

Бейлекчи Д.В.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: kaf-eivt@yandex.ru*

### **Исследование и разработка программно-аппаратной структуры пультов оператора распределенной системы диспетчерской связи**

В данной работе проводятся исследование и разработка структуры устройства пульта оператора распределенной системы диспетчерской связи на основе технологий IP-телефонии.

Целью проекта является создание программно-аппаратной структуры пульта, позволяющей выполнять одновременный обмен речевыми сигналами с несколькими устройствами системы для обеспечения конференц-связи и циркулярного обмена без использования центрального сервера IP-телефонии.

Согласно поставленным целям разработки программно-аппаратные ресурсы устройства должны обеспечивать коммутацию и обработку не менее 16 входящих речевых цифровых потоков аудиоданных в режиме циркулярной связи и не менее 10 дуплексных аудиоканалов в режиме конференц-связи. Для передачи аудиоданных используется стандартный протокол IP-телефонии RTP, согласно RFC3550.

Для анализа и оценки программно-аппаратной структуры разрабатываемого устройства применена методика, реализующая алгоритм метода, описанного в [1], которая предполагает формирование, оценку программно-аппаратных структур и выбор из набора программных и аппаратных элементов только тех, характеристики параметров которых входят в ограничения, заданные техническим заданием и установкам разработчика.

Процесс разработки программно-аппаратных систем и устройств в них входящих разделяется на три этапа: разработка алгоритмов, разработка программного обеспечения и разработка или выбор аппаратной конфигурации. Все этапы взаимосвязаны по входным данным и параметрам разрабатываемой системы и по факту выполняются параллельно. Так, например, при разработке алгоритмов функционирования необходимо параллельно определить состав технических средств, на которых будут реализовываться алгоритмы.

При разработке устройства системы диспетчерской связи необходимо распределить программы и данные по элементам системы. Эффективность системы зависит от того, насколько оптимально распределены функции между отдельными структурными элементами. Состав аппаратной конфигурации определяется множеством программных функций, которые должны реализовываться в общем телекоммуникационной системой. При проведении функционального анализа разрабатываемой системы необходимо составить модель обработки данных. Алгоритм принятия решения по формированию структуры устройства на основании приведенного метода приведен на рис. 1.



Рис. 1 – Алгоритм принятия решения по формированию структуры устройства.

Применение алгоритма по определению конфигурации устройства, позволило решить задачу разработки функциональной схемы устройства цифровой диспетчерской связи, состоящего из двух основных модулей и обеспечивающего требуемые характеристики.

Модуль аудиоинтерфейса представляет собой программно-аппаратный модуль, на основе аудиокодека с мини DSP-процессором, обеспечивающий:

- коммутацию входных и выходных аудиосигналов на различные аудиоустройства (внешние/встроенные микрофоны, громкоговоритель, линейный вход/выход);
- управляемое усиление выходных и входных сигналов;
- адаптивную фильтрацию входного сигнала;
- цифро-аналоговое преобразование и аналого-цифровое преобразование с задаваемой частотой дискретизации (8, 16, 32 кГц);
- обмен аудиоданными с процессорным модулем по цифровому аудиоинтерфейсу SAI.

Модуль центрального процессора основан на микроконтроллере архитектуры ARM Cortex-M7 обеспечивающий:

- управление и обмен данными с модулем аудиоинтерфейса;
- обработку аудиосигналов, поступающих от модуля аудиоинтерфейса и сети Ethernet (микширование, кодирование и декодирование аудиопотоков);
- реализация протоколов взаимодействия с другими устройствами и обмен аудиоданными по сети Ethernet;
- обработку состояния органов управления и вывод состояния устройства на органы индикации;

Программное обеспечение процессорного модуля реализовано на языке C++ для архитектуры ARM Cortex-M, с использованием методов передачи аудиопотоков [2] и библиотеки стека протоколов lwIP [3].

Используемая методика анализа и оценки программно-аппаратной структуры с алгоритмом балансирования весовых коэффициентов критериев [1] обеспечила решение задачи формирования программно-аппаратной структуры устройства, без выполнения многокритериального анализа системы с применением значительного количества критериев.

Разрабатываемая система и пульта связи, входящие в нее, обеспечивают следующие преимущества, по сравнению с аналогами:

1. Использование устройств без центрального сервера для обработки речевых сигналов.
2. Повышенная надежность системы, за счет обеспечения работы пультов друг с другом в отдельном локальном сетевом сегменте, даже если система распадается на сегменты из-за какой-либо аварии.
3. Возможность построения системы связи в виде локальных независимых групп устройств, при необходимости объединяемых друг с другом через сетевые каналы, в том числе через сеть Интернет.

Таким образом, система позволяет реализовать распределенную диспетчерскую технологическую связь с повышенной надежностью для персонала в организациях, на объектах промышленности и транспортной инфраструктуры.

### Литература

1. Бейлекчи Д.В. Методика оценки программно-аппаратной структуры телекоммуникационного комплекса громкоговорящей связи / Д.В. Бейлекчи, Ю.А. Кропотов // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии: сборник трудов XV Международной научно-практической конференции. / под. ред. С.У. Увайсова – Москва: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Жуковского, 2019, с. 259-262.
2. Бейлекчи Д.В. Передача синхронных потоков данных по асинхронным сетям пакетной связи со случайным множественным доступом / Д.В. Бейлекчи, А.А. Белов, В.А. Ермолаев, Ю.А. Кропотов // Системы управления, связи и безопасности. – 2017. – № 1. – С. 1-15.
3. Developing applications on STM32Cube with LwIP TCP/IP stack. STMicroelectronics. [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://www.st.com/resource/en/user\\_manual/dm00103685-developing-applications-on-stm32cube-with-lwip-tcpip-stack-stmicroelectronics.pdf](https://www.st.com/resource/en/user_manual/dm00103685-developing-applications-on-stm32cube-with-lwip-tcpip-stack-stmicroelectronics.pdf).

Белов А.А.

Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
e-mail: kaf-eivt@yandex.ru

### Использование пакетного вейвлет-анализа при обработке и исследовании параметров временных рядов данных

При стандартном типе дискретного вейвлет-анализа коэффициенты аппроксимации  $C_{j+1}$  предыдущего уровня вейвлет-разложения в свою очередь раскладываются на  $C_j$  и детализирующие  $d_j$  коэффициенты следующего уровня, и далее подобная операция итерационно применяется к новым найденным коэффициентам  $C_j$ .  $d_j$  при этом не подвергаются разложению.

Такой подход обеспечивает кратное 2 деление частотного диапазона тестового ряда концентраций опасных загрязняющих выбросов на всех уровнях разложения. Для решения задачи оптимального частотного разложения и анализа сигнала может быть применен пакетный вейвлет-анализ.

Его ключевая отличительная особенность состоит в том, что разложению подвергаются не только низкочастотные аппроксимирующие коэффициенты, но и детализирующие, представляющие высокочастотные спектральные составляющие. Пакетная вейвлет-обработка, как правило, представлена графом в виде древовидной структуры, корневой частью которой служит исходный сигнал  $x(k)$ .

Вейвлет-пакет-это ветвь дерева, которая позволяет анализировать определенный заданный частотный диапазон сигнала  $x(k)$ .

Шаги алгоритма пакетного анализа.

1. Разложение сигнала по вейвлет-пакетам до заданного  $N$ -уровня.
2. Проведение анализа и дальнейшей обработки полученных вейвлет-пакетов, в которых содержится информация о составляющих сигнала в выбранном частотном диапазоне его рассмотрения. Другие вейвлет-пакеты и входящие в них коэффициенты, которые не соответствуют анализируемому частотному диапазону, не подвергаются обработке и отбрасываются.
3. По завершению работы с коэффициентами вейвлет разложения, осуществляется «обратное пакетное вейвлет-преобразование», обеспечивающее восстановление модифицированного в соответствии с применимым алгоритмом обработки сигнала.

В соответствии с уровнем пакетного вейвлет-разложения вычисляется количество узлов древовидной структуры, а также число вейвлет-коэффициентов с учетом шага разбиения частотного диапазона сигнала:

$$Nodes = N^2, \quad Coefs = size(x) \cdot (N + 1), \quad \Delta = \frac{1}{Nodes}.$$

Таким образом, если применить пакетное вейвлет-преобразование к экспериментальному ряду данных из 133920 отсчетов концентраций загрязняющего вещества (ацетон), то разложение до 5 уровня обеспечит следующее число узлов и коэффициентов разложения, представленное в табл. 1.

Таблица 1. Соответствие числа узлов и коэффициентов пакетного-разложения от  $N$ .

$N$	1	2	3	4	5
Nodes	2	4	8	16	32
Coefs	1488	2232	2976	3720	4464
$\Delta$	0,5	0,25	0,125	0,0625	0,03125

Следующим важным преимуществом применения пакетного вейвлет-разложения служит способность оперировать только с теми ветвями или узлами разложения в древовидной структуре, в которых заключен максимум информации, требуемой для проведения операций

анализа и обратного восстановления сигнала. Таким образом, может быть проведена адаптивная фильтрация временного ряда данных, которая приведет к минимизации объема анализируемых данных, обеспечивая высокие параметры сжатия сигналов.

Значимой проблемой при пакетном вейвлет-анализе можно назвать построение оптимального дерева разложения, в котором избыточность коэффициентов разложения минимальна и высока их информативность. Как правило самым подходящим критерием для оценки и оптимального отбрасывания узлов является энтропия сигнала, являющаяся параметром, отражающим его информативность. Энтропия вычисляется для всех узлов дерева с учетом одного из базовых критериев:

1. Критерий Шеннона:  $E_1 = -\sum_{i=1}^n s_i^2 \cdot \log(s_i^2)$ , котором  $n$  – количество вейвлет-коэффициентов в текущем анализируемом узле.

2. Критерий нормы пространства:  $E_2 = \sum_{i=1}^n \|s_i\|^p, \quad p \geq 1$ .

3. Энтропия логарифма энергии:  $E_3 = \sum_{i=1}^n \log(s_i^2)$ .

4. Пороговая энтропия, вычисляемая по формуле  $E_4 = m$ , в которой  $m$  – количество коэффициентов вейвлет-разложения текущего узла, уровень значений которых выше заданного порогового значения.

Рис. 1. демонстрирует полное пакетное дерево (б) с отображением числа вейвлет-коэффициентов в каждом узле тестового временного ряда концентраций загрязняющих веществ (а), оптимизированные пакетные вейвлет-деревья (со значениями параметра энтропии в каждом узле (в), и с учетом энергии в каждом узле (г)). Они были получены по приведенному выше алгоритму.

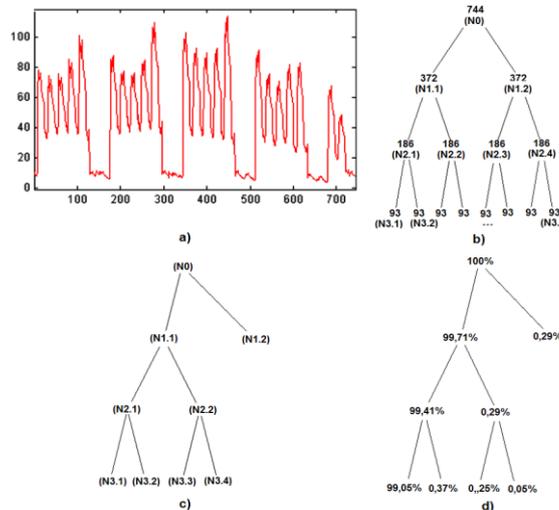


Рис. 1. Оптимизация пакетного вейвлет-дерева тестового сигнала.

В ходе экспериментального преобразования сигнала с формированием полного пакетного вейвлет-разложения до 3 уровня с использованием вейвлетов Добеши1 (db1), было получено 2976 коэффициентов. Оптимизация дерева позволила сократить количество коэффициентов до 2046 (что определяет коэффициент сжатия в 31,25% с учетом 100% сохранения остаточной энергии тестового временного ряда, представляющего анализируемый сигнал).

Далее к сохранившимся после оптимизации вейвлет-коэффициентам можно применять процедуры пороговой обработки, фильтрации и компрессии, а также проводить регрессионный анализ для обеспечения возможности восстановления и экстраполяции экспериментальных временных рядов в задаче экологического мониторинга.

Догадина Е.П.

ФГБОУ ВО Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации,  
Факультет информационных технологий и анализа больших данных  
Департамент анализа данных и машинного обучения  
107023, Москва, 4-й Вешняковский пр-д, 4  
e-mail: epdogadina@fa.ru

### Применение методов оптимизации для определения оптимальной формы обучения школьников

Период обучения ребенка в школе совпадает с рядом важнейших этапов развития человека. Каждый этап характеризуется своими особенностями и сложностями, требующими внимания со стороны старшего поколения. На этот процесс накладывается очень серьезная учебная нагрузка, которая регламентируется СанПиНом.

Пандемия Covid-19 с вынужденной самоизоляцией поставила эксперимент по изменению уклада жизни каждой семьи. Ученики перешли на дистанционное обучение, и те функции, которые были делегированы родителями школьным учителям, вернулись обратно. Результатом стало как общее снижение успеваемости школьников, так и увеличение разрыва между успеваемостью внутри класса и между школами. Это означает, что большая часть учеников за отведенное время не могут или не успевают решить те задачи, которые с успехом решали их предшественники.

В статье рассматривается многокритериальная модель программирования для оптимизации времени выполнения домашнего задания обучающимися как в форме онлайн обучения, так и обучения в классе. Для решения этой проблемы было выделено 12 критериев, влияющих на эффективность решения школьных задач, 5 из которых относятся к самой задаче, а 7 – к условиям, при которых она решается. Данные критерии были использованы для построения нейросети, результаты которой влияют на целевую функцию и поиск оптимальных значений тремя методами оптимизации: алгоритмом поисковой оптимизации с возвратом (BSA), алгоритмом оптимизации роя частиц (PSO) и генетическим алгоритмом (GA). Результат поиска оптимального времени выполнения домашнего задания обучающимися предлагается представить в виде множества Парето.

Рассмотрим пример оптимизации выполнения индивидуального домашнего задания одним обучающимся при дистанционной форме обучения. Входные параметры системы оставим такими же, как и в случае с очным обучением [1]. В данной задаче изменится лишь коэффициент эффективности задач, полученный с помощью нейронной сети. В результате вычислений, результаты которого представлены на рисунке 1, наиболее оптимальный результат показал генетический алгоритм.

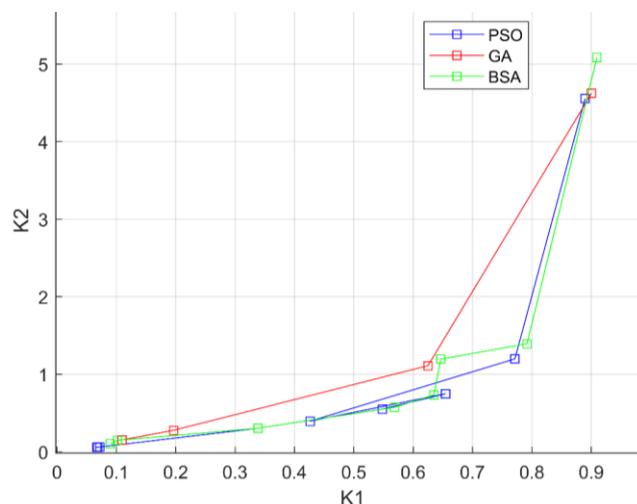


Рис.1. Парето-оптимальное множество для решения задачи тремя методами.

В результате работы генетического алгоритма получены следующие значения критериев оптимальности:  $\xi=0.9$ ,  $K_1=0.7713$ ,  $K_2=1.1979$ , что соответствует 21,32 мин. Полученное значение на 9,67% выше, чем нормы, отведенные на время выполнения домашнего задания учащимися 6 класса. Поэтому является целесообразным сделать вывод о том, что полный переход на дистанционную форму обучения дает результаты, превышающие предельно-допустимые нормы. Полученное решение достигнуто при минимизации времени выполнения домашнего задания при условии получения максимальной эффективности от выполненных задач.

Экспериментальное исследование методов представлено в таблице 1. Используемые тестовые функции позволяют проверить качество поиска экстремумов для функций с различным рельефом пространства поиска [2]. Две тестовые функции: сферическая

$$F_1(x) = \sum_{i=1}^n x_i^2 \quad \text{и} \quad \text{Розенброка} \quad F_2(x) = \sum_{i=1}^{n-1} (100 \cdot (x_{i+1} - x_i^2)^2 + (x_i - 1))$$

остальные: функция де Йонга  $F_3(x) = \frac{-100}{100 \cdot (x_1^2 - x_2) + (1 - x_1)^2 + 1}$  и функция Растргина

$$F_4(x) = 10 \cdot n + \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 10 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot x_i))$$

– сложными мультимодальными. Для всех функций размерность координатного пространства  $n=10$ . В таблице 1 также приведены усредненные значения данных показателей.

Таблица 1. Индикаторы эффективности различных методов

Функция	Индикаторы	PSO	BSA	GA
$F_1(x)$	Эффективность	100%	100%	100%
	Время решения	523.4	0.0917	0.9988
	Количество итераций	0.311	0.0917	0.9988
$F_2(x)$	Эффективность	100%	100%	100%
	Время решения	591.2	0.1020	0.8975
	Количество итераций	0.408	0.1070	0.8790
$F_3(x)$	Эффективность	90.1%	0.3709	0.2468
	Время решения	754.5	0.9103	0.1005
	Количество итераций	0.634	1.3500	0.0677
$F_4(x)$	Эффективность	92.5%	1.8140	0.0504
	Время решения	712.9	3.5776	0.0255
	Количество итераций	0.612		
Усредненные значения	Эффективность	95.7%	1.8140	0.0504
	Время решения	645.4	3.5776	0.0255
	Количество итераций	0.491		

Из предложенных к рассмотрению алгоритмов методов оптимизации наилучший результат по эффективности, времени решения и числу итераций показал генетический алгоритм. Поэтому можно сделать вывод, что данный алгоритм в большей мере подходит для исследуемой задачи многокритериальной оптимизации.

### Литература

1. Dogadina, E.P.; Smirnov, M.V.; Osipov, A.V.; Suvorov, S.V. Formation of the Optimal Load of High School Students Using a Genetic Algorithm and a Neural Network. Appl. Sci. 2021, Volume 11, Issue 11, 5263, DOI: 10.3390/app11115263.
2. Park, K.; Shin, D.; Chi, S. Variable Chromosome Genetic Algorithm for Structure Learning in Neural Networks to Imitate Human Brain. Appl. Sci. 2019, 9, 3176.

Догадина Е.П., Осипов А.В.  
ФГБОУ ВО Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации,  
Факультет информационных технологий и анализа больших данных  
Департамент анализа данных и машинного обучения  
107023, Москва, 4-й Вешняковский пр-д, 4  
e-mail: epdogadina@fa.ru, avosipov@fa.ru

### **Определение коэффициента эффективности процесса выполнения домашних заданий школьниками в условиях пандемии на базе нейронной сети.**

Пандемия covid-19 и сопутствующее ей обучение онлайн вызвало большие сложности с освоением учениками школьного материала. Это проявилось в неспособности школьников в заданное время решить установленные по программе задания. Исследовав причины этого явления, было выделено 12 критериев, влияющих на эффективность решения школьных задач. 5 из этих критериев относятся к самой задаче, а 7 – к условиям, при которых она решается. Для определения эффективности решения задач школьниками была использована нейронная сеть MLP (Multilayer Perceptron) реализована с помощью компьютерной программы Neural Excel и обученная методом Resilient Propagation (RProp). Этот метод имеет ряд преимуществ перед другими методами, решающими подобные задачи. Он прост в реализации и имеет высокую скорость сходимости при низких требованиях к погрешности вычисления градиента. Алгоритм использует так называемое «обучение по эпохам», когда коррекция весов происходит после предъявления сети всех примеров из обучающей выборки.

По сравнению с [1] во входной слой нейросети было добавлено дополнительно 5 нейронов, соответствующих пяти параметрам, характеризующим условия решения задачи:

1. Количество затрагиваемых заданием тем
2. Количество видов деятельности, используемых учащимся при выполнении задания
3. Число вопросов в задании
4. Длина задания
5. Сложность формулировки задания
6. Возраст учащегося
7. Пол учащегося
8. Расстояние от дома до школы
9. Средняя оценка по математике
10. Средняя оценка по чтению
11. Режим обучения
12. Доход семьи

• Количество затрагиваемых заданием тем, как величина, определяется т.н. лексемами, характерными для той или иной темы. Например, встречается лексема «сила тока». Это означает, что в задании присутствует тема, связанная с электрическим током.

• Длина задания – количество слов, необходимых для формулировки задания.

• Сложность формулировки задания – экспертная величина, определяемая в баллах в диапазоне от 1 (задание сформулировано просто и однозначно) до 3 (присутствуют избыточные данные и двусмысленные формулировки).

• Возраст учащегося – указывается в годах.

• Пол учащегося – бинарная величина.

• Расстояние от дома до школы – указывается в километрах.

• Средняя оценка по математике за предыдущий период обучения школьника (переводится в пятибалльную систему). В зависимости от школы – это четвертная или триместровая оценка.

• Средняя оценка по чтению для младших классов либо по национальному языку в старших.

• Режим обучения – бинарная величина (онлайн - 0 или офлайн - 1)

- Доход семьи – величина, определяется в баллах от 1 (семья получает дотации от государства) до 3 (семья может позволить себе дорогие машины, проживает в роскошных квартирах и домах и т.д.).

Первые 5 критериев оценивают задачу, как таковую, остальные семь – условия, в которой эта задача решается школьником.

Целевым показателем является число, находящееся в диапазоне от 0 до 1, где 0 – это задание абсолютно бестолковое, совершенно не влияющее на усвоение материала, а 1 – это тот идеал, к которому нужно стремиться (т.е. задание, которое дает возможность учащемуся стопроцентно усвоить материал при максимально комфортных условиях).

Для построения модели использовалась нейронная сеть, состоящая из трех слоев нейронов (рис. 1).

Входной слой – 12 нейронов

Скрытый слой – 19 нейронов

Выходной слой – 1 нейрон.

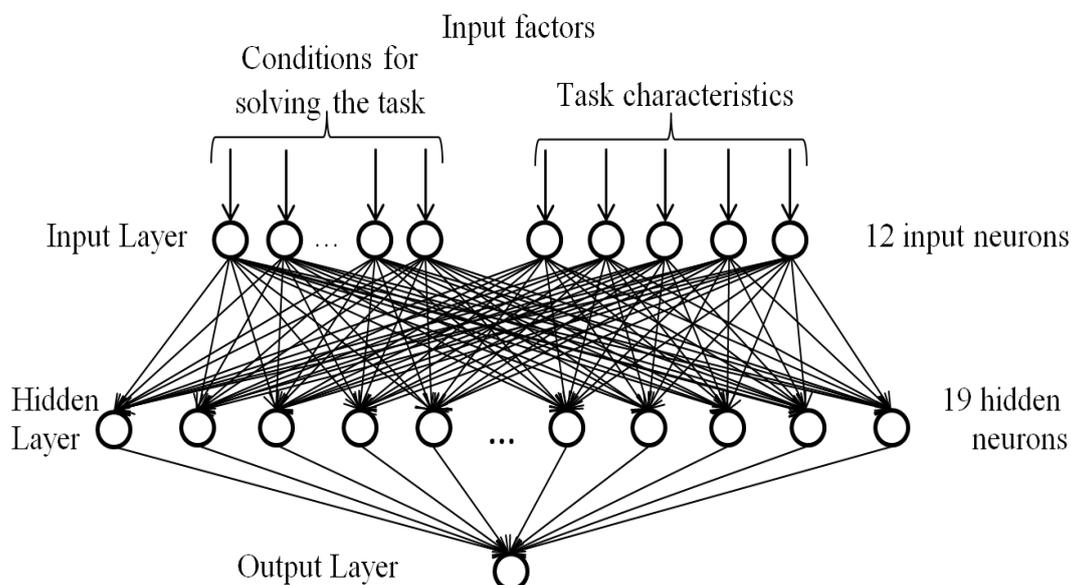


Рис.1. Структура MLP, используемая для определения целевого показателя.

Для обучения нейронной сети было подготовлено обучающее множество, состоящее из 150 заданий по разным предметам и 53 школьников. Приблизительно половина школьников решали эти задачи до пандемии Covid-19, а половина – во время пандемии, для каждого из школьников методом экспертной оценки были выведены значения эффективности каждого задания. Экспертами учитывалась как сама задача, так и условия, влияющие на ее решение. Для тестирования была создана также тестовая выборка из 50 заданий.

На обучающей выборке модель показала 79 % точности прогнозирования эффективности заданий. На тестовом множестве – точность составила 72 %.

Авторами статьи было произведено сравнение результатов, полученных нейросетью при обработке данных до пандемии и во время ее. Было установлено, что средняя эффективность решения задачи каждым школьником во время пандемии уменьшилась на 15%. Кроме того, наблюдается значительное увеличение разброса этого параметра.

## Литература

1. Dogadina, E.P.; Smirnov, M.V.; Osipov, A.V.; Suvorov, S.V. Formation of the Optimal Load of High School Students Using a Genetic Algorithm and a Neural Network. Appl. Sci. 2021, Volume 11, Issue 11, 5263, DOI: 10.3390/app11115263.

Ермолаев В.А.

Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
e-mail: kaf-eivt@yandex.ru

### Задачи математической физики в теории управляемых и оптимальных систем: системы с распределенными параметрами и запаздыванием.

Из анализа известной литературы нетрудно заключить, что классическая теория управляемых и оптимальных систем, линейных и нелинейных, в значительной мере базируется на методах обыкновенных дифференциальных уравнений, оснащенных в последнее время аппаратом функционального и нелинейного анализа, методах современной дифференциальной геометрии и топологии, а также численного анализа. Однако при всей глубине проработки названного аппарата еще остаются открытыми вопросы, требующие большего освещения. К ним, в частности, относятся вопросы из области теории систем с распределенными параметрами и систем с запаздыванием, т.е. к теории уравнений с частными производными – к уравнениям математической физики [1, 2] – и теории систем с дискретными и распределенными запаздываниями, которыми в ряде случаев можно аппроксимировать уравнения в частных производных.

С основами теории систем с распределенными параметрами можно ознакомиться, в частности, по работам А.Г. Бутковского [3, 4], а также по другим его статьям и книгам, освещающим вопросы подвижного оптимального управления и управления квантово-механическими системами. На практике, в силу сложности анализа, рассмотрение систем с распределенными параметрами часто основывается на простейших уравнениях математической физики, в качестве которых выступают волновое уравнение и уравнение теплопроводности [2], задаваемые в многомерном случае выражениями, соответственно

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \Delta u + f \quad \text{и} \quad \frac{\partial u}{\partial t} = a^2 \Delta u + f, \quad \text{где } u = u(x, t), \quad \text{а } \Delta = \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + \dots + \frac{\partial^2}{\partial x_n^2}.$$

В одномерном случае  $n = 1$ , а оператор Лапласа  $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2}$ .

Важно подчеркнуть, что решение любого, а не только простейшего, уравнения математической физики в общем случае зависит не только от начальных, но и от граничных условий – условий, заданных на гиперповерхности области определения решения. Потребность в граничных условиях возникает, конечно, и в более просто решаемых классических задачах оптимального, а точнее, терминального управления; в задачах достижения заданной точки пространства / времени. При этом по библиографическому списку работ теория систем с распределенными параметрами (но не работ в области математической физики) заметно уступает не только классической теории управляемых и оптимальных систем, но и теории и практике применений систем с запаздыванием (систем с последствием). Становление и развитие этой последней области неразрывно связано с именами А.Д. Мышкиса, Л.Э. Эльсгольца, В.Б. Колмановского, Н.Н. Красовского, Дж. Хейла и др.

В переменных состояниях уравнение простейшей системы с  $m$  дискретными запаздываниями в контуре обратной связи можно записать в виде

$$\dot{x}(t) = \mathbf{A}x(t) + \sum_{k=1}^m \mathbf{B}_k u_k(t) + v(t), \quad u_k(t) = x(t - \tau_k), \quad \text{где векторные функции } x, u_k(t), v \in \mathbb{R}^n.$$

Система же с распределенным запаздыванием записывается как

$$\dot{x}(t) = \mathbf{A}x(t) + \mathbf{B} \int_{t-T}^t x(t + \tau) dG_\tau(t, \tau) + v(t).$$

С аппаратом функционально-дифференциальных уравнений (аппаратом теории систем с распределенным запаздыванием) можно ознакомиться по работе [5], а с его применением – по работам [6-9]; в работе [5] рассматривается классификация функционально-дифференциальных уравнений; развивается абстрактный подход к рассмотрению различных классов уравнений, в частности, сингулярных и с импульсными воздействиями. Рассмотрение ведется с опорой на технику теории операторов. Так, оператор линейного уравнения обычно задается выражением

$$Lx(t) = \dot{x}(t) - \mathbf{A}x(t) - \mathbf{B} \int_{t-T}^t x(t+\tau) dG_{\tau}(t, \tau).$$

представленного как  $\dot{x}(t) = f\left(t, x(t), \int_{t-T}^t x(t+\tau) dG_{\tau}(t, \tau)\right)$ , имеет вид

$$Lx(t) = \dot{x}(t) - f\left(t, x(t), \int_{t-T}^t x(t+\tau) dG_{\tau}(t, \tau)\right).$$

Решение последнего требует, как правило, обращения к численным методам, методам возмущения и т.п. Решение линейного уравнения в ряде простых случаев можно получить и в явной форме, что, однако, при наличии соответствующих вычислительных средств не всегда целесообразно. Пример решения такого уравнения, только представленного не в форме Коши, а в форме уравнения относительно искомой функции, дается в работе [10].

При всех своих возможностях моделирования физических, технических и социально-экономических процессов приходится признать, что теория функционально-дифференциальных систем в ряде случаев – это только средство аппроксимации наблюдаемых явлений. Так, например, представляется, что процесс распространения сигнала в длинной

линии, описываемый уравнением  $\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$ , может быть аппроксимирован элементом чистого запаздывания. Но это возможно только при условии, что линия идеальна или совершенна. В противном случае оператор распространения описывается выражением в частных производных, и мы имеем дело с системой с распределенными параметрами (с системой, описываемой дифференциальными уравнениями в частных производных).

Теории и применению систем с дискретным и распределенным запаздыванием посвящено множество журнальных публикаций, статей в коллективных монографиях и книгах; естественно, что приводимая ниже библиография представлена в некотором смысле случайной выборкой источников информации по данной теме [5-12]. В части применения можно выделить работы [6-11]. Так, в [6] рассматриваются приложения теории к моделированию популяций, нейронным сетям и моделям экономики. В работах [7, 10, 11] теория прилагается к анализу лазерных систем с запаздыванием. Следует отметить, что в работах [6-9] дается и обзор теории систем с запаздыванием.

Теория систем с распределенными параметрами, ее приложения и ее связи с теорией систем с запаздыванием излагаются в работах [3, 4, 9]; в работах [9, 10] затрагиваются, конечно, и теория систем с запаздыванием. Приложения к задачам практики, как теории систем с запаздыванием, так и теории с распределенными параметрами, требуют привлечения методов приближенного или численного решения соответствующих уравнений, методов, берущих начало из работ [3, 4]; методов вычислительной математики, теории возмущений и функционального анализа. Применительно к системам с распределенными параметрами наиболее проработанными, по крайней мере, в теоретическом плане являются метод моментов и численные методы, в рамках которых определенный интерес представляет метод локальной аппроксимации [11].

### Литература

1. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. – М.: Наука, 2004.
2. Владимиров В.С. Что такое математическая физика? // Препринт. – М.: МИАН. 2006.

3. Бутковский А.Г. Теория оптимального управления системами с распределенными параметрами. – М.: Наука, 1965.
4. Бутковский А.Г. Методы управления системами с распределенными параметрами. – М.: Наука, 1975.
5. Азбелев Н.В., Максимов В.П., Рахматуллина Л.Ф. Элементы современной теории функционально-дифференциальных уравнений. Методы и приложения. – М.: АНО ИКИ, 2002.
6. Stamova I. Stability analysis of impulsive functional differential equations. – Berlin New York: Walter de Gruyter, 2009.
7. Atay F.M. (Ed). Complex time-delay systems. – Berlin: Springer, 2010.
8. Agarwal R.P. et al. Nonoscillation theory of functional differential equations with applications. – London New York: Taylor&Francis, 2002.
9. Loiseau J.J. et al. (Eds). Topics in time delay systems. – Berlin Heidelberg: Springer, 2009.
10. Ермолаев В.А., Кропотов Ю.А., Проскуряков Ю.А. Построение моделей систем обмена информацией с дискретным и распределенным запаздыванием и задержанной обратной связью // Компьютерная оптика, 2020, т.44(3), с. 454-467.
11. Ермолаев В.А., Кропотов Ю.А. Методы локального анализа и сглаживания временных рядов и дискретных сигналов // Математическое моделирование, 2017, т.29, №2, с.119-132.

Колпаков А.А.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: kaf-eivt@yandex.ru*

### **Разработка методики проверки качества передачи речевого сигнала в распределенной системе диспетчерской связи**

Целью работы является исследование методов проверки качества передачи речевого сигнала в распределенной системе диспетчерской связи и разработка соответствующей методики.

Для проведения исследования требуется следующее оборудование:

- источник тестового сигнала – динамик, подключенный к компьютеру;
- коммутатор Ethernet;
- компьютер для записи воспроизводимых сигналов
- компьютер с установленным ПО для записи звуковых дорожек.

Схема стенда для проведения исследований представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Стенд для проверки качества передачи речевого сигнала в распределенной системе диспетчерской связи

Для проведения испытаний требуется, чтобы терминал-источник и терминал-приемник не были акустически связаны.

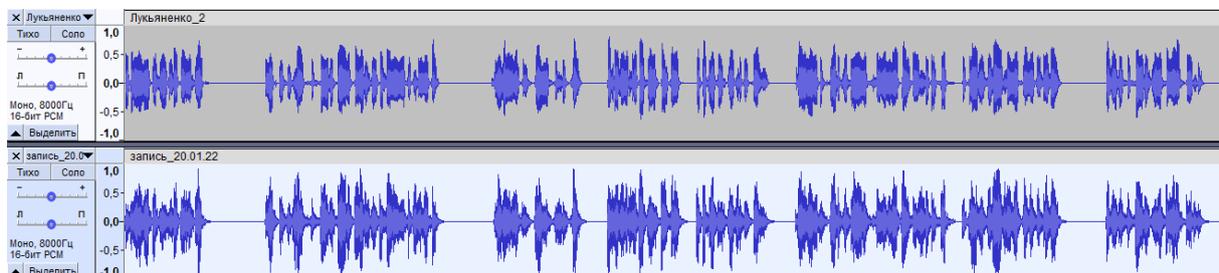


Рис. 2. Результаты сравнения исходного и записанного фрагментов речевого сигнала в распределенной системе диспетчерской связи

Проверка осуществляется путем воспроизведения заранее записанного фрагмента речевого сигнала с помощью источника тестового сигнала, передачи его от терминала-источника в терминал-приемник через сеть Ethernet и запись принятого сигнала на компьютере через линейный вход. Далее производится визуальное и аудиальное исследование исходного и

записанного сигнала для выявления изменений, полученных при прохождении сигналом всей последовательности преобразований. Результаты эксперимента приведены на рисунке 2.

### Литература

1. Kropotov Y.A., Kolpakov A.A. On the transmission of asynchronous data streams over packet switched networks with random multiple access // International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC), 2018, Vol.10, No.1, P. 107-117 (DOI: 10.5121/ijcnc.2018.10108).
2. Колпаков А.А., Кропотов Ю.А. Методы повышения производительности гетерогенных компьютерных систем: монография - Palmarium Academic Publishing, Saarbrucken, Deutschland, 2017. - 130 с. ISBN 978-3-659-72392-6
3. Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами. – СПб.: Наука, 2000. – 549 с.
4. Ben-Tal A., Nemirovski A. Lectures on Modern Convex Optimization: Analysis, Algorithms and Engineering Applications. SIAM, Philadelphia, 2001. – 505 p.
5. Ермолаев В. А., Кропотов Ю. А., Проскуряков А. Ю. Построение моделей систем обмена информацией с дискретным и распределённым запаздыванием и задержанной обратной связью // Компьютерная оптика. 2020. №3. С. 454-465.

Колпаков А.А., Жидоморова М.В.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: kaf-eivt@yandex.ru*

### Разработка клиент-серверной программной системы матричных вычислений

Целью работы является разработка многопользовательского клиент-серверного приложения для организации математических вычислений над матрицами.

Клиент будет отправлять серверу данные, необходимые для выполнения операций, сервер принимает данные от клиента, выполняет операции с принятыми данными и отправляет результат клиенту.

Ниже приведена схема взаимодействия подсистем.



Рис. 1. – Схема взаимодействия подсистем.

Ниже приведены алгоритмы работы серверной и клиентской частей.

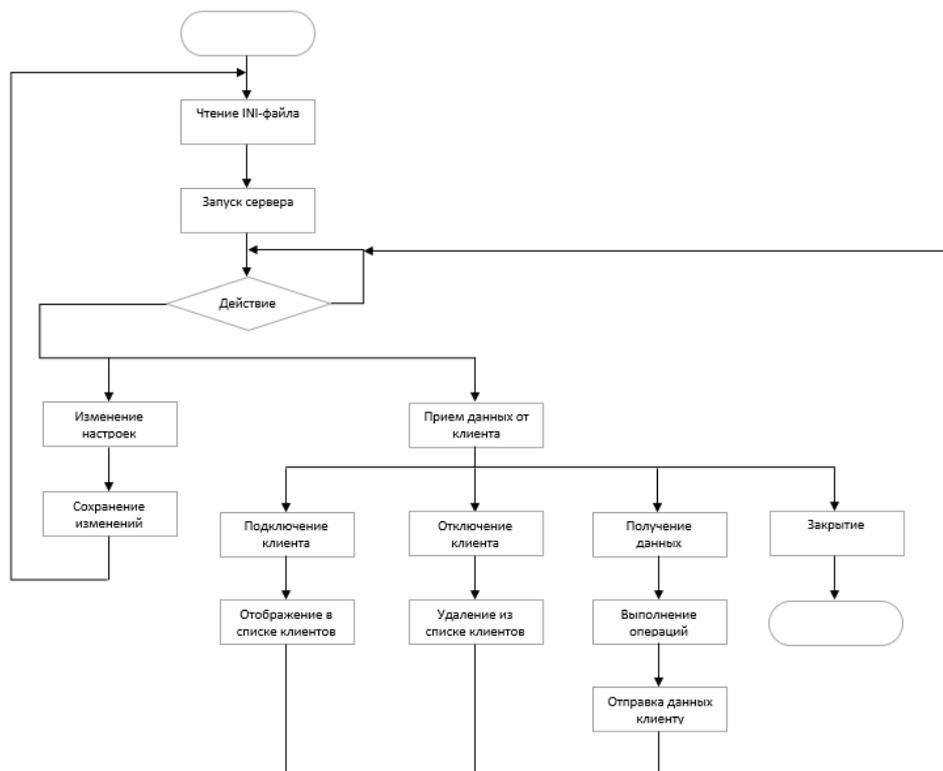


Рис. 2. Алгоритм работы серверного приложения

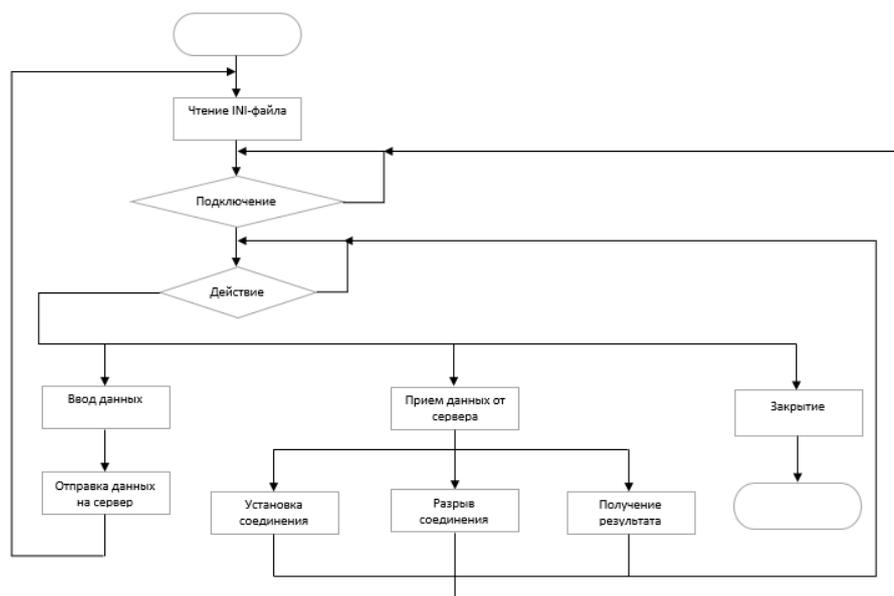


Рис. 3. Алгоритм работы клиентского приложения

### Литература

1. Kropotov Y.A., Kolpakov A.A. On the transmission of asynchronous data streams over packet switched networks with random multiple access // International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC), 2018, Vol.10, No.1, P. 107-117 (DOI: 10.5121/ijcnc.2018.10108).
2. Колпаков А.А., Кропотов Ю.А. Методы повышения производительности гетерогенных компьютерных систем: монография - Palmarium Academic Publishing, Saarbrucken, Deutschland, 2017. - 130 с. ISBN 978-3-659-72392-6

3. Бейлекчи Д. В., Белов А. А., Ермолаев В. А., Кропотов Ю. А. Передача синхронных потоков данных по асинхронным сетям пакетной связи со случайным множественным доступом // Системы управления, связи и безопасности. 2017. №1. С. 1-15.

4. Протокол Пользовательских Датаграмм [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tools.ietf.org/html/rfc768> (25.01.2022).

5. Бейлекчи Д.В. Передача синхронных потоков данных по асинхронным сетям пакетной связи со случайным множественным доступом / Д.В. Бейлекчи, А.А. Белов, В.А. Ермолаев, Ю.А. Кропотов // Системы управления, связи и безопасности. – 2017. – № 1. – С. 1-15.

Потопнин С.О., Белов А.А.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
e-mail: kaf-eivt@yandex.ru*

### **Автоматизированная система обмена данными между CMS 1С-Битрикс и 1С.**

В настоящее время прослеживается тенденция автоматизации деятельности торговых компаний и стремление внедрять современные интерактивные системы с помощью глобальной вычислительной сети посредством Web-интерфейса и программ автоматизации предприятий.

Одним из возможных вариантов автоматизации торговых компаний является связка таких программных продуктов как системы управления содержимым сайта предприятия 1С-Битрикс и 1С, которые уже имеют в своем арсенале готовые решения для взаимодействия друг с другом.

Актуальной задачей является обеспечение совместимости между Web-приложениями и сторонними программными модулями, например, между Web-приложением, реализованным с применением «коробочного решения» 1С Битрикс и модулями системы 1С.

Все обмены данными между 1С Битрикс и 1С можно классифицировать на стандартные и нестандартные. К стандартным обменам, например, можно отнести обмен информации о товарах, заказах и данных некоторых других сущностей, однако при изменении некоторых условий функционирования предприятия зачастую возникает потребность доработки стандартных обменов между 1С-Битрикс и 1С.

Функционал стандартного обмена в 1С-Битрикс находится в модуле «Интернет-магазин». Там можно произвести настройки правил обменов с 1С. 1С также имеет модуль для стандартных обменов — это «Обмен данными с сайтами».

В большинстве случаев инициатором обмена между двумя системами выступает именно 1С. 1С-Битрикс получает несколько POST и GET запросов от 1С по http протоколу и в конечном итоге отдает данные и статусы выполнения в 1С.

В одном из запросов 1С передает XML файл, в котором находятся данные товаров, заказов и прочих сущностей для загрузки на сайт и именно в них могут находиться данные, не входящие в стандартные обмены.

Для того, чтобы прочитать данные из файла XML необходимо использовать библиотеки для работы с ними. CMS 1С-Битрикс написана на языке программирования PHP и соответственно необходимо использовать библиотеки именно этого языка программирования – SimpleXML и XMLReader.

```
// открываем xml файл
$xml = new \XMLReader();
$xml->open($exchangeRegister->folder . '/' . $xmlFiles[$i]);
// проходим рекурсивно по xml файлу
while ($xml->read())
{
    if (!$xml->isEmptyElement)
    {
        // обрабатываем элемент
    }
    // переходим к следующему элементу
    $xml->next();
}
// закрываем xml файл
$xml->close();
```

Рис.1. Обработка XML файла при помощи XMLReader

В главном модуле 1С-Битрикс существует специальная функция – AddEventHandler, с помощью которой можно запустить обработчик на то или иное событие.

```
AddEventHandler(  
    string from_module_id,  
    string MESSAGE_ID,  
    mixed callback,  
    int sort = 100,  
    mixed full_path = false  
);
```

Рис.2. Параметры функции AddEventHandler

Событие, которое наступает в момент окончания обработки xml файла стандартным модулем 1С-Битрикс является OnSuccessCatalogImport1C. Его можно использовать как флаг к старту обработки нестандартного обмена.

```
AddEventHandler("catalog", "OnSuccessCatalogImport1C", "SyncWithCatalogs");  
function SyncWithCatalogs(){  
    // методы для обработки xml файла  
}
```

Рис.3. Использование функции AddEventHandler с OnSuccessCatalogImport1C

### Литература

1. Dev.1c-bitrix.ru: OnSuccessCatalogImport1C [Электронный ресурс]. – URL: [https://dev.1c-bitrix.ru/api\\_help/catalog/events/onsuccesscatalogimport1c.php](https://dev.1c-bitrix.ru/api_help/catalog/events/onsuccesscatalogimport1c.php).
2. Dev.1c-bitrix.ru: AddEventHandler [Электронный ресурс]. – URL: [https://dev.1c-bitrix.ru/api\\_help/main/functions/module/addeventhandler.php](https://dev.1c-bitrix.ru/api_help/main/functions/module/addeventhandler.php)
3. Php.net: XMLReader [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.php.net/manual/en/class.xmlreader.php>
4. Php.net: SimpleXML [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.php.net/manual/en/book.simplexml.php>
5. Dev.1c-bitrix.ru: Интеграция 1С-Битрикс с 1С [Электронный ресурс]. – URL: [https://dev.1c-bitrix.ru/learning/course/?COURSE\\_ID=131&INDEX=Y](https://dev.1c-bitrix.ru/learning/course/?COURSE_ID=131&INDEX=Y)

Проскураков А.Ю., Славкин В.С.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
e-mail:hd.herrsher@gmail.com*

## Разработка анимации для графического движка Unreal engine 4

В наше время новые технологии компьютерной графики сделали большой шаг вперед, создаются все больше программных систем и сред для создания анимации в компьютерных и консольных играх. Данные анимации создаются для подробного воссоздания движения тела человека в игровом пространстве.

Целью данного проекта является создания анимации и перенос в игровой движок Unreal Engine. Разрабатываемые анимации необходимы для создания своего игрового проекта. В качестве используемых программ для создания анимации я использовал Blender 2.83 и Cascadeur.

В данных программах реализованы сразу несколько необходимых для создания анимации технологий:

- ИК и ФК переключения, инверсная и прямая кинематика;
- экспорт файлов в необходимый формат с подробными настройками;
- интерфейс для работы с ключами анимации;
- интерфейс для работы со скелетом используемой модели.

Создание графической анимации начинается с загрузки исходного объекта в программе редактирования (рис. 1).

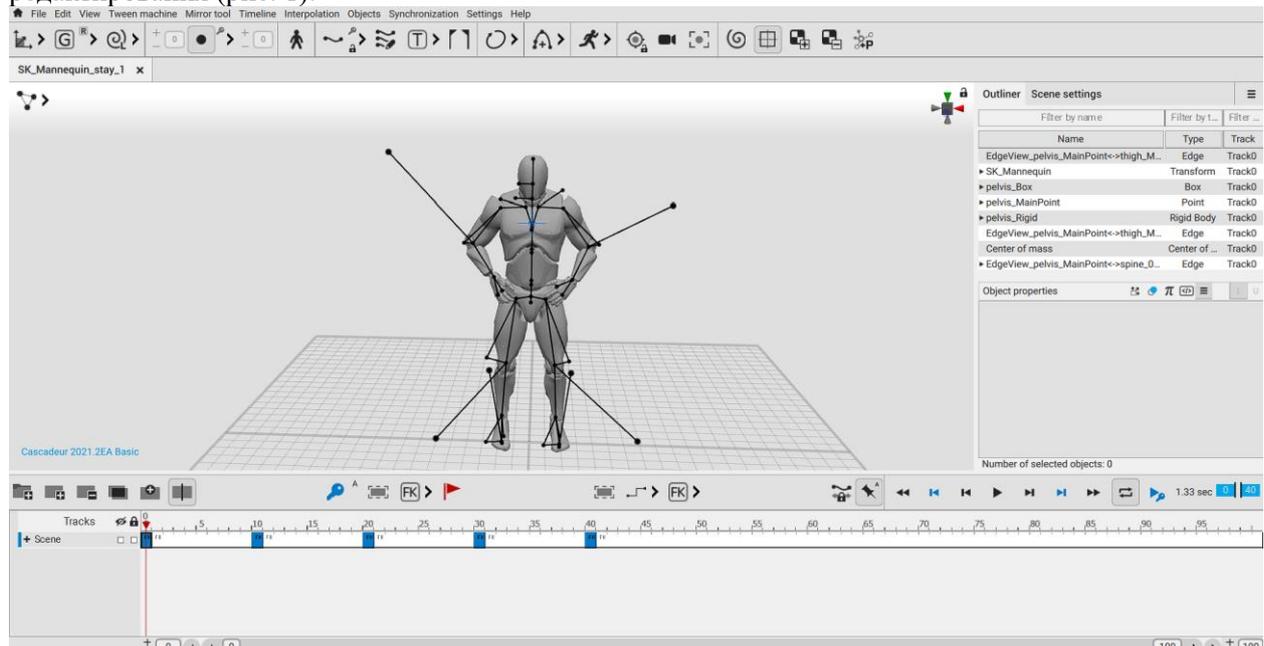


Рис. 1 – Исходный объект

Сначала происходит проверка модели на наличие скелета, если его нет, то необходимо его создание. В объекте есть кости, значит, можно приступать к созданию control point для дальнейшей манипуляции скелетом. Для создания инверсной кинематики модель должна иметь симметрию, это необходимо для зеркалирования. Инверсная кинематика необходима модели в основном персонажам для создания фотореалистичной анимации, для полного погружения пользователя в игровой мир.

Следующий этап Control-rig – необходим для работы над весом и создания физического поведения модели. Риг состоит из твердых тел, каждое из которых имеет свой размер и вес (рис.2).

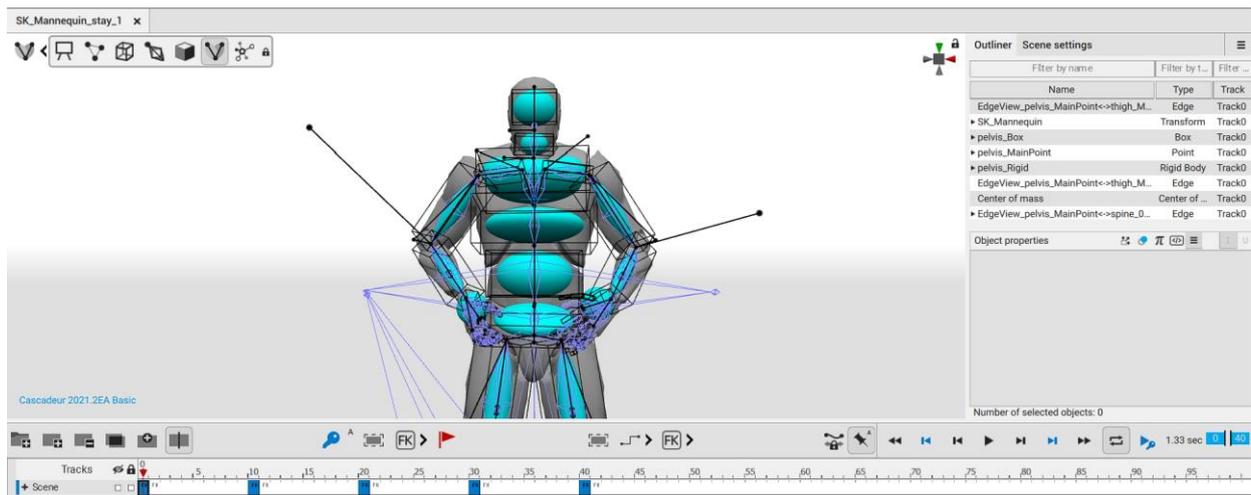


Рис. 2 – Создание физического поведения модели

Теперь все настройки объекта готовы, можно приступить к созданию самой анимации. Проведенные манипуляции над объектом теперь помогают создавать качественную и физически реалистичную анимацию. Пример создания анимации приведен ниже (рис.3).

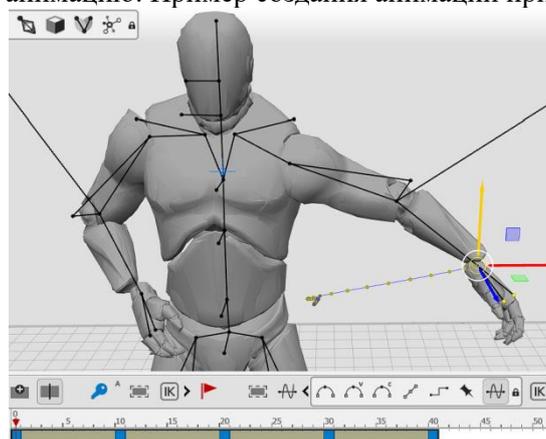


Рис. 3 – Создание физического поведения модели

Выделяем определенные control-point и двигаем его в пространстве, придавая объекту нужное исходное положения. Придав объекту исходную форму, фиксируем его на панели ключей. Производим данные манипуляции на последующих кадрах, фиксируя и создавая только ключевые. Создав 5-6 ключей анимации (по необходимости можно создать больше для более подробного движения объекта) применяем инверсную кинематику и выделив все ключевые кадры, автоматически с помощью программы воссоздаем недостающие кадры.

Готовую анимацию загружаем в Unreal Engine 4.26.2. Затем указываем необходимые параметры загрузки. Выбираем скелет и необходимую ось. Анимация загружена и корректно отображается Unreal Engine4 (рис. 4).

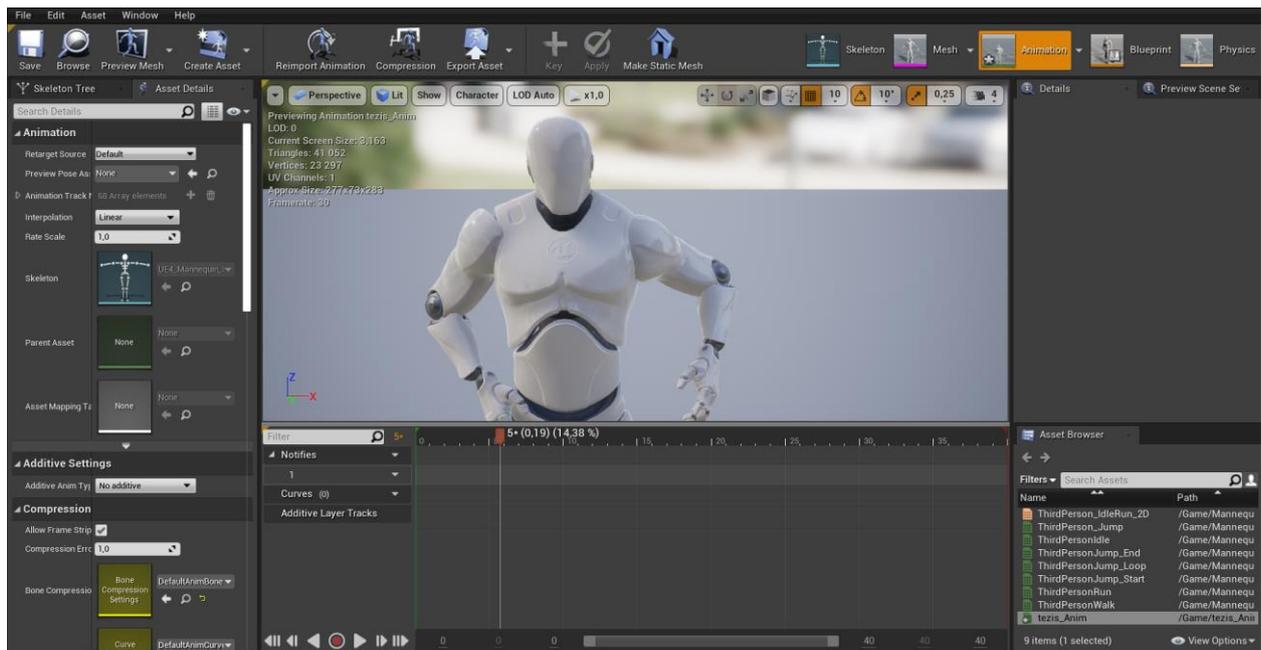


Рис. 4– Результат созданной анимированной модели

Данные анимации будут использоваться для создания компьютерной игры. На текущий момент происходит проработка основных систем и компонент для дальнейшей разработки игры, реализована анимация ведения огня, частично готово движение персонажа, начата работа над системой урона и здоровья. Далее планируется работа над игровой картой, ее наполнением объектами и NPC.

### Литература

1. Созадние рига для гуманоидов [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://cascadeur.com/ru/learn/rigging/creating\\_a\\_humanoid\\_rig\\_step\\_by\\_step#\\_mirroring](https://cascadeur.com/ru/learn/rigging/creating_a_humanoid_rig_step_by_step#_mirroring)
2. Компьютерная анимация [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Компьютерная\\_анимация#Конструкторы\\_анимаций](https://ru.wikipedia.org/wiki/Компьютерная_анимация#Конструкторы_анимаций)
3. Инверсная кинематика (ИК) LoRa. [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://programishka.ru/docs\\_manual/doc/blender/rigging/posing/inverse\\_kinematics.html](https://programishka.ru/docs_manual/doc/blender/rigging/posing/inverse_kinematics.html)
4. Трошина Г.В. Трехмерное моделирование и анимация : учебное пособие / Трошина Г.В.. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2010. — 99 с. электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/45048.html>

Холкина Н.Е.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: kaf-eivt@yandex.ru*

### **Вопросы повышения качества передачи речевой информации в системах телекоммуникаций**

Решению ряда проблем технологической связи, обусловленных явлениями эха и реверберации, а также шумами и помехами природного и технического происхождения посвящено много работ. По своей сути системы технологической связи относятся к классу систем с акустической обратной связью, неконтролируемый характер которой налагает заметные ограничения на мощность несущего информацию звукового сигнала, что в сочетании с помехами, снижает разборчивость речи.

Порождаемые, по сути, одними и теми же законами, явления эха и реверберации по механизмам формирования и характеристикам имеют, тем не менее, существенные различия. Под эхом обычно понимается некоторое не большое число однонаправленных звуковых лучей, каждый из которых характеризуется четко выраженными значениями уровня и запаздывания, что имеет место при озвучивании открытых территорий. Реверберация же представляет собой, обусловленный акустическими свойствами (резонансами) помещений, процесс возбуждения и затухания колебаний. Этот процесс принято моделировать системами резонансного типа, в том числе и цифровыми.

Описанные явления эха и реверберации можно наблюдать в телекоммуникационных системах, расположенных в аэропортах, вокзалах, торговых центрах, цехах и других крупных помещениях. Шум, эхо и другие помехи влияют на передаваемые сообщения, ухудшая его восприятие.

В работе рассмотрены используемые подходы к шумоподавлению и эхо компенсации в системах объектовой связи.

### **Литература**

1. Холкина Н.Е. Эффективность передачи информации систем оповещения и телекоммуникаций аудиообмена в условиях помех // Вестник Брянского государственного технического университета. 2020. № 5 (90). С. 49-55.
2. Ермолаев В.А., Кропотов Ю.А., Холкина Н.Е. Функционально-дифференциальные и дифференциально-разностные модели систем с акустической обратной связью // Вестник Брянского государственного технического университета. 2019. № 4 (77). С. 60 - 67.
3. Белов А.А., Кропотов Ю.А., Проскуряков А.Ю., Холкина Н.Е. Моделирование сигналов в телекоммуникациях аудиообмена в условиях акустических помех // Информационные системы и технологии. 2019 №5 (115). С. 93-102.
4. Белов А.А., Кропотов Ю.А., Проскуряков А.Ю., Холкина Н.Е. Моделирование сигналов в телекоммуникациях аудиообмена в условиях акустических помех // Информационные системы и технологии. 2019 №5 (115). С. 93-102.
5. Кропотов Ю. А., Белов А. А., Проскуряков А. Ю., Холкина Н.Е. Идентификация и оценивание параметров акустических сигналов в телекоммуникационных системах аудиообмена // Вестник Брянского государственного технического университета. 2018. № 2 (63). С. 34-41.