

**Uniwersytet Warszawski**  
Wydział Matematyki, Informatyki i Mechaniki

**Jakub Tlałka**

Nr albumu: 292665

# **Implementacja systemu AI-Arena**

Praca licencjacka  
na kierunku INFORMATYKA

Praca wykonana pod kierunkiem  
**dra. Janusza Jabłonowskiego**  
Wydział Matematyki Informatyki i Mechaniki

Maj 2012

## **Oświadczenie kierującego pracą**

Potwierdzam, że niniejsza praca została przygotowana pod moim kierunkiem i kwalifikuje się do przedstawienia jej w postępowaniu o nadanie tytułu zawodowego.

Data

Podpis kierującego pracą

## **Oświadczenie autora (autorów) pracy**

Świadom odpowiedzialności prawnej oświadczam, że niniejsza praca dyplomowa została napisana przeze mnie samodzielnie i nie zawiera treści uzyskanych w sposób niezgodny z obowiązującymi przepisami.

Oświadczam również, że przedstawiona praca nie była wcześniej przedmiotem procedur związanych z uzyskaniem tytułu zawodowego w wyższej uczelni.

Oświadczam ponadto, że niniejsza wersja pracy jest identyczna z załączoną wersją elektroniczną.

Data

Podpis autora (autorów) pracy

## **Streszczenie**

W pracy przedstawiono implementację systemu AI-Arena służącego do przeprowadzania rozgrywek i turniejów pomiędzy programami komputerowymi. Programy rywalizują ze sobą w wybranych grach, przeliczając i wykonując zagrania zgodnie z algorytmami sztucznej inteligencji. System ma, w zamierzeniu twórców, służyć osobom zainteresowanym sztuczną inteligencją do sprawdzenia swoich umiejętności lub jako pomoc przy badaniach nad tą dziedziną nauki.

## **Słowa kluczowe**

programy walczące, arena, sztuczna inteligencja

## **Dziedzina pracy (kody wg programu Socrates-Erasmus)**

11.3 Informatyka

## **Klasyfikacja tematyczna**

D. Software  
D.0. General

## **Tytuł pracy w języku angielskim**

Implementation of AI-Arena system



# Spis treści

|   |    |
|---|----|
| <b>1. Wprowadzenie</b>                    | 5  |
| <b>2. Metodologia Pracy</b>               | 7  |
| <b>3. Wymagania projektowe</b>            | 9  |
| 3.1. Rozpoznanie problemu                 | 9  |
| 3.2. Grupa docelowa                       | 9  |
| <b>4. Podstawowe pojęcia</b>              | 11 |
| 4.1. Gra                                  | 11 |
| 4.2. Konkurs                              | 11 |
| 4.3. Program Walczący - Bot               | 11 |
| 4.4. Sędzia                               | 12 |
| 4.5. Reguły                               | 12 |
| 4.6. Mecz/Rozgrywka                       | 12 |
| 4.7. Nadzorca                             | 12 |
| 4.8. Gearman                              | 12 |
| <b>5. Zastosowania w nauce i biznesie</b> | 13 |
| <b>6. Podobne platformy</b>               | 15 |
| 6.1. Top Coder                            | 15 |
| 6.2. AI Challenge                         | 15 |
| 6.3. SIO                                  | 16 |
| 6.4. SPOJ                                 | 16 |
| 6.5. MAIN                                 | 17 |
| 6.6. Porównanie serwisów                  | 17 |
| <b>7. Architektura systemu</b>            | 19 |
| 7.1. Schemat Architektury                 | 19 |
| 7.2. Rozgrywka                            | 19 |
| 7.3. Scheduler                            | 21 |
| 7.4. Serwis webowy                        | 22 |
| 7.5. Baza danych                          | 22 |
| 7.6. Testowanie                           | 24 |
| <b>8. Decyzje technologiczne</b>          | 25 |
| 8.1. Django                               | 25 |
| 8.2. Nadzorca                             | 26 |

|  |           |
|--|-----------|
| 8.3. Bepieczeństwo Systemu . . . . .                             | 27        |
| <b>9. Dokumentacja użytkowa . . . . .</b>                        | <b>31</b> |
| 9.1. Przypadki użycia systemu . . . . .                          | 31        |
| 9.1.1. Z udziałem użytkownika niezalogowanego (Gościa) . . . . . | 31        |
| 9.1.2. Z udziałem użytkownika zalogowanego . . . . .             | 32        |
| 9.1.3. Z udziałem moderatora konkursu lub gry . . . . .          | 36        |
| <b>10. Harmonogram prac . . . . .</b>                            | <b>39</b> |
| <b>11. Przyszłość projektu . . . . .</b>                         | <b>43</b> |
| <b>12. Podział prac . . . . .</b>                                | <b>45</b> |
| 12.1. Jakub Tlałka . . . . .                                     | 45        |
| 12.2. Michał Kawiak . . . . .                                    | 46        |
| 12.3. Szymon Majewski . . . . .                                  | 47        |
| 12.4. Karol Żebrowski . . . . .                                  | 47        |
| <b>13. Podsumowanie . . . . .</b>                                | <b>49</b> |
| <b>14. Spis płyty . . . . .</b>                                  | <b>51</b> |
| <b>A. Przykładowe gry . . . . .</b>                              | <b>53</b> |
| A.1. Szachy . . . . .  | 53        |
| A.2. Poker . . . . .   | 53        |
| A.3. Gra giełdowa . . . . .                                      | 53        |
| A.4. Gra w wybory . . . . .                                      | 53        |
| <b>B. Przykładowy Sędzia, Bot i opis protokołu . . . . .</b>     | <b>55</b> |
| B.1. Opis protokołu komunikacji . . . . .                        | 55        |
| <b>Bibliografia . . . . .</b>                                    | <b>57</b> |

# Rozdział 1

## Wprowadzenie

Serwis AI-Arena jest uniwersalną platformą przeznaczoną do organizowania konkursów algorytmicznych, których domeną jest sztuczna inteligencja, w szczególności jej dział, poświęcony inteligentnym programom walczącym. AI-Arena pozwala również na przeprowadzanie zawodów w stylu ACM, co sprawia, że oferuje dużą elastyczność wyboru rodzaju konkursu.

Od kilkudziesięciu lat odbywają się zawody, mające na celu wyłonienie programów najlepiej grających w popularne gry takie jak szachy czy warcaby. AI-Arena pozwala w łatwy sposób organizować takie konkursy. Szczególnie interesujące jest jego zastosowanie w nauce i w biznesie, ze względu na rosnące zapotrzebowanie na inteligentne programy rozwiązujące problemy w warunkach rywalizacji, jak np. giełda. Twórcy liczą na to, że wraz ze wzrostem jego popularności, AI-Arena skupi społeczność osób zafascynowanych dziedziną sztucznej inteligencji i przyczyni się do rozwoju tej gałęzi nauki.

Projekt jest udostępniony w serwisie Github na prawach otwartej licencji OpenGPL. Każda osoba chętna do pomocy przy jego rozwoju może uzyskać prawa zapisu i samodzielnie usprawniać jego działanie.





## Rozdział 2

# Metodologia Pracy

Aby usprawnić proces tworzenia systemu AI-Arena, autorzy postanowili na początku prac nad systemem wybrać odpowiednią do potrzeb metodologię pracy. Początkowo rozważane były następujące metodologie: Agile Uniformed Process, Extreme Programming, Scrum. Przy dokonywaniu wyboru kierowano się następującymi kryteriami:

- Ze względu na przebieg prac w małym zespole (czterooosobowym) wybrana metodyka powinna być metodyką lekką.
- Jako podstawową jednostkę pracy przyjęto tygodniowe iteracje z uwagi na cotygodniowe spotkania na proseminarium.
- Ważne było aby każdy z członków mógł samodzielnie podjąć decyzję o ilości pracy jaką wykona w najbliższym tygodniu, gdyż w trakcie tworzenia projektu wszyscy członkowie kontynuowali studia i musieli wypełniać związane z tym obowiązki,
- Istotna była możliwość pracy w dogodnych dla siebie godzinach, niezależnie od pozostałych członków zespołu, zatem praca nad projektem miała przebiegać w sposób rozproszony.
- Wybrana metodyka powinna ponadto pozwalać na łatwe śledzenie zmian w projekcie, oraz ułatwiać zapewnianie kontroli jakości.

Żadna z początkowo rozważanych metodologii nie spełniała wszystkich powyższych wymagań. Zdecydowano się na własne rozwiązanie, inspirowane metodologią Scrum. Jest metodologią typu lekkiego, która okres pracy na krótsze podokresy zwane sprintami. Podczas każdego takiego sprintu, trwającego około kilku tygodni, realizowana jest pewna część funkcjonalności.

Ponieważ zajęcia z przedmiotu ZPP odbywały się cotygodniowo, zdecydowano się przyjąć tydzień między zajęciami jako odpowiednik sprintu. Podczas zajęć, ustalany był zakres pracy przydzielony poszczególnym osobom na przyszły tydzień, oraz weryfikowana była praca wykonana w tygodniu poprzednim. Prowadzący zgłaszał uwagi do niektórych funkcjonalności, dyskutowane były również dokumenty powstające przy okazji pracy nad projektem, przede wszystkim niniejsza praca licencjacka. Zapis przebiegu zajęć wraz z celami na przyszły tydzień, nazywany minutkami, był przechowywany w systemie Google Documents, tak by każdy z członków zespołu oraz prowadzący zajęcia posiadał do niego dostęp.

Dodatkowo organizowane były spotkania samego zespołu. Odbywały się one również raz w tygodniu i miały na celu kontrolowanie przebiegu prac i zadbanie o to by zostały wykonane zaplanowane zadania. Spotkania odbywały się w budynku Wydziału Matematyki Informatyki i Mechaniki UW, bądź jako konferencje video z wykorzystaniem technologii Google Hangouts lub Skype. Ich przebieg nadzorował Lider Projektu, który był odpowiedzialny również za realizowanie założeń przyjętej metodologii pracy.

Podział obowiązków między członków zespołu był wynikiem porozumienia między członkami i był zatwierdzany przez Lidera Projektu, a następnie przedstawiany prowadzącemu zajęcia.

Do bieżącej kontroli stanu projektu użyty został system Redmine umożliwiający tworzenie zadań i przydzielanie ich członkom zespołu. Tworzenie nowych zadań, a następnie ich uaktualnianie należało do obowiązków każdego członka zespołu. W trakcie trwania prac okazało się jednak, iż ilość czasu wymagana do koordynowania projektu za pomocą Redmine'a jest nieproporcjonalnie duża i podjęto decyzję o częściowym zarzuceniu korzystania z tego serwisu.

Kod projektu, oraz dokumenty takie jak praca licencjacka, zostały umieszczone w repozytorium Gita. Git to system kontroli wersji dbający o archiwizację kodu oraz koordynację równoległych zmian wszystkich członków zespołu. Repozytorium jest publiczne i dostępne online w serwisie GitHub. Wszystkie zmiany dokonywane przez członków zespołu są archiwizowane, tak by można je było odtworzyć. Możliwe jest również jednoczesne rozwijanie projektu w kilku niezależnych kierunkach, a następnie połączenie efektów pracy.

Z uwagi na niewielką liczebność zespołu zdecydowano się nie używać narzędzi wspomagających śledzenie zmian. Do obowiązków każdego członka zespołu należało upewnienie się, że po zmianach przez niego wprowadzonych projekt uruchamia się bez wystąpienia nowych problemów (regresji). W przypadku wystąpienia regresji mechanizmy kontroli wersji udostępniane przez system Git pozwoliłyby na odtworzenie starszej wersji projektu.

Częste spotkania projektowe umożliwiały członkom zespołu bieżące śledzenie aktualnych zmian. W czasie takich spotkań, każdy z członków relacjonował postęp prac, który następnie był weryfikowany przez Lidera Projektu, bądź też przez innego członka zespołu. Pozwoliło to na bieżąco wyznaczać priorytety poszczególnych zadań oraz kierunek rozwoju serwisu.

## Rozdział 3

# Wymagania projektowe

### 3.1. Rozpoznanie problemu

Sztuczna inteligencja jest bardzo popularną dziedziną informatyki. Znajduje zastosowania w kolejnych gałęziach tej nauki. Nic dziwnego, że coraz więcej programistów pragnie pogłębiać swoją wiedzę w tym zakresie. Potrzeba ta nie jest jednak w pełni zaspokojona. W Internecie istnieje wiele platform wspierających naukę algorytmiki (przede wszystkim popularne platformy przygotowujące do konkursów ACM), jednak nie ma żadnego odpowiednika platformy umożliwiającej naukę sztucznej inteligencji.

W odpowiedzi na tę potrzebę, autorzy zdecydowali się stworzyć serwis AI-Arena umożliwiający porównanie programów walczących. Program walczący można opisać jako program podejmujący decyzje w zmieniających się warunkach, rywalizujący z innymi programami według pewnych ściśle określonych zasad. Tworzenie efektywnych programów walczących jest częścią pracy nad rozwojem sztucznej inteligencji. Serwis AI-Arena ułatwia nie tylko rywalizację programistów, ale także wymianę ich doświadczeń z dotychczasowej pracy nad programami walczącymi.

### 3.2. Grupa docelowa

Jak wynika z dotychczasowego określenia problemu, grupę docelową stanowią programiści, którzy są zainteresowani tematem sztucznej inteligencji. Można się zatem spodziewać, że część tej grupy, zafascynowana również bezpieczeństwem systemów komputerowych, będzie chciała sprawdzić zabezpieczenia systemu. Należało więc ze zdwojonym wysiłkiem zapewnić szeroko rozumiane bezpieczeństwo.

Wygląd serwisu był również zdeterminowany przez charakter grupy docelowej. Autorzy zdecydowali, że powinien być przede wszystkim schludny i czytelny. Nie było potrzeby umieszczania efektownych animacji, bądź wystylizowanych obrazków, które spowolniłyby działanie strony i powodowały dezorientację użytkownika.



## Rozdział 4

# Podstawowe pojęcia

### 4.1. Gra

Gra oznacza pojedynczy obszar rywalizacji programów walczących na ściśle określonych zasadach. Zasady są opisane w dokumencie tekstowym zwanym Regułami, który powinien być publicznie dostępny. Na Grę składa się również program Sędziego, który jest implementacją tych Reguł. Gra może być jedno, bądź wieloosobowa. W przypadku jednoosobowej gry mamy do czynienia z rozwiązywaniem zagadnień algorytmicznych bez wprowadzania elementu rywalizacji z przeciwnikiem (problem algorytmiczny typu on-line). W warunkach serwisu AI-Arena graczami są programy komputerowe, nazywane Botami bądź Programami Walczącymi. Nie ma ograniczeń dotyczących tematyki Gry. Jedynym warunkiem jest to, by jej zasady dały się zapisać w postaci programu weryfikującego, zwanego Sędzią.

### 4.2. Konkurs

Konkurs może mieć określoną datę zakończenia, bądź być tak zwanym konkursem stałym, w którym nie ma ostatecznego terminu wysyłania rozwiązań. Dla każdego konkursu tworzony jest ranking, bądź drabinka rozgrywek. Określają one kolejność Botów, w szczególności zwycięzcę, bądź aktualnego lidera konkursu. W przypadku konkursu stałego istnieje ranking, który jest posortowany po sumie zdobytych przez Bota punktów w meczach, przy czym każdy Bot powinien mieć taką samą liczbę rozegranych meczy.

*Uwaga: W dalszej części pracy terminy Konkurs i Gra będą używane zamiennie. Choć formalnie są różnymi typami obiektów występują zwykle w podobnych kontekstach, więc utożsamienie ich ułatwi zachowanie przejrzystości.*

### 4.3. Program Walczący - Bot

Program napisany w jednym z obsługiwanych przez serwis języków programowania, musi być przypisany do konkretnej Gry dostępnej w serwisie. Uczestniczy w rozgrywkach (Meczach) z innymi botami przypisanymi do tej Gry. Ma za zadanie przetwarzać informacje o dotychczasowym przebiegu rozgrywki i produkować kolejne posunięcia, zgodne z regułami Gry.

## 4.4. Sędzia

Jest to program związany z daną Grą. Ma on za zadanie kontrolować przebieg Meczu, weryfikować zagrywki graczy, informować ich o aktualnym stanie, oraz ustalać wynik Meczu, zgodnie z zasadami związanymi z Grą, opisanymi w Regulach. Kod Sędziego jest publiczny i dostępny wszystkim osobom korzystającym z serwisu.

## 4.5. Reguły

Dokument udostępniany publicznie, opisujący zasady gry, oraz protokół formatu komunikatów przesyłanych między Botami a Sędzią. Powinien być zgodny z implementacją programu Sędziego, oraz zapewniać możliwość przeprowadzenia dowolnej rozgrywki w obrębie zasad Gry.

## 4.6. Mecz/Rozgrywka

Jest rozgrywany między Botami, w obrębie konkursu lub poza nim. Jego przebieg jest kontrolowany przez Sędziego. Za przesyłanie komunikatów między Botami a Sędzią oraz odebranie od Sędziego rezultatu meczu, odpowiedzialny jest Nadzorca.

## 4.7. Nadzorca

Program będący integralną częścią serwisu AI-Arena. Jego zadaniem jest uruchamianie programów Botów i Sędziego podczas Meczu, a następnie transportowanie między nimi komunikatów tekstowych zgodnych z ustalonym protokołem. Nadzorca odbiera wynik Meczu od Sędziego i przekazuje go do Gearmana (narzędzie używane do kolejkovania zadań) w celu zapisania rezultatu w bazie. Dodatkowo Nadzorca kontroluje czas i pamięć zużywaną przez Boty, tak by nie przekroczyły dozwolonych limitów. Informacje o ich zużyciu wraz z logiem rozgrywki generowanym przez Sędziego, Nadzorca zwraca do Gearmana.

## 4.8. Gearman

Zewnętrzne narzędzie kolejkovania zadań i transportu danych. W AI-Arena służy jako most między Nadzorcą, a Bazą danych. Kolejkuje Mecze do rozegrania, zleca ich rozegranie Nadzorcy, a następnie zapisuje do bazy przekazany przez Nadzorcę rezultat i dodatkowe informacje o przebiegu rozgrywki.

Strona projektu Gearman:

<http://gearman.org>

## Rozdział 5

# Zastosowania w nauce i biznesie

Zastosowania algorytmów Sztucznej Inteligencji sięgają prawie wszystkich obszarów nie tylko Internetu ale i codziennego życia. Serwis AI-Arena pomaga rozwijać gałąź tej nauki związaną z rywalizacją.

Najprostsze przykłady rywalizacji to oczywiście wszelkiego rodzaju gry i sporty. Obecnie komputery są w stanie wygrywać z człowiekiem w większości gier takich jak szachy, warcaby itp. Warto wspomnieć mecz szachowy mistrza świata Garriego Kasparowa z komputerem Deep Blue czy teleturniej Va Banque z udziałem komputera Watson - w obu przypadkach zwyciężyła sztuczna inteligencja ([http://www.benchmark.pl/aktualnosci/Superkomputer\\_IBM\\_wystapil\\_w\\_teleturnieju-32781.html](http://www.benchmark.pl/aktualnosci/Superkomputer_IBM_wystapil_w_teleturnieju-32781.html) - dane z 04/2012). Także gry komputerowe korzystają z coraz bardziej wyrafinowanej sztucznej inteligencji. Zaczęto doceniać znaczenie metod naukowych również w sporcie, w celu opracowania optymalnych strategii. Z powodzeniem wykorzystuje się komputer do badania statystyk w amerykańskiej lidze baseballowej (<http://research.sabr.org/journals/online/38-brj-1976/165-computers-in-baseball-analysis> - dane z 04/2012). Prawdopodobnie jest także kwestią czasu analizowanie gry wirtualnych zespołów kierowanych sztuczną inteligencją, a następnie wykorzystywanie obserwacji do poprawy gry prawdziwej drużyny.

Rywalizacja może być wykorzystana również jako metoda rozwiązywania problemów. Przykładem takiego podejścia są algorytmy genetyczne, w których najlepsze jednostki pozostają w obiegu, cały czas udoskonalając swoje podejście do rozwiązywania danego problemu.

Serwis AI-Arena może mieć duże zastosowanie w biznesie. Firmy nieustannie rywalizują między sobą w walce o klienta. Serwis umożliwia symulowanie takiej rywalizacji i dzięki temu odkrywanie skutecznych algorytmów sztucznej inteligencji, które będą podejmowały decyzje decydujące o sukcesie wykorzystującej je firmy. Można także symulować inwestowanie funduszy na przykład na giełdzie. Banki wykorzystują sztuczną inteligencję do organizacji operacji finansowych i zarządzania środkami. Sztuczna inteligencja odnosi już sukcesy w rywalizacji z ludźmi w symulacji obrotów finansowych (<http://news.bbc.co.uk/2/hi/business/1481339.stm> - dane z 04/2012).

Innym przykładem zastosowania AI-Arena są działania wojenne. Serwis może pomóc w szukaniu algorytmów, które będą potrafiły adaptować się do różnych warunków i w zależności od nich sugerować najlepsze strategie i taktyki w walce z przeciwnikiem.





## Rozdział 6

# Podobne platformy

Obecnie istnieje kilka serwisów internetowych podobnych do AI-Arena. Większość z nich jednak koncentruje się na przygotowaniu Użytkowników do konkursów w stylu ACM lub Olimpiad Informatycznych, jedynie nieliczne umożliwiają zmierzenie się z problemami trudnymi obliczeniowo, w których należy znaleźć odpowiednią heurystykę bądź przybliżenie rozwiązania optymalnego. Tematyka rozwoju sztucznej inteligencji i programów walczących również jest reprezentowana jedynie przez nieliczne platformy. Poniżej znajduje się porównanie kilku wybranych serwisów:

### 6.1. Top Coder

(<http://topcoder.com/tc>)

Bardzo popularny serwis organizujący różnego rodzaju konkursy programistyczne. Jednym z nich są tzw Marathon Matche, podczas których uczestnicy wysyłają programy, które starają się jak najlepiej rozwiązać dany problem, w którym nie istnieje rozwiązanie optymalne, bądź bardzo kosztowne jest znalezienie go. Uczestnicy próbują znaleźć odpowiednie heurystyki umożliwiające obliczenie dobrego przybliżenia rozwiązania wzorcowego w zadanym czasie.

Głównym założeniem serwisu TopCoder jest umożliwienie pracodawcom przetestowanie ewentualnych przyszłych pracowników, nawet jeszcze przed rozpoczęciem oficjalnej rekrutacji. Pozwala on na szybkie wyeliminowanie sporej liczby kandydatów, którzy okażą się nieefektywni w przyszłej pracy.

Użytkownicy serwisu mają zaś możliwość zmierzyć się z praktycznymi problemami, które często okazują się być trudne obliczeniowo. Mogą się więc nauczyć stosowania różnego rodzaju heurystyk czy też algorytmów probabilistycznych, co odróżnia platformę TopCoder od innych serwisów nastawionych konkretnie na przygotowanie do konkursów ACM.

### 6.2. AI Challenge

(<http://aichallenge.org>)

Serwis organizujący w sposób cykliczny zawody dla programów walczących, Typowo ok 2 konkursy rocznie. Każdy konkurs ma określony czas trwania i nie można w nim uczestniczyć

po jego zakończeniu.

Ciekawą stroną (niektórych) gier publikowanych na AI Challenge jest możliwość wizualnego śledzenia zmian. Pozwala to na łatwiejsze śledzenie zachowania programu walczącego jako całości i ewentualne usunięcie niedoskonałości sztucznej inteligencji. Poza tym generuje również ciekawe animacje obrazujące przebieg partii.

Do tej pory (maj 2012 r.) za pośrednictwem serwisu AI Challenge zostały przeprowadzone 3 konkursy. Najwcześniejszy z nich odbył się na jesieni 2010 r. Ostatni zaś zakończył się w grudniu 2011 r. i od tamtego czasu nie ma oficjalnych informacji na temat przyszłych potyczek.

### 6.3. SIO

(<http://sio.mimuw.edu.pl>)

Projekt od lat wykorzystywany do organizowania konkursów algorytmicznych, w szczególności polskiej Olimpiady Informatycznej, ale też Międzynarodowej Olimpiady Informatycznej. Jest to framework, który można wykorzystywać również w wersji lokalnej, nie tylko jako serwis internetowy.

Serwis ten umożliwia jednak wysyłanie rozwiązań wyłącznie w trakcie trwania zawodów, które odbywają się ok. 1-2 razy w roku. Sprawdza się jako platforma do organizacji konkursów, jednak nie nadaje się do nauki algorytmiki.

Obecnie trwają zaawansowane prace nad drugą wersją tego systemu (SIO2). Podobnie jak AI-Arena ma być dostępny na zasadzie licencji otwartej. Stan prac nad projektem można obserwować na bieżąco pod adresem <https://jira.sio2project.mimuw.edu.pl/secure/TaskBoard.jspa>, zaś kod jest dostępny pod niniejszym odnośnikiem: <http://cgkit.sio2project.mimuw.edu.pl/sio2-gerrit/tree/>.

### 6.4. SPOJ

(<http://spoj.pl>)

Serwis zawierający dużą bazę zadań algorytmicznych dostępnych do rozwiązywania użytkownikom. Zadania nie mają określonego terminu rozwiązywania. Istnieje ranking biorący pod uwagę liczbę wszystkich rozwiązanych przez użytkowników zadań.

Platforma ta umożliwia przygotowanie się do zawodów algorytmicznych jak np. Olimpiada Informatyczna, czy ACM. Za jej pośrednictwem organizowane są również konkursy: zarówno oficjalne (HSPL - High School Programming League), jak i nieoficjalne - towarzyskie. Można ponadto zamówić organizację konkursu za pośrednictwem serwisu SPOJ. Na co dzień jednak główną zaletą tej witryny jest dostępność dużej liczby problemów, na które można nadsyłać rozwiązania w trybie ciągłym.

## 6.5. MAIN

(<http://main.edu.pl>)

Posiada dużą bazę zadań z olimpiad informatycznych a także kursy umożliwiające pogłębienie wiedzy algorytmicznej. Jest to popularna witryna wśród uczniów szkół licealnych i gimnazjalnych przygotowujących się do konkursów informatycznych. Umożliwia ona wysyłanie rozwiązań do problemów z ubiegłych olimpiad i innych konkursów.

Wadą serwisu jest jednak ograniczenie bazy zadań niemal wyłącznie do problemów archiwalnych z konkursów. Ogranicza to w pewnym stopniu możliwość wszechstronnego przygotowania się do konkursów. Istnieją jednak serwisy (np. wyżej wymieniony SPOJ), które łączą tę lukę.

## 6.6. Porównanie serwisów

|              | tematyka  | typ konkursów   | baza zadań   |
|--------------|---|---|--|
| Top Coder    | zadania algorytmiczne, problemy optymalizacyjne, architektura, GUI i inne | okresowe, kilkaset w ciągu roku, często z nagrodami pieniężnymi | bardzo duża baza z przeszłych zawodów i nie tylko            |
| AI Challenge | programy walczące i sztuczna inteligencja                                 | okresowe, ok. 2 razy w roku                                     | konkurs co pół roku  |
| SPOJ         | problemy algorytmiczne  | stałe i okresowe, ok. raz w roku                                | duża baza zadań  |
| AI-Arena     | programy walczące   | stałe i okresowe  | baza gier moderowana przez użytkowników                      |
| SIO          | algorytmy, wyłącznie zadania konkursowe                                   | okresowe, ok. raz w roku  | zadania dostępne tylko podczas zawodów                       |
| MAIN         | algorytmy, stare zadania konkursowe                                       | stałe   | archiwalne zadania z najważniejszych zawodów informatycznych |

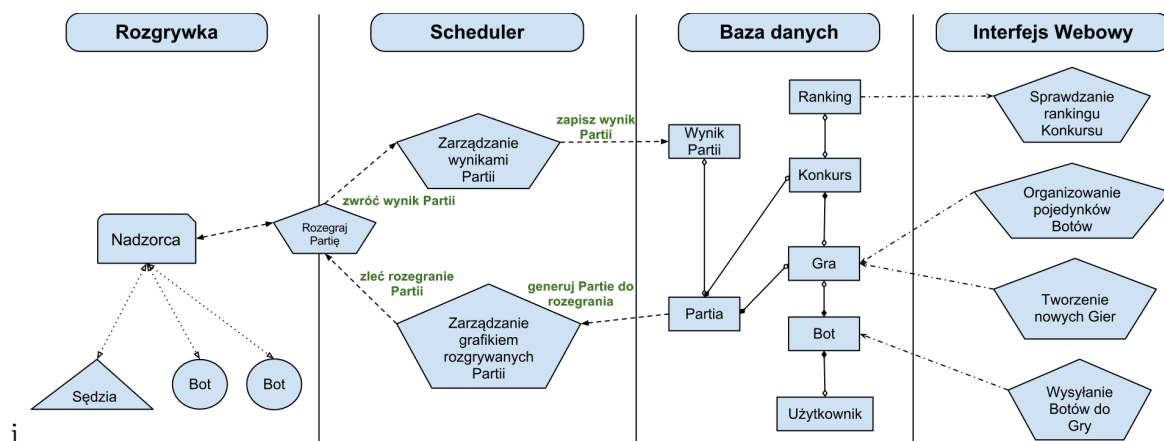


## Rozdział 7

# Architektura systemu

Na serwis AI-Arena składają się cztery warstwy: Rozgrywki, Scheduler, Bazy Danych i Interfejsu Webowego.

### 7.1. Schemat Architektury



### 7.2. Rozgrywka

Warstwa rozgrywki jest odpowiedzialna za uruchamianie meczów pomiędzy wybranymi graczami, zbieranie informacji o ich wynikach i przekazywanie ich do warstwy schedulera. Największą częścią tej warstwy jest Nadzorca, który stanowi jądro serwisu AI-Arena

Nadzorca jest skryptem napisanym w Pythonie i jest całkowicie niezależny od reszty projektu. Nie korzysta on z żadnych informacji dotyczących modeli ani architektury, więc z powodzeniem może być stosowany również w innych projektach jako oddzielny moduł. Jego podstawową funkcjonalność stanowi metoda `play`, która przyjmuje szereg argumentów: ścieżki i nazwy języków Sędziego i Botów, które mają walczyć między sobą, a także limity pamięci (w megabajtach) i czasu (w sekundach), jakie chcemy nałożyć na Boty.

Wynik zwracany przez Nadzorcę również nie zakłada istnienia konkretnej struktury obiektów - jest on bowiem zwykłym słownikiem zawierającym takie informacje jak:

- Punkty (przydzielone Botom przez Sędziego) oceniające przebieg rozgrywki

- Informacje na temat przebiegu rozgrywki (logi)
- Czas zużyty przez programy walczące
- Pamięć operacyjną wykorzystywaną przez poszczególne programy
- Status rozgrywki i ewentualnie kod błędu

Rozgrywka zaczyna się uruchomieniem programów walczących, oraz Sędziego, kontrolującego przebieg rozgrywki. Nadzorca tworzy ponadto dodatkowe procesy zajmujące się śledzeniem procesów Botów i Sędziego w celu zapewnienia bezpieczeństwa. (Więcej informacji na temat zapewnienia bezpieczeństwa znajduje się w rozdziale 8.2).

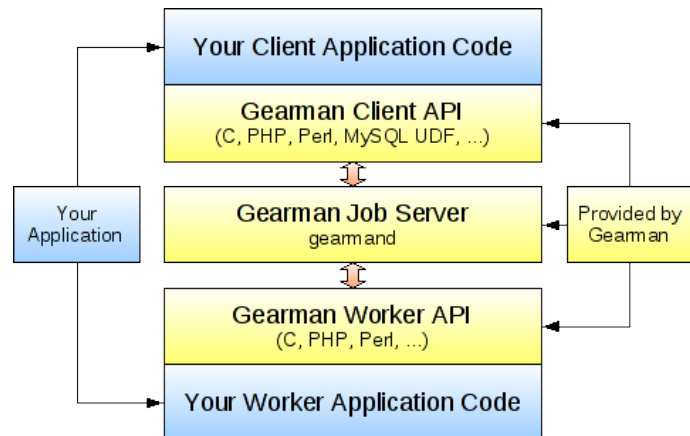
Komunikacja między sędzią a poszczególnymi programami odbywa się za pośrednictwem Nadzorcy, który odczytuje komunikaty ze standardowego wyjścia programów i wypisuje informacje zwrotne na ich standardowe wejście. Dodatkowo Boty mogą korzystać ze standardowego wyjścia błędów (stderr) do wypisywania informacji diagnostycznych. Informacje te są następnie przekazywane razem z logami z gry do warstwy Schedulera i zapisywane w bazie danych, aby umożliwić ich późniejsze odtworzenie. Format komunikatów od Sędziego i botów powinien być wyspecyfikowany dla każdej gry, przy czym powinien on być zgodny z poniższym protokołem:

- Komunikaty są jednowierszowe i kończą się znakiem nowej linii. Mogą one zawierać jedynie drukowalne znaki ASCII (z wyjątkiem kończącego znaku nowej linii).
- Bot wysyła komunikaty TYLKO do Sędziego (za pośrednictwem Nadzorcy)
- Komunikaty wysyłane przez Sędziego mają następujący format: zaczynają się od nawiasów kwadratowych, w których znajduje się lista graczy oddzielona przecinkami. Następnie znajduje się wiadomość, która zostanie przekazana wymienionym Botom. W przypadku, gdy Sędzia chce wysłać wiadomość do wszystkich graczy może użyć skrótu notacyjnego '[0]' przed treścią wiadomości, np. '[0]INIT' zamiast '[1,2,3,4]INIT'.
- Istnieją 3 komunikaty zastrzeżone, o specjalnym znaczeniu. Są to:
  - KILL (np. "[4]KILL") - wysyłany przez Sędziego w momencie, gdy stwierdzi, że Bot zagrał nieprzepisowo i chce zakończyć jego działanie.
  - \_DEAD\_ - zwracany Sędziemu przez Nadzorcę w momencie, gdy Sędzia wyśle komunikat do niedziałającego (np. zabitego) Bota
  - END (np. "[0]END") - wysyłany przez Sędziego do wszystkich Botów po zakończeniu gry. Programy, po otrzymaniu tego komunikatu, mogą zwolnić zasoby zajęte na czas działania programu.

Należy dodać, iż serwis nie definiuje maksymalnej dozwolonej liczby programów grających przeciw sobie. Warto jednak wspomnieć, iż przy większej ilości uczestników tworzenie gier dla bardzo wielu uczestników może spowodować problemy wydajnościowe. W praktyce zaleca się więc (szczególnie w turniejach typu "każdy z każdym") ograniczenie liczby graczy do 4.

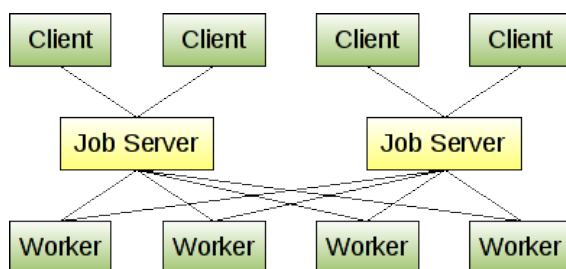
### 7.3. Scheduler

Do realizacji warstwy Schedulera używany jest program Gearman. Jest on lekkim frameworkiem służącym do przydzielania zadań do wykonania określonym maszynom lub procesom. Każda aplikacja korzystająca z tego frameworku składa się z trzech części: klienta, workera oraz serwera. Serwer jest dostarczany przez aplikację Gearmand (v. 0.26). W przypadku AI-Areny rolę klienta pełni część webowa serwisu zlecająca serwerowi rozegranie odpowiedniej Rozgrywki. Następnie serwer wysyła żądanie do tzw. "workera" zajmującego się wyłącznie wykonywaniem zleceń. Workerów może być wiele i mogą działać na fizycznie różnych maszynach lub na różnych rdzeniach tego samego procesora.



Rysunek 7.1: Aplikacja Gearmana  
(źródło: <http://gearman.org/>)

W przypadku AI-Areny funkcjonalność workera ogranicza się do wywołania metody play z Nadzorczy z odpowiednimi parametrami, żeby po zakończeniu Rozgrywki zapisać wyniki do bazy danych.



Rysunek 7.2: Klaster Gearmana  
(źródło: <http://gearman.org/>)

Warstwa Schedulera umożliwia zakolejkowanie kilku Meczy do rozegrania np. w razie dużego ruchu w serwisie lub gdy wymaga tego organizacja Turnieju, oraz wykonanie tych zadań w sposób asynchroniczny. Gearman łączy część webową serwisu z nadzorcą, przez co obie części funkcjonują i mogą być rozwijane niezależnie. Umożliwia także użycie wielu klientów, serwerów i workerów tworzących klaster. Należy dodać, iż w przypadku faktycznego wykorzystania wielu maszyn całkowita kontrolę nad nimi sprawuje Gearman. Dbą one między innymi o równomierne wykorzystanie zasobów. Użycie zapasowego

serwera pomogłoby ustabilizować pracę serwisu, a uruchomienie kilku workerów na wielordzeniowej maszynie - znacznie ją przyspieszyć.

## 7.4. Serwis webowy

Serwis AI-Arena jest platformą internetową. Użytkownik ma zatem, po zalogowaniu się, całodobowy dostęp do zasobów zgromadzonych w serwisie. Podstawowe funkcjonalności serwisu można podzielić na następujące kategorie:

1. Tworzenie gry - Użytkownik, który ma pomysł na ciekawą grę ma możliwość dodania jej bez konieczności uzyskania akceptacji administratora strony. Staje się on automatycznie moderatorem dodanej przez siebie gry. Warunkiem dodania gry jest napisanie kodu źródłowego Sędziego oraz szczegółowych zasad gry, w tym protokołu komunikacji Sędziego z Botami. Kod źródłowy Sędziego jest dostępny dla wszystkich zalogowanych użytkowników serwisu w celu uniknięcia stronniczych sędziów. Wwszelkie bowiem nieprawidłowości mogą być zgłaszane do administratora strony, który ma możliwość usunięcia gry.
2. Wysłanie bota do konkursu - Użytkownik ma możliwość napisania własnego programu grającego w grę zdefiniowaną przez innego Użytkownika. Program ten (Bot) musi ściśle spełniać warunki narzucone przez reguły gry. W szczególności musi również przestrzegać limitów czasu i pamięci wyznaczonych w specyfikacji gry.

W przypadku, gdy Bot przekroczy limit czasu lub pamięci, bądź też naruszy reguły gry w dowolny inny sposób (np. poprzez wysłanie komunikatu sformatowanego w niepoprawny sposób) będzie natychmiast przerywany i będzie to traktowane jako próba oszustwa. Karą jest automatyczna przegrana z minimalną ilością punktów i dyskwalifikacja Bota z rozgrywek.

Implementacja serwisu webowego została wykonana w Django. Ponadto części luźno związane z serwisem, jak np. Sędziowie gier mogą być napisane również w C, C++ czy w Pythonie. W celu zwiększenia komfortu użytkowania serwisu, pewne funkcjonalności zostały również napisane w JavaScriptcie z wykorzystaniem bibliotek JQuery i JQuery-UI. Użyte zostały również arkusze stylów CSS. Dodatkowo zostały wykorzystane pewne standardowe programy linuxowe, jak np. Makefile.

Oprócz podstawowych funkcjonalności, ściśle związanych z charakterem serwisu, udostępniane są ponadto następujące funkcjonalności:

- Wyświetlenie rankingu konkursu
- Skomentowanie Gry
- Udostępnienie kodu źródłowego wysyłanego bota
- Wyświetlenie udostępnionego kodu źródłowego Bota lub Sędziego
- Uruchomienie i przeprowadzenie meczu, czyli pojedynczej rozgrywki z wybranym przez siebie botem
- Wyświetlenie szczegółów poszczególnych rozgrywek

## 7.5. Baza danych

Komunikacja z bazą danych odbywa się za pomocą interfejsu ustalonego przez Django. Współpracuje on z bazami: PostgreSQL, MySQL, SQLite, Microsoft SQL Server oraz Oracle. Bazą,

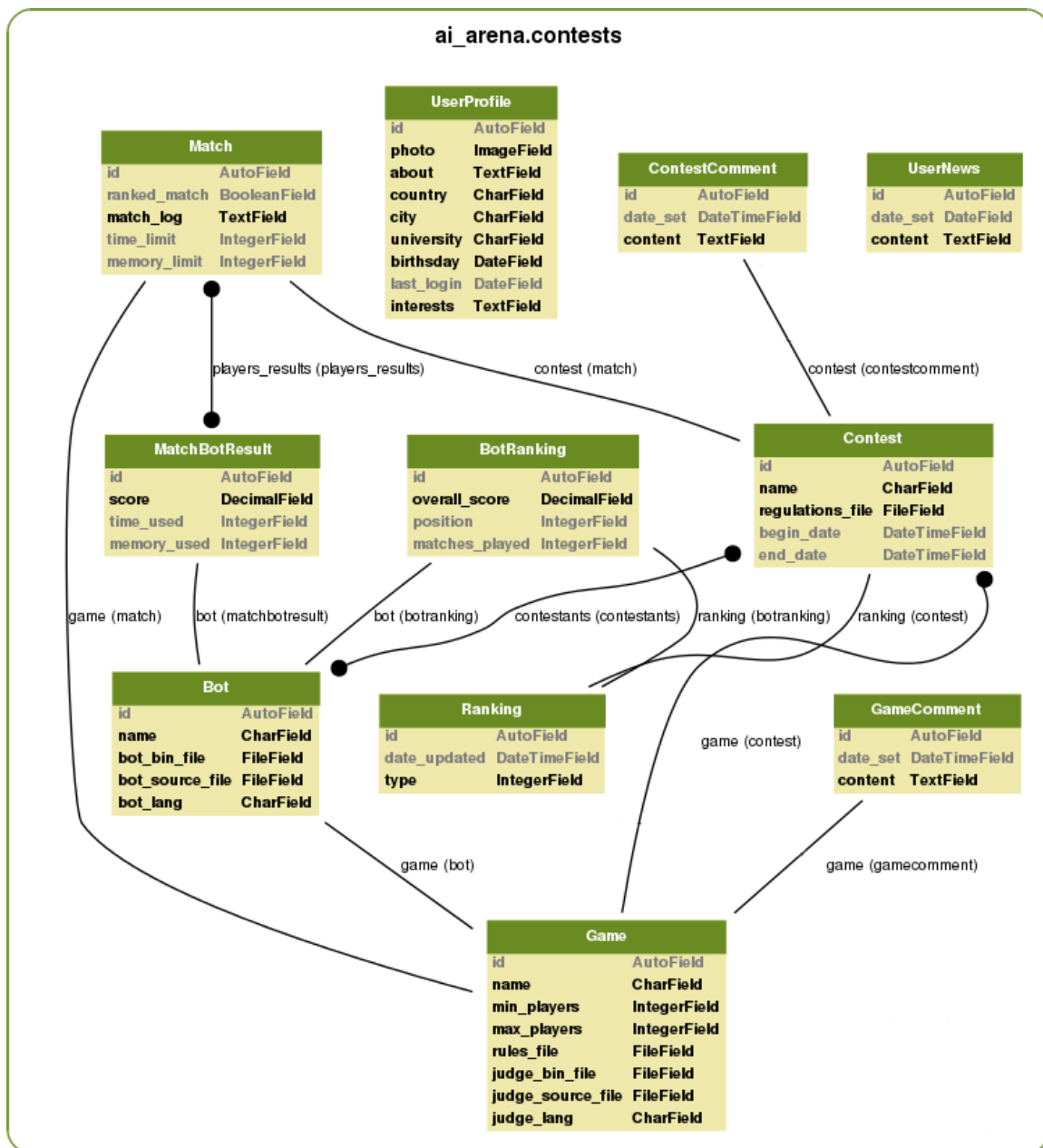


na której działa serwis AI-Arena jest PostgreSQL.

Zarządzanie bazą danych z pomocą Django jest proste - framework ten przejmuje bowiem wszystkie kwestie administracyjne umożliwiając developerom korzystanie z wysokopoziomowych funkcji Pythonowych (jak na przykład `save()`). Tabele w bazie danych również są tworzone przez Django w sposób automatyczny na podstawie zdefiniowanych modeli.

Dodatkową zaletą frameworku jest możliwość korzystania z testowych baz danych, tak zwanych *fixtures*, które można zapisać lub wczytać z osobnego pliku.

Najważniejsze modele w serwisie to:



Rysunek 7.3: Diagram UML bazy danych

- **Game** - zawiera plik z zasadami Gry oraz ścieżkę do programu Sędziego
- **Contest** - zawiera informacje o Konkursie, a więc Grę, Ranking i listę Botów biorących w nim udział
- **Bot** - reprezentuje bota grającego w konkretną Grę, zawiera m.in. plik źródłowy i referencję do pliku wykonywalnego
- **Ranking** - od jego typu zależy w jaki sposób będzie rozgrywany Konkurs, np. "każdy z każdym"
- **BotRanking** - opisuje pozycję Bota w danym Rankingu
- **Match** i **MatchBotResult** - przechowują informację o rozegranym Meczu tzn. które Boty brały w nim udział oraz ich wyniki, wykorzystany czas i zużyta pamięć

## 7.6. Testowanie

Poprawne działanie serwisu jest testowane przy pomocy standardowych testów jednostkowych w Django. Framework umożliwia automatyczne testowanie wszystkich warstw aplikacji: obsługi żądań HTTP, walidacji i przetwarzania formularzy, renderowania szablonów. Bardzo proste jest symulowanie żądań, używanie testowych danych (fixtures) oraz weryfikowanie konkretnych widoków i metod.

Django udostępnia klasę testowego klienta, wykorzystywanego do zaprogramowania interakcji z aplikacją. Przy jego użyciu można symulować żądania GET i POST na konkretny URL i weryfikować odpowiedź (status, zawartość itp.), sprawdzić czy dla danego URL wywoływany jest odpowiedni widok oraz czy odpowiedź jest renderowana przy użyciu właściwego szablonu w odpowiednim środowisku. Jest to możliwe dzięki różnego rodzaju asercjom.

Uruchomienie automatycznych testów jest bardzo proste. Domyślnie używane są wszystkie przypadki testowe z wszystkich aplikacji, ale wolno wyspecyfikować konkretną aplikację lub przypadek testowy. W razie niepowodzenia któregoś z testów wyświetlane są szczegóły błędu.

Testy zawarte w projekcie zostały podzielone na dwie kategorie. Pierwsza, zawarta w klasie *WebPageTest*, to testy symulujące wysyłanie określonych żądań na konkretne adresy url. Wszystkie korzystają z tej samej bazy testowej zapisanej w pliku *test\_fixture.json*. Poprawność odpowiedzi jest sprawdzana przy pomocy asercji pod kątem treści, a więc czy zawiera spodziewany tekst. Analizowane są także przekierowania, jeżeli np. edycja danych wymaga zalogowania, to użytkownik powinien być przekierowany na panel logowania, a następnie na odpowiednią stronę.

Druga zaś kategoria obejmuje testy sprawdzające poprawność metod modeli wykorzystywanych w serwisie. Testy te dziedziczą po klasie *ModelTest*

Testy jednostkowe pokrywają kod w całości. Dla każdego prawidłowego adresu url zamieszczonego w pliku *urls.py* istnieje przynajmniej jeden przypadek testowy wysyłający żądanie na ten adres. Podobnie, każda metoda zawarta w pliku zawierającym definicje modeli ma swój odpowiednik w testach.

## Rozdział 8

# Decyzje technologiczne

Podczas tworzenia projektu Niezbędne było podjęcie kluczowych decyzji definiujących w dużym stopniu kształt dalszej pracy nad serwisem. Najbardziej istotną decyzją był wybór języka programowania. Twórcy zdecydowali się na wykorzystanie Pythona z frameworkiem Django, który w dużym stopniu ułatwia tworzenie i rozwój stron internetowych.

W przypadku backendu również zdecydowano się na użycie Pythona, głównie z uwagi na łatwość rozwoju programów i czytelność kodu w nim napisanego. Zgodnie stwierdziliśmy, iż w przypadku AI-Areny, ze względu na charakter serwisu, wydajność nie jest sprawą kluczową, lecz jedynie poboczną.

### 8.1. Django

Django jest wysokopoziomowym frameworkiem przeznaczonym do tworzenia aplikacji internetowych. Opiera się na wzorcu projektowym podobnym do MVC nazywanym MVT. Z tego powodu aplikację można podzielić na kilka warstw:

- **Model (eng. Model)** - reprezentuje logikę aplikacji. Każdej klasie (zdefiniowanej w pliku `models.py`) odpowiada pewna tabela (lub kilka tabel) w bazie danych
- **Widok (eng. View)** - określa jakie dane będą zaprezentowane użytkownikowi.
- **Szablon (eng. Template)** - obejmuje szablony HTML. Są one renderowane na podstawie kontekstu obliczonego w warswie widoku.

Oprócz tego framework zapewnia opartą na wyrażeniach regularnych obsługę URL, co pozwala na proste, przejrzyste adresowanie. Django posiada własny, lekki serwer umożliwiający rozwijanie i testowanie aplikacji. Ponadto zajmuje się obsługą bazy danych i systemem cache'owania danych. Do zalet tego frameworku należą też duża skalowalność i wydajność oraz wbudowany panel administracyjny.

Django jest jednym z bardziej popularnych frameworków przeznaczonych do tworzenia aplikacji internetowych. Autorzy projektu zdecydowali się właśnie na ten z kilku względów.

- Rozwiązuje wszystkie podstawowe kwestie związane z projektem, tj. obsługa bazy danych, adresowanie.
- Serwis od strony webowej jest standardową aplikacją, zatem istnieją mechanizmy wbudowane w Django pozwalające w prosty sposób rozwiązać wiele problemów technicznych.

- Ważne było to, że członkowie zespołu znali tę technologię już wcześniej z przedmiotu Aplikacje WWW. Należy zauważyć, iż Django jest proste w użyciu, dzięki maksymalnej automatyzacji wielu standardowych procesów (np. renderowania stron WWW).

Django powstało w celu szybkiego tworzenia standardowych aplikacji internetowych i po doświadczeniach związanych z tworzeniem projektu autorzy w pełni potwierdzają skuteczność tego frameworku.

## 8.2. Nadzorca

W początkowej fazie projektu autorzy planowali udostępnić użytkownikom możliwość wysyłania programów wieloprotokolowych. Okazało się jednak, że implementacja takiej funkcjonalności stwarza wiele trudnych do rozwiązania problemów w warstwie nadzorcy. Głównymi problemami okazały się ograniczenie zużycia czasu i pamięci przez grupę procesów, pomiar zużycia tych zasobów po zakończeniu działania grup procesów, i zabijanie odpowiednich grup procesów na żądanie Sędziego.

Standardowe metody ograniczania zużycia pamięci i czasu przez procesy : `ulimit` i `setrlimit` niestety zawodzą. `Setrlimit` ogranicza jedynie zużycie zasobów przez dany proces, nie ograniczając w żaden sposób jego dzieci. `Ulimit` ogranicza co prawda wszystkie procesy danego użytkownika, jednak nałożenie osobnych limitów na wszystkie procesy nie jest poprawnym rozwiązaniem, należy bowiem ograniczyć sumaryczne zużycie zasobów przez dany proces i wszystkich jego potomków.

Metody pomiaru udostępniane przez system operacyjny takie jak `wait3` lub `wait4` również nie znajdują zastosowania w tym przypadku. Co prawda `wait3` i `wait4` potrafią zebrać informacje o procesie i jego zakończonych dzieciach, jednak informacje o wnukach procesu mogą zostać utracone, jeśli tylko użytkownik serwisu nie będzie sam używał `wait3` lub `wait4` (czego oczywiście nie możemy założyć ani kontrolować). Należy również pamiętać że informacje udostępniane przez te dwie funkcje są dostępne jedynie po zakończeniu procesu, ich użycie jest więc możliwe jedynie gdy przy pomocy innych mechanizmów zapewnione zostanie, że proces który zużył zbyt dużo zasobów zostanie zakończony.

Inny mechanizm systemowy który był rozważany jako rozwiązanie tych problemów, to grupy procesów. Mechanizm ten pozwalałby między innymi na wysłanie sygnału do procesu i wszystkich jego potomków, jak również prostsze monitorowanie zużycia zasobów systemowych przez grupę procesów. Niestety istnieją znane sposoby obejścia tego mechanizmu, które umożliwiłyby złośliwemu użytkownikowi tworzyć procesy nie podlegające kontroli.

Istnieje jednak rozwiązanie analogicznego problemu dostępne na zasadach licencji Open Source. Jest to napisany w języku Perl skrypt `timeout`, stworzony w Institute for System Programming of Russian Academy of Sciences, dostępny przez Github (<https://github.com/pshved/timeout>). Został on stworzony do mierzenia i ograniczania zużycia zasobów przez eksperymentalne wieloprotokolowe programy, których zachowanie było trudne do przewidzenia. Działanie tego skryptu oparte jest na prostej idei. Skrypt kilkakrotnie w ciągu sekundy sprawdza informacje dotyczące zużycia zasobów przez monitorowany proces i wszystkich jego potomków, i gdy wartość ta przekroczy dozwolony limit zatrzymuje obserwowane procesy. Jednak skrypt nie był tworzony do użytku w sposób potrzebny w systemie AI-Arena, więc

brakuje mu pewnych funkcjonalności. Szczególnie istotnym brakiem jest możliwość zatrzymania danego procesu i wszystkich jego potomków na żądanie Sędziego. Mniej poważną wadą tego rozwiązania jest to, że dokonywane pomiary mogą nie być dokładne, w szczególności niektóre programy mogłyby działać i komunikować się przez ułamek sekundy po przekroczeniu limitu.

Najlepszym rozwiązaniem wydaje się więc zaimplementowanie własnego mechanizmu, opartego na podobnej idei jak wspomniany skrypt *timeout*. Mechanizm ten mógłby być oddzielnym procesem, który na początku swojego działania otrzymuje numery pid obserwowanych procesów i przyznane im limity. Następnie kilkakrotnie w ciągu sekundy na podstawie informacji zawartych w katalogu `/proc/pid/procesu/` mógłby mierzyć sumaryczne zużycie zasobów przez kontrolowane procesy i ich potomków, oraz na życzenie Sędziego zatrzymać określone grupy procesów. Pomiar zużycia zasobów w tym przypadku jest obciążony pewnym błędem, wynikającym z cyklicznego sprawdzania zawartości wspomnianego katalogu, jednak jest to błąd akceptowalny.

Kolejnym problemem oprócz pomiaru zużycia zasobów okazało się ich twarde ograniczenie. Zostało ono zrealizowane przy pomocy systemowej funkcji `setrlimit`. Polecenie to pozwala na ustawienie miękkiego i twardego limitu na dostępne procesowi zasoby systemowe, między innymi pamięć wirtualną i czas zużywany przez proces w trybie użytkownika lub systemowym. W przypadku przekroczenia miękkiego limitu czasowego do procesu wysyłany jest `SIGINT`, po przekroczeniu limitu twardego do procesu wysyłany jest `SIGKILL`. Jasne jest więc że limit który chcemy nałożyć procesowi musi być limitem twardym, gdyż `SIGINT` może zostać zamaskowany. Możliwe są również sytuacje w których kernel nie może dostarczyć `SIGKILL` do procesu: gdy proces jest zombie lub gdy czeka w nieprzerywalnym uśpieniu. Jednak w obu przypadkach proces ten nie zużywa już więcej procesora, więc nie stanowi to zagrożenia dla systemu.

Pomiar czasu zużytego przez proces realizowany jest przy użyciu funkcji systemowej `wait4`. Potrafi ona czekać na zakończonego potomka o danym pid, jednocześnie zwracając pewne informacje dotyczące zużytych przez niego zasobów w trakcie jego działania. Wśród tych informacji znajdują się ilość czasu jaką proces spędził w trybie użytkownika lub w trybie systemowym, mierzone z dokładnością co do milisekundy.

### 8.3. Bezpieczeństwo Systemu

Ponieważ główna funkcjonalność systemu jest oparta o kompilację i uruchamianie kodów źródłowych nieznanego pochodzenia, w naturalny sposób największym zagrożeniem dla systemu są złośliwe kody wysyłane przez użytkowników. Zabezpieczenie przed takimi kodami można rozdzielić na dwa główne podproblemy: zabronienie procesom uruchamiającym programy graczy używania funkcji systemowych które nie są niezbędne dla programów grających w gry, oraz umieszczenie tych procesów w izolowanym środowisku (sandboxie), aby złośliwy kod nie miał możliwości odczytu i modyfikacji danych na serwerze.

Autorzy systemu rozważali cztery różne rozwiązania pierwszego problemu: podmienianie bibliotek, skanowanie kodu, systrace i ptrace.

Podmienianie bibliotek realizuje się przy pomocy zmiennej środowiskowej `LD_PRELOAD`. Zmienna ta pozwala na kompilację kodu, w taki sposób że wskazane biblioteki zostaną załadowane przed wszystkimi innymi, również przed bibliotekami CRT (C Run-Time libraries). Pozwala to na napisanie własnej biblioteki obsługującej wywołania funkcji systemowych które chcemy zablokować, na przykład zwracając błąd przy każdym wywołaniu takiej funkcji. Metoda ta jednak nie wystarcza do obrony przed złośliwymi programami nawet w języku C, gdyż można użyć funkcji systemowej nie odwołując się do biblioteki przy pomocy odpowiedniego przerwania (na przykład `int0x80` dla większości systemów Linux działających na architekturze x86).

Skanowanie kodu to technika polegająca na automatycznym przeszukaniu kodu i odrzucaniu tych programów których fragmenty zawierają niedozwolone polecenia (na przykład `"fork()"`). Rozwiązanie to jest trudne we właściwej realizacji, z powodu wspomnianego już wcześniej, mianowicie możliwość uruchamiania funkcji systemowych w C bez wywoływania właściwego polecenia. Biorąc pod uwagę fakt że złośliwy kod można na wiele sposobów maskować (np. poleceniami `#define`, lub sprawiając, że szkodliwy kod powstaje w wyniku wyglądających niegroźnie obliczeń) całkowite zabezpieczenie się przed kreatywnym i złośliwym użytkownikiem używając tej metody jest zadaniem bardzo trudnym, jeśli nie niemożliwym. Poza przeoczeniami nie trudno również o błędy typu *false positive* (odrzućanie zupełnie nieszkodliwych kodów wysłanych w dobrej wierze).

nolejnym rozważanym przez autorów systemu rozwiązaniem był program *systrace*, autorstwa Nielsa Provosa. *Systrace* jest obecnie zintegrowany do jądra OpenBSD, można go jednak zainstalować jako łatę do jądra wielu systemów Unixowych (między innymi Ubuntu). Nowsze wersje można również uruchamiać jako program na tych systemach. *Systrace* oferuje możliwość tworzenia polityk dostępu do wywołań funkcji systemowych. Po stworzeniu i załadowaniu takiej polityki, programy nią objęte będą miały możliwość używania jedynie wyszczególnionych w niej funkcji systemowych. *Systrace* oferuje również bardziej zaawansowane możliwości kontroli, takie jak umożliwianie programom wywoływania pewnych funkcji systemowych na ograniczonym zbiorze argumentów lub dziedziczenie profili. Ponadto dostępne są narzędzia i graficzne interfejsy pomagające w tworzeniu profili dostosowanych do potrzeb użytkownika.

Początkowo *Systrace* wydawał się autorom systemu doskonałym wyborem. Jest to program naprawdę wart polecenia. Niestety, uprawnienia autorów na serwerze, na którym uruchamiany był konkurs majowy nie pozwalały na zmiany w jądrze, natomiast dostępny na serwerze system operacyjny Ubuntu 10.04 okazał się jedynym z rodziny Ubuntu na którym instalacja *systrace* jako programu sprawia problemy. Z tych powodów autorzy musieli zdecydować się na wybór innego rozwiązania.

Kolejnym rozważanym rozwiązaniem była funkcja systemowa *ptrace*. Jej zastosowania mogą być różnorodne w zależności od przekazanych argumentów, jednakże pozwala ona między innymi procesowi który ją wywołuje, na śledzenie wywołań funkcji systemowych procesów potomnych. Na życzenie danego procesu, jego proces potomny zostanie zatrzymany tuż przed wywołaniem i zaraz po zakończeniu wywoływania funkcji systemowych. Podczas gdy śledzony proces jest zatrzymany, jego ojciec może sprawdzić różne informacje zawarte w rejestrze śledzonego procesu, między innymi jaką funkcję systemową próbował właśnie wywołać (lub z wywołania jakiej funkcji systemowej nastąpił właśnie powrót). Przy użyciu funkcji *ptrace*, autorzy napisali program *syscall\_trace*, który w procesie potomnym uruchamia przekazany

mu jako argument program, a następnie śledzi go, nie zezwalając na użycie wybranych przez autorów funkcji systemowych.

Program `syscall_trace` ma zdecydowanie mniejsze możliwości niż `systrace`, jednak w pełni realizuje potrzebną funkcjonalność. Autorzy pozostawili również możliwość dość prostej modyfikacji zbioru zabronionych funkcji systemowych. Wystarczy dopisać numery funkcji systemowych których użycie chcemy programom uniemożliwić do wyszczególnionej w kodzie `syscall_trace.c` tablicy zabronionych funkcji systemowych.

Oddzielną warstwą bezpieczeństwa jest *sandbox*, który ogranicza programom nadsyłanym przez użytkowników możliwość dostępu i modyfikacji plików znajdujących się na serwerze. Z dostępnych na rynku darmowych rozwiązań autorzy rozważali trzy : SELinux, AppArmor i Grsecurity. Wszystkie trzy rozwiązania są bardzo podobne. Wszystkie są łatami do jądra systemów Linux, pozwalającymi na tworzenie polityk, opisujących dostęp programów do plików na i programów na komputerze. Te trzy rozwiązania różnią się od siebie jednak poziomem złożoności, możliwościami kontroli i łatwością w tworzeniu polis. Ostatecznie wybór autorów padł na AppArmor, z następujących powodów :

- Począwszy od wersji 8.04 systemu operacyjnego Ubuntu, AppArmor był został zintegrowany do jądra systemu. Dzięki temu nie trzeba było dokonywać zmian w jądrze systemu na serwerze udostępnionym autorom przez firmę *Codility*.
- Tworzenie polityk AppArmor jest intuicyjne. Tworzenie polityk i obsługa SELinux jest znacznie bardziej skomplikowane.

Prosty profil AppArmor, zabraniający programom użytkowników dostępu do wszystkich plików i wszystkich programów jest udostępniony na GitHub jako część projektu.





## Rozdział 9

# Dokumentacja użytkowa

Najważniejszym dokumentem określającym pożądany kształt serwisu jest dokumentacja przypadków użycia. Opisuje on sposób interakcji końcowego użytkownika z całym systemem. W przypadku platformy AI-Arena interakcja ta odbywa się za pomocą przeglądarki internetowej.

Z punktu widzenia użytkownika AI-Arena jest zwykłą stroną internetową. Największy wpływ na jego końcowy wygląd mają więc arkusze stylów, oraz w pewnym stopniu skrypty JavaScript. Arkusze stylów pochodzą z dwóch źródeł: wykorzystany został należący do twitera projekt o nazwie bootstrap (<http://twitter.github.com/bootstrap/>). Projekt ten (opublikowany na licencji Apache v.2.0) stanowi podstawę wyglądu strony. Drugim źródłem arkuszy stylów są autorzy serwisu, którzy nadali stronie ostateczny wygląd.

Użytkownicy serwisu mają zróżnicowane prawa. Najbardziej ograniczone możliwości ma użytkownik niezalogowany, najszersze zaś - Administrator strony. Ponadto w zależności od sytuacji Użytkownik (który się poprawnie zalogował) może mieć prawa Moderatora gry lub konkursu, co daje mu możliwość edycji m.in. zasad, terminów czy komentarzy publiczowanych przez innych Użytkowników. Należy jednak zauważyć, iż w przypadku nadużyć Administrator strony może odebrać Moderatorowi jego specjalne uprawnienia.

### 9.1. Przypadki użycia systemu

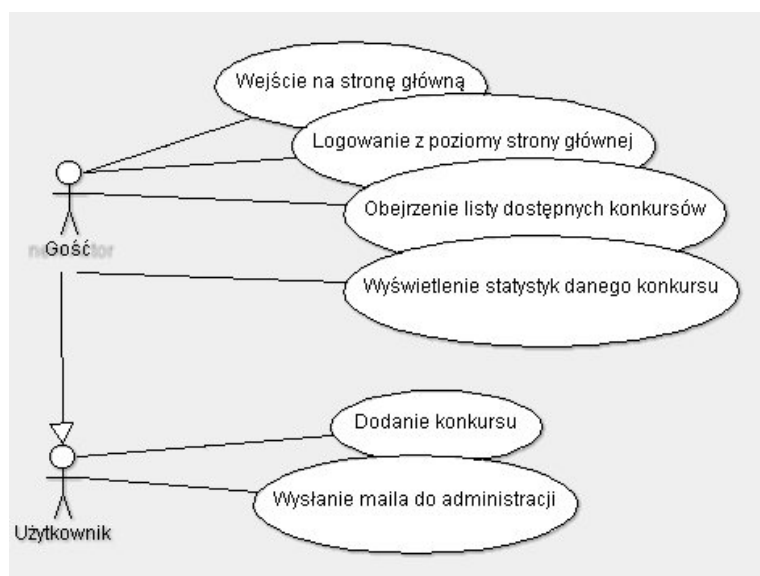
#### 9.1.1. Z udziałem użytkownika niezalogowanego (Gościa)

Użytkownik niezalogowany ma bardzo ograniczone prawa używania serwisu. Praktycznie jedyną dozwoloną aktywnością jest rejestracja w serwisie lub próba zalogowania się do utworzonego wcześniej konta.

#### Rejestracja w systemie

Aby zarejestrować się w systemie należy wykonać kilka kroków. Na początku należy kliknąć w napis "Register" zlokalizowany po prawej stronie na górze.

Następnie system przekieruje użytkownika do strony, gdzie będzie mógł wybrać swój login oraz hasło. Należy zwrócić uwagę, iż login musi być unikalny, może zawierać wyłącznie małe



Rysunek 9.1: Podstawowe użycie systemu

i duże litery, cyfry oraz znak '\_'. W przeciwnym wypadku pojawi się komunikat o błędzie.

Po prawidłowym wykonaniu tego kroku użytkownik zostanie przeniesiony na swoją stronę profilową. Może stąd zarządzać swoim kontem. Od tej chwili jest również zalogowany w serwisie, co znaczy, że może m. in. wysłać swoje boty do gier lub wykonywać inne akcje dostępne wyłącznie dla zalogowanych użytkowników.



Rysunek 9.2: Pasek logowania i rejestracji do serwisu

## Logowanie

Logowanie jest standardową aktywnością, którą się spotyka na wszystkich forach i wielu serwisach. Przycisk logowania znajduje się tuż obok przycisku rejestracji. Aby się zalogować należy kliknąć w ten przycisk a następnie wypełnić pola formularza, który się pojawi na ekranie. Jeśli dane będą zgodne z tymi zapisanymi w bazie danych, system przekieruje użytkownika na jego stronę profilową.

### 9.1.2. Z udziałem użytkownika zalogowanego

#### Wylogowanie się z serwisu

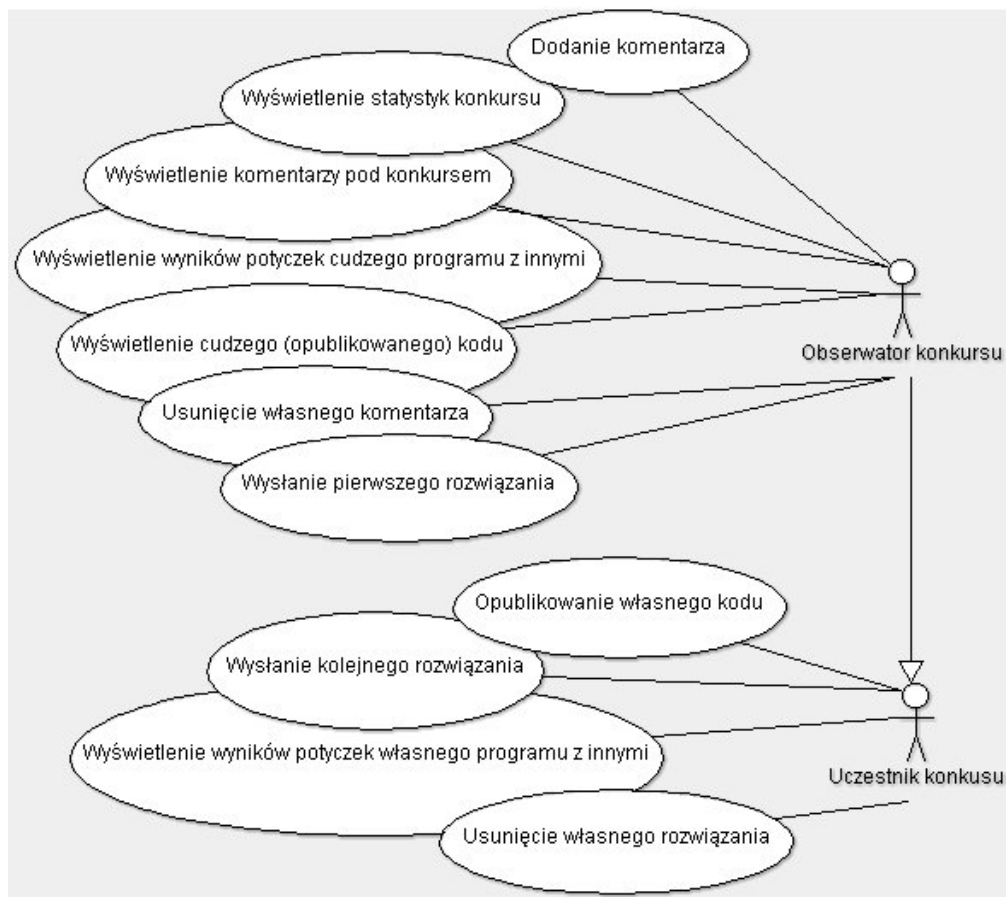
Wylogowanie jest kolejną standardową aktywnością udostępnianą przez wiele serwisów. Aby się wylogować należy kliknąć przycisk "Logout", który znajduje się w prawym, górnym rogu strony. Zastępuje on przycisk "Login", który widoczny jest dla niezalogowanych użytkowników. Po kliknięciu tego przycisku użytkownik jest przekierowywany na stronę główną serwisu.

## Otwarcie swojej strony profilowej

Aby otworzyć swoją stronę profilową użytkownik musi kliknąć w link znajdujący się pod jego loginem. Loginy użytkowników pojawiają się w różnych miejscach systemu i kliknięcie w dowolny z nich powoduje otwarcie strony profilowej danego użytkownika. W szczególności po kliknięciu na własny login pojawi się własna strona profilowa użytkownika. Istnieje również tzw. "stały link do profilu" znajdujący się na górze strony w prawym rogu. Po kliknięciu w znajdujący się tam login użytkownika (zaznaczonego innym kolorem niż reszta napisu) system wyświetla stronę profilową aktualnie zalogowanego użytkownika.

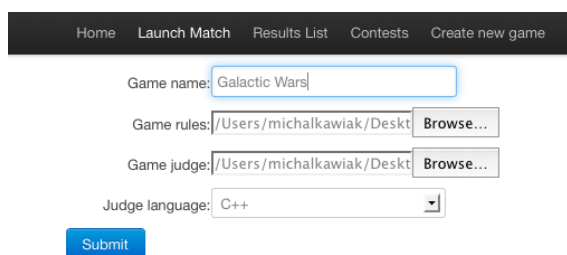
## Edycja profilu użytkownika

Gdy użytkownik znajduje się na swojej stronie profilowej ma dostęp do kilku odnośników. Jednym z nich jest odnośnik do strony konfiguracyjnej profilu. Aby ją otworzyć należy kliknąć w link "Edit profile" znajdujący się pod zdjęciem profilowym. W oknie edycji profilu pojawia się formularz zawierający kilka pól, m.in. zdjęcie, kraj, szkoła/universytet czy zainteresowania. Żadne z nich nie jest obowiązkowe. Użytkownik zatwierdza zmiany klikając na przycisk "Update" znajdujący się na samym dole formularza.



Rysunek 9.3: Przypadki użycia związane z konkursami

## Utworzenie nowej gry lub konkursu



Rysunek 9.4: Formularz do tworzenia nowej gry

narusza reguł gry (przykładowo, że gracz grający pionami czarnymi nie ruszył się białym pionem). Gdy upewni się, że otrzymany komunikat jest poprawny wysyła na swoje standardowe wyjście komunikat zgodnie z formatem opisanym w regułach gry.

Plik źródłowy Sędziego jest dostępny dla wszystkich zalogowanych użytkowników serwisu. Ma to zapobiec wysyłaniu "stronniczych" sędziów oraz łatwieszemu ujawnieniu pewnych "ukrytych" wad protokołu. Administratorzy zastrzegają sobie prawo do usunięcia lub poprawienia wadliwych sędziów.

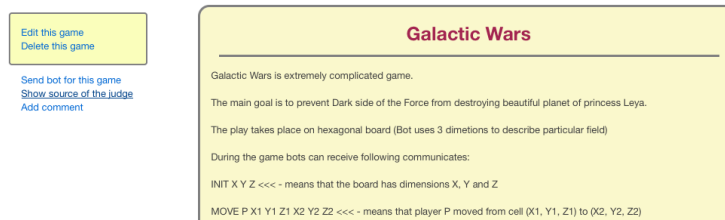
Plik z zasadami rozgrywki musi zawierać ogólny opis gry (np. historię wprowadzającą) oraz szczegółowy opis i znaczenie komunikatów. W szczególności muszą być zawarte informacje takie jak dokładny format komunikatu, dozwolone odpowiedzi na każdy rodzaj komunikatu czy komunikaty informujące o błędzie. Zostało przyjęte założenie, że Bot, który wyśle komunikat o innej niż zdefiniowanej formie automatycznie przegrywa daną grę i jest przerywany przez Nadzorcę.

Aby utworzyć konkurs nie jest potrzebne wcześniejsze przygotowywanie plików, jednak musi istnieć gra, na bazie której chcemy utworzyć nowy konkurs.

Gdy użytkownik przygotował już powyższe pliki powinien, w celu utworzenia nowej gry, kliknąć w link "Create New Game" znajdujący się na górnym pasku strony. Otworzy się formularz zawierający pola, do których należy wprowadzić informacje na temat tworzonej gry (między innymi wymienione

Tworzenie gry (konkursu) jest jedną z centralnych aktywności w serwisie. Aby utworzyć grę, użytkownik musi mieć wcześniej przygotowany plik źródłowy Sędziego oraz plik z zasadami rozgrywki.

Sędzia jest programem, który nadzoruje przebieg gry. Powinien być napisany w jednym z języków: C, C++, Python. Otrzymuje on komunikaty od Nadzorcy, który z kolei zczytuje je ze standardowego wejścia Botów. Sędzia musi dokonać walidacji komunikatu, tj. upewnić się, iż format komunikatu jest zgodny z protokołem opisanym w zasadach gry oraz, że ruch zawarty w komunikacie nie

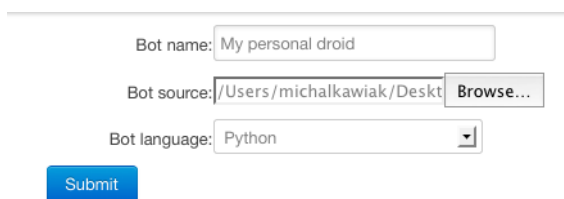


Rysunek 9.5: Szczegóły gry

wcześniej pliki czy nazwa gry). Warto zwrócić uwagę, iż nazwa gry musi być unikalna, gdyż definiuje ona ścieżkę dostępu do poszczególnych plików na dysku.

Gdy użytkownik wypełni formularz i zatwierdzi przyciskiem "Submit" na dole formularza zostanie przeniesiony na stronę zawierającą detale właśnie utworzonej gry. Autor staje się automatycznie Moderatorem gry i ma prawo m. in. do edycji czy usunięcia gry lub komentarzy Użytkowników.

## Wysyłanie bota do gry



Rysunek 9.6: Formularz do wysyłania bota

bot for this game" (lub "Add contestant" w przypadku konkursu) i wypełnić formularz wyświetlony przez system. Podobnie, jak w przypadku tworzenia gry należy mieć uprzednio przygotowany plik zawierający kod źródłowy bota. Bot komunikuje się z sędzią za pomocą komunikatów opisanych w zasadach gry wypisywanych i czytywanych ze standatdowego wejścia i wyjścia. W przypadku, gdy bot wyśle źle sformatowany lub błędny komunikat - automatycznie przegrywa rozgrywkę dostając za nią możliwe minimum punktów.

## Wyświetlenie kodu źródłowego Sędziego

```
1 /* quick and dirty hack to grab all credentials in the cred hash table
2  * from kernel via sysctl.
3  * sysctl is only defined if xnu is built with DEBUG_CRED defined.
4  */
5
6 #include <stdio.h>
7 #include <stdlib.h>
8 #include <fcntl.h>
9 #include <limits.h>
10 #include <string.h>
11 #include <errno.h>
12 #include <unistd.h>
13 #include <sys/stat.h>
14 #include <sys/types.h>
15 #include <sys/sysctl.h>
16 #include <bsm/audit.h>
17
18 /* bad! this is replicated in kern_credent.c. make sure they stay in sync!
19  * Or better yet have common header file?
20  */
21 struct debug_ucred {
22     uint32_t oredp;
23     uint32_t cr_ref; /* reference count */
24     uid_t cr_uid; /* effective user id */
25 }
```

Rysunek 9.7: Sposób wyświetlania kodu źródłowego

kod należy kliknąć w przycisk "Raw" znajdujący się w prawym górnym rogu wyświetlanego kodu. Dostępna jest ponadto opcja pobrania kodu źródłowego Sędziego w postaci pliku tekstowego. Aby pobrać kod źródłowy użytkownik powinien kliknąć w przycisk "Download"

Aby wysłać bota do gry należy w pierwszej kolejności przejść na stronę zawierającą szczegółowy opis gry. Można to zrobić klikając na przycisk "Games list" ("Contests") znajdujący się na górze strony, a następnie wybrać grę z wyświetlonej listy.

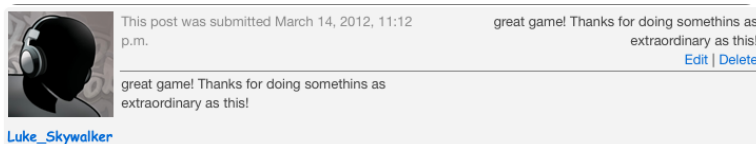
Gdy znajdujemy się już na stronie z detalami należy, w celu zgłoszenia bota, kliknąć na link "Send

W celu wyświetlenia kodu źródłowego Sędziego należy przejść na stronę gry zawierającą szczegółowy jej opis. Potem, po kliknięciu w link "Show source of the judge" system przekieruje nas na stronę, gdzie wyświetlony zostanie kod źródłowy Sędziego.

Możliwe jest również wyświetlenie kodu w postaci surowej, tj. bez numerów linii i dodatkowego formatowania tekstu. Aby wyświetlić surowy

znajdujący się na prawo od przycisku "Raw".

## Dodanie komentarza pod konkursem



Rysunek 9.8: Komentarz umieszczony pod grą

Aby dodać komentarz do konkursu należy znajdować się na stronie ze szczegółowym opisem danego konkursu. Następnie kliknąć w link "Add comment" i wypełnić formularz wyświetlony przez system. Komunikat ten

pojawi się pod opisem zasad gry (bez konieczności zatwierdzania go przez Moderadora). Moderator ma jednak prawo edytować lub nawet usunąć ten komentarz w późniejszym terminie.

Zwróćmy uwagę na fakt, iż na późniejszym etapie życia serwisu liczba umieszczanych komentarzy może być znacząca. Jakakolwiek forma automatycznej notyfikacji mogłaby być uciążliwa dla Moderatorów. Z tego powodu autorzy serwisu zdecydowali się nie umieszczać mechanizmu automatycznego powiadamiania w serwisie.

### 9.1.3. Z udziałem moderatora konkursu lub gry

Moderator pełni specjalną funkcję. Czuwa on nad prawidłowym i kulturalnym przebiegiem konkursu. W serwisie AI-Arena moderatorzy delegowani są do poszczególnych gier i konkursów. Naturalnie dany użytkownik może być moderatorem wielu gier jednocześnie.

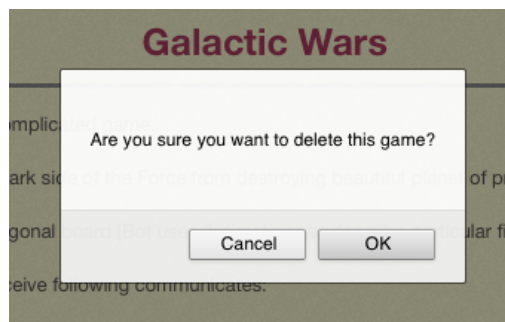


Rysunek 9.9: Użycie systemu przez Moderadora

## Usunięcie gry

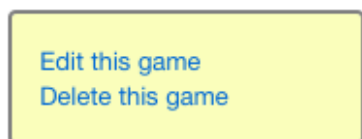
Aby móc usunąć grę trzeba być Administratorem strony lub Moderatorem danej gry:

W celu usunięcia gry należy znajdować się na stronie zawierającej jej szczegółowy opis. Następnie kliknąć w znajdujący się po lewej stronie link "Delete this game". Spowoduje to wyskoczenie okienka z prośbą o potwierdzenie swojej decyzji. Pamiętajmy, iż jest to decyzja nieodwracalna! Potwierdzenie wykonania operacji spowoduje usunięcie gry z listy dostępnych i przeniesienie na stronę główną serwisu. System usunie wszelkie dane związane z daną grą.



## Edycja konkursu

Możliwa jest edycja konkursu. Aby tego dokonać trzeba być administratorem lub moderatorem gry. Należy kliknąć w link "Edit game". System przeniesie nas do okna, w którym wyświetli się formularz do edycji gry. Po wprowadzeniu zmian należy zatwierdzić przyciskiem "Save".



Send bot for this game  
Show source of the judge  
Add comment

Należy pamiętać, iż nazwa gry określa fizyczną ścieżkę dostępu. Oznacza to, że jeśli użytkownik będzie chciał zmienić nazwę gry, system przeniesie wszystkie pliki związane z grą do nowych lokalizacji. Użytkownik musi jednak pamiętać, aby nowa nazwa gry była unikalna. W przeciwnym razie system odmówi zmiany nazwy i próba edycji zakończy się porażką.

## Edycja komentarza

Edycja komentarza jest podobna do dodawania nowego komentarza. Aby edytować istniejący komentarz należy kliknąć w link "Edit" znajdujący się w górnej części komentarza. Pojawi się wtedy formularz analogiczny do tego, który się pojawia przy dodawaniu komentarza. Po zatwierdzeniu dokonywanych zmian poprzez naciśnięcie przycisku "Save" zostaniemy przekierowani do strony ze szczegółowymi informacjami o grze. Zauważmy, że edytowany komentarz jest już wyświetlany w zmienionej formie.

## Usunięcie komentarza

Żeby móc usunąć komentarz użytkownik musi spełniać (minimum) jeden z poniższych warunków:

1. Być autorem komentarza

2. Być Administratorem strony lub Moderatorem gry (konkursu), pod którym został ten komentarz dodany

Jeśli wymaganie wstępne jest spełnione, wystarczy kliknąć w przycisk "Delete" znajdujący się w prawym górnym rogu komentarza. Pojawi się wtedy okienko z prośbą o potwierdzenie swojej decyzji. Należy pamiętać, że usuniętego komentarza nie można przywrócić! Wciśnięcie przycisku "OK" na pojawiającym się okienku spowoduje usunięcie komentarza i powrót do strony z detalami gry (konkursu)



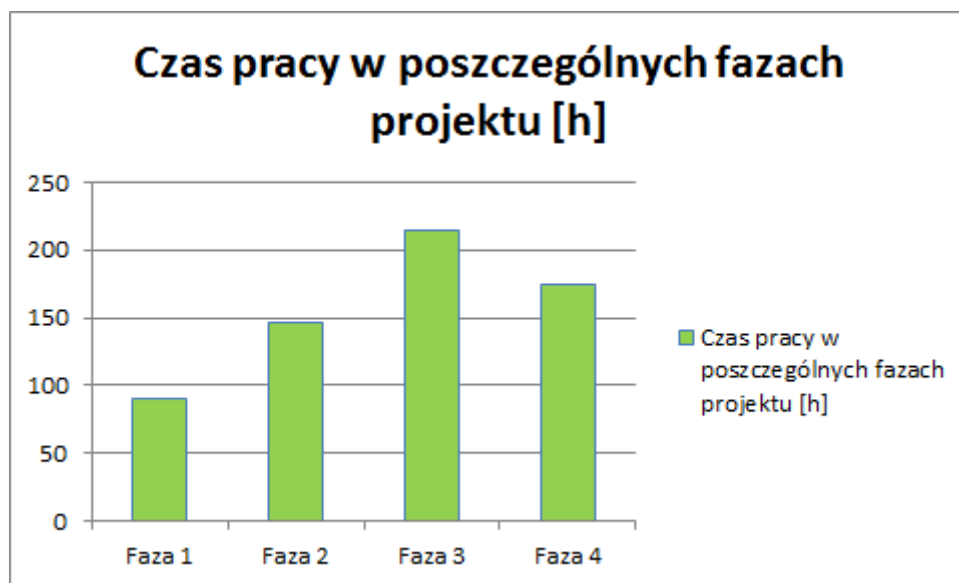
## Rozdział 10

# Harmonogram prac

Praca nad projektem została podzielona na cztery kluczowe okresy:

- Stworzenie działającego prototypu - termin wykonania: **do 30 listopada 2011r.**
- Wykonanie wersji minimalistycznej serwisu - termin wykonania: **do 30 stycznia 2012 r.**
- Wykonanie wersji rozszerzonej serwisu - termin wykonania: **do 4 kwietnia 2012 r.**
- Dopracowywanie interfejsu i ostatnie testy użytkownika - termin wykonania: **do 15 maja 2012 r.**

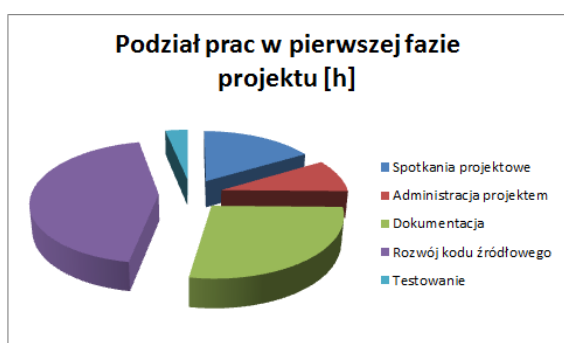
Zauważmy, że taki plan prac umożliwiał, w wypadku nieprzewidzianych okoliczności, możliwość zrealizowania ograniczonej funkcjonalności. Okazało się jednak, że opcja ta nie była potrzebna, gdyż praca postępowała zgodnie z harmonogramem.



Rysunek 10.1: Podział pracy w kolejnych fazach rozwoju projektu

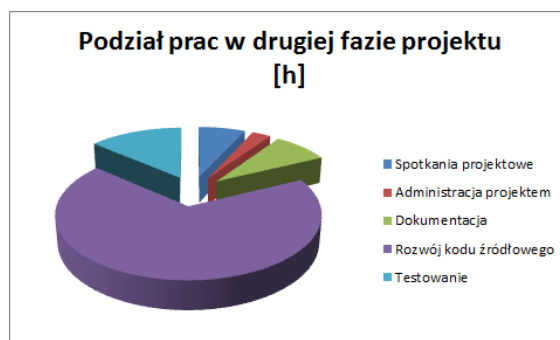
Wykresy prezentowane w dalszej części rozdziału obrazują podział prac między poszczególne zagadnienia związane z rozwojem projektu takie jak spotkania projektowe, administracja projektem, tworzenie dokumentacji i automatycznej dokumentacji, rozwój kodu czy testowanie. Należy pamiętać, iż wielkości prezentowane na wykresach są jedynie orientacyjne, jednak dobrze obrazują ilość pracy, jaka została włożona w projekt.

Spotkania projektowe oznaczają spotkania zespołu, w czasie których omawiana była wizja projektu czy bieżący podział prac. Administracja uwzględnia takie zagadnienia jak obsługa systemu Redmine, obsługa repozytorium czy wdrożenie projektu na serwer. Obejmuje również obsługę majowego konkursu przeprowadzonego pod patronatem Codility. Tworzenie dokumentacji i automatycznej dokumentacji opisuje czas potrzebny na stworzenie wszystkich dokumentów, włącznie z pracą licencjacką, oraz dodaniem docstringów służącym do generowania automatycznej dokumentacji. Testowanie zaś oznacza czas przeznaczony na napisanie unit testów oraz przeprowadzenie test-case'ów. Obejmuje ponadto zagadnienie kontroli kodu przez innych członków zespołu.



W pierwszej fazie projektu skupiono się na kluczowych zagadnieniach mających wpływ na ostateczny kształt serwisu. Powstały wtedy m.in. takie dokumenty jak Software Development Plan czy przypadki użycia. Została uzgodniona wspólna wizja i opracowane zostały szczegóły techniczne. Zaprojektowany został ponadto model interakcji z użytkownikiem końcowym. Ujrzała światło dzienne pierwsza wersja nadzorcy oraz powstał szkielet projektu utworzony w Django.

W efekcie tych prac, przed końcem listopada można było zaprezentować działający przykład gry dwuosobowej nadzorowanej przed Nadzorcą. Gra ta jednak była uruchamiana z linii poleceń. Warto jednak wspomnieć, iż model komunikacji między uczestnikami (botami i sędzią) był bliski końcowego, tj. programy porozumiewały się korzystając ze standardowego wejścia i wyjścia.

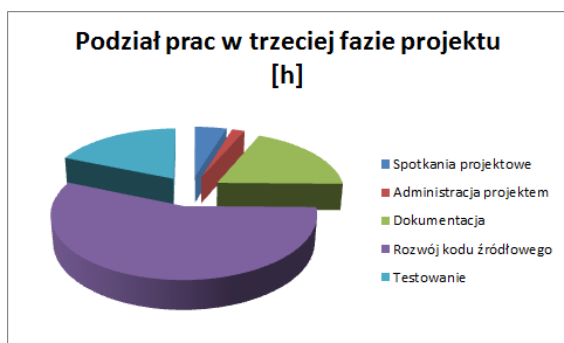


Druga faza projektu zaowocowała powstaniem interfejsu graficznego. Możliwe stało się logowanie i rejestracja na stronie, oraz podstawowa działalność związana z użytkowaniem serwisu. Dało się m.in. stworzyć no-

wą grę czy wysłać bota grającego w daną grę (i realizującego protokół określony w regułach gry).

Udostępniona została ponadto możliwość uruchomienia meczu pomiędzy dowolnymi dwoma botami grającymi w tą samą grę. Wyniki takich meczów były następnie zapisywane w bazie danych. Zostały również poczynione pierwsze kroki w celu zapewnienia bezpieczeństwa na stronie. Dodano podstawową obsługę błędów zabezpieczającą przed najprostszymi typami ataków.

Dodatkowym rezultatem tej części projektu było wprowadzenie do projektu AI-Arena modułu Gearman - zewnętrznego modułu odpowiedzialnego za kolejkowanie zleconych zadań. W czasie tej fazy została dodana również funkcjonalność automatycznej generacji dokumentacji.



Podczas trzeciej fazy projektu został znacznie rozwinięty interfejs użytkownika. Zostały dodane funkcjonalności dodatkowe, zbędne z punktu widzenia funkcjonowania serwisu, jednak ułatwiające jego użycie. Powstały moduły odpowiedzialne za wyświetlanie kodu źródłowego, dodawanie konkursów, profile użytkownika i preferencje, ranking czy komentarze. Strona internetowa zyskała także nowy wygląd dzięki arkuszom stylów. W niektórych miejscach zostały dodane również skrypty JavaScript, sprawiające, że interakcja z użytkownikiem stała się bardziej dynamiczna.

W międzyczasie trwały prace również nad warstwą Nadzorcy. Dodane zostały skrypty umożliwiające automatyczną kompilację gier i botów wysyłanych za pośrednictwem serwisu webowego. Dodatkowo umożliwiono Nadzorcy przejęcie kontroli nad procesem (w celu jego zakończenia), który przekroczył swój limit czasu bądź pamięci lub będzie postępował niezgodnie z regułami gry.

Udostępniona została botom również możliwość zapisywania logów na standardowy strumień błędów. Komunikaty wypisane na strumień błędów są przekazywane botom po zakończeniu danej rozgrywki.

Trzecia faza projektu zakończona została włożeniem systemu na udostępniony gościnnie, przez Codility, serwer. Zostaliśmy przy tym poproszeni o przeprowadzenie w połowie maja konkursu, pod patronatem Codility, w którym platforma AI-Arena miałaby odgrywać znaczącą rolę.

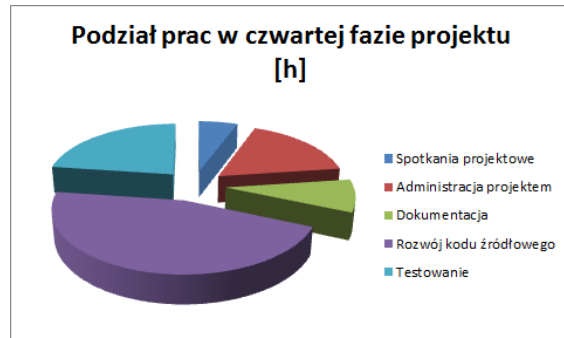
Istotnym rezultatem tej części projektu było również napisanie znaczącej części niniejszej pracy licencjackiej. Późniejsze zmiany ograniczały się do wprowadzania zmian stylistycznych,

bądź poprawienia ogólnego układu pracy.

Finalna, czwarta faza projektu obfitowała w wiele poprawek kodu, mających na celu usprawnienie i poprawę interakcji z użytkownikiem. Nie zostały dodane do frontendu żadne znaczące funkcjonalności. Udoskonalona została natomiast obsługa błędów. Duży nacisk położono również na bezpieczeństwo środowiska, w którym sędzia i boty są uruchamiane. Do zapewnienia bezpieczeństwa wykorzystano mechanizmy pozwalające na odizolowanie środowiska systemu od tymczasowego środowiska programu oraz na zablokowanie możliwości wywołania funkcji systemowych.

Ostateczną formę przybrała również dokumentacja kodu. Została dołączona do repozytorium razem z pozostałą częścią projektu. Można ją w wygodny sposób przeglądać z wykorzystaniem przeglądarki internetowej.

Przeprowadzony został szereg testów: zarówno testów sprawdzających scenariusze użycia systemu, jak i sprawdzające przypadki niewłaściwego jego użycia. Kluczowym testem okazał się konkurs zorganizowany na prośbę *Codility*. Okazało się, że konkurs przebiegł sprawnie, bez przykrych niespodzianek. Wzięło udział 14 zawodników (stan na 25.V), co można uznać za średni sukces zważając na praktycznie zerową kampanię reklamową. Uczestnicy potraktowali udział w konkursie jako rodzaj zabawy, toteż nikt nie próbował nadużywać uprawnień ani możliwości swoich programów. Autorzy zgodnie uznali, iż ten test zakończył się sukcesem.



## Rozdział 11

# Przyszłość projektu

Projekt powinien rozwijać się jako niezależny serwis internetowy. Jest on projektem open-source’owym udostępnionym na licencji GPL, czyli osoby zainteresowane rozwijaniem go, mogą łatwo uzyskać prawa do modyfikacji kodu. Licencja GPL jest najbardziej popularną licencją wolnego oprogramowania, daje ona użytkownikom następujące cztery wolności:

- wolność uruchomienia programu w dowolnym celu
- wolność analizowania jak program działa i dostosowywania go do swoich potrzeb
- wolność rozpowszechniania niezmodyfikowanej kopii programu
- wolność udoskonalania programu i publicznego rozpowszechniania własnych ulepszeń

Autorzy serwisu mają nadzieję, że użycie licencji GPL pozwoli serwisowi AI-Arena rozwijać się z udziałem społeczności programistów sztucznej inteligencji gdyby twórcy przestali mieć możliwość dalszego zajmowania się serwisem.

Należy przy tym dodać, iż licencja GPL zakłada, iż każdy program wykorzystujący kod udostępniony na zasadzie tej licencji również będzie udostępniony na tych samych zasadach. Ogranicza to możliwość wykorzystania kodu projektu w zastosowaniach wymagających tajności kodu. Autorzy pragną w tym miejscu zachęcić wszystkich zainteresowanych dalszym rozwojem do kontaktu z nami oraz do odwiedzenia repozytorium zawierającego najbardziej aktualną wersję (<https://github.com/Buzdygan/ai-arena/>). Repozytorium to zawiera również powstałą dokumentację (również generowaną automatycznie). Ponieważ na chwilę obecną liczymy bardziej na polskich developerów, większość dokumentów jest dostępna tylko w języku polskim. Wyjątkiem jest dokumentacja generowana automatycznie napisana w języku angielskim.

Ambicją twórców serwisu jest uczynienie go centrum rozwoju dziedziny sztucznej inteligencji związanej z tworzeniem inteligentnych botów, działających w warunkach rywalizacji. Swoboda w dodawaniu własnych gier/wyzwań umożliwi rozwijanie serwisu przez jego użytkowników. Istotnym celem jest stworzenie społeczności programistów/badaczy, którzy mogliby wymieniać się pomysłami na temat rozwiązań na łamach serwisu.

Serwis może być wykorzystany również przez firmy szukające rozwiązań skomplikowanych problemów optymalizacyjnych <sup>1</sup>. Wystarczy, że stworzą odpowiednią grę i zorganizują kon-

<sup>1</sup>Zauważmy, że w tym przypadku licencja GPL nie ogranicza firm. Rozwiązanie zgłoszonego problemu są bowiem własnością Użytkownika, który je wysłał w ramach normalnego użycia systemu (nie zaś jako

kurs dla użytkowników serwisu.

Pierwszą okazją do wykorzystania AI-Arena będzie był organizowany we współpracy z firmą Codility. Odbył się on przy okazji finałów mistrzostw świata w programowaniu zespołowym organizowanego w maju 2012 roku w Warszawie. Był to konkurs programów walczących w grę przygotowaną przez Codility (dokładny opis gry zamieszczony został w Dodatku B). Za kontrolowanie rozwiązań uczestników, rozgrywanie meczy i opracowanie rankingu odpowiedzialny był serwis AI-Arena.

---

wykorzystanie w ramach swojego projektu). Nie jest on zatem zobowiązany do publikowania swojego kodu i może z nim zrobić co chce, w szczególności może odsprzedać go zainteresowanej firmie.

# Rozdział 12

## Podział prac

### 12.1. Jakub Tlałka

- Rola w zespole - Lider projektu
  - Ustalanie terminów dodatkowych spotkań
  - Koordynowanie zadań w platformie Redmine
  - Prezentacja postępów prac i planów na najbliższy okres, na spotkaniach z prowadzącym zajęcia
- Kod źródłowy
  - Modele w bazie danych
  - Ekran uruchamiania pojedynczej rozgrywki
  - Generowanie rankingu do konkursu
  - Wyświetlanie informacji o konkursie wraz z rankingiem
  - Testy interfejsu graficznego
  - Automatyczna dokumentacja
- Praca licencjacka
  - Rozdział 1: Wprowadzenie
  - Rozdział 2: Metodologia Pracy
  - Rozdział 4: Podstawowe pojęcia
  - Rozdział 5: Zastosowania w nauce i biznesie
  - Rozdział 6: Podobne platformy
  - Dodatek A: przykładowe gry
- Dokumentacja
  - Plan architektury serwisu
  - Model bazy danych
- Inne

- Ustalenie współpracy z serwisem Codility - wspólne zorganizowanie konkursu programów walczących przy okazji akademickich mistrzostw świata w programowaniu zespołowym
- Wdrożenie serwisu AI-Arena na serwerze Codility
- Usuwanie błędów
- Kontrola przesyłanego kodu

## 12.2. Michał Kawiak

- Rola w zespole - Zastępca lidera projektu
- Kod źródłowy
  - Moduł logowania i rejestracji
  - Profil użytkownika
  - Tworzenie nowej gry
  - Wyświetlanie szczegółów gry
  - Dodawanie komentarzy do gier
  - Dodawanie komentarzy do konkursów
  - Usuwanie i edycja gier
  - Usuwanie i edycja konkursów
  - Wyświetlanie kodu źródłowego Sędziego
  - Wysyłanie bota do gry z menu gry
  - Edycja profilu użytkownika
  - Dodanie podstawowej funkcjonalności JS do serwisu
  - Zapewnienie części obsługi błędów
  - Dodanie ról użytkowników: Moderator gry i konkursu
  - Kompilacja przesłanych programów z użyciem skryptów napisanych przez Szymona Majewskiego
- Praca licencjacka
  - Rozdział 9: Dokumentacja użytkowa i opis implementacji
  - Rozdział 11: Harmonogram prac
  - Rozdział 3: Wymagania projektowe
  - Rozdział 7.4: Serwis webowy
  - Część rozdziału 2: Metodologia pracy - dotycząca opisu procesu śledzenia zmian
  - Mniejsze poprawki w pracy
- Dokumentacja
  - Dokumentacja przypadków użycia
  - Diagram przypadków użycia
  - Software Development Plan



- Pierwsza wersja wizji serwisu
- Inne
  - Pomoc Jakubowi Tlałce w koordynacji projektu - głównie w zakresie GUI
  - Usuwanie powstających na bieżąco błędów w kodzie
  - Kontrola przesłanego kodu

### 12.3. Szymon Majewski

- Rola w zespole - Deweloper backendu
- Kod źródłowy
  - Przesyłanie komunikatów
  - Przeprowadzanie rozgrywki
  - Zbieranie logów
  - Ograniczenie zużycia zasobów przez procesy
  - Pomiar zużycia zasobów przez procesy
  - Automayczny makefile
  - Bezpieczeństwo systemu
- Praca licencjacka
  - Początkowy szkielet pracy
  - Podrozdziały dotyczące nadzorcy 7.2 i 8.2
  - Podrozdział o bezpieczeństwie 8.3
  - Fragmenty rozdziałów 1 i 2
- Dokumentacja
- Inne

### 12.4. Karol Żebrowski

- Rola w zespole - Tester/Deweloper
- Kod źródłowy
  - Wykorzystanie frameworku Gearman
  - Automatyczne testy aplikacji
  - Testowanie z poziomu GUI
  - Moduł do testowania Nadzorcy
  - Sędzia oraz przykładowy Bot dla gry POK
  - Strona główna(w tym opis protokołu gry POK)
  - Wyświetlanie wyników meczy
  - Usuwanie drobnych błędów

- Praca licencjacka
  - Podrozdział 7.3 Scheduler
  - Podrozdział 7.5 Baza danych
  - Podrozdział 7.6 Testowanie
  - Podrozdział 8.1 Django
  - Fragmenty rozdziału 5
  - Drobne poprawki stylistyczne
- Dokumentacja
  - Wizja serwisu
  - Komunikacja ze Schedulerem Partii
- Inne
  - Research na temat Gearmana
  - Przygotowanie i poprowadzenie prezentacji na zajęciach ZPP pt.”Django - porównanie z innymi web frameworkami”
  - Zaprojektowanie protokołu komunikacji dla gry POK

## Rozdział 13

# Podsumowanie

Praca nad serwisem AI-Arena była ciekawym, ale wymagającym doświadczeniem. Słuszną decyzją było rozdzielenie struktury projektu na niezależne części i zgodny z nimi podział pracy w zespole. Największym wyzwaniem okazało się zaprojektowanie systemu rozgrywania meczy, tak by niemożliwe były żadne nadużycia ze strony użytkowników, a jednocześnie pozwalał on na dużą swobodę dodawania różnorodnych gier. Za bardzo pozytywny fakt można uznać szybkie zainteresowanie i zapotrzebowanie na wykorzystanie AI-Arena przy okazji Mistrzostw Świata w Programowaniu Zespołowym.

Postępy w pracach były regularne dzięki co tygodniowym spotkaniom na zajęciach z prowadzącym. Wyznaczanie krótkoterminowych celów zapobiegło opóźnieniom względem planowanego przyrostu. Równie dobrym rozwiązaniem były spotkania w obrębie zespołu, na których kontrolowany był postęp prac w danym tygodniu. Najczęściej używanym przez nas narzędziem do koordynowania pracy okazały się Google Documents. Dodatkowo, używany był również system Redmine w celu kontroli przydziału zadań i podziału pracy. W trakcie roku okazało się jednak, iż ilość czasu, którą trzeba włożyć w zarządzanie projektem za pomocą tego systemu jest nieproporcjonalnie duża w stosunku do wielkości zespołu.

Podsumowując, tworzenie serwisu AI-Arena podczas zajęć ZPP było bardzo cennym doświadczeniem. Podczas pracy rozwinęli oni nie tylko umiejętności programistyczne, ale przede wszystkim umiejętność pracy w zespole, podziału obowiązków oraz samodzielnego prowadzenia projektu, łącznie z jego wdrożeniem. Wierzymy, że zdobyta wiedza będzie pomocna w przyszłym życiu zawodowym, zarówno w pracy jak i w zarządzaniu własnymi projektami.



## Rozdział 14

# Spis płyty

Płyta załączona do pracy zawiera całość projektu. Dla ułatwienia zawartość podzielona jest na następujące katalogi:

- **ai\_arena** Zawiera implementację całego projektu. Składa się on z następujących części:
  - **contests** Główny folder zawierający implementację logiki webowej części serwisu
  - **nadzorca** Folder obejmujący implementację Nadzorcy
  - **registration2** Moduł odpowiedzialny za rejestrację i logowanie. Stworzony na podstawie projektu django-registration (<https://bitbucket.org/ubernostrum/django-registration>)
  - **templates** Szablony HTML służące do renderowania zawartości strony
  - **media** Katalog o zwiększonych prawach służący do zapisywania plików przesyłanych przez Użytkowników, obrazów i arkuszy stylów.
  - **fixtures** Katalog zawierający testowe bazy danych zapisane w formacie json.
- **documentation** Obejmuje dokumentację generowaną automatycznie na podstawie kodu.
- **documents** Znajdują się tam wszelkie dokumenty utworzone w czasie zajęć, w szczególności niniejsza praca licencjacka.
- **makefile** Zawiera skrypty do automatycznej kompilacji programów przesłanych za pośrednictwem serwisu na konkurs.
- **files** W tym katalogu umieszczone zostały pliki pomocnicze jak sędzia majowego konkursu czy przykładowy bot.

Ponieważ nasz serwis korzysta z zewnętrznych modułów - niezbędne jest zainstalowanie ich. Opis instalacji znajduje się w katalogu głównym w pliku *instalacja.txt*.



## Dodatek A

# Przykładowe gry

Każdy z nas zna wiele różnych gier. Również wiele problemów z życia codziennego daje się przedstawić jako gra. Poniżej prezentujemy różne możliwości gier, które mogą być przeprowadzone za pomocą platformy AI-Arena.

### A.1. Szachy

Znana na całym świecie gra dwuosobowa, rozgrywana na kwadratowej planszy o 64 polach. Gracze wykonują naprzemienne posunięcia figurami, a gra kończy się remisem, bądź zwycięstwem któregoś z graczy. Gra jest całkowicie deterministyczna, ale jej złożoność nie pozwoliła dotychczas na znalezienie uniwersalnej strategii wygrywającej, bądź nieprzegrywającej. Jednak obecne programy są już od wielu lat w stanie wygrać z najlepszymi graczami ludzkimi.

### A.2. Poker

Gra wieloosobowa, zawierająca elementy hazardu. Rozgrywka zaczyna się od losowego przydziału kart graczom, dlatego nie istnieje jedyna optymalna strategia grania. Celem gry jest zdobycie wszystkich punktów posiadanych przez innych graczy, które są potrzebne, by uczestniczyć w kolejnych rozdaniach. Istnieje wiele wariantów Pokera, najbardziej znanym jest tzw Texas Hold'em.

### A.3. Gra giełdowa

Każdy gracz ma początkowo określone fundusze. Następnie inwestuje on w akcje dostępne na giełdzie. W zależności od inwestycji innych graczy, zmienia się wartość akcji, a co za tym idzie, dorobek każdego z graczy. Celem jest oczywiście powiększenie swojego kapitału o jak największą sumę, w kolejnych rundach.

### A.4. Gra w wybory

Programy sterują fikcyjnymi partiami politycznymi. Mają ograniczony budżet, który mogą przeznaczać na reklamy, agencje public relations, preparowanie zarzutów pod adresem przeciwnej partii itp. Jest przyjęty konkretny model tego, jak akcje wpływają na wyniki wyborów,

ale programy go nie znają. Mogą analizować efekty swoich działań na podstawie sondaży, które pojawiają się po kolejnych rundach. Wygrywa program, który uzyska największe poparcie w wyborach.



## Dodatek B

# Przykładowy Sędzia, Bot i opis protokołu

Poniżej przedstawiony jest dokładny opis gry, zaproponowanej przez firmę Codility, w którą grali uczestnicy majowego konkursu.

### B.1. Opis protokołu komunikacji

#### Gra POK

Gra Pok jest uproszczoną wersją Pokera Texas Hold'em rozgrywana w dwie osoby. Zasady są następujące: Każdy z dwóch graczy dostaje po jednej karcie z talii zawierającej karty w wysokości: 0, 1, 2, 3 lub 4. Po otrzymaniu karty gracze licują swoje karty i po dwóch rundach uzgadniają zakład.

Celem gry jest uzyskanie większej liczby punktów niż przeciwnik po 200 rozdaniach. Możliwy jest również remis w przypadku, gdy gracze po 200 rundach mają tę samą liczbę punktów.

Każde rozdanie ma następujący przebieg:

- Każdy gracz dostaje jedną kartę ze zbioru 0, 1, 2, 3 lub 4.
- Gracze wykonują pierwszą rundę licytacji:
  - Gracze w sposób tajny i jednocześnie dokonują zakładu z przedziału  $\{10, \dots, 200\}$ .
  - Gracz, który dokonał mniejszego zakładu ma prawo wyrównać (czyli zgodzić się na wyższą stawkę) lub spasować (poddąć rundę).
  - Jeśli jeden z graczy spasował - drugi automatycznie wygrywa
  - Jeśli zaś wyrównał - stawka się zwiększa i przechodzimy do drugiej rundy licytacji.
- Następuje druga runda licytacji:
  - Tylko w przypadku, gdy w pierwszej nikt nie spasował
  - Przebiega w analogiczny sposób jak pierwsza
- Następuje pokazanie kart
  - Tylko, gdy w drugiej rundzie nikt nie spasował

- Gracz z wyższą kartą wygrywa. W przypadku jednakowych kart następuje remis - nikt nic nie wygrywa.

## Protokół

Boty powinny pisać na standardowe wyjście oraz czytać ze standardowego wejścia. Dodatkowo mogą używać standardowego wyjścia błędów do wypisywania informacji diagnostycznych.

Każdy komunikat musi się kończyć znakiem końca linii. Wiadomości wysłane do Botów zawierają jedną lub więcej liczb całkowitych również zakończone znakiem końca linii. Podczas pojedynczej gry komunikaty wymieniane są w następującej kolejności:

- Bot otrzymuje jedną liczbę z przedziału 0..4
- Bot wysyła jedną liczbę z przedziału 10..200 oznaczającą pierwszy zakład
- Dostaje liczbę z przedziału 10..200 - pierwszy zakład przeciwnika
- w zależności od wysokości zakładu przeciwnika Bot wykonuje następującą akcję:
  - zakłady równe - nic nie należy robić, przechodzimy do drugiej rundy licytacji
  - przeciwnik postawił mniej żetonów - wczytujemy jedną liczbę: 0 - oznacza, że przeciwnik spasował, 1 - że wyrównał
  - przeciwnik postawił więcej żetonów - wysyłamy jedną liczbę: 0 - jeśli chcemy spasować, 1 - jeśli chcemy wyrównać zakład
- Druga runda wysyła dokładnie tak samo jak pierwsza
- Jeśli nikt nie spasował po drugiej rundzie Boty wczytują po jednej liczbie z zakresu 0..4 - wysokość karty przeciwnika.

Pojedyncza gra składa się z 200 rozdań. Jeśli program przekroczy limit czasu lub pamięci, albo zagra niezgodnie z protokołem - automatycznie przegrywa. Limity są następujące: **pamięć: 64MB** oraz **czas: 10s**.

Z uwagi na długość Sędziego i przykładowych Botów ich kod źródłowy nie został załączony w tym dodatku. Można go jednak znaleźć na załączonej płycie w katalogu *ai-arena/files/may\_contest/*. Znajdują się tam następujące pliki:

- pok\_judge.cpp - Kod źródłowy Sędziego
- pok\_bot.cpp - Kod źródłowy przykładowego Bota napisanego w języku C++
- pok\_bot.c - Kod źródłowy przykładowego Bota napisanego w C

# Bibliografia

- [PytDoc] Dokumentacja Pythona, [\*http://www.python.org/doc/\*](http://www.python.org/doc/)
- [DjaDoc] Dokumentacja Django, [\*https://www.djangoproject.com/en/1.4/\*](https://www.djangoproject.com/en/1.4/)
- [GeaDoc] Dokumentacja frameworku Gearman, [\*http://www.gearman.org/\*](http://www.gearman.org/)
- [WikiGPL] Opis licencji GNU GPL, [\*http://pl.wikipedia.org/wiki/GPL\*](http://pl.wikipedia.org/wiki/GPL)
- [AppADoc] Dokumentacja programu AppArmor, [\*https://help.ubuntu.com/community/AppArmor/\*](https://help.ubuntu.com/community/AppArmor/)
- [Ptradoc] Dokumentacja ptrace, [\*http://linux.die.net/man/2/ptrace/\*](http://linux.die.net/man/2/ptrace/)
- [SystDoc] Dokumentacja systrace, [\*http://www.systrace.org/\*](http://www.systrace.org/)
- [WaitMan] Dokumentacja funkcji wait3, wait4, [\*http://linux.die.net/man/2/wait3/\*](http://linux.die.net/man/2/wait3/)
- [Scrumm] Opis metodologii Scrumm, [\*http://pl.wikipedia.org/wiki/Scrumm\*](http://pl.wikipedia.org/wiki/Scrumm)