**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

[Spis treści 2](#_Toc461878680)

[Wstęp 4](#_Toc461878681)

[Wprowadzenie 5](#_Toc461878682)

[1. Reguły i założenia prototypu 8](#_Toc461878683)

[1.1. Konwencja 8](#_Toc461878684)

[1.2. Podstawowa mechanika 8](#_Toc461878685)

[1.3. Typy jednostek 10](#_Toc461878686)

[1.4. Typy budynków 11](#_Toc461878687)

[1.5. Technologie i drzewko technologiczne 12](#_Toc461878688)

[1.6. Interfejs użytkownika 13](#_Toc461878689)

[2. Sposób zaprogramowania prototypu 14](#_Toc461878690)

[2.1. Opis najważniejszych elementów biblioteki Unity 17](#_Toc461878691)

[2.2. Obiekty globalne 19](#_Toc461878692)

[2.2.1. Singleton Globals 19](#_Toc461878693)

[2.2.2. Obiekty gracza i armii 20](#_Toc461878694)

[2.2.3. Obiekty środowiska 21](#_Toc461878695)

[2.2.4. Obiekty konfiguracyjne 22](#_Toc461878696)

[2.2.5. Klasy ze stałymi 23](#_Toc461878697)

[2.3. Podsystem elementów mapy 23](#_Toc461878698)

[2.3.1. Implementacja elementu mapy 23](#_Toc461878699)

[2.3.2. Statystyki 30](#_Toc461878700)

[2.3.3. Technologie 31](#_Toc461878701)

[2.3.4. Rozkazy 31](#_Toc461878702)

[2.3.5. Akcje rozkazów 36](#_Toc461878703)

[2.3.6. Sąsiedztwo murów 37](#_Toc461878704)

[2.4. Podsystem mapy 37](#_Toc461878705)

[2.4.1. Klasy mapy 37](#_Toc461878706)

[2.4.2. Klasy drzewa czwórkowego 40](#_Toc461878707)

[2.5. Podsystem mgły wojny 42](#_Toc461878708)

[2.6. Podsystem poszukiwania ścieżek 45](#_Toc461878709)

[2.7. Podsystem GUI 46](#_Toc461878710)

[2.7.1. Wygląd minimapy 46](#_Toc461878711)

[3. Kreacja graficzna prototypu 49](#_Toc461878712)

[3.1. Grafika dwuwymiarowa 49](#_Toc461878713)

[3.1.1. Kursor myszy 49](#_Toc461878714)

[3.1.2. Porównanie budowy interfejsów gracza 50](#_Toc461878715)

[3.2. Grafika trójwymiarowa 50](#_Toc461878716)

[4. Zaprogramowanie sztucznej inteligencji 51](#_Toc461878717)

[4.1. Mechanizmy pomocnicze 52](#_Toc461878718)

[4.2. Regiony 52](#_Toc461878719)

[4.2.1. Rodzaje elementów mapy 55](#_Toc461878720)

[4.2.2. Metody tworzenia 55](#_Toc461878721)

[4.3. System wieloagentowy 55](#_Toc461878722)

[4.3.1. Gracz AI 56](#_Toc461878723)

[4.3.2. Klasa agenta 58](#_Toc461878724)

[5. Badania skuteczności sztucznej inteligencji 60](#_Toc461878725)

[6. Zakończenie 61](#_Toc461878726)

[7. Streszczenie 62](#_Toc461878727)

[8. Bibliografia 63](#_Toc461878728)

[9. Aneks/Spis ilustracji 64](#_Toc461878729)

# 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 siły militarnej w celu pokonania przeciwnika (zniszczenia jego armii i bazy).[[1]](#footnote-1) Jej główna cecha 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 są zróżnicowane 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 wzajemną zależność struktur od siebie, a także ideę różnych stron, które posiadają różne jednostki i bronie.[[3]](#footnote-3) Cechą wspólną gier strategicznych są warunki zwycięstwa, czyli pokonanie przeciwnika poprzez zniszczenie jego głównej struktury dowodzącej lub pozbawienie go zasobów, 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 ma dwie podstawowe gospodarki — ekonomiczną oraz militarną, które później może krzyżować. Pierwsza z nich sprawia, że na początku gracz ma bardzo słabe jednostki militarne (lub nie ma ich wcale), gdyż skupiamy się na rozwoju związanym z pozyskiwaniem surowców budulcowych. W ten sposób gromadzi dużą liczbę zasobów w krótkim czasie, co w konsekwencji pozwala mu na szybszą rozbudowę oraz masowe zrekrutowanie jednostek w późniejszym etapie gry. Druga droga jest bardziej militarna i skupia się na inwestowaniu w oddziały zbrojne oraz badania z nimi związane. Umożliwia to zbudowanie silnych jednostek we wczesnej fazie gry. Gracz korzystający z takiej strategii 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 można zmienić), gracz musi również zrozumieć konstrukcję mapy oraz rozmieszczenie poszczególnych surowców, w stopniu wystarczającym, by jak najbardziej optymalnie jego zdaniem rozlokować budynki oraz jednostki.[[5]](#footnote-5)

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

* znalezienie jak najbardziej optymalnej drogi (pathfinding), który pozwoli na szybsze dotarcie jednostek 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,
* przewidywanie ewentualnej strategii gracza,

Głównym problemem dla sztucznej inteligencji, jaki pojawia się podczas rozgrywek, jest podejmowanie decyzji opartych o zbyt małą liczbę informacji, a co za tym idzie — optymalnie zaplanowanie taktyk oraz rozlokowanie sił. Po zdobyciu informacji konieczne jest wyselekcjonowanie, która z nich ma najwyższy priorytet w danej sytuacji oraz zrozumienie jej wagi w odniesieniu do całości. Widać, że napisanie dobrej AI w grze RTS jest niezwykle trudnym zadaniem. Większości obecnych tytułów brakuje wysublimowanej sztucznej inteligencji — trudność gry skaluje się sprawiając, że AI oszukuje (ma zwiększoną siłę liczebną, lub zmniejszony koszt produkcji jednostek) **[źródło: nie mogę znaleźć dobrego na poparcie tej tezy. Jest takie: http://www.escapistmagazine.com/forums/read/9.70287-RTS-AI-needs-improvement]**, podczas gdy można by było poprawić jej zdolności myślenia strategicznego.

Celem naszej pracy magisterskiej jest próba stworzenia sztucznej inteligencji dla gracza w grze RTS. Aby móc ją na czymś testować, zostanie zaimplementowany prototyp takiej gry, który będzie oparty o proste reguły. Głównym założeniem jest zaprogramowanie AI, która będzie posiadała zdolność do pozyskiwania informacji, przetwarzania ich oraz postępowania będącego ich konsekwencją. Ma to być zatem coś w rodzaju fundamentu pod bardziej złożoną sztuczną inteligencję, udającą z powodzeniem człowieka. Nie przewidujemy pełnej AI pozwalającej na jednoosobową rozgrywkę przeciwko niej, ale stworzymy pojedyncze mechanizmy rozwiązujące zadania stawiane przed graczem w RTS, które później zostaną przebadane co do ich skuteczności.

# Reguły i założenia prototypu

Celem niniejszej pracy magisterskiej jest zaprogramowanie prototypu gry, stworzenie sztucznej inteligencji w ograniczonym stopniu sterującej graczem i przebadanie jej skuteczności. Prototyp dostał roboczą nazwę MechWars. Postanowiliśmy oprzeć go o proste zasady, gdyż nie chcemy skupiać się zbyt mocno na rozbudowie mechaniki rozgrywki. Mimo to nie mogą one też być zbyt proste, gdyż za mocno ograniczyłoby to możliwości oraz decyzje sztucznej inteligencji. Prototyp zostanie umieszczony w konkretnej konwencji określającej zasób, a także rodzaje jednostek, budynków i badań technologicznych.

## Konwencja

Program, którego będziemy używać do stworzenia prototypu gry RTS to *Unity*. Modele budynków, jednostek jak i otoczenia będą trójwymiarowe, a perspektywiczna kamera będzie ustawiona pod kątem 45° do planszy. 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 rozsypany po powierzchni. Dodatko będzie można go zbierać z wraków jednostek oraz zniszczonych budynków.

Budynki oraz jednostki, które zostaną wykorzystane w prototypie będą trójwymiarowymi modelami stworzonymi w całości na potrzeby niniejszej pracy. Dym z kominów niektórych budynków zostanie zaprojektowany dzięki systemowi cząsteczkowemu w *Unity*.

## Podstawowa mechanika

W podstawowej mechanice przewidujemy jeden funkcjonalny tryb gry — gracz ludzki przeciwko sztucznej inteligencji. Dodatkowo, jeśli uda się zaprogramować dość zachowań AI by miało to sens, zostanie wprowadzony drugi tryb gry: rozgrywka pomiędzy dwoma sztucznymi inteligencjami. Do żadnego z tych trybów gry nie zamierzamy tworzyć ani fabuły, ani kampanii, ponieważ chcemy skupić się na programowaniu sztucznej inteligencji.

Plansza (zwana również mapą), na której toczyć się będzie rozgrywka ma być podzielona na kwadratowe pola. Jednostka, budynek czy zasób stanowić mają elementy mapy. Jednostki i zasoby zajmować będą dokładnie jedno pole mapy, budynki będą mogły zajmować kilka (będą mieć określony kształt). Każdy element mapy znajduje się zawsze na określonych polach, z wyjątkiem jednostki — ta może znajdować się pomiędzy polami tylko w trakcie ruchu na sąsiednie pole.

Zamierzamy zaimplementować podstawowe zachowania jednostek kierowanych zarówno przez fizycznego gracza, jak i przez sztuczną inteligencję. Zaliczają się do nich:

* wykonywanie rozkazów gracza,
* przemieszczanie jednostek po mapie,
* atakowanie oddziałów przeciwnika,
* zbieranie zasobów z planszy.

Jednostki i budynki będą posiadać własną, ograniczoną sztuczną inteligencję. Będzie ona zrealizowana w postaci rozkazów wydawanych przez gracza. Rozkazy będą pewnymi procesami wykonującymi szereg czynności. W skład tego będą wchodziły nie tylko pojedyncze rozkazy odnośnie przemieszczania się, ale także automatyczne atakowanie, gdy przeciwnik pojawi się w zasięgu widzenia danej jednostki. Planowane rozkazy to:

* *Idle* — bezczynność; jednostka lub budynek stoi w miejscu, obraca się raz na jakiś czas (jeśli potrafi) i atakuje wrogów, którzy znajdą się w zasięgu ataku (też: jeśli potrafi),
* *Move* — jednostka przemieszcza się do określonej pozycji docelowej,
* *FollowAttack* — jednostka atakuje wroga i goni go,
* *StandAttack* — jednostka atakuje wroga w miejscu i przerywa atak, gdy wróg wyjdzie z zasięgu,
* *AttackMove* — jednostka przemieszcza się do określonej pozycji docelowej, ale po drodze angażuje się w walkę z wrogami, jeśli takich napotka,
* *Escort* — jednostka podąża za wskazanymi przyjaznymi jednostkami i atakuje wszystkich wrogów w zasięgu,
* *Harvest* — jednostka kursuje między wskazanym zasobem a najbliższą do niego rafinerią, zbierając zasób i odkładając go do rafinerii, gdy się zapełni,
* *Stop* — jednostka przerywa obecny rozkaz,
* *UnitProduction* — budynek produkuje określony rodzaj jednostki,
* *BuildingConstruction* — budynek konstruuje inny, określony budynek we wzkazanym miejscu,
* *TechnologyDevelopment* — budynek odkrywa określoną technologię.

Idle będzie rokazem domyślnym — jeśli jednostka lub budynek nie będzie mieć wydanych żadnych rozkazów, będzie wykonywać Idle. Jednostki i budynki różnić się będą co do rozkazów, które będą mogły wykonywać. Przykładowo zwiadowca nie będzie mógł atakować ani odkrywać technologii, a wieżyczka obronna nie będzie mogła się poruszać.

Zamierzamy zastosować mechanizm tzw. mgły wojny. Polega on na tym, że tylko pewna część mapy znajduje się w polu widzenia jednostek, a zatem gracza. W związku z tym w pozostałych miejscach lokalizacja jednostek przeciwnika pozostaje nieznana. Mgła wojny jest odpowiednikiem poziomu niepewności gracza co do sytuacji, w której znajduje się przeciwnik w danym momencie.[[8]](#footnote-8) Dzięki jednostkom takim jak zwiadowca będziemy mogli odkryć fragment terytorium i zebrać informacje na temat stanu zaawansowania przeciwnika oraz położenia surowców.

## 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 statystykami, takimi jak:

* szybkość obrotu i poruszania się,
* siła i szybkość ataku,
* zasięg ataku i widzenia,
* liczba punktów życia.

Dwoma podstawowymi niemilitarnymi jednostkami będą jednośladowy zwiadowca — *Scout* — oraz zbieracz zasobów, czyli *Harvester*. Zwiadowca charakteryzować się będzie wysokim zasięgiem widzenia, i szybkością, ale jednocześnie nie będzie miał możliwości ataku i bardzo łatwo go będzie zniszczyć. Jego zadaniem będzie zatem rekonensans: sprawdzenie terenu, odnalezienie zasobów, a także szpiegowanie postępów przeciwnika. *Harvester* natomiast będzie jednostką, która będzie potrafiła wydobywać zasoby (złom) i transportować go do rafinerii. On również nie będzie potrafił walczyć.

Podstawowymi oddziałami militarnymi będą dwa typy zmechanizowanych jednostek kroczących — tzw. mechów. Dalekozasięgowy mech z karabinami maszynowymi (*MechMachinegun*) będzie ostrzeliwał wrogów niską siłą ataku, podczas gdy wytrzymalszy i silniejszy mech z miotaczem ognia (*MechFlamethrower*) będzie musiał podejść bezpośrednio do wroga. Obie jednostki będą poruszały się dość szybko, jednak nie będą zadawały zbyt wysokich obrażeń jednostkom i budynkom.

Oprócz powyżej opisanych jednostek powstaną jeszcze dwa rodzaje pojazdów militarnych. Jednym z nich będzie czołg (*Tank*), które będzie powolną maszynami ze stosunkowo dużym zasięgiem ataku i siłą ognia. Drugim będzie mobilna wyrzutnia rakiet (*RocketLauncher*), która cechować się będzie olbrzymim zasięgiem i siłą rażenia, ale z bliska jej rakiety będą niezwykle niecelne — tak, że mogą przypadkiem trafić we własne jednostki i struktury. Oba typy pojazdów będą posiadały na tyle duże obrażenia, by w bardzo szybkim czasie niszczyć budynki i całe oddziały wroga.

## Typy budynków

Budynki będą służyły konstrukcji nowych budynków, produkcji jednostek, opracowywaniu technologii, składowaniu zasobów oraz obronie bazy. Kominy przy niektórych budynkach będą generować dym utworzony za pomocą systemu cząsteczkowego w programie *Unity*.

Typy planowanych przez nas budynków to:

* *ConstructionYard* — budynek służący do konstrukcji nowych budynków; nie można go wybudować, ale każda armia zaczyna z jednym,
* *Refinery* — rafineria złomu, będąca punktem, do którego Harvestery znoszą zasoby (fabularnie służy do przetwarzania złomu na użyteczny metal),
* *Factory* — fabryka produkująca jednostki,
* *Laboratory* — laboratorium naukowe służące do odkrywania nowych technologii, dających bonusy do statystyk oraz odblokowujących nowe jednostki i budynki,
* *Turret* — zmechanizowana wieża obronna, która strzela do wrogich jednostek,
* *Wall* — mur który nie pozwala jednostkom przejechać.

## Technologie i drzewko technologiczne

Głównym zadaniem technologii jest spełnianie wymagań do konstrukcji nowych budynków, produkcji nowych jednostek i odkrywania następnych technologii. Istnienie pewnego budynku w bazie również może być wymaganiem. Gdy wziąć wszystkie zależności wymagań pomiędzy technologiami, budynkami i jednostkami, tworzą one tak zwane drzewko technologii pokazujące drogi rozwoju ekonomicznego i militarnego (Rysunek 1).

Rysunek 1 Drzewko technologiczne prototypu MechWars

Czerwone prostokąty oznaczają jednostki, zielone budynki, a niebieskie technologie. Wszystkie jednostki są produkowane w *Factory*, a budynki konstruowane w *ConstructionYard*. Technologie odkrywane są głównie w *Laboratory*, z wyjątkiem dwóch — te w nawiasie mają podany budynek, który służy do ich odkrycia. Strzałka wychodzi od obiektu który wymaga i wskazuje na obiekt wymagany. Oczywiście wszystkie jednostki wymagają *Factory* a wszystkie technologie odkrywane w laboratorium wymagają *Laboratory*. Nie ma jednak potrzeby wymuszać takiego wymagania, gdyż po prostu jest to zrealizowane jako możliwości budynków. Tylko fabryka potrafi produkować jednostki, a tylko laboratorium odkrywać większość technologii. Dlatego istnieją jednostki, budynki i technologie, które (pozornie) nie wymagają niczego. Na rysunku można zauważyć też, że jednostki nie są do niczego wymagane. Oczywiście jest to celowe, gdyż taki zabieg nie miałby sensu.

Przykładem wymagań może być to sytuacja, w której aby stworzyć wieżyczkę obronną (*Turret*), trzeba najpierw wybudować fabrykę (*Factory*) i odkryć ciężkie działa (*HeavyCannons*). Z kolei do produkcji dowolnej jednostki militarnej fabryka musi odkryć dział zbrojeniowy (*ArmsDivision*).

Niektóre technologie poza spełnianiem wymagań zapewniają również bonusy do statystyk. Poniżej znajduje się ich lista:

* *PortableScrapGrinder* zwiększa szybkość zbierania zasobów przez jednostki *Harvester* jest półtora raza,
* *ImprovedLenses* zwiększa zasięg widzenia jednostki *Scout* o dwa pola,
* *MachinegunRotationBooster* zwiększa szybkość ataku jednostki *MechMachinegun* 1.2 raza,
* *HighOctaneFuels* zwiększa szybkość ruchu jednostek *Scout*, *Tank* i *RocketLauncher* 1.2 raza,
* *PlatedTracks* zwiększa punkty życia jednostek *Tank* i *RocketLauncher* są o 100,
* *RefinedSteelPlating* zwiększa Punkty życia jednostki *Tank* 1.3 raza,
* *HighExplosives* zwiększa siłę ataku jednostki *RocketLauncher* 1.2 raza.

## Interfejs użytkownika

Na interfejs użytkownika będzie składać się menu główne gry pozwalające wybrać tryb gry oraz GUI wewnątrz samej rozgrywki. Głównym elementem tego drugiego ma być panel dolny zawierający przyciski rozkazów oraz minimapę (czyli miniaturę całej planszy, na której widać jej stan — położenie jednostek, budynków oraz kształt mgły wojny). Poza tym w górnej części ekranu wyświetlana będzie obecna liczba jednostek zasobów, a nad przyciskami rozkazów pokazywać się będą dymki z opisem rozkazu po najechaniu na niego kursorem myszy.

Sama myszka ma zachowywać się w sposób zbliżony do znanego ze współczesnych RTSów. Lewy przycisk myszy ma służyć do zaznaczania elementów mapy. Przy przytrzymaniu go i przeciągnięciu myszy ma powstać ramka zaznaczenia, która wpływa na zaznaczenie wszystkich elementów mapy znajdującej się wewnątrz niej. Z kolei prawy przycisk myszy ma służyć wydawaniu automatycznych rozkazów – na przykład przy kliknięciu na teren jednostka otrzyma rozkaz *Move*, na zasób — Harvest, a na wroga — *FollowAttack*. Za to po wybraniu rozkazu przyciskiem z panelu dolnego, lewy przycisk myszy będzie służył do jego wydania.

Wokół zaznaczonych jednostek i budynków będą pojawiać się ramki z tzw. paskami życia. Paski życia będą pokazywać ile punktów życia zostało elementowi mapy, a ich kolor będzie wskazywał na to, z której armii pochodzi.

# 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),
* Elementy mapy (MapElement, Unit, Building, Resource),
  + Ataki (Attack),
  + Rozkazy (Order),
    - Akcje rozkazów (OrderAction),
    - Produkty (Product),
  + Statystyki (Stat),
* Obiekty mapy (Map),
* 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.

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 (więc np. technologie), dotyczące tzw. duchów (*snapshotów* pokazujących ostatni stan obiektu MapElement, zanim został skryty przez mgłę wojny), efektów cząsteczkowych, markerów do minimapy, poruszania się jednostek, obrotu głowic elementu mapy (np. lufy czołgu) tudzież 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) i stosowania bonusów do nich. Podmoduł rozkazów natomiast sam w sobie jest obszerny i można w nim wydzielić jeszcze pomniejsze części.

Przede wszystkim podmoduł rozkazów zawiera klasy obsługujące wszelakie rozkazy wydawane jednostkom: poruszanie, atakowanie, zbieranie zasobów, eskortowanie, produkcja jednostek, konstrukcja budynków, odkrywanie technologii. Istnieje tu 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.

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

Mgła wojny to niewielki podsystem zarządzający obecnie widocznym przez armię terenem i jednostkami. Aktualizowana przez MapElement 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.[[9]](#footnote-9) W skrócie opiera się ona na systemie wieloagentowym (klasa Agent) zastosowanym do obsługi całej strony konfliktu. Każdy agent spełnia inne zadanie: jest osobny agent od wiedzy, od rekonesansu, od zbierania zasobów i od konstrukcji budynków. Dla każdej jednostki w grze również istnieje osobny agent — niższego poziomu. Agenty symulują równoczesne działanie (obiekt AIBrain — będącym odpowiednikiem obiektu Spectator po stronie sztucznej inteligencji — uruchamia aktualizację każdego istniejącego agenta raz na cykl pętli gry). Komunikują się między sobą za pomocą niezbyt rozbudowanego systemu wiadomości. Agenty jednostek mogą zostać „wzięte” przez inne agenty — agent, który taką jednostkę „wziął” chwilowo nią zarządza i żaden inny nie ma do niej dostępu, dopóki nie zostanie ona „zwolniona”. Agenty (głównie agenty 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. MapElementKind opisuje zastosowania rodzajów jednostek. CreationMethod mówi w jaki sposób dany element mapy może zostać stworzony. 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 tu zatem m.in. MainMenuScript (używany w scenie menu głównego), CanvasScript obsługujący tzw. *Canvas* (mechanizm *Unity* 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).

Rozdział ten nie opisuje wszystkich powyższych podsystemów w szczegółach — zajęłoby to zbyt obszerną część pracy. Dlatego niektóre z nich pominięto, by móc skupić się na najważniejszych elementach projektu.

## Opis najważniejszych elementów biblioteki Unity

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

*Unity* 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 *Unity* 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 *Unity* 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 rozległy 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. *Unity* 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* *Unity* 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; *Unity* 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 generować wyjątki — *Unity* przechwytuje je i wyświetla w konsoli nie przerywając działania gry.

Ostatnią kwestią do poruszenia w związku z *Unity* są tzw. prefaby. Prefab jest zapisanym w projekcie *Unity* 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 *Unity* 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.

## 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.

### Singleton Globals

Globals jest jedną z ważniejszych klas w projekcie. Klasa dziedziczy po MonoBehaviour, by można było jej skrypt umieścić na obiekcie gry — dzięki temu *Unity* 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. **[źródło do singleton]** 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 w klasie 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 Unity, 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.

### 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[[10]](#footnote-10) 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 w prototypie gracza. 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 *Unity* 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.

### Obiekty środowiska

Docelowo w tej kategorii miało się znaleźć więcej klas jednak jest tu tylko jedna — DayAndNight. Jest skryptem MonoBehaviour, gdyż potrzebuje skorzystać z metody Update(). Wewnątrz znajdują się:

* lista GameObject zawierającą dwa obiekty gry — światła imitujące księżyc oraz słońce przemieszczające się dookoła sceny,
* pole cycleTime, które przechowuje informację ile czasu trwa jeden cykl obrotu świateł,
* metoda Update()*,* która aktualizuje obroty świateł.

Wewnątrz metody znajduje się warunek obsługujący sytuację, w której wartość cycleTime jest równa 0 (wtedy 0 jest traktowane jak 1). Gdyby nie to, program wygenerowałby wyjątek dzielenia przez 0, gdyż prędkość obrotu jest obliczana poprzez odwrotność okresu. Na końcu metody Update() znajduje się pętla, która odpowiada za ustawienie każdemu światłu kierunku padania oraz obrotu względem środka układu współrzędnych.

Fragment kodu 2: Ciało klasy DayAndNight

public class DayAndNight : MonoBehaviour

{

public List<GameObject> lights;

public float cycleTime;

void Update()

{

var minutes = cycleTime;

if (minutes == 0) minutes = 1;

float seconds = minutes \* 360;

float speed = 360 / seconds;

foreach (var light in lights)

{

var transform = light.transform;

transform.RotateAround(

Vector3.zero, Vector3.right, speed \* Time.deltaTime);

transform.LookAt(Vector3.zero);

}

}

}

### 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).

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

### Klasy ze stałymi

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

## Podsystem elementów mapy

Elementy mapy to na tyle rozległy podsystem, że nie sposób go tu opisać dokładnie w całości. Szczegółowo omówiono więc tylko wybrane fragmenty modułu.

Klasa MapElement będąca skryptem MonoBehaviour jest tu głównym typem. Po tej klasie dziedziczą trzy następne uzupełniające jej funkcjonalność: Unit, Building oraz Resource(które poprzez dziedziczenie również są skryptami). Każdy obiekt gry znajdujący się na planszy 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 określony rodzaj elementu mapy potrafi wykonać dany rozkaz, nie zależy zatem od jego klasy (*ergo* od dziedziczenia), tylko od konfiguracji — czyli tego, jakie ma przypisane akcje rozkazów. Rozdział ten opisuje więc też obie klasy abstrakcyjne za to odpowiedzialne — Order i OrderAction — oraz ich przykładowe implementacje. Dodatkowo omówione są pobieżnie statystyki, technologie i zarządzanie nimi oraz mechanizm ustalania sąsiedztwa murów.

### 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 typu string jest nazwą określającą rodzaj elementu mapy (jest wspólna dla elementów jednego rodzaju i różna dla każdego z rodzajów — np. każdy czołg ma tu ustawione "Tank"). 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. Przy jej zmianie MapElement wypisuje się ze zbioru jednostek lub budynków starej armii a wpisuje do zbioru w nowej.

public string mapElementName;

public int id;

public Army Army { get; private set; }

public TextAsset shapeFile;

public TextAsset statsFile;

public List<GameObject> aims;

public AttackHead attackHead;

public List<OrderAction> orderActions;

Fragment kodu 3: Wybrane publiczne pola klasy MapElement

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.

Lista aims obiektów GameObject to lista celów obieranych przez pociski wystrzeliwywane w kierunku elementu mapy 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).

Fragment kodu 4: Właściwości klasy MapElement związane ze statystykami, kształtem i transformacją

public Stats Stats { get; private set; }

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

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;

}

}

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);

}

}

}

public float Rotation

{

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

set

{

var ea = transform.rotation.eulerAngles;

ea.y = value;

transform.rotation = Quaternion.Euler(ea);

}

}

Publiczna lista obiektów OrderAction definiuje jakie rozkazy można wydać elementowi mapy. Dla każdego prefabu elementu mapy jest ona skonfigurowana w panelu *Inspector*. Każda przypisana akcja rozkazu umożliwia wydanie jednego rodzaju rozkazu.

Oprócz publicznych pól MapElement posiada też dużą liczbę właściwości. Stats trzyma statystyki elementu mapy. Shape pobiera jego kształt z ShapeDatabase. Coords pośredniczy w pobieraniu i ustawianiu pozycji — która nie musi być całkowita (np. jeśli jednostka jest w trakcie ruchu). Właściwość AllCoords zwraca kolekcję współrzędnych wszystkich pól zajmowanych przez MapElement. Rotation służy do pobierania i ustawiania obrotu elementu mapy wokół osi Y (pionowej).

Właściwości LifeValue, Dying i Alive służą kontrolowaniu czasu życia elementu mapy. LifeValue zwraca albo wartość statystyki „Hit points”, albo pozostałe jednostki 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.

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 być we wszystkich przypadkach IdleOrder.

Fragment kodu 5: Właściwości klasy MapElement związane z kolejką rozkazów oraz definiujące możliwości elementu mapy

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 typu bool definiujących jego możliwości, 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. Należy zatem chociaż pobieżnie wyjaśnić to pojęcie. Sam pomysł duchów zaczerpnięty został z wypowiedzi twórcy systemu mgły wojny dla gry *Age of Empires*.[[11]](#footnote-11) Duch to klon elementu mapy, cechujący 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 posiada skrypt MapElement i ma skopiowane wszystkie wartości statystyk oraz wygląd — pokazuje zatem ostatni stan elementu mapy, kiedy jeszcze go było widać. W ten sposób ograniczana jest wiedza gracza o sytuacji poza polem widzenia. Na przykład gracz nie może wiedzieć, że zasób ukryty przez mgłę wojny jest właśnie zbierany przez przeciwnika. Duch jest niszczony dopiero, gdy MapElement stanie się na powrót widoczny. Każda armia widzi własne duchy, dlatego MapElement posiada słownik jego duchów, którego kluczem jest Army.

Istnienie duchów powoduje szereg problemów. Przykładem może być sytuacja, gdy zaznaczony budynek zostaje ukryty za mgłą. Należy wtedy odznaczyć oryginalny budynek i zaznaczyć jego ducha. Oprócz tego duch musi mieć możliwość 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 konieczne jest, by duchy miały referencję do oryginalnych elementów mapy, choć jednocześnie powinny mieć możliwość istnieć niezależnie od nich (bo element mapy może zostać zniszczony gdy znajduje się poza polem widzenia i gracz nie może o tym wiedzieć). Podsumowując, duch musi być dla gracza nieodróżnialny od oryginalnego elementu mapy i imitować wszelakie jego zachowania. Apsekty te sprawiły, że implementacja mechanizmu duchów była niezwykle skomplikowana.

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.

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 \*\*\*\*

}

}

Fragment kodu 6: Metoda MapElement.OnStart() dla elementu mapy nie będącego duchem

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 wywołana funkcja Start(), dlatego wołane są tu również UpateDying() i UpdateAlive(). Następnie InitializeInMap() rezerwuje pola w obiekcie Map, na których znajduje się MapElement, a InitializeMinimapMarker()[[12]](#footnote-12) tworzy marker widziany przez kamerę minimapy. Na końcu ustawiana jest widoczność elementu mapy (VisibleToSpectator i VisibleToArmies) oraz tworzony jest słownik duchów. Po wykonaniu tych czynności MapElement jest gotowy do działania.

Funkcja ReadStats() wczytuje statystyki z pliku zapisanego w standardzie XML. Wykorzystywana jest do tego .NETowa klasa System.Xml.XmlDocument.[[13]](#footnote-13)

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 rozkazie HarvestOrder).

Fragment kodu 7: Metoda MapElement.OnUpdate() dla elementu mapy nie będącego duchem

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;

}

Metody związane z atakiem to ReadyAttack() i MakeAttack(). Atak musi zostać najpierw przygotowany — bo przed jego wykonaniem należy wyliczyć różne parametry (jak np. kąt o jaki atakujący musi obrócić siebie bądź głowicę). Następnie może zostać uruchomiony. Naliczane zostaje wtedy opóźnienie ataku (tzw. *cooldown*), dzięki któremu jednostka wykonuje atak raz na określony czas.

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 którą steruje Spectator. Aktualizowany jest atak, jeśli został przygotowany i uruchomiony. Aktualizowana jest kolejka rozkazów (która wykonuje aktualizację rozkazu, lub uruchamia następny rozkaz, gdy dotychczasowy się zakończył). Metody UpdateDying() i UpdateAlive() wołane są na końcu, by na bieżąco zarządzać czasem życia elementu mapy.

### Statystyki

Za statystyki odpowiadają przede wszystkim klasy Stat i Stats. Klasa Stats jest pośrednikiem (wzorzec projektowy *proxy*) dla słownika statystyk, w których kluczem jest ich nazwa. Obiekt klasy natomiast 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*.

Przykład 1: Plik XML ze statystykami jednostki *MechMachinegun*

<Stats>

<Stat name="Movement speed" value="3" />

<Stat name="Rotation speed" value="1.5" />

<Stat name="Hit points" value="120" max\_value="120" />

<Stat name="Firepower" value="5" />

<Stat name="Attack speed" value="10" />

<Stat name="Attack range" value="3" />

<Stat name="View range" value="4" />

</Stats>

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*. Są to m.in. MapElement określający rodzaj elementu mapy, do którego statystyk bonus się aplikuje oraz wartość *float* która mówi jaka liczba jest dodawana do lub mnożona przez wartość statystyki. Metoda ApplyTo() przyjmuje wartość float i zwraca inną, zmodyfikowaną za pomocą bonusu.

### 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 m.in. nazwę (string) i listę bonusów (List<StatBonus>), które można dzięki temu skonfigurować w edytorze *Unity*. Wymagania są konfigurowane w innym miejscu — w akcjach rozkazów.

Każda armia posiada jeden obiekt klasy TechnologyController, służący do składowania technologii już odkrytych oraz tych, które właśnie są w trakcie odkrywania. Zawiera on zarówno metody umożliwiające kontrolowanie tych aspektów, jak i pomocnicze funkcje pozwalające pobrać bonusy dla zadanego elementu mapy.

### Rozkazy

Klasa Order i jej potomne są stworzone jako połączenie wzorców projektowych *template method* oraz *command*. Zamiast pojedynczej funkcji execute() (znanej ze zwykłego wzorca *command*), jest tu kilka chronionych wirtualnych metod do implementacji w klasach potomnych: OnStart(), OnUpdate(), LateOnUpdate()*,* OnStopping(), OnStopped(), OnFinished(), OnTerminating(). Są one w szablonowy sposób wołane przez publiczne metody Start(), Update(), Stop() i Terminate(). Wszystkie razem stanowią szkielet programu każdego rozkazu, co spełnia założenia wzorca *template method*. Jednocześnie za konstrukcję obiektów Order odpowiadają akcje rozkazów (klasa OrderAction i jej potomne), a wyżej wspomniane publiczne metody uruchamiane są przez kolejkę rozkazów OrderQueue znajdującą się na elemencie mapy. Implementacja operacji do wykonania jako obiektu, który może być tworzony w jednym miejscu, a wykorzystywany w innym oraz oddzielenie tej operacji od obiektu na którym pracuje (MapElement) spełnia więc z kolei założenia wzorca *command*.

Każdy rozkaz znajduje się w pewnym stanie (enum OrderState) — etapie jego życia. Świeżo utworzony obiekt Order ma stan BrandNew. Po wywołaniu przez OrderQueue metody Start() przechodzi do stanu Started, w którym OrderQueue woła jego metodę Update() co cykl pętli gry. Stamtąd może albo przejść do stanu Finished (jeśli rozkaz zakończył się normalnie, z wewnętrznej przyczyny), albo Stopping i następnie Stopped (gdy rozkaz jest zatrzymywany z zewnątrz przy pomocy metody Stop()). Jeśli wystąpił błąd i rozkaz trzeba natychmiast przerwać, wołana jest metoda Terminate() i rozkaz przechodzi w stan Terminated. Stany Finished, Stopped i Terminated są stanami końcowymi pozwalającymi na usunięcie rozkazu z kolejki OrderQueue.

Rysunek 2: Diagram stanów rozkazu



Niektóre rozkazy nie mogą zostać zatrzymane przy pomocy metody Stop() — są to tzw. rozkazy atomowe, czyli niewielkie komendy które muszą się wykonać w całości. Przykładem takiego rozkazu jest SingleMoveOrder, który wykonuje pojedyncze przemieszczenie się jednostki z jednej kratki mapy na sąsiednią. Przerwanie tego rozkazu w trakcie jego wykonywania spowodowałoby niedopuszczalną sytuację — jednostka zatrzymałaby się pomiędzy kratkami.

O tym w jaki sposób rozkaz da się przerywać decydują wirtualne właściwości CanStop, CanFinalizeStop oraz CanFinish. Domyślnie każdy rozkaz jest atomowy (czyli CanStop zwraca **false**).

Rozkazy nie mogą samodzielnie zmieniać swojego stanu (z wyjątkiem możliwości użycia metody Stop(), ale nie powinny tego robić — jest ona do użytku zewnętrznego). Obsługa stanu znajduje się wyłącznie w bazowej klasie Order. By sterować stanem, Order udostępnia klasom potomnym mechanizm rezultatu rozkazu. Klasa OrderResult jest niewielka, zawiera tylko informację o sukcesie (bool) oraz komunikat, w przypadku błędu (string). Chronione metody Succeed(), TrySucceed(), TryFail() oraz TryResolve() służą do ustawienia właściwości trzymającej rezultat. Funkcje szkieletowe (Start(), Update()) sprawdzają, czy istnieje już rezultat i zmieniają stan odnośnie do tego. Właściwości Failed, Succeeded i Conclusive zwracają **true** albo **false** na bazie rezultatu.

Fragment kodu 8: Główne funkcje i właściwości klasy Order

public bool Failed { get { return Conclusive && !Result.Success; } }

public bool Succeeded { get { return Conclusive && Result.Success; } }

public bool Conclusive { get { return Result != null; } }

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

protected virtual bool CanFinalizeStop { get { return true; } }

protected virtual bool CanFinish { get { return true; } }

public Order(MapElement mapElement)

{

MapElement = mapElement;

State = OrderState.BrandNew;

}

public void Start()

{

if (State != OrderState.BrandNew) return;

TryFail(OrderResultAsserts.AssertMapElementIsNotDying(MapElement));

if (!Failed) OnStart();

if (Failed) Terminate();

else if (State != OrderState.Stopping) State = OrderState.Started;

}

public void Update()

{

if (!CanUpdate) return;

OnUpdate();

LateOnUpdate();

if (State == OrderState.Stopping) FinalizeStop();

else if (Conclusive) Finish();

}

public bool Stop()

{

if (!(State == OrderState.BrandNew ||

State == OrderState.Started && CanStop)) return false;

State = OrderState.Stopping;

OnStopping();

return true;

}

void Finish()

{

if (!CanFinish) return;

State = OrderState.Finished;

OnFinished();

}

public void Terminate(string explicitReason = null)

{

OnTerminating();

Debug.LogError(string.Format("Order {0} of {1} terminated: {2}",

Name, MapElement, explicitReason != null ? explicitReason :

Result != null ? Result.Message : "NULL"));

State = OrderState.Terminated;

}

Klasa ComplexOrder dziedziczy po Order i rozszerza funkcjonalność zwykłego rozkazu o możliwość wykonywania pod rozkazów. Właściwie każdy rozkaz uruchamiany przez gracza jest rozkazem złożonym, a więc dziedziczy po tej klasie. Przykładowo rozkaz HarvestOrder korzysta naprzemiennie z rozkazów MoveOrder (ruch pomiędzy zasobem a rafinerią), CollectOrder (zbieranie zasobu) oraz DepositOrder (odkładanie zebranych jednostek zasobów do rafinerii).

Fragment kodu 9: Główne funkcje i właściwości klasy ComplexOrder

public Order SubOrder { get; private set; }

protected override bool CanStop { get { return true; } }

protected override bool CanFinalizeStop { get { return !HasSubOrder; } }

protected override bool CanFinish { get { return !HasSubOrder; } }

protected void GiveSubOrder(Order subOrder)

{

if (subOrder.State != OrderState.BrandNew)

throw new System.ArgumentException(

"State property of suborder argument must be BrandNew.");

NextSubOrder = subOrder;

if (SubOrder == null)

AdvanceSubOrders();

}

void AdvanceSubOrders()

{

SubOrder = NextSubOrder;

NextSubOrder = null;

}

protected sealed override void LateOnUpdate()

{

if (!HasSubOrder) return;

if (SubOrder.State == OrderState.BrandNew)

{

OnSubOrderStarting();

SubOrder.Start();

if (SubOrder.State == OrderState.Started)

OnSubOrderStarted();

}

if (SubOrder.State == OrderState.Started ||

SubOrder.State == OrderState.Stopping)

{

OnSubOrderUpdating();

SubOrder.Update();

OnSubOrderUpdated();

}

if (SubOrder.State == OrderState.Finished)

{

OnSubOrderFinished();

AdvanceSubOrders();

}

else if (SubOrder.State == OrderState.Stopped)

{

OnSubOrderStopped();

AdvanceSubOrders();

}

else if (SubOrder.State == OrderState.Terminated)

{

OnSubOrderTerminated();

AdvanceSubOrders();

}

}

Obiekt ComplexOrder samodzielnie trzyma referencję na aktualny i następny pod rozkaz nie korzystając z kolejki OrderQueue. Nadpisuje i pieczętuje funkcję LateOnUpdate() (słowo kluczowe sealed — następni potomkowie nie mogą nadpisać tej funkcji), w której implementuje automatyczną obsługę pod rozkazów. Udostępnia następne metody wirtualne w których rozkazy potomne mogą zareagować na zmianę stanu pod rozkazu (dalsze użycie wzorca *template method*). Poza tym zmienia też zachowanie właściwości decydujących, czy rozkaz może być zatrzymany (CanStop itd.). Dzięki zwracanym przez nie nowym wartościom,[[14]](#footnote-14) ComplexOrder nigdy nie jest atomowy (można zawołać Stop), ale nie zatrzyma się (będzie trwał w stanie Stopping), dopóki jego pod rozkaz nie zostanie zakończony. Funkcje OnStop()i OnTerminate()zostały zaś zaimplementowane w taki sposób, by powodowały zatrzymanie pod rozkazów.

### Akcje rozkazów

Abstrakcyjna klasa OrderAction służy dwóm celom.

Po pierwsze, konstruując obiekty dziedziczące po Order, akcja rozkazu realizuje wzorzec projektowy *abstract factory*. Abstrakcyjna metoda CreateOrder() przyjmuje wykonawcę (MapElement) oraz parametry rozkazu (takie jak cel ataku albo ruchu), a zwraca nowo stworzony rozkaz. Dla każdej klasy rozkazu, który gracz może wydać elementowi mapy istnieje klasa akcji rozkazu, która go tworzy. Metoda CreateOrder() jest jednak chroniona. Upubliczniono za to funkcję GiveOrder(), która woła tę pierwszą, a stworzony rozkaz automatycznie kolejkuje na OrderQueue wykonawcy. Dodatkowo metoda wirtualna CanCreateOrder(), domyślnie zwracająca **true**, służy do sprawdzenia, czy wymagania do stworzenia rozkazu zostały spełnione.

public bool GiveOrder(MapElement orderExecutor,

IOrderActionArgs orderActionArgs)

{

if (orderExecutor.OrderQueue.Enabled && CanCreateOrder(orderActionArgs))

{

orderExecutor.OrderQueue.Give(

CreateOrder(orderExecutor, orderActionArgs));

return true;

}

return false;

}

protected virtual bool CanCreateOrder(IOrderActionArgs orderActionArgs)

{

return true;

}

protected abstract Order CreateOrder(MapElement orderExecutor,

IOrderActionArgs orderActionArgs);

Fragment kodu 10: Główne metody klasy OrderAction

Po drugie, klasa OrderAction dziedziczy po MonoBehaviour, może więc służyć do konfiguracji. W projekcie Unity zapisany jest szereg prefabów zawierających jako komponenty skrypty potomne do OrderAction. Prefaby te poustawiane są każdemu prefabowi elementu mapy na jego liście. W ten sposób skonfigurowane jest to, jakie rozkazy potrafi wykonywać każdy MapElement.

Same akcje rozkazów również mogą być konfigurowalne (sic[[15]](#footnote-15)). Dla trzech akcji rozkazów: UnitProductionOrderAction, BuildingConstructionOrderAction, oraz TechnologyDevelopmentOrderAction istnieje szereg prefabów ustawionych w różny sposób. Przykładowo komponentowi UnitProductionOrderAction przypisać można prefab jednostki, która jest tworzona, koszt i czas trwania produkcji oraz wymagania: listę budynków, które muszą być wybudowane i listę technologii, które muszą być zbadane.

### Sąsiedztwo murów

**[Część Natalii]**

## Podsystem mapy

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

### 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), listę graczy, listę obiektów gry — armii, oraz obiekt gry *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(), generuje stosowny wyjątek.

Najistotniejszym obiektem w tym podsystemie jest obiekt klasy Map. Tak jak MapSettings, jest on skryptem MonoBehaviour i komponentem obiektu gry *Globals*. Ponieważ plansza gry podzielona jest na kratki, jej obiekt przechowuje rezerwacje elementów mapy w postaci dwuwymiarowej tablicy. Obiekty MapElement znajdują się tam na odpowiednich współrzędnych — czasem na kilku, jeśli zajmują więcej niż jedno pole. Obiekt Map posiada też słownik, który ma odwrotną zależność: dla klucza MapElement trzyma listę jego pozycji. Mapa śledzi też położenia duchów w dwóch 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 (sic[[16]](#footnote-16))IsInBounds() do sprawdzania czy dana pozycja znajduje się w granicach map,[[17]](#footnote-17) a także funkcje do: sprawdzania czy określone pole jest zajmowane przez zadany element mapy, tworzenia i zwalniania rezerwacji przez elementy mapy (MakeReservation(), ReleaseReservation()) oraz dodawania i usuwania duchów (AddGhost(), RemoveGhost()).

Fragment kodu 11: Najważniejsze fragmenty klasy Map

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;

}

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() przyjmuje MapElement (element mapy) oraz IVector2 (wektor dwóch liczb całkowitych — pozycję do zarezerwowania). Jeśli nie nastąpi konflikt rezerwacji, wstawia MapElement do zadanego miejsca tablicy. Następnie pobiera ze słownika rezerwacji listę pozycji elementu mapy 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 jego listy współrzędnych w słowniku reservationDictionary. Następnie usuwany jest MapElement z zadanego miejsca w tablicy reservationTable.

Metod AddGhost() i ReleaseGhost() nie ma potrzeby omawiać szczegółowo, gdyż zachowują się one bardzo podobnie do funkcji 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** obiektów MapElement (podczas gdy reservationTable jest tablicą **pojedynczych** obiektów MapElement).

### Klasy drzewa czwórkowego

Pozostałe dwie klasy — QuadTree i QuadTreeMapElement — współpracują ściśle ze sobą i stanowią implementację tzw. drzewa czwórkowego. Struktura ta umożliwia bardzo szybkie przeszukiwanie wycinków planszy 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 pomniejszych 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 , gdzie 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 wyszukiwania elementów mapy w prostokątnym obszarze (funkcja QueryRange()). Operacje dodawania i usuwania elementów mapy są logarytmiczne, więc również szybkie, a podział i łączenie ma wręcz złożoność stałą. Wykonywane są one jednak zdecydowanie rzadziej niż przeszukiwanie, dlatego ich wydajność nie jest tu problemem.

QuadTreeMapElement to niewielka klasa trzymająca w jednej całości referencję na MapElement oraz pozycję w QuadTree (IVector2). Ponieważ istnieją budynki które zajmują więcej niż jedno pole, może być kilka obiektów QuadTreeMapElement wskazujących na ten sam MapElement ale mających różne pozycje.

Fragment kodu 12: Pola klasy QuadTree

QuadTreeMapElement QuadTreeMapElement;

SquareBounds bounds;

QuadTree x0y0;

QuadTree x0y1;

QuadTree x1y0;

QuadTree x1y1;

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, reprezentujące węzły potomne. Działa to, gdyż każdy węzeł jednocześnie stanowi pod-drzewo. 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

Trzy metody: Insert(), InsertCore() oraz Subdivide() współpracują ze sobą. Insert() jest publiczną fasadą dla rekurencyjnej metody InsertCore(). W ogólnym zarysie InsertCore() szuka najniższego węzła drzewa (czyli poddrzewa), który zawiera współrzędną podanego w argumencie elementu mapy, i wstawia go do drzewa. Jeśli liść jest już zajęty, zostaje podzielony metodą Subdivide(). Subdivide() ma stałą złożoność, gdyż wymaga zawsze utworzenia czterech obiektów i przeniesienia elementu mapy z drzewa do jednego z jego dzieci. Przebieg Insert() zależy natomiast od lokalnej głębokości drzewa, więc jej złożoność jest .

Na podobnej zasadzie działa funkcjonalność usuwania obiektów MapElement z QuadTree. Publiczna metoda Remove() jest opakowaniem prywatnej, rekurencyjnej funkcji RemoveCore(), która poszukuje liścia zawierającego MapElement do usunięcia. Czasami gdy MapElement zostanie usunięty, należy jeszcze dostosować drzewo by spełniało reguły QuadTree — czyli połączyć dzieci metodą TryUnsubdivide().Metoda ta 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. Widać, że złożoności tych operacji są analogiczne do złożoności przy dodawaniu: Remove() wykonuje się w czasie logarytmicznym, a TryUnsubdivde() — w stałym.

Ostatnią metodą QuadTree do opisania jest QueryRange(). Funkcja ta znajduje wszystkie obiekty MapElement 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, a węzły na coraz wyższych poziomach łączą je w swoich listach. Na koniec metoda zwraca wypełnioną listę obiektów QuadTreeMapElement 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;

}

Fragment kodu 13: Metoda QuadTree.QueryRange()

Złożoność czasowa operacji QueryRange() jest bardziej skomplikowana. Zależy ona od wielu czynników, m.in. rozkładu danych w drzewie, a także rozmiaru i położenia prostokątnego obszaru do przeszukania. Trudno jest wyliczyć złożoność średnią, ale można ocenić złożoność maksymalną. Niech będzie liczbą elementów mapy w drzewie, a jego głębokością. Najszersze (o obszarze całej mapy) zwróci oczywiście wszystkie elementy, więc jego złożoność to . Najwęższe zapytanie z kolei będzie musiało przejść od korzenia do dokładnie jednego liścia, stąd . W połączeniu daje nam to złożoność .

## Podsystem mgły wojny

Pomysł na działanie mgły wojny został zaczerpnięty z książki *Perełki programowania gier*.[[18]](#footnote-18) Zarządzaniem informacją o kształcie mgły wojny zajmuje się klasa VisibilityTable. Każda armia ma własną tablicę widzialności[[19]](#footnote-19). Jest to obiekt zawierający dwie dwuwymiarowe tablice odwzorowujące rozmiarem planszę gry. Dla każdego pola gry w tablicy bool[,] fieldsUncovered znajduje się informacja, czy dane pole w ogóle zostało odkryte przez armię. Z kolei tablica int[,] fieldsSeenByUnits trzyma dla każdego pola liczbę jednostek, która je widzi. Odkryte pola, dla których liczba ta jest równa zeru, znajdują się we mgle wojny — nie widać na nich jednostek, a zamiast budynków i zasobów widać ich duchy[[20]](#footnote-20).

W VisibilityTable znajdują się metody IncreaseVisibility() i DecreaseVisibility(). Służą do inkrementacji i dekrementacji tablicy fieldsSeenByUnits przez MapElementy. Przykładowo gdy jednostka się porusza, dekrementuje pola tablicy w swoim zasięgu widzenia względem do starego położenia, a następnie inkrementuje te względem nowego. By uniknąć kosztownego wyliczania pól znajdujących się wewnątrz okręgu pola widzenia wyznaczanego przez statystykę „View range” (będącą promieniem okręgu), tablica widzialności korzysta z obiektu LOSShapeDatabase, który w leniwy sposób generuje kształty pola widzenia (w książce zwane „szablonami linii widoczności”) dla różnych promieni (po stworzeniu trzyma kształt i następnym razem po prostu go zwraca). Funkcje te uruchamiają też zdarzenie VisibilityChanged, na którym nasłuchuje sztuczna inteligencja by móc aktualizować swą wiedzę.

Tablica widzialności posiada też właściwość-indeksator zwracającą wygodną w użyciu wartość enuma Visibility — przyjmuje on wartości Unknown, Fogged oraz Visible. Elementy mapy sprawdzają wartość tej właściwości, gdy określają to, czy je widać. Wpływa to zarówno na faktyczne renderowanie elementu mapy, jak i na jego obecność w QuadTree armii. Informacja o widzialności ma również związek z decyzją o tworzeniu lub niszczeniu duchów oraz wiedzą AI.

Graficzny efekt mgły wojny jest renderowany na bazie VisibilityTable. Skrypt VisualFog (dziedziczący po MonoBehaviour) generuje w locie teksturę o wymiarach takich jak plansza, gdzie jeden piksel odpowiada jednemu polu. Piksele są czarne, ale różnią się składową alpha. Dla pól nieodkrytych są całkowicie czarne, pola we mgle są półprzezroczyste a widzialne — całkowicie przezroczyste. Tekstura ta nakładana jest następnie na płaszczyznę zasłaniającą planszę, stanowiąc coś w rodzaju filtru koloru dla tego, co widzi kamera. Dzięki użyciu warstw w *Unity* mgła zasłania jedynie podłoże, nie przykrywając żadnych elementów mapy. Klasa MinimapFog kopiuje teksturę z VisualFog i nakłada ją na własną płaszczyznę widoczną przez kamerę minimapy.[[21]](#footnote-21)

bool[,] fieldsUncovered;

int[,] fieldsSeenByUnits;

void IncreaseVisibilityOfTile(int x, int y)

{

if (x < 0 || Size <= x || y < 0 || Size <= y) return;

bool justUncovered = !fieldsUncovered[x, y];

fieldsUncovered[x, y] = true;

fieldsSeenByUnits[x, y]++;

if (VisibilityChanged != null)

if (justUncovered) VisibilityChanged(new IVector2(x, y),

Visibility.Unknown, Visibility.Visible);

else VisibilityChanged(new IVector2(x, y),

Visibility.Fogged, Visibility.Visible);

}

public void IncreaseVisibility(MapElement mapElement, float x, float y)

{

var meShape = mapElement.Shape;

var radiusStat = mapElement.Stats[StatNames.ViewRange];

if (radiusStat == null) return;

var radius = radiusStat.Value;

var losShape = Globals.LOSShapeDatabase[radius, meShape];

IncreaseVisibility(x, y, losShape);

}

void DecreaseVisibilityOfTile(int x, int y)

{

if (x < 0 || Size <= x || y < 0 || Size <= y) return;

fieldsSeenByUnits[x, y]--;

if (VisibilityChanged != null && fieldsSeenByUnits[x, y] == 0)

VisibilityChanged(new IVector2(x, y),

Visibility.Visible, Visibility.Fogged);

}

public void DecreaseVisibility(MapElement mapElement, float x, float y)

{

var meShape = mapElement.Shape;

var radiusStat = mapElement.Stats[StatNames.ViewRange];

if (radiusStat == null) return;

var radius = radiusStat.Value;

var losShape = Globals.LOSShapeDatabase[radius, meShape];

DecreaseVisibility(x, y, losShape);

}

Fragment kodu 14: Wybrane składowe klasy VisibilityTable

## Podsystem poszukiwania ścieżek

Podsystem ten został stworzony w ogólny sposób, tak by można było zaimplementować dowolny algorytm na szukanie ścieżek. Interfejs IPathdfinder wystawia fukcję FindPath(), którą każda klasa poszukująca ścieżek musi posiadać. Przyjmuje ona punkt startowy, punkt docelowy oraz MapElement, który szuka ścieżki Jednak istnieje w projekcie tylko jedna klasa implementująca ten interfejs — jest to AStarPathfinder.

AStarPathfinder jest realizacją popularnego algorytmu A\*, będącego rozszerzeniem algorytmu Edsgera Dijkstry do wyszukiwania ścieżki w grafie. A\* uzyskuje lepszą wydajność poprzez użycie heurystyki. AStarPathfinder traktuje planszę jako graf, gdzie każde pole jest węzłem posiadającym ośmiu sąsiadów — pola sąsiednie. Odległość wyznaczana jest geometrycznie: między polami sąsiadującymi bokiem wynosi , a po przekątnej — . Graf generowany jest na bieżąco — algorytm tworzy węzeł dla pola, dopiero gdy potrzebuje go odwiedzić. Jeśli docelowe pole jest zajęte lub nieosiągalne, algorytm zwraca ścieżkę do osiągalnego pola najbliższego celowi. Użytą w algorytmie heurystyką jest euklidesowa odległość do punktu docelowego pomnożona przez 5.

Przeszacowanie odległości pozwala poprawić czas wykonywania algorytmu (mniej węzłów zostaje odwiedzonych), choć sprawia, że algorytm nie gwarantuje już najkrótszej ścieżki. Jest to tak zwana ograniczona relaksacja heurystyki. Liczba stanowi ograniczenie relaksacji gwarantujące, że rozwiązanie nie będzie gorsze niż najlepsze rozwiązanie pomnożone przez. Heurystyka taka to heurystyka dopuszczalna. Istnieje kilka dopuszczalnych odmian algorytmu A\*. Wybraną przez nas jest odmianą jest A\* statycznie ważony. W tej odmianie stanowi wagę przez którą mnoży się wartość heurystyki.[[22]](#footnote-22) U nas wynosi zatem 5. Wartość tę dobrano eksperymentalnie, jako taką, która wystarczająco poprawia wydajność jednocześnie nie zmniejszając skuteczności algorytmu w widocznym stopniu.

## Podsystem GUI

[część Natalii]

* przypisanie przycisków do funkcji,
* hotkeye
* zależność w procesie tworzenia/produkcji/technologii pomiędzy budynkami
* minimapa

### Wygląd minimapy

Minimapa to miniaturowy obraz, który pokazuje świat gry lub jego część. Jest ona zazwyczaj ortograficznym rzutem z kamery od góry. Dzięki niej gracz może w łatwy sposób zorientować się w położeniu ważnych elementów w przestrzeni świata gry. W związku z ograniczoną wielkością na ekranie gracza pokazuje ona najważniejsze strategiczne elementy, takie jak budynki czy jednostki, które są oznaczone kolorowymi symbolami. Dodatkowo bardzo często na minimapach pokazywana jest mgła wojny.[[23]](#footnote-23)

**[screen interfejsu z minimapa, na ktorej widac wybudowane budynki i pare jednostek]**

W naszym prototypie minimapa jest teksturą renderowaną w czasie rzeczywistym z ortograficznej kamery, znajdującej się nad sceną. Generowany przez nią co klatkę obraz jest zapisywany w projekcie *Unity* jako tekstura MinimapRenderTexture. Następnie jest ona nakładana na element GUI, aby ją móc wyświetić.

Bardzo istotną rzeczą przy jej tworzeniu był fakt, żeby widać na niej było tylko konkretne obiekty gry. W *Unity* można to osiągnąć ustawiając pożądane obiekty gry na odpowiednich warstwach sceny i określając które z tych warstw mają być renderowane przez kamerę. W naszym przypadku chcemy renderować:

* planszę gry,
* symbole strategicznych elementów – tak zwane markery,
* mgłę wojny.

Komponent Camera na obiekcie gry *MinimapCamera* jest zatem skonfigurowany tak, by kamera renderowała jedynie warstwy: *Minimap* (na której znajdują się markery), *MinimapFogOfWar* (czyli płaszczyznę mgły wojny do minimapy) oraz *Enviro* (czyli teren). Do tworzenia markerów w czasie trwania rozgrywki napisana została metoda InitializeMinimapMarker() w klasie MapElement. Korzysta ona z wirtualnej funkcji GetMarkerImage(), by określić wygląd markera. Wersje tych funkcji w klasach potomnych zachowują się różnie dla różnych rodzajów elementu mapy. Building zwraca okrągły symbol, a Unit — kwadratowy. Dla obu tych typów tekstura markera jest ma kolor armii elementu mapy (niebieski albo czerwony). Jeśli armia nie jest przypisana, barwa markera będzie biała. Resource natomiast zwraca zawsze żółty, kwadratowy symbol. Dzięki temu markery jednoznacznie określają rodzaj i przynależność elementu mapy.

void InitializeMinimapMarker()

{

var markerImage = GetMarkerImage();

if (markerImage == null) return;

var markerPrefab = Globals.Prefabs.marker;

var marker = Instantiate(markerPrefab);

var sr = marker.GetComponent<SpriteRenderer>();

sr.sprite = markerImage;

marker.transform.localScale \*= Mathf.Max(Shape.Width, Shape.Height);

var pos = marker.transform.localPosition;

pos.y = GetMarkerHeight();

marker.transform.localPosition = pos;

marker.transform.SetParent(this.gameObject.transform, false);

}

Fragment kodu 15: Metoda MapElement.InitializeMinimapMarker()

Aby zdeterminować, odległość markera od kamery (a więc wzajemne zasłanianie się markerów) stosowana jest (również wirtualna) funkcja GetMarkerHeight(). Jest to zaprogramowane tak, by jednostki zasłaniały zasoby, które z kolei przykrywać będą budynki. Z reguły nie powinno do tego dochodzić, gdyż nie może być dwóch elementów mapy na tym samym polu. Jednak w innym ustawieniu markery budynków mogłyby zasłaniać inne. Budynek może zajmować więcej niż jedno pole i mieć niekwadratowe wymiary natomiast jego marker zaś zawsze będzie okręgiem — większym bądź mniejszym.

Renderowanie mgły wojny na minimapie jest realizowane dzięki skryptowi *MinimapFog*. Klasa MinimapFog w funkcji Update() kopiuje teksturę z VisualFog i nakłada ją na własną płaszczyznę na warstwie *MinimapFogOfWar* (wyświetlanej tylko przez kamerę minimapy). ~~Dzięki temu została zachowana optymalizacja gry oraz uniknęliśmy nakładania się na siebie dwóch identycznych elementów, co powodowało widoczne błędy w grze.~~ W ten sposób obydwie płaszczyzny minimapy korzystają z tej samej tekstury.

public class MinimapFog : MonoBehaviour

{

public VisualFog visualFog;

void Update()

{

GetComponent<Renderer>().material.mainTexture =

visualFog.GetComponent<Renderer>().material.mainTexture;

}

}

Fragment kodu 16: Ciało klasy MinimapFog

# Kreacja graficzna prototypu

Każda gra oprócz części programistycznej składa się również z kreacji graficznej, która nie tylko ułatwia korzystanie z niej, ale także nadaje walorów estetycznych. Ważną rolę odgrywa zarówno interfejs gracza, jak i trójwymiarowe modele czy efekty specjalne wewnątrz gry.

## Grafika dwuwymiarowa

Na grafikę dwuwymiarową stworzoną w naszym prototypie składa się wiele powiązanych ze sobą elementów, takich jak:

* własny wygląd kursora myszy wewnątrz prototypu,
* interfejs głównego menu gry,
* interfejs gracza oraz jego elementy widoczne podczas rozgrywki.

### Kursor myszy

Poza tym ta klasa nie odpowiada wcale za wygląd kursora, ale za jego przemieszczanie. Pomimo małej wagi jednym z podstawowych walorów estetycznych jest wygląd kursora myszy. Prawie każda gra posiada zaprojektowany kontroler w celu lepszego dopasowania do klimatu rozgrywki. W naszym prototypie za wygląd kursora jest odpowiedzialna klasa CursorController, która odpowiada za wyświetlenie stworzonego przez nas obrazka we właściwym miejscu. Wewnątrz niej znajdują się funkcja Start() oraz Update(). Pierwsza z nich odpowiada za wyświetlanie kursora, natomiast druga ma za zadanie ustalenie jego położenia przy każdym odświeżeniu klatki, dzięki czemu jego pozycja jest na bieżąco aktualizowana.

namespace MechWars.PlayerInput

{

public class CursorController : MonoBehaviour

{

void Start()

{

Cursor.visible = false;

}

void Update()

{

var pos = Globals.Spectator.InputController.Mouse.Position;

var cursor = gameObject;

var rt = cursor.GetComponent<RectTransform>();

rt.position = pos;

}

}

}

Fragment kodu 1: Ciało klasy CursorController

### Porównanie budowy interfejsów gracza

W związku z obowiązującym aktualnie trendem flat designu postanowiliśmy wykorzystać go w naszej pracy. Mimo iż nie jest on popularny w grach RTS, wygląda czysto i schludnie, a jego główną cechą jest minimalizm oraz prostota.

Kodzenie głównego menu [stary typ kodzenia]

Kodzenie interfejsu [nowy typ kodzenia]

## 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]. [skrypt na rozpoczęcie generowania particli dopiero po zakonczonej budowie budynku]. Dodatkowo jest dopasowywanie się muru [skrypt].

# Zaprogramowanie sztucznej inteligencji

Z teoretycznego punktu widzenia gra RTS znacznie różnie się od tradycyjnej gry planszowej, takiej jak szachy. Głównymi różnicami są:

* RTS posiada równoczesność ruchów — wielu graczy może wykonywaćakcje w tym samym czasie.
* Akcje w grze RTS trwają pewien czas — nie wykonują się w jednym momencie.
* Każdy gracz ma bardzo niewielki czas na decyzję o następnych ruchach — gra wykonująca się w tempie 24 klatek na sekundę oznacza, że gracz może działać nawet co około 42 ms, zanim stan gry ulegnie zmianie.
* Stan rozgrywki poprzez mechanizm mgły wojny jest tylko częściowo widoczny.
* Wreszcie, złożoność tych gier zarówno pod względem rozmiaru przestrzeni stanów jak i liczby akcji możliwych do podjęcia w każdym cyklu decyzyjnym jest olbrzymia. Przykładowo przestrzeń stanów szachów jest estymowana na około 1050, pokera *Texas Hold’em* w odmianie *no limit* — około 1080, a *Go* — około 10170. W porównaniu do tego, przestrzeń stanów w grze *StarCraft* dla typowej mapy jest szacowana na wiele rzędów wielkości większą.

Z tych powodów standardowe techniki sztucznej inteligencji w grach, takie jak przeszukiwanie drzew rozwiązań, nie mają zastosowania w grach RTS — przynajmniej nie bez zdefiniowania pewnego poziomu abstrakcji lub innego uproszczenia.[[24]](#footnote-24)

Aby sztuczna inteligencja była kompletna (czyli mogła pełnoprawnie symulować gracza ludzkiego) koniecznym jest, by sprostała szeregowi wyzwań. Po zanalizowaniu tematu sformułowaliśmy te wyzwania i możliwe ich rozwiązania.

Okazuje się, że AI musi spełniać szereg zachowań prowadzących do zwycięstwa. Są to zarówno zachowania ekonomiczne, takie jak zbieranie zasobów, wznoszenie budynków, produkcja jednostek oraz odkrywanie technologii, jak i zachowania taktyczne: zwiady, tworzenie obrony, przewidywanie ataków wroga i wybieranie mniej uczęszczanych przez niego ścieżek. Sztuczna inteligencja powinna synchronizować własne ataki, obsadzać jednostkami miejsca o walorze strategicznym, tworzyć zasadzki i priorytetyzować cele ataku.

Przytoczone zachowania są bardzo różnorodne. AI musi wykonywać wiele odmiennych zadań w jednym momencie. Oprócz tego zadania te mogą być wysokiego poziomu (np. decyzja o kolejności w jakiej będą opracowywane technologie) jak i niskiego poziomu (np. sterowanie pojedynczą jednostką). Potrzebny jest system który umożliwi takie wieloaspektowe i wielopoziomowe sterowanie armią.

Sztuczna inteligencja nie potrafi w prosty sposób przetwarzać informacji na temat planszy, gdy zapisane są po prostu w postaci dwuwymiarowej tablicy pól. Konieczne jest stworzenie struktur danych, które grupują kratki mapy w obszary o pewnym konkretnym znaczeniu dla AI — na przykład regiony o wysokiej koncentracji zasobów, albo terytorium wrogiej bazy.

Podobnie sztuczna inteligencja może mieć problem, by rozróżnić jednostki między sobą ze względu na funkcje i to, do czego się nadają, bazując wyłącznie na ich statystykach i przypisanych akcjach rozkazów. To samo tyczy się sposobów na wytworzenie budynków, jednostek lub odkrycie technologii, które znajdują się głębiej w drzewku technologicznym. Powinien zatem istnieć jakiś mechanizm informujący o tym, do czego służy dany typ jednostki, lub budynku oraz jakie uprzednie czynności są niezbędne, by móc stworzyć jego reprezentanta.

Ponieważ informacja o planszy jest ograniczona przez mgłę wojny, sztuczna inteligencja musi w czasie rzeczywistym gromadzić wiedzę i dane statystyczne, aby mogła podejmować rozsądne decyzje. Należy więc stworzyć jakieś repozytorium, w którym wiedza ta będzie składowana.

Z powodu ograniczeń czasowych zaimplementowano niewiele wspomnianych wcześniej zachowań. Głównie skupiono się na zbieraniu zasobów oraz zwiadach w ich poszukiwaniu. Jednak zaprezentowane w następnych rozdziałach rozwiązania omówionych powyżej wyzwań stanowią solidny fundament do zaprogramowania algorytmów radzących sobie z bardziej złożonymi problemami.

## Mechanizmy pomocnicze

## Regiony

Pomysł na grupowanie pól planszy w większe obszary mające pewne znaczenie został zaczerpnięty z książki *Perełki programowania gier*.[[25]](#footnote-25) Opisuje ona konieczność stworzenia mechanizmu, dzięki któremu AI będzie w stanie rozumieć, że zbiór blisko położonych budynków jednej armii stanowi jej bazę, duże skupiska pól oddzielone od siebie wodą to kontynenty, a kratki położone wysoko są wzniesieniami. Dzięki temu sztuczna inteligencja jest w stanie np. lepiej oceniać taktyczne znaczenie odpowiednich rejonów planszy. Oczywiście w prototypie **MechWars** nie ma wody ani wysokości terenu, jednak wciąż istnieje przypadek z bazą oraz, co ważniejsze, z zasobami. Łatwiej AI jest zarządzać regionami o wysokiej koncentracji surowca, niż pojedynczymi polami z zasobem.

Klasa Region, realizująca funkcjonalność obszarów, została zaimplementowana na zasadzie czegoś, co książka określa jako „kontener pojemnika pudełka od zapałek”.[[26]](#footnote-26) Mówiąc zwięźle, jest to podwójna lista list przedziałów. Rysunek poglądowy (Rysunek 3) wyjaśnia to zawiłe pojęcie.

Rysunek 3: Szkic poglądowy struktury danych Region



Każdy przedział, to dwie liczby całkowite: współrzędne Y początku i końca przedziału. Jest on reprezentowany w projekcie przez klasę RegionStripPart.

Klasa RegionStrip — pasek regionu — opakowuje wewnętrzną listę przedziałów. Jest to sposób na przechowywanie całego pionowego wycinka regionu. Przedziały na tej liście są rozłączne i posortowane w kolejności rosnącej. Jeśli do obiektu RegionStrip dodanie zostanie pole nie sąsiadujące z żadnym przedziałem, tworzony jest dla niego nowy przedział. Jeśli jednak współrzędna Y pola różni się o 1 od początku lub końca któregoś przedziału, ów przedział jest rozszerzany. Jeśli w wyniku tego rozszerzenia przedziały zaczynają sąsiadować, są łączone w jeden większy. Usuwanie działa analogicznie — rozdziela przedziały na mniejsze, zawęża je i usuwa, jeśli zawierają tylko jedno pole.

Wreszcie klasa Region posiada dwie listy list przedziałów — czyli dwie listy obiektów RegionStrip. Listy są dwie (leftList i rightList), gdyż obszar ma pewien środek i może być rozszerzany w obie strony na osi X. Środek ten wyznaczany jest przez liczbę całkowitą offset. Paski regionu są poukładane w kolejności współrzędnych osi X. Jeśli dla którejś współrzędnej poziomej brakuje w regionie pól, w odpowiednim miejscu listy znajduje się pusty RegionStrip. Kolekcja pionowych pasków jest automatycznie dostosowywana tak, by prawa lista miała przynamniej jeden element, oraz by na obydwu listach ostatni element nie był pustym paskiem. Wyjątkami są dwie sytuacje: lewa lista jest pusta, oraz obie listy są puste.

Organizacja tej struktury danych w taki sposób służy przede wszystkim oszczędności pamięciowej. Tablica dwuwymiarowa zmiennych bool dla każdego regionu zajmuje znacznie więcej miejsca, niż tablica początków i końców przedziałów.

Klasa Region udostępnia funkcje do jej obsługi operujące na współrzędnych mapy: AddTile (dodająca pole do regionu), RemoveTile (usuwająca pole z regionu) oraz IsInside (sprawdzająca czy pole należy do regionu). Ukrywane są w ten sposób zawiłe przeliczenia związane z liczbą offset określeniem który przedział w którym pasku należy poszerzyć, zawęzić bądź sprawdzić.

Region udostępnia też właściwości Width, Left i Right do określenia poziomych wymiarów i granic obszaru, jak również metody CalculateVerticalStart() i CalculateVerticalEnd() wyliczające granice pionowe. Natomiast właściwość AllTiles zwraca obiekt typu IEnumerable<IVector2> pozwalający przeiterować po wszystkich polach regionu.

Klasa Region jednak nie stanowi całości mechanizmu regionów. Obszary zaprogramowane w powyższy sposób wciąż są rozumiane z zewnątrz jako zbiór pól. Znacznie łatwiej by było natomiast operować na nich jak na figurach geometrycznych, dlatego dążono do stworzenia tzw. otoczki wypukłej — minimalnego wielokąta wypukłego opisanego na regionie.

Etapem pośrednim do stworzenia wielokąta wypukłego jest RegionHull. Obiekt tej klast stanowi najmniejszy wielokąt niewypukły opisujący region, na bazie którego jest tworzony. W swoim konstruktorze iteruje on po wszystkich polach regionu i te, które leżą na brzegu obszaru (brakuje im przynajmniej jednego z sąsiadów w poziomie lub w pionie) dodaje ich współrzędne do listy punktów brzegowych. Po wykonaniu tego działania na liście znajdować się będą redundantne punkty: np. może wystąpić seria przynajmniej trzech sąsiednich punktów o tej samej współrzędnej Y. Nie ma to jednak znaczenia, gdyż RegionHull jest jedynie półproduktem służącym masowej redukcji liczby punktów, zanim zostanie wygenerowana otoczka wypukła.

Docelowym obiektem, jaki chcemy otrzymać jest RegionConvexHull. Stosuje on algorytm Grahama, który odrzuca zbędne punkty i ustawia pozostałe w kolejności, w jakiej są połączone ścianami wielokąta. Pierwszym krokiem algorytmu jest wybranie wierzchołka o minimalnej współrzędnej Y, a jeśli takich jest kilka, to z nich: o minimalnej współrzędnej X. Następnie punkty sortowane są rosnąco według kąta, jaki tworzą z wyróżnionym wierzchołkiem — w efekcie ułożone są w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara. Później algorytm wrzuca kolejne punkty na stos, sprawdzając trzy z jego szczytu. Jeśli tworzą one skręt w prawo (liczony jest znak iloczynu wektorowego), lub nie tworzą skrętu w ogóle, środkowy punkt jest odrzucany i test jest powtarzany. Algorytm wrzuca następny punkt dopiero, kiedy trójka wierzchołków zakręca w lewo. Gdy skończą się punkty w liście RegionHull, algorytm dobiega końca: wszystkie wierzchołki otoczki wypukłej znajdują się na stosie we właściwej kolejności.

Posiadanie regionu zapisanego w postaci wielokąta wypukłego pozwala na wprowadzenie kilku użytecznych funkcji. Właściwość Center posiada obliczony środek masy wielokąta. Metoda Contains() sprawdza, czy zadane współrzędne zawiera się w wielokącie. Funkcja GetDistanceTo() pozwala poznać odległość od określonego punktu do granicy wielokąta. Wreszcie GetPointClosestTo() zwraca współrzędne na brzegu wielokąta będące najbliżej zadanego punktu.

Obiekty Region, RegionHull oraz RegionConvexHull są zagregowane w jednym obiekcie typu RegionBatch

### Rodzaje elementów mapy

### Metody tworzenia

## System wieloagentowy

Idea systemu wieloagentowego została zaczerpnięta z książki *Programming Game AI by Example*[[27]](#footnote-27). Stanowi ona rozwiązanie problemu, jakim jest wieloaspektowość i wielopoziomowość sterowania armią. Przedstawiony tam system został jednak mocno zmodyfikowany na potrzeby projektu.

Głównym założeniem takiego systemu jest istnienie agentów — czyli autonomicznych obiektów realizujących własne zadania i zdolnych do komunikowania się między sobą. W książce system wieloagentowy omawiany jest na najczęstszym przykładzie jego użycia — gdy każdy agent zarządza pojedynczym obiektem gry. W przypadku prototypu **MechWars** również istnieją takie agenty (UnitAgent zarządzający jednostką), jednak główne zastosowanie mają agenty stanowiące pewną abstrakcję i zarządzające osobnymi aspektami sterowania armią. Istnieją zatem:

* KnowledgeAgent, który gromadzi wiedzę (i rozwiązuje w ten sposób drugi z opisanych problemów),
* ReconAgent odpowiedzialny za zwiady,
* ConstructionAgent rozbudowujący bazę,
* ProductionAgent tworzący nowe jednostki,
* ResourceCollectorAgent, którego zadaniem jest zbieranie zasobów,
* MainAgent, który tworzy wszystkie powyższe agenty i trzyma ich referencje.

Poza tym książka opisuje dla tych agentów implementację automatu skończonego (*FSM*), której tutaj nie zrealizowano. Zamiast tego zaczerpnięto z niej prosty system wiadomości służący do komunikacji między agentami. Dodano też mechanizm zadań, opisany w innym rozdziale książki.[[28]](#footnote-28)

### Gracz AI

Klasą zarządzającą wszystkimi agentami jest AIBrain. Ideowo stanowi on „mózg” sztucznej inteligencji, gdyż agreguje wszystkie jej aspekty i umożliwia dowolnemu agentowi publiczny dostęp do innych agentów. Jednocześnie z zewnątrz można patrzeć na obiekt tej klasy, jak na sterowanie gracza — czyli odpowiednika klasy Spectator po stronie AI.

AIBrain jest skryptem MonoBehaviour, którego publiczne pola to Player — gracz, którym AI steruje — oraz kilka parametrów określających zachowanie pewnych agentów w określonych sytuacjach. Parametry te opisane zostały w rozdziałach o agentach, które z nich korzystają.

Prywatne pola: zbiory agentów agents oraz agentsToAdd trzymają wszystkie obecnie istniejące agenty. Publiczna funkcja AddAgent() umożliwia dodawanie nowych agentów do zbioru tymczasowego, z którego zostają przeniesione do głównego w funkcji Update(). Agenty usuwane są również w tej funkcji, gdy tylko skończyły swoje zadanie, czyli ich właściwość Finished zwraca **true**. Natomiast dla agentów pozostających w działaniu wołana jest ich funkcja Start() (jeśli są nowo dodane) oraz Update() (za każdym razem).

Metoda AIBrain.Start() inicjalizuje właściwości i tworzy pierwszego agenta: MainAgent, który startuje wszystkie następne. Nie używa funkcji AddAgent() by dodać go do listy — każdy agent w swoim konstruktorze robi to sam.

Fragment kodu 17: Wybrane elementy klasy AIBrain

public Player player;

public float resourceRegionDistance = 2;

public TextAsset harvestingImportanceFunction;

public int reconRegionSize = 8;

public int coarseReconRegionPercentage = 90;

HashSet<Agent> agentsToAdd;

HashSet<Agent> agents;

public MainAgent MainAgent { get; private set; }

public FilteringMapProxy MapProxy { get; private set; }

void Start()

{

agentsToAdd = new HashSet<Agent>();

agents = new HashSet<Agent>();

MainAgent = new MainAgent(this);

MapProxy = new FilteringMapProxy(player.army);

InitializeResourceRegionDetectionShape();

}

void Update()

{

agents.UnionWith(agentsToAdd);

agentsToAdd.Clear();

foreach (var a in agents)

{

if (!a.Started) a.Start();

a.Update();

}

agents.RemoveWhere(a => a.Finished);

}

public void AddAgent(Agent agent)

{

agentsToAdd.Add(agent);

}

Spośród właściwości na uwagę zasługuje MapProxy. Zawiera ona obiekt klasy FilteringMapProxy, który pośredniczy w pozyskiwaniu informacji z klasy Map przez agentów. Uwzględnia on VisibilityTable armii sterowanej przez AI maskując działania jednostek i zmiany w strukturach znajdujących się poza polem widzenia. Można zatem powiedzieć, że symuluje dla sztucznej inteligencji mechanizm, który dla gracza ludzkiego istnieje w postaci wizualizacji mgły wojny.

### Klasa agenta

Klasa abstrakcyjna Agent jest dosyć złożona. Stanowi ona bazową klasę dla wszystkich agentów. Zajmuje się wykonywaniem zadań, przesyłaniem, logowaniem i odbieraniem wiadomości a także uruchamianiem akcji czasowych. Posiada więc prywatną kolejkę wiadomości (klasa Message), chronioną listę zadań (Goal) oraz słowniki z akcjami (ActionToPerform, ArgActionToPerform). Każdy agent ma szereg właściwości skracających dostęp do innych agentów (przechowywanych w obiekcie MainAgent), jak również gracza i MapProxy (trzymanych przez AIBrain). Ponadto istnieją tu właściwości mówiące czy agent już rozpoczął swoje działanie oraz czy je zakończył, jak również takie, które pozwalające pobrać informacje o obecnym zadaniu.

Konstruktor każdego agenta automatycznie dodaje go do zbioru agentów w AIBrain. Publiczna metoda GiveGoal() pozwala dać agentowi zadanie i określić jego ważność. Chronione funkcje SendMessage() (różniące się parametrami) tworzą nowy obiekt Message, kolejkują go i zapisują do logu. Wszystkie wysyłane wiadomości są zawsze logowane, dzięki czemu po wykonaniu przebiegu gry można obejrzeć plik tekstowy z informacjami na temat komunikacji między agentami. Nazwa tego pliku jest określona publicznym polem obiektu Globals: string aiMessageLogFileName. Metodą ReceiveMessage() klasy agentów potomnych mogą wyciągnąć wiadomość z kolejki, jeśli jakaś tam jest, by móc na nią zareagować.

Dwie metody o nazwie PerformEvery() stanowią mechanizm do wykonywania powtarzalnych czynności, które nie muszą wykonywać się co każdy cykl aktualizacji gry. Służą więc do wywoływania określonych funkcji co zadany w sekundach interwał.[[29]](#footnote-29) Dla przekazanej w parametrze akcji (delegatu System.Action, lub System.Action<object>) tworzony jest obiekt z tą akcją i informacjami o czasie jej wykonania (odpowiednio: ActionToPerform, lub ArgActionToPerform) i dodawany do odpowiedniego słownika. Jednakże gdy taka akcja znajduje się już w słowniku, metoda PerformEvery() jedynie aktualizuje jej czas wykonania i, jeśli interwał został przekroczony, zeruje czas i uruchamia ją. Informacja o zwiększeniu czasu jest zapisywana i resetowana dopiero podczas aktualizacji pętli gry, dzięki czemu nie da się jej wykonać dwukrotnie w czasie jednej aktualizacji (co byłoby błędem). Owo okresowe wywoływanie czynności można zatrzymać korzystając z odpowiedniej z dwóch bliźniaczych funkcji StopPerform().

Agenty posiadają publiczne funkcje Start() i Update() wywoływane przez AIBrain w celu ich inicjalizacji i aktualizacji. Równolegle istnieją uruchamiane przez nie odpowiednio wirtualne, chronione metody OnStart() i OnUpdate(). Dzięki nim możliwa jest personalizacja agentów pod ich cele. Dodatkowo Start() sprawdza, czy AIBrain ma przypisanego gracza z armią i ustawia flagę Started, a Update() zajmuje się resetowaniem informacji o aktualizacji czasu akcji czasowych oraz obsługą zadań agenta.

Metoda Finish() ustawia flagę Finished. Spowoduje to usunięcie agenta ze zbioru w AIBrain, po zakończeniu cyklu aktualizacji agentów.

Fragment kodu 18: Wybrane fragmenty klasy Agent

Queue<Message> messages;

protected List<Goal> Goals { get; private set; }

Dictionary<System.Action, ActionToPerform> actionsToPerform;

Dictionary<System.Action<object>, ArgActionToPerform> argActionsToPerform;

public bool Started { get; private set; }

public bool Finished { get; private set; }

public void Start()

{

CheckForArmy();

OnStart();

Started = true;

}

protected virtual void OnStart()

{

}

public void Update()

{

CheckForArmy();

ResetActionsIncrements();

OnUpdate();

if (!Goals.Empty())

{

var goal = Goals.First();

if (goal.State == GoalState.BrandNew)

goal.Start();

if (goal.State == GoalState.Started)

goal.Update();

if (goal.InFinalState)

Goals.RemoveFirst();

}

}

protected virtual void OnUpdate()

{

}

# 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)
9. Szczegółowo sztuczna inteligencja została opisana w rozdziale 4: Zaprogramowanie sztucznej inteligencji, str. X [↑](#footnote-ref-9)
10. Klasę QuadTree opisano w rozdziale 3.3.2: Klasy drzewa czwórkowego, str. X [↑](#footnote-ref-10)
11. *http://www.gamedev.net/topic/489276-generating-line-of-sight-in-tile-based-rts/* [↑](#footnote-ref-11)
12. Funkcja ta została opisana szerzej w rozdziale 3.7: Podsystem GUI, str. X [↑](#footnote-ref-12)
13. Przykład pliku XML ze statystykami pokazany jest w rozdziale 3.4.2: Statystyki, str. X [↑](#footnote-ref-13)
14. Patrz: Fragment kodu 11 [↑](#footnote-ref-14)
15. Nie: „konfigurowane”. To, czy są konfigurowalne, czy nie, zależy od tego, czy klasa potomna do OrderAction zawiera jakieś publiczne pola. [↑](#footnote-ref-15)
16. Nie: „publiczną metodę”. Są dwie metody o tej samej nazwie i różnych parametrach. [↑](#footnote-ref-16)
17. Często są używane, by uchronić się przed wyjątkiem IndexOutOfBoundsException [↑](#footnote-ref-17)
18. *Perełki programowania gier*, tom 2, rozdział 3.5 [↑](#footnote-ref-18)
19. W książce zwana jest ona „mapą widoczności”. [↑](#footnote-ref-19)
20. Książka określa je jako „miraże” [↑](#footnote-ref-20)
21. Więcej na temat klasy MinimapFog napisano w rozdziale 3.7.X: Wygląd minimapy, str X [↑](#footnote-ref-21)
22. *http://en.wikipedia.org/wiki/A\*\_search\_algorithm* [↑](#footnote-ref-22)
23. E. Adams, Fundamentals of Game Design, New Riders, 2014, s. 284, tłumaczenie własne [↑](#footnote-ref-23)
24. *http://webdocs.cs.ualberta.ca/~cdavid/pdf/ecgg15\_chapter-rts\_ai.pdf* [↑](#footnote-ref-24)
25. *Perełki programowania gier*, tom X, rozdział X, autor X, strona X [↑](#footnote-ref-25)
26. sic… -.-' [↑](#footnote-ref-26)
27. *Programming Game AI by Example*, Mat Buckland, chapter 2 [↑](#footnote-ref-27)
28. *Programming Game AI by Example*, Mat Buckland, chapter 9 [↑](#footnote-ref-28)
29. Motywem dla tej funkcjonalności jest oczywiście wydajność. [↑](#footnote-ref-29)