

УДК 004.89

ОПЫТ СОЗДАНИЯ НЕИГРОВЫХ ПЕРСОНАЖЕЙ В ВИРТУАЛЬНЫХ МИРАХ

А.Р. Бакиров¹, Д.И. Костюк², Е.Н. Лазарев³, А.Р. Хафизова⁴

¹⁻⁴*Высшая школа информационных технологий и информационных систем
Казанского (Приволжского) федерального университета*

¹goglm41@gmail.com, ²xdxnkx@gmail.com, ³evgenln11401@gmail.com,

⁴sagd.alina@gmail.com

Аннотация

Быстрое развитие сложных виртуальных миров, в особенности 3D-игр и компьютерных игр, создает новые проблемы при разработке виртуальных агентов, управляемых системами искусственного интеллекта (ИИ). Две важные подзадачи в этой тематической области, которые необходимо решить, это: (а) достоверность и (б) эффективность поведения агентов, то есть сходство персонажей с людьми и высокая способность к достижению их «собственных» целей. В этой статье мы изучаем современные подходы к разработке реалистичного ИИ в виртуальных мирах. Мы изучаем концепции правдоподобия и эффективности и анализируем несколько успешных попыток решить эти проблемы. Мы полагаем, что правдоподобное и эффективное поведение может быть достигнуто посредством изучения моделей поведения из наблюдений с последующим автоматическим выбором выигрышных действующих стратегий.

Ключевые слова: виртуальные реконструкции, Великий Болгар, неигровые персонажи, 3Д модели, искусственный интеллект

ВВЕДЕНИЕ

Над проектом виртуальной реконструкции поволжского города Болгар XIV века в течение 3 лет работает группа сотрудников Казанского федерального университета совместно с археологами, занимающимися раскопками на территории этого городища [1], которые снабжают проект необходимой информацией

о культуре этого периода, предметах быта, о морфологии населения, а также ландшафте местности и топологии поселения.

Главная задача этого проекта – в игровой форме, но максимально точно и реалистично с исторической точки зрения, отразить быт жителей великого городища, показать масштаб градостроения того времени, с его величественными зданиями, кварталами зажиточных и бедных жителей, фортификационными сооружениями, и функционирование городской структуры. Для выполнения поставленной задачи необходимо точно визуализировать уличную структуру, используя морфологические правила размещения объектов в виртуальных исторических реконструкциях [2], и придать ему жизнь за счет неигровых персонажей (NPC – Non-Player Character), которые передвигаются по городу, продают различные товары, дают нам информацию, необходимую для ознакомления с местным бытом.



Рис. 1. Одна из улиц города Болгар

КРАТКО О ПОДХОДАХ К РЕАЛИЗАЦИИ ПОВЕДЕНИЯ NPC В ИГРАХ

Поставленные задачи потребовали детальной проработки уровней [3], а также разработки искусственного интеллекта, управляющего неигровыми пер-

сонажами, который позволил бы им перемещаться в пространстве разработанных локаций.

Существует несколько вариаций алгоритмов поиска пути [4] для неигровых персонажей, которые используются в современных играх и визуализациях: алгоритм поиска A*, алгоритм Дейкстры, волновой алгоритм, маршрутные алгоритмы, навигационная сетка (Navmesh), иерархические алгоритмы, обход препятствий, «Разделяй и властвуй», алгоритм поворота Креша.

На основе проведенных исследований было принято решение использовать маршрутный алгоритм, базирующийся на системе вейпоинтов (waypoints – вручную установленные точки, которые содержат информацию и способ достижения соседних точек, все вместе они образуют связный граф, на основе которого можно выбирать определенные маршруты следования). Данная версия маршрутного алгоритма была реализована в облегченном варианте, чтобы показать возможности дальнейшего ее усовершенствования.

Основными вариантами дополнения системы навигации при помощи вейпоинтов являются внедрения в нее взаимодействий: с игроком – добавление диалогов с использованием эмоций персонажей [5] – и другими неигровыми персонажами – заключающиеся в различных формах, например, приветствие при встрече «знакомого» NPC.

В [6] представлен подход к реализации искусственного интеллекта, основанный на базовой теории использования памяти и эмоций. Данный подход позволяет использовать сочетание эмоций NPC, что создает более реалистичную модель поведения и принятия решений.

После рассмотрения других моделей реализации искусственного интеллекта [7–9] мы пришли к выводу, что даже самая «легковесная» реализация искусственного интеллекта NPC должна отображать проявление эмоции относительно действий игрока. Также эмоциональное состояние NPC может изменяться в зависимости от каких-либо принятых им решений. Как показано в [10], для правдоподобного поведения персонажей необходимо использовать нейробиологически инспирированные подходы, основанные на реалистичных эмоциональных человеческих взаимодействиях. Стиль поведения, манеры и реакция на разные воздействия – безусловно, самые трудно реконструируемые свойства.

РЕАЛИЗАЦИЯ ПОДХОДА

Персонаж, доходя до определенного узла, получает информацию о дальнейших точках маршрута, которые могут иметь различные веса, после чего персонаж выбирает себе путь, в основном это происходит случайным образом, исключаются лишь пройденные точки.

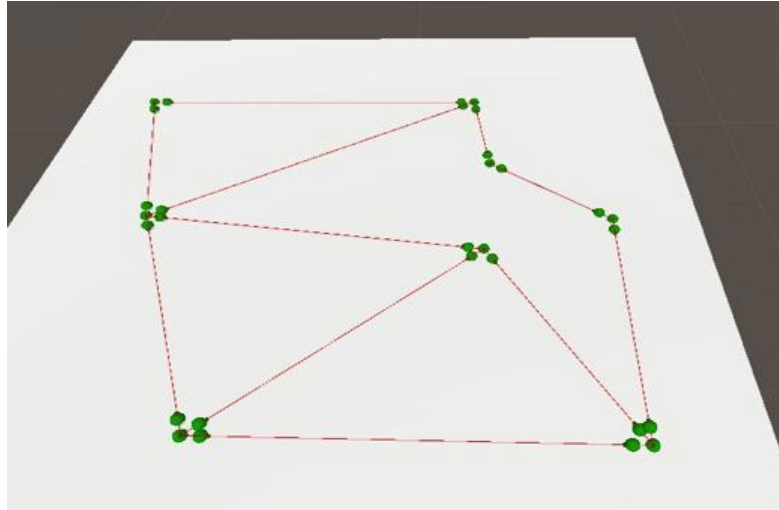


Рис. 2. Возможные маршруты персонажа с весами в узловых точках

Точки в вейпоинтах имеют связи в одну или обе стороны.

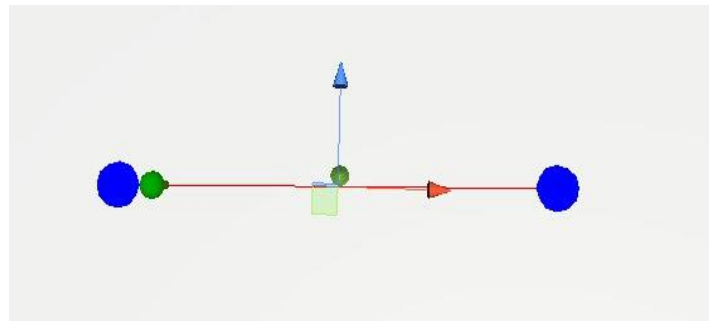


Рис. 3. Односторонняя связь

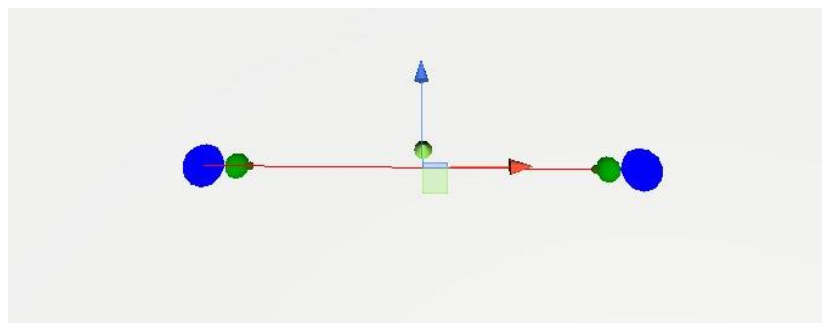


Рис. 4. Двусторонняя связь

Для вейпоинтов был разработан инструмент, позволяющий левел дизайнерам быстро создавать и модифицировать маршруты:

- connect All With All – чтобы связать все выделенные точки в обе стороны;
- disconnect All With All – удалить связи у выделенных точек;
- clear all – удалить связи у всех точек, которые были созданы со старта;
- undo – отменить последнюю связь;
- step back – отменить создание последней точки;
- get bad ways – показывает одинокие ни с кем не связанные точки.

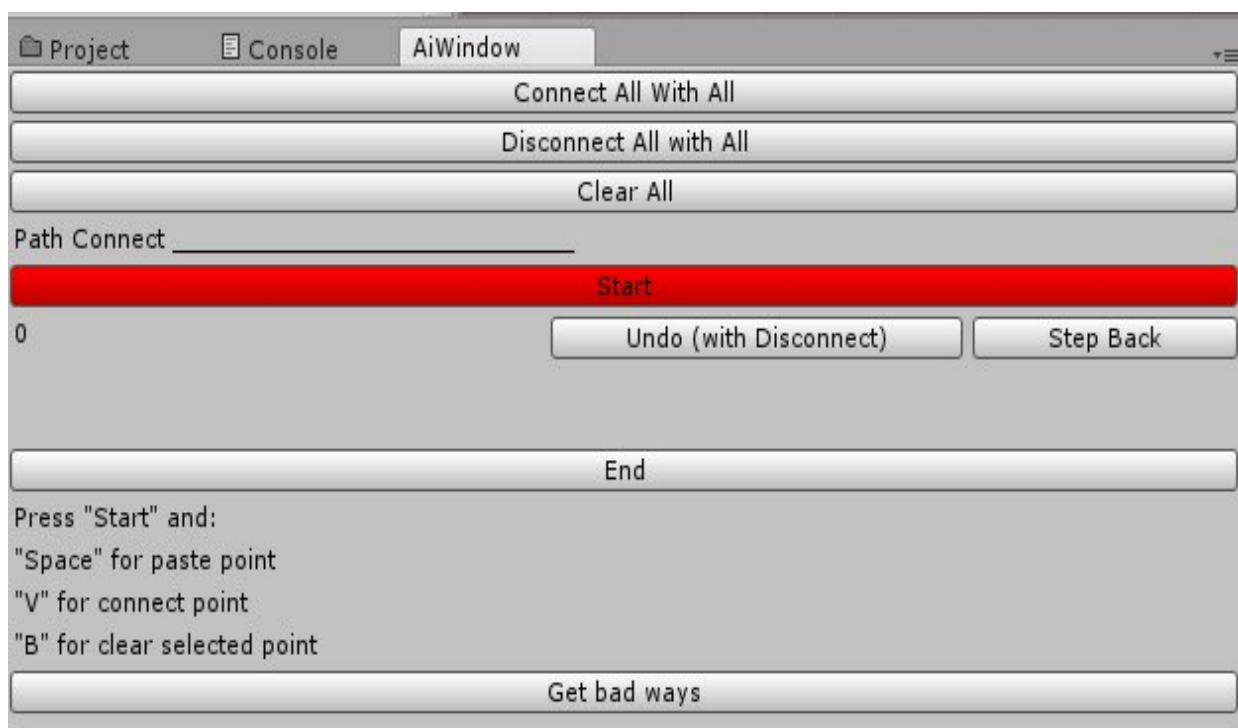


Рис. 5. Интерфейс инструмента управления вейпоинтами

```
void Update()  
{  
    //При создании толпы возникает проблема с тем, что персонажи могут сталкиваться. Для ее решения было реализовано смещение персонажей при приближении друг к другу, а также, чтобы свести к минимуму возможность создания «пробок» из персонажей, между ними убраны коллизии на уровне физического движка. Это довольно просто реализуемо на C# для Unity:
```

```
    следующую точку, если персонаж подошел близко к текущей
    if (Vector3.Distance(new Vector3(transform.position.x, 0f, trans-
form.position.z), new Vector3(WayPointTarget.transform.position.x, 0f, Way-
PointTarget.transform.position.z)) < SimpleThirdPersonAI.MIN_DISTANCE_TO_WP)
    {
        previousWayPoint = WayPointTarget;
        if (WayPointTarget.ConnectedWayPoints.Count > 1)
        {
            int index = (WayPointTar-
get.ConnectedWayPoints.IndexOf(previousWayPoint) + 1 + Random.Range(0, Way-
PointTarget.ConnectedWayPoints.Count)) % WayPointTar-
get.ConnectedWayPoints.Count;
            WayPointTarget = WayPointTarget.ConnectedWayPoints[index];
        }
        else
        {
            WayPointTarget = WayPointTarget.ConnectedWayPoints[0];
        }
    }
    //есть ли на пути персонажа препятствие
    bool isObstacleAtFace = false;
    RaycastHit hit;
    if (Physics.Raycast(transform.position + transform.forward * 0.15f + Vec-
tor3.up, transform.forward, out hit, 2f))
    {
        isObstacleAtFace = true;
    }
    //отрисовать зелёным вектором текущее направление персонажа
    Debug.DrawRay(transform.position + transform.forward * 0.15f + Vec-
tor3.up, transform.forward * 2f, Color.green);
    if (WayPointTarget != null)
    {
```

```
Vector3 target = WayPointTarget.transform.position;
target.y = transform.position.y;
Vector3 desiredVelocity = Quaternion.Euler(0f, (isRightHanded ? 1f : -1f)
* (isObstacleAtFace ? avoidAngle : 0f), 0f) * (target - transform.position).normalized *
walkSpeed;
//вектор отклонения
Debug.DrawRay(transform.position + transform.forward * 0.15f + Vec-
tor3.up, desiredVelocity, Color.red);
//при смене курса на 90–180 градусов стоит увеличить шаг последу-
ющей интерполяции
if (lastMovementVector.magnitude < walkSpeed * 0.8f)
{
    _lerpSpeed = lerpSpeedOnRotateOnPoint;
}
else
{
    _lerpSpeed = lerpSpeedOnMove;
}
//финальный вектор перемещения персонажа
Vector3 movementVector = lastMovementVector.x == 0 && lastMob-
vementVector.y == 0 && lastMovementVector.z == 0 ? desiredVelocity: Vec-
tor3.Lerp(lastMovementVector, desiredVelocity, Time.deltaTime * _lerpSpeed);
Character.Move(movementVector, false, false);
lastMovementVector = movementVector;
}
else
{
    // We still need to call the character's move function, but we send zeroed
input as the move param.
    Character.Move(Vector3.zero, false, false);
}
}
```

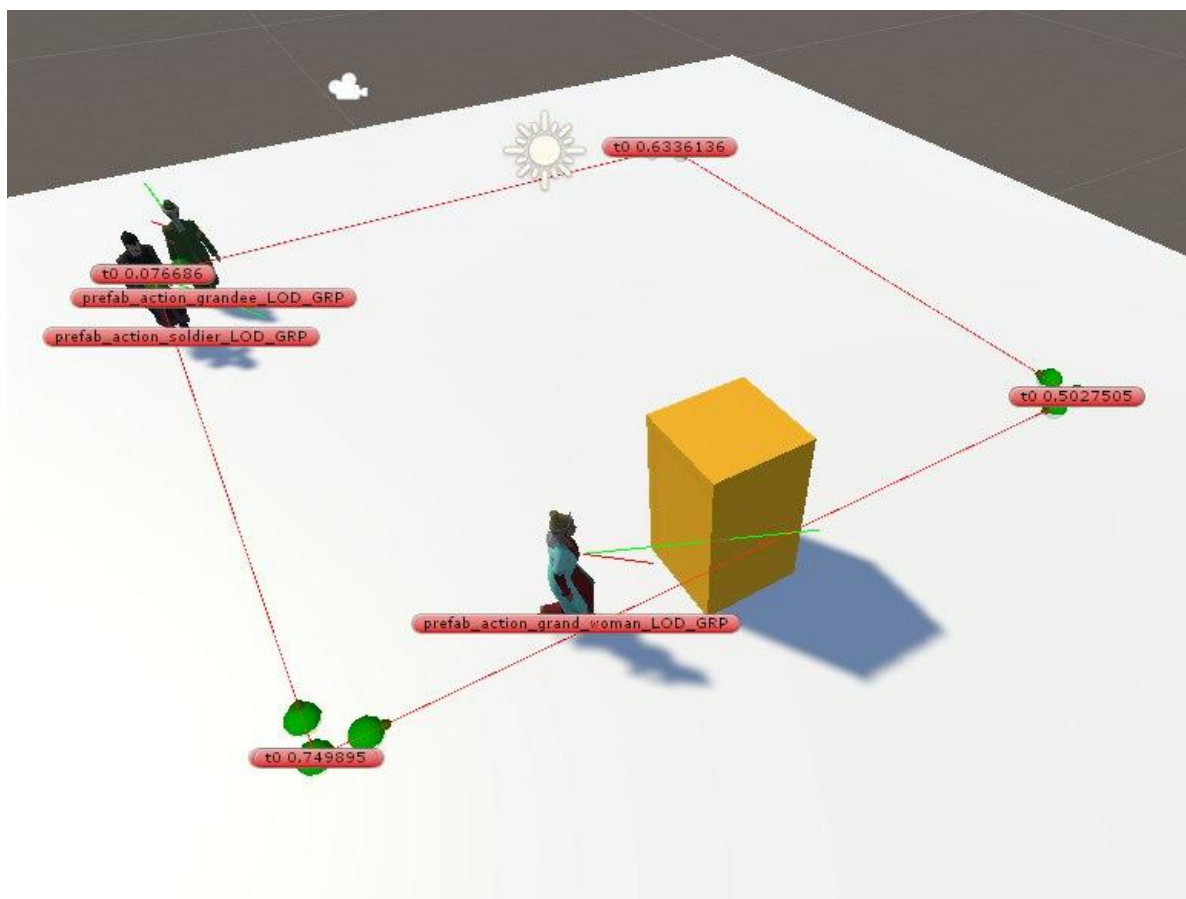


Рис. 6. Пример обнаружения коллизии

Можно реализовать алгоритм обхода другого NPC, с прогнозом направления, куда он планирует передвигаться. Однако логичнее использовать AI, построенную на других принципах.

МОДЕЛИ СО СМЕШАННОЙ И АДАПТИВНОЙ АНИМАЦИЕЙ

Масштаб проекта накладывал определенные требования к разрабатываемым персонажам, а именно: сочетание унификации и разнообразия персонажей; единую систему модификации геометрии; точно выверенную топологию сетки геометрии.

Унификация и разнообразие. Почему мы пришли к такому решению? Несоответствие моделей единому стандарту приводит к следующим проблемам:

– универсальная система модификации геометрии вносит нежелательные искажения в саму модель в процессе ее портирования на рабочий движок Unity;

– необходимость создания видимости большого количества жителей в проекте;

– адаптирование сложных просчетов интеллектуального агента под малопроизводительные ПК.

В связи с этим нами был принят единый модуль размера и пропорций для всех наших персонажей. Но это также наложило ряд ограничений на возрастную составляющую персонажей, что можно наблюдать в проекте, так как пропорции человека с возрастом достаточно сильно изменяются. Решением данной проблемы может послужить система из 2 или 3 модулей, соответствующих возрастным категориям: ребенка, зрелого человека и человека старческого возраста.

Большую роль модульность сыграла при разработке окружения проекта. Размеры различных проемов, входов в помещения, расстояний между игровыми 3D моделями были подобраны строго больше используемого модуля, дабы избежать нежелательных коллизий с окружающим миром.

Фактическое разнообразие персонажей достигалось проработкой различных детальных блоков их внешнего вида и индивидуальных текстур для каждого.

Пример унификации и разнообразия персонажей продемонстрирован на рис. 7.

Система модификации геометрии. Программный продукт Unity предоставляет возможность разработчикам легко и просто перенести пакет разработанных анимаций между имеющимися персонажами, что и требовалось в нашем проекте. Необходимо было создать единую систему модификации геометрии, которая в целом удовлетворяла бы возможностям движка и не ограничивала в многообразии анимации. Имея изначально модели персонажей с унифицированными размерами и пропорциями, нам не составило труда придумать и реализовать унифицированную систему модификации геометрии, что в очередной

раз облегчило наш труд на этапе продакшена¹. Структура и модель в целом продемонстрированы на рис. 8.



Рис. 7. Унифицированные персонажи музыканта и продавщицы

¹ англ. production – устойчивый термин для этого этапа работ при разработке игр



Рис. 8. Унифицированная система модификации геометрии

Также единая система внесла в наш проект свой вклад на этапе сканинга жителей. Имея возможность программным путем сохранять величины привязки геометрии к системе костей, мы получили возможность в том или ином случае переносить эту связь между персонажами. Этап работы над прорисовкой привязки продемонстрирован на рис. 9.



Рис. 9. Привязка геометрии к скелету

Выверенная топология сетки. Много работы было проделано при моделировании каждого персонажа, чтобы придать каждому индивидуальность и характерные особенности представителя своего класса того времени. Внимательная работа шла на уровне топологии геометрии, чтобы она удовлетворяла потребностям анимации, исключала нежелательные самопересечения геометрии в процессе сложной анимации, топологически верно соответствовала формам

реальных людей и занимала как можно меньше вычислительных ресурсов (рис. 10). Чтобы компенсировать потерю более мелких деталей, были созданы карты нормалей.



Рис. 10. Топология геометрии, удовлетворяющая деформациям при анимации

РЕАЛИЗАЦИЯ РЕАЛИСТИЧНЫХ АНТРОПОМОРФНЫХ ПЕРСОНАЖЕЙ

Необходимо выделить две составляющие реалистичности реконструируемого персонажа, соответствующие конкретной эпохе и конкретному месту: это

реалистичность внешнего вида и реалистичность поведения, как в общечеловеческом смысле, в разрешении проблемы *Uncanny valley*, так и локально, психологически, поведенчески. Как показано в [10], для правдоподобного поведения персонажей необходимо использовать нейробиологически инспирированные подходы, основанные на реалистичных эмоциональных человеческих взаимодействиях. Стиль поведения, манеры и реакция на разные воздействия – безусловно, самые трудно реконструируемые свойства.

Моделирование внешнего вида персонажей было произведено по представленным историками референсам предположительного внешнего облика согласно реконструируемой эпохе [1], основанным как на атрибутах и элементах одежды, найденных в результате археологических раскопок, так и иллюстрациях старых книг, содержащих рисунки предметов быта. Тем не менее, эти облики, по предложенной в [2] парадигме, можно считать лишь слабо-достоверными и условно-достоверными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы представили алгоритм навигации агента в виртуальном мире. В этой реализации каждый агент перемещается с использованием указанной модели пешехода, дополненной, чтобы исключить столкновения с другими объектами и агентами. Хотя подход дал хорошие результаты, существуют некоторые ограничения. Мы надеемся расширить масштабы нашей работы, чтобы привлечь больше людей в виртуальные миры. Также мы поставили цель создать агентов искусственного интеллекта, основанных на эмоциональных архитектурах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Gainullin I.I., Khomyakov P.V., Sitdikov A.G., and Usmanov B.M.* Study of anthropogenic and natural impacts on archaeological sites of the Volga Bulgaria period (Republic of Tatarstan) using remote sensing data// Proc. SPIE 9688, Fourth Int. Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2016). 2016. V. 9688, ISBN: 9781628419238. Art. No 96880Z. 9 p. doi: 10.1117/12.2240728.

2. *Баранов В.С., Сергеев А.С., Хафизов А.Р., Кузурасова В.В., Ситдииков А.Г.* Археологические объекты болгарского городища X–XV вв., как материал для со-

здания виртуальной культурно-исторической реконструкции // Электронные библиотеки. 2015. Т. 18. № 5. С. 269–282.

3. *Разувалова Е.В., Низамутдинов А.Р.* Виртуальная реконструкция культурно-исторических памятников Среднего Поволжья // Национальная ассоциация ученых (НАУ). 2015. Ч. 2. No 2 (7). С. 46-49.

4. *Басараб М.А., Домрачева А.Б., Купляков В.М.* Алгоритмы решения задачи быстрого поиска пути на географических картах // Инженерный журнал: Наука и инновации. 2013. Вып. 11 (23). С. 12.

<http://docplayer.ru/26024757-Algorithmy-resheniya-zadachi-bystrogo-poiska-puti-na-geograficheskikh-kartah.html>.

5. *Mozgovoy M., Umarov I.* Believable and Effective al Agents in Virtual Worlds. Current State and Future Perspectives// Int. J. of Gaming and Computer-Mediated Simulations. 2012. No 4. P. 37–59.

6. *Marc Spraragen and Azad M. Madni.* Modeling of Emotional Effects on Decision-Making by Game Agents // Procedia Computer Science. 2014. No 28. P. 736–743.

7. *Kugurakova V., Talanov M., and Ivanov D.* Neurobiological Plausibility as Part of Criteria for Highly Realistic Cognitive Architectures // Procedia Computer Science. 2016. V. 88. P. 217–223.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050916316842>

8. *Hannes Högni Vilhjálmsson, Stefan Kopp, Stacy Marsella, Kristinn R. Thorisson.* Intelligent Virtual Agents // Proceedings 11th Int. Conference IVA 2011, Reykjavik, Iceland, September 15–17, 2011. Springer Science & Business Media. 481 p.

9. *Maher M.L., Smith G., and Gero J.S.* Design Agents in 3D Worlds// in R. Sun (ed), Proceedings of IJCAI03 Workshop on Cognitive Modeling of Agents and Multi-Agent Interaction, Acapulco, Mexico. 2003. P. 92–100.

10. *Kugurakova V., Talanov M., Manakhov N., and Ivanov D.* Anthropomorphic Artificial Social Agent with Simulated Emotions and its Implementation // Procedia Computer Science. 2015. No 71. P. 112–118.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050915036789>.

OUR EXPERIENCE IN CREATING NON-PLAYER CHARACTERS IN VIRTUAL WORLDS

A.R. Bakirov¹, D.I. Kostyuk², E.N. Lazarev³, A.R. Khafizova⁴

¹⁻⁴*Higher School of Information Technologies and Information Systems. Kazan (Volga Region) Federal University*

¹goglm41@gmail.com, ²xdxnkx@gmail.com, ³evgenln11401@gmail.com,

⁴sagd.alina@gmail.com

Abstract

The rapid development of complex virtual worlds (most notably, in 3D computer and video games) introduces new challenges for the creation of virtual agents, controlled by artificial intelligence (AI) systems. Two important subproblems in this topic area which need to be addressed are (a) believability and (b) effectiveness of agents' behavior, i.e. human-likeness of the characters and high ability to achieving their own goals. In this paper, we study current approaches to believability and effectiveness of AI behavior in virtual worlds. We examine the concepts of believability and effectiveness and analyze several successful attempts to address these challenges. In conclusion, we suggest that believable and effective behavior can be achieved through learning behavioral patterns from observation with subsequent automatic selection of winning acting strategies.

Keywords: *Bolgar, content generation, virtual reconstruction, non-player characters, 3d models, artificial intelligence*

REFERENCES

1. Gainullin I.I., Khomyakov P.V., Sitdikov A.G., Usmanov B.M. Study of anthropogenic and natural impacts on archaeological sites of the Volga Bulgaria period (Republic of Tatarstan) using remote sensing data// Proc. SPIE 9688, Fourth Int. Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2016). 2016. V. 9688, ISBN: 9781628419238. Art. No 96880Z. 9 p. doi: 10.1117/12.2240728.

2. Baranov V.S., Sergeev A.S., Hafizov A.R., Kugurakova V.V., Sitdikov A.G. *Arheologicheskie ob'ekty bolgarskogo gorodishcha X–XV vv., kak material dlya sozdaniya virtualnoj kulturno-istoricheskoy rekonstrukcii // Elektronnye biblioteki. 2015. T. 18. # 5. S. 269–282.*

3. *Razuvalova E.V., Nizamutdinov A.R.* Virtualnaya rekonstruktsiya kulturno-istoricheskikh pamyatnikov Srednego Povolzhya // Natsionalnaya assotsiatsiya uchenyih (NAU). VII mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Otechestven-naya nauka v epohu izmeneniï: postulaty proshlogo i teorii novogo vremeni». 2015. CH. II, # 2 (7). S. 46–49.

4. *Basarab M.A., Domracheva A.B., and Kuplyakov V.M.* Algoritmy resheniya zadachi bystrogo poiska puti na geograficheskikh kartah // Inzhenernyj Zhurnal: Nauka i Innovacii. 2013. #11 (23). 12 s.

5. *Mozgovoy M., Umarov I.* Believable and Effective al Agents in Virtual Worlds. Current State and Future Perspectives // Int. J. of Gaming and Computer-Mediated Simulations. 2012. No 4. P. 37–59.

6. *Marc Spraragen and Azad M. Madni.* Modeling of Emotional Effects on Decision-Making by Game Agents // Procedia Computer Science. 2014. No 28. P. 736–743.

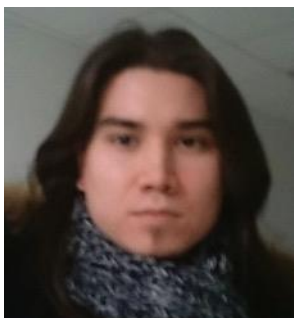
7. *Kugurakova V., Talanov M., and Ivanov D.* Neurobiological Plausibility as Part of Criteria for Highly Realistic Cognitive Architectures // Procedia Computer Science. 2016. V. 88. P. 217–223.

8. *Hannes Högni Vilhjálmsson, Stefan Kopp, Stacy Marsella, Kristinn R. Thorisson.* Intelligent Virtual Agents // Proceedings 11th Int. Conference IVA 2011, Reykjavik, Iceland, September 15–17, 2011. Springer Science & Business Media. 481 p.

9. *Maher M.L., Smith G., and Gero J.S.* Design Agents in 3D Worlds// in R. Sun (ed), Proceedings of IJCAI03 Workshop on Cognitive Modeling of Agents and Multi-Agent Interaction, Acapulco, Mexico. 2003. P. 92–100.

10. *Kugurakova V., Talanov M., Manakhov N., and Ivanov D.* Anthropomorphic Artificial Social Agent with Simulated Emotions and its Implementation // Procedia Computer Science. 2015. No 71. P. 112–118.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



БАКИРОВ Амир Ринатович – бакалавр Института вычислительной математики и информационных технологий Казанского (Приволжского) федерального университета (КФУ), младший научный сотрудник лаборатории «Виртуальные и симуляционные технологии в биомедицине» КФУ. Сфера интересов: программирование, визуализация, геймификация, дизайн.

Amir Rinatovich BAKIROV, bachelor of IVMiIT KFU, researcher in the Laboratory "Virtual and simulational technologies in biomedicine". Sphere of interests: programming, visualization, gaming, design.

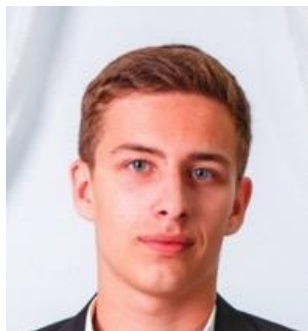
email: goglm41@gmail.com



КОСТЮК Даниил Иванович – лаборант-исследователь лаборатории «Виртуальные и симуляционные технологии в биомедицине» КФУ. Сфера интересов: процедурная генерация, моделирование, анимация, рендеринг.

Kostyuk Daniil Ivanovich – researcher in the Laboratory "Virtual and simulational technologies in biomedicine". Sphere of interests: procedural generation, modelling, animation, rendering.

email: xdxnxkx@gmail.com



ЛАЗАРЕВ Евгений Николаевич – бакалавр Высшей школы Информационных технологий и информационных систем КФУ, лаборант-исследователь лаборатории «Виртуальные и симуляционные технологии в биомедицине» КФУ. Сфера интересов: дизайн уровней, методы и морфологические правила размещения объектов в виртуальных реализациях масштабных территорий.

Eugene Nikolaevich LAZAREV, bachelor of Higher School ITIS, researcher in the Laboratory "Virtual and simulational technologies in biomedicine". Sphere of interests: morphological rules of connected objects placing for procedural generation in big virtual historical reconstructions, game and level design.

email: evgenln11401@gmail.com



ХАФИЗОВА Алина Робертовна – выпускник-специалист филологического факультета КФУ, лаборант-исследователь лаборатории «Виртуальные и симуляционные технологии в биомедицине» КФУ. Сфера интересов: процедурное моделирование, композитинг.

Alina Robertovna KHAFIZOVA – Graduated from the Faculty of Philology of the Kazan (Volga) Federal University (KFU), laboratory researcher of the laboratory "Virtual and simulational technologies in biomedicine". KFU. Sphere of interests: procedural modeling, composing

email: sagd.alina@gmail.com

Материал поступил в редакцию 10 ноября 2016 года