

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЙ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ, ОСНОВАННЫХ НА ОНТОЛОГИЯХ

Кирилл Юрков

Аннотация: В данной статье представлена технология разработки приложений дополненной реальности, основанных на онтологиях. Представлены результаты анализа существующих подходов к разработке приложений дополненной реальности, продемонстрирована потребность в высокоуровневых технологиях построения систем дополненной реальности. Проведен анализ наиболее популярных библиотек и платформ разработки приложений дополненной реальности (ARTAG, ARTOOLKIT, Laya3, QUALCOMM AR PLATFORM), показана потребность в разработке более высокоуровневых инструментов. На основе анализа основных задач, требующих решения при создании приложения дополненной реальности, предложена технология разработки приложений дополненной реальности на основе онтологического анализа. В основе технологии лежит применение онтологии проблемной области и онтологии пространства задачи. Онтология проблемной области описывает основные понятия проблемной области и связи между ними. Онтология пространства задачи предоставляет описание пространства задачи, локаций и их взаимного расположения и содержит два уровня: описание метапонятий, то есть тех понятий, которые будут использоваться для описания, и непосредственно описание самого пространства, где указывается, какие объекты есть в пространстве, и как они связаны между собой. Для применения полученных онтологий предложена типовая архитектура приложения дополненной реальности, описаны компоненты архитектуры. Отдельно рассмотрена проблематика формирования сцены, которая выводится на экран мобильного устройства, а также некоторые особенности построения пользовательского интерфейса для приложений дополненной реальности. Предложенная технология активно используется для разработки системы «Интеллектуальный видеогид». Прототип системы запущен в промышленное использование в Пермской Государственной Художественной Галерее.

Ключевые слова: *Дополненная реальность; онтологическое моделирование; Augmented reality; mobile applications; ontological modeling.*

ACM Classification Keywords: *H.5 Information Interfaces and Presentation: H.5.1 Multimedia Information Systems – Artificial, augmented, and virtual realities.*

Введение

В 1968 году Айвен Сазерленд впервые в мире создал первый шлем виртуальной и дополненной реальности. В частности, с помощью данного прибора, получившего название «Дамоклов Меч», пользователь мог обозревать трехмерный куб, отраженный поверх картинке реального мира. За 50 лет приложения дополненной реальности (ПДР) прошли большой путь. На сегодняшний день основным средством отображения дополненной реальности являются мобильные устройства, решения на основе дополненной реальности (ДР) применяются в медицине, машиностроении, туризме и с каждым годом находят свое применение во всё новых прикладных областях. Однако технологии разработки приложений дополненной реальности на сегодняшний день остаются малоисследованной областью.

ПДР обладают целым рядом особенностей, требующих учета при их разработке:

1. Большинство современных приложений дополненной реальности разрабатывается для мобильных устройств. Мобильные устройства обладают довольно ограниченными вычислительными мощностями, что значительно осложняет решение проблем обработки изображений. Кроме того, мобильные устройства, как правило, имеют небольшой экран, что требует разработки новых способов взаимодействия с пользователем.
2. Приложения ДР с точки зрения решаемых задач функционально очень похожи друг на друга, несмотря на особенности проблемной области, в которой они применяются, и аппаратных платформ (под проблемной областью (ПрО) будем понимать совокупность предметной области и решаемых в ней задач).

3. Классический графический пользовательский интерфейс плохо подходит для приложений дополненной реальности. Более того, сама технология дополненной реальности предлагает принципиально новые возможности по пользовательскому взаимодействию с приложениями.

Возможности решений, существующих на сегодняшний день, как правило, сводятся к использованию пакетов библиотек, в которых реализованы основные функции для работы с изображениями и решения задач распознавания образов, возникающих при разработке ПДР. Не хватает же технологии разработки приложений и высокоуровневых инструментов поддержки этих технологий. В частности, представляется весьма актуальной разработка технологий, построенных на декларативных принципах, что позволит пользователю средствами языков (сверх)высокого уровня в наглядной форме специфицировать описание задачи и вид необходимого решения, избавив его от необходимости низкоуровневого программирования.

Существующие технологии, библиотеки построения ПДР

Среди существующих технологий в области построения приложений дополненной реальности наиболее распространенными решениями, демонстрирующими различные подходы к разработке ПДР, являются: ARTAG [Fiala, 2005], ARTOOLKIT [Kato, 2000], Layar [Layar, 2012], QUALCOMM AR PLATFORM [Vuforia, 2012], принадлежащие как к маркерным, так и безмаркерным подходам [Ferrari, 2001].

На сегодняшний день ARTAG и ARTOOLKIT остаются наиболее популярными системами дополненной реальности, *основанными на маркерах*. Эти системы поддерживают различные подходы к формированию маркеров и имеют соответствующий набор библиотек, включающий различные алгоритмы для выделения и распознавания маркеров. ПДР, основанные на маркерах, позволяют решать задачи в областях, в которых возможно явно указание места сцены, где должно быть размещено дополнение. Безусловными преимуществами таких систем является меньшая по сравнению с безмаркерными системами трудоёмкость и наукоёмкость разработок, а также большая надёжность определения точных координат расположения дополнительного контента. Однако уровень средств ARTAG и ARTOOLKIT остается довольно низким: многие задачи, связанные с ПДР, остаются на плечах программиста. Вопросы общей архитектуры приложения, разработки пользовательского интерфейса, учета положения пользователя в пространстве не решены средствами этих библиотек. Более того, обе эти системы не предлагают каких-либо решений с точки зрения технологии разработки ПДР, учета особенностей ПрО и возможных изменений в ней.

Одним из наиболее распространенных продуктов, построенных на *безмаркерных технологиях* дополненной реальности, является Layar Browser. Данное приложение позволяет отображать дополнительный контент, представленный в виде слоев, а в качестве основы для расположения дополнительного контента используют данные о позиции пользователя в пространстве, которые, как правило, получены с помощью GPS.

Особенностями технологии Layar при построении ПДР являются:

1. Ориентация на использование геопозиционирования.
2. Богатая «экосистема», содержащая подробную документацию и примеры по созданию слоев.
3. Доступность для внесения изменения только API уровня слоя, то есть разработчик не может вносить изменения в работу приложения, выходящие за рамки редактирования слоев. Все остальные решения зашиты в платформу Layar.

Как следствие, важным преимуществом технологии Layar является то, что практически все вопросы создания ПДР, за исключением уровня слоя, переносятся с плеч прикладного разработчика на саму систему Layar.

Однако у данного подхода есть ряд недостатков:

1. Трудность использования для решения тех задач ПДР, где геопозиционирование не является основным или единственным источником данных о местоположении пользователя.
2. Сложность настройки приложения под конкретного пользователя.
3. Сложность явного учета специфики конкретной ПрО при разработке слоев.

Qualcomm AR Platform является логичным развитием систем типа ARTOOLKIT и ARTAG, предоставляя более богатые возможности для работы с видео-поток, для распознавания объектов различных типов. В рамках данной платформы предоставлены также средства для организации взаимодействия с пользователем на основе ДР. Однако вопросы разработки приложения, учета особенностей ПрО, вопросы учёта позиции человека в пространстве остаются на плечах программиста.

Подводя итог, можно сказать, что на сегодняшний день актуальной задачей является создание технологий разработки ПДР, которые позволяют создавать решения, легко переносимые между различными аппаратными платформами, могут адаптироваться к особенностям проблемных областей и пользователей в них и обладают достаточным универсализмом для поддержки как маркерных, так и безмаркерных подходов.

Онтологическое моделирование как подход к преодолению недостатков существующих решений

В качестве основы технологии разработки ПДР предлагается использовать подход, базирующийся на *онтологическом моделировании*. Адаптируемые приложения, построенные с использованием явно представленных онтологических моделей, обладают следующими преимуществами:

1. Простота адаптации программного обеспечения к изменениям в ПрО за счёт внесения изменений в онтологическую модель ПрО.
2. Простота адаптации программного обеспечения к нуждам конкретного пользователя/группы пользователей за счёт внесения изменений в онтологическую модель пользователя.
3. Возможность переиспользования онтологических моделей и их фрагментов на разных слоях сложной системы (слое хранения данных, слое бизнес-логики, слое представления и т.д.).
4. Возможность внесения изменений в поведение системы в процессе работы без необходимости перекомпиляции программного кода за счет внесения изменений в онтологическую модель.
5. Переиспользование моделей онтологического типа на всех этапах разработки программного ПДР, в том числе и для упрощения коммуникаций в рамках команды разработчиков, для построения документации и т.д.
6. Возможность интеллектуализации пользовательского интерфейса программного обеспечения.

Технология создания ПДР, основанных на онтологиях

Предлагаемая технология построения приложений дополненной реальности построена с использованием *многоуровневой онтологии*.

Понятиями *верхнего уровня* для этой онтологии являются:

- *Реальное пространство* – пространство реального мира, в котором пользователь изменяет своё положение.
- *Пространство сцены* – множество объектов формируемой сцены (изображения).
- *Точка замещения* – место размещения объекта дополнения в реальном пространстве.

Сцена в приложениях дополненной реальности формируется с помощью объединения картины реального мира и дополнительных объектов. Таким образом, *реальный мир*, пространство, в котором перемещается пользователь, можно назвать *дополняемым*, а все множество объектов дополнения – *пространством дополнения*. Дополняемое пространство дискретно и разбито на локации.

С целью выделения места онтологических моделей в ПДР рассмотрены основные задачи, возникающие при разработке ПДР, и возможности применения семантически мощных инструментов для их решения.

Выявлены следующие задачи:

1. Задача задания точек замещения в реальном пространстве.
2. Задача распознавания точек замещения.
3. Задача определения параметров объекта дополнения, которое будет размещено.
4. Задача навигации между точками замещения.

Для решения задачи 1 требуется построить онтологию понятий предметной области, которая будет включать такие понятия как комната, этаж, улица и т.д. Далее требуется построить прикладную онтологию

реального пространства с использованием онтологии понятий. Для более точного указания мест точек замещения предлагается ввести относительную сетку координат в рамках отдельных локаций, то есть для указания расположения экспоната можно будет указать его координаты в рамках конкретного зала, этажа. Построенную для решения задачи 1 онтологию можно использовать для упрощения решения задачи распознавания точек замещения. Для этого необходимо применять алгоритмы распознавания изображений, способные учитывать не только результаты анализа видео-потока, но и данные о месте расположения пользователя в пространстве.

Решение задачи 3 требует применения знаний об объектах дополнения. Эти знания могут быть представлены как онтология предметной области. Предметная онтология, при условии существования в ней семантической метрики, может быть использована для решения задачи семантической навигации, то есть определения маршрута пользователя на основе характеристик объектов дополнения (возможно, с учетом профиля пользователя).

На основе проведенного анализа задач сделан вывод о необходимости описания модели онтологии ПрО и онтологии пространства задачи. *Онтология ПрО* (ОПрО) описывает основные понятия ПрО и связи между ними. В рамках ОПрО введена семантическая метрика, позволяющая определять близость понятий. С каждым понятием связан набор возможных дополнений. В рамках онтологии поддерживаются основные парадигматические типы связей (класс-подкласс, экземпляр-класс, часть-целое, необходимая часть-целое, атрибут-класс), связь типа «контекстуально связаны», а также типы связи, необходимые для данной предметной области. Например, связь типа «автор».

Онтология ПрО может также служить единым хранилищем знаний, которое будет переиспользоваться для различных приложений в рамках ПрО. Так как онтология ПрО содержит описания основных понятий, их структуры, а также данные о взаимосвязях между ними, на ранних этапах она может служить основой языка для общения разработчиков и специалистов. Более того, наличие визуального представления онтологии значительно упрощает взаимодействие различных специалистов и выделение проблемных фрагментов онтологии, требующих доработки, уточнения, принятия административных решений для разрешения многозначности.

Понятия в онтологии ПрО связаны с элементами базы дополнений. Это может значительно облегчить разработку и редактирование дополнительного контента. Более того, наличие подобной связи позволяет определять семантическую близость дополнений, и даже описывать ее. Например, фотография «Василий Васильевич Верещагин» может быть описана так: «*Фотография* (как название формата дополнения) *автора* (как тип связи из онтологии ПрО) *картины* (как название понятия из онтологии ПрО, связанного по связи класс-подкласс) *"Апофеоз войны"* (понятие из онтологии ПрО)».

Для того чтобы дать возможность пополнять онтологию пользователям-непрофессионалам, предложено использование простого подхода на основе «тематической разметки» отдельных понятий. В рамках данного подхода понятие предметной области метится пользователем с помощью тегов. Простейшую модель на основе двудольного графа понятий и тегов предлагается обогатить, введя в нее связи типа «первый тег» / «главный тег», «тег автора понятия», «тег читателя». Введение таких связей позволило создать более осмысленные семантические метрики для определения близости объектов. В случае необходимости возможно также применение понятных пользователю связей, например, может быть легко добавлена связь «создатель» для отражения авторов того или иного объекта в музее.

Для того чтобы сделать возможными разработку интеллектуального пользовательского интерфейса и интеллектуальный поиск по экспонатам, онтология может быть расширена с применением лингвистических ресурсов. В частности, такой подход позволяет применять полученную онтологию при разработке естественного интерфейса взаимодействия с пользователем на естественном языке.

Онтология пространства задачи (ОП) предоставляет описание пространства задачи, локаций и их взаимного расположения. ОП содержит два уровня: описание метапонятий, то есть тех понятий, которые будут использоваться для описания пространства (например: «комната» часть «этажа»); и непосредственно описание самого пространства, где указывается, какие объекты есть в пространстве, и как они связаны между собой. Понятия ОП могут быть связаны с точками замещения. Для понятий

нижнего уровня можно указать их место в рамках относительной координатной сетки введенной в рамках понятия более высокого уровня. Например, «Картина "Апофеоз войны" находится по координатам 8,0 в рамках зала №4».

Для предоставления возможности сохранения рекомендуемых маршрутов предлагается вести базу маршрутов пользователей, описывающих порядок посещения локаций (элементов из онтологии пространства задачи). Подобная база не только позволит рекомендовать пользователю тот или иной маршрут, но и проводить журнализацию маршрутов различных пользователей. Благодаря онтологическим моделям ПрО и пространства задачи могут также генерироваться описания полученных маршрутов. Дальнейший интеллектуальный анализ маршрута может быть использован для составления его краткой аннотации.

В качестве единого хранилища всех объектов из пространства дополнений используется база *дополнений*. Дополнения связаны с понятиями из ПрО точками в маршруте.

Структура элемента в базе дополнений включает:

- тип (текстовые данные, изображения, звуковые данные, видео данные);
- способ отображения;
- дополнительный способ отображения (сцена дополняется данными);
- подменяющий способ отображения (сцена подменяется объектом);
- координаты расположения;
- способ расположения;
- свободное расположение (координаты вычисляются в пределах сцены);
- расположения в пределах маркера (координаты вычисляются в пределах маркера);
- данные.

В зависимости от значений полей «способ отображения» и «способ расположения» будут различаться особенности формирования сцены в ПДР. Для всех возможных комбинаций значений полей предложены алгоритмы формирования сцены.

Подводя итог, можно сказать, что предлагаемая технология разработки ПДР, основанных на онтологиях, может быть описана следующей последовательностью действий:

1. Провести анализ ПрО. Построить онтологическую модель ПрО.
Методы: онтологический инжиниринг, оригинальный подход на основе тематической разметки, обогащение онтологии с использованием лингвистических ресурсов.
Результат: онтологическая модель ПрО.
2. Построить онтологию пространства задачи.
Методы: онтологический инжиниринг.
Результат: онтологическая модель пространства задачи, с указанными точками замещения.
3. Заполнить базу дополнений, указав точки замещения и дополнительные условия демонстрации.
Результат: Созданные и описанные объекты пространства дополнения с указанными связями с ОПрО и ОП.
4. Заполнить базу маршрутов пользователей.
Результат: База маршрутов, заполненная примерными вариантами рекомендованных разработчиками маршрутов.
5. Использовать полученные онтологии в рамках разработанной архитектуры ПДР.

Архитектура ПДР, основанных на онтологиях

Рассмотрим особенности реализации программной системы дополненной реальности, основанной на онтологиях. Общая архитектура ПДР представлена на рис. 1. Предложенная архитектура позволяет создавать приложения, в которых маршрут пользователя зависит от его текущих предпочтений и интересов, позволяет показывать пользователю ту информацию, которая ему нужна, а также помогает ориентироваться в сложных ситуациях. При этом даже один и тот же путь в реальном пространстве между

одними и теми же объектами может быть сопровождается различной информацией, что позволяет приложению настраиваться как на пользователя, так и на текущие цели владельцев контента.

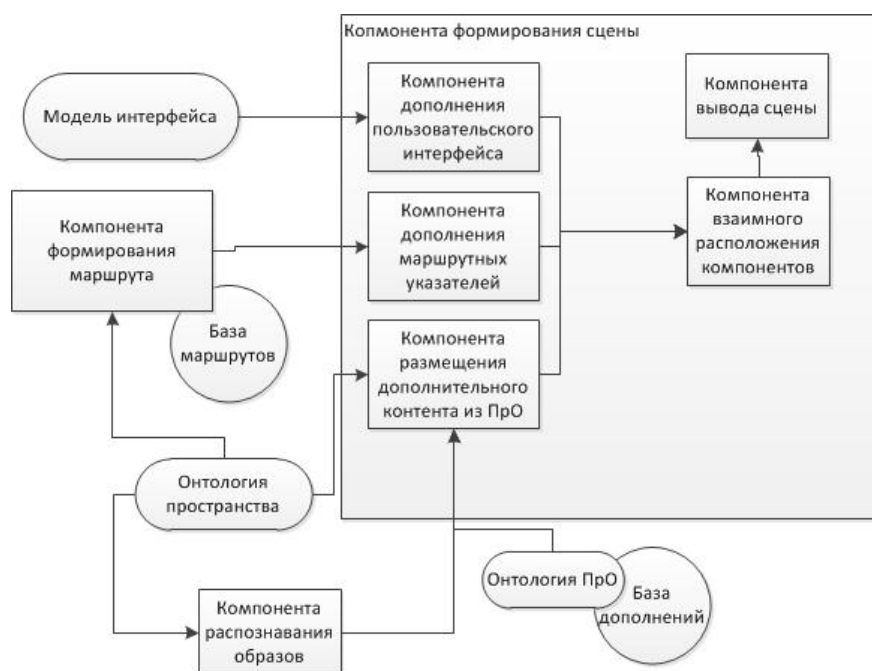


Рис. 1. Архитектура ПДР, основанного на онтологиях
(стрелками обозначены основные направления потоков данных)

Компонента формирования сцены является центральной в приложении дополненной реальности. Она отвечает за размещения дополнений трех типов:

1. *Компонента дополнения пользовательского интерфейса* формирует пользовательский интерфейс, руководствуясь декларативно описанной моделью интерфейса и, в случае наличия, моделью пользователя.
2. *Компонента дополнения маршрутных указателей* с помощью данных от компоненты формирования маршрута позволяет отображать подсказки о необходимом направлении движения к указателям, расстоянию между ними. Причем расстояние может быть представлено в терминах предметной области, например: «в следующей комнате», «на соседней улице».
3. *Компонента размещения дополнительного контента из ПрО* на основе данных, полученных от компоненты распознавания образов, определяет, где и как будет отражаться специальный контент. Этот контент связан как с текущим положением пользователя, так и с конкретными объектами ПрО.

Сформированные дополнения должны быть расположены в рамках сцены и выведены на экран устройства, за что отвечают соответственно *компонента взаимного расположения дополнений* и *компонента вывода*.

В приложениях ДР, как правило, крайне ограниченным является пространство на экране устройства, которое может быть использовано для отображения системного функционала. Однако вполне возможно создание интерактивных дополнений, поведение которых будет зависеть от явно выраженных действий пользователя. Такие элементы как раз и будут являться пользовательским интерфейсом приложения ДР. Декларативный характер модели интерфейса позволяет значительно упростить процесс его разработки. Подобный подход упрощает разделение обязанностей между разработчиками пользовательского интерфейса (дизайнерами) и разработчиками логики работы приложения (программистами).

Такой подход также значительно упрощает разработку адаптивных приложений, способных учесть место пользователя в пространстве ПрО и соответственно изменить не только поведение приложения, но и его внешний вид.

Одной из важных задач в приложениях ДР является *оказание помощи пользователю в навигации*:

- оказание поддержки при выборе следующей точки маршрута;
- оказание поддержки при выборе пути следования к следующей точке маршрута.

Для выбора следующей точки маршрута пользователь должен располагать данными о возможных точках маршрута, расстоянием до этих точек, а также индикатором семантической близости следующей точки к точке, в которой он на данный момент находится. Причем расстояние может быть представлено как в абсолютных единицах, так и в специальных, характерных для данной предметной области, например: «в соседней комнате», «на следующем этаже», «в двух кварталах».

Компонента дополнения маршрутных указателей (КДМУ) взаимодействует с компонентой формирования маршрута для получения данных о близких точках предполагаемого маршрута, о семантическом расстоянии между ними и текущей точкой. На основе полученных данных КДМУ формирует указатели, которые должны быть отражены на экране, например, в виде стрелок-маркеров, или даже «дороги из желтых кирпичей».

Заключение

В данной статье представлена технология разработки приложений дополненной реальности, основанных на онтологиях. Представлены результаты анализа существующих подходов к разработке приложений дополненной реальности, продемонстрирована потребность в высокоуровневых технологиях построения систем дополненной реальности. Предложена технология применения онтологического анализа для решения проблем, возникающих при разработке приложений дополненной реальности. Описана общая архитектура приложения дополненной реальности, основанного на онтологиях.

Предложенная технология активно используется для разработки системы «Интеллектуальный видеогид». Прототип системы запущен в промышленное использование в Пермской Государственной Художественной Галерее.

Библиографический список

- [Ferrari, 2001] V. Ferrari, T. Tuytelaars, and L. Van Gool. Markerless augmented realtime affine region tracker. Proceedings of the IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality:87 – 96, 2001.
- [Fiala, 2005] M. Fiala. Artag, a fiducial marker system using digital techniques. In CVPR (2), pages 590-596. IEEE Computer Society, 2005.
- [Kato, 2000] I.P.H. Kato and M. Billinghurst. ARToolkit User Manual, Version 2.33. Human Interface Technology Lab, University of Washington, 2000.
- [Layar, 2012] Layar. <http://www.layar.com/>, April 2012.
- [Vuforia, 2012] Augmented Reality (Vuforia), <https://developer.qualcomm.com/develop/mobile-technologies/augmented-reality>, April 2012.

Сведения об авторах



Кирилл Юрков – Старший преподаватель кафедры математического обеспечения вычислительных систем ПГНИУ; 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15; e-mail: orcheese@gmail.com.

Сфера научных интересов: Искусственный интеллект, Онтологический анализ, Дополненная реальность.