**Uniwersytet Jagielloński w Krakowie**

Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej

Kierunek: Informatyka Stosowana

PROTOTYP GRY STRATEGICZNEJ CZASU RZECZYWISTEGO. BADANIA SZTUCZNEJ INTELIGENCJI PRZECIWNIKÓW

Praca magisterska

napisana pod kierunkiem

dr Jana Argasińskiego

Spis treści

[Wstęp 3](#_Toc461456131)

[Wprowadzenie 4](#_Toc461456132)

[1. Reguły i założenia prototypu 7](#_Toc461456133)

[1.1 Konwencja 7](#_Toc461456134)

[1.2 Specyfikacja jednostek oraz budynków 7](#_Toc461456135)

[1.2.1 Typy jednostek 8](#_Toc461456136)

[1.2.2 Typy budynków 9](#_Toc461456137)

[1.3 Podstawowa mechanika 10](#_Toc461456138)

[2. Sposób zaprogramowania prototypu 11](#_Toc461456139)

[2.1 Opis najważniejszych elementów biblioteki Unity3D 14](#_Toc461456140)

[2.2 Obiekty globalne 16](#_Toc461456141)

[2.2.1 Singleton *Globals* 16](#_Toc461456142)

[2.2.2 Obiekty gracza i armii 17](#_Toc461456143)

[2.2.3 Obiekty środowiska 18](#_Toc461456144)

[2.2.4 Obiekty konfiguracyjne 18](#_Toc461456145)

[2.2.5 Klasy ze stałymi 19](#_Toc461456146)

[2.3 Podsystem mapy 19](#_Toc461456147)

[2.3.1 Klasy mapy 19](#_Toc461456148)

[2.3.2 Klasy drzewa czwórkowego 22](#_Toc461456149)

[2.4 Podsystem elementów mapy 25](#_Toc461456150)

[2.4.1 Implementacja elementu mapy 25](#_Toc461456151)

[3. Kreacja graficzna prototypu 26](#_Toc461456152)

[3.1 Grafika dwuwymiarowa 26](#_Toc461456153)

[3.2 Grafika trójwymiarowa 26](#_Toc461456154)

[4. Zaprogramowanie sztucznej inteligencji i jej typy 27](#_Toc461456155)

[5. Badania skuteczności sztucznej inteligencji 28](#_Toc461456156)

[Zakończenie 29](#_Toc461456157)

[Streszczenie 30](#_Toc461456158)

[Bibliografia 31](#_Toc461456159)

[Aneks/Spis ilustracji 32](#_Toc461456160)

# Wstęp

[tu znajdzie się cel oraz podział pracy]

# Wprowadzenie

RTS, czyli tłumacząc dosłownie z języka angielskiego „strategia czasu rzeczywistego” jest odmianą gry strategicznej, w której gracze skupiają się na rozbudowie gospodarki ekonomicznej oraz militarnej w celu obronienia swoich budynków oraz jednostek przed przeciwnikiem.[[1]](#footnote-1) Jej odmienność polega na tym, iż dzieje się w czasie rzeczywistym, co oznacza, że cała rozgrywka nie jest podzielona na tury lub kolejki. [[2]](#footnote-2)

Strategie czasu rzeczywistego różnią się pod względem tematyki oraz sposobu prezentacji świata, mimo to większość bazuje na podobnym schemacie działania. Gracz kontroluje poczynania jednej z konkurujących frakcji. Jego zadaniem jest pozyskiwanie surowców, budowa zaplecza gospodarczego, stworzenie silnej armii i zajęcie terenów przeciwnika. W 1992 roku twórcy gry Dune II wprowadzili zależność od siebie struktur, ideę różnych stron, które posiadają różne bronie oraz jednostki walczące. [[3]](#footnote-3) Cechą wspólną gier strategicznych są warunki zwycięstwa, czyli pokonanie przeciwnika poprzez zniszczenie jego głównej struktury dowodzącej lub pozbawienie go zasobów budowlanych, dzięki czemu nie ma on możliwości odbudowy swoich jednostek. [[4]](#footnote-4)

Główną mechaniką gry jest wybór ścieżki rozwoju, którą gracz zamierza podążać podczas trwania rozgrywki. Do wyboru zazwyczaj mamy dwie podstawowe gospodarki – ekonomiczną oraz militarną, które później może krzyżować. Pierwsza z nich sprawia, że na początku mamy bardzo słabe lub nie mamy wcale jednostek militarnych, gdyż skupiamy się na rozwoju związanym z pozyskiwaniem surowców budulcowych. Pozwala to na dużą ilość zgromadzonych zasobów w krótkim czasie, co później pozwala na lepszą odbudowę oraz masowe zrekrutowanie jednostek bitewnych w późniejszym okresie. Druga droga jest bardziej militarna i skupia się na inwestowaniu w jednostki oraz badania z nimi związane, co pozwala na zbudowanie jednostek potrzebnych we wczesnej fazie gry. Dzieki tej ścieżce gracz nie może pozwolić sobie na szybki rozwój technologiczny, ale zazwyczaj jest w stanie odeprzeć ataki wroga. Podczas podejmowania decyzji odnośnie wyboru ścieżki, którą w każdej chwili może zmienić, gracz musi również zrozumieć konstrukcję mapy oraz rozmieszczenie poszczególnych surowców, na tyle, żeby jak najbardziej optymalnie jego zdaniem rozlokować budynki oraz jednostki.[[5]](#footnote-5)

Sztuczna inteligencja w grach typu RTS ma między innymi za zadanie zachowywać się jak prawdziwy gracz. W skład tego zachodzą takie zachowania jak [[6]](#footnote-6):

* znalezienie jak najbardziej optymalnej drogi (pathfinding), który pozwoli na szybsze dotarcie jednostej do wskazanego celu,
* posiadanie bazowej wiedzy na temat gry,
* planowanie swoich działań,
* rozbudowa jednostek,
* wieczne uczenie się na błędach oraz sukcesach,
* wyciąganie wniosków z podjętych działań,
* dostosowywanie szybkości nauki oraz wykonywania do wybranego poziomu trudności rozgrywki,
* wysyłanie jednostek zwiadowczych w celu zebrania informacji o poziomie zaawansowania gracza,
* przewidzenie ewentualnej strategii gracza,

Głównym problemem jaki pojawia się podczas rozgrywek przeciwko sztucznej inteligencji jest takie działania jak podejmowanie decyzji opartych na zbyt małej ilości lub braku informacji, a co za tym idzie – optymalnie zaplanowanie taktyk oraz rozlokowanie zasobów. Kolejną rzeczą po zdobyciu informacji jest wyselekcjonowanie, która z nich ma najwyższy priorytet w danej sytuacji oraz zrozumienie jej wagi w odniesieniu do całości. W związku z tym brakuje wysublimowanej sztucznej inteligencji, która pozwoli na skalowanie trudności nie tylko poprzez zwiększenie liczebności jednostek przeciwnika, w taki sposób, żeby cała rozgrywka nie utraciła waloru taktyczno-strategicznego.

W związku z powyższym celem naszej pracy dyplomowej jest stworzenie prototypu gry RTS, który będzie oparty o proste reguły. Głównym założeniem jest zaprogramowanie sztucznej inteligencji, która nie będzie polegała jedynie na prostolinijnej produkcji jednostek w jak najkrótszym czasie. Będzie ona również posiadała zdolność do pozyskiwania informacji, przetwarzania ich oraz wykonanie działań, które są ich konsekwencją. Powinno to pozwolić na jednoosobową rozgrywkę przeciwko AI lub nawet symulację rozgrywki dwóch różnych przeciwników posiadających sztuczną inteligencję przeciwko sobie. Zamierzamy zaprogramować jednostki w taki sposób, aby same reagowały na obecność przeciwnika, dzięki czemu gracz nie musi kontrolować każdego ich ruchu.

# 1. Reguły i założenia prototypu

Celem naszej pracy dyplomowej jest stworzenie sztucznej inteligencji dla prototypu gry RTS. Postanowiliśmy oprzeć go o proste zasady, gdyż nie chcemy skupiać się na rozbudowie mechaniki rozgrywki. Mimo to nie mogą one też być zbyt proste, gdyż za mocno ograniczy to możliwości oraz decyzje, które może podejmować sztuczna inteligencja. Nie zamierzamy komplikować reguł prototypu, żeby zachować optymalny balans rozgrywki. Prototyp zostanie umieszczony w konkretnej konwecji posiadającej określony zasób budowlany, badania technologiczne, kilka typów jednostek oraz budynków.

## 1.1 Konwencja

Program, którego będziemy używać do stworzenia prototypu gry RTS to Unity 3D. Modele budynków, jednostek, jak i otoczenia będą trójwymiarowe, jednak widok z kamery będzie typowym rzutem izometrycznym. Teren, na którym będzie miała miejsce rozgrywka będzie płaską i symetryczną względem środka mapą tak, aby obie strony miały równe szanse przy rozpoczęciu partii.

Przy tworzeniu konwencji prototypu zamierzamy inspirować się wizją świata po apokalipsie, w której jedynymi ocalałymi są maszyny. Dodatkowo wygląd otoczenia inspirowany będzie stylem retrofuturystycznym, czyli wyobrażeniem przyszłości zazwyczaj stylizowanym na erę wiktoriańską [[7]](#footnote-7). W związku z tym tematem przewodnim naszego prototypu będą walki maszyn w futurystycznym świecie, który będzie wielkim złomowiskiem. Oprócz budynków produkcyjnych będą w nim występować jednostki zmechanizowane, czyli mechy. Głównym zasobem świata będzie złom występujący w podziemiach. Dodatko będzie można go zbierać z wraków jednostek bojowych oraz zniszczonych budynków.

## 1.2 Specyfikacja jednostek oraz budynków

Budynki oraz jednostki, które zostaną wykorzystane w prototypie będą trójwymiarowymi modelami stworzonymi w całości na potrzeby niniejszej pracy. W celu optymalizacji oraz faktu, iż widok z kamery będzie typu izometrycznego usuniemy niewidoczne ściany. Dym z kominów niektórych budynków zostanie zaprojektowany dzięki stystemowi cząsteczkowemu w Unity 3D.

### 1.2.1 Typy jednostek

W związku z tym, iż chcemy zachować optymalny balans rozgrywki stworzone zostaną jedynie jednostki naziemne. Będą się one różniły między sobą nie tylko wyglądem, ale również:

* szybkością obrotu jednostki,
* szybkością poruszania się,
* mocą ataku,
* szybkością ataku,
* zasięgiem ataku,
* ilością życia,
* polem widzenia.

Dwoma podstawowymi niemilitarnymi jednostkami będą jednośladowy zwiadowca oraz tzw. *harvester*, czyli zbieracz. Zwiadowca będzie miał za zadanie sprawdzenie etapu rozwoju przeciwnika, rozpoznania terenu oraz rozlokowania surowców na mapie. Jego podstawowymi zaletami będzie szybkie przemieszczanie się oraz zdobywanie i przekazywanie informacji graczowi. Głównymi wadami jakie bedzie posiadał to brak możliwości walki oraz mała ilość życia. *Harvester* będzie jednostką, której głównym celem będzie zbieranie, wydobywanie oraz transportowanie w określone miejsce złomu. Obie z wyżej wymienionych jednostek nie będą mogły walczyć.

Podstawowymi oddziałami militarnymi będą dwa typy zmechanizowanych jednostek kroczących – bliskozasięgowe oraz dalekozasięgowe.Obie będą poruszały się dość szybko, jednak nie będą posiadały zbyt wielkiej siły ataku. Oprócz walki z oddziałami przeciwnika będą mogły również niszczyć budynki.

Oprócz powyżej opisanych jednostek powstaną jeszcze pojazdy militarne. Jednym z nich będą czołgi, które będą wolnymi maszynami z dużym zasięgiem ataku. Drugimi będą wyrzutnie rakiet, które oprócz zwiększonego zasięgu będą posiadały również bardzo długi czas przeładowania pocisku. Oba typy pojazdów będą posiadały na tyle duże obrażenia, by w bardzo szybkim czasie zniszczyć budynki oraz rozjeżdżać podstawowe oddziały militarne.

### 1.2.2 Typy budynków

Budynki będą służyły wytwarzaniu jednostek, opracowywaniu technologii oraz przetwarzaniu podstawowego surowca. W celu wybudowania ich muszą zostać spełnione pewnego typu warunki. Niektóre z nich będą potrzebowały opracowanej technologii, a inne wybudowania konkretnego budynku. Każdy z budynków będzie posiadał możliwość rozbudowy, co pozwoli na odblokowywanie kolejnych technologii oraz wzmocnienie statystyk budynków i produkowanych przez niego jednostek. Kominy przy niektórych budynkach będą generować dym utworzony za pomocą systemu cząsteczkowego w programie Unity 3D.

Typy planowanych przez nas budynków możemy podzielić na dwie podstawowe kategorie – militarne oraz przemysłowo-rozwojowe. Do militarnych budynków możemy zaliczyć wszystkie budowle odpowiedzialne za produkcję, budowe defensywy oraz wspomaganie dowodzenia w trakcie rozgrywki. Do tej kategorii budowli będą należeć:

* centrum dowodzenia, które będzie pozwalało na budowe nowych jednostek,
* fabryka jednostek,
* struktury obronne - takie jak zmechanizowana wieża obronna oraz mur.

Przemysłowo-rozwojowe budowle będą miały za zadanie wspomaganie rozwoju gracza oraz jego jednostek podczas całej rozgrywki. Do tego typu budowli będą zaliczać się:

* rafineria złomu, która będzie odpowiedzialna nie tylko za odbieranie i magazynowanie surowca, ale także za przetwarzanie go na metal,
* kopalnia, z której będzie można pozyskać złom,
* labolatorium technologii, które będzie umożliwiało opracowywanie nowych ścieżek rozwoju odpowiedzialnych za produkcję nowych budynków oraz jednostek .

## 1.3 Podstawowa mechanika

W podstawowej mechanice gry przewidujemy dwa tryby gry - gracz przeciwko sztucznej inteligencji oraz rozgrywka pomiędzy dwoma sztucznymi inteligencjami. Do żadnego z nich nie zamierzamy tworzyć ani fabuły ani kampanii ze względu na to, że głównym celem naszej pracy jest stworzenie sztucznej inteligencji w prototypie. Zamierzamy zaimplementować podstawowe zachowania jednostek kierowanych zarówno przez fizycznego gracza, jak i przez sztuczną inteligencję. Zaliczają się do nich:

* przemieszczanie się jednostek po mapie,
* wykonywanie rozkazów gracza,
* atakowanie oddziałów przeciwnika,
* zbieranie podstawowego zasobu w rozgrywce.

Oprócz działań zamierzamy również zastosować mechanizm tak zwanej „mgły wojny”. Polega on na tym, że tylko pewna część mapy znajduje się w polu widzenia jednostek, a zatem gracza. W związku z tym pozostałych miejscach lokalizacja jednostek przeciwnika pozostaje nieznana. Jest ona odpowiednikiem poziomu niepewności gracza względem znajomości sytuacji, w której znajduje się przeciwnik w danym momencie. Może ona również dostarczać informację odnośnie położenia surowców na mapie[[8]](#footnote-8). Dzięki jednostkom takim jak zwiadowca będziemy mogli odkryć fragment terytorium i zebrać informacje na temat stanu zaawansowania przeciwnika w rozwoju oraz położenia surowców.

Dodatkowym elementem będzie własna sztuczna inteligencja jednostek, która będzie polegać na zaprogramowaniu oddziałów w taki sposób, żeby mogły „myśleć” bez ingerencji gracza. W skład tego będą wchodziły nie tylko pojedyncze rozkazy odnośnie przemieszczania się, ale także automatyczne atakowanie, gdy przeciwnik pojawi się w zasięgu pola widzenia danej jednostki. Kolejnym przykładem tego elementu jest automatyczny odwrót niemilitarnych jednostek takich jak *harvester*. Będzie on uciekać jeżeli zostanie zaatakowany przez przeciwnika bez względu na wydawane rozkazy przez gracza.

# 2. Sposób zaprogramowania prototypu

Gra RTS w ogólności jest bardzo złożonym projektem informatycznym. Napisanie nawet jej uproszczonego prototypu było skomplikowanym zadaniem. Wymagało dogłębnego przeanalizowania wszystkich koniecznych funkcjonalności oraz zaprojektowania zależności między klasami i obiektami od podstaw. Zaprogramowany prototyp można zatem podzielić na kilka sporych, choć różniących się wielkościami podsystemów (w nawiasie podana została nazwa jednej lub kilku najważniejszych klas z danego podsystemu — wyróżniających ten podsystem):

* Obiekty globalne (*Globals*),
* Obiekty mapy (*Map*),
* Elementy mapy (*MapElement*, *Unit*, *Building*, *Resource*),
  + Ataki (*Attack*),
  + Rozkazy (*Order*),
* Akcje rozkazów (*OrderAction*),
* Produkty (*Product*),
  + Statystyki (*Stat*),
* Mgła wojny (*VisibilityTable*, *VisualFog*),
* Poszukiwanie ścieżek (*AstarPathfinder*),
* Sterowanie (*InputController*),
* Sztuczna Inteligencja (*AIBrain*),
  + Agenci (*Agent*),
* Cele (*Goal*),
  + Regiony (*Region*),
* GUI (*CanvasScript*),
* Narzędzia (folder Utils – brak konkretnej klasy wyróżniającej).

Obiekty globalne to podsystem, którego klasy najczęściej mają tylko po jednej instancji, a pobranie referencji do tych instancji jest możliwe z dowolnego miejsca kodu. Klasy z tego modułu służą przede wszystkim ogólnej konfiguracji gry oraz dostępowi do danych o stanie gry takich jak mapa, jednostki danej armii czy jej obecny rozwój technologiczny.

Obiekty mapy zawierają informacje o planszy: jej rozmiar, dwuwymiarową tablicę elementów mapy, listę graczy i armii oraz obiekt „widza” (*Spectator*). W module tym znajduje się również implementacja struktury danych drzewa czwórkowego w postaci klasy *QuadTree*.

Elementy mapy to zdecydowanie największy i najbardziej złożony moduł. Najważniejszą klasą jest tu *MapElement* — będący dowolną rzeczą która może znajdować się na polu (lub polach) mapy. Może być to jednostka, budynek albo zasób. W skład tego podsystemu wchodzą też wszystkie klasy związane z obsługą elementów mapy, dotyczące więc np. technologie, tzw. duchów (snapshotów pokazujących ostatni stan *MapElementu*, zanim został skryty przez mgłę wojny), efektów cząsteczkowych, markerów do minimapy, poruszania się jednostek, obrotu głowic *MapElementu* (np. lufy czołgu), konstrukcji nowych budynków.

Można tu wydzielić jeszcze 3 podmoduły. Podmoduł ataków zawiera klasy obsługujące wyprowadzania ataków przez jednostki. Podmoduł statystyk dotyczy utrzymywania statystyk elementu mapy (takich jak punkty życia, siła ataku, szybkość poruszania), stosowania bonusów do nich, dostępu do nich poprzez nazwy. Podmoduł rozkazów natomiast sam w sobie jest obszerny i można w nim wydzielić jeszcze pomniejsze części. Przede wszystkim zawiera klasy obsługujące wszelakie rozkazy wydawane jednostkom: poruszanie, atakowanie, zbieranie zasobów, eskortowanie, produkcja jednostek, konstrukcja budynków, odkrywanie technologii.

W podmodule istnieje do tego część związana z tzw. akcjami rozkazów, które stanowią o możliwości wykonania danego rozkazu. Na przykład jednostka może wykonać rozkaz *FollowAttackOrder* tylko, jeśli ma przypisaną akcję *FollowAttackOrderAction*. Dla każdego rozkazu, który gracz może wydać jednostce/budynkowi istnieje akcja tego rozkazu.

Drugą częścią do wydzielenia z podmodułu rozkazów jest część związana z produktami. Produkty to efekty działania rozkazów produkcji (produkcji jednostek, konstrukcji budynków, odkrywania technologii). Dopóki dana rzecz (jednostka, budynek, technologia) jest w produkcji, istnieje dla niej stworzony produkt (obiekt klasy *Product*), który zawiera informacje o postępach produkcji.

Mgła wojny to niewielki podsystem zarządzający obecnie widocznym przez armię terenem i jednostkami. Aktualizowana przez *MapElementy* tablica *VisibilityTable* zawiera informacje o tym, które pola są widoczne, które poza zasięgiem widzenia a które nieodkryte. *VisualFog* i *MinimapFog* to obiekty zajmujące się wizualizacją mgły wojny na scenie (przyciemnianie terenu poza polem widzenia).

W module poszukiwania ścieżek znajduje się kilka klas które współpracując stanowią implementację algorytmu A\*. Znajdujący się tu interfejs *IPathfinder* pozwala na stworzenie innego algorytmu, jednak istnieje tylko jedna klasa implementująca go: *AStarPathfinder*. Jako wynik algorytmu zwracany jest obiekt typu Path, składający się z obiektów *WayPoint*.

Sterowanie nie jest bardzo dużym podsystemem, lecz dość skomplikowanym. W takiej postaci w jakiej jest teraz został on stworzony po solidnym refactoringu. Znajdują się tu klasy związane z przemieszczaniem kamery, obsługą myszki gracza (*PlayerMouse*), jej stanów (*MouseStateController*, myszka ma różne tryby działania w zależności od jej stanu — np. kliknanie wydaje taki albo inny rozkaz), podświetlania i zaznaczania elementów mapy (*HoverBox* i *SelectionMonitor*), wyboru miejsca konstrukcji budynku, decydowania o kolorach ramek zaznaczonych jednostek i *HoverBoxa*.

Zaprogramowana sztuczna inteligencja jest drugim co do obszerności modułem i szczegółowo została opisana w osobnym głównym rozdziale. W skrócie opiera się ona na systemie wielu agentów (klasa *Agent*), choć zastosowanym do obsługi jednej strony konfliktu. Każdy agent spełnia inne zadanie: jest agent od wiedzy, od rekonesansu, od zbierania zasobów tudzież konstrukcji budynków. Dla każdej jednostki w grze również istnieje osobny agent, można powiedzieć że niższego poziomu. Agenci symulują równoczesne działanie (obiekt *AIBrain* — będącym odpowiednikiem Spectatora po stronie sztucznej inteligencji — uruchamia aktualizację każdego istniejącego agenta raz na cykl pętli gry). Komunikują się między sobą za pomocą niezbyt rozbudowanego systemu wiadomości. Agenci jednostek mogą zostać „wzięci” przez innych agentów — agent, który taką jednostkę „wziął” chwilowo nią zarządza i żaden inny nie ma do niej dostępu, dopóki nie zostanie ona „zwolniona”. Agenci (głównie agenci jednostek) mogą posiadać kolejkę celów (*Goal*) które po kolei wykonują. Obok agentów istnieje kilka sposobów w jaki AI organizuje sobie wiedzę o stanie gry. *FilteringMapProxy* pośredniczy w pobieraniu informacji z *Map* uwzględniając *VisibilityTable* tak, by AI korzystała z informacji tylko o tym, co sterowana przez nią armia widzi. *MapElementKind* opisuje zastosowania rodzajów jednostek i budynków (np. Harvester w 80% służy do zbierania zasobów i w 20% do zwiadów, podczas gdy Scout w 100% do zwiadów). Wreszcie *Regiony* pozwalają AI „rozumieć” wycinki mapy mające pewien sens strategiczny (np. obszary posiadające dużą liczbę zasobów).

Podsystem GUI zawiera wszystkie klasy związane z interfejsem użytkownika. Znajdują się tam zatem m.in. *MainMenuScript* (używany w scenie menu głównego), *CanvasScript* obsługujący tzw. *Canvas* (mechanizm Unity3D do układania GUI), licznik zasobów (*ResourceCounter*), wizualizacje statusów zaznaczonych elementów mapy (*StatusDisplayDrawer*), przyciski akcji rozkazów (*OrderActionButtton*), obsługa ich skrótów klawiszowych, wyświetlanie dymków pomocy.

Ostatnim modułem jest moduł narzędziowy. Zawiera on bardzo różne narzędzia pomocnicze: często używane typy które mogłyby istnieć w oderwaniu od projektu (np. *IVector2*, *SquareBounds*, *BinaryHeap*) albo statyczne klasy z metodami rozszerzającymi (tzw. extension methods) do innych typów (np. *UnityExtensions*, *EnumerableExtensions*, *DotNetExtensions*).

## 2.1 Opis najważniejszych elementów biblioteki Unity3D

Prototyp stworzony został przy pomocy silnika Unity3D, co wiązało się z niejednokrotnym korzystaniem z jego API w programie. Aby więc móc zrozumieć kod prototypu, trzeba wpierw rozumieć działanie Unity3D.

Unity3D w wygodny sposób zarządza tworzoną grą. Silnik oddaje nam do dyspozycji edytor, w którym programista może zarządzać tzw. sceną gry. Scena jest kontenerem na obecnie znajdujące się w grze obiekty. Tylko jedna scena naraz może być wczytana.

Należy podkreślić rozróżnienie dwóch podobnych pojęć: obiektu oraz obiektu gry. Za każdym razem gdy poniżej napisane jest „obiekt”, oznacza to instancję klasy C#. Natomiast „obiekt gry” wyjaśniony jest w następnym akapicie.

W najczystszej postaci obiekt gry jest punktem materialnym z niewielką funkcjonalnością. Może on zostać stworzony (do czego służy funkcja *GameObject.Instantiate()*), zniszczony (*GameObject.Destroy()*), a do tego posiada aktualną transformację (obiekt klasy *Transform*): translację, rotację i skalę przedstawione w panelu *Inspector* jako trójwymiarowe wektory. Dla rotacji pokazane są jej kąty Eulera (i to nimi można zarządzać z poziomu edytora), ale Unity3D przechowuje ją w postaci kwaternionu. Oprócz tego obiekty gry mogą zostać ułożone wobec siebie w relacji rodzic-dziecko (o czym informację również trzyma *Transform*) — co sprawia, że transformacja rodzica staje się bazą dla dziecka. W ten sposób można tworzyć całe hierarchie obiektów gry, których strukturę pokazuje panel *Hierarchy*. Dla tych obiektów gry Unity3D automatycznie zarządza pętlą gry, jednak aby miało to znaczenie, należy rozszerzyć im funkcjonalność.

Funkcjonalność obiektów gry rozszerza się za pomocą komponentów (obiekt klasy *Component*). Mają one bardzo różnorodne zastosowania — służą między innymi do: przypisania siatki do obiektu gry, nałożenia na nią materiału i tekstury, detekcji kolizji, symulowania fizyki bryły sztywnej, rzucania światła, pełnienia funkcji kamery, odtwarzania lub nasłuchiwania dźwięków, emitowania efektów cząsteczkowych, wykonywania własnej obsługi obiektu gry w postaci skryptu. Dla każdej funkcji istnieje osobny komponent. Wszystkie przypisane do obiektu gry komponenty wyświetlają się w panelu Inspector, poniżej części *Transform* (notabene: *Transform* również jest komponentem, jednak wpisanym w każdy obiekt gry na stałe). Tam to możliwa jest konfiguracja komponentów. Najważniejszym i najbardziej wykorzystywanym przez prototyp **MechWars** komponentem jest skrypt C#.

Skrypty pozwalają w nieograniczony sposób modyfikować zachowanie obiektu gry. By to było możliwe muszą one spełniać pewną konwencję. Każdy skrypt jest klasą dziedziczącą po klasie *MonoBehaviour*. Może być klasą abstrakcyjną, lecz wtedy nie da się go przypisać do obiektu gry, ponieważ komponenty-skrypty są instancjami klas tych skryptów. Unity3D tworząc obiekt gry woła bezparametrowe konstruktory we wszystkich przypisanych do niego skryptach, by utworzyć ich komponenty.

Publiczne pola skryptu są rozpoznawane przez edytor — dla każdego z nich w panelu *Inspector* Unity3D tworzy odpowiednie elementy interfejsu użytkownika, pozwalające edytować wartości tych pól (nawet w trakcie działania gry). Oprócz tego istnieje kilka nazw metod, które API rozpoznaje w skrypcie. Nie są to metody wirtualne; Unity3D dostaje się do nich za pomocą refleksji. W związku z tym najczęściej tworzy się te metody w skrypcie jako prywatne. Najważniejszymi trzema metodami są: *Start()* (wołana raz na początku życia obiektu gry), *Update()* (wołana dla każdego obiektu gry raz na cykl aktualizacji pętli gry) oraz *OnDestroy()* (wołana tuż przed zniszczeniem obiektu gry). W tych metodach (zwłaszcza *Update()*) umieszcza się większą część kodu obsługującego obiekt gry. Za pomocą panelu konfiguracyjnego *Script Execution Order* w edytorze można wymusić kolejność, w jakiej uruchamiane są powyższe metody na różnych klasach (np. *Start()* klasy A zostanie zawołany wcześniej, niż *Start()* klasy B).

Wewnątrz metod skryptu można uzyskać dostęp m.in. do: kroku czasowego obecnego cyklu (*Time.deltaTime*), obiektu reprezentującego obiekt gry (*this.gameObject*), obiektu jego transformacji (*this.transform*), innych komponentów znajdujących się na tym obiekcie gry (*this.GetComponent<T>()*). Można również w wypadku nieprawidłowego przebiegu kodu bezpiecznie rzucać wyjątki — Unity3D łapie je i wyświetla w konsoli nie przerywając działania gry.

Ostatnią kwestią do poruszenia w związku z Unity3D są tzw. prefaby. Prefab jest zapisanym w projekcie Unity3D obiektem gry — skopiowanym wprost ze sceny (ang. prefabricated). Prefab zawiera wszystkie informacje (położenie, hierarchia, komponenty i wartości ich parametrów), jakie zawierał obiekt gry w momencie jego zapisywania. Funkcjonalność ta daje rozległe możliwości. Podstawowym przypadkiem użycia prefabu jest stworzenie szablonu do obiektu gry, który może być potem powielany na scenie. Można jednak wykorzystać je również do zapisania parametrów konfigurujących różne aspekty gry. Wiedząc, że Unity3D tworzy pole interfejsu w panelu Inspector dla każdego publicznego pola w skrypcie, można stworzyć publiczne pole typu *GameObject* — a następnie za pomocą drag&drop przypisać mu w interfejsie obiekt gry. Ów obiekt gry może być również prefabem, który z kolei może mieć własny skrypt z publicznymi polami wypełnionymi danymi, albo nawet przypisanymi jeszcze innymi obiektami gry (lub prefabami). Możliwości takiego zagnieżdżenia są nieograniczone. Sposób ten jest kompleksowo wykorzystywany w prototypie m.in. przy konfiguracji drzewka technologicznego oraz akcji rozkazów.

## 2.2 Obiekty globalne

Moduł ten składa się z klas ogólnego zastosowania, których obiekty w większości przypadków istnieją w tylko jednej kopii, lub nawet nie — w przypadku klas statycznych. Można tu wydzielić 5 kategorii:

* Singleton *Globals*,
* Obiekty gracza i armii,
* Obiekty środowiska,
* Obiekty konfiguracyjne,
* Klasy ze stałymi.

### 2.2.1 Singleton *Globals*

*Globals* jest jedną z ważniejszych klas w projekcie. Klasa dziedziczy po *MonoBehaviour*, by można było j$ej skrypt umieścić na obiekcie gry — dzięki temu Unity3D automatycznie utworzy obiekt *Globals*. W grze może istnieć tylko jedna instancja tego skryptu (jako konwencja — nie jest to wymuszone). *Globals* luźno korzysta ze wzorca singleton: posiada statyczną właściwość Instance zwracającą obiekt tej klasy. Właściwość ta co prawda nie konstruuje obiektu, lecz za pierwszym do niej odwołaniem wyszukuje go na scenie i zapisuje do prywatnego pola statycznego. Dzięki temu mechanizmowi dostęp do obiektu *Globals* jest zapewniony z dowolnego miejsca w kodzie.

Dostęp ten jest istotny, ponieważ na obiekcie *Globals* znajduje się kilka publicznych pól z parametrami (możliwymi do ustawienia w Inspectorze), a na klasie — duża liczba statycznych właściwości do pobierania innych komponentów-skryptów z obiektu gry *Globals*. Są to m.in. takie skrypty jak: *MapSettings*, *Map*, *Textures*, *Prefabs*, *WallNeighbourhoodDictionary*. Można się też dostać do instancji *ShapeDatabase* i *LOSShapeDatabase* — które nie są skryptami Unity3D, ale istnieją na obiekcie *Globals*.

Klasa *Globals* ułatwia dostęp do obiektów *Spectator* oraz — jeśli *Spectator* ma je przypisane — *Player* oraz *Army*. Udostępnia także listę armii biorących udział w rozgrywce. Posiada właściwości do pobrania obiektu gry posiadającego główną kamerę i skrypt *GLRenderer* (do którego delegowane są zadania renderowania linii — wykorzystane w wizualizacji zaznaczonych jednostek i *HoverBoxa*).

Wreszcie, *Globals* posiada metody *Start()* oraz *OnDestroy()* — przede wszystkim do obsługi informacji o tym, czy obiekt gry *Globals* w danej chwili istnieje (statyczna właściwość *Destroyed*). Wewnątrz *Start()* znajduje się też kilka instrukcji związanych z debugowaniem (m.in. utworzenie pliku będącego logiem wiadomości przesyłanych między agentami AI).

Należy zaznaczyć, że sporo komponentów obiektu gry Globals nie należy do podsystemu obiektów globalnych, gdyż mają pewne wyspecjalizowane funkcje.

### 2.2.2 Obiekty gracza i armii

W skład tej kategorii wchodzą 3 klasy: *Spectator*, *Player* oraz *Army*. Obiekt klasy Spectator istnieje tylko w pojedynczym egzemplarzu, podczas gdy obiektów Player i Army może być kilka — obecnie jednak prototyp jest zaprogramowany na pracę z maksymalnie dwoma. Każda z tych klas dziedziczy po MonoBehaviour — skrypty będące ich instancjami są przypisane do obiektów gry odpowiedzialnych za armie, graczy oraz „widza” (Spectator).

Obiekt Army reprezentuje armię (stronę konfliktu w rozgrywce) i zawiera wszystkie niezbędne informacje z nią związane: zbiór jej jednostek, zbiór jej budynków, obiekt TechnologyController (zarządzający rozwojem jej technologii), liczbę aktualnie posiadanych zasobów oraz obiekt VisibilityTable (gromadzący dane o widzialności pól mapy). Oprócz tego w trzech obiektach QuadTree (opisanych w rozdziale 3.3.2) przetrzymuje widoczne przez nią na mapie zasoby, własne elementy mapy i wrogie elementy mapy. Jedyne publiczne metody tej klasy: AddMapElement() oraz RemoveMapElement() pozwalają na zarządzanie zbiorami jednostek i budynków. W prototypie są umieszczone dwa obiekty gry posiadające skrypt Army — dwie przeciwne sobie strony konfliktu.

Obiekt Player reprezentuje gracza w prototypie. Mowa tu o graczu w podejściu ogólnym — zarówno sterowanego przez człowieka, jak i przez sztuczną inteligencję. Klasa Player jest bardzo niewielka — jej jedyną składową jest publiczne pole Army. W ten sposób armia może zostać poprzez Inspector przypisana do gracza — w efekcie staje się ona jego armią.

Na podobnej zasadzie (dzięki kompozycji) obiekt Player przypisany jest do jego sterowania. Spectator — „widz” — jest jednym z obiektów, które mogą sterować graczem. Klasa Spectator jest również prosta (choć nie tak prosta jak Player). Posiada publiczne pole typu Player, oraz publiczną właściwość InputController — obiekt ten wykonuje niemal wszystkie zadania potrzebne do sterowania graczem i armią przez gracza-człowieka. W metodzie Update() Spectator wywołuje metodę InputController.Update() (ponieważ InputController nie jest skryptem, więc Unity3D samo nie wywoła aktualizacji). Należy podkreślić, że Spectator nie musi mieć wcale przypisanego gracza i wciąż będzie zapewniał ograniczone sterowanie grą. W tym trybie nadal można obsługiwać kamerę, obserwować poczynania armii, zaznaczać jej jednostki i podglądać ich status. Nie można natomiast wydawać żadnych rozkazów — a zatem wpływać na poczynania którejkolwiek z armii.

### 2.2.3 Obiekty środowiska

Docelowo w tej kategorii miało się znaleźć więcej klas — jednak jest tu tylko jedna – *DayAndNight* i jest ona powiązana z dwoma obiektami światła na scenie, które mają imitować księżyc oraz słońce przemieszczające siępo zenicie.

public class DayAndNight : MonoBehaviour

{

public List<GameObject> lights;

public float cycleTime;

// Update is called once per frame

void Update()

{

var minutes = cycleTime;

if (minutes == 0) minutes = 1; // zabezpieczenie, bo gdy 0 to będzie dziel/0 dwie linijki niżej

float seconds = minutes \* 360; // 60 sekund w minucie, okres pelnego cyklu

float speed = 360 / seconds; // szybkosc = odwrotnosc okresu

foreach (var light in lights)

{

var transform = light.transform;

transform.RotateAround(Vector3.zero, Vector3.right, speed \* Time.deltaTime); //względem pktu 0, w prawo, szybkość

transform.LookAt(Vector3.zero); //kierunek patrzenia

}

}

}

### 2.2.4 Obiekty konfiguracyjne

W tej kategorii mieszczą się dwie klasy mające tylko po jednej instancji — skrypty MonoBehaviour przypisane do obiektu gry Globals.

Klasa Prefabs zawiera publiczne pola typu GameObject, do których przypisane są prefaby do instancjonowania na scenie (zasoby, marker do minimapy oraz zasięg budowania). Dzięki nałożonemu na te pola atrybutowi PrefabTypeAttribute można przy pomocy metody GetPrefabByType() otrzymać listę prefabów o danym typie (wyrażonym jako enum PrefabType). Następnie z tej listy można pobrać losowy prefab danego typu — np. losowy zasób. Wykorzystywane jest to w momencie gdy niszczona jest jednostka lub budynek i zamieniane są one na zasoby.

Drugą klasą o charakterze konfiguracyjnym jest Textures. Znajdują się na niej jedynie publiczne pola typów Texture oraz Sprite – tekstury wykorzystywane z poziomu skryptów przy tworzeniu GUI (pasków życia elementów mapy oraz markerów na minimapie).

Obydwie klasy zapewniają konfigurację jedynie na bardzo ogólnym poziomie. Są jednak potrzebne, ponieważ obiekty zapewniane przez ich skrypty muszą być dostępne z poziomu kodu. Dlatego też komponenty, którymi są, są przypisane do obiektu gry Globals.

### 2.2.5 Klasy ze stałymi

Do tej kategorii należą dwie klasy statyczne: Tag oraz Layer. Obydwie zawierają zestaw publicznych stałych typu string z nazwami tagów oraz warstw (dwóch mechanizmów kategoryzowania obiektów gry przez Unity3D).

## 2.3 Podsystem mapy

Podsystem mapy jest stosunkowo niewielki – zawiera 4 klasy umieszczone w namespace *Mapping*. Są to: *MapSettings*, *Map*, *QuadTree* oraz *QuadTreeMapElement*.

### 2.3.1 Klasy mapy

*MapSettings* to niewielki skrypt *MonoBehaviour* znajdujący się jako komponent na obiekcie gry *Globals*. Posiada kilka publicznych pól: rozmiar mapy (musi być potęgą dwójki), lista graczy, lista obiektów gry armii, *Spectator*. Pola te należy wypełnić w edytorze — zwłaszcza musi być ustawiony *Spectator*. Jeśli rozmiar mapy nie jest potęgą dwójki lub *Spectator* nie jest ustawiony, skrypt *MapSettings* w swojej metodzie *Start()*, rzucany jest stosowny wyjątek.

public int Size { get; private set; }

Dictionary<MapElement, List<IVector2>> reservationDictionary;

MapElement[,] reservationTable;

Dictionary<MapElement, List<IVector2>> ghostDictionary;

List<MapElement>[,] ghostsTable;

public void MakeReservation(MapElement mapElement, IVector2 coords)

{

if (mapElement == null)

throw new System.Exception("Cannot make reservation for NULL.");

if (this[coords] != null)

{

throw new System.Exception(string.Format("Reservation conflict. " +

"Coords: {0}, Old reservation: {1}, new reservation: {2}.",

coords.ToString(), this[coords].ToString(),

mapElement.ToString()));

}

this[coords] = mapElement;

List<IVector2> reservations;

reservationDictionary.TryGetValue(mapElement, out reservations);

if (reservations == null)

{

reservations = new List<IVector2>();

reservationDictionary.Add(mapElement, reservations);

}

reservations.Add(coords);

}

public void ReleaseReservation(MapElement mapElement, IVector2 coords)

{

if (mapElement == null)

throw new System.Exception("Cannot release reservation for NULL.");

if (this[coords] != mapElement)

{

var realReservation = this[coords] == null ?

"NULL" : this[coords].ToString();

throw new System.Exception(string.Format(

"Given MapElement doesn't have reservation in given coords. " +

"Coords: {0}, Real reservation: {1}, Given MapElement: {2}",

coords.ToString(), realReservation, mapElement.ToString()));

}

var reservations = reservationDictionary[mapElement];

reservations.Remove(coords);

if (reservations.Count == 0)

reservationDictionary.Remove(mapElement);

this[coords] = null;

}

Najistotniejszym obiektem w tym podsystemie jest obiekt klasy *Map*. Tak jak *MapSettings*, jest on skryptem *MonoBehaviour* i komponentem obiektu gry *Globals*. *Map* jest sporą klasą. Ponieważ plansza gry podzielona jest na kratki, jej obiekt przechowuje rezerwacje elementów mapy w postaci dwuwymiarowej tablicy, a także słownika (hashmapy). Mapa śledzi też położenia duchów w analogicznych strukturach danych. Poza tym publiczne właściwości umożliwiają pobranie rozmiaru mapy, listy pozycji elementu mapy albo jego ducha (ze słownika) tudzież elementu mapy lub ducha znajdujących się na podanej pozycji (z tablicy). Właściwość *Size* jest ustawiana na bazie *MapSettings.Size* w metodzie *Start()*. Mapa wystawia publiczne metody *IsInBounds()* do sprawdzania czy dana pozycja znajduje się w granicach mapy (często wykorzystywane, by nie został rzucony wyjątek *IndexOutOfBoundsException*), a także funkcje do sprawdzania czy zadane pole jest zajmowane przez zadany element mapy, tworzenia i zwalniania rezerwacji na pola przez elementy mapy (*MakeReservation()*, *ReleaseReservation()*) oraz dodawania i usuwania duchów (*AddGhost()*, *RemoveGhost()*).

Nazwa „rezerwacja” wynika z tego, że żaden element mapy nie może zajmować pola już zajętego przez inny element mapy. Jednostka jest ruchomym elementem mapy, musi więc na bieżąco aktualizować swoje położenie. W momencie gdy ma wykonać ruch z jednego pola na inne, sprawdza najpierw, czy jest ono wolne, lub zarezerwowane przez nią samą. Jeśli tak nie jest, ruch jest odwoływany. Jeśli nowe pole jest wolne, zostaje zarezerwowane, a ze starego pola rezerwacja jest zwalniana. Jeśli element mapy podejmie próbę zarezerwowania już zajętego pola, spowoduje to rzucenie wyjątku.

Metoda *MakeReservation()* pobiera *MapElement* (element mapy) oraz *IVector2* (wektor dwóch liczb całkowitych — pozycję do zarezerwowania). Wielokrotnie występuje odwołanie tablicowe do *this* — dzięki zaimplementowaniu w klasie tzw. indeksatora, można odwoływać się do tego obiektu jakby był tablicą. W tym wypadku indeksator przyjmuje *IVector2* i zwraca element mapy z tablicy *reservationTable* spod zadanej pozycji lub ustawia element mapy w zadanej pozycji tablicy. Funkcja *MakeReservation()*, jeśli nie nastąpi konflikt rezerwacji, wstawia więc *MapElement* do zadanego miejsca tablicy. Następnie pobiera ze słownika *reservationDictionary* listę pozycji *MapElementu* (jeśli jeszcze taka lista nie istnieje — tworzy ją i dodaje do słownika) i uzupełnia ją o nowe współrzędne.

Podobnie, choć odwrotnie, zachowuje się funkcja *ReleaseReservation()*. Jeśli *MapElement* faktycznie ma rezerwację w podanym miejscu, to zadana pozycja kasowana jest z odpowiedniej listy współrzędnych w słowniku *reservationDictionary*. Następnie usuwany jest *MapElement* z zadanego miejsca w tablicy *reservationTable*.

Metod *AddGhost()* i *ReleaseGhost()* nie ma po co omawiać szczegółowo, gdyż zachowują się one bardzo podobnie do *MakeReservation()* i *ReleaseReservation()*. Warto jedynie nadmienić, że duchy obowiązują luźniejsze zasady — na jednym polu może znajdować się kilka duchów (o ile są to duchy widziane przez różne armie), a także: duch może znajdować się tam, gdzie już znajduje się zwykły element mapy. Dlatego właśnie duchy umieszczone są w odrębnych strukturach danych, a *ghostsTable* jest tablicą **list** *MapElementów* (podczas gdy *reservationTable* jest tablicą ***MapElementów***).

### 2.3.2 Klasy drzewa czwórkowego

Pozostałe dwie klasy — *Quad$Tree* i *QuadTreeMapElement* — współpracują ściśle ze sobą i stanowią implementację tzw. drzewa czwórkowego. Struktura ta umożliwia bardzo szybkie przeszukiwanie wycinków mapy i znalezienie wszystkich znajdujących się w nich elementów mapy. Zastosowanie drzew czwórkowych było podyktowane problemami wydajnościowymi, które zachodziły, gdy jednostki w stanie spoczynku poszukiwały wrogów w swojej okolicy.

W implementacji drzewa w postaci klasy *QuadTree* każdy węzeł reprezentuje pewien obszar mapy. Korzeń to cała mapa. Jeśli w danym obszarze znajduje się więcej niż jeden element mapy, obszar dzielony jest na cztery ćwiartki — stają się one węzłami drzewa, których rodzicem jest właśnie podzielony obszar. Procedura jest powtarzana dla każdego z pod-obszarów dopóty, dopóki każdy obszar nie będzie zawierał maksymalnie jednego elementu mapy.

Ponieważ dwuwymiarowa przestrzeń jest dyskretna i za każdym razem dzielona na 4 (w każdym wymiarze na 2), maksymalną głębokością drzewa będzie zawsze log2(S), gdzie S to rozmiar planszy (liczba całkowita). Na przykład dla zastosowanego w prototypie **MechWars** rozmiaru 64×64 najniższe węzły drzewa będą 6-tymi co do głębokości. Znacznie zmniejsza to złożoność przeszukiwania wycinka drzewa, która optymistycznie wynosi **O(log(n))**. Pozostałe operacje natomiast (podział, łączenie, dodawanie elementów mapy i ich usuwanie) wykonywane są zdecydowanie rzadziej niż przeszukiwanie, dlatego ich wydajność nie jest tu problemem.

*QuadTreeMapElement* to niewielka klasa trzymająca w jednej całości *MapElement* oraz pozycję w *QuadTree* (*IVector2*). Ponieważ istnieją budynki które zajmują więcej niż jedno pole, może być kilka *QuadTreeMapElementów* z tym samym *MapElementem* ale różnymi pozycjami.

QuadTreeMapElement QuadTreeMapElement;

SquareBounds bounds;

QuadTree x0y0;

QuadTree x0y1;

QuadTree x1y0;

QuadTree x1y1;

bool HasChildren { get { return x0y0 != null; } }

bool IsEmpty { get { return QuadTreeMapElement == null && !HasChildren; } }

Klasa *QuadTree* nie udostępnia żadnych publicznych właściwości — wszystkie jej pola i właściwości są prywatne. Drzewo jest jednocześnie traktowane jako węzeł: każdy obiekt *QuadTree* zawiera cztery pola typu *QuadTree*, w których (jeśli jest podzielone) trzyma swoich potomków. Oprócz tego w klasie znajdują się jeszcze dwa pola: *QuadTreeMapElement* w którym (jeśli drzewo jest liściem) może być trzymany element mapy z jego pozycją oraz *SquareBounds* — klasa pomocnicza do testowania granic kwadratowego obszaru drzewa. Do tego *QuadTree* korzysta z dwóch pomocniczych właściwości: *HasChildren* (czy posiada dzieci) oraz *IsEmpty* (czy posiada map element lub nie jest liściem). W konstruktorze *QuadTree* przyjmuje instancję *SquareBounds* by określić obszar drzewa. Jeśli ich rozmiar nie jest potęgą dwójki, rzucany jest wyjątek.

Trzy metody: *Insert()*, *InsertCore()* oraz *Subdivide()* współpracują ze sobą. Insert jest publiczną fasadą dla metody *InsertCore()*. Dla każdej pozycji podanego *MapElementu* tworzony jest obiekt *QuadTreeMapElement* i uruchamiana metoda *InsertCore()* z nim jako argumentem. *InsertCore()* działa na zasadzie rekurencji. Zwraca **true**, jeśli udało się wstawić element, lub **false**, jeśli nie. Poszukuje dziecka, którego obszar zawiera współrzędne *MapElementu* i wywołuje samą siebie na jego instancji. Na poziomie na którym już nie ma dzieci *MapElement* jest wstawiany, chyba że jakiś już tam jest — wtedy wywoływana jest metoda *Subdivide()* i program schodzi na kolejny poziom rekurencji.

Metoda *Subdivide()* wylicza obszary dla czterech nowych *QuadTree*-dzieci, które tworzy i wstawia do pól klasy. Następnie przenosi *QuadTreeMapElement* z rodzica do odpowiedniego dziecka za pomocą *InsertCore()*. Wszystkie nowo stworzone dzieci są puste, więc nie ma ryzyka zapętlenia programu.

Na podobnej zasadzie działa funkcjonalność usuwania *MapElementów* z *QuadTree*. Publiczna metoda *Remove()* jest opakowaniem prywatnej funkcji *RemoveCore()* — woła ją dla każdej współrzędnej okupowanej przez element mapy. Metoda *RemoveCore()* poszukuje liścia w którym znajduje się *MapElement* do usunięcia. Ona również jest rekurencyjna, lecz do utrzymywania informacji o poszukiwaniu między poziomami rekurencji zwraca nie *bool*, a enum *RemoveCoreResult*, który może przybrać 4 wartości: **OutOfBounds**, **Adjusting**, **Done**, **WontFind**. **OutOfBounds** mówi, że w zadane współrzędne są poza obszarem węzła i należy przeszukać inne dzieci. **Adjusting** oznacza, że *MapElement* został usunięty, ale trzeba dostosować drzewo by spełniało reguły *QuadTree* (np. połączyć dzieci metodą *TryUnsubdivide()*). **Done** i **WontFind** odpowiednio mówią że albo *MapElement* został usunięty i drzewo zastosowane, albo że jest pewne, że *MapElementu* nie ma w drzewie (można nie przeszukiwać pozostałych dzieci).

Metoda *TryUnsubdivide()* sprawdza, czy wszystkie dzieci *QuadTree* są liśćmi i dokładnie jedno z nich trzyma *QuadTreeMapElement*. Jeśli tak jest, *QuadTreeMapElement* z niepustego dziecka przenoszony jest do rodzica, a następnie wszystkie dzieci są usuwane.

Ostatnią metodą *QuadTree* do opisania jest *QueryRange()*. Funkcja ta znajduje wszystkie *MapElementy* znajdujące się w *QuadTree* w zadanym prostokątnym obszarze. QueryRange() również działa rekurencyjnie. Schodzi aż do wszystkich liści, których obszar przecina ten podany w argumencie. Niepuste liście zwracają jednoelementowe listy, ale węzły na coraz wyższych poziomach akumulują w liście *QuadTreeMapElementy* ze swoich dzieci. Na koniec metoda zwraca wypełnioną listę *QuadTreeMapElementów* z całego wycinka drzewa.

public List<QuadTreeMapElement> QueryRange(IRectangleBounds range)

{

var mapElements = new List<QuadTreeMapElement>();

if (!bounds.IntersectsOther(range))

return mapElements;

if (QuadTreeMapElement != null &&

range.ContainsPoint(QuadTreeMapElement.Coords))

mapElements.Add(QuadTreeMapElement);

if (!HasChildren)

return mapElements;

mapElements.AddRange(x0y0.QueryRange(range));

mapElements.AddRange(x0y1.QueryRange(range));

mapElements.AddRange(x1y0.QueryRange(range));

mapElements.AddRange(x1y1.QueryRange(range));

return mapElements;

}

## 2.4 Podsystem elementów mapy

Elementy mapy to na tyle rozległy podsystem, że nie sposób go tu opisać dokładnie w całości tak, by nie zajęło to zbyt dużej liczby stron. Dlatego szczegółowo omówiono tylko wybrane fragmenty modułu.

Klasa *MapElement* będąca skryptem *MonoBehaviour* jest tu głównym typem. Po tej klasie dziedziczą 3 następne, które uzupełniają jej funkcjonalność: *Unit*, *Building* oraz *Resource* (które poprzez dziedziczenie również są skryptami). Każdy obiekt gry, który znajduje się na mapie jako jednostka, zasób, budynek bądź przeszkoda ma przypisany odpowiedni z tych skryptów. Ponieważ zarówno jednostka jak i budynek potrafią wykonywać rozkazy, obsługę rozkazów finalnie zdecydowano się umieścić w klasie *MapElement.* To, czy dany rodzaj *MapElementu* potrafi wykonać dane rozkazy czy też nie zależy zamiast tego od jego konfiguracji — czyli tego, jakie ma przypisane akcje rozkazów. Rozdział ten opisuje więc też obydwie klasy abstrakcyjne za to odpowiedzialne — *Order* i *OrderAction* — oraz ich przykładowe implementacje. Dodatkowo do tego omówione są pobieżnie statystyki, technologie i zarządzanie nimi oraz mechanizm ustalania sąsiedztwa murów.

### 2.4.1 Implementacja elementu mapy

Klasa *MapElement* ma niezwykle rozległą funkcjonalność. Musi ona wykonywać wszystkie zadania związane z obsługą elementów mapy, oraz zawierać wszelkie potrzebne do tego informacje. *MapElement* zawiera więc sporo publicznych pól (ustawialnych w panelu *Inspector*).

Pole *mapElementName* jest stringiem — nazwą określającą rodzaj (jest wspólna dla elementów jednego rodzaju i różna dla każdego z rodzajów). Pole *id* to generowany automatycznie int unikalny dla każdego elementu mapy znajdującego się na scenie.

Armia, do której należy element jest trzymana we właściwości *Army* o prywatnym setterze. Armię ustawia się za pomocą publicznego pola *nextArmy.* Właściwość jest aktualizowana w funkcji *Start()* i *Update()* — musi tak być, gdyż w trakcie zmieniania armii element musi wypisać się ze zbioru jednostek lub budynków starej armii a wpisać do zbioru w nowej.

Publiczne pola *shapeFile* i *statsFile* typu *TextAsset* służą do przypisania plików tekstowych z informacjami na temat kształtu elementu (np. budynku) oraz jego statystyk. Na ich bazie tworzone są później obiekty *MapElementShape* oraz *Stats*.

public string mapElementName;

public int id;

public Army nextArmy;

public Army Army { get; private set; }

public TextAsset shapeFile;

public TextAsset statsFile;

public float displaySize = 1;

public float displayYOffset = 0;

public List<GameObject> aims;

public int resourceValue;

public int additionalResourceValue;

public bool generateResourcesOnDeath = true;

public AttackHead attackHead;

public List<OrderAction> orderActions;

public bool isShadow;

Lista *aims* obiektów *GameObject* to lista celów obieranych przez pociski wystrzeliwywane w kierunku *MapElementu* przez jego wrogów. W momencie wykonywania ataku wybierany jest najbliższy z celów i pocisk leci do jego pozycji.

Pole attackHead trzyma referencję na obiekt będący osobno obracającą się głowicą jednostki/budynku, która może atakować. Korzystają z niego czołg, wieżyczka obronna (mają obrotową lufę) oraz mobilna wyrzutnia rakiet (ma obrotową prowadnicę).

Publiczna lista obiektów *OrderAction* definiuje rozkazy, które można wydać elementowi mapy. Dla każdego prefabu elementu mapy jest ona uzupełniona w panelu *Inspector*.

Oprócz publicznych pól *MapElement* posiada też dużą liczbę właściwości. *Stats* trzyma statystyki elementu mapy. *Shape* pobiera jego kształt z *ShapeDatabase*. *Coords* zawiera aktualną jego pozycję — która nie musi być całkowita (np. jeśli jednostka jest w trakcie ruchu, albo rozmiar budynku przynajmniej w jednym wymiarze jest parzysty). Z kolei właściwość *AllCoords* korzysta z *Coords* i *Shape* by wyliczyć współrzędne wszystkich pól zajmowanych przez MapElement, które zwraca jako listę. Właściwość *Rotation* trzyma rotację *MapElementu* wokół osi Y (pionowej).

Właściwości *LifeValue*, *Dying* i *Alive* służą kontrolowaniu czasu życia elementu mapy. *LifeValue* jest wartością albo odpowiadającą statystyce „Hit points”, albo pozostałym jednostkom zasobu (tylko w obiektach *Resource*). Gdy *LifeValue* wyniesie 0, metoda *UpdateDying()* ustawia *Dying* na true i nakazuje się przerwać wszystkim rozkazom. Ponieważ niektóre rozkazy nie mogą zostać przerwane natychmiast (np. pojedynczy ruch), *MapElement* może być „umierający” przez kilka cykli pętli gry. Gdy wszystkie rozkazy się zakończą, metoda *UpdateAlive()* ustawia *Alive* na false. *Dying* i *Alive* mają publiczne gettery, więc każdy obiekt może sprawdzać, czy dany element mapy jest „umierający”. Ustawienie Alive powoduje uruchomienie metody *OnLifeEnd()*, która finalizuje *MapElement* i niszczy jego obiekt gry. Wszyscy, którzy nasłuchują na zdarzeniu *LifeEnding*, zostają powiadomieni o tym, że *MapElement* ulega zniszczeniu i mogą na to zareagować.

public Stats Stats { get; private set; }

bool statsRead;

// Can be called on Ghost

public MapElementShape Shape { get { return Globals.ShapeDatabase[this]; } }

// Can be called on Ghost

public Vector2 Coords

{

get { return new Vector2(transform.position.x, transform.position.z); }

set

{

var pos = transform.position;

pos.x = value.x;

pos.z = value.y;

transform.position = pos;

}

}

// Can be called on Ghost

public IEnumerable<IVector2> AllCoords

{

get

{

if (Shape == null) yield return Coords.Round();

else

{

var list = new List<IVector2>();

int xFrom = Mathf.RoundToInt(Coords.x + Shape.DeltaXNeg);

int xTo = Mathf.RoundToInt(Coords.x + Shape.DeltaXPos);

int yFrom = Mathf.RoundToInt(Coords.y + Shape.DeltaYNeg);

int yTo = Mathf.RoundToInt(Coords.y + Shape.DeltaYPos);

for (int x = xFrom, i = 0; x <= xTo; x++, i++)

for (int y = yFrom, j = 0; y <= yTo; y++, j++)

if (Shape[i, j])

yield return new IVector2(x, y);

}

}

}

// Can be called on Ghost

public float Rotation

{

get { return transform.rotation.eulerAngles.y; }

set

{

var ea = transform.rotation.eulerAngles;

ea.y = value;

transform.rotation = Quaternion.Euler(ea);

}

}

protected virtual float? LifeValue

{

get

{

var hp = Stats[StatNames.HitPoints];

if (hp != null) return hp.Value;

else return null;

}

}

public bool Dying { get; private set; }

bool alive;

public bool Alive

{

get { return alive; }

private set

{

if (!alive) return;

alive = value;

if (!alive) OnLifeEnd();

}

}

public event LifeEndingEventHandler LifeEnding;

public event LifeEndingEventHandler GhostLifeEnding;

void UpdateDying()

{

if (!Dying && LifeValue == 0)

{

Dying = true;

OrderQueue.CancelAll();

}

}

void UpdateAlive()

{

if (!Dying || !Alive) return;

Alive = !(OrderQueue.OrderCount == 0);

}

Rozkazy *MapElement* trzyma na obiekcie klasy *OrderQueue*. Obiekt ten zawiaduje w całości kolejnością wykonywania rozkazów, które się na nim zakolejkuje. Udostępnia metody by rozkaz wydać (zakolejkować) lub anulować (usunąć, także poza kolejką). Można mu również ustawić domyślny rozkaz, który wykonywany jest przez *MapElement*, jeśli żaden inny nie został wydany. Rozkazem tym okazał się jednak być we wszystkich przypadkach *IdleOrder*.

public OrderQueue OrderQueue { get; private set; }

public virtual bool Selectable { get { return false; } }

protected virtual bool CanAddToArmy { get { return false; } }

public virtual bool CanHaveGhosts { get { return true; } }

public virtual bool CanBeAttacked { get { return false; } }

public virtual bool CanBeEscorted { get { return false; } }

public virtual bool CanRotateItself { get { return false; } }

public bool CanAttack { get { return orderActions.Any(oa => oa.IsAttack); } }

public bool CanEscort { get { return orderActions.Any(oa => oa.IsEscort); } }

*MapElement* zawiera też szereg wirtualnych właściwości boolowskich charakteryzujących jego zachowanie, które na różnych obiektach dziedziczących zwracają różne rezultaty. Przykładowo budynek i zasób nie mogą się obracać, więc *CanRotateItself* w klasach *Building* i *Resource* pozostaje takie, jak w bazowym *MapElement* — zwraca **false**, natomiast *Unit* nadpisuje tę metodę zwracając tam **true**. Jedynie *CanAttack* i *CanEscort* nie są wirtualne — zamiast tego po prostu stanowią skrót do sprawdzenia czy dany *MapElement* ma akcję rozkazu pozwalającą na atakowanie lub eskortę.

W klasie *MapElement* znajduje się kilka właściwości związanych z duchami. Nie zostaną one w szczegółach opisane, ale należy chociaż pobieżnie wyjaśnić pojęcie ducha. Duch to klon elementu mapy, cechujacy się ograniczoną funkcjonalnością. Powstaje dla dowolnego elementu mapy z wyjątkiem jednostki, w momencie gdy wszystkie pola, na których się znajduje, zostaną ukryte przez mgłę wojny. Duch ma skopiowane wszystkie wartości statystyk i wygląd — pokazuje zatem ostatni stan MapElementu, kiedy jeszcze go było widać. Dzięki temu gracz nie może wiedzieć, że zasób, który znajduje się poza jego polem widzenia jest właśnie zbierany przez przeciwnika. Duch jest niszczony dopiero, gdy choć jedno pole z *MapElementem* stanie się na powrót widoczne. Każda armia widzi własne duchy, dlatego *MapElement* posiada słownik duchów, którego kluczem jest *Army*. Istnienie duchów powoduje szereg problemów. Przykładem może być konieczność odznaczenia oryginalnego elementu mapy i zaznaczenia jego ducha, gdy zaznaczony MapElement zostaje ukryty za mgłą. Ponadto duch musi móc być celem rozkazu (np. ataku), a jednocześnie taki rozkaz musi zmienić cel na oryginalny *MapElement*, gdy tylko ten zacznie być widoczny. Duchy muszą automatycznie zamieniać się z oryginalnymi elementami mapy w *QuadTree* trzymanych przez armie. Widać zatem, że duchy muszą mieć referencję do oryginalnych elementów mapy, lecz jednocześnie muszą mieć możliwość istnieć niezależnie od nich (bo element mapy może zostać zniszczony gdy znajduje się poza polem widzenia). Duch musi zatem być dla gracza nieodróżnialny od oryginalnego elementu mapy i mimikować wszelakie jego zachowania. Wszystko to sprawiło, że implementacja mechanizmu duchów była niezwykle skomplikowana.

VisibleToSpectator to właściwość która w setterze wykonuje szereg czynności. Przede wszystkim włącza on lub wyłącza komponent *Renderer* na obiekcie gry by go pokazać lub ukryć. Ponieważ jednak *Spectator* widzi *MapElement* w kilku przypadkach — gdy jest to element mapy z jego armii, albo z widzianej przez niego armii (pole *Army.actionsVisible*), albo jest duchem budynku, zasobu bądź przeszkody, który jest widziany przez te armie — to *VisibleToSpectator* musi to uwzględniać. Przykładowo gdy wrogi budynek jest zaznaczony przez *Spectatora* i właśnie znalazł się w mgle wojny, tworzony jest dla niego duch i VisibleToSpectator zostaje ustawione na **false**. Wtedy należy też odznaczyć budynek i zaznaczyć ducha. Z kolei sam duch jest zawsze widoczny dla Spectatora — bo gdy budynek stanie się na powrót widzialny, duch ulega zniszczeniu. Słownik VisibleToArmies, którego kluczem jest Army a wartością bool trzyma informację, które armie mają MapElement w polu widzenia. Dla ducha zawsze jest to ta armia, z którą jest powiązany.

*MapElement* udostępnia dwie metody wirtualne chronionego dostępu: *OnStart()* i *OnUdpate()*, które są wołane w prywatnych funkcjach *Start()* i *Update()*. Dzięki temu inicjalizacja i aktualizacja może działać na dwóch poziomach dziedziczenia. Dla duchów metody te mają inne przebiegi, ale ze względu na brak miejsca nie zostaną one opisane.

Metoda *OnStart()* generuje elementowi mapy *id*, tworzy kolejkę rozkazów, wczytuje mu z pliku statystyki i wstawia go do zbioru jednostek/budynków w armii, aktualizując przy tym tablicę widoczności (*VisibilityTable*). Może się okazać, że element mapy zostanie zniszczony tuż po stworzeniu, zanim jeszcze zostanie zawołana funkcja *Start()*, dlatego wołane są tu również *UpateDying()* i *UpdateAlive()*. Następnie *InitializeInMap()* rezerwuje pola w obiekcie *Map*, na których znajduje się *MapElement*, a *InitializeMinimapMarker()* (opisana szerzej w tworzy marker widziany przez kamerę minimapy. Na końcu ustawiana jest widoczność elementu mapy (*VisibleToSpectator* i *VisibleToArmies*) oraz tworzony jest słownik duchów. Po tym *MapElement* jest gotowy do działania.

protected virtual void OnStart()

{

alive = true;

if (!IsGhost)

{

id = NewId;

OrderQueue = CreateOrderQueue();

ReadStats();

if (nextArmy != null)

UpdateArmy();

UpdateDying();

UpdateAlive();

InitializeInMap();

InitializeMinimapMarker();

VisibleToSpectator = false;

VisibleToArmies = new Dictionary<Army, bool>();

foreach (var a in Globals.Armies)

VisibleToArmies[a] = false;

if (CanHaveGhosts)

{

Ghosts = new Dictionary<Army, MapElement>();

foreach (var a in Globals.Armies)

Ghosts[a] = null;

}

}

else

{

//\*\*\*\* Pominięty kod \*\*\*\*

}

}

Funkcja *ReadStats()* wczytuje statystyki z pliku zapisanego w standardzie XML. Wykorzystywana jest do tego .NETowa klasa *System.Xml.XmlDocument*. Przykład takiego pliku pokazany jest w rozdziale o statystykach.

*MapElement* zawiera szereg metod związanych ze sprawdzaniem wycinka mapy w pewnym zasięgu od elementu. Są one wykorzystywane przez rozkazy i do szybkiego przeszukiwania używają *QuadTree*. Np. *GetClosestAimTo()* pobiera jeden z celów *MapElementu* z listy aims — najbliższy zadanej pozycji. *HasMapElementInRange()* sprawdza z kolei, czy zadany element mapy znajduje się w zasięgu np. ataku. Natomiast *PickClosestResourceInRange()* zwraca najbliższy zasób w zasięgu widzenia (używane przez Harvestery w *HarvestOrder*).

Metody związane z atakiem to ReadyAttack() i MakeAttack(). Atak musi zostać najpierw przygotowany — bo przed jego wykonaniem należy wyliczyć parametry takie, jak np. kąt o jaki atakujący musi obrócić siebie bądź głowicę. Po wykonaniu takiego obrotu przygotowany atak zostaje uruchomiony — zaczyna się wykonywać (atak nie jest punktowy w czasie, może trwać kilka cykli pętli gry). Przy uruchomieniu naliczane jest opóźnienie ataku (tzw. cooldown), dzięki któremu jednostka wykonuje atak raz na określony czas.

bool firstUpdate = true;

protected virtual void OnUpdate()

{

if (!IsGhost)

{

if (Army != nextArmy)

UpdateArmy();

if (CanHaveGhosts) UpdateGhosts();

UpdateArmiesQuadTrees();

if (CanHaveGhosts) AddGhostsToQuadTrees();

VisibleToSpectator = Globals.Armies

.Where(a => a.actionsVisible)

.Any(a => AllCoords

.Any(c => a.VisibilityTable[c.X, c.Y] == Visibility.Visible));

if (CanAttack)

UpdateAttack();

if (OrderQueue.Enabled)

OrderQueue.Update();

if (firstUpdate)

foreach (var kv in VisibleToArmies)

if (kv.Value)

kv.Key.InvokeOnVisibleMapElementCreated(this);

UpdateDying();

UpdateAlive();

}

else

{

//\*\*\*\* Pominięty kod \*\*\*\*

}

firstUpdate = false;

}

W metodzie *OnUpdate()* wykonywanych jest kilka różnych czynności. Następuje aktualizacja armii (armia z *nextArmy* trafia do właściwości *Army*) oraz jej *VisibilityTable*. Aktualizowane są duchy (tworzone bądź usuwane), oraz pozycja elementu mapy w *QuadTree* każdej armii. Wartość właściwości *VisibleToSpectator* zostaje ustalona na bazie *VisibilityTable* armii *Spectatora*. Aktualizowany jest atak, jeśli został przygotowany i uruchomiony. Aktualizowana jest kolejka rozkazów (która wykonuje aktualizację rozkazu, lub uruchamia następny rozkaz, gdy dotychczasowy się zakończył). Na końcu wołane są metody *UpdateDying()* i *UpdateAlive()* by na bieżąco zarządzać czasem życia elementu mapy.

### 2.4.2 Statystyki

Za statystyki odpowiadają przede wszystkim klasy *Stat* i *Stats*. *Stat* jest pojedynczą statystyką. Posiada nazwę i referencję na posiadający ją MapElement. Cechują ją trzy właściwości: *float Value* reprezentująca wartość statystyki, *float MaxValue* wyznaczająca jej maksymalną wartość oraz *bool Limited*, które mówi czy statystyka korzysta z tej maksymalnej wartości. Przykładowo statystyka „Hit points” ma *Limited* ustawione na **true**. Posiada więc pewną maksymalną wartość i *Value* na początku wynosi tyle co *MaxValue*. Natomiast statystyka „Firepower” korzysta jedynie z właściwości *Value*, więc *Limited* ustawione ma na **false**. Jeśli *Limited* jest **true**, to po zmianie *Value* lub *MaxValue*, wartość *Value* jest zawsze poprawiana by być w przedziale od **0** do wartości *MaxValue*.

Stats natomiast to klasa która opakowuje słownik obiektów Stat, w którym kluczem jest nazwa statystyki. Klasa udostępnia jako właściwości liczbę statystyk, a także indeksator przyjmujący nazwę statystyki a zwracającą statystykę lub **null**, jeśli takiej statystyki nie ma tudzież usuwający statystykę ze słownika przy wstawianiu **null** (zachowanie to różni się od zachowania słownika C# który rzuca wyjątek, gdy brakuje zadanego klucza, a wartość **null** po prostu wstawia pod dany klucz). Poza tym wystawia metody pozwalające dodać statystykę, usunąć ją (po nazwie), sprawdzić czy istnieje *Stat* o zadanej nazwie, wyczyścić słownik oraz sklonować statystyki. To ostatnie przydaje się przy tworzeniu duchów. Ponadto *Stats* implementuje .NETowy interfejs *IEnumerable*, więc można iterować po obiektach tej klasy za pomocą pętli foreach.

Dodatkową klasą wspierającą statystyki jest *StatBonus*, używana przez technologie. *StatBonus* jest skryptem *MonoBehaviour* i służy do modyfikowania statystyk bez zmiany ich fizycznych wartości. Posiada publiczne pola do konfiguracji w panelu Inspector. Pole *MapElement receiver* ma zawierać prefab — element mapy wyznaczający rodzaj, do którego statystyk bonus się aplikuje. Pole *string statName* to nazwa statystyki, a *BonusType type* to enum mówiący, czy bonus ma się dodawać do statystyki, czy mnożyć. Dwie liczby: *float value* oraz *int order* oznaczają wartość bonusu oraz kolejność, w jakiej bonusy mają się nakładać, jeśli na jeden *Stat* nałożonych jest ich kilka. Metoda *ApplyTo* przyjmuje wartość *float* i zwraca inną, zmodyfikowaną za pomocą bonusu.

### 2.4.3 Technologie

Technologie znalazły się w tym module, gdyż mają bezpośredni związek z elementami mapy. Są odkrywane za pomocą budynków, ich odkrywanie spełnia wymagania do produkcji nowych jednostek i konstrukcji nowych budynków oraz odblokowuje bonusy do statystyk elementów mapy. Dwie klasy które odpowiadają za technologie to *Technology* i *TechnologyController*.

*Technology* jest skryptem *MonoBehaviour*. Jako publiczne pola udostępnia nazwę (*string*), listę bonusów (*StatBonus*), oraz dwie listy akcji do wykonania tuż przed odkryciem technologii oraz tuż po (*ScriptAction*). Klasa posiada bardzo skąpe metody: *IsTheSameAs()* do porównania z inną technologią oraz *OnTechnologyDeveloping()* i *OnTechnologyDeveloped()* które uruchamiają wyżej wymienione akcje.

Akcje *ScriptAction* imitują zachowanie zdarzeń, ale ponieważ są skryptami *MonoBehaviour*, można je przypisać do prefaba, którego można z kolei ustawić innemu prefabowi w panelu Inspector. Mają wirtualną metodę Invoke(), która może być zaimplementowana w klasach potomnych. Mechanizm ten umożliwia konfigurację zachowania. Wykorzystany został on przy odkrywaniu technologii zapewniającej bonus do statystyki „View range” jednostce *Scout*. Przed i po odkryciu tej technologii (czyli przed i po zaaplikowaniu bonusu) dla każdej jednostki *Scout* należy zaktualizować *VisibilityTable* (usunąć jego stare pole widzenia i dodać nowe). Tych akcji nie należy mylić z akcjami rozkazów (*OrderAction*) — są to zupełnie różne rzeczy.

### 2.4.4 Rozkazy i akcje rozkazów

# 3. Kreacja graficzna prototypu

## 3.1 Grafika dwuwymiarowa

Na grafikę dwuwymiarową składa się interfejs gracza, czyli UI oraz ekran startowy, zwany również głównym menu. W związku z obowiązującymi aktualnie trendami obie rzeczy zostały zaprojektowane w stylu flat design. Polega on na .... Możemy się z nim spotkać w ...

Kodzenie głównego menu [stary typ kodzenia]

Kodzenie interfejsu [nowy typ kodzenia]

## 3.2 Grafika trójwymiarowa

Na grafikę trójwymiarową składają się modele mechów oraz budynków wewnątrz gry, a także otoczenia, które je otacza. Dodatkowo występują particle zaprojektowane wewnątrz Unity [dym z kominów]. Dodatkową rzeczą jest ruszające sie tło głównym menu.

# 4. Zaprogramowanie sztucznej inteligencji i jej typy

* zachowania ekonomiczne
* zachowania taktyczne
* jak to zostało zrobione/zaprogramowane
* mechanika gry?

# 5. Badania skuteczności sztucznej inteligencji

* AI vs AI
* AI vs gracz

# Zakończenie

* Co było do zrobienia
* Co zostało zrealizowane
* Z jakim skutkiem

# Streszczenie

# Bibliografia

# Aneks/Spis ilustracji

1. http://webdocs.cs.ualberta.ca/~cdavid/pdf/ecgg15\_chapter-rts\_ai.pdf, tłumaczenie własne, 11.30.2015r [↑](#footnote-ref-1)
2. web.archive.org/web/20110427052656/http://gamespot.com/gamespot/features/all/real\_time, tłumaczenie własne, 11.18.2015r [↑](#footnote-ref-2)
3. web.archive.org/web/20110628235716/http://www.gamespot.com/gamespot/features/all/real\_time/p2\_02.html, tłumaczenie własne, 11.18.2015r [↑](#footnote-ref-3)
4. http://webdocs.cs.ualberta.ca/~cdavid/pdf/ecgg15\_chapter-rts\_ai.pdf, tłumaczenie własne, 11.30.2015r [↑](#footnote-ref-4)
5. http://webdocs.cs.ualberta.ca/~cdavid/pdf/ecgg15\_chapter-rts\_ai.pdf, tłumaczenie własne, 11.30.2015r [↑](#footnote-ref-5)
6. http://webdocs.cs.ualberta.ca/~cdavid/pdf/ecgg15\_chapter-rts\_ai.pdf, tłumaczenie własne, 11.30.2015r [↑](#footnote-ref-6)
7. http://pwp.detritus.net/in/1997/rf.html, tłumaczenie własne, 12.28.2015r [↑](#footnote-ref-7)
8. https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/papers/2008/P7511.pdf, tłumaczenie własne, 12.28.2015r [↑](#footnote-ref-8)