

УДК 004.9

Кибзун А.И., Мартюшова Я.Г., Мхитарян Г.А., Наумов А.В., Рыбалко А.А.

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва,
Россия

АРХИТЕКТУРА И ТЕХНОЛОГИИ АДАПТАЦИИ СДО МАИ КАК КОМПЛЕКСА ЭЛЕКТРОННЫХ УЧЕБНИКОВ ПО МАТЕМАТИЧЕСКИМ ДИСЦИПЛИНАМ*

АННОТАЦИЯ

В работе описывается реализация архитектуры системы дистанционного обучения на примере СДО МАИ CLASS.NET. Рассматривается процесс программной интеграции в управляющую оболочку СДО комплекса статистических алгоритмов, обеспечивающих анализ работы пользователей системы дистанционного обучения математическим дисциплинам и адаптацию контента этой системы под изменяющийся контингент пользователей. Программно-алгоритмический комплекс содержит специальные оптимизационные процедуры для оценки параметров различных вероятностных моделей, используемых в системе, на основе накопленной статистики о работе пользователей. Кроме того, предложены решения задач повышения эффективности работы программной реализации комплекса методов и алгоритмов и описаны примененные технологии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Система дистанционного обучения; СДО; архитектура СДО; безопасность системы; статистическая обработка данных; адаптация контента; электронный учебник.

**Andrey Kibzun, Ianina Martiushova, Georgy Mkhitaryan, Andrey Naumov,
Aleksey Rybalko**

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

SYSTEM ARCHITECTURE AND TECHNOLOGIES OF ADAPTATION OF LMS MAI CLASS.NET AS SET OF ELECTRONIC MATH TEXTBOOKS

ABSTRACT

In the article the system architecture of learning management systems are described by considering the example of LMS MAI CLASS.NET. The process of integration of statistical algorithms and optimization tools and methods into the management shell of LMS for analyzing user data and adaptation of learning content are discussed. Apart from discussing efficiency of LMS usage with the above mentioned methods, the article also discusses general security architecture of the LMS and the set of technologies used for developing system security with specific implementation examples.

KEYWORDS

Learning management system; LMS; system architecture of LMS; system-security; statistical data analyzing; adaptation of learning content; electronic textbook.

Введение

В современном образовательном процессе много внимания уделяется обеспечению доступа и использованию компьютерных технологий, в частности, данные технологии важны при организации дистанционного образования для различных категорий обучающихся. Для обучения при помощи персональных и нередко используемых сейчас планшетных компьютеров используют системы дистанционного обучения (СДО) или, как принято называть в англоязычной документации, LMS (Learning Management System). Среди современных систем наиболее распространенными являются Moodle, Blackboard. СДО являются сложными программными

* Труды XI Международной научно-практической конференции «Современные информационные технологии и ИТ-образование» (SITITO'2016), Москва, Россия, 25-26 ноября, 2016

продуктами, позволяющими создавать образовательные курсы, которые включают в себя в различном виде теоретический (видеоматериалы, аудиоматериалы, электронные версии текстовых учебных изданий) и практический (задачи, тесты, лабораторные работы в смоделированных условиях) материал. Управляющая среда СДО позволяет организовать взаимодействие различных типов пользователей (преподавателей, студентов, администраторов системы), а также использовать и разрабатывать различные программные модули для обеспечения автоматизации и при этом увеличения эффективности обучения.

Архитектура, безопасность и адаптация системы

В Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете) для обучения математическим дисциплинам используется СДО МАИ CLASS.NET [1]. На данный момент студентам МАИ в системе доступны электронные учебники по теории вероятностей и математической статистике, математическому анализу, линейной алгебре и аналитической геометрии, дифференциальным уравнениям, теоретической механике; также некоторые курсы находятся в разработке.

За длительный период постоянного использования системы в образовательном процессе были поставлены и решены некоторые математические задачи, позволяющие автоматизировать работу системы в зависимости от действий пользователей, а также были предложены различные алгоритмы, позволяющие обрабатывать статистические данные, полученные на основе работы в СДО реальных пользователей. К решенным задачам автоматизации рабочего процесса и обработки статистики пользователей можно отнести формирование интегрального рейтинга с помощью статистической обработки результатов тестов [2], автоматическое оценивание сложности заданий системы на основе метода максимального правдоподобия [3], формирование индивидуальных тестовых заданий с ограничением и без ограничения [4] на время выполнения. Основной целью рассмотрения данных задач являлось внедрение в СДО МАИ CLASS.NET комплекса прикладных программных средств, основанных на разработанных алгоритмах. Использование которых направлена на придание СДО адаптивных свойств. В статье описаны технологии и инструменты, используемые авторами для решения задачи разработки программной реализации и интеграции в управляющую оболочку комплекса обозначенных математических методов, обеспечивающих статистический анализ работы пользователей системы дистанционного обучения математическим дисциплинам и адаптацию контента этой системы под изменяющийся контингент пользователей. Наряду с указанным выше, рассмотрены методы повышения эффективности работы программной реализации и обеспечения безопасности функционирования указанного комплекса методов и СДО в целом.

Наиболее полное на данный момент описание СДО МАИ CLASS.NET представлено в статье [1].

Опишем кратко внешнюю оболочку системы и подробнее программную составляющую наряду с технологией реализации. В рамках работы с оболочкой СДО в электронных учебниках всем типам пользователей доступны разделы с теорией, практикой и результатами. В разделе <<Теория>> осуществляется доступ к теоретическому материалу, подготовленному на основе лекций, составленных преподавателями кафедры <<Теория вероятностей>> факультета <<Прикладная математика и физика>> МАИ. Теоретический материал организован в виде гипертекста и снабжен глоссарием, что позволяет использовать его как справочник и начинать изучение материала практически с любого места. Раздел <<Практика>> позволяет получить доступ к практическим заданиям и лабораторным работам системы.

Одним из достоинств системы является использование в заданиях параметров со случайными значениями. Такой подход позволяет уменьшить вероятность компрометирования задания пользователем, то есть решения задания со стороны помощи либо знания ответа заранее. Повышение таким образом уникальности заданий способствует также увеличению объема используемого контента.

Раздел <<Результаты>> обеспечивает для пользователей различных типов доступ к статистическим данным системы. В первую очередь важны индивидуальные результаты каждого пользователя с подробной информацией о прохождении определенного курса. К такой информации можно отнести правильность решения тестов и заданий по отдельности, время ответа пользователя на тесты или задание, оценки, полученные в ходе прохождения курса, доступ к сравнительным данным внутри группы или факультета с разной степенью подробности и др. Сравнительный подход на основе статистики позволяет выделить определенных студентов, заслуживающих высокой оценки.

Математический аппарат СДО МАИ CLASS.NET представляет собой набор математически обоснованных алгоритмов, обрабатывающих статистическую информацию, полученную в ходе

работы пользователей в реально функционирующей системе. СДО поддерживает парадигму адаптивного компьютерного тестирования CAT (Computerized Adaptive Testing), алгоритмы которой направлены на решение задачи подбора для каждого пользователя из группы индивидуального задания, максимально отвечающего уровню подготовки данного конкретного пользователя и требованиям образовательного курса. Такая задача, в свою очередь, сводится к рассмотрению ряда прикладных математических задач, для решения которых при разработке СДО МАИ CLASS.NET используются следующие модели: однопараметрическая логистическая модель Раша [5]- для описания вероятности корректного ответа пользователя, и логнормальная модель Ван дер Линдена [6] - для описания времени ответа на задания. Модели являются стохастическими, что, естественно, накладывает определенные сложности при исследовании и дальнейшем использовании в реально функционирующих СДО. Далее рассмотрим особенности программной реализации алгоритмов решения прикладных задач, связанных со статистической обработкой данных, и используемых вероятностных моделей относительно взаимодействия с серверным и клиентским программным обеспечением.

СДО МАИ CLASS.NET обладает клиент-серверной архитектурой, то есть часть действий, например, отображение курсов, происходит на стороне клиента (пользователя), а другая часть на стороне сервера, например, хранение и обработка информации из базы данных, вычисление статистических показателей пользователя. Как и в большинстве современных распространенных систем, в СДО МАИ CLASS.NET отдельно происходит формирование статического и динамического контента: статические элементы страницы (файлы CSS (Cascading Style Sheets), js-файлы (JavaScript), изображения и т.д.) хранятся на стороннем сервере, что снижает нагрузку на систему генерации динамического контента: заданий, теоретических материалов курсов и статистической информации пользователя.

Для хранения статистической и прочей пользовательской информации используется система управления базами данных (СУБД) MySQL. При обработке данных взаимодействие с базой организовывается посредством запросов и скриптов на языке программирования PHP, который является одним из наиболее распространенных языков, применяющихся для создания и работы веб-сервисов. Архитектура серверов позволяет использовать также другие языки программирования, например, Python. Преимущество использования различных языков заключается в том, что один и тот же алгоритм может выполняться за различное время в зависимости от выбранного для реализации языка, либо средства одного языка позволяют реализовать более сложные алгоритмы благодаря наличию определенных особенностей, например, дополнительных структур данных, значительно упрощающих процесс программирования.

Алгоритм решения задачи формирования ограниченных по времени тестов основан на модификации метода ветвей и границ и проверке выполнения вероятностного ограничения методом Монте-Карло, что требует большого количества вычислений. Для реализации подобных алгоритмов требуются дополнительные вычислительные средства, например, при использовании языка программирования Python удобно воспользоваться средствами специальных библиотек. В СДО МАИ CLASS.NET алгоритм был реализован на PHP, при этом дополнительно были разработаны генератор реализаций логарифмически нормальных случайных величин, а также внесены изменения в базу данных и js-файлы для возможности фиксирования времени, которое потребовалось пользователю, чтобы решить и ответить на задания системы.

В отличие от задачи формирования ограниченных по времени тестов задача оценивания уровней сложности тестов на основе метода максимального правдоподобия удобнее реализуется при помощи Python с использованием средств свободно распространяемых библиотек с открытым кодом, позволяющих расширить возможности работы с массивами данных и использовать специальные математические функции.

В терминах, используемых в [1], опишем работу программной реализации математических алгоритмов. В архитектуре СДО МАИ CLASS.NET существует разделение формирования статического (CSS-файлы, js-файлы и другие) и динамического (задания, теоретические материалы, статистическая информация) контента, что позволяет снизить нагрузку на сервер. Генерация динамического контента происходит при непосредственном взаимодействии с базой данных пользователей и базой контента, которая разделяется на 3 основных компонента: <<Проверщик>>, <<Оценщик>>, <<Генератор>> (рис.1). Программные реализации всех математических алгоритмов осуществлены в компоненте <<Оценщик>>, который взаимодействует с базой данных для получения статистической информации о пользователях и для изменения информации о заданиях, например, корректировки сложности и интегрального рейтинга.

Для организации выполнения реализованных в системе математических алгоритмов,

требующих большого числа вычислений, используется планировщик заданий, позволяющий автоматизировать запуск выполнения программного комплекса в определенное ранее заданное время, что позволяет правильно распределить нагрузку на сервер. Также важно учесть приоритетный порядок выполнения алгоритмов и исключить проблемы синхронизации запросов к базе данных со статистической информацией, чтобы работа алгоритмов не вызвала сбой или чтение некорректных данных.

Приоритетный порядок работы программных реализаций в компоненте <<Оценщик>> задан следующим образом:

1. оценка сложности заданий;
2. интегральный рейтинг;
3. формирование тестов с заданной суммарной сложностью заданий.

Масштабируемая система дистанционного обучения

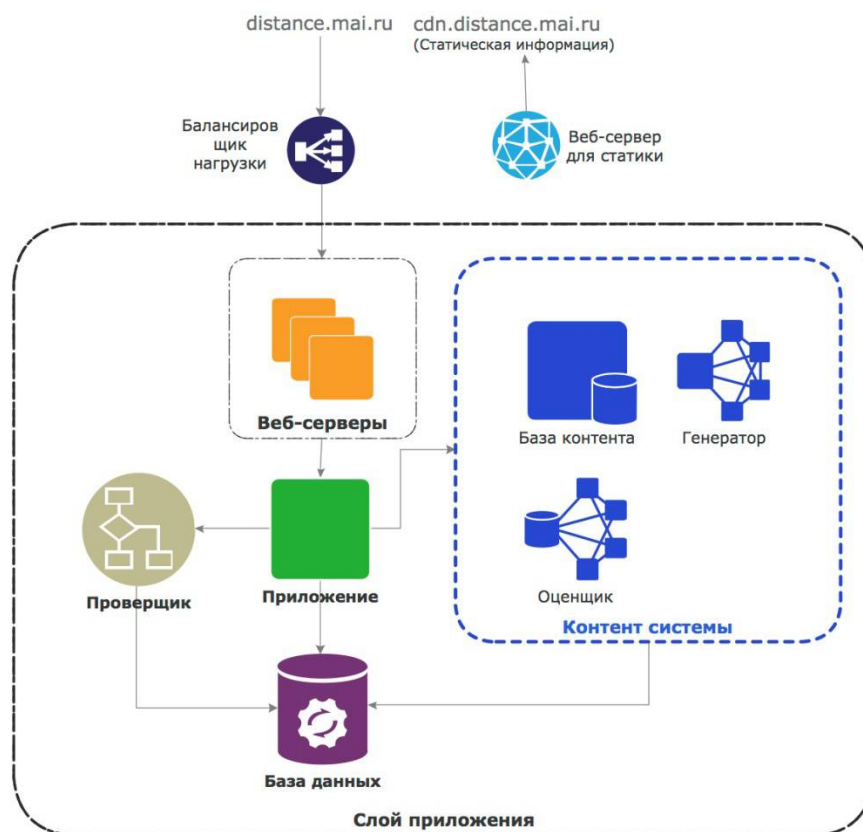


Рис.1. Масштабируемая система дистанционного обучения

Для решения проблемы синхронизации запросов к базе данных используются механизмы блокировок и транзакций, которые доступны в СУБД MySQL.

Большинство алгоритмов, используемых в работе СДО МАИ CLASS.NET, требовательны в плане вычислений. В условиях реально функционирующей СДО следует учитывать такие факторы, как технические характеристики серверного оборудования, программное обеспечение на сервере, возможность изменения и добавления нового ПО, архитектура СДО, посещаемость и использование СДО пользователями в определенное время суток и другие характеристики, которые позволяют оценить готовность и устойчивость системы к объемным вычислениям. Например, на данный момент СДО МАИ CLASS.NET обслуживает более 3000 пользователей в семестр. Очевидно, что при одновременном использовании системы всеми пользователями проводить дополнительные вычисления нецелесообразно, так как это может замедлить скорость работы СДО. В течение семестра для периода в одни сутки можно определить пиковые часы $t_{max} \approx 7$ ч (обычно вечерние в период с 18:30 до 1:30 часов) и часы с наименьшей активностью $t_{min} \approx 5$ ч (утренние в период с 5:00 до 10:00 часов). Также очевидно, что ближе к концу семестра активность пользователей в СДО резко возрастает, что уменьшает период наименьшей активности до $t_{min} \approx 3$ ч.

Архитектура СДО МАИ CLASS.NET позволяет интегрировать её в другие системы дистанционного обучения, например, Moodle посредством взаимодействия с Moodle API. Такая

модель организации дистанционного образовательного процесса позволяет использовать преимущества и нивелировать недостатки обеих систем. В первую очередь СДО МАИ позволяет унифицировать подход к обучению математическим дисциплинам и обеспечивает доступ к различным статистическим показателям. Также адаптивные алгоритмы, разработанные для СДО CLASS.NET, могут быть реализованы как программные плагины для других систем дистанционного обучения и интегрированы в них.

В случае интеграции систем остро встаёт вопрос о безопасности взаимодействующих СДО и соответствующих связываемых программных компонент при передаче информации. Для обеспечения безопасности СДО CLASS.NET были рассмотрены каналы потенциальных угроз. Построена экспертная модель потенциальных угроз. Для этого проведен анализ связей СДО CLASS.NET и построена текущая модель связей системы с СДО по стандарту IDEF-0. Текущая реализация использует контейнерную архитектуру OpenVZ для виртуализации компонентов. Открытость исходных кодов проекта OpenVZ позволяет как коммерческим компаниям, так и мировому сообществу проводить сканирование кода управляющей системы (далее гипервизора [7]) для выявления недеklarированных возможностей (далее НДВ), что положительно сказывается на уровне безопасности кода (см. рис.2). В приведенной на рис.2 диаграмме отображается модель связей компонентов СДО с внешней средой, а также логические отношения компонентов СДО между собой. Диаграмма составлена по стандарту IDEF0 функционального моделирования и позволяет оценить потенциальные каналы атак. Для наглядности взаимного расположения компонентов СДО указана легенда с идентификаторами компонентов.

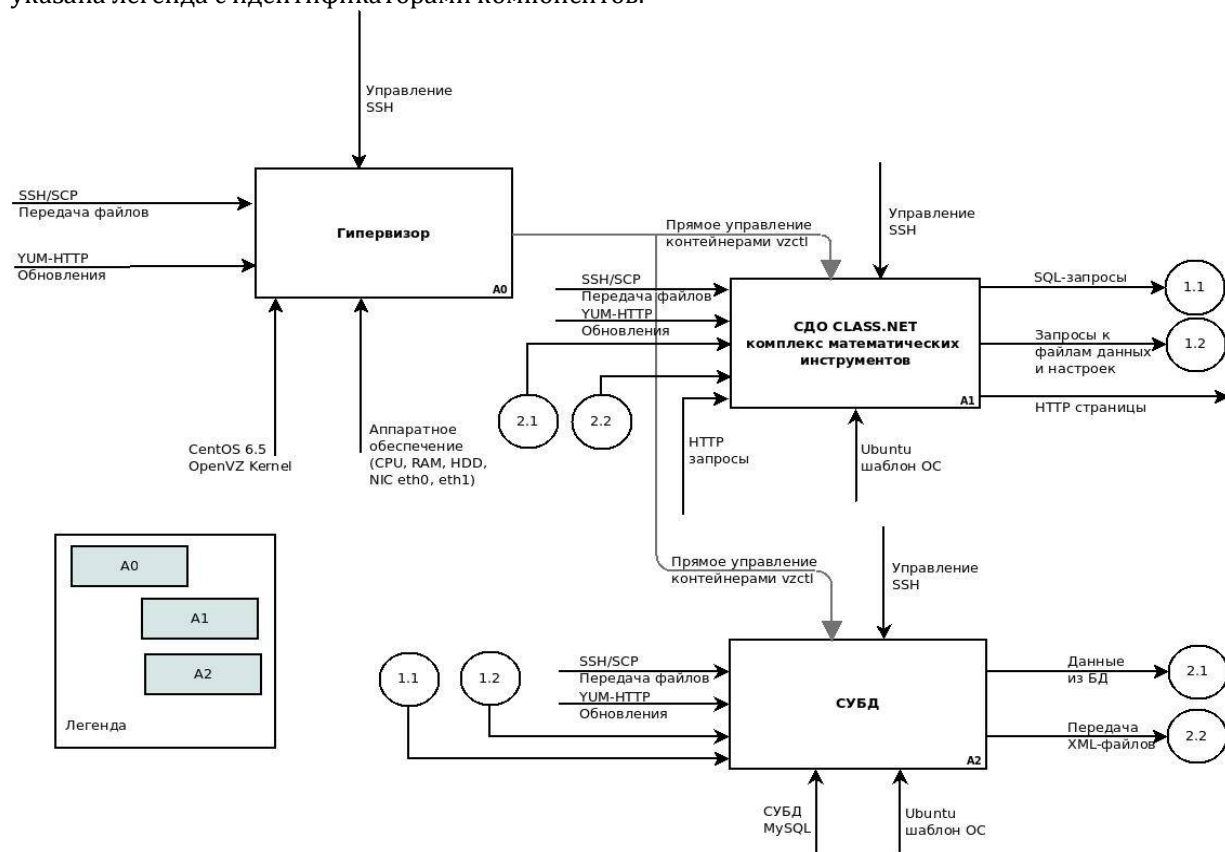


Рис.2. Модель связей СДО CLASS.NET

СДО функционирует в сетевой среде вуза, а также доступна из глобальной сети. Таким образом, сетевые интерфейсы модуля приложения во внутреннюю и внешнюю сети являются точками демаркации для контура безопасности. Первичной мерой безопасности является изоляция интерфейсов управления от каналов передачи пользовательских данных и настройки контента СДО в отдельную сеть управления. Реализация такой сети возможна на уровне коммутации (по технологии VLAN), а также с помощью виртуальных частных сетей (VPN). В системе безопасности СДО МАИ CLASS.NET использован второй вариант как более гибкий с точки зрения управления безопасностью доступа и дающий возможность каскадирования VPN сервера с дополнительными серверами проверки (NAC), службами коммутации (NAT) и шлюзами аутентификации пользователей (RADIUS).

Для предупреждения массированных сетевых атак и попыток эксплуатации уязвимостей с

помощью специально созданных сетевых пакетов канал доступа к инфраструктуре контролируется с помощью сканера сетевых атак. Сканер работает как система раннего оповещения о начале атаки. Общий межсетевой экран (далее МЭ) настроен на фильтрацию сетевых пакетов от непроверенных источников. В том числе, на уровне глобального МЭ есть возможность настроить геофильтр и черный список адресов для блокировки крупных сегментов внешней сети, как первая мера защиты от массированных сетевых атак. Схема безопасности сети (см. рис.3) построена также с учетом возможности захвата злоумышленником одного из внутренних серверов таких, как система-модуль СДО.

Приложение СДО построено с учетом возможности работы в среде с распределением нагрузки [1], и выход из строя $N-1$ модулей распределенного приложения (где N - общее число модулей) не должно повлиять на функционал и доступность системы в целом. Для блокировки возможности злоумышленника использовать захваченные модули как площадку для вторжения во внутреннюю сеть предусмотрена схема автоматической микросегментации сети посредством использования локальных МЭ. Для усиления безопасности расположение модулей локальных МЭ и средств управления ими должно быть внешним по отношению к самим модулям СДО. В качестве оптимального варианта локальные правила МЭ нужно применять и настраивать на уровне виртуального коммутатора с использованием движка модуля управления настройками в качестве контроллера конфигураций МЭ. Для распределения нагрузки между модулями СДО использован модуль реверс-прокси.

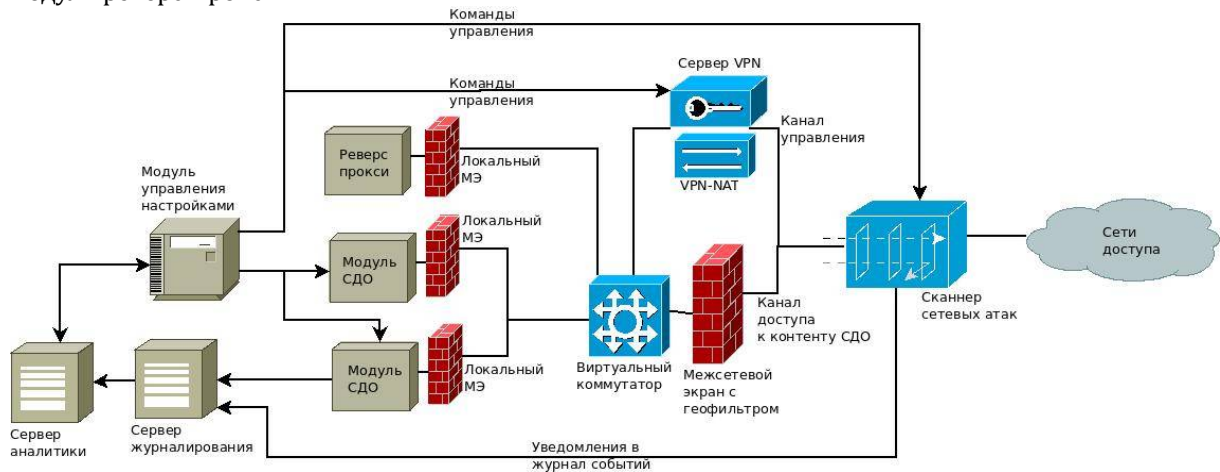


Рис.3. Схема сети СДО CLASS.NET и каналов передачи служебных сигналов

Такой модуль способен реализовать несколько функций обеспечения одновременно безопасности и надежности работы СДО. Для защиты канала передачи контента в СДО реверс-прокси может выступать как звено консолидации трафика с модулей СДО по HTTP каналу, шифрования канала и отдачи далее пользователю контента по HTTPS протоколу с подписанным сертификатом безопасности. При возникновении сетевой атаки реверс-прокси закрывает собой веб-серверы приложения и способен выдержать значительно более серьезную атаку за счет легковесности и целевой специфики работы. В случае выхода из строя всех N модулей СДО, например, как следствие ошибки при обновлении/конфигурации или иных служебных операций, реверс-прокси способен самостоятельно отдавать пользователям контент СДО из своего кэша, эмулируя тем самым корректную работу статической части СДО, например, модуля «Теория».

Для принятия решения о запуске мер пресечения атаки, а также для дальнейшего разбора инцидента в системе ведется подробный журнал событий в инфраструктуре СДО. Для пресечения возможности подмены или затирания журнала злоумышленником при захвате модулей СДО инструмент журналирования размещен на отдельном сервере и настроен как единая точка сбора журналов со всех компонентов инфраструктуры (на схеме рис.3 указаны лишь некоторые из каналов журналирования и управления для улучшения читаемости). Анализ журнала человеком является трудоемкой процедурой с низкой скоростью принятия решений, поэтому проведена автоматизация поиска корреляций в журнале событий с библиотекой шаблонов типовых атак. Анализатор журнала реализован как отдельный сервер с возможностью вызова команд управления на модуле управления настройками [8].

Все указанные на схеме сетевой безопасности модули реализованы как виртуальные машины, а также ряд модулей, не связанных с сетевой коммутацией, реализован как виртуальные контейнеры. Реализация самих описанных ранее модулей безопасности и контроля за инфраструктурой СДО может быть различной. В рамках текущей работы предлагается набор

готовых решений с учетом специфики приложения, а также с фокусом на открытость кода продуктов по безопасности. Предложенные инструменты собраны в таблицу (см. табл.1).

Табл.1. Вариант реализации приложений обеспечения контуров безопасности

Компонент	Реализация
Сканер сетевых атак	Suricata 1.4.4
Сервер VPN	SoftEther 4.19
Реверс-прокси	Nginx 1.8.0
Глобальный МЭ	PfSense 2.2.6
Виртуальный коммутатор	Open vSwitch 2.4.0
Сервер журналирования	Logstash 1.8 + Elasticsearch 2.1
Сервер аналитики	OSSEC 2.8.3
Модуль управления настройками	Ansible 1.9.4

Заключение

В работе рассмотрены технологии реализации и адаптации программного комплекса интеллектуальной поддержки функционирования СДО МАИ CLASS.NET, а также обсуждается концепция обеспечения безопасности системы. Благодаря используемому подходу обеспечивается отказоустойчивость, безопасность и эффективность работы системы. Характеристики, получаемые в результате обработки статистических данных, работы студентов могут быть легко импортированы в любую систему автоматизации работы вуза. Используемые средства обеспечения безопасности СДО существенно повышают надежность ее работы, что подтверждается многолетним опытом эксплуатации системы в МАИ.

Литература

1. Наумов А.В, Джумурат А.С., Иноземцев А.И. «Система дистанционного обучения математическим дисциплинам CLASS.NET» // Вестн. компьют. и информ. технологий. - 2014. - Т.1, №10, стр. 36-40.
2. Кибзун А.И., Панарин С.И. «Формирование интегрального рейтинга с помощью статистической обработки результатов тестов» // АиТ. - 2012. - Т.1, №6, стр. 119-139.
3. Кибзун А.И., Иноземцев А.И. «Оценивание уровней сложности тестов на основе метода максимального правдоподобия» // АиТ. - 2014. - Т.1, №4, стр. 20-37.
4. Наумов А.В, Иноземцев А.И. «Алгоритм формирования индивидуальных заданий в системах дистанционного обучения» // Вестн. компьют. и информ. технологий. - 2013. - Т.1, №6, стр. 35-42.
5. G.Rasch. «Probabilistic models for some intelligence and attainment tests» // The University of Chicago Press - 1980..
6. Wim J. van der Linden. «Conceptual Issues in Response-Time Modeling» // Law School Admission Council, 2008.
7. Рыбалко, А.А. «Виртуализация как основа систем компьютерной безопасности нового поколения» // Вестник Московского Авиационного Института, 2009.Т.16, №2, стр.12-18.
8. Рыбалко, А.А. «Моделирование системы защиты облачных сервисов с использованием механизмов виртуализации» // Вестник Московского Авиационного Института, 2010.Т.16, №6, стр.143-149.

References

1. Naumov A.V, Dzhumurat A.S., Inozemtsev A.O. «Distance Learning System for Mathematical Disciplines CLASS.NET » // Herald of computer and information technologies, 2014., vol.1, no.10, pp.36-40
2. Kibzun A.I., Panarin S.I. «The formation of integral rating by statistical processing of test results»// Automation and Remote Control, 2012, vol.1, issue 6, pp. 119-139.
3. Kibzun A.I., Inozemtsev A. O. «Evaluation of test difficulty levels based on the maximum likelihood estimation»// Automation and Remote Control, 2014, vol.1, issue4, pp. 20-37.
4. Naumov A.V, Inozemtsev A. O. «The algorithm of formation of individual tasks in distance learning systems»//Herald of computer and information technologies, 2013., vol.1, no.6, pp.35-42.
5. Rasch, G., «Probabilistic models for some intelligence and attainment tests»//The University of Chicago Press,1980.
6. Wim J. van der Linden. «Conceptual Issues in Response-Time Modeling»// Law School Admission Council, 2008.
7. Rybalko A.A. «Virtualization as the foundation of computer security systems of new generation»//Vestnik Moskovskogo Aviatsonnogo Institutu, 2009. vol.16, no.2, pp.12-18.
8. Rybalko A.A. «Modelling cloud protection with virtualization mechanisms»//Vestnik Moskovskogo Aviatsonnogo Institutu, 2010. vol.16, no.6, pp.143-149.

Поступила 14.10.2016

Об авторах:

Кибзун Андрей Иванович, профессор, заведующий кафедры «Теория вероятностей» факультета «Прикладная математика и физика» Московского авиационного института (национального исследовательского университета), доктор физико-математических наук, kibzun@mail.ru;

Мартюшова Янина Германовна, старший преподаватель кафедры «Теория вероятностей» факультета «Прикладная математика и физика» Московского авиационного института (национального исследовательского университета), ma1554@mail.ru;

Мхитарян Георгий Араикович, магистрант кафедры «Теория вероятностей» факультета «Прикладная математика и

физика» Московского авиационного института (национального исследовательского университета),
grgmkn@mail.ru;

Наумов Андрей Викторович, профессор кафедры «Теория вероятностей» факультета «Прикладная математика и физика» Московского авиационного института (национального исследовательского университета), доктор физико-математических наук, naumovav@mail.ru;

Рыбалко Алексей Алексеевич, аспирант кафедры «Вычислительная математика и программирование» факультета «Прикладная математика и физика» Московского авиационного института (национального исследовательского университета), aagegn@mail.ru.