, byla hra Stronghold Crusader. Na této a dalších hrách ukážeme v následujících částech blíže základní principy RTS her a námi podporované implementace těchto principů.

Strategie vs. taktika

Jedním z hlavních problémů RTS her je pečlivé vyvážení kombinace strategie/macromanagementu a taktiky/micromanagementu. Tyto pojmy bývají často špatně chápány a někdy zaměňovány, pokusíme se je proto konkrétně definovat. Strategií míníme rozhodnutí týkající se globálního průběhu hry. Taktika naopak zahrnuje konkrétní pozice konkrétních jednotek, jejich pohyb po mapě a spolupráci v jedné bitvě.

Mezi strategická rozhodnutí v RTS hrách patří kupříkladu které budovy hráč postaví, v jakém pořadí dané budovy postaví, které suroviny bude produkovat, které suroviny vyneschá, které jednotky bude rekrutovat a které vyneschá. Tato 3 rozhodnutí jsou úzce propojena, protože výběr surovin určuje budovy, které bude hráč schopen postavit a typy jednotek, které bude moci zrekrutovat. Stejně tak výběr budov určuje suroviny, které hráč může produkovat a typy jednotek, které může zrekrutovat.

Taktika/micromanagement je v RTS hrách reprezentován ovládáním jednotek, jejich přesné pozice, pohybu, směru útoku, používání schopností atd. Micromanagement lze ale vidět i v ekonomické stránce hry, kdy hráč

Nejlepším příkladem pro rozlišení pojmu strategie a taktiky je série her Total War [38], které kombinuje mód tahové strategie s módem real-time tactics (RTT). V jedné části hry hráč přebírá kontrolu nad celým svým národem, rozhoduje, které budovy budou ve kterých městech postaveny, které jednotky budou rekrutovány a kde budou které armády umístěny. V druhé části, při souboji nepřátelských armád, hráč přebírá kontrolu nad konkrétní armádou a ovládá jednotlivé bataliony, jejich umístění, pohyb a útoky v reálném čase.

Naše platforma nemá za cíl nijak omezovat možnosti vytvářených her v rámci jejich zaměření na taktiku či strategii. Toto rozhodnutí chceme nechat čistě na uživateli naší platformy.

1.1.1 Mapy

Reprezentace herní mapy je jedním z hlavních rozhodnutí při tvorbě RTS her. Hlavní funkcí herní mapy je reprezentovat terén pro pohyb jednotek a stavbu budov. Tato funkce může zahrnovat neprostupné části mapy, několik různých druhů terénu prostupné různým druhům jednotek či části mapy ovlivňující rychlosť pohybu jednotek. Při stavbě budov je pak často omezen typ terénu, na kterém je hráč schopen danou budovu postavit. Vzhledem k uzavřenosti většiny RTS her je složité zjistit, jak je v každé z nich herní svět reprezentován, z pozorovatelného vnějšího chování lze ale odvodit několik základních druhů reprezentací.

Nejstarší a nejjednodušší reprezentací je rozdělení mapy na stejně velké dlaždice. Tyto dlaždice mohou být různých tvarů, nejčastěji jsou však čtvercové či hexagonální. Příkladem takového reprezentace je právě hra Stronghold Crusader [9], podle které chceme naši platformu modelovat. Jak je vidět na obrázku 1.1, herní mapa je viditelně rozdělena na stejně velké čtvercové dlaždice. Dále můžeme vidět, že je kamera orientována diagonálně vůči dlaždicím. Účelem této orientace je skrytí toho, že je mapa složena z dlaždic. Každá dlaždice je nějakého typu, který určuje její vzhled, což můžeme vidět v části zvýrazněné červenou barvou. Vidíme zde řady pěti dlaždic stejného typu, oddělené vždy jednou dlaždicí pouštěního typu. Můžeme si všimnout, že i dlaždice stejného typu mohou mít několik různých vzhledů. Typ dlaždice je dále využíván jako omezení při stavbě budov, kde například kamenolom lze postavit pouze na dostatečném počtu dlaždic typu kámen. Toto můžeme vidět v části označené modrou barvou, kde se hráč pokouší umístit budovu, která ovšem nemůže být postavena na dlaždicích typu mokřadu. Dlaždice tohoto typu jsou proto zvýrazněny červenou barvou v rámci půdorysu budovy. Dále můžeme v horní části ukázky vidět dlaždice s rozdílnou výškou od okolního terénu, tvořící nedostupnou oblast mapy. Dále můžeme vidět pro jednotky neprostupný typ dlaždic obsahujících vodu. Uprostřed obrázku poté vidíme velkou oblast kamení a železa, kde oblast kamení ukazuje texturu kvalitně skrývající složení mapy z dlaždic, naopak na oblasti železa jasně vidíme hranice jednotlivých dlaždic, především ve směru z levého dolního rohu do pravého horního rohu.



Obrázek 1.1: Ukázka dlaždic ve hře Stronghold Crusader

Na každé dlaždici může být postavena až na výjimky nejvýše jedna budova a stát nejvýše jedna jednotka. Při pohybu jednotek není tato vlastnost dodržována, lze tedy jednotky přesouvat přes dlaždice na kterých již jiná jednotka stojí.

Naše platforma bude podporovat rozšířenější verzi tohoto druhu mapy, ve které nebudeme vynucovat limity na počty jednotek a budov na jedné dlaždici. Tato omezení budou přenechána pro implementaci tvůrcem her využívajících naši platformu a bude vytvořeno rozhraní pro co nejjednodušší implementaci těchto limitů.

Naše platforma bude podporovat mapu s těmito vlastnostmi:

Další
druhy
(5)

M1: terén rozdělený na čtvercové dlaždice,

M2: dlaždice s různou výškou,

M3: dlaždice různých typů,

M4: možnost dotazovat se na jednotky nacházející se na dlaždici,

M5: možnost dotazovat se na budovy postavené na dlaždici.

1.1.2 Jednotky

Jednotky jsou základním nástrojem hráče pro boj s nepřítelem. Pohybem po mapě, poškozováním ostatních jednotek a ničením budov jednotky umožňují hráči vést souboj s protivníkem, získat strategickou výhodu a následně vyhrát hru.

Pohyb

Hlavním odlišujícím prvkem jednotek od budov je jejich schopnost pohybu. Pohyb jednotky je určen jejím typem, kde každý typ jednotek může procházet jinými typy terénu, pohybovat se nad terénem, na vodě či pod vodou. Naše platforma bude podporovat pohyb jednotek kdekoli nad terénem, navíc bude tvůrcům poskytnuta komponenta umožňující chůzi po terénu, neboť je to nejčastější způsob pohybu.

Pohyb jednotek je nejčastěji řízen hráčem, ať už na úrovni příkazů jednotlivým jednotkám, tak na úrovni slučování jednotek do skupin a ovládání těchto skupin. Naše platforma bude umožňovat jak ovládání jednotlivých jednotek, tak celých skupin. Dále umožníme vývojáři přidat složitější ovládání, například slučování do permanentních formací a následné ovládání těchto formací.

V některých hrách existují také jednotky, které se mohou své schopnosti pohybu vzdát a stát se budovu, buď dočasně, nebo trvale. Příkladem takového jednotky/budovy mohou být budovy Nočních elfů ze hry Warcraft 3 [5]. Tyto entity jsou stavěny jako budovy, tedy jsou umístěny do světa a postaveny jednotkou, stejně jako u všech ostatních ras. Následně je ale hráči umožněno, pomocí speciální ability těchto budov, změnit je dočasně na jednotky a pohybovat s nimi či je dokonce použít pro boj. V tomto módu ale ztrácí všechny funkce budov, tedy není možné je použít pro sběr surovin či produkci jednotek. Následně je možné znovu je zakořenit, čímž získávají zpět své funkce budovy. Naše platforma by měla takové jednotky/budovy také podporovat.

Umělá inteligence

Ve velké části RTS her jsou jednotky schopny do určité míry autonomního rozhodování bez zásahu hráče, od střelby na cíl, který se ocitne v jejich dostřelu, po vyhledání krytu, pokud jsou pod palbou.

Jako příklad jednoduché umělé inteligence jednotek můžeme vzít hry Starcraft [6] a Warcraft [5] od společnosti Blizzard [36]. Zde se jednotky chovají velice předvídatelně, splňují přesně hráčovi rozkazy a nedělají nic navíc, což James Lantz [16] označuje jako jeden z faktorů, které umožnili hře Starcraft II vytvořit jednu z prvních masivních e-sport scén na světě.

Dobrým příkladem jednotek s vysokou autonomií je série Company of Heroes [26], kde jednotky automaticky vyhledávají krytí, rozutečou se, pokud jsou pod palbou dělostřelectva, a v případě příliš velkých ztrát utečou z boje. Příklad tohoto chování můžeme vidět na obrázku 1.2. V levé části vidíme skupinu jednotek, útočících na nepřátelskou jednotku mimo obraz ve směru červené šipky. Na prostřední části můžeme vidět, že po zničení nepřátele se jednotka začala přesouvat ve směru modré šipky, nejspíše pro získání lepšího krytí a lepší palebné pozice vůči zbývajícím nepřátelským jednotkám. Tento přesun je vykonán bez zásahu hráče, jak můžeme vidět díky modré ikoně nad jednotkou, která značí, že jednotka není zvolena hráčem a není jím tedy ovládána. Oproti tomu v pravé části můžeme vidět, že jednotka hráčem označena je díky bílé barvě ikony nad jednotkou. Vidíme, že hráč vydal rozkaz pro přesun zpět, zvýrazněný zeleně. Tato reakce byla vynucena umělou inteligencí jednotky, která se sama od sebe rozeběhla ve směru nepřátelských linií a donutila hráče reagovat. Jak vidíme, autonomie má svou cenu, a to v nepředvídatelnosti chování jednotek. Při jednoduché umělé inteligenci jednotek je hráč schopen předvídat jejich chování a využít ho pro svůj prospěch. Naopak při složité umělé inteligenci, jako právě v případě Company of Heroes, je hráč často nucen provést více pokusů při vydávání rozkazu, či vydávat rozkazy pro negaci automatického chování jednotky, protože není schopen toto chování jednoduše odhadnout. Tato skutečnost činí hry často realističejší, protože simuluje chování reálných vojáků, kteří rozkaz interpretují a implementují podle svého, není ale vhodná pro souboje více hráčů, a už vůbec né více hráčů na profesionální úrovni.



Obrázek 1.2: Ukázka autonomního chování jednotek ve hře Company of Heroes [26]

Platforma bude umožňovat vykonat libovolný kód v rámci každého výpočtu stavu každé jednotky, bude tedy pouze na vývojáři, zda se budou jednotky chovat jednoduše a předvídatelně, nebo zda budou vykonávat složité, avšak nepředvídatelné úkony bez hráčova vědomí. Pro ulehčení vývoje bude platforma poskytovat předpřipravené komponenty, umožňující základní úkony jako střelbu na cíl, pohyb po mapě a útok na blízko.

Produkce

Jednou z vlastností definujících RTS hry je možnost produkce nových jednotek. Existuje několik systémů produkce jednotek, úzce svázaných se systémem surovin v dané hře. (viz. 1.1.4) Od kontinuální produkce, kde hráč zvolí produkovány jednotky a suroviny jsou spotřebovávány v průběhu produkce, po diskrétní produkci, kde hráč musí vlastnit všechny suroviny potřebné pro výrobu dané jednotky při začátku produkce a všechny suroviny jsou odečteny v jeden okamžik. Kontinuální systém umožňuje hráči naplánovat produkci armády v předstihu, i když v daném okamžiku nevlastní dostatečné suroviny. Naopak při diskrétní produkci je hráč nucen čekat do chvíle, kdy má všechny suroviny, a až poté může začít s produkcí. Naše platforma se pokusí podporovat oba systémy. Bude záležet pouze na tvůrci hry, jak se k surovinám a produkci jednotek zachová a který z těchto systémů bude implementovat.

Počet jednotek je často limitován, jak pro účely vyvážení hry, tak pro omezení zátěže hardwaru. Z hlediska vyvážení síly jednotek umožňuje limit na počet jednotek předejít tzv. „Zergu“, kdy hráč vytvoří obrovské množství levných jednotek, které následně převálcují jakýkoli odpor. Z hlediska hardwarové náročnosti je účel limitu vcelku zřejmý, protože každá jednotka zabírá určité množství paměti a výpočetního výkonu. Stronghold Crusader omezuje počet jednotek na 1000 pro každého hráče. Toto omezení se jeví především jako limit na hardwarovou náročnost hry. Naše platforma žádné explicitní limity nestanovuje, avšak v uživatelské dokumentaci pro vývojáře budeme silně doporučovat stanovení limitů na počet budov, jednotek a projektů. Za tímto účelem umožníme vývojáři při vytvoření každé jednotky, budovy či projektu učinit rozhodnutí, zda je vytvoření možné a případně toto vytváření zrušit.

Hráč často začíná s malým počtem jednotek, jejichž účelem je zamezit tzv. „Rush“ strategii, ve které je cílem vytvořit co nejrychleji co možná nejvíce levných jednotek a zničit nepřitele ještě před tím, než je schopen začít produkovat své jednotky. Ve hře Stronghold Crusader hráč začíná každou hru s několika lučišníky a kopiníky, jejichž počet je určen v nastavení před začátkem hry. Toto bude v naší platformě umožněno přidáváním jednotek v rámci editace mapy, případně bude tvůrce hry schopen umožnit hráči určit počty jednotek před začátkem hry pomocí grafických elementů v uživatelském rozhraní a následně při začátku hry vytvořit požadované množství jednotek. Tyto jednotky bude poté hráč vlastnit již na počátku hry.

Boj

V drtivé většině RTS her mají jednotky tzv. „hit pointy“, zkráceně *HP*, které určují počet zásahů, které může jednotka obdržet než bude zabita. S každým zásahem jsou poté tyto *HP* odečítány a v okamžiku, kdy je jednotka poškozena

na 0 *HP* je zabita. Naše platforma bude tento systém samozřejmě podporovat, ale nebude ho nijak explicitně vyžadovat, bude tedy tvůrci umožněno použít jakýkoli jím implementovaný systém.

Jednotky mohou obdržet poškození z mnoha zdrojů, nejčastěji však útokem z blízka (tzv. *melee*) či z dálky (tzv. *ranged*). Útok na blízko je omezen dosahem, rychlostí útoků a velikostí uděleného poškození. Naše platforma bude podporovat komponentu poskytující útoky na blízko právě s těmito parametry. Útok na dálku lze rozdělit do dvou typů, tzv. *hit-scan* a *projektily*. První typ je reprezentován například laserovými zbraněmi, které v okamžiku výstřelu urazí celou vzdálenost, dokud nenarazí na terén či nějakou entitu (budovu či jednotku). Druhý typ v okamžiku výstřelu vytvoří projektil, který se v průběhu času pohybuje herním světem, dokud také nenarazí na terén či nějakou entitu. Naše platforma bude podle předlohy Strongholdu Crusader podporovat především projektilové útoky. Za tímto účelem bude vytvořena komponenta umožňující střelbu projektilů, dále projektily samotné, simulace jejich letu a především možnost výpočtu pro střelbu na pohyblivý cíl. Hit-scan útoky nebudou přímo podporovány, mělo by však být umožněno tvůrci hry tento typ útoků implementovat manuálně.

Shrnutí požadavků

Naše platforma bude podporovat jednotky s těmito vlastnostmi:

J1: pohyb jednotek volně kdekoliv nad terénem,

J2: podpora pohybu po terénu,

J3: ovládání jednotek a skupin jednotek,

J4: rozšířitelnost o složitější ovládání,

J5: podpora jednoduché i složité umělé inteligence v podobě vykonání libovolného kódu,

J6: podpora diskrétní i kontinuální produkce jednotek,

J7: přidávání jednotek při editaci mapy,

J8: přidávání jednotek při startu hry,

J9: podpora systému hit-pointů,

J10: útoky na blízko i na dálku,

J11: simulace projektilů.

1.1.3 Budovy

Stavba budov představuje jednu z hlavních prezentací hráčovi strategie. Podle postavených budov lze často vcelku přesně odhadnout, jakou strategii hráč zvolil, čímž je umožněno nepřátelům reagovat a adaptovat svou strategii odpovídajícím způsobem. Při volbě strategie lze ale narazit na problém, kdy je hráč nucen zvolit

svou strategii před tím, než naleze protivníky a tedy před tím, než může vidět jejich strategii. Tento problém je velmi výrazný při tzv. „rock-paper-scissors“ strategiích, popisovaných například v knize Fundamentals of Game Design [2, str. 329]. Hlavní myšlenkou tohoto návrhu her je situace, kdy strategie 1 poráží strategii 2, strategie 2 poráží strategii 3 a strategie 3 poráží strategii 1. Ve chvíli kdy naše hra umožňuje hráči zvolit pouze jednu z těchto strategií bez viditelnosti protivníkovy strategie, degeneruje hra v loterii, zda hráč náhodně vybere správnou strategii porážející tu vybranou nepřítelem. Jedním z řešení tohoto problému, navrhovaných v článku od studia Oxeye [24], je co nejmenší rozdíl v síle prvních úrovní technologie, což umožní hráčům reagovat a změnit svoji strategii před tím, než je rozdíl mezi jejich silami neúnosně velký. Dalším možným řešením, použitým ve Stronghold Crusader [9], je neskrývat před hráčem nepřítelovu strategii. Toto řešení lze použít v různé míře, od odhalení nepřátelských budov po úplné odkrytí celé mapy, tedy pozice všech jednotek i budov, ať už přátelských, nepřátelských či neutrálních. Naše platforma použije toto poslední řešení, kdy budeme hráč vidět všechny jednotky a budovy všech hráčů.

Budovy mají ve hrách mnoho funkcí, mezi které patří například:

- Produkce jednotek
- Vylepšování jednotek
- Produkce surovin
- Uskladnění surovin
- Obrana
- Stavba budov
- Zkoumání technologií

Naše platforma se pokusí co nejvíce zjednodušit implementaci těchto funkcí poskytnutím programátorského rozhraní pro umístění budov a jednotek do herního světa, přidání a odebrání surovin hráči či střelbu projektilů. Dále umožníme tvůrci her přístup ke grafickému rozhraní, do kterého bude možné umístit okna, tlačítka a další elementy, které následně použitím programátorské rozhraní budou schopné implementovat všechny zmíněné funkce budov.

Jak již bylo řečeno v sekci o jednotkách 1.1.2, naše platforma bude nechávat volbu mezi kontinuální a diskrétní produkci jednotek na tvůrci hry. Budeme se tedy snažit do co největší míry podporovat oba tyto způsoby.

Obrana

Obrana bude podporována v podobě komponent, které umožní budovám jak útok na blízko, jako v případě pastí ve hře Stronghold Crusader [9], tak na dálku, jako například obranné věže ve hře Warcraft 3 [5].

Dále v rámci funkce obrany umožňují v některých hrách budovy jednotkám pohybovat se po nich. Jak můžeme vidět na obrázku 1.3 ze hry Stronghold Crusader [9], jednotky mohou být umístěny na hradbách, věžích, bránách či na tvrzi. Na obrázku můžeme vidět různé typy jednotek, umístěné po obvodu hradu pro

jeho obranu. Jak bylo řečeno v části o jednotkách, naše platforma bude umožňovat neomezený pohyb jednotkami, tedy i ve vzduchu, na budovách či skrz budovy. Protože se pohyb po budovách vyskytuje ve velkém množství RTS her, poskytne platforma možnost rozšíření terénu o plochu budov a komponentu umožňující chůzi po těchto plochách.

Umístění na budovách poskytuje jednotkám ochranu před nepřátelskými jednotkami útočícími na blízko, které se musí nejdříve dostat do blízkosti cíle, než zaútočí.



Obrázek 1.3: Jednotky umístěné na budovách ve hře Stronghold Crusader [9]

V některých hrách, kde bohužel Stronghold Crusader [9] není jednou z nich, poskytuje vyvýšení nad terén jednotkám větší dostrel. Tento efekt nemusí být omezen pouze na vyvýšení pomocí budov, ale lze ho dosáhnout už při rozdílných výškách terénu, na kterém je umístěn střelec a jeho cíl, obecněji na rozdílu výšky pozice střelce a cíle, pokud se střelec nemusí pohybovat přímo po terénu. Naše platforma bude podporovat realistické chování projektileů splňující tuto vlastnost.

Budovy, podobně jako jednotky, mají ve většině her určitý počet tzv. „hit pointů“, které určují počet zásahů, které může budova obdržet před tím, než bude zničena. Navíc oproti jednotkám mohou budovy často obdržet poškození pouze od omezené podmnožiny jednotek, nejčastěji pouze obléhacích strojů. Stejně jako u jednotek přenecháme systém poškození na tvůrci hry. Naše platforma pouze umožní budově reagovat na zásah projektilom či zbraní, ať už snížením svých *HP*, nebo ignorováním daného útoku v případě že přišel od jednotky či projektilu, který danou budovu nemůže poškodit.

Stavba budov

Budovy mají často restrikce, které je hráč nucen splnit před stavbou budovy. Tyto restrikce mohou sahat od reliéfu a typu terénu, přes existenci jiných budov ve stejném místě, po vlastnictví určitého množství surovin či typu jednotek. Naše platforma umožní tvůrci před stavbou budovy zjistit stav všech těchto typů restrikcí a případně vetovat stavbu budovy.

Jednou z restrikcí je výzkum určité technologie či stavba určité předcházející budovy. Tyto možné závislosti jsou blíže popsány v sekci Vývoj technologií 1.1.5. Tímto druhem restrikcí jsou budovy uspořádány do postupně se zlepšujících úrovní, které hráč v průběhu času odemyká. Každá z úrovní obsahuje řadu rozdílných budov, umožňujících zvolit různé strategie. Platforma bude umožňovat tvůrce postupné zpřístupňování budov a jednotek, čímž bude tvůrce schopen implementovat postupné zkoumání nových technologií.

Existující hry využívají několik možností, jak hráči poskytnout zpětnou vazbu o splnění restrikcí při stavbě budovy. Jednoduší možnosti, použitou ve hře Stronghold Crusader [9], je zobrazení půdorysu v různých barvách podle splnění restrikcí. Další, složitější možností je zobrazení průhledného či jinak upraveného modelu budovy na místech, kde ji nelze postavit. Naše platforma bude podporovat jednoduší způsob, tedy zobrazení půdorysu budovy v různých barvách podle požadavků tvůrce hry.

Shrnutí požadavků

Naše platforma bude podporovat tyto vlastnosti:

textbfB1: stavbu budov v herním světě,

textbfB2: komponenty pro útok budov na blízko i na dálku,

textbfB3: rozšiřitelnost dostupného terénu v herní mapě o prostor na budovách,

textbfB4: podpora zvýšení dostřelu při umístění jednotky na vyvýšený terén, například budovu,

textbfB5: stavba budov při editaci mapy,

textbfB6: stavba budov při startu hry,

textbfB7: podpora systému hit-pointů,

textbfB8: tvůrcem definované reakce na obdržení zásahu budovou,

textbfB9: zobrazení půdorysu v různých barvách pro zpětnou vazbu splnění restrikcí,

textbfB10: kontrolu požadavků při stavbě budovy,

textbfB11: přístup ke grafickému rozhraní, možnost zobrazení elementů hráči.

1.1.4 Suroviny

„Resource management“ , tedy management surovin, je přítomný ve všech hrách žánru RTS již od jeho vzniku. Od koření v Dune II, přes zlato a dřevo ve Warcraft 3 [5], po všechny typy surovin ve hře Stronghold [9], získávání surovin je jednou z hlavních motivací konfliktu v RTS hrách.

Systémy surovin lze rozdělit podle způsobu získávání a počtu typů surovin. Podle způsobu získávání můžeme systém surovin rozdělit na

- 1) aktivní získávání surovin,

2) pasivní získávání surovin.

Při aktivním získávání surovin existuje ovladatelná herní entita, která svým pohybem mezi pozicemi na mapě přináší suroviny. Tento pohyb může být ovládán hráčem, ale nejčastěji dokáže pracovat jednotka samostatně. Příkladem může být Warcraft 3 [5], kde speciální jednotky získávají dřevo a zlato přenášením z lesů/dolů do hráčovy hlavní budovy. Při pasivním získávání přibývají suroviny bez akcí entit, pouze díky vlastnictví určité části mapy nebo druhu budovy. Zdroj bývá nekonečný nebo skoro nekonečný, poskytující suroviny do obsazení nebo zničení zdroje. Každý z těchto stylů podporuje jinou strategii kontroly mapy.

Naše platforma bude podporovat jak pasivní, tak aktivní získávání surovin. Bude pouze na tvůrci, v jakém okamžiku budou suroviny přičteny, ať už v závislosti na čase nebo na pohybu určitých jednotek.

Shrnutí požadavků

Naše platforma bude podporovat tyto vlastnosti:

S1: aktivní i pasivní získávání surovin,

S2: rozhraní pro přidání a odebrání surovin hráči.

1.1.5 Vývoj technologií

Volba vyzkoumaných technologií důležitou součástí strategické části RTS her. Technologie jsou často uspořádány ve stromové struktuře či orientovaném acyklickém grafu (DAG), kde vyzkoumání technologie v rodičovském uzlu odemyká technologie následujících uzlech. Příklad takového uspořádání můžeme vidět v ukázce ze hry *Civilisation V* [8]1.4, kde vidíme počátek stromu technologií. V této hře jsou technologie uspořádány do DAGu, začínajícího v jednom kořeni. Můžeme vidět žluté vrcholy, značící vyzkoumané technologie, dále zelené vrcholy, značící technologie, které mají splněné všechny předky a mohou být vyzkoumány, černé technologie, které bude možné začít zkoumat po odemčení všech předků, a nakonec červené technologie, značící technologie v dalším věku. Dále můžeme vidět hrany spojující závislé technologie.

Další možné uspořádání je několik disjunktních stromů technologií, kdy je hráč nucen zvolit jeden z těchto stromů. Toto uspořádání můžeme vidět ve hře Company of Heroes [26], kde jsou hráči dostupné tři vzájemně výlučné cesty, každá zaměřená na jinou oblast boje. Každá z těchto cest je dále rozdělena na dvě větve postupně se zlepšujících technologií.

Každé větvení v grafu technologií představuje možné rozhodnutí hráče, kterou z větví se hráč vydá a které technologie odemkne. Toto rozhodnutí jsou jedním z hlavních projevů hráčovi strategie.

Vyzkoumání technologie může mít mnoho různých efektů. Nejčastějším efektem bývá odemknutí nového typu jednotek nebo budov. Další možností je změna vlastností již vlastněných jednotek nebo budov. V neposlední řadě pak může vyzkoumání technologie odemknout nové schopnosti nebo kouzla, které hráč může následně použít při taktických soubojích.

Explicitní strom technologií, viditelný na 1.4, se v RTS hrách vyskytuje spíše výjimečně. Nejčastěji je odemykání nových typů jednotek a budov umožněno



Obrázek 1.4: Výřez stromu technologií ze hry Civilisation V [8]

stavbou určitého typu budovy nebo dosažení určitého stupně vylepšení již existující budovy. Jako příklad můžeme vzít Warcraft 3 [5], kde závislosti budov na stupních vylepšení a existenci jiných budov tvoří strom technologií. Graf tvořený těmito závislostmi můžeme vidět na obrázku 1.5. Zde vidíme stupně vylepšení budov, reprezentované šedými šipkami, a závislosti budov na ostatních budovách a stupních jejich vylepšení. Aby byl hráč schopen postavit budovu, musí vlastnit všechny budovy na kterých je tato budova závislá v požadovaném nebo lepším stupni vylepšení. Ve hře je tento graf reprezentován požadavky zobrazenými při najetí myší na ikonu zamčené budovy.



Obrázek 1.5: Budovy a závislosti mezi nimi tvořící obdobu stromu technologií ve hře Warcraft 3

Jak bylo řečeno v sekci o budovách 1.1.3, naše platforma bude umožňovat tvůrci postupné odemykání budov a jednotek, což umožní tvůrci her implementovat výzkum nových technologií. Pro technologie měnící vlastnosti typů jednotek bude pouze na tvůrci, aby změnil logiku hry a chování umělé inteligence v závislosti na vyzkoumaných technologiích.

Shrnutí požadavků

Naše platforma bude podporovat tyto vlastnosti:

textbf{T1}: postupné odemykání budov a jednotek,

textbf{T2}: změny chování a vlastností jednotek v průběhu hry.

1.2 Uživatelé

V předešlé sekci jsme popsali druh her, který bude naše platforma podporovat. V této sekci popíšeme požadavky na chování platformy z pohledu všech druhů našich uživatelů.

1.2.1 Tvůrci her

Prvním druhem uživatele budou tvůrci her, používající naši platformu pro zjednodušení své práce a vyřešení problémů opakujících se ve většině RTS her. Tvůrce samozřejmě nemusí být pouze jeden člověk, vzhledem ke složitosti RTS her existuje při jejich tvorbě mnoho rolí, které požadují velmi různorodé schopnosti a mohou být plněny více lidmi. Příkladem rolí může být 3D umělec tvořící modely a animace, producent hudby, tvůrce umělé inteligence, programátor herní logiky a nakonec člověk, který toto vše integruje dohromady.

Programátor

Naším hlavním cílem je umožnit tvůrcům umělé inteligence a programátorům herní logiky použít všechny jazyky .NET Frameworku, především C#, pro jejich práci. Z programátorského pohledu bude naše platforma sloužit jako knihovna poskytující tyto funkce:

- 1) udržování aktuálního stavu hry a zjišťování tohoto stavu;
- 2) vytváření nových jednotek, budov a projektilů;
- 3) registrování metod, které budou zavolány při určitých událostech v průběhu hry;
- 4) úpravu terénu jak v editoru, tak při běhu hry;
- 5) vykreslování terénu, jednotek, budov, projektilů a grafického rozhraní;
- 6) ukládání a načítání stavu hry;
- 7) implementaci řešení pro základní problémy jako pohyb po terénu, let projektilů a výpočet úhlu střelby projektilů;
- 8) ovládání kamery.

Protože implementace vykreslování a grafického rozhraní by byla nad rámec jedné bakalářské práce, využije naše platforma pro tyto účely existující herní engine UrhoSharp. Pro programátory následně poskytneme přístup k relevantním částem UrhoSharp enginu.

Platforma bude poskytovat ovládání kamery v několika módech. Tato funkcionality bude potřebná již pro implementaci editoru, poskytneme ji tedy i tvůrcům her. Prvním módem bude klasická RTS top-down kamera, jakou můžete

vidět na ukázce ze hry Company of Heroes 1.6. Kamera je umístěna v dostatečné vzdálenosti pro zobrazení celých skupin jednotek, skloněna zhruba 45 stupňů od horizontální polohy. Ve hře Company of Heroes je ovšem oproti jiným starším RTS hrám jako Warcraft 3 nebo Age of Empires 3 s kamerou možné rotovat a přiblížovat, což nám přijde jako velice atraktivní. Příklad tohoto pohybu kamery můžete vidět na obrázku 1.7, kde můžeme vidět pohled z Německé strany na vylodění na pláži Omaha. Toto bychom rádi podporovali i v naší platformě. Druhým módem kamery bude tzv. „free-float“, kdy kamera volně „létá“ nad terénem. Třetím módem bude sledování jednotky, kdy se kamera bude chovat jako v prvním módu, její pohyb bude ale řízen pohybem jednotky.



Obrázek 1.6: Klasický RTS pohled kamery ve hře Company of Heroes



Obrázek 1.7: Co lze vidět s pouhým přiblížováním a otáčením kamery hře Company of Heroes

Moddeři

Pro integraci vytvořených jednotek, budov, dlaždic a jejich modelů, textur a logiky umožní naše platforma vytvořit *balíček*, obsahující vše vytvořené programátory a umělci. Tento balíček poté platforma umožní přidat a načíst v libovolné instalaci platformy.

Platforma bude také sloužit jako editor úrovní, které budou využívat logiku, jednotky, budovy a typy terénu dodané pomocí balíčků. Vytvořené úrovně bude následně možné uložit zpět do balíčku a distribuovat spolu s balíčkem do dalších instancí naší platformy.

Pro editaci mapy poskytne platforma několik základních nástrojů a umožní tvůrcům modifikovat nástroje či přidávat své vlastní. Základní nástroje by měli umožnit editaci terénu mapy (změnu typu terénu na všechny tvůrci definované typy a editaci výšky dlaždic) a přidávání všech druhů jednotek a budov do mapy.

Formát ukládání úrovní bude definován otevřeně pomocí prostředků nezávislých na programovacím jazyce, címž chceme umožnit tvorbu separátních editorů map produkujících úrovně v námi používaném formátu.

1.2.2 Hráči her

Z pohledu hráče se bude platforma chovat jako instalovatelná aplikace, která hráči umožní za běhu přidávat balíčky a následně využít jejich obsah.

Při běhu platforma umožní plný přístup k nastavení UrhoSharp enginu, tedy k nastavení rozlišení, Vsync, triple buffer a dalších. Dále umožní správu balíčků, tedy přidávání, odebírání a spouštění. Při spuštění balíčku umožní platforma hráči výběr z existujících map, jak pro hraní, tak pro editaci. Dále platforma umožní vytvoření a editaci úplně nové mapy.

Při tvorbě nové mapy či editaci existující mapy mít bude hráč přístup ke všem jednotkám, budovám a typům terénu, ke kterým mu dají editační nástroje specifikované tvůrcem balíčku přístup. Následně bude hráči umožněno mapu uložit, a to přepsáním zdrojové mapy, kterou hráč načetl k editaci, nebo vytvořením nové mapy pod novým jménem.

1.3 Ukázková hra

Pro ukázkou bude vytvořen balíček s jednoduchou hrou demonstrující možnosti naší platformy. Ukázková hra bude zároveň sloužit jako referenční příklad použití naší platformy.

Ukázková hra bude obsahovat několik jednotek, demonstrujících tyto vlastnosti:

- 1) jednoduchou a složitější umělou inteligenci;
- 2) plně automatické jednotky, neovladatelné hráčem;
- 3) jednotky útočící na dálku;
- 4) Jednotky útočící na blízko;
- 5) aktivní získávání surovin;

- 6) pohyb po terénu;
- 7) pohyb nad terénem (létání);
- 8) rozdílnou rychlosť pohybu různých jednotek;
- 9) rozdílnou přístupnost částí mapy pro různé jednotky;
- 10) pohyb po budovách.

Demonstrovanými vlastnostmi budov budou:

- 1) restrikce na umístění stavby,
- 2) neprostupnost budov pro některé jednotky;
- 3) produkce surovin budovami;
- 4) přidání plochy nebo části plochy budovy jako přístupný terén pro určité typy jednotek.

Jako obecné vlastnosti bude ukázková hra demonstrovat:

- 1) RTS mód kamery,
- 2) volný pohyb kamery,
- 3) sledování jednotky kamerou,
- 4) tvůrcem definované prvky v uživatelském rozhraní,
- 5) minimapu.

Balíček obsahující ukázkovou hru bude demonstrovat tyto vlastnosti:

- 1) tvorbu vlastních úrovní za použití jednotek, budov a typů terénu obsažených v balíčku;
- 2) ukládání a načítání hry.

1.4 Cíle práce

Cílem této práce je vytvořit platformu pro vývoj 3D RTS her pro jednoho hráče za použití herního enginu UrhoSharp, umožňující vývojářům vytvářet hry jako separátně distribuované balíčky, které bude poté koncový uživatel schopen přidat do naší platformy nainstalované na uživatelském počítači a použít je pro hraní dodaných úrovní či tvorbu svých vlastních.

Při tvorbě hry bude umožněno tvůrci použít jazyky frameworku .NET pro vytvoření Umělé inteligence jednotek, budov a nepřátelských hráčů, pro vytvoření další logiky hry a pro přidání nástrojů do editoru map.

Požadované vlastnosti platformy:

- 1) podporované vlastnosti jednotek:
 - a) pohyb jednotek (J1, J2)

- b) ovládání jednotek (J3, J4)
- c) umělá inteligence, definice chování (J5)
- d) produkce jednotek (J6)
- e) přidávání jednotek jako součást úrovně (J7, J8)
- f) podpora systému hit-pointů (J9)
- g) útoky na blízko i na dálku (J10, J11)

2) podporované vlastnosti budov:

- a) stavba budov v herním světě (B1, B9, B10)
- b) podpora obraných budov (B2, B4)
- c) rozšiřitelnost dostupného terénu o plochu budov (B3)
- d) přidávání budov jako součásti mapy (B5, B6)
- e) zničitelnost budov (B7, B8)
- f) produkce jednotek, surovin, stavba budov pomocí budovy (B11)

3) podporované vlastnosti surovin:

- a) přidávání a odebírání libovolného množství surovin (nejen celočíselných) (S1, S2)

4) podporované vlastnosti výzkumu technologií:

- a) postupné odemykání dostupných jednotek a budov, umožnit změny chování jednotek za běhu (T1, T2)

5) podporované vlastnosti mapy

- a) rozdelení mapy na dlaždice (M1)
- b) tvorbu terénu pomocí různých výšek dlaždic. (M2)
- c) různé typy dlaždic. (M3)
- d) rozhraní pro získání aktuálního stavu mapy (jednotek a budov na dlaždici, typu dlaždice ...) (M4, M5)

6) vlastnosti pro tvůrce balíčků:

- a) platforma musí umožňovat přidávání balíčků za běhu, obsahujících nové typy jednotek, budov, dlaždic, projektilů a hráčů spolu s jejich modely, texturami a AI
- b) platforma musí umožňovat použití přidaných balíčků pro tvorbu map a uložení vytvořených map do balíčku použitého pro jejich tvorbu
- c) editor map musí být rozšiřitelný o nástroje z balíčku
- d) herní grafické rozhraní musí umožňovat tvůrci přidávat vlastní okna, tlačítka a další prvky

7) vlastnosti pro koncového hráče:

- a) uživatelské rozhraní pro stolní počítače, umožňující vybírání balíčků, map a oponentů, dále načítání a ukládání her, a nastavování zobrazení hry
- b) herní uživatelské rozhraní musí obsahovat minimapu, poskytující hráči přehled o větší části mapy než kterou vidí vlastní kamerou
- c) ovládání kamery umožňující klasický top-down pohled, volné poleto-vání kamery po mapě a následování jednotky
- d) ukládání a načítání hry

2. Analýza

V první kapitole jsme specifikovali cíl naší práce, tedy implementaci platformy založené na herním enginu UrhoSharp umožňující tvorbu RTS her a jejich distribuci. V této kapitole popíšeme problémy při implementaci této platformy, námi zvolená řešení a jejich alternativy.

2.1 Herní engine

Jak jsme napsali v sekci 1.4 Cíle práce, naším cílem je vytvořit platformu pro tvorbu RTS her za použití herního enginu UrhoSharp. „*UrhoSharp je multiplatformní 3D a 2D engine který může být použit pro tvorbu animovaných 3D a 2D scén za použití modelů, materiálů, světel a kamer*“ [40], jak říká úvodní stránka dokumentace enginu. Jak už název napovídá, UrhoSharp je .NET binding pro Urho3D engine [28], což je opensource herní engine implementovaný v C++.

Tento engine a jeho binding do jazyka C# jsme si vybrali především kvůli tvůrcům .NET bindingu, společnosti Xamarin, která je také autorem implementace .NET Frameworku Mono. V rámci tohoto vztahu očekáváme největší podporu práce s managed kódem, například jeho načítáním za běhu, na čemž je postaven náš systém pluginů.

Jak uvidíme v následující části, přestože je engine UrhoSharp navržen pro platformu Mono, nebylo na všech systémech možné překonat jejich omezení.

2.2 Rozdíly systémů

Hlavním cílovým systémem naší práce jsme se rozhodli zvolit systém Windows, především kvůli nejrozsáhlejší podpoře frameworku .NET, dále kvůli zřejmým výhodám ovládání pomocí klávesnice a myši, a v neposlední řadě kvůli naší zkušenosti s tímto systémem. Pro podporu dalších plafotrem je naším cílem vytvořit návrh platformy umožňující co nejjednodušší rozšíření na tyto systémy. Herní engine a platforma .NET sice mnohé rozdíly systémů abstrahuje a umožňuje multiplatformní řešení, existují ovšem oblasti, které i při využití těchto abstrakcí vyžadují pro každý systém specifické řešení.

Implementace pro mobilní systémy (iOS, Android) naráží oproti PC systémům na několik problémů, vycházejících především z rozdílných operačních systémů, velikostí obrazovek a způsobu přijímání vstupu od uživatele. Rozdíly mezi PC systémy (Windows, různé distribuce Linuxu, macOS) nejsou tak rozsáhlé, přesto se mohou vyskytnout problémy především kvůli různým implementacím platformy .NET používaných mimo systém Windows.

Při řešení těchto problémů jsme narazili na rozdíly, specifika a omezení, které v následujících částech přiblížíme.

2.2.1 Zobrazení a ovládání

Na mobilních systémech je vztah mezi GUI, tedy grafickým uživatelským rozhraním, a ovládáním mnohem bližší. Oproti PC systémům je zde nejčastěji jedi-

ným možným vstupem dotyková obrazovka. GUI musí tedy sloužit jak pro zobrazení informací hráči, tak pro získání převážné většiny vstupu od hráče. Dalším rozdílem je velikost obrazovky, která je obecně mnohem menší než u jiných systémů. Ze statistik zařízení od společnosti Google [12] můžeme vidět, že rozpětí velikostí obrazovek tzv. „smartphonů“ používajících systém Android sahá od úhlopříčky 3,5 in po 6,4 in, kde nejčastější velikostí je rozpětí 5 in to 6 in. Oproti tomu nejčastější velikosti obrazovek laptopů sahají od 11 in po 17 in a více.

I přes to, že herní engine umožnuje tvorbu grafického rozhraní použitelného na všech systémech, různé druhy vstupu a velikostí obrazovek nutí nás i potencionální tvůrce her na naší platformě k výrazně odlišnému návrhu rozhraní pro mobilní systémy. Engine Urho3D poskytuje separátní vývojové prostředí pro návrh scén a uživatelského rozhraní, které je následně možné exportovat do XML souboru, který je poté možné načíst za běhu hry pro zobrazení specifikovaného uživatelského rozhraní. Tento postup lze použít k definici uživatelského rozhraní specifického pro cílový systém dané verze aplikace, tedy naší platformy. Oproti tomu by tvůrci balíčků byli nuceni distribuovat definice rozhraní pro všechny systémy, z kterých by poté za běhu vybírali podle aktuálního systému, nebo by byli nuceni vytvářet a distribuovat několik separátních balíčků, cílených vždy pro jediný systém.

Ukázku těchto problémů a jedno z možných řešení můžeme vidět na příkladu ze hry Hearthstone [7], kde 2.1 ukazuje mobilní verzi hry a 2.2 ukazuje PC verzi hry. Přestože návrh této hry je ideální pro přenos na mobilní zařízení, což můžeme vidět například ve velice podobném designu vlastní herní plochy v obou verzích, existují mezi PC a mobilní verzí viditelné rozdíly. Jedním z rozdílů je pozice kamery, která je v mobilní verzi umístěna mnohem blíže herní ploše. Toto je jedno z možných řešení problému menší velikosti obrazovek mobilních zařízení, díky kterému budou herní prvky na těchto obrazovkách zobrazeny ve větší velikosti za cenu zobrazení menší části herního světa. Další součástí řešení problému velikosti obrazovek je velikost fontu, která je v mobilní verzi mnohem větší než u PC verze. Zároveň s touto změnou musí být také provedena odpovídající změna designu karet a oblastí, kde se písmo a číslice vyskytují. Řešení problému vstupu pomocí dotykové obrazovky můžeme vidět na obrázku 2.1, který ukazuje dva různé stavy hry. První stav, který můžeme vidět na obrázku 2.1a, je navržen zobrazení celkového stavu hry a pozorování nepřátelských tahů. V tomto stavu jsou hráčovy karty zmenšené a schované v pravém dolním rohu obrazovky, kde nezakrývají žádnou část herní plochy. Při kliknutí na karty následně rozhraní přechází do druhého stavu, který můžeme vidět na obrázku 2.1b. V tomto stavu jsou karty hráče přemístěny do centrální pozice a zvětšeny. Tímto přemístěním sice zakryjí velkou část herní plochy, ale v danou chvíli jsou právě tyto karty cílem hráčovi pozornosti a jimi zakrytá plocha je pro něj irelevantní. Tento systém vytahování, přemisťování a zvětšování ovládacích prvků aplikace je obecným trendem v mobilních zařízeních, umožňujícím větší velikost ovládacích prvků za cenu většího počtu interakcí uživatele se zařízením oproti počtu interakcí v PC verzi aplikace pro dosažení stejného cíle. Toto můžeme vidět na obrázku 2.2, který ukazuje stejnou situaci v PC verzi hry. Mezi 2.2a a 2.2b nejsou karty nijak přesouvány či zvětšovány a jsou viditelné neustále, hráč tedy může zahrát kartu bez předchozího kliknutí na schované karty, čím ušetří oproti mobilní verzi jednu interakci.



(a) Bez interakce hráče.



(b) Při interakci hráče.

Obrázek 2.1: Uživatelské rozhraní mobilní verze hry Hearthstone.



(a) Bez interakce hráče.



(b) Při interakci hráče.

Obrázek 2.2: Uživatelské rozhraní PC verze hry Hearthstone.

Jak můžeme vidět na příkladu ze hry Hearthstone [7], vedou nás problémy s velikostí obrazovek a dotykovým ovládáním k separátnímu designu a implementaci uživatelského rozhraní a některých částí her. Pro tuto separátní implementaci jsme v naší práci připravili základní kostru, upustili jsme ovšem od konečné implementace z důvodu nedostatku času.

2.2.2 Kompilace

Dalším rozdílem, tentokrát s rozdílným chováním i mezi jednotlivými mobilními systémy, je jejich chování k executable souborům aplikací. Jak píší Joseph a Ben Albahari [3, str. 3,4], jsou jazyky cílené na platformu .NET překládány do „Common Intermediate Language“ (CIL), z kterého jsou obvykle až za běhu aplikace kompilovány do instrukční sady stroje, na kterém právě běží. Tento způsob se označuje jako „Just-In-Time“ (JIT) komplilace, a je standardním způsobem spouštění .NET aplikací. V některých případech je ale použit jiný způsob, a to tzv. „Ahead-of-time“ (AOT) komplilace, kdy je CIL kód ještě před distribucí zákazníkovi zkompilován do instrukční sady cílového stroje a následně je distribuována tato již zkompilovaná verze. Tento způsob je používán pro zrychlení odezvy při větších velikostech assembly, čímž se předchází zpoždění v důsledku komplilace CIL kódu. Další využití, zde již ne pouze za účelem optimalizace, ale vynucené systémem samotným, je při distribuci na systém iOS [23]. Jak je napsáno v *iOS Security Guide pro iOS verze 12.1* [4, str. 27], není možné alokovat paměť zároveň jako „*writable*“, tedy s možností do ní zapisovat, a „*executable*“, tedy s možností v ní uložená data vykonávat přímo jako instrukce procesoru.

Tato skutečnost vylučuje jakékoli použití JIT komplikace, která používá právě takto namapované stránky jako výstup komplikace z *intermediate* jazyka, tedy například CIL, do instrukční sady procesoru. Výjimkou jsou aplikace společnosti Apple, podepsané jejich klíčem, kterým je umožněna jedna alokace (jedno zavolání funkce `mmap`) takto namapovaných stránek. Tato výjimka je použita ve webovém prohlížeči Safari pro implementaci Javascript JIT komplikátoru.

Tato skutečnost znemožňuje naší platformě jednoduché nahrání assembly pomocí reflexe a nutila by nás k složitějšímu řešení, které by se podle aktuálního systému muselo rozhodovat, kterou verzi assembly nahrát. Navíc by tento způsob nutil tvůrce balíčků přeložit svůj kód pro všechny možné architektury. Toto je důvod, proč jsme upustili od podpory systému iOS.

2.2.3 Souborové systémy

Každá aplikace má několik odlišných druhů souborů. Tyto druhy můžeme odvodit z pro ně navržených adresářů ve Windows API [17], či z implementace tohoto API v platformě .NET [18]. Těmito druhy souborů jsou:

- *Roaming user data* - data uživatele přítomná na všech počítačích v síti, na které se může uživatel přihlásit;
- *Local user data* - data uživatele lokální pro aktuální počítač;
- *Private app data* - data aplikace přístupná pouze aplikaci;
- *Public app data* - data aplikace přístupná všemi aplikacemi;
- *Static app data* - neměnná data aplikace distribuovaná spolu s aplikací.

Některé z těchto druhů souborů jsou na různých systémech sloučeny. Systém Android například nepodporuje více uživatelů, čímž ztrácí smysl rozdělovat uživatelská data a data aplikace. Přístup aplikací k souborovému systému je na tomto systému dále omezen. Jsou definována čtyři místa, kam může aplikace ukládat data [11]. Těmito místy jsou:

- 1) *internal file storage*,
- 2) *external file storage*,
- 3) *shared preferences*,
- 4) *databases*.

Internal file storage je interní úložný prostor zařízení. Každá aplikace má zde systémem vytvořenou složku, do které má přístup pouze aplikace samotná. Tato složka je odstraněna při odinstalování aplikace.

External file storage je „externí“ úložný prostor, není tedy garantováno, že bude vždy přítomný. Tento prostor může být tvořen jak vestavěnou pamětí zařízení, tak fyzicky vyjímatelným prvkem, jako například SD kartou. Soubory na tomto úložišti jsou veřejně přístupné a nejsou odstraňovány při odinstalování aplikace.

Shared preferences a *Databases* slouží pro ukládání dat bez explicitního využití souborových systémů. Tento přístup k datům nemá na PC systémech přímou podporu.

Dalším rozdílem mezi systémy je přístup k souborům distribuovaným spolu s aplikací, v našem případě s naší platformou. Na systému Android je každá aplikace distribuována jako .apk soubor. Formát Apk je zip archiv, obsahující všechny soubory naší aplikace, od kódu, přes assety, po preference. Tento archiv je v duchu Linuxového VFS přímo namapován do stromu souborového systému viditelného z naší aplikace. Bohužel .NET filesystem API nedokáže s tímto mapováním pracovat, tedy není možné ho využít pro čtení těchto souborů. Řešením je využití Xamarin.Android zabalujícího Android Java API, které s tímto archivem pracovat dokáže.

Přístup k adresáři aplikace má další rozdíl, a to v zápisu do souborů. Na systému Android je zápis do těchto souborů úplně zakázán. Na PC systémech může být pro některé uživatele možné zapisovat do těchto souborů, ale aplikace by s tímto přístupem neměla počítat.

Všechny tyto rozdíly při přístupu k souborům nás nutí k implementaci separátní komponenty pro práci se soubory, která je implementována pro každý systém zvlášt a následně poskytována přenositelné části platformy.

2.2.4 Shrnutí

I když je naším cílem pouze implementace pro systém Windows, ukázali jsme, že rozšíření na některé další systémy by nebyl problém a nastínili jsme řešení možných problémů, které by při tomto rozšíření vznikly. Návrh naší implementace zohledňuje tato řešení a umožňuje jejich budoucí implementaci. Vzhledem k velikosti implementace pro systém Windows nebudou ovšem tato řešení pro zbylé systémy součástí naší práce. Dále jsme zjistili, že systém iOS je neslučitelný s požadavky naší aplikace a rozšíření na tento systém tedy nebude možné.

2.3 Formát a načítání dat

Důležitou součástí implementace naší platformy je systém balíčků pro distribuci vytvořených her. Tyto balíčky obsahují všechny součásti hry, od modelů a textur, přes logiku a umělou inteligenci, po mapy a úrovně vytvořené tvůrcem hry. Všechny tyto součásti musí naše platforma být schopna načíst za běhu a použít jak pro tvorbu nových map, tak pro hraní již existujících.

2.3.1 Struktura balíčku

Pro implementaci načítání balíčků musíme definovat strukturu, kterou budou balíčky splňovat, a podle které bude platforma určovat typy souborů a jejich závislosti.

První možností je založit strukturu balíčku na pevné adresářové struktuře, kde každý balíček bude tvořen jedním adresářem obsahujícím další pevně specifikovanou podadresářovou strukturu. Jednotlivé typy zdrojů, tedy 3D modely, textury, popis jednotek nebo skripty, by následně byly rozděleny a identifikovány touto adresářovou strukturou.

Pro popis typů jednotek, budov, projektilů, dlaždic a nepřátele jsme se inspirovali v existujících hrách, ať už Civilization V [8] nebo Kerbal Space Program [21], a využili jsme XML soubor pro definici závislostí. Dalšími možnostmi pro popis typů entit bylo využít formát JSON nebo dokonce definovat vlastní formát. Oproti ostatním zmíněným formátům má formát XML vestavěnou podporu přímo v platformě .NET. Navíc tento formát umožňuje automatickou validaci vůči schématu, což nám ulehčí validaci načtených dat. Možnou výhodou formátu JSON je jeho expresivita, umožňující minimalizovat velikost souborů. Vzhledem k velikosti ostatních druhů dat jsme ovšem usoudili, že tato výhoda není dostačující pro volbu tohoto formátu.

Implementace pomocí pevné adresářové struktury a XML souborů pro popis typů entit ovšem vedla ke dvěma problémům. Prvním bylo velké množství malých XML souborů, jejichž správa by mohla vést k častým omylům a následným chybně pojmenovaným souborům, špatným cestám a chybějícím souborům. Druhým problémem bylo přidávání balíčku do běžící hry. Hráč by mohl sice specifikovat adresář reprezentující balíček, následné ověření, zda je tento balíček korektní a lze ho nahrát by nás ale nutilo k procházení adresářové struktury, k pokusům o jejich načtení a validaci. Takováto implementace by byla pomalejší, náročnější na správu a náchylnější k chybám.

Řešením bylo vytvořit centrální XML soubor, definující celý balíček. Všechny typy jednotek, budov, projektilů, nepřátele, logik úrovní, všechny úrovně obsažené v balíčku a další jsou popsány v tomto souboru pomocí stejného XML, jako byly v separátních souborech. Následně všechny assety, tedy modely, textury či assembly mohou být specifikovány relativní cestou vůči adresáři obsahujícímu tento jeden XML soubor. Tímto způsobem lze replikovat předchozí uspořádání, kde je každý typ assetů rozdělen do vlastního adresáře, ale navíc tento způsob umožňuje tvůrce balíčku specifikovat vlastní rozdělení a umístění assetů. Zároveň toto uspořádání ulehčuje přidání balíčku a ověření jeho korektnosti, kde stačí, aby uživatel zadal cestu k tomuto XML souboru, a pouhou validací podle schématu lze ověřit jeho správnost.

Naším finálním řešením je tedy reprezentovat každý balíček jedním XML souborem, který dále obsahuje relativní cesty odkazující na zbylý obsah balíčku. Tento soubor má formát daný pevným schématem a tento formát je kontrolován při každém načítání.

2.3.2 Data entit

Nyní již víme, jak data rozdělit a odkazovat na ně. Následně musíme určit, jaká data budeme u jednotlivých typů entit požadovat a jaká vlastní data umožníme tvůrcům her si zde uložit. Naším cílem je umožnit specifikování typů entit a k nim náležejících dat, definujících vlastnosti těchto typů entit.

Naše platforma bude poskytovat funkcionality společnou většině her typu specifikovaného v úvodní části 1. Tato funkcionality zahrnuje:

- 1) načítání pluginů a volání jejich metod,
- 2) uživatelské rozhraní,
- 3) správa balíčků,

- 4) vykreslování herního světa.

Naše platforma bude vynucovat specifikaci nezbytných dat pro implementaci poskytované funkcionality. Těmito daty jsou:

- 1) assembly;
- 2) ikony, barvy pro zobrazení na minimapě;
- 3) identifikátory a jména balíčků, typů entit, úrovní, logik hráčů;
- 4) 3D modely, textury, animace.

Protože jsou tyto vlastnosti společné většině entit v námi podporovaných typech her, nahrává naše platforma automaticky zde specifikované vlastnosti při vytvoření entity v herním světě a následně je využívá pro implementaci poskytovaných herních prvků.

Dále umožníme přidat libovolná další data do XML elementu reprezentujícího typ entity pro použití tvůrcem hry v jeho implementaci logiky. Tato data nebude naše platforma nikak validovat, pouze je při vytvoření entity v herním světě předá načítanému pluginu implementujícímu logiku vytvářené entity. Bude pouze na tvůrce této logiky, aby získaná data validoval a následně z nich inicializoval logiku či použil systém výjimek k oznámení chyby v datech. Tento způsob implementace umožní tvůrcům vytvářet universálnější logiku, kterou budou schopni odlišit právě načítanými daty ze souboru. Bez této funkcionality by byli tvůrci her nutenci všechna data přesunout z XML souboru přímo do kódu logiky.

2.3.3 Formáty assetů

V předešlé části jsme popsali, jak náš systém balíčků umožňuje zaznamenat umístění dat potřebných pro spuštění úrovně. V této části dále upřesníme, jakých formátů můžou tato data být a jaká jsou omezení při použití určitých formátů dat. Slovem „asset“ označujeme jakákoli data, které může tvůrce hry poskytnout naší platformě a použít je při tvorbě hry. Tato data lze rozdělit do několika kategorií:

- grafická data,
- logika a pluginy,
- ostatní.

V následujících částech popíšeme jednotlivé kategorie dat, jejich formáty a využití.

Grafická data

Mezi grafická data patří především 3D modely a k nim náležící textury a animace. Podporované formáty těchto dat jsou omezeny námi používaným herním enginem Urho3D. Tento engine interně používá knihovnu Open Asset Import Library (Assimp) [1], která umožňuje načítání mnoha formátů 3D modelů do uniformní reprezentace, která je následně používána enginem samotným.

Mezi další grafická data používaná naší platformou jsou textury dlaždic. Každý typ dlaždic, jak je popsáno v části 2.3.1 o struktuře balíčku, je definován XML elementem. Tento element povinně specifikuje texturu, představující vzhled dlaždic tohoto typu. Kvůli naší implementaci zobrazení mapy, blíže popsaného v části 2.4.1, musí být tato textura manipulovatelná z C# kódu naší platformy. Bohužel engine Urhosharp v aktuální verzi neposkytuje přístup k dekompresi textur, implementované enginem Urho3D. Z tohoto důvodu není možné využít komprimované formáty textur pro vzhled dlaždic.

Dalšími povinnými grafickými daty, které naše platforma požaduje, jsou textury ikon pro jednotky a budovy. Pro každý z těchto dvou druhů entit požadujeme texturu, která je následně použita při implementaci nástrojů poskytovaných naší platformou, umožňujících editaci a hraní úrovní. Tyto nástroje umožňují umisťovat jednotky a budovy do editované úrovně a dále při jejím hraní vybírat skupiny jednotek a vydávat jim rozkazy. Definice každého typu jednotky nebo budovy následně obsahuje specifikaci části těchto textur, která má být využita pro reprezentaci tohoto konkrétního typu. Přestože platforma umožňuje tvůrcům her implementovat vlastní nástroje pro editaci a hraní her, předpokládáme, že i tyto nástroje budou potřebovat reprezentovat jednotlivé druhy jednotek a budov a využijí k tomu právě tyto ikony.

Grafická data obsažená v balíčku nejsou omezena pouze na platformou požadovaná a používaná data, ale je umožněno tvůrci přibalit libovolná data podporovaná enginem UrhoSharp a následně je využít při hře. Díky tomu, že mají tvůrci her plný přístup k schopnostem enginu UrhoSharp, mohou, stejně jako platforma, za běhu použít tato data pro úpravu vzhledu jednotek, budov či projektů, případně pro rozšíření grafického uživatelského rozhraní. Mezi tato data patří například *Shadery* a animace.

Logika a pluginy

Jak jsme uvedli v části 1.1.5, jedním z hlavních cílů naší práce bylo umožnit využití jazyka C# pro skriptování logiky hry a umělé inteligence nepřátel. Díky využití herního enginu UrhoSharp, postaveného nad platformou .NET, máme zajištěno, že v naší implementaci budeme schopni použít systém *Reflection* pro načítání a používání pluginů.

I v případě, že by naše práce nevyužívala engine UrhoSharp, či jiný engine postavený na platformě .NET, bylo by možné použít jazyk C# pro skriptování. Taková implementace, využívající jiný jazyk pro tvorbu platformy, by vyla nucena využít C++/CLI pro vytvoření „mostu“ mezi kódem tvořícím platformu a managed kódem, umožňujícím nahrávání pluginů za běhu a jejich využití z kódu platformy. Tato alternativa je ovšem mnohem složitější pro implementaci, než je tomu při použití enginu založeného na platformě .NET. Při použití herního enginu připraveného pro .NET, jako je právě UrhoSharp, je možné tvůrcům pluginů navíc poskytnout plnou sílu tohoto enginu a umožnit jim využít všechny jeho schopnosti bez jakéhokoli zásahu či manuálního zprostředkovávání. V případě využití enginu v jiném jazyce by musel „most“ explicitně implementovat všechny schopnosti enginu, které by chtěl poskytnout tvůrcům pluginů a přeposílat každý požadavek vlastnímu hernímu enginu.

Obě předešlá řešení využívají systém „Reflection“ pro načítání tvůrcem dodaných assembly, nalezení tříd odpovídajících jednotlivým jednotkám, vytvoření in-

stancí těchto tříd a jejich následné použití. Pojmem „Reflection“ označujeme sadu tříd .NET frameworku, umožňující introspekcí .NET assembly, poskytující informace o třídách obsažených v těchto assemblies, jako například implementovaná rozhraní, poskytované metody či obsažené atributy. „Reflection“ dále umožňuje načítání existujících assembly za běhu programu, či dokonce generování nových assembly.

Assembly jsou identifikovány jménem, verzí, *culture* a veřejným klíčem. Při načítání je assembly nahrána do tzv. kontextu. Existují čtyři kontexty, do kterých jsou assembly nahrávány. Těmito kontexty jsou [32]:

- *Default Load Context*
- *Load-From Context*
- *Reflection-only Context*
- *No Context*

Reflection-only context slouží pro zkoumání metadat assembly pomocí reflection a znemožňuje vykonání kódu nahraného do tohoto kontextu, proto je pro nás nezajímavý a dále ho nebudeme rozebírat.

Default Load Context je kontext, ve kterém je nahrána assembly naší aplikace a všechny její závislosti. Do tohoto kontextu lze manuálně nahrávat další assembly, pokud se tyto assembly nachází v *Global assembly cache (GAC)*, v adresáři aplikace (*applicationBase*) nebo v aplikací specifikovaných podadresářích *applicationBase (PrivateBinPath)*. Pokud je identická assembly již nahrazena, nenahrává se znova ale vrátí se reference na již nahranou assembly. Závislosti nahrávaných assembly jsou automaticky vyhledávány na těchto třech místech.

Load-From Context je kontext, do kterého jsou nahrávány assembly pomocí metody `Assembly.LoadFrom`. Do tohoto kontextu lze nahrát assembly specifikovaným cestu spolu s výše zmíněnými vlastnostmi identifikujícími assembly, a tato cesta je přidána jako pátá identifikační vlastnost. Tímto způsobem lze nahrávat assembly ležící mimo *GAC*, *applicationBase* a *PrivateBinPath*. Závislosti jsou hledány nejdříve mezi již nahranými assembly v *Default Load Contextu*, následně v adresáři, ze kterého byla assembly nahrazena a nakonec na cestách pro nahrávání assembly do *Default Load Contextu*.

No Context je využíván při načítání assemblies vygenerovaných pomocí `Reflection.Emit` a `Assembly.LoadFile`. Navíc je toto jediný způsob, jak načíst dvě verze té samé assembly. Pod pokličkou je vytvořen každé nahrazené assembly zvláštní privátní kontext. Problémem tohoto kontextu je, že nejsou automaticky nahrávány závislosti. Tedy nezbývá nic jiného než závislosti nahrát manuálně, buď před načtením assembly nebo odchycením `AssemblyResolve` události.

V naší platformě používáme `Assembly.LoadFrom`. Tento způsob nám umožňuje nahrávat assembly z libovolných podadresářů uvnitř tvůrce tvořených balíčků, bez omezení na jejich adresářovou strukturu. Díky načítání závislostí ze zdrojového adresáře assembly mohou tvůrci her přibalit jimi používané knihovny do balíčku a ty budou následně při použití automaticky načteny.

Alternativou by bylo vynutit tvůrce balíčků specifikovat cesty, ve kterých se mohou vyskytovat assembly, a tyto cesty následně přidat do *PrivateBinPath*. Tento přístup by ovšem omezil místa, kde může naše platforma mít umístěné

balíčky, na podstom adresáře, ve kterém je umístěna naše platforma. Jak jsme psali v části 2.2.3 o rozdílech souborových systémů, některé ze systémů nepodporují změny v adresářovém podstomu aplikace a není tedy možné do tohoto podstomu umístit balíčky. I na systémech, na kterých je možné zapisovat do podstomu aplikace, není tento přístup k souborům považován za dobrý design, jak říká tento, i když poněkud zastaralý, návod pro umístování souborů na systému Windows [19]. Hlavním důvodem je omezení přístupových práv, které systém uvaluje na standardní cíl instalace aplikací.

Naše aktuální implementace nijak neřeší uvolňování assemblies ve chvíli, kdy hra končí a hráč načítá jiný balíček. Vzhledem k velikosti assembly v paměti by ale toto neměl být při běžných počtech používaných balíčků problém. Vzhledem k budoucí unifikaci .NET Frameworku, .NET Core a Mono pod implementací .NET 5 [15], který je následníkem .NET Core, není v této chvíli jednoduché zvolit způsob uvolňování nepoužívaných assembly. Aktuální způsob v námi používaném .NET Framework je použití `AppDomain`, pomocí které by bylo možné oddělit balíčky od sebe a umožnit jejich uvolňování. Toto řešení ovšem není podporované v .NET Core, který funkcionality uvolňování assembly ze systému `AppDomain`, který není v této verzi Frameworku podporován, přemisťuje do třídy `AssemblyLoadContext` [20]. Protože .NET 5 vychází z .NET Core, předpokládáme, že by v budoucnu bylo možné využít právě `AssemblyLoadContext` pro řešení tohoto problému.

2.3.4 Formát uložených úrovní

Ukládáním úrovně rozumíme serializaci aktuálního stavu hry a uložení takto serializovaných dat do souboru. Pro serializaci jsme měli několik požadavků:

- 1) otevřenosť schématu serializovaných dat,
- 2) minimalizace velikosti serializovaných dat,
- 3) rychlosť serializace a deserializace.

Účelem prvního požadavku je umožnit tvorbu nezávislých editorů úrovní, importujících a exportujících náš formát dat. Tento požadavek splňují serializace do formátu XML, definovaného pomocí *XSD* schématu, a binární serializace popsaná pomocí *interface description language (IDL)*. Příkladem takového binární serializace je formát Protocol buffers [13] od společnosti Google. Z binárních serializačních frameworků je pro jazyk C# nejlépe podporován právě formát Protocol buffers, ať už použit sám o sobě či za podpory knihovny protobuf-net, umožňující automatickou generaci IDL souborů z anotací ve zdrojovém kódu.

Druhý a třetí požadavek nás vedl k volbě binární serializace, která minimálnízuje velikost dat a má nejrychlejší zpracování. Tuto skutečnost sděluje jak dokumentace Protocol buffers [10], tak ji můžeme vidět experimentálně podloženou v benchmarku Maxima Novaka [22]. Tímto jsme vybrali formát Protocol buffers, který lze v jazyce C# použít buď manuální specifikací „*message*“ pomocí IDL, vygenerováním zdrojového kódu tříd v jazyce C# z této specifikace a následnou manuální serializací, nebo využitím knihovny Protobuf-net, která z anotací ve zdrojovém kódu generuje specifikaci „*message*“ a metody pro serializaci a deserializaci dat.

Naším cílem bylo využití knihovny Protobuf-net, bohužel tato knihovna vyžaduje v případě použití dědičnosti, aby *base* typy, tedy typy, od kterých se dědí, musí být označeny atributem `ProtoInclude` [14]. Vzhledem k tomu, že všechny naše třídy, reprezentující jednotky, budovy, projekty a hráče, dědí od UrhoSharp třídy `Component`, není možné tyto třídy serializovat pomocí Protobuf-net. Tento problém lze řešit dvěma způsoby:

- 1) Separovat reprezentaci entit do dvou tříd, první, která dědí od třídy `Component` a reprezentuje entitu v grafu herní scény, a druhou, která reprezentuje entitu z pohledu logiky, s kterou by pracovala naše platforma i implementace pluginů, a která by vlastnila a ovládala první třídu. V této reprezentaci by bylo možné využít Protobuf-net, znamenalo by to ovšem složitou delegaci volání mezi třídami a možné problémy při využití grafu scény pro nalezení entity.
- 2) Využít pro serializaci přímo technologii protocol buffers, která je na pozadí používána knihovnou Protobuf-net, a manuálně implementovat serializaci hry. Tato možnost se nám zdála jako lepší, protože nám také umožňovala manuálně specifikovat `.proto` soubory, z kterých protocol buffers generují třídy umožňující serializaci a deserializaci v různých jazycích. Navíc nám tento postup umožňuje specifikovat přesnou posloupnost akcí při deserializaci.

2.4 Poskytovaná funkcionality

V úvodní kapitole jsme vymezili druh her, které bude naše platforma podporovat, pomocí společných rysů a funkcionality. Cílem naší platformy je poskytovat implementaci této společné funkcionality a tím zjednodušit tvorbu her. Tato kapitola rozebera naši implementaci, její výhody a omezení, a popíše možnosti modifikace chování těchto implementací z uživatelského kódu.

2.4.1 Mapa

Jednou z hlavních funkcionalit poskytovaných naší platformou tvůrcům her je implementace herní mapy. Tato implementace poskytuje rozhraní pro dotazování na aktuální stav, manipulaci s mapou a grafickou reprezentaci zobrazenou hráči. Naše implementace odděluje logickou reprezentaci, která je poskytována zbylému kódu platformy a kódu uživatelských pluginů, a grafickou reprezentaci, která je vytvářena z logické reprezentace a zobrazována hráči. Toto rozdelení je určeno pro možné změny grafické reprezentace bez ovlivnění logické reprezentace a na ní závislého kódu.

Logické rozdělení

Mapa je ve hrách využívána pro zjišťování typu a výšky terénu či přítomnosti entit, jako například budov a jednotek, nejčastěji za účelem vyhledání cesty mezi dvěma pozicemi v herním světě. Dalším možným důvodem pro zjišťování mapou poskytovaných informací může být zjištění viditelnosti mezi dvěma entitami, možnosti střelby mezi dvěma entitami či interakce hráče se skupinami entit. Existuje několik způsobů, jak implementovat tyto funkce herní mapy.

V úvodní kapitole jsme specifikovaly, jaké hry bude naše platforma podporovat. Z vlastností těchto her nám vyplynula obdélníková mapa, rozdělená na čtvercové dlaždice. Toto ovšem není jediná možná implementace. V této části pojďme další možné typy implementací map, jejich výhody, nevýhody a použití.

Mapa bez rozdělení vede při každém dotazu na přítomnost budov či jednotek v dané oblasti mapy k výpočtu průsečíků ploch zabíraných všemi jednotkami a budovami s danou oblastí mapy. Asymptotická složitost této operace je tedy $O(N)$, kde N je počet budov či jednotek v naší hře.

Mapa s rozdělením na části umožňuje při dotazu na přítomnost jednotek či budov v oblasti mapy prozkoumat pouze části tvořící tuto oblast mapy. Části, označovány jako „*Tiles*“ , v překladu dlaždice, mohou být různých tvarů. Nejčastějšími tvary jsou čtverec či šestiúhelník.

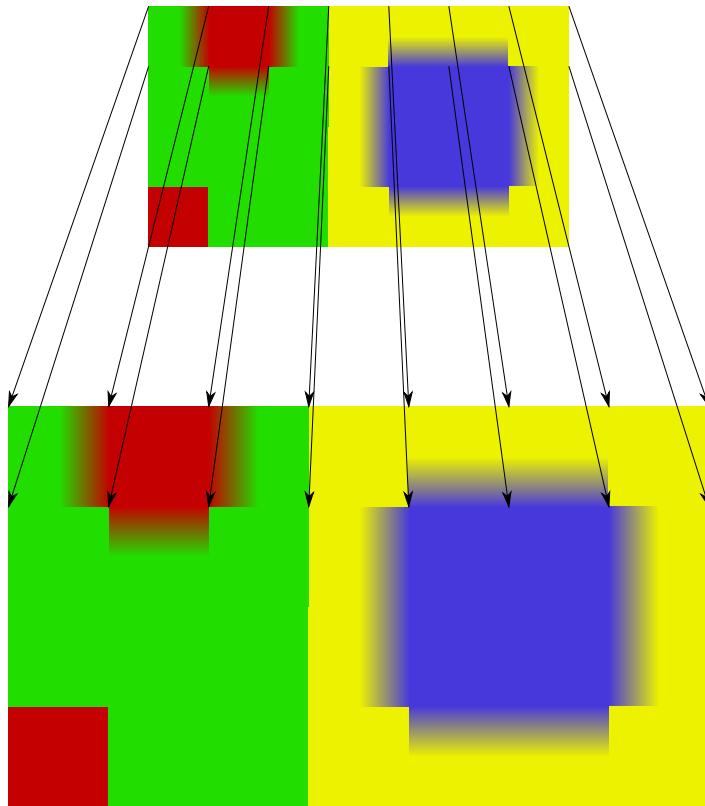
Při rozdělení na čtverce lze mapu jednoduše uložit do dvourozměrného pole, což dále usnadňuje dotazy na prohledání oblasti mapy. Nevýhodou čtvercového tvaru dlaždic je různá vzdálenost sousedních dlaždic, pokud umožníme pohyb mezi všemi osmi sousedními dlaždicemi. Kde vzdálenost středů dlaždic sousedících celou hranou je rovna délce hrany, vzdálenost středů dlaždic sousedících pouze rohem je rovna $\sqrt{2a^2}$, kde a je délka hrany čtverce. Oproti tomu při použití šestiúhelníkových dlaždic je vzdálenost mezi všemi sousedy rovna.

Grafická reprezentace

Jak jsme popsali v předešlé části, mapa je obdélníkového tvaru, rozdělena na čtvercové dlaždice o velikosti 1x1. Existují dva základní druhy možných implementací grafického zobrazení takového mapy.

První možností, ilustrovanou obrázkem 2.3, je vytvoření textury o velikost k^*n a k^*m , kde n a m jsou rozměry mapy a k je velikost čtvercové textury typu dlaždice. Tuto texturu můžeme vidět na obrázku v dolní části. Na objekt reprezentující terén je následně textura promítnuta, což je na ukázce reprezentováno šipkami, mapujícími vrcholy geometrie na texturu. V takovéto textuře má každá dlaždice přiřazenu disjunktní části textury, lze tedy vytvořit různé přechody mezi typy dlaždic a provést další úpravy na celkovém vzhledu herní mapy. V ukázce můžeme vidět, že každá dlaždice ukazuje na zvláštní část textury, která je ovšem umístěna vedle částí odpovídajících jejím sousedům. Nevýhodou této implementace je především velikost textury, která v závislosti na velikostech textur jednotlivých typů dlaždic může dosáhnout stovek MiB až jednotek GiB. Takováto velikost textury by byla neúnosná i pro slabší počítače, nemluvě o mobilních zařízeních. Další nevýhodou této implementace je složitost změny typu dlaždice. Při této reprezentaci je nutné najít část textury odpovídající měněné dlaždici, a do této části nakopírovat texturu nového typu. Vzhledem k velikosti textur dlaždic by tato operace mohla být časově velice náročná, především při změně typu velkého počtu dlaždic. Možnou výhodou této implementace je schopnost reprezentovat každý z vrcholů, ve kterém se vyskytují rohy sousedních dlaždic, pomocí jednoho „vertexu“, tedy grafického vrcholu. Díky tomu je omezena velikost *vertex bufferů* a zaručena spojitost mapy. Vzhledem k velikosti textury je ovšem úspora paměti nedostatečná.

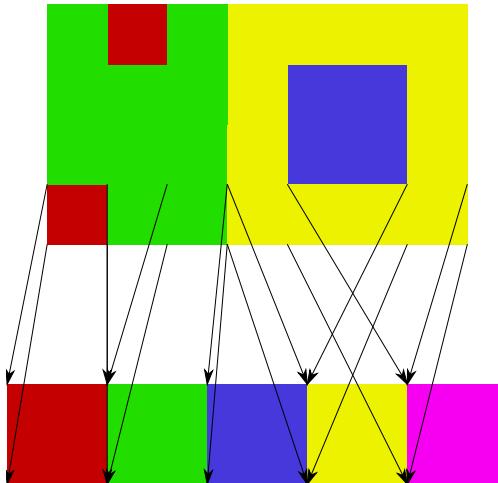
Druhou možností, ilustrovanou obrázkem 2.4, je vytvořit texturu, ve které bude textura každého typu dlaždic právě jednou. Tuto texturu, obsahující vzhled typů dlaždic, můžeme vidět v levé dolní části obrázku. Velikost takovéto textury



Obrázek 2.3: Vztah textury a dlaždic při implementaci textury dlaždic s ukázkou mapování prvního rádku dlaždic do textury a přechodů mezi typy.

závisí pouze na počtu typů dlaždic, oproti předchozí implementaci, ve které závisela velikost textury na velikosti mapy. I když typů dlaždic může být neomezeně, nepředpokládáme, že by tento počet přesáhl malé stovky. Díky tomu je tato implementace pamětově mnohem úspornější. Při takovéto implementaci je poté každá dlaždice určitého typu namapována na stejnou část textury, což je na obrázku ukázáno na příkladu žlutých dlaždic. Vzhledem k tomuto mapování všech dlaždic stejného typu na stejnou část textury nelze jednoduše vytvořit přechody mezi typy dlaždic, jak tomu bylo v první implementaci. Jedinou možností je vytvořit separátní typ, který bude reprezentovat přechod mezi dvěma typy dlaždic. Další možnou nevýhodou této implementace je nutnost reprezentovat každou dlaždici separátní čtevející tzv. „vertexů“, tedy grafických vrcholů. Oproti první implementaci tedy bude pro reprezentaci mapy stejné velikosti potřeba čtyřnásobný počet vrcholů. Tato možná nevýhoda je ale vyvážena úsporou paměti v rámci textury typů, dále díky jednoduší implementaci změny typů dlaždic, a v neposlední řadě jednodušším rozdelením mapy na části, popsané dále. Změna typu dlaždice v této reprezentaci spočívá ve změně UV souřadnic čtyř vrcholů, odpovídajících měněné dlaždici. Jedná se tedy o zapsání osmi čísel, které oproti kopírování částí textury mění mnohem méně dat. V obrázku si můžeme toto přemapování představit jako přesunutí všech čtyř šipek dené dlaždice na jinou část textury. Vzhledem k těmto výrazným úsporam času a paměti jsme zvolili právě tuto možnost pro naši implementaci.

Další součástí naší implementace je rozdelení mapy na části, kterým my, podle hry Minecraft, která nás k tomuto rozdelení inspirovala, říkáme „Chunk“. Hlav-



Obrázek 2.4: Vztah textury a dlaždic při implementaci textury typů s ukázkou mapování vybraných dlaždic posledního řádku do textury.

ním důvodem pro toto rozdělení je velikost vertex bufferů, která je v enginu Urho3D, a tedy i enginu UrhoSharp, limitovaná na 64 tisíc vertexů. To při naší implementaci odpovídá mapě o velikosti 127 krát 127 dlaždic, což je z našeho pohledu příliš malá velikost pro typ her, který chceme podporovat. Zřejmou výhodou tohoto rozdělení je rozšíření množiny možných velikostí map, která je při této implementaci z vrchu omezena pouze výkoností hardwaru a velikostí paměti. Na druhou stranu toto rozdělení klade na možné velikosti map jiné omezení, a to nutnost, aby každá velikost map byla celočíselným násobkem velikosti chunků v obou rozměrech. V aktuální verzi platformy je velikost chunku nastavena na 50 krát 50 dlaždic, což určuje krok mezi velikostmi map. Každá mapa tedy musí být velikosti 50^x na 50^y . Tuto velikost jsme zvolili podle velikostí mapy ve hře Stronghold Crusader, kterou jsme v úvodní kapitole označili jako zástupce typu her, které chceme v naší platformě podporovat.

Kde
sem to
nasel?
(10)

Další výhodou tohoto rozdělení je možnost tzv. „cullingu“, kdy engine nevykresluje modely vzdálené od kamery více než nastavitelný limit. Účelem této vlastnosti enginu je zmenšení hardwarových nároku, který plní i v tomto případě. Dále můžeme při úpravě terénu využít tohoto rozdělení pro zamknutí pouze upravovaných chunků, čímž zmenšujeme velikost dat, které je potřeba přenést do paměti grafické karty, a dále zmenšujeme výpočetní náročnost reprezentace mapy.

Deformace terénu

Jak jsme v předchozích částech popsali, je naše mapa logicky rozdělena na čtvercové dlaždice, kde každá z dlaždic je graficky reprezentována čtyřmi vrcholy v modelu mapy. Tyto dvě reprezentace, logickou a grafickou, musí naše implementace držet synchronizované, aby hráči byl zobrazován skutečný stav hry, jak ho vidí jednotky a nepřátelé.

Logickou myšlenkou je zvolit si jednu z reprezentací, kterou budeme upravovat manuálně, a následně druhou reprezentaci generovat z reprezentace první. Pro manuální upravování jsme určili logickou reprezentaci, která je tvořena C# objekty a lze ji tedy jednoduše upravit bez použití složitějších nástrojů jazyka C#. Tímto máme zajištěno, že logiky hráčů, jednotek a budov budou pracovat s

aktuálním stav mapy. Nyní musíme zajistit, aby i hráči byl zobrazen tento stav.

Oproti úpravě logické reprezentace je úprava grafické reprezentace složitější. Z předchozí části víme, že chceme využít manuální práce s vertexy, především pro nízkou výpočetní složitost takovýchto úprav. Pro práci s vertexy poskytuje To do (11) engine UrhoSharp dva nástroje.

Prvním nástrojem je třída `CustomGeometry`, která překrývá `VertexBuffer` a `IndexBuffer` a poskytuje API pro zjednodušení práce s těmito strukturami. Bohužel zde narázíme na aktuální implementaci UrhoSharp, která neumožňuje přístup k metodám, která v Urho3D pracují s třídou `PODVector`. Jak říká dokumentace [29], tato třída slouží jako vektor (ve smyslu jazyka C++) pro uložení tzv. *POD* (*plain old data*) typů, což jsou typy „*nevolají konstruktor nebo destruktor a používají block move*“. Bohužel tuto třídu nebyli zatím autoři UrhoSharp schopni poskytnout v jazyce C#, a tím pádem ani jakoukoli metodu, která v enginu Urho3D tuto třídu používá. V případě `CustomGeomtry` je to metoda `GetVertices()`, která umožňuje přístup ke všem vertexům `CustomGeometry` najednou, bez režie metod poskytujících přístup k vertexům jednotlivě, jako například `GetVertex`. Tato skutečnost nám znemožňuje použití `CustomGeometry` s dostatečnou výkoností, a proto jsme byli nuceni použít druhý nástroj.

Druhým nástrojem jsou třídy `VertexBuffer` a `IndexBuffer`. Tyto třídy umožňují přímý přístup k datům geometrií, umožňující měnit jednotlivé vrcholy a indexy. Za použití těchto tříd dokážeme generovat geometrii či ji upravovat přímo za běhu, a to s minimální možnou reží. Tato minimální režie je umožněna poskytnutím přímého přístupu k datům v paměti a jejich následnou manipulací pomocí `unsafe` C# kódu. K této minimální režii nám oproti použití `CustomGeometry` také tento způsob umožňuje do paměti zamýkat pouze části geometrií, kterých se změny týkají, oproti `CustomGeomtry`, která, pokud by UrhoSharp tuto funkctionalitu implementovala, by nás nutila zamknout do paměti veškerá data geometrie.

2.4.2 Hledání cesty

Hledání cesty, neboli *Pathfinding*, je jednou z nejuniversálněji používaných funkcionalit ve všech typech her, nejen RTS. Každá hra obsahující jednotky pohybující se po mapě používá nějakou formu pathfindingu. Nejčastěji ve hrách hledáme nejkratší cestu mezi dvěma body, odpovídajícími aktuální pozici jednotky a cílové pozici jednotky. Standardní algoritmy používané pro hledání cesty pracují nad váženým grafem. Tato reprezentace zmenšuje prohledávaný prostor a umožňuje rychlejší nalezení cesty. Graf je složen z vrcholů, reprezentujících pozice v herním světě, a hran, reprezentujících možnost průchodu mezi spojenými vrcholy. Tyto hrany mohou být orientované, umožňující průchod pouze jedním směrem.

V této části popíšeme různé možnosti převodu logické reprezentace mapy na graf pro vyhledávání cesty, implementaci těchto převodů v algoritmu pro hledání cesty poskytovaném naší platformou a možnost použití tvůrcem implementovaného algoritmu pro hledání cesty naší platformou.

Převod mapy

Převod mapy na graf lze dělat dvěma způsoby, dynamicky, kdy je graf generován při výpočtu cesty, nebo staticky, kdy je graf generován na počátku hry,

případně je generován znova při změně mapy.

Dynamické generování grafu umožňuje reprezentovat aktuální stav mapy, který se může v průběhu času měnit. Tímto způsobem lze do hledání cesty zahrnout aktuální pozice jednotek, postavené budovy či změny terénu. Problémem tohoto typu generování grafu je výpočetní náročnost.

Statické generování grafu umožňuje jedno vygenerování grafu, které předzpracuje logickou reprezentaci mapy a maximálně optimalizuje graf pro zmenšení náročnosti hledání cesty. Nevýhodou je neschopnost odrážet změny v terénu, pozice entit či stavbu budov. Dalším problémem je rozdílná průchodnost částí mapy pro různé typy jednotek. Pro řešení tohoto problému pouze statickým generováním musí být pro každý typ jednotky vygenerován zvláštní graf, což se negativně projeví na paměťové složitosti programu.

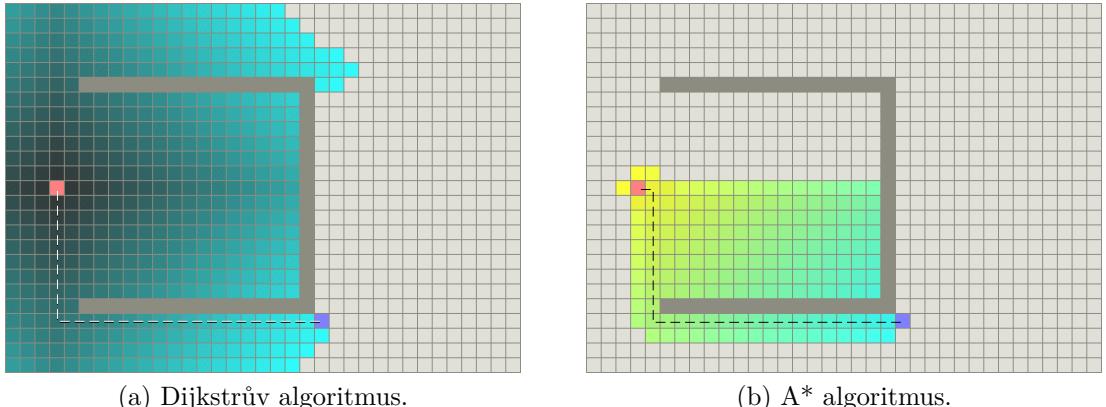
V naší platformě

Naše platforma definuje rozhraní `IPathfindAlg`, které reprezentuje algoritmus pro hledání cesty používaný součástmi platformy a poskytovaný pro použití tvůrce hry. Zároveň platforma poskytuje tvůrcům hry jednu možnou implementaci tohoto rozhraní, a to pomocí algoritmu A*.

Algoritmus A* je jedním z nejpoužívanějších algoritmů pro hledání cest ve hrách, jak říká Amit Patel ve svém článku [25]. Z tohoto důvodu jsme se tento algoritmus rozhodli použít jako základní implementaci hledání cesty ve hře. A* je grafový algoritmus pracující nad váženým orientovaným grafem. Algoritmus dostává jako zadání graf, počáteční vrchol a koncový vrchol. Oproti Dijkstrou algoritmu, který prochází vrcholy od startovního vrcholu v pořadí vzrůstající ceny cesty do vrcholu, modifikuje A* toto uspořádání vrcholů pomocí heuristiky, kterou přičítá k ceně cesty do vrcholu. Toto porovnání můžeme vidět na obrázku 2.5, které ukazují pořadí prohledaných vrcholů v grafu. Můžeme vidět, že Dijkstrův algoritmus vytváří okolo startovního vrcholu rovnoměrný kruh prohledaných vrcholů (pokud vzdálenost vrcholu bereme jako cenu cesty ze startovního vrcholu). Oproti tomu algoritmus A* prohledává vrcholy nejen podle jejich vzdálenosti od počátečního vrcholu, ale za použití heuristiky zohledňuje i jejich vzdálenost od cílového vrcholu. Díky tomu algoritmus A* ve většině případů zmenšuje počet prohledaných vrcholů.

Problémem algoritmu A* může být vlastní heuristika. Algoritmus A* požaduje, aby heuristika splňovala dvě vlastnosti, a to přípustnost a monotonost. Přípustnost označuje, že hodnota heuristiky pro každý vrchol je menší než minimální délka cesty do tohoto vrcholu. Monotonost poté označuje tento vztah $h(x) \leq d(x,y) + h(y)$, kde $h(x)$ je hodnota heuristiky vrcholu x a $d(x,y)$ délka hrany z vrcholu x do vrcholu y. Splnění těchto vlastností zajišťuje, že nalezená cesta bude optimální (přípustnost) a každý vrchol prohledáme nejvýše jednou (monotonost).

Naše implementace algoritmu A* používá spojení statického a dynamického generování grafu, spolu s tvůrcem dodanou heuristikou. Graf, reprezentující terén úrovně, je vygenerován staticky. Tedy pro každou dlaždice je vytvořen vrchol a každý vrchol je spojen se všemi vrcholy reprezentujícími sousední dlaždice. Dále je umožněno do grafu za běhu přidávat vrcholy a spojovat je s již existujícími. To je použito pro umožnění pohybu po budovách, kde jsou při jejich stavbě do



Obrázek 2.5: Porovnání Dijkstrova algoritmu s algoritmem A* ukazující důležitost heuristiky.

grafu dodány vrcholy reprezentující schůdné plochy budovy a tyto vrcholy jsou spojeny jak mezi sebou, tak s existujícími vrcholy grafu.

Dynamická část generování grafu se projevuje při výpočtu vah hran. Hrany nemají pevně stanovenou váhu, místo toho je pro výpočet cesty požadováno po tvůrci hry, aby každá jednotka hledající cestu poskytla tzv. kalkulátor, který dynamicky ohodnocuje hrany a definuje jejich průchodnost. Tento přístup nám umožňuje zachovávat pouze jeden graf, který se díky využití kalkulátorů chová jako rozdílný graf pro každý kalkulátor. Vzhledem k požadavkům algoritmu A* na vztah heuristiky a ceny hran, popsaných výše, požadujeme po tvůrci hran poskytnutí heuristiky v rámci kalkulátoru. Zároveň tento přístup umožňuje tvůrci místo vlastní implementace algoritmu pro hledání cesty pouze změnit poskytované hodnoty hran a/nebo heuristiky, čímž může tvůrce změnit chování naší implementace algoritmu A* pro svoji potřebu.

Naše implementace A* ovšem není jediným použitelným algoritmem pro hledání cesty v naší platformě. Pokud tvůrci nestačí úprava váhy hran a heuristiky, umožňuje platforma implementaci vlastního algoritmu splňujícího rozhraní `IPathfindAlg`, který bude následně používán vsemi součástmi platformy. Používaný algoritmus je specifikován při startu úrovně, je tedy možné, aby i v jednom balíčku různé úrovně používaly různé algoritmy pro hledání cesty.

2.4.3 Projektily

Simulace projektilů je častým problémem v RTS hrách, tedy v typu her, který naše platforma chce podporovat. Rozhodli jsme se proto implementovat tuto funkcionality, umožňující výpočet počátečního směru projektilu při střelbě na pohyblivý cíl, simulaci letu se stálou gravitací a detekci zásahů.

Typy projektilů

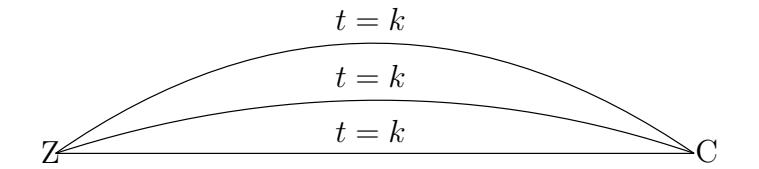
Existuje několik typů simulací projektilů, rozdelených podle stupně přesnosti simulace reálného světa. Těmito typy, seřazenými podle vzrůstající realističnosti simulace, jsou:

- *Hitscan* (bez simulace letu),

- s konstantní horizontální rychlostí (proměnlivá gravitace, žádný odpor vzduchu),
- s konstantní dopřednou rychlostí (konstantní gravitace, žádný odpor vzduchu),
- s plně realistickým chováním (konstantní gravitace, simulace odporu vzduchu).

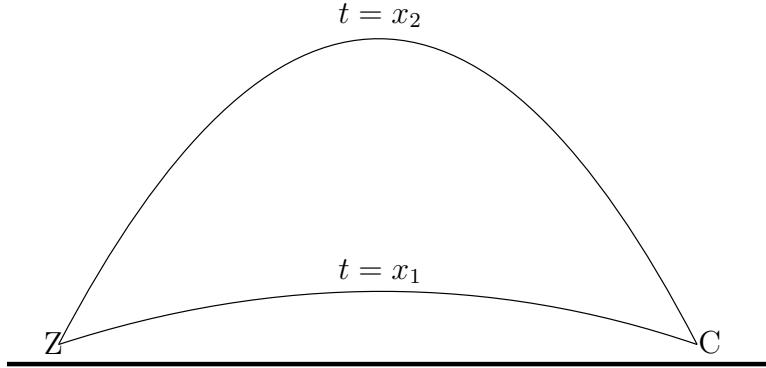
Hitscan projektily jsou zvláštním typem projektilů, který má nulovou dobu letu. V okamžiku výstřelu je proveden výpočet, zda se ve směru, kterým byl výstřel mířen, vyskytuje cíl. Pokud ano, je tomuto cíli okamžitě uděleno poškození. Hitscan projektily lze dále rozdělit podle chování po zasáhnutí prvního cíle. Projektil může být zastaven prvním cílem, nebo pokračovat dále skrz první cíl a případně zasáhnout další cíle.

Projektily s konstantní horizontální rychlostí umožňují tvůrci hry z pohledu logiky uvažovat pouze pohyb v rovině terénu. Jak můžeme vidět na obrázku 2.6, výška oblouku nemá u tohoto druhu projektilu vliv na dobu letu a je závislá pouze na vzdálenosti zdroje a cíle v rovině. Tato vlastnost umožňuje zvolit výšku oblouku tak, aby graficky vypadala dobrě. Z pohledu vyvážení síly jednotek a budov umožňuje tento typ projektilů jednoduše spočítat dobu letu jako $t = \text{vzdálenost(střelec, cíl)}/v$, kde v značí určenou rychlosť projektilu. Tento typ projektilů je především vhodný pro hry odehrávají se v jedné rovině, jako například Warcraft nebo Starcraft.



Obrázek 2.6: Trajektorie a čas letu projektilu s konstantní horizontální rychlostí.

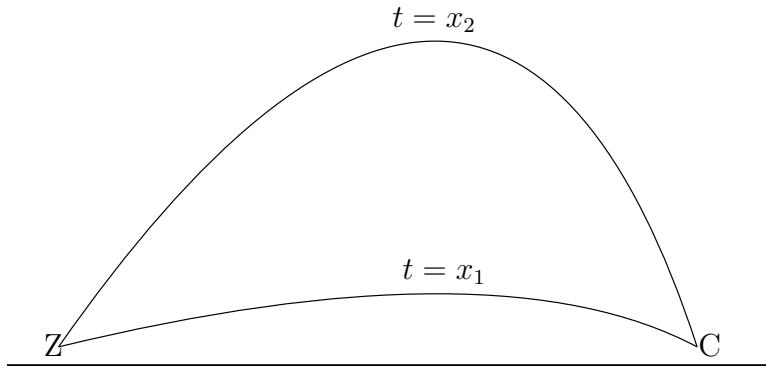
Projektily s konstantní dopřednou rychlostí se pohybují po balistické křivce, určené počáteční rychlosťí, směrem výstřelu a sílou gravitace. Jak můžeme vidět na obrázku 2.7, existují vždy nejvýše dvě trajektorie, kterými lze zasáhnout při daných hodnotách výše vyjmenovaných vlastností. Díky konstantní dopředné rychlosťi a různým délkám trajektorií vždy platí vztah $x_1 <= x_2$. Oproti předešlým typům projektilů vyžaduje tento typ složitější výpočty pro zasažení cíle, především pohybujícího se cíle. Tyto výpočty byly v naší platformě převzaty z článku Forresta Smitha [27]. Tento článek poskytuje vzorec, podle kterého lze vypočítat směr střelby projektilu, pokud známe pozice střelce, cíle, gravitaci a počáteční rychlosť projektilu. Pohyb cíle musí být konstantní rychlosť konstantním směrem. Vzhledem k implementaci pohybu v naší platformě, který se odehrává po spojnicích středů dlaždic, je potřeba najít spojnici, na které se bude cíl právě vyskytovat. Tento postup je iterativní, kdy procházíme cestu cíle a v každém bodě změny směru počítáme dobu letu projektilu. Ve chvíli, kdy najdeme dva body, kde v prvním bude jednotka dříve než projektil, a v druhém později než projektil, našli jsme požadovanou spojnici. Následně využijeme převzatý vzoreček pro spočtení směru výstřelu. Tento postup by bylo možné celý provést iterativně,



Obrázek 2.7: Trajektorie a čas letu projektu s konstantní dopřednou rychlostí.

kde místo použití vzorečku by jsme znova prohledávali spojnici dvou bodů a přibližovali se k cíli.

Projektily s realistickým chováním přidávají oproti předešlému typu ještě jednu vlastnost, a to odpor vzduchu. Jak můžeme při porovnání trajektorií na obrázcích 2.7 a 2.8, má trajektorie tohoto typu projektu složitější tvar. Výpočet tohoto typu projektu je nejčastěji prováděn iterativně, kdy je odhadnuta doba letu, podle této doby letu je predikován pohyb cíle, a následně spočítána opravdová délka letu. Tento postup je opakován do dosažení potřebné přesnosti.



Obrázek 2.8: Trajektorie a čas letu projektu s plně realistickým chováním.

Podle priorit a zasazení hry jsou často voleny méně realistické modely, které z pohledu hry mohou mít výhody oproti plně realistickému chování. Těmito výhodami může být lepší zasazení do tématu hry, což můžeme vidět u laserových zbraní v sci-fi hrách jako Starcraft 2 [6], které jsou typu *Hitscan*. I když by se zdálo, že je vždy nejlepší co nejvíce se blížit realitě a tedy vybrat si plně realistické chování, v některých hrách je důležitější možnost vyvážení síly jednotek, předvídatelnosti chování a/nebo vzhledu.

Naše platforma poskytuje implementaci výpočtu směru střelby pro projektily s konstantní dopřednou rychlostí a simulaci letu tohoto typu projektilů. Naším cílem ovšem bylo nijak neomezovat tvůrce her, kvůli čemuž jsou tyto prvky poskytovány jako komponenty, které lze připojit k projektu a které následně řídí jeho chování. Nijak ale nejsou provázány s vlastní třídou projektilu, čímž je tvůrcům hry umožněno implementovat kterýkoli z typů projektilů.

3. Programátorská dokumentace

V této kapitole popíšeme naší implementaci platformy MHUrho a ukázkové hry. K implementaci platformy bylo použito Visual Studio 2017 Education a .NET Framework 4.7.2, který je zároveň cílovým frameworkem naší platformy. Celá implementace je obsažena v jediném „solution“, MHUrho. Toto solution se skládá z několika projektů, představujících implementaci vlastní platformy, instalátoru platformy a ukázkové hry.

3.1 Skupina projektů MHUrho

Implementace platformy je tvořena třemi projekty. Hlavním z těchto projektů je projekt *MHUrho*, jehož výstupem je „knihovna“ MHUrho, implementující jádro funkcionality našeho projektu. Tato knihovna je poskytována tvůrcům her pro tvorbu pluginů. Dále tato knihovna obsahuje přenositelné části implementací požadované funkcionality.

Zbylé dva projekty vytvářejí aplikaci cílenou na jediný systém. Výstupem *MHUrho.Desktop* je implementace platformy pro desktopové systémy, pro nás zatím pouze systém Windows. Výstupem *MHUrho.Android* je verze platformy pro mobilní systém Android. Tato verze obsahuje pouze kostry řešení a slouží zde pouze jako bod budoucí rozšířitelnosti platformy. Obě tyto aplikace využívají knihovnu MHUrho, která, jak bylo zmíněno výše, implementuje přenositelnou část funkcionality. Dále knihovna definuje rozhraní a třídy, které nelze implementovat přenositelně a je tedy nutné pro každý z cílových systémů vytvořit zvláštní implementaci, která je následně při startu aplikace poskytnuta knihovně.

Drtivou většinu funkcionality jsme byli schopni implementovat přenositelně, tato sekce se tedy bude zabývat především implementací knihovny MHUrho a až na závěr zmíníme funkctionalitu, kterou jsme byli nuceni vysunout do projektů pro jednotlivé systémy.

Knihovna MHUrho je rozdělena do několika *namespace*, tedy jmenných prostorů, které spojují třídy zaobírající se společným aspektem funkcionality. Těmito jmennými prostory jsou:

- 1) `Logic`,
- 2) `WorldMap`,
- 3) `Packaging`,
- 4) `Plugins`,
- 5) `UserInterface`,
- 6) `Input`,
- 7) `Pathfinding`,
- 8) `DefaultComponents`,
- 9) `CameraMovement`,

- 10) `Helpers`,
- 11) `EditorTools`,
- 12) `Storage`,
- 13) ostatní méně důležité.

V následujících sekcích postupně projdeme jednotlivé jmenné prostory, popíšeme obsažené třídy, jejich účel a interakci s třídami z jiných jmenných prostorů.

3.2 Logika hry

Logika hry, obsažená ve jmenném prostoru `Logic`, je tvořena skupinou tříd reprezentujících herní svět z pohledu umělé inteligence hráčů, jednotek a budov. Z pohledu herního enginu je každá úroveň reprezentována scénou, tedy instancí třídy `Scene`. Tato scéna tvoří kořen grafu, ve kterém se nacházejí všechny `Node` reprezentující herní mapu, kameru a entity přítomné ve hře. Struktura tohoto grafu je vždy probrána v odpovídající části dokumentace. Na každou z těchto `Node` lze přidat instance potomků třídy `Component`, které následně implementují chování objektu reprezentovaného danou `Node`.

3.2.1 LevelManager

Hlavním třídou, reprezentující aktuálně spuštěnou úroveň, je třída `LevelManager`.
Jak můžeme vidět na grafu referencí `??`, slouží tato třída jako centrální přístupový bod ke službám platformy, jak pro pluginy, tak pro samotné části platformy a dále slouží jako repozitář všech entit, přítomných ve hře. Každá součást aktuální úrovně dostává referenci na instanci třídy `LevelManager` a pomocí ní přistupuje ke zbytku platformy.

Tato třída je potomkem třídy `Component`, která umožňuje přidat ji do grafu scény a obsluhovat události odehrávající se ve scéně. I když by logicky tato komponenta, řídící chování celé úrovně, měla být přiřazena přímo instanci `Scény`, vytvořili jsme separátní `Node`, reprezentující logiku úrovně, na které je přidána právě komponenta `LevelManager`. Účelem této změny bylo umožnění selektivního vypínání logiky úrovně bez vypnutí vykreslování, které je jako jakékoli jiné chování reprezentováno komponentou a při vypnutí scény přestane fungovat.

Jako centrální přístupový bod umožňuje `LevelManager` vytváření nových Entit.

3.2.2 Entity

`Entity` je abstraktní třída, sloužící jako předek všech jednotek, budov a projektů ve hře. Tato třída deklaruje či přímo implementuje funkce a „properties“ společné všem entitám. Mezi tyto property patří hráč vlastnící entitu, reference na `LevelManager` aktuální úrovně, pozice v herním světě a v neposlední řadě reference na plugin ovládající entitu.

Třída `Entity` je sama potomkem třídy `Component`, která je poskytována enginem `UrhoSharp`. Tento vztah nám umožňuje připojit třídu `Entity` a všechny její potomky k instanci `Node` odpovídající entitě v grafu scény.

3.2.3 Načítání hry

3.3 Plugins

3.4 Manipulace s balíčky

3.5 Mapa

4. Uživatelská dokumentace

Závěr

Seznam použité literatury

- [1] Open-Asset-Importer-Lib. <http://www.assimp.org/index.php>. [Online; accessed 2019-05-17].
- [2] ADAMS, E. (2009). *Fundamentals of Game Design*. New Riders, 2 edition. ISBN 0-321-64337-2.
- [3] ALBAHARI, J. (2017). *C# 7.0 in a Nutshell*. O'Reilly UK Ltd. ISBN 978-1-491-98765-0. URL https://www.ebook.de/de/product/29084295/joseph_albahari_c_7_0_in_a_nutshell.html.
- [4] APPLE INC. (2019). iOS Security. https://www.apple.com/business/site/docs/iOS_Security_Guide.pdf. [Online; accessed 2019-05-17].
- [5] BLIZZARD ENTERTAINMENT, INC. (2002). Warcraft 3. <https://playwarcraft3.com/en-us/>. [Online; accessed 2019-03-18].
- [6] BLIZZARD ENTERTAINMENT, INC. (2010). Starcraft 2. <https://starcraft2.com/en-us/>. [Online; accessed 2019-03-18].
- [7] BLIZZARD ENTERTAINMENT, INC. (2014). Hearthstone. <https://playhearthstone.com/en-us/>. [Online; accessed 2019-05-17].
- [8] FIRAXIS GAMES, INC. (2010). Civilization V. <https://civilization.com/civilization-5/>. [Online; accessed 2019-03-18].
- [9] FIREFLY STUDIOS (2002). Stronghold Crusader. <https://fireflyworlds.com/games/strongholdcrusader/>. [Online; accessed 2019-03-18].
- [10] GOOGLE (2018). Developer Guide. <https://developers.google.com/protocol-buffers/docs/overview>. [Online; accessed 2019-05-17].
- [11] GOOGLE (2019). Data and file storage overview. <https://developer.android.com/guide/topics/data/data-storage>. [Online; accessed 2019-05-18].
- [12] GOOGLE (2019). Device metrics. <https://material.io/tools/devices/>. [Online; accessed 2019-06-06].
- [13] GOOGLE (2019). Protocol Buffers. <https://developers.google.com/protocol-buffers/>. [Online; accessed 2019-05-17].
- [14] GRAVELL, M. protobuf-net. <https://github.com/mgravell/protobuf-net>. [Online; accessed 2019-06-06].
- [15] LANDER, R. (2019). Introducing .NET 5. <https://devblogs.microsoft.com/dotnet/introducing-net-5/>. [Online; accessed 2019-06-03].
- [16] LANTZ, J. (2008). Opinion: The Evolution of the Modern RTS. http://www.gamasutra.com/php-bin/news_index.php?story=18326. [Online; accessed 2019-04-01].

- [17] MICROSOFT. KNOWNFOLDERID. <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/shell/knownfolderid>. [Online; accessed 2019-05-17].
- [18] MICROSOFT. Environment.SpecialFolder Enum. <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/api/system.environment.specialfolder?view=netframework-4.8>. [Online; accessed 2019-05-17].
- [19] MICROSOFT (2006). Chapter 4: Data and Settings Management. [https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/ms995853\(v=msdn.10\)](https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/ms995853(v=msdn.10)). [Online; accessed 2019-05-17].
- [20] MICROSOFT (2019). AssemblyLoadContext Class. <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/api/system.runtime.loader.assemblyloadcontext?view=netcore-2.2>. [Online; accessed 2019-06-03].
- [21] MONKEY SQUAD, S.A. DE C.V. (2015). Kerbal Space Program. <https://www.kerbalspaceprogram.com/>. [Online; accessed 2019-05-17].
- [22] NOVAK, M. (2014). Serialization Performance comparison (C#/NET) – Formats & Frameworks (XML–DataContractSerializer & XmlSerializer, BinaryFormatter, JSON–Newtonsoft & ServiceStack.Text, Protobuf, MsgPack). <https://maxondev.com/serialization-performance-comparison-c-net-formats-frameworks-xmldatacontr> [Online; accessed 2019-05-15].
- [23] O'BRIEN, L., SCHONNING, N., DUNN, C., UMBAUGH, B. a PAKALA, Y. (2017). iOS App Architecture. <https://docs.microsoft.com/en-us/xamarin/ios/internals/architecture>. [Online; accessed 2019-04-08].
- [24] OXEYE GAME STUDION (2008). RTS Game-play Part 3: Build Options. <http://www.oxeyegames.com/rts-game-play-part-3-build-options/>. [Online; accessed 2019-04-01].
- [25] PATEL, A. (2009). Introduction to A*. [IntroductiontoA*](#). [Online; accessed 2019-05-17].
- [26] RELIC ENTERTAINMENT (2006). Company of Heroes. <http://www.companyofheroes.com/>. [Online; accessed 2019-03-18].
- [27] SMITH, F. (2016). Solving Ballistic Trajectories. https://www.forrestthewoods.com/blog/solving_ballistic_trajectories/. [Online; accessed 2019-05-17].
- [28] URHO3D. Urho3d. <https://urho3d.github.io/>. [Online; accessed 2019-05-17].
- [29] URHO3D. PODVector Documentation. https://urho3d.github.io/documentation/1.4/class_urho3_d_1_1_p_o_d_vector.html#details. [Online; accessed 2019-05-17].

- [30] WALKER, M. H. (2004). Strategy Gaming: Part II. <https://web.archive.org/web/20070129065355/http://archive.gamespy.com/articles/february02/strategy02/>. [Online; accessed 2019-04-01].
- [31] WALKER, M. H. (2004). Strategy Gaming: Part V – Real-Time vs. Turn-Based. <https://web.archive.org/web/20081201113359/http://archive.gamespy.com/articles/february02/strategygames05/index.shtml>. [Online; accessed 2019-04-01].
- [32] WENZEL, M., YISHENGJIN, LATHAN, L., PRATT, T., PETRUSHA, R., HOFFMAN, M., JONES, M. a DEV, A. (2017). Best Practices for Assembly Loading. <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/framework/deployment/best-practices-for-assembly-loading>. [Online; accessed 2019-04-08].
- [33] WESTWOOD STUDIOS (1992). Dune II. https://en.wikipedia.org/wiki/Dune_II. [Online; accessed 2019-03-18].
- [34] WIKIPEDIA CONTRIBUTORS (2019). X-COM. <https://en.wikipedia.org/wiki/X-COM>. [Online; accessed 2019-05-17].
- [35] WIKIPEDIA CONTRIBUTORS (2019). Blitzkrieg (video game series). [https://en.wikipedia.org/wiki/Blitzkrieg_\(video_game_series\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Blitzkrieg_(video_game_series)). [Online; accessed 2019-05-17].
- [36] WIKIPEDIA CONTRIBUTORS (2019). Blizzard Entertainment. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Blizzard_Entertainment&oldid=892549860. [Online; accessed 2019-05-17].
- [37] WIKIPEDIA CONTRIBUTORS (2019). Command & Conquer. https://en.wikipedia.org/wiki/Command_%26_Conquer. [Online; accessed 2019-05-17].
- [38] WIKIPEDIA CONTRIBUTORS (2019). Total War (series). [https://en.wikipedia.org/wiki/Total_War_\(series\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Total_War_(series)). [Online; accessed 2019-05-17].
- [39] WIKIPEDIA CONTRIBUTORS (2019). Westwood Studios. https://en.wikipedia.org/wiki/Westwood_Studios. [Online; accessed 2019-05-17].
- [40] XAMARIN (2015). UrhoSharp. <https://docs.microsoft.com/en-us/xamarin/graphics-games/urhosharp/>. [Online; accessed 2019-05-15].

A. Přílohy

A.1 První příloha

To do . . .

- 1 (p. 5): Možná vynechat Možná vynechat
- 2 (p. 5): citace
- 3 (p. 5): citace
- 4 (p. 5): možna graf nasledujiciho, jak se ovlivnujou
- 5 (p. 7): Další druhy popsat další druhy implementací
- 6 (p. 10): Přeuspořádat Lépe uspořádat sekci o budovách
- 7 (p. 12): zničitelnost
- 8 (p. 12): různé druhy poškození
- 9 (p. 12): restrikce na umístění
- 10 (p. 35): Kde sem to nasej?
- 11 (p. 36): oproti čemu nízkou