

Санкт-Петербургский Государственный Университет
Математико-механический факультет

Кафедра Системного Программирования

Кладов Алексей Александрович

Разработка системы проверки упражнений для образовательной платформы

Дипломная работа

Допущена к защите.
Зав. кафедрой:
д. ф.-м. н., профессор Терехов А. Н.

Научный руководитель:
Луцев Д. В.

Рецензент:
Вяххи Н. И.

Санкт-Петербург
2014

SAINT-PETERSBURG STATE UNIVERSITY
Mathematics & Mechanics Faculty

Chair of Software Engineering

Aleksei Kladov

Quiz checking system for educational engine

Graduation Thesis

Admitted for defence.

Head of the chair:
professor Andrey Terekhov

Scientific supervisor:

Reviewer:
Nikolay Vyahhi

Saint-Petersburg
2014

Оглавление

Введение	4
1. Платформа Stepic	8
1.1. Возможности платформы	8
1.2. Технологии и инструменты	9
2. Постановка задачи	10
3. Фреймворк для создания новых типов упражнений	11
3.1. Общий вид упражнения	11
3.2. API для создания упражнения	12
3.3. Архитектура решения	13
3.4. Детали реализации	14
3.5. Инструменты для разработки	14
4. Реализованные типы упражнений	16
4.1. Примеры конкретных упражнений и их использование	16
4.2. Пример использования фреймворка сторонним разработчиком	18
5. Изолированное исполнение кода упражнений	20
5.1. Изоляция исполнения кода	20
5.2. Масштабирование	21
Заключение	22
Список литературы	23

Введение

Трудно представить современными мир без Интернета. Он используется в разных сферах жизни с целью повышения удобства социальных взаимодействий между людьми, улучшения качества услуг и расширения возможностей каждого отдельно взятого человека. Не стала исключением и сфера образования, электронная версия которой даёт пользователям возможность слушать лекции, выполнять упражнения, читать конспекты, не присутствуя физически в лекционной аудитории. Электронные образовательные ресурсы получили такое большое распространение, так как они позволяют получать качественное образование в удобном месте и в удобное для себя время, причём с максимально комфортной скоростью. Данный формат обучения получил название МООС (Massive open online course) — массовый открытый online-курс.

Стоит обратить внимание на отличия электронного обучения от традиционного. Во-первых, из-за большей доступности и удобства учебного процесса количество слушателей курса может достигать нескольких десятков тысяч человек, что существенно больше, чем в обычном академическом потоке в университете, поэтому часто уделить индивидуальное внимание каждому студенту не предоставляется возможным [13].

Во-вторых, различие проявляется в подготовке и изменении учебного материала. В университете преподаватель может изменять курс в зависимости от успеваемости, предпочтений и количества студентов после начала курса. В электронной версии изменять лекции заметно сложнее, так как это потребует записи новых видеоуроков, подготовки новых упражнений и, вероятно, изменения формата лекций. В связи с этим, чаще всего курсы сразу готовятся высокого качества и уникальными для каждого преподавателя и предмета. Большое внимание уделяется улучшению восприятия информации: визуализации, анимации, хорошей дикции преподавателя, электронным конспектам, дополнительным статьям, субтитрам, видеопрезентациям. Все курсы тщательно прорабатываются, поэтому потенциально электронное образование сможет стать хорошим дополнением к традиционному, так как в сети уже сейчас находится огромное количество качественного учебного материала.

В-третьих, студенты электронного курса склонны переоценивать свои силы. Кроме того, пропадает мотивация из-за отсутствия понятия «академическая неуспеваемость» как такового. Также на online-курс проще записаться, чем поступить в университет, что порождает большой спрос. Из-за отсутствия последствий непрохождения курса до конца и личного общения с преподавателем пропадает и мотивация студентов курса [2].

В-четвёртых, свободный формат позволяет студенту заниматься в удобное для него время. Студент может скачивать лекции на мобильный телефон и смотреть их в любом месте, выполнять и проверять результаты выполнения домашних заданий вне урока, общаться со своими одногруппниками на учебных форумах [7] и т.п.

Если углубиться в историю, то можно проследить, что online-образование начало развиваться параллельно с распространением персональных компьютеров. Возможность получать знания удалённо и в новом формате стала главным фактором в популяризации МООС. Одним из первых примеров дистанционных лекций стали уроки Уолтера Левина, профессора физики из Массачусетского Технологического Университета (MIT), в 1982 году. Эти лекции транслировались по кабельному телевидению и имели большой успех. Он же в потом использовал для дистанционного чтения лекций программу Skype. Затем MIT опубликовал большую часть своих учебных материалов и запустил проект OpenCourseWare (OCW). С помощью OCW стали распространяться многие материалы. Но OCW не является МООС в современном понимании этого слова. МООС — полноценный курс, состоящий не только из лекций, но и из системы сдачи и проверки упражнений и прочих необходимых инструментов. Первым Интернет-ресурсом, предоставляющим МООС в полной мере, стал стартап-проект Udacity, запущенный, в свою очередь, с целью расширения программы демократизации образования Стенфордского Университета. В начале студентам предлагалось всего два курса: по написанию поисковых машин и программированию беспилотных автомобилей. С тех пор формат курса мало изменился: студент может записаться на любое количество курсов до истечения сроков первого домашнего задания, по окончании курса и при условии выполнения необходимого для зачёта минимума упражнений студент получает электронный сертификат с подписью преподавателя. С 2012 года в Udacity появилась возможность сдачи очного экзамена за определённую плату.

В настоящее время самым успешным и популярным ресурсом, предоставляющим МООС-курсы является Coursera [3]. Этот ресурс позволяет проходить курсы почти по всем направлениям, допускающим online-формат обучения: от фундаментальной математики до истории изобразительного искусства. Формат курсов примерно совпадает с форматом курса на платформе Udacity. Студент может записываться на курс, после чего ему становятся доступны учебные материалы. Учебные материалы представляют собой тематические наборы видеоуроков небольшой продолжительности (около 10 минут). Блок может состоять из нескольких уроков. Так же часто в дополнение к видеоурокам выкладывается использованная в них презентация и текстовый конспект. По каждой теме есть ряд домашних заданий с жёсткими сроками их выполнения. Курс может быть последовательным (по 1-2 темы в неделю, на выполнение домашних заданий даётся по 1-3 недели) и общим (все материалы доступны сразу, домашние задания следует выполнить до окончания курса).

Стоит также заметить, что, несмотря на все плюсы, online-образованию присущ ряд специфичных проблем:

- ограниченные возможности проверки знаний,
- большая стоимость создания курса,

- отношение количества студентов, закончивших курс, к количеству студентов, записавшихся на него, как правило, очень маленькое.

Специфика online-обучения

Как было сказано выше, у электронного обучения есть ряд проблем, влияющих на его реализацию.

Из-за того, что упражнения должны проверяться автоматически, так как в случае десятков тысяч студентов вручную проверять работы не представляется возможным, теряется многообразие видов используемых упражнений. Например, вопросы со свободным ответом проверять затруднительно из-за индивидуальных особенностей формулирования и выражения мыслей, пусть даже и формальных (в случае математических доказательств). Не малой проблемой так же является большая стоимость создания курса: запись видеолекций требует специального оборудования, большого количества времени на съёмку и обработку: подготовка электронного конспекта, инструкций для прохождения курса, написание субтитров, презентаций и т.п. Всё это требует большого времени и вложений. Немаловажной частью подготовки является разработка системы упражнений.

Как было замечено выше, большая часть студентов, записавшихся на курс его не заканчивает [2], что можно считать проблемой, так как становится не до конца понятно, как с этой проблемой бороться, и стоит ли. Так же нужно готовиться к большей нагрузке на сервер приложения, так как до сдачи первого домашнего задания она сильно больше, чем будет в среднем в курсе после истечения срока сдачи первых задач.

Стоит заметить, что в электронном образовании лекционный материал может быть представлен очень хорошо, зачастую лучше, чем в аналогичном по содержанию классическом курсе. Так как студент сам активно взаимодействует с лекционным материалом, он может изучать его с удобной для себя скоростью. Можно сказать, что лекции хорошо «масштабируются» по количеству студентов. При этом практическая часть обучения — решение задач и выполнение упражнений — в электронном обучении реализуется значительно хуже. Дело в том, что, в связи с большим количеством студентов, упражнения необходимо проверять без участия преподавателя. Но не для каждого типа упражнения придуман способ подобной автоматизации. Кроме того, проверять домашние задания приходится чаще, чем в очном обучении, поэтому данная автоматизация должна быть достаточно быстра.

Существующие платформы

На данный момент существует большое количество платформ для размещения МООС. В таблице 1 приведена информация о наиболее интересных из них.

	Год основания	Количество студентов
Udacity	2011	1.6 млн.
Coursera	2012	7.1 млн.
edX	2012	2.1 млн.

Таблица 1: Год основания и число пользователей МООС платформ на Май 2014 года

Udacity Первая платформа для МООС [14]. Формат обучения практически совпадает с форматом в других платформах. Предоставляет большой выбор тем курсов. На этой платформе есть ряд сертифицированных Стенфордским Университетом курсов, прохождение которых может быть зачтено в качестве сдачи очного курса в Стенфордском университете. Многие студенты этим пользуются, так как параллельно с очным курсом может идти другой интересующий студента курс.

Coursera Крупнейшая на настоящий момент платформа. Так же как и на Udacity некоторые курсы в Coursera могут быть зачтены в некоторых американских университетах в качестве зачёта по очному курсу [3]. Упражнения — вариации Choice (выбрать ответ из предложенных вариантов) и String (написать верную строку, будь то отсортированный массив чисел или ответ на конкретный вопрос). Так же в качестве ответа может быть использована математическая формула (Math). Нет возможности давать домашние задания, ответами на которые будут являться исходный код, текстовый файл и т.п. (Code, Dataset и Sorting). Нет API для создания новых типов упражнений, поэтому использовать в рамках курса можно только реализованный на платформе типы упражнений. Зато можно подключать сторонние сервисы для проверки упражнений через API. Например, таким сторонним сервисом для проверки домашних заданий может являться платформа Stepic.

edX Основан на Open edX — платформе с открытым исходным кодом [15]. Имеет API для расширения, в том числе и расширения различными видами упражнений. Но он ограничен — нет заранее готовящихся наборов входных данных, нельзя исполнять программный код, введённый студентом в качестве ответа к задаче из домашней работы.

Рассмотренные выше системы имеют очень широкое использование и, казалось бы, удовлетворяют всем нуждам современного online-образования. Но ограниченный набор возможностей давать интересные и необычные домашние задания приводит к необходимости искать новые решения. Этим решением является платформа Stepic.

1. Платформа Stepic

Платформа Stepic [12] это молодой проект, развивающийся в рамках сторонних проектов компании JetBrains. Разработка платформы стартовала в 2013 году. На текущий момент работу над проектом ведут семь человек. Сейчас её пользуются 23 тысячи студентов, несколько курсов. На платформе создано более 400 уроков, многие из которых объединены в курсы. Из завершившихся курсов стоит отметить следующие:

Алгоритмы в биоинформатике: англоязычный курс, проходивший одновременно с соответствующим курсом в проекте Coursera. В данном случае платформа Stepic использовалась как дополнения к Coursera в качестве подсистемы для упражнений. Курс состоял из большого количества текстовых материалов и задач на программирование в области алгоритмической биологии. В курсе приняли участие более 10 тысяч человек со всего мира.

Алгоритмы и структуры данных: русскоязычный курс, не доступный без приглашения в настоящий момент, использовавшийся для предварительной оценки знаний абитуриентов Computer Science Center в Санкт-Петербурге. В нём приняли участие 500 человек из России. Курс состоит из видео лекций и различных типов упражнений. Наиболее часто использовались упражнения на программирование и упражнения со свободным ответом.

1.1. Возможности платформы

Единицей учебного материала в платформе Stepic является урок. Урок — это набор упражнений и/или теории, представленный в виде слайдов. Максимальное количество слайдов, которое можно использовать в уроке 16 штук. Цель каждого урока — изучить одну тему.

Уроки можно группировать в тематические курсы. Основными задачами курса являются:

- Организация и упорядочивание уроков.

Как правило курс состоит из блоков уроков. Блоки могут формироваться по определённой теме. Например, в курсе по алгоритмам и структурам данных удобно группировать уроки, посвящённые алгоритмам решающие схожие задачи: алгоритмы сортировок, алгоритмы поиска подстрок в строке и т.п. Так же уроки можно разбить на блоки, среднее выполнение заданий из которых примерно равно. Так можно создать блок с уроками на неделю, месяц и т.д.

- Организация групп пользователей

Неотделимо от курса можно рассматривать множество проходящих его студентов. Курс можно запускать несколько раз, и платформа должна уметь различать студентов, проходивших его в первый раз и во второй. Кроме того, различными должны быть и рейтинговые таблицы студентов, проходящих курс. Помимо хранения информации о студентах надо устанавливать временные сроки, дающиеся на выполнение заданий.

Платформа Stepic ориентирована на интеграцию и сотрудничество с другими инструментами online образования [11]. Для этого платформа реализует ряд API, такие как:

- oEmbed: необходимо для встраивания почти на любую веб-страницу.
- LTI: с помощью него есть возможность быть встроенным в Coursera.

Так было в курсе по биоинформатике, когда наша платформа использовалась в качестве подсистемы проверки упражнений.

Отличительной особенностью платформы Stepic является разнообразие предоставляемых типов упражнений (на данный момент более 8. Для сравнения, на Coursera их около 4). В связи с этим очень важна возможность и лёгкость расширения набора доступных разновидностей упражнений.

1.2. Технологии и инструменты

Server side Серверная часть разрабатывается на языке Python 3. Основу составляет веб-фреймворк Django. При этом Stepic представляет собой rich web application, поэтому сервер только предоставляет REST API [5], при помощи Django REST framework, а вся логика представления описана в клиентской части.

Для обеспечения масштабируемости была использована библиотека Celery, которая позволяет распределять выполнение заданий по многим процессам, не обязательно в рамках одной машины.

Для нужд подсистемы упражнений также были использованы библиотеки SymPy для символьных вычислений и AppArmor для обеспечения изоляции кода.

Client side Клиентская часть разрабатывается на языке CoffeeScript. Как уже упоминалось, именно на клиентскую часть ложится вся забота о взаимодействии с пользователем — генерация html страниц, обработка ввода, отправка запросов к серверу. Поэтому для неё был выбран client side фреймворк Ember.js.

Платформа располагается на Amazon AWS.

2. Постановка задачи

Целью данной работы является реализация системы для создания и проверки упражнений в образовательной платформе Stepic, с возможностью лёгкого добавления новых типов упражнений, в том числе и сторонним разработчикам.

Для достижения этой цели были сформулированы следующие задачи:

- Обеспечить возможность лёгкого расширения набора типов упражнений сторонними разработчиками (реализовать соответствующий API к платформе Stepic и фреймворк для разработки).
- Реализовать с помощью разработанного фреймворка в платформе Stepic типы упражнений, часто встречающиеся в других образовательных платформах и проверить их работу на практике.
- Реализовать возможность масштабирования и изолированного исполнения потенциально не безопасного кода упражнений.

3. Фреймворк для создания новых типов упражнений

3.1. Общий вид упражнения

Разработка фреймворка была начата с анализа упражнений в различных платформах, таких как Rosalind [9], Coursera [3], edX [15] и Udacity [14]. В результате изучения существующих типов упражнений в этих платформах было выявлено, что взаимодействие пользователя с упражнением можно описать набором следующий общих шагов:

Шаг 1. Пользователь читает условие упражнения. Условие представляет собой текст определённого формата. При этом в условие можно внедрять параметры упражнения, например ограничения или примеры решений для маленьких наборов данных.

Шаг 2. Пользователь нажимает на кнопку «начать решать». После этого ему представлен один из вариантов входных данных. Формы представления входных данных могут сильно отличаться. Например, это может быть ссылка на файл, или набор возможных вариантов ответов. Часто бывает так, что входных данных вообще нет, то есть, при каждой попытке верным будет один и тот же ответ.

Шаг 3. Пользователь вводит свой ответ. Вид ответа также зависит от упражнения. Например это может быть слово или словосочетание на естественном языке, математическая формула, фрагмент кода на каком-нибудь языке программирования или список вариантов.

Шаг 4. Пользователь нажимает на кнопку «отправить». В этом случае, сначала происходит первичная проверка ответа на корректность. Если ответ очевидно не корректный (например, ответ просто пустой) то, скорее всего, кнопка была нажата случайно. В этом случае пользователю предлагается ввести ответ. Если же первичная проверка ответа прошла успешно, то он отправляется на сервер, где происходит проверка.

Шаг 5. В результате этой проверки оценивается правильность ответа. Её можно оценивать по шкале от 0 до 1 и в случае необходимости переводить этот первичный балл в любую шкалу. Также иногда необходимо дать комментарий к ответу пользователя. Например, если пользователь совершил часто встречающуюся ошибку, то можно объяснить, почему этот вариант ответа является неверным.

Шаг 6. Пользователь видит оценку и подсказку, если она есть.

Как видим, совершаемые шаги достаточно однообразны для каждого упражнения, а так же в ряде случаев могут быть оптимизированы по скорости проверки ответа или по скорости генерации новых входных данных.

Заметим, что пользователь может совершить несколько попыток сдачи задания за достаточно короткий промежуток времени. Входные данные упражнения отличаются от попытки к попытке и генерируются случайным образом на сервере. При этом для некоторых типов упражнений создания входных данных может занимать существенное время. Поэтому целесообразно создавать набор входных данных заранее, и в момент начала решения мгновенно выдавать пользователю заранее заготовленный экземпляр входных данных.

В принципе, для проверки решения пользователя должно быть достаточно входных данных, ведь из них можно получить правильный ответ, решив задачу на сервере предложенным автором упражнения способом. Однако стоит обратить внимание на то, что проверка ответа в таком случае может быть долгой, ведь будет необходимо заново решить упражнение. Вместе с тем, проверку надо выполнять быстро, чтобы как можно быстрее обеспечить пользователю обратную связь. Таким образом, оказывается эффективным и удобным вместе с входными данными создавать ключ к ним, который позволяет быстро проверить правильность решение пользователя.

3.2. API для создания упражнения

Из описанных выше шагов можно выделить следующий общий набор операций, необходимых для работы любого упражнения:

Создание экземпляра упражнения из исходных данных. У упражнения есть исходный код. Нужно проверить, что этот код корректен. В случае реализации Dataset-упражнения, нужно проверить, что правильно регенерируются входные данные. На этом этапе проверяется, способен ли код автора упражнения создавать экземпляры упражнения.

Создание пары (входные данные, ключ) Далее с помощью созданного экземпляра упражнения мы создаём пары (входные данные, ключ) и сохраняем их в базу данных для последующего использования.

Отображение входных данных для пользователя. Помимо текста задачи мы должны отобразить входные данные в интерфейсе упражнения. Для упражнений типа Sorting это некоторая перестановка данных. В случае упражнения типа Dataset - кнопка, нажав на которую начнётся загрузка входных данных на компьютер студента.

Получение ответа пользователя. Помимо выведения входных данных, мы должны уметь получать ответ пользователя. В случае упражнений типа Math, String,

Dataset (так же доступна опция загрузки на сайт текстового файла), Code ответом пользователя будет являться строка, написанная в поле ввода. В случае Choice — состояние флагов предложенной выборки.

Первичная проверка ответа. Часть ответов можно даже не проверять, заведомо зная, что они неверны. Например, ответом на задачу типа Number не может быть пустая строка, в случае Choice, где нужно выбрать хотя бы один вариант — выбран ровно один вариант и т.п.

Проверка ответа пользователя при помощи ключа. Происходит проверка правильности результата. Так же в этот метод входит оценка правильности вещественным числом из интервала $[0, 1]$ и генерация текстовой подсказки.

Данным API будут пользоваться не только разработчики платформы Stepic, но и авторы курсов, которые могут прекрасно разбираться в своей предметной области, но не быть знакомыми с особенностями реализации и устройства Stepic. Поэтому для подсистемы упражнений крайне важна простота и модульность. В связи с этим каждый тип упражнения — это модуль, никак не зависящий от остальной платформы и между собой. Более того, эти модули можно использовать и без платформы Stepic.

Коллекция реализаций существующих модулей доступна на GitHub в публичном репозитории [17]. Репозиторий открыт для добавления новых модулей.

3.3. Архитектура решения

Привлекательной кажется идея реализовывать упражнения целиком на стороне клиента, и сообщать на сервер только результаты проверки. Это позволило бы реализовывать упражнения целиком на одном языке, и обеспечило бы хороший опыт взаимодействия, так как не было бы задержек из-за коммуникации между клиентом и сервером. Однако у такого решения есть существенные недостатки. Во-первых, можно легко симулировать решение упражнения, не решая его. Во-вторых, для решения некоторых упражнений может потребоваться существенные вычислительные затраты. В-третьих, не все задачи можно решить в браузере. Поэтому для реализации упражнений была выбрана клиент-серверная архитектура, в которой клиентская часть отвечает только за взаимодействие с пользователем, а сервер за создание входных данных и проверку ответов. При этом клиент общается с сервером при помощи аякс-запросов, и поэтому для работы упражнения не требуется перезагрузка страницы.

Для ускорения упражнений используется банк попыток — набор заранее созданных пар входные данные/ключ.

Исполнение потенциально не безопасного кода упражнений осуществляется в изолированных песочницах.

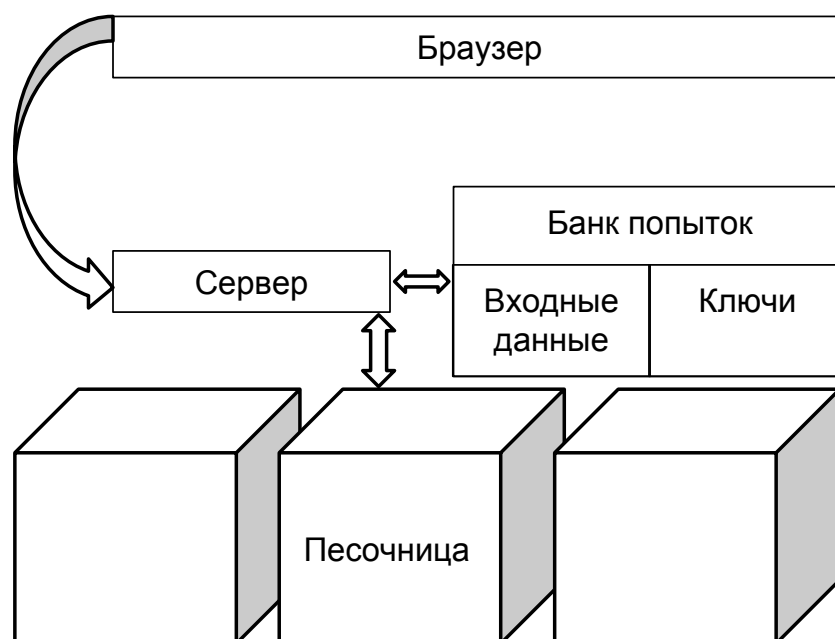


Рис. 1: Архитектура решения

3.4. Детали реализации

Для сохранения данных упражнений был выбран формат JSON. Он удобен по двум причинам. Во-первых, для добавления нового типа упражнений нет необходимости менять схему базы данных, что позволяет отделить упражнения от остальной платформы. Во-вторых JSON можно использовать в качестве формата сообщений, которыми общаются клиент и сервер.

Для реализации серверной части выбран язык Python 3. Это простой и удобный язык высокого уровня, главное преимущество которого заключается в уменьшении затрат на разработку модулей [8].

Для создания серверной части разработчику модуля упражнения необходимо определить на Python наследника класса BaseQuiz.

Также при помощи eDSL необходимо описать JSON формат для исходных данных упражнения, входных данных и ответа.

Клиентская часть реализуется на JavaScript или на CoffeeScript. Для реализации клиентской части упражнения необходимо определить функции отрисовки начальных данных для интерфейса редактирования и функции отрисовки входных данных и ответа для интерфейса решения. Также есть возможность создавать клиентскую часть упражнения в виде компоненты Ember.js.

3.5. Инструменты для разработки

Для упрощения разработки модулей упражнений был разработан ряд инструментов.

Сервер для разработки, который позволяет запускать упражнения без Stepic. Сервер автоматически перезагружается при изменении исходного кода. С его помощью можно проверить как серверную, так и клиентскую части модуля упражнения.

Шаблон упражнения, на основе которого можно быстро начать разрабатывать свой модуль.

Документация для разработчиков [16].

4. Реализованные типы упражнений

С помощью фреймворка в Stepic были разработаны следующие типы упражнений:

Choice — выбор ответа из списка предложенных вариантов.

Code — написание программы для эффективного решения задачи.

Dataset — машинная обработка входных данных.

Free Answer — свободный ответ.

Math — проверка символьной формулы.

Number — числовой ответ.

Sorting — упорядочивание предложенного набора.

String — проверка ответа при помощи регулярного выражения.

4.1. Примеры конкретных упражнений и их использование

Рассмотрим возможности фреймворка на примере некоторых упражнений, представляющих наибольший интерес с точки зрения разработки, а так же часто встречающихся в других образовательных платформах.

Choice При выполнении упражнения студент должен выбрать среди предложенных вариантов ответа правильные. Этот тип упражнений имеет много опций: размер выборки из возможных вариантов ответов (как правильных, так и не правильных), её случайность, количество правильных ответов в выборке. Это наиболее часто встречающийся в различных платформах тип упражнения из-за простоты реализации со стороны платформы и со стороны авторов курсов. Однако у него есть свои недостатки, а именно: студент может просто угадывать правильные ответы и студент не может придумать своё, по настоящему оригинальное, решение.

Dataset: При выполнении данного упражнения предлагается, что студент, скачав текстовые входные данные, даст ответ в качестве текста. Этот тип упражнений подходит для некоторых упражнений на программирование в случаях, когда студенту необходимо использовать определённые инструменты или когда нет нужды проверять эффективность решения. Этот тип упражнения предполагает использование любых средств для решения задачи, но несмотря на это размер входных данных у упражнений такого типа не может быть сильно большим, чтобы их удобно было скачивать через Интернет, а затем проверять. Кроме

того, давая такие упражнения студентам, становится сложно проконтролировать эффективность пользовательского решения. И помимо это студенту необходимо иметь весь необходимый инструментарий для разработки у себя на компьютере.

Code: Является дополнением Dataset-упражнений. Выполняя это упражнение, студент должен предоставить в качестве решения работающий код на каком-то конкретном языке программирования. Код затем будет исполнен на сервере, с замерами времени и памяти. Это удобно для проверки эффективности решения, однако необходимо решать задачу на одном из поддерживаемых языков программирования (Java, Python, C++, Octave, Haskell).

Созданные с помощью реализованного фреймворка упражнения были успешно использованы на практике, причём для разных курсов как правило используются разные наборы упражнений. Например, в курсе «Алгоритмы в биоинформатике» большую часть упражнений составляли упражнения типа Dataset. Этот тип упражнений оказался наиболее удобным, так как позволяет создавать в качестве заданий задачи на обработку больших объёмов данных, что характерно для биоинформатики. В то же время для решения можно было использовать любой язык программирования. В свою очередь в курсе «Алгоритмы и структуры данных» большую часть упражнений составляли упражнения типа Code и Free Answer. Упражнения типа Code оказались удобны, так как позволяют строго ограничить решения по времени и памяти, что необходимо для проверки эффективности реализации алгоритмов. Упражнения типа Free Answer использовались для теоретических задач, где свободный ответ содержал доказательства или идею алгоритма.

4.2. Пример использования фреймворка сторонним разработчиком

Стоит так же упомянуть, что данный фреймворк используется не только для реализаций упражнений в платформе Stepic. В мае 2014 компанией JetBrains было организовано мероприятие, посвящённое информационным технологиям в образовании. В рамках этого мероприятия участникам нужно было представить прототип проекта, который бы помогал использовать IT-технологии для улучшения процесса и качества образований.

Одним из участников мероприятия для реализации проекта было использовано реализованное в рамках данной работы API, и был создан новый тип упражнения Admin для курса по системному администрированию ОС Linux. Данное упражнение использует сторонний сервис на базе Open Stack, позволяющий конфигурировать учебный Linux-сервер с помощью командной строки. Задача упражнения — выполнить настройку определённого ПО на сервере. Для проверки задания надо определить

набор тестов, который должен пройти Linux-сервер после конфигурации.

Модуль упражнения Admin взаимодействует со сторонним сервером по протоколу HTTP. Стоит заметить, что при разработке API модулей упражнений возможность коммуникации со сторонними сервисами не рассматривалась, тем не менее, API оказалось достаточно удобным и для этого случая.

Таким образом с помощью фреймворка можно создавать самые разнообразные типы упражнений, расширять их функциональность и задействовать для этого сторонние инструменты.

5. Изолированное исполнение кода упражнений

Для работы многих важных типов упражнений необходимо исполнять потенциально не безопасный код. Из упражнений, реализованных в на данный момент Stepic, такими типами являются следующие:

Dataset Генерация входных данных и проверка ответа происходит при помощи кода, написанного на языке Python, автором которого является автор упражнения, что в случае открытого API для создания упражнений может привести к исполнению некорректного кода.

Code Также как и в предыдущем случае необходимо выполнять Python-код автора упражнения. Но для проверки ответа также необходимо запустить код студента, который был отправлен в качестве ответа на вопрос задачи. Код студента может быть не только на языке Python, но и на другом языке программирования, поддерживаемом в платформе Stepic (например на Java или Haskell).

Math В упражнении этого типа производится сравнение математических формул при помощи библиотеки SymPy. Библиотека SymPy может быть не безопасна, так как она использует функцию eval (Python), которая позволяет исполнить любой код, в том числе некорректный.

String В упражнение этого типа для проверки можно задавать регулярное выражение. Во многих современных языках программирования проверка строки на соответствие регулярному выражению имеет экспоненциальную сложность, что может привести к DOS атаке.

Таким образом возникает необходимость обеспечивать изолированное и ограниченное по ресурсам исполнение кода упражнения. Код, безопасное исполнение которого мы должны гарантировать, может быть написан на языке Python или на другом компилируемом или интерпретируемом языке программирования, допустимым для решения того или иного задания или поддерживаемого в платформе Stepic.

5.1. Изоляция исполнения кода

За основу при реализации подсистемы безопасного исполнения кода была взята библиотека CodeJail. CodeJail основывается на инструменте AppArmor — безопасном [1] и удобном для использования [10] средстве мандатного управления доступом. Также CodeJail предоставляет интерфейс для использования из Python, на котором ведется разработка в Stepic.

Использовать библиотеку CodeJail как есть не удалось, так как она не удовлетворяет следующим требованиям:

- Совместимость с Python 3. Библиотека CodeJail написана на языке Python 2 и не работает с версией языка, которая используется при разработке Stepic.
- Поддержка компилируемых языков программирования. Библиотека CodeJail позволяет запустить исходный код пользователя при помощи любого интерпретатора, однако не позволяет его перед этим скомпилировать.
- Наличие сообщений о превышении допустимых ограничений на ресурсы. Если программа завершается из-за превышения ресурса времени или памяти, то об этом не сообщается. С точки зрения пользователя она просто завершена.

Для решения вышеперечисленных проблем библиотека CodeJail была существенно расширена, а именно: портирована на Python 3, с добавленной поддержкой компилируемых языков программирования, улучшены сообщения об ошибках.

Также были созданы профили AppArmor для Java, Python, Octave и компилируемых языков программирования, таких как C++ и Haskell.

5.2. Масштабирование

Важным требованием к системе проверки упражнений является её масштабируемость. В каждом курсе участвует большое количество студентов, многие из которых сдают упражнения. Быстрое получение результата попытки сдать упражнение приводит к тому, что для сдачи упражнения совершается большее количество попыток в менее короткий срок. Более того, нагрузка сильно не равномерная — в последний возможный день сдачи упражнения можно наблюдать большой пик попыток [13].

В качестве инструмента для масштабирования была выбрана реализация распределённой очереди задач Celery, так как она позволяет масштабироваться эффективно [6].

Эффективность решения была проверенно экспериментально. В эксперименте измерялось время создания 60 попыток для упражнения типа Code в зависимости от количества потоков-обработчиков. Результаты измерений приведены в таблице 2.

количество процессов	время выполнения
1	37 с
2	20 с
4	8 с

Таблица 2: Эффективность масштабирования

Заключение

В результате проделанной работы все поставленные цели были достигнуты.

Был разработан фреймворк для создания новых типов упражнений в виде подключаемых модулей. В состав фреймворка также входят шаблон для начала разработки упражнения, набор примеров для демонстрации возможности API и сервер для локального запуска и тестирования упражнений. С подробной документацией фреймворка можно ознакомиться в [16].

С использованием данного фреймвока были разработаны следующие типы упражнений: Choice, Code, Dataset, Free Answer, Math, Number, Sorting, String. Эти типы упражнений были успешно использованы в курсах «Алгоритмы в биоинформатике», «Алгоритмы и структуры данных» и других. Специальный тип упражнения Admin для курса по системному администрированию Linux был создан сторонним разработчиком, в рамках мероприятия Хакатон [4]. Был опубликован репозиторий со всеми существующими модулями [17].

На основе библиотеки CodeJail и инструмента AppArmor была создана система безопасного исполнения кода с возможностью ограничения и измерения затраченных ресурсов. Эта система была использована при создании упражнений типа Code, Dataset, Math и String. При помощи библиотеки Celery было достигнуто масштабируемое и распределённое исполнение кода упражнений.

Список литературы

- [1] Bauer Mick. Paranoid Penguin: An Introduction to Novell AppArmor // Linux J. — 2006. — Vol. 2006, no. 148. — P. 13–. — <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1149826.1149839>.
- [2] Clow Doug. MOOCs and the Funnel of Participation // Proceedings of the Third International Conference on Learning Analytics and Knowledge. — LAK '13. — New York, NY, USA : ACM, 2013. — P. 185–189. — <http://doi.acm.org/10.1145/2460296.2460332>.
- [3] Coursera. — <https://www.coursera.org/about/>.
- [4] EdTech Hakathon. — <http://jetbrains.timepad.ru/event/114248/>.
- [5] Fielding Roy T, Taylor Richard N. Principled design of the modern Web architecture // ACM Transactions on Internet Technology (TOIT). — 2002. — Vol. 2, no. 2. — P. 115–150.
- [6] Lunacek M., Braden J., Hauser T. The scaling of many-task computing approaches in python on cluster supercomputers // Cluster Computing (CLUSTER), 2013 IEEE International Conference on. — 2013. — Sept. — P. 1–8.
- [7] Mak Sui, Williams Roy, Mackness Jenny. Blogs and forums as communication and learning tools in a MOOC // Networked Learning Conference / University of Lancaster. — 2010. — P. 275–285.
- [8] Prechelt Lutz. An Empirical Comparison of Seven Programming Languages // Computer. — 2000. — Vol. 33, no. 10. — P. 23–29. — <http://dx.doi.org/10.1109/2.876288>.
- [9] Rosalind. — <http://rosalind.info/about/>.
- [10] Schreuders Z. Cliffe, McGill Tanya, Payne Christian. Empowering End Users to Confine Their Own Applications: The Results of a Usability Study Comparing SELinux, AppArmor, and FBAC-LSM // ACM Trans. Inf. Syst. Secur. — 2011. — Vol. 14, no. 2. — P. 19:1–19:28. — <http://doi.acm.org/10.1145/2019599.2019604>.
- [11] Service-oriented e-learning platforms: From monolithic systems to flexible services / Declan Dagger, Alexander O'Connor, Seamus Lawless et al. // Internet Computing, IEEE. — 2007. — Vol. 11, no. 3. — P. 28–35.
- [12] Stepic, an educational engine. — <https://stepic.org>.

- [13] Studying learning in the worldwide classroom: Research into edx's first mooc / Lori Breslow, David E Pritchard, Jennifer DeBoer et al. // Research & Practice in Assessment. — 2013. — Vol. 8. — P. 13–25.
- [14] Udacity. — <https://www.udacity.com/>.
- [15] edX. — <https://www.edx.org>.
- [16] Документация API. — <https://readthedocs.org/projects/stepic-plugins>.
- [17] Репозиторий с упражнениями. — <https://github.com/StepicOrg/stepic-plugins>.