

# Вопросы применения технологий дополненной реальности в пропедевтических курсах по программированию

Д. И. Кадина<sup>1</sup>, А. Г. Кушниренко<sup>2</sup>, К. А. Мащенко<sup>3</sup>, М. С. Паремузов<sup>4</sup>,  
Н. А. Серебрицкая<sup>5</sup>, Е. Д. Тарасюк<sup>6</sup>

<sup>1</sup>ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия, kadinadaria@mail.ru;

<sup>2</sup>ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия, agk\_@mail.ru;

<sup>3</sup>ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия, МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия, Государственный университет управления, Москва, Россия, kirill.mashchenko@vip.niisi.ru;

<sup>4</sup>ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия, matveyparem@gmail.com;

<sup>5</sup>ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия, serebr@vip.niisi.ru;

<sup>6</sup>ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия, ekaterina.tarasuk@math.msu.ru;

**Аннотация.** Статья посвящена методам демонстрации процесса выполнения программ управляющих роботами для детей дошкольного возраста. Представлены методики использования реальных и виртуальных роботов, а также технологии дополненной реальности (AR) для создания интерактивных обучающих материалов. Показаны примеры использования AR в учебной бестекстовой среде программирования ПикоМир и особенности 3D-моделирования для реализации этих технологий. Массовое применение этих методик требуют выполнения ресурсоемких алгоритмов, которые еще несколько лет назад были посильны только мощным серверам, а сегодня могут без задержек выполняться на массово производимых планшетах экономкласса. Результаты исследований демонстрируют значительное улучшение восприятия программирования детьми через игровую форму обучения и использование современных технологий. Использование дополненной реальности при выполнении составленной ребенком программы движения робота по игровому полю позволяет избавить ребенка от «экранной» работы, жестко регулируемое федеральными Санитарными правилами и нормами.

**Ключевые слова:** дошкольник, младшеклассник, алгоритмиста, робот, бестекстовый, безэкранный, ПикоМир, дополненная реальность

## 1. Введение

Идея использовать реальных и виртуальных роботов при обучении новичков программированию принадлежит известному математику, программисту, психологу и педагогу Сеймуру Пейперту, ученику Жана Пиаже. Его знаменитая "Черепашка", управляемая внешними командами, была вдохновлена роботами известного нейрофизиолога и кибернетика Грея Уолтера, созданными в 1949 году.

Черепашка Пейперта вначале появилась в двух формах: реальная черепашка-робот, обитающая на полу, управляемая компьютером по проводам и рисующая картинки реальными чернилами на разостланной на полу реальной бумаге и экранная черепашка, живущая и рисующая картинки на экране дисплея. Реальная черепашка быстро проиграла соревнование с виртуальной. Автор статьи [1] Александр Ильинский остроумно заметил «Широкое распространение персональных компьютеров в конце 70-х годов привело к массовому вымиранию черепашек-роботов и неконтролируемому размножению экранных черепашек.» Оригинальная экранная «черепашка» Пейперта была им реализована в

среде программирования на новом, предназначенному для детей, языке программирования Logo и получила широкое распространение, которое, однако, со временем выявило некоторые проблемы. Ученик Пейперта Резник Митчел, один из создателей языка программирования Scratch, описал эти проблемы следующим образом [2]: «В 1980-х годах тысячи школ обучили миллионы учащихся программировать на Logo, но первоначальный энтузиазм быстро угас. Учителям и учащимся было трудно преодолеть нелогичности в синтаксисе этого языка. К тому же знакомство с ним осуществлялось в контексте не слишком интересных задач.»

В конце 20 века на смену Logo пришли новые языки программирования для начального обучения детей, и вернулись реальные роботы, ранее покинувшие образовательную практику. В первой четверти 21 века многие ученые и педагоги придерживаются мнения, что оптимальный путь освоения азов программирования детьми включает использование как реальных, так и виртуальных роботов. С использованием современных массово производимых планшетов, технологий искусственного интеллекта и дополненной реальности и подходящих учебных пособий, к моменту достижения детьми возраста 7-8 лет

возможно систематическое освоение всех конструкций структурного программирования и элементарных приемов составления и отладки программ в курсе объемом около семидесяти получасовых занятий.

## 2. Демонстрация ребенку процесса выполнения программы, управляющей роботом

В мире создано несколько популярных учебных бестекстовых и безэкраных сред программирования и робототехнических наборов, рассчитанных на детей 5–8 лет [3]. Безэкранное программирование позволяет значительно уменьшить время экранной работы ребенка, регулируемое федеральными Санитарными правилами и нормами СанПиН 1.2.3685-21 (далее СанПиН).

**Возраст до 5 лет.** Поскольку действующие СанПиН полностью запрещают использование электронных средств обучения детьми возраста до 5 лет, демонстрация процесса выполнения распознанной компьютером программы возможна только в реальном мире. По нашей методике дети собирают на столе или на полу игровой комнаты игровое поле, компьютер в соответствии с распознанной им программой, подает размещенному на поле роботу звуковые команды, легко воспринимаемые и понимаемые детьми. А робот, получая слышимые детьми команды, перемещается по игровому полю, проводя действия с расположенными на поле объектами (рис. 1).



Рис. 1. Использование реального робота, передвигающегося по коврикам, в учебном процессе

**Возраст от 5 до 6 лет.** Согласно действующим СанПиН, индивидуальная работа на планшетах запрещена, но возможно коллективное использование электронной доски. В этом случае, на доску может быть выведена либо виртуальная

обстановка, полностью сгенерированная компьютером, либо изображение реальной остановки, собранной детьми на полу игровой комнаты, дополненное изображениями виртуальных роботов, сгенерированных компьютером в процессе выполнения программы (см. подробнее в разделе 3).

**Возраст старше 6 лет.** Согласно действующим СанПиН, в этом возрасте возможна индивидуальная работа на планшетах ограниченной продолжительности. Поэтому ребенок, не нарушая правил, может наблюдать на экране выполнение составленной им программы, составленной либо на экране, либо в материальном мире. В возрасте старше 6 лет разрешено использование сенсорного экрана планшета для а) составления игровой обстановки, б) составления программы и в) наблюдения за ходом выполнения программы. Однако представляется более эффективным перенесение части этих этапов работ в реальный мир: программы ребенок составляет из материальных объектов, игровую остановку также собирает из материальных объектов, размещая на игровом поле изготовленные на 3D принтере или склеенные из картона модельки роботов, и лишь собственно процесс выполнения программы ребенок наблюдает на экране в дополненной реальности. При этом ребенок видит на экране не только виртуальные объекты, но и предметы реального мира, поэтому эта демонстрация воспринимается детьми, как происходящая скорее в реальном, чем в виртуальном мире.

## 3. Технологии дополненной реальности в цифровой образовательной среде ПикоМир

Одной из наиболее интересных и перспективных современных технологий является дополненная реальность (AR), которая позволяет создавать виртуальные объекты и размещать их в реальном мире. В последние годы AR получила все большую популярность в различных областях, включая образование.

Дополненная реальность имеет давнюю историю развития. Впервые термин "дополненная реальность" был использован в 1992 году Томасом К. Крамером, который предложил концепцию добавления виртуальных объектов к реальной сцене. Однако, только с развитием современных технологий и компьютеров AR стала доступной для широкого использования.

Сегодня дополненная реальность нашла свое применение в образовании. AR позволяет создав-

вать интерактивные учебные материалы, которые могут значительно улучшить процесс обучения. Например, студенты могут использовать AR для изучения анатомии, истории, географии и других предметов. Также AR позволяет создавать виртуальные экскурсии и лаборатории, что существенно расширяет возможности образовательного процесса.

Не следует путать методики дополненной реальности (AR) с методиками виртуальной реальности (VR). Для работы в виртуальной реальности нужны специальные очки или шлем, надевая которые ты оказываешься в полностью другой, симулированной реальности. Использование подобных очков или шлемов VR может вызывать значительный дискомфорт, особенно у детей, поэтому многие производители подобного оборудования не рекомендуют его использование детьми младше 13 лет.

А вот для применения технологии AR нужен всего лишь обычный планшет, на котором, поверх транслируемой картинки с камеры, появляются созданные объекты. У детей при этом складывается впечатление, что эти объекты находятся рядом с ними, они могут обойти с планшетом вокруг них и рассмотреть их со всех сторон, а появляются эти объекты в привычной им обстановке реального мира, например, на полу игровой комнаты детского сада.

Технология дополненной реальности сложнее технологии виртуальной реальности и требует сложных математически ресурсоемких алгоритмов и мобильных устройств, снабженных дополнительными датчиками (акселерометр, гироскоп, компас и др.). К счастью, сегодня, в конце первой четверти 21 века, прогресс в ИКТ привел к тому, что технологии дополненной реальности реализуемы практически на любых массово производимых мобильных компьютерных устройствах. Более того, имеется свободно распространяемое программное обеспечение, которым можно воспользоваться для реализации методик дополненной реальности на мобильных устройствах.

Математическая составляющая использования дополненной реальности включает в себя теорию геометрии и алгоритмы распознавания плоскостей. Для того, чтобы виртуальные объекты корректно отображались в реальном мире, необходимо определить положение камеры и распознать плоскость, на которую будет проецироваться виртуальный объект.

Алгоритм распознавания плоскостей основан на использовании камеры с маркером, который помогает определить положение камеры и распознать плоскость. После этого виртуальные объекты могут быть размещены на этой плоскости.

Для того, чтобы обойти объект в AR со всех сторон, используются датчики, такие как акселерометр, гироскоп и компас. Они помогают определить положение устройства в пространстве и изменить направление взгляда на объект. Также используется технология SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), которая позволяет определить положение устройства в реальном времени и создать карту окружающей среды.

Отделом учебной информатики была разработана свободно распространяемая среда бестекстового программирования для дошкольников «ПикоМир» [4-7]. В ПикоМире использована широко распространенная библиотека кампании Google «Сервисы Google Play для AR». Для использования приложения на планшетах эконом класса появилась необходимость сделать достаточно гладкие и сложные, но в то же время не слишком большие по весу модели, чтобы при отображении сразу большого количества объектов и роботов из ПикоМира приложение не начинало «подтормаживать».

3D моделирование бывает разных типов, но в данном случае было использовано полигональное моделирование. Полигональное моделирование является фундаментальным и широко используемым методом 3D моделирования. Оно основано на соединении вершин и ребер для формирования многоугольников – полигонов, что позволяет точно контролировать геометрию (рис. 2).

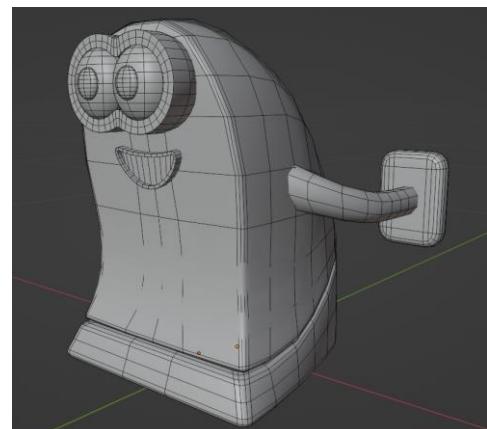


Рис. 2. Визуальное отображение полигонов в 3D модели

Этот метод эффективен при создании как детализированных, так и простых объектов, но у него есть недостаток: на силуэте 3D модели видны ребра полигонов. Эта проблема решается увеличением количества полигонов, либо использованием карт нормалей. Технология карт нормалей плохо поддерживается в AR и VR, поэтому 3D модели были смоделированы со средним количеством полигонов, чтобы сохранить

плавность силуэтов и при этом не увеличивать вес самих моделей в программе, а модель сглажена с помощью манипулирования направлением нормалей вершин.

Чтобы наложить цвет на модель, необходимо создать развертку, или карту UV, и на базе этой карты создать карту цвета. UV преобразование — это процесс 3D моделирования, при котором поверхность 3D модели проецируется на 2D изображение для наложения текстуры. Буквы «U» и «V» обозначают оси 2D текстуры, поскольку «X», «Y» и «Z» уже используются для обозначения осей 3D объекта в пространстве модели (рис. 3).

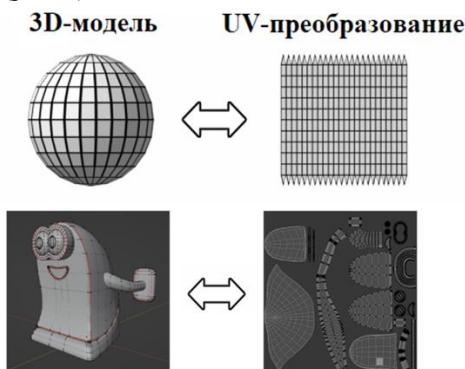


Рис. 3. 3D модель и UV развертка модели

Для подготовки модели к разворачиванию UV карты необходимо группам ребер 3D модели назначить определенный угол сглаживания, так как от этого напрямую зависит качество UV карты в 2D пространстве и качество наложения карты цвета в последующем, а также внешний вид 3D модели.

Чтобы подробнее объяснить работу с группами сглаживания необходимо коснуться темы нормалей. Нормально — это вектор, перпендикулярный поверхности полигона (рис. 4).

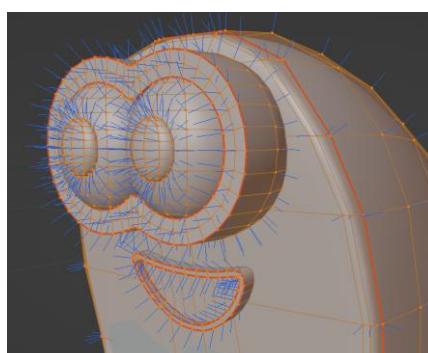


Рис. 4. Визуальное отображение векторов нормалей

В программах 3D моделирования нормали используются для определения ориентации грани полигона (нормаль грани) и того, как ре-

бра граней будут визуально выглядеть по отношению друг к другу при освещении (нормали вершин). Нормали вершин — это вектора, которые указывают направление вершин. Нормали вершин определяют визуальную мягкость или жесткость между полигонами и то, как модель выглядит, когда свет падает на полигон, а управление ими позволяет управлять реакцией полигона на свет. Когда все нормали для определенной вершины направлены в одном направлении (так называемые мягкие или общие нормали вершин), между гранями возникает плавный переход света (рис. 5).

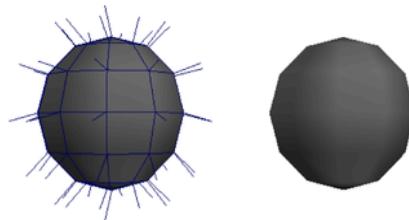


Рис. 5. Мягкие нормали вершин

Когда нормали вершин направлены в том же направлении, что и их грани (так называемые жесткие нормали вершин), переход между гранями становится жестким, что создает граненый вид (рис. 6).

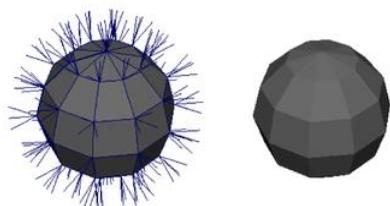


Рис. 6. Жесткие нормали вершин

При работе с UV разверткой необходимо, чтобы на углах меньше или равных 90 градусам, были выставлены жесткие нормали вершин, а на углах более 90 градусов — мягкие нормали. Шов разреза UV развертки обычно проходит именно по жестким нормалям. Если это невозможно, как в случае с моделями роботов, ребрам шва назначают жесткие нормали. В случае моделей роботов ребра некоторых швов остались мягкими нормалами. Это стало возможно, потому что не было возможности в запекании карт нормалей (рис. 7).

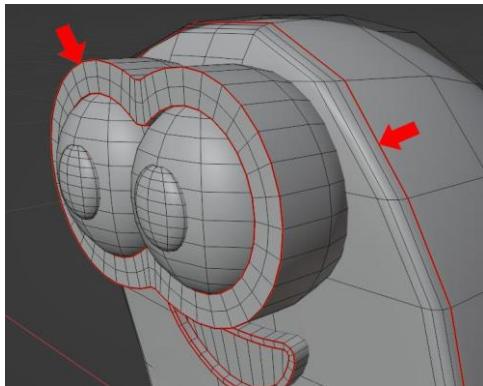


Рис. 7. Швы UV развертки

Далее UV развертка была импортирована в графический редактор, где каждой ее части был присвоен нужный цвет (рис. 8).

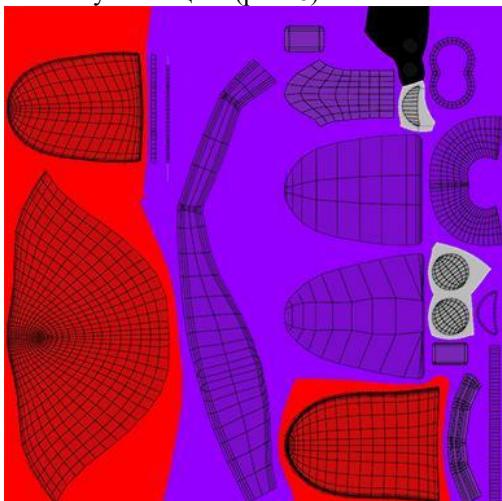


Рис. 8. Карта цвета с наложенной на нее UV картой

Цвета модели экспортируются как отдельное изображение в формате jpg и при импортировании в программу AR используется как Color map/Diffuse map.

Благодаря всем данным методам в модуль дополненной реальности ПиктоМира были интегрированы, за небольшим исключением, все виртуальные роботы ПиктоМира, и даже при отрисовке на массово производимых планшетах умеренной производительности одновременного движения большого количества роботов на одной сцене не возникает никаких «подтормаживаний». Помимо этого, знакомых детям виртуальных роботов ПиктоМира, в дополненной реальности можно рассмотреть подробно, вблизи и со всех сторон (рис. 9-13).



Рис. 9. Робот Двигун в дополненной реальности.

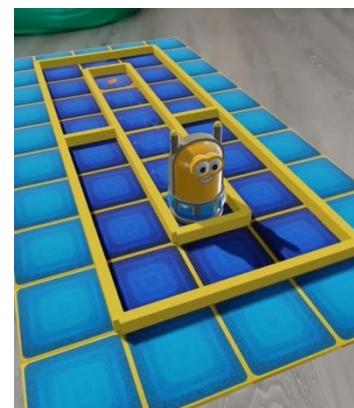


Рис. 10. Робот Вертун в дополненной реальности.



Рис. 11. Робот Ползун в дополненной реальности.



Рис. 12. Совместная работа роботов Двигун и Тягун с ящиками



Рис. 13. Совместная работа роботов на карте с большим количеством объектов.

Для передачи из ПикоМира информации о процессе выполнения программы и реализации движения сразу большого количества объектов по карте с отслеживанием правильности тактов выполнения программы (например, когда один робот выполняет команду «Мигнуть» или проверяет условие) была использована архитектура сбора «состояний» карты, созданная для Копилки в ПикоМире. Данная архитектура на каждом такте выполнения программы собирает всю информацию у всех объектов в ПикоМире и кладет ее в массив, где каждый элемент отвечает за состояние карты на очередной такт выполнения.

полнения программы. Вся эта информация передается в модуль дополненной реальности, после чего сравниваются состояния каждого объекта на предыдущем такте и на текущем. Если состояния отличаются – то производится движение или изменение внешнего вида объектов. Например, если изменились координаты робота – производится его передвижение в нужную точку, если изменилось его направление – производится его вращение в нужную сторону, если клетка стала закрашена – то меняется ее текстура. Благодаря этому, в модуль дополненной реальности не пришлось встраивать код компиляции программы из ПикоМира, в него сразу передается результат процесса выполнения программы, который ему просто нужно проиграть.

#### 4. Заключение

Программная поддержка подходов, описанных в настоящей статье, реализована в цифровой образовательной среде ПикоМир, которая сегодня внедрена в реальный учебный процесс в сотнях детских садов и начальных школ, участвующих в работе, организованной ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН сетевой инновационной площадки ПикоМир.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН по теме № FNEF-2024-0001 (1023032100070-3-1.2.1).

## Application of Augmented Reality Technologies in Conducting Programming Courses for Preschool Children and Primary School Children

**D. I. Kadina, A. G. Kushnirenko, K. A. Mashchenko, M. S. Paremuzov, N. A. Serebritskaia, E. D. Tarasuk**

**Abstract.** The article is dedicated to methods of demonstrating the process of programming robots for preschool children. The paper presents techniques for using both real and virtual robots, as well as augmented reality (AR) technology to create interactive educational materials. Examples of using AR in the educational non-textual programming environment PictoMir and the specifics of 3D modeling to implement these technologies are demonstrated. The widespread application of these methods requires the execution of resource-intensive algorithms, which just a few years ago were only feasible for powerful servers but can now be executed without delay on mass-produced economy-class tablets. The research results demonstrate a significant improvement in children's perception of programming through gaming-based learning and the use of modern technologies. The use of augmented reality in executing a child-composed robot motion program on a gaming field allows the child to avoid "screen" work, which is strictly regulated by federal sanitary rules and norms.

**Keywords:** preschooler, elementary school student, algorithms, robot, textless, screenless, PictoMir, augmented reality.

## Литература

1. Ильинский А. Бунтарь Сеймур Пейперт: от черепашек- роботов к экранным черепашкам // Коммерсантъ. Наука. 19.01.2021. <https://www.kommersant.ru/doc/4653334>
2. Резник М. Спираль обучения: 4 принципа развития детей и взрослых. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2018. 192 с.
3. Кушниренко А. Г., Леонов А. Г., Машченко К. А., Райко М. В., Грибанова И. Н. Начальное обучение алгоритмике дошкольников и других новичков с помощью умных роботов-игрушек // Труды Научно-исследовательского института системных исследований Российской академии наук. 2023. Т. 13. № 1-2. С. 52–68. EDN: AUYZXT. DOI: 10.25682/ NIISI.2023.1-2.0008.
4. Бесшапошников Н. О., Кушниренко А. Г., Леонов А. Г., Райко М. В., Собакинских О. В. Цифровая образовательная среда «ПиктоМир»: опыт разработки и массового внедрения годового курса программирования для дошкольников // Информатика и образование. 2020. Т. 35. № 10. С. 28–40. EDN: JSAWOV. DOI: 10.32517/0234-0453-2020-35-10-28-40.
5. Бесшапошников Н. О., Леонов А. Г. Пиктограммный язык программирования «Пикто» // Вестник кибернетики. 2017. Т. 28. № 4. С. 173–180. EDN: VVPPQT.
6. Бетелин В. Б., Кушниренко А. Г., Леонов А. Г. Основные понятия программирования в изложении для дошкольников // Информатика и ее приложения. 2020. Т. 14. Вып. 3. С. 56–62. DOI: 10.14357/19922264200308.
7. Леонов А. Г., Райко М. В., Собакинских О. В., Собянина Н. В. Результаты освоения годовой программы «Алгоритмика для дошкольят» подготовительными группами муниципального ДОУ // Труды Научно-исследовательского института системных исследований Российской академии наук. 2020. Т. 10. № 5-6. С. 195–199. EDN: LLAERB. DOI: 10.25682/ NIISI.2020.5\_6.0023.