

Управление звуком в системах виртуального окружения

И.П. Саблин^{1*}, М.В. Михайлюк^{2*}

* НИЦ «Курчатовский институт» — НИИСИ, Москва, Российская Федерация;

¹sablinivan97@gmail.com, ²mix@niisi.ras.ru

Аннотация. В работе предлагается классификация источников звука в системах виртуального окружения, методы создания таких источников в системе трехмерного моделирования 3DS Max и методы управления ими с помощью виртуальных пультов и соответствующих им функциональных схем.

Ключевые слова: система виртуального окружения, источники звука, 3DS Max, виртуальные пульты управления, CtrlPanelEditor.

1. Введение

Одним из важных направлений современных исследований является разработка и усовершенствование систем виртуального окружения. Данные системы находят применение в образовании, индустрии развлечений, различных профессиональных тренажерах и т.д. Одним из главных компонентов таких систем является моделирование звука, поскольку оно повышает уровень погружения пользователя в виртуальную реальность. Однако создание реалистичной звуковой среды остается сложной задачей, требующей решения множества проблем, в частности разработки интуитивно понятных и максимально приближенных к реальным средств управления звуком. В работах [1] и [2] рассмотрено управление звуком при помощи жестов, а в работах [3] и [4] – при помощи голосовых команд. В данной статье предлагается подход к управлению источниками звука с помощью виртуальных пультов управления и их функциональных схем, которые соответствуют реальным физическим аналогам (различным микшерным пультам). Для реализации звука был разработан новый тип объекта "Источник звука" в системе трехмерного моделирования 3DS Max. Методика использования таких объектов в системе виртуального окружения VirSim, разработанной в НИЦ «Курчатовский институт» – НИИСИ, описана в работе [5]. Результаты апробации в этой системе показали адекватность предлагаемых решений и их применимость для управления источниками звука в системах виртуального окружения.

2. Типы источников звука в системах виртуального окружения

Источники звука можно разделить на два основных типа: статические и динамические.

Статические источники звука характеризуются фиксированным положением и ориентацией в пространстве на протяжении всего времени работы системы. Примерами таких источников являются неподвижные объекты (сирены, динамики, громкоговорители и др.) и некоторые природные явления (шум дождя, грозы, огня и др.).

Динамические источники звука могут менять свое положение и ориентацию. Примерами таких источников являются объекты, которые могут самостоятельно двигаться (вращающиеся сирены, динамики и др.) или прикреплены к другим подвижным объектам (гудок или громкоговоритель, расположенные на роботе). Также динамическими источниками могут быть звуки некоторых механизмов (шум движения лифта, шум работы двигателя и др.).

3. Создание объекта типа «Источник звука» в 3DS Max

Для создания объектов в виртуальных сценах используется система трехмерного моделирования 3DS Max. Данная система предоставляет стандартный набор типов объектов (геометрические, источники света, виртуальные камеры, вспомогательные объекты и др.) с соответствующими параметрами. В частности, имеется тип объекта AudioClip, который моделирует источник звука. Однако параметров AudioClip недостаточно для наших разработок, поэтому, при помощи входящего в состав 3DS Max скриптового языка MAXScript, нами создан отдельный тип «Источник звука», расширяющий параметры AudioClip. Для системы VirSim в 3DS Max уже создана новая панель инструментов, содержащая кнопки для создания расширенных или новых объектов (например, «центр масс», «двигатель», «панель управления» и др.).

На данную панель добавлена кнопка «Источник звука» (см. рис. 1) при помощи макроса macroScript (см. рис. 2). При нажатии на данную кнопку активируется специально разработанный плагин RSimSound создания объекта типа "Источник звука" и задания значений его параметров по умолчанию (см. рис. 3).

Положение и ориентация источника звука наследуются из родительского объекта AudioClip. В качестве остальных параметров в плагине задаются внутренний и внешний углы конуса затухания звука, коэффициент его затухания вне внешнего конуса, ближняя и дальняя границы затухания звука по расстоянию и коэффициент такого затухания, а также имя звукового файла и параметр зацикливания воспроизведения звука. Их можно менять, используя панель параметров «Источника звука» (см. рис. 4).

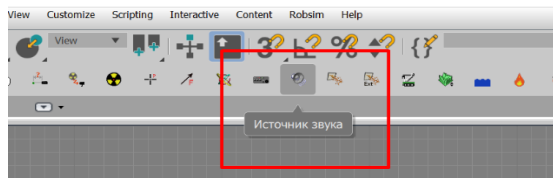


Рис. 1. Кнопка «Источник звука» на панели инструментов в 3DS Max

```
macroScript Macro_RSimSound
category:"RobSim"
internalcategory:"RobSim"
tooltip:"Источник звука"
ButtonText:"Источник звука"
Icon: #("RobSim",20)

(
on execute do StartObjectCreation RSimSound
on isChecked return mcrUtils.IsCreating RSimSound
)
```

Рис. 2. Макрос создания кнопки «Источник звука»

Статические источники звука размещаются в тех же точках виртуальной сцены, где находятся их визуальные образы (например, громкоговоритель и соответствующий ему объект типа источника звука). Особым типом статических источников звука являются некоторые природные источники (например, шум дождя или града). Они не локализованы в конкретной точке сцены, однако их можно свести к статическому типу источника звука, разместив такие источники в центре виртуальной сцены, задав углы конусов 360 градусов и указав ближнюю границу затухания за границей сцены. Тогда во всех точках сцены громкость каждого из таких источников будет одинакова.

Динамические источники звука в сцене привязаны к каким-либо динамическим объектам с помощью иерархических связей и могут менять свое положение и ориентацию как самостоятельно, так и наследуя движения динамических объектов.

```
plugin Helper RSimSound
name:"Звук"
classID:#(55555,53100)
category:"RobSim"
extends:AudioClip
replaceUI:true

(
parameters paramBlock rollout:paramRollout
(
WaveName type:#string animatable:false default:""
InnerAngleInRadians type:#float ui:spnInnerAngleInRadians default:360.0
OuterAngleInRadians type:#float ui:spnOuterAngleInRadians default:360.0
OuterGain type:#float ui:spnOuterGain default:1.0
MinGain type:#float ui:spnMinGain default:1.0
MaxGain type:#float ui:spnMaxGain default:1.0
RolloffFactor type:#float ui:spnRolloffFactor default:1.0
PauseInMs type:#float animatable:false ui:spnTimeMs default:1.0
loopPlaying type:#boolean animatable:false ui:chkLoop default:false
)
)
rollout paramRollout "Параметры"
(
button btn1 "<файл>" width:120

group "Конус направленности"
(
label L1 "Внутренний угол [°]:" align:#left
spinner spnInnerAngleInRadians "" range:[0,360,360] scale:1
label L2 "Внешний угол [°]:" align:#left
spinner spnOuterAngleInRadians "" range:[0,360,360] scale:1
label L3 "Коеф. затухания" align:#left
label L4 "вне конуса:" align:#left
spinner spnOuterGain "" range:[0,1,1] scale:0.1
)

group "Затухание от расстояния"
(
label L5 "Ближняя граница [см]" align:#left
spinner spnMinGain "" range:[100,1000000,1] scale:10
label L6 "Дальняя граница [см]" align:#left
spinner spnMaxGain "" range:[100,1000000,1] scale:10
label L "Коеф. скорости затухания" align:#left
spinner spnRolloffFactor "" range:[0.1,1,1] scale:0.1
)

group "Периодичность"
(
checkbox chkLoop "Зациклить" width:120
)
```

Рис. 3. Фрагмент программного кода плагина RSimSound на скриптовом языке MAXScript

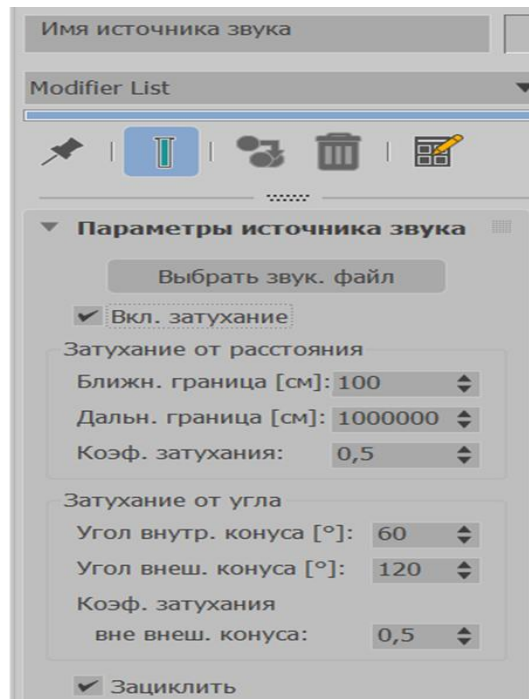


Рис. 4. Параметры источника звука

Для сохранения на диске всех объектов сцены используется макрос `macroScript Export_Scene`. В частности, параметры всех источников звука, заданные при помощи плагина `RsimSound`, сохраняются в бинарном файле с расширением `sls`. Для этого разработана функция `WriteSoundParams`, при помощи которой производится поиск объектов типа `RsimSound` среди всех объектов типа `Helper` в сцене и выполняется их запись в файл.

4. Подготовка аудиофайлов

Подготовка аудиофайлов для интеграции в виртуальную среду выполнялась с помощью звуковых материалов из открытых библиотек (`Freesound`, `Zvukogram` и аналогичных) и программы `Audacity` обработки аудио. Все исходные записи независимо от их первоначального формата приводились к единому стандарту - монофонический звук с частотой дискретизации 44.1 кГц и разрядностью 16 бит. Выбранные характеристики позволяют избежать потерь качества при цифровой обработке звука и обеспечивают достаточный запас для последующей трансформации звука в виртуальной среде (пространственной обработки, изменения тональности, громкости и т.д.). Для каждого файла проводилось удаление фоновых шумов, нормализация громкости, точная обрезка по времени и др.

5. Управление звуком в системе виртуального окружения

С точки зрения управления, используемые в `VirSim` источники звука можно разделить на управляемые (сирена, звук двигателя, град и др.) и неуправляемые (звуки столкновений объектов, звуки трения объектов при движении и т.д.). Для управления используются виртуальные пульта, созданные в разработанном ранее редакторе `CtrlPanelEditor` [6]. Данный редактор состоит из двух рабочих окон.

В первом окне можно создавать виртуальные пульта управления, а во втором - функциональные схемы этих пультов. Виртуальные пульта состоят из элементов управления (кнопки, ползунки, переключатели и т.д.). Пример виртуального пульта управления источником звука (сиреной) проиллюстрирован на рис. 5.

После добавления элементов управления в окно виртуального пульта они автоматически добавляются и в окна функциональных схем в виде блоков элементов управления. Например, тумблеру ВКЛ/ВЫКЛ на рис. 5 будет соответствовать блок `Switch` на рис. 6. В функциональных схемах выходы блоков можно соединять с входами блоков других типов (логических, арифметических и др.) и блоками исполнительных



Рис. 5. Виртуальный пульт управления

устройств (двигателей роботов, манипуляторов и др.). Пример функциональной схемы управления источником звука приведен на рис. 6.

Источник звука (на рис. 6 изображен в виде динамика с именем `Siren`) также является блоком исполнительных устройств и имеет три входа (на рисунке сверху вниз) - «Включение/Выключение» для активации/деактивации звука, «Пауза» для временной остановки воспроизведения и «Громкость» для регулировки уровня звука.

Некоторые управляемые источники звука связаны с событиями. Например, звук работы двигателя запускается (заглушается) при включении (выключении) двигателя. В этом случае при начале движения робота, в функциональной схеме пульта управления этим роботом, от выхода «Датчик положения» блока «Двигатель» подается сигнал на вход «Включение» блока «Источник звука». Звук работы двигателя будет воспроизводиться до тех пор, пока оператор не выключит двигатель.

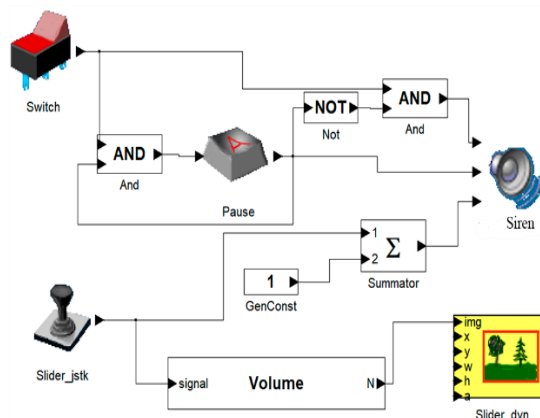


Рис. 6. Функциональная схема управления источником звука

6. Управление громкостью источника звука в системе VirSim

Громкость доходящего до слушателя звука зависит от громкости самого источника звука и степени затухания звука на пути к слушателю. Затухание звука зависит от изменения взаимного расстояния и ориентации слушателя и источника звука. Подробнее это описано в статье [5].

В системе VirSim изменение громкости источников звука реализовано тремя различными методами.

В первом методе управление осуществляется через индивидуальные виртуальные пульта управления (как на рис. 5), где статические и некоторые динамические источники имеют собственный регулятор громкости. Эти пульты позволяют оператору вручную изменять уровень звука от 0 до 1. В частности, интенсивность природных явлений (например, уровень силы дождя) регулируется предустановленными режимами, где каждый вариант соответствует определенному уровню громкости (от 0 до 1).

Второй метод основан на изменении громкости источников звука, зависящем от изменения скорости этих источников. Например, для роботов реализовано уменьшение или увеличение громкости звука их двигателей, связанное с их скоростью движения. В функциональной схеме каждого робота происходит расчет громкости двигателя этого робота пропорционально его текущей скорости, где максимальное значение скорости соответствует уровню громкости 1, а нулевая скорость — уровню громкости 0. При этом используется линейная интерполяция между уровнями (0 и 1 громкости) для исключения резких скачков аудио сигнала.

Третий метод — это изменение громкости ис-

точника звука с использованием нескольких различных аудиофайлов. Например, уменьшение громкости звука огня реализовано через переключение между двумя аудиофайлами. Пока огонь горит, воспроизводится основной файл с постоянной громкостью, а при тушении этого огня система автоматически запускает второй файл со звуком огня при тушении. Длительность второго файла связана с визуальным затуханием пламени, что создаёт эффект постепенного исчезновения огня как визуально, так и на слух, без резких обрывов звука. Для звука движения промышленного лифта реализована аналогичная система звукового сопровождения. Особенность реализации заключается в использовании разных звуков для разных состояний — равномерный промышленный шум для фазы движения и звон тросов для фазы остановки, что позволяет добиться соответствия звука реальной работе лифтовых систем. Такое решение обеспечивает плавные переходы между состояниями без необходимости программной обработки громкости и сохраняет натуральность звучания за счет использования специально записанных аудиодорожек для каждого режима работы.

7. Заключение

В данной работе предлагается классификация источников звука в системах виртуального окружения, методы создания этих источников звука в системе трехмерного моделирования 3DS Max и методы управления источниками звуков в системах виртуального окружения.

Публикация выполнена в рамках государственного задания НИЦ «Курчатовский институт» — НИИСИ по теме № FNEF-2024-0002 «Математическое моделирование многомасштабных динамических процессов и системы виртуального окружения».

Sound Control in Virtual Environment Systems

I.P. Sablin, M.V. Mikhaylyuk

Abstract. The paper proposes a classification of sound sources in virtual environment systems, methods for creating such sources in the 3DS Max three-dimensional modeling system, and methods for controlling them using virtual control panels and their corresponding functional circuits.

Keywords: Virtual environment system, sound sources, 3DS Max, virtual control panels, CtrlPanelEditor.

Литература

1. Mahya Khazaei. Real-Time Gesture-Based Sound Control System. A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of science. Iran University of Science and Technology. (2018).
2. Lokesh S. Khedekar, Manas Patil. Gesture-Based Volume Control Using Computer Vision and Audio

Processing. International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP). (2024). DOI: 10.1109/ICCSP60870.2024.10543441

3. Jan Hombeck, Henrik Voigt, Timo Heggemann, Rr Datta. Tell Me Where To Go: Voice-Controlled Hands-Free Locomotion for Virtual Reality Systems. IEEE Conference Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR). (2023). DOI: 10.1109/VR55154.2023.00028.

4. Hunter Osking, John A. Doucette. Enhancing Emotional Effectiveness of Virtual-Reality Experiences with Voice Control Interfaces. Immersive Learning Research Network. (2019), 199-209. DOI:10.1007/978-3-030-23089-0_15

5. Саблин И.П., Михайлюк М.В., Омельченко Д.В., Кононов Д.А. Моделирование звука в системах виртуального окружения. Успехи кибернетики. Т. 6, (2025). № 2, 92–99.

6. М.В. Михайлюк, М.А. Торгашев. Визуальный редактор и модуль расчета функциональных схем для имитационно-тренажерных комплексов. Программные продукты и системы, № 4 (108), (2014), 10-15. DOI: 10.15827/0236-235X.108.010-015