Раздел 4 ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ. МОДЕЛИ

В настоящее время услуги дополненной реальности применяются во многих сферах жизни человека, это не только развлекательные и информационные приложения, это и мониторинг обширных территорий с участием беспилотных летательных аппаратов, управление трафиком дорожного движения для предотвращения аварийных ситуаций, минимизации времени нахождения автомобилей в пробках в крупных городах, а также управление оптимальным движением автомобилей экстренных служб. Отдельно следует отметить применение технологии ДР в строительстве и архитектуре, дизайне и планировке помещений. Активную роль играет данная технология и на производствах, особенно с привлечением крупной техники и робототехнических систем. Очевидно, что реализация услуг ДР в перечисленных выше областях будет существенно отличаться в зависимости от целевого назначения услуги, что в свою очередь приводит к необходимости дифференцированного подхода при оценке качества предоставления услуг ДР.

В данной главе предложено несколько моделей услуг ДР в зависимости от специфики применяемой области, что накладывает свои особенности на тип и объем передаваемой информации, способы формирования запросов об объектах и отображения информации пользователю.

Так, объем информации воспринимаемый пользователем в единицу времени (интенсивность восприятия) зависит от способа представления сообщений, и их информативности. При предоставлении услуг дополненной реальности имеет место поток сообщений об объектах, находящихся в окружении пользователя. Время жизни этих сообщений, в общем случае, ограничено временем нахождения объекта в окружении пользователя и зависит от поведения пользователя.

Целью предоставления услуги ДР является доведение до пользователя максимально возможного объема дополнительной информации. Для достижения данной цели следует учитывать способность пользователя к

восприятию различных типов сообщений при различной степени их информативности.

При реализации и предоставлении услуги дополненной реальности необходимо учитывать основные факторы, влияющие на качество ее восприятия пользователем. Эти факторы различны для различных услуг, они определяют основные параметры взаимодействия клиентского оборудования с серверами ДР. В данной главе предложена типовая модель взаимодействия основных элементов при реализации услуги ДР.

При рассмотрении наиболее широкого класса услуг ДР одним из основных факторов, влияющих на качество восприятия услуги, является время доставки и отображения данных ДР (своевременность предоставления данных). Для большинства услуг оно зависит от производительности системы ДР, а также от обслуживаемого ею трафика. В данной главе рассмотрены основные факторы, влияющие на своевременность доставки информации пользователю.

Параметры трафика ДР определяются запросами данных ДР, которые формируются клиентским оборудованием и, как правило, обусловлены поведением пользователя, что требует разработки и исследования моделей движения пользователя. В число основных параметров поведения пользователя входят характеристики его движения. В данной главе показано, что при организации услуги запросы данных ДР могут формироваться с учетом особенностей, характерных для движения пользователя. Эти особенности выражаются в том, что целевая область запроса данных ДР может быть описана с помощью двумерного нормального распределения с параметрами, вычисляемыми на основе получаемых в процессе предоставления услуги данных о координатах пользователя.

3.1. Модель услуги

Согласно большинству определений, предоставление услуги дополненной реальности (ДР) заключается во введение в поле восприятия человека

дополнительной информации. В общем случае, назначение ДР облегчить решение различных задач, связанных с восприятием, анализом и управлением. На рисунке 3.1 приведен пример ДР карты звездного неба (StarChart iPhone). Отличие от просто карты или интерактивной карты состоит в том, что ее отображение связано с положением устройства в пространстве (наведением его в определенную точку неба), т.е. дополнено результатами обработки информации пользователя.

Рисунок 3.1 - Пример дополненной реальности при взгляде на звездное небо (StarChart iPhone)

В более общем случае процесс предоставления услуги ДР можно рассматривать как интерактивное взаимодействие пользователя с прикладными функциями, реализующими анализ состояния его окружения и предоставляющими ему дополнительную информацию, как представлено на рисунке 3.2 [329, 330].

Поскольку целевое назначение ДР это предоставление пользователю дополнительной контекстной информации, то качество ее предоставления следует рассматривать с точки зрения степени достижения этой цели, что можно охарактеризовать:

- степенью соответствия предоставленной дополнительной информации потребностям пользователя (соответствие целевому назначению, объем, детализация и др.);
- степенью восприимчивости предоставленных данных (видео данные, графика, звук, таблицы, текст и другие элементы интерфейса с пользователем, качество их представления);

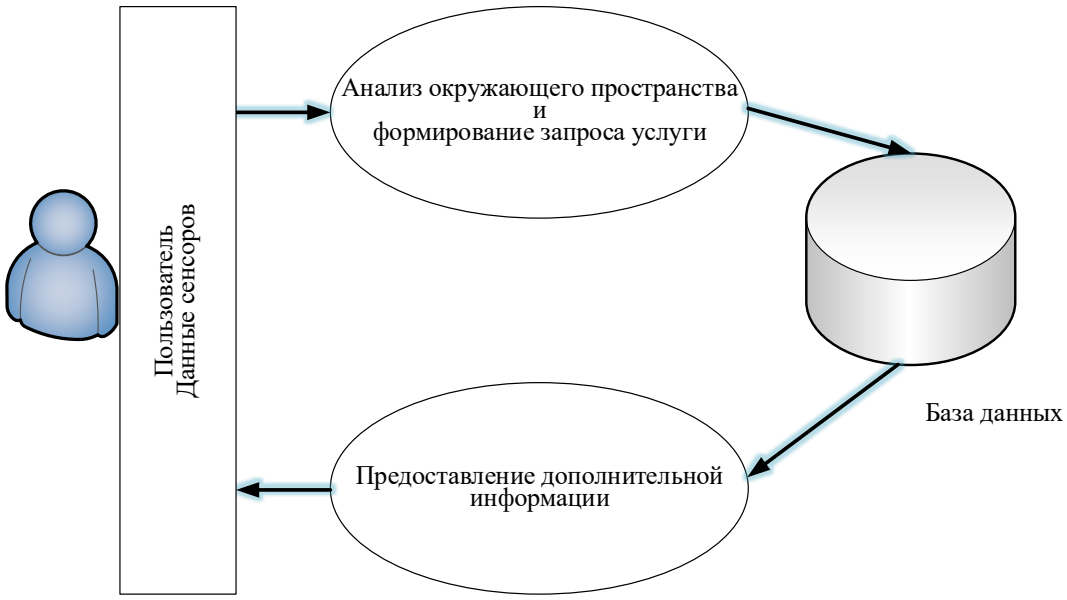

Рисунок 3.2 - Взаимодействие пользователя с прикладными функциями

- своевременностью предоставления дополнительной информации.

3.1.1 Модель взаимодействия основных элементов при предоставлении услуг ДР

Реализация услуги ДР может быть различна, в зависимости от используемых технических средств. В набор этих средств обязательно входит абонентское устройство, которое может представлять собой смартфон, планшетный ПК, мультимедийные очки, шлем и др., позволяющие организовать пользовательский интерфейс, получение данных об окружении

и имеющее достаточно высокую производительность вычислительного устройства. В частности, вся функциональность ДР может быть реализована в составе клиентского приложения такого устройства. Однако, во многих приложениях, например, нецелесообразно или невозможно хранить всю дополнительную информацию, а также выполнять всю обработку данных пользователя ресурсами мобильного устройства. Поэтому, следующим элементом ДР является инфокоммуникационная составляющая (сеть связи), которая обеспечивает доставку дополнительной информации пользователю, базы данных и возможно серверы, выполняющие часть функций по обработке информации пользователя, как представлено на рисунке 3.3. При наличии в окружении пользователя датчиков Интернета вещей (IoT), способных предоставить полезную информацию, может быть использована технология D2D, обеспечивающая непосредственную связь абонентского устройства с ними.

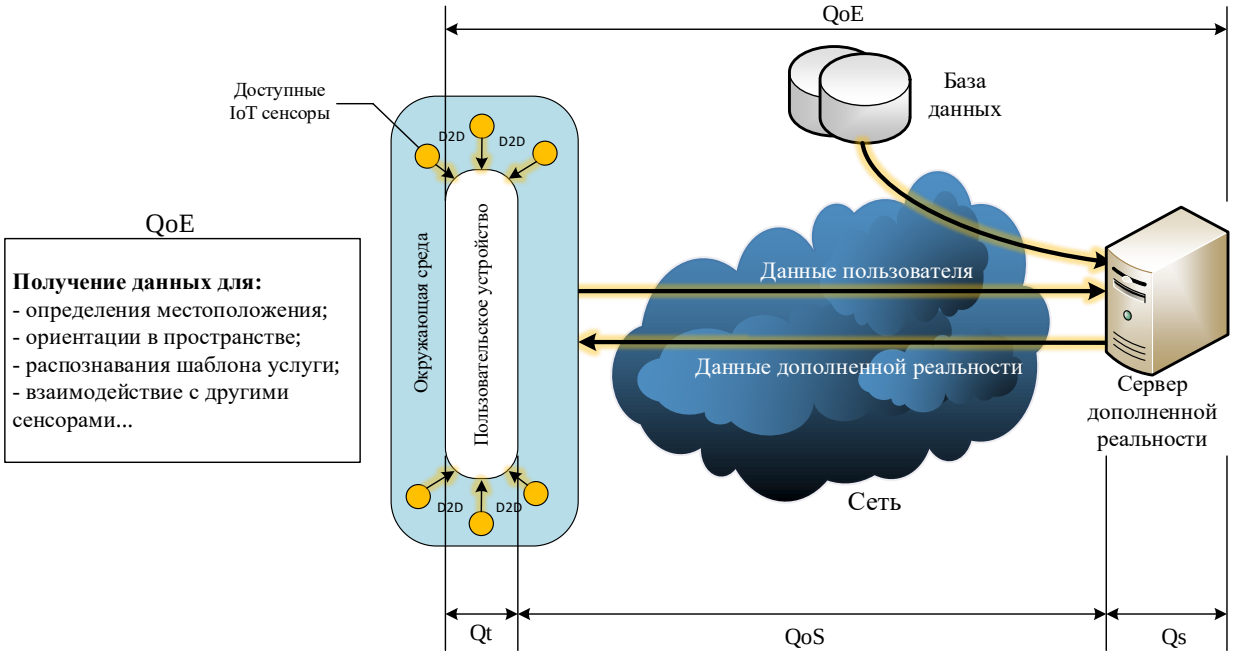

Рисунок 3.3 - Взаимодействие основных элементов
при предоставлении услуги ДР

Основными элементами, обеспечивающими качество восприятия услуги пользователем, являются устройство пользователя ДР, сервер услуги ДР, базы данных и сеть связи. Все элементы взаимодействуют через сеть связи (при наличии устройств IoT также возможна D2D коммуникация [331]). В данной системе основной задачей обеспечения качества услуги является распределение функциональности и данных между клиентским приложением устройства пользователя, сервером услуги и базами данных. Это распределение отражается на времени выполнения функций по обработке данных, времени доставки данных через сеть связи и на производимом в сети трафике.

3.1.2 Качество предоставления услуги ДР

Как было сказано ранее качество предоставления услуги дополненной реальности связано с предоставлением пользователю дополнительной контекстной информации об объекте. Следовательно, для понимания удовлетворенности пользователя услугой необходимо определить степень соответствия предоставленной дополнительной информации потребностям пользователя, степень восприимчивости предоставленных данных, своевременность предоставления дополнительной информации.

Степень соответствия дополнительной информации потребностям пользователя и степень ее восприимчивости определяются организацией услуги, наличием требуемой информации и организацией пользовательского интерфейса.

Услуга ДР является интерактивной, поэтому своевременность предоставления информации является одним из наиболее важных факторов, определяющих ее качество. Своевременность характеризуется временем между событием, связанным с изменениями состояния окружения или пользователя и событием, характеризующим доступность пользователю

дополнительной информации. Это время (задержка) определяется рядом составляющих, таких как:

-времени получения данных об окружении (опрос датчиков состояния, видео и др.) и их обработки;

-времени доставки данных на сервер услуги (если необходимо);

-времени обработки данных сервером услуги;

-временем доставки данных пользователю;

-временем представления данных.

При организации услуги с участием сервера данные запрашиваются и передаются пользователю при изменении состояния окружения (изменении окружения в поле зрения/восприятия пользователя). В зависимости от функциональности услуги - это может происходить при изменении положения в пространстве пользователя (терминала) или некоторых объектов, что эквивалентно изменению множества объектов в поле восприятия, для которых требуется предоставление дополнительных данных. Идентификация изменения может производиться, например, на основании анализа данных о координатах устройства и его ориентации в пространстве, распознавания объектов путем анализа видео данных, и т.д.

3.2 Модель трафика ДР

Для описания производимого услугой трафика необходимо связать объем передаваемых пользователем и пользователю данных при изменениях его окружения.

-модель пространства услуги;

-модель окружения пользователя;

-модель поведения;

Под пространством услуги будем понимать информационную модель физического трехмерного пространства, в котором может находиться пользователь услуги. Информационная модель включает в себя описание

некоторых объектов, находящихся в этом пространстве $X = \{\bar{x}_1, \bar{x}_2 \dots, \bar{x}_n\}$, где n общее число объектов.

Модель окружения пользователя является подпространством пространства услуги, т.е. частью пространства ограниченной возможностями восприятия (моделью этих возможностей). Окружение, как правило, привязано к положению пользователя в пространстве услуги и включает в себя множество объектов $X^{(U)} = \{\bar{x}_1^{(U)}, \bar{x}_2^{(U)} \dots, \bar{x}_k^{(U)}\}$ где k число объектов, находящихся в области восприятия пользователя.

Модель поведения описывает изменения положения пользователя и его окружения в пространстве услуги. Изменения в окружении пользователя могут произойти как вследствие перемещений пользователя, так и перемещений объектов в пространстве услуги. Изменение, вызванное появлением в окружении пользователя нового объекта $\bar{x}_i$, приводит к запросу данных об этом объекте.

Алгоритм реализации услуги должен обеспечивать выполнение следующих функций:

-идентификацию события изменения окружения и вычисление параметров изменения;

-запрос информации об изменении окружения;

-получение данных и их отображение.

Возможная диаграмма обмена данными приведена на рисунке 3.4.

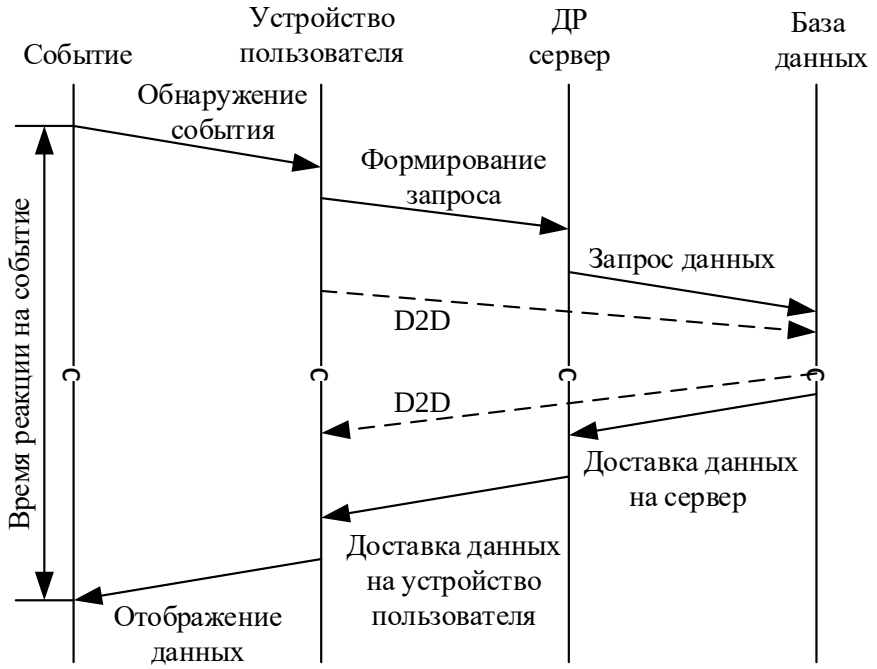

Рисунок 3.4 - Диаграмма обмена данными при предоставлении услуги ДР

Так как окружение также, как и пространство услуги является ограниченным (областью восприятия) физическим трехмерным пространством, то изменения в нем можно описать как поток событий, связанных с появлением в нем объектов. Объекты могут входить через его границы вследствие перемещения этих границ или самих объектов. В первом случае, перемещение границ связано с поведением пользователя, а во втором с поведением объектов. В том и другом случае качество функционирования системы будет зависеть от ее способности своевременно обслуживать события этого потока.

Таким образом, задачу обеспечения качества услуги можно рассматривать как выбор параметров системы (производительности, пропускной способности, распределения ее функциональности) от характеристики потока событий и нагрузки на систему, производимую этим потоком.

Свойства потока событий в значительной степени определяют свойства потока данных между элементами системы. Например, в системе позиционирования на карте местности такой поток определяется событиями изменения координат пользователя и определяется характеристиками его

движения, в системе с использованием очков ДР он будет определяться их ориентацией в пространстве и возможно событиями, связанными с передачей данных об объектах в поле зрения или их характеристиках.

Очевидно, что характеристики потока будут зависеть от распределения и характеристик объектов в пространстве услуги, а также характеристик движения пользователя.

3.2.1 Модель окружения пользователя

Сделаем допущение о том, что объекты в пространстве услуги распределены случайным образом (образуют пуассоновское поле) и неподвижны, подвижен только пользователь. Тогда, изменение положения пользователя равносильно изменению его окружения. С учетом свойств пространства услуги и окружения, это изменение может быть описано объемом или площадью. Рассмотрим 2D вариант и опишем окружение пользователя кругом радиуса r, а скорость перемещения пользователя v будем считать постоянной. Тогда, за время t изменение окружения будет определяться числом новых объектов в области, определяющей окружение пользователя.

Оценим количество новых объектов в окружении за время t как

$$n(t) = \tilde{S}\left(L(t)\right)\rho \qquad (3.1)$$

Где $\tilde{S}\left(L(t)\right)$ -- площадь изменения окружения;

ρ - плотность объектов (объектов/м2).

На рисунке 3.5 приведена модель иллюстрирующая перемещение пользователя и изменение его окружения. Смещение круга, представляющего окружение пользователя, из начальной точки на расстояние L приводит к образованию области в форме серпа (заштрихованная область) которая определяет изменение окружения. Объекты в данной области

идентифицируется, согласно алгоритму предоставления услуги, в результате чего формируются запросы на предоставление дополнительной информации.

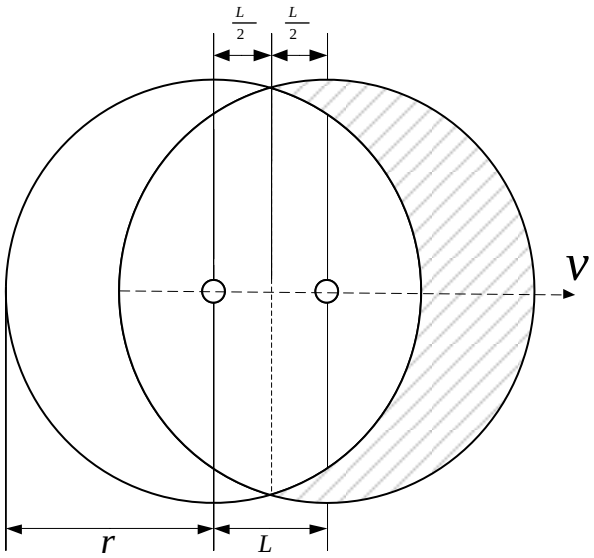

Рисунок 3.5 - Диаграмма обмена данными при предоставлении услуги ДР

Из приведенного рисунка, площадь заштрихованной области может быть определена по формуле (3.2)

$$\tilde{S}(L) = \pi r^2 - 2\left(r^2 \arccos\left(\frac{L}{2r}\right) - \left(\frac{L}{2}\right)\sqrt{r^2 - \left(\frac{L}{2}\right)^2} \right) \tag{3.2}$$

Число новых объектов в области может быть определено как

$$n(t) = \tilde{S}(L)\rho \tag{3.3}$$

где ρ - плотность объектов (объектов/м2).

Рассматривая данный процесс в динамике, т.е. при движении пользователя имеет место поток событий (запросов данных).

Интенсивность потока событий (запросов о данных) может быть определена как число объектов в малом приращении площади рассматриваемой фигуры

$$\lambda_r = \frac{d\tilde{S}(L)}{dL}\bigg|L = 0 \, \rho v \tag{3.4}$$

где ρ - плотность объектов (объектов/м2);

v - скорость перемещения (м/с).

Производную от выражения (3.2) в точке L=0

$$\left.\frac{d\tilde{S}(L)}{dL}\right|_{L=0} = 2r \tag{3.5}$$

Тогда с учетом (3.4) и (3.5)

$$\lambda_r = 2r\rho v \tag{3.6}$$

Учитывая свойства принятого для модели пуассоновского поля количество объектов в некоторой ограниченной области случайно, распределено по закону Пуассона и зависит только от площади (или объема) рассматриваемой области. Следовательно, для принятой модели поток запросов будет представлять собой простейший поток, для которого вероятность поступления k запросов за интервал времени t будет определяться как

$$p_k = \frac{(\lambda_r t)^k}{k!} e^{-\lambda_r t} = \frac{(2r\rho v t)^k}{k!} e^{-2r\rho v t} \tag{3.7}$$

Поток трафика, производимый в результате предоставления услуги, определяется потоком ответов на запросы данных. В общем случае, ответом может быть, как единичный пакет данных, так и поток пакетов (передача видео или аудио данных). Интенсивность этого потока можно описать как

$$\lambda_s = \lambda_r \eta \tag{3.8}$$

где η - среднее количество пакетов, необходимых для выполнения запроса.

При передаче видеоданных λ_s может в десятки и сотни раз превышать интенсивность запросов. С учетом требований к качеству это приводит к существенному росту требований к пропускной способности сети связи.

Физические размеры окружения пользователя, как правило, соизмеримы с радиусом связи беспроводных технологий, используемых для организации PAN, например, семейство стандартов Wi-Fi. Многие объекты услуг ДР (элементы городской инфраструктуры, транспортные средства, бытовая техника) могут быть оснащены узлами доступа и необходимыми данными,

которые могу предоставляться пользователям. Поэтому, возможным решением, обеспечивающим существенное снижение трафика на сеть связи, может быть использование технологий D2D. В таком случае трафик данных может доставляться непосредственно от объекта к терминалу пользователя как показано на рисунке 3.4 (пунктирная линия). Интенсивность этого потока будет определяться как

$$\lambda_s = \lambda_r \eta_{D2D} \tag{3.9}$$

где $\eta_{D2D} = (1-\gamma)\eta$, γ - доля объектов окружения, поддерживающих технологию D2D.

Разумеется, применение D2D технологий возможно лишь, когда объектами услуги являются упомянутые выше физические объекты, которые могу быть оснащены соответствующими узлами связи. Относительно широкий круг услуг все же требует взаимодействия с удаленными базами данных и решения задач обеспечения качества.

3.2.2 Секторальная модель окружения пользователя

Сегодня существует множество приложений дополненной реальности, которые можно разделить на шесть больших групп: медицина; сборка, обслуживание и ремонт сложного оборудования; добавление различной информации к существующим объектам; управление роботами, беспилотными летательными аппаратами и т. д.; игровая и развлекательная индустрия; военные [332]. Кроме того, особый интерес представляет использование дополненной реальности для управления и мониторинга телекоммуникационных сетей [333]. Кроме того, дополненная реальность используется для анализа потоков трафика в сетях автомобильного транспорта (VANET) [334 - 336] и других транспортных сетях для обнаружения перегрузок [337, 338]. Существует несколько приложений, которые позволяют пользователю управлять различными двигателями и устройствами [339], информируя водителей о дорожной ситуации [340], и управляя БПЛА [341].

Летающие сенсорные сети (FUSN) на базе беспилотных летательных аппаратов приобретают все большую популярность с появлением промышленного Интернета вещей (IIoT). Среди отраслей, которые проявляют наибольший интерес к внедрению промышленного интернета, можно назвать добычу полезных ископаемых, машиностроение, сельское хозяйство и транспорт. Широко распространено мнение, что сбор данных с устройств и анализ данных являются основными идеями FUSN. В то же время упускается важный аспект: передача быстро растущих необработанных данных в центрах обработки требует новых технологических решений и методов сетевого планирования [342, 343]. Для некоторых применений, например, наблюдения за территорией, камеры могут быть установлены на БПЛА.

Для разработки модели взаимодействия элементов сети мы выбрали в качестве примера работы приложение для мониторинга района города. В наблюдаемой зоне объектами являются люди, их личные устройства, здания, автомобили, условия движения и т. Д. Установка камеры на беспилотный летательный аппарат (БПЛА) позволяет пилоту обнаруживать препятствия, контролировать БПЛА, собирать данные с датчиков земли и видеть все происходит в зоне наблюдения. Например, пилот может определить объект по датчику, расположенному на нем, и получить всю необходимую информацию с помощью очков дополненной реальности или визуально идентифицировать объект, если у него нет датчиков [344].

Пилот управляет действиями БПЛА через устройство ДР (очки или шлем) с помощью поворотов и наклонов, рисунок 3.6. На БПЛА установлена камера, видеопоток отображается на устройстве ДР, которое находится на голове пилота. На основе видеопотока пилот может определить местоположение БПЛА и может управлять как самим БПЛА, так и камерой, чтобы изменять угол обзора. Таким образом, необходимо передавать два потока одновременно с разными требованиями к качеству передачи, первый - поток видео, второй - поток управления. Также найденные в поле зрения объекты могут передавать информацию на ДР-устройство. В зависимости от движения БПЛА или

поворота камеры количество и тип объектов в зоне видимости могут изменяться, что повлияет как на сам видеопоток, так и на поток управления.

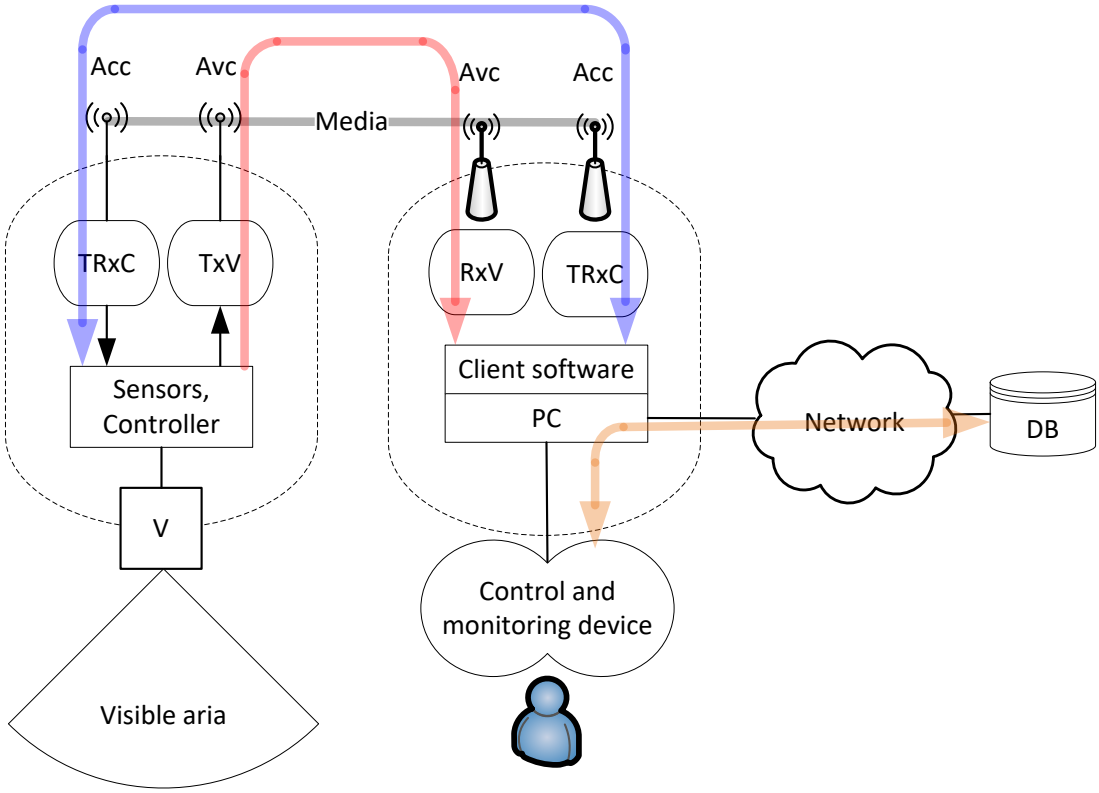

Рисунок 3.6 - Взаимодействие основных элементов при предоставлении услуг ДР с помощью БПЛА

В случае, когда информация об окружении пользователя представляет собой изображение, получаемое с помощью видеокамеры, установленной на беспилотном летательном аппарате, для определения области ограничения окружения пользователя следует учитывать особенности движения данного устройства и передающей видеокамеры. Рассмотрим 2D вариант окружения (наземные объекты) и опишем окружение пользователя сектором радиуса r. Такая модель ближе к реальной ситуации, чем модель круга, рассмотренная ранее, т.к. видеокамера, имеет ограниченный угол обзора, а возможно относительно высокая линейная скорость движения ограничивает возможности в части кругового обзора. Линейную скорость перемещения БПЛА v будем считать постоянной. Тогда, за время t изменение окружения

будет определяться числом новых объектов в области, определяющей окружение пользователя.

В качестве примера, при использовании БПЛА, моделью окружения может быть карта местности с условными, текстовыми и графическими изображениями или обозначениями объектов. Высокоскоростной канал передачи видео в большей степени подвержен изменениям условий приема, чем низкоскоростной канал передачи сигналов управления. В случае снижения качества канала передачи видео, изображение, представляемое пользователю, может быть подменено картой местности, которая доступна на локальном сервере.

На рисунке 3.7 приведена модель иллюстрирующая перемещение пользователя и изменение его окружения. Смещение сектора, представляющего окружение пользователя, из начальной точки на расстояние L приводит к образованию области (заштрихованная область) которая определяет изменение окружения. Объекты в данной области идентифицируется, согласно алгоритму предоставления услуги, в результате чего формируются запросы на предоставление дополнительной информации.

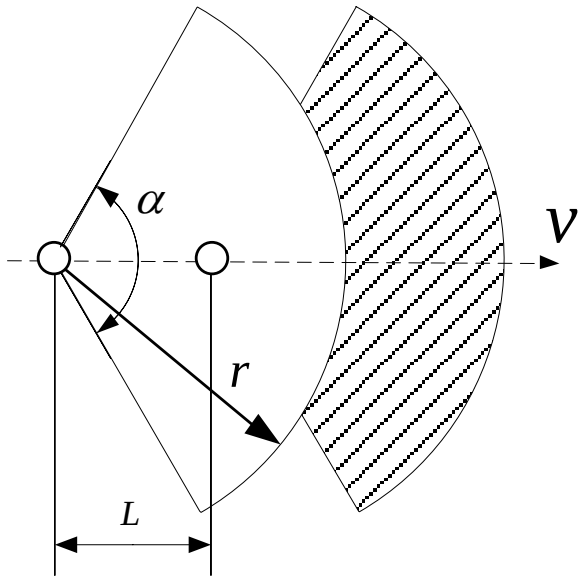

Рисунок 3.7 - Изменение окружения при поступательном движении

Из приведенного рисунка, площадь заштрихованной области может быть определена по формуле (3.10)

$$\tilde{S}(L)=\tilde{S}(r)-\tilde{S}(r-L)=\begin{cases}\dfrac{\alpha}{2}\left(2rL-L^2\right) & L\le r\\ \dfrac{\alpha r^2}{2} & L>r\end{cases} \qquad (3.10)$$

Число новых объектов в области может быть определено по формуле 3.3.

Рассматривая данный процесс в динамике, т.е. при движении пользователя имеет место поток событий (запросов данных).

Интенсивность потока событий (запросов о данных) может быть определена как число объектов в малом приращении площади рассматриваемой фигуры и вычислена по формуле 3.4.

Производная от выражения (3.10) в точке L=0

$$\left.\frac{d\tilde{S}(L)}{dL}\right|_{L=0}=\left.\alpha(r-L)\right|_{L=0}=\alpha r \qquad (3.11)$$

Тогда с учетом (3.4) и (3.11)

$$\lambda_r=\alpha r\rho v \qquad (3.12)$$

Учитывая свойства принятого для модели пуассоновского поля количество объектов в некоторой ограниченной области случайно, распределено по закону Пуассона и зависит только от площади (или объема) рассматриваемой области. Следовательно, для принятой модели поток запросов будет представлять собой простейший поток, для которого вероятность поступления k запросов за интервал времени t будет определяться как

$$p_k=\frac{(\lambda_r t)^k}{k!}e^{-\lambda_r t}=\frac{(\alpha r\rho v t)^k}{k!}e^{-\alpha r\rho v t} \qquad (3.13)$$

Наряду с поступательным движением устройство может совершать вращательные движения. Модель вращательного движения приведена на рисунке 3.8.

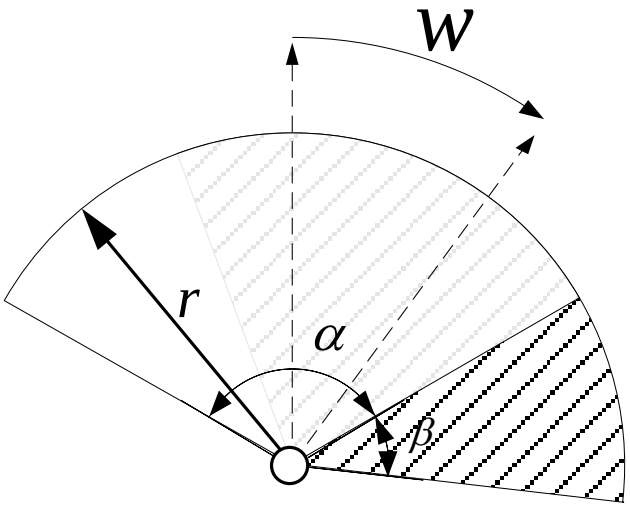

Рисунок 3.8 - Изменение окружения при повороте

Площадь заштрихованной области может быть определена по формуле

$$\tilde{S}(\beta) = \tilde{S}(0) - \tilde{S}(\beta) = \begin{cases} \dfrac{\beta r^2}{2} & \beta \le \alpha \\ \dfrac{\alpha r^2}{2} & \beta > \alpha \end{cases} \qquad (3.14)$$

Число новых объектов в области может быть определено как

$$n(\beta) = \tilde{S}(\beta)\rho \qquad (3.15)$$

где ρ - плотность объектов (объектов/м2).

β - угол поворота (рад),

α - угол сектора обзора (рад).

При рассмотрении данного процесса в динамике, т.е. при движении пользователя имеет место поток событий (запросов данных). Его интенсивность может быть определена как число объектов в малом приращении площади рассматриваемой фигуры

$$\lambda_r = \left.\frac{d\tilde{S}(\beta)}{d\beta}\right|\beta = 0 \, \rho w \qquad (3.16)$$

где ρ - плотность объектов (объектов/м2),

w - угловая скорость поворота (рад/с).

Производную от выражения (3.14) в точке β=0

$$\left.\frac{d\tilde{S}(L)}{dL}\right|\beta=0=\frac{r^2}{2} \tag{3.17}$$

С учетом (16) и (17)

$$\lambda_r=\frac{r^2\rho w}{2} \tag{3.18}$$

С учетом модели пуассоновского поля поток запросов будет представлять собой простейший поток, для которого вероятность поступления k запросов за интервал времени t будет определяться как

$$p_k=\frac{(\lambda_r t)^k}{k!}e^{-\lambda_r t}=\frac{\left(\frac{r^2\rho w}{2}t\right)^k}{k!}e^{-\frac{r^2\rho w}{2}t} \tag{3.19}$$

На рисунке 3.9 приведено соотношение угловой скорости поворота (рад/с) и линейной скорости движения при равной интенсивности трафика для углов обзора $\alpha=\frac{\pi}{2}$ и $\alpha=\frac{\pi}{4}$.

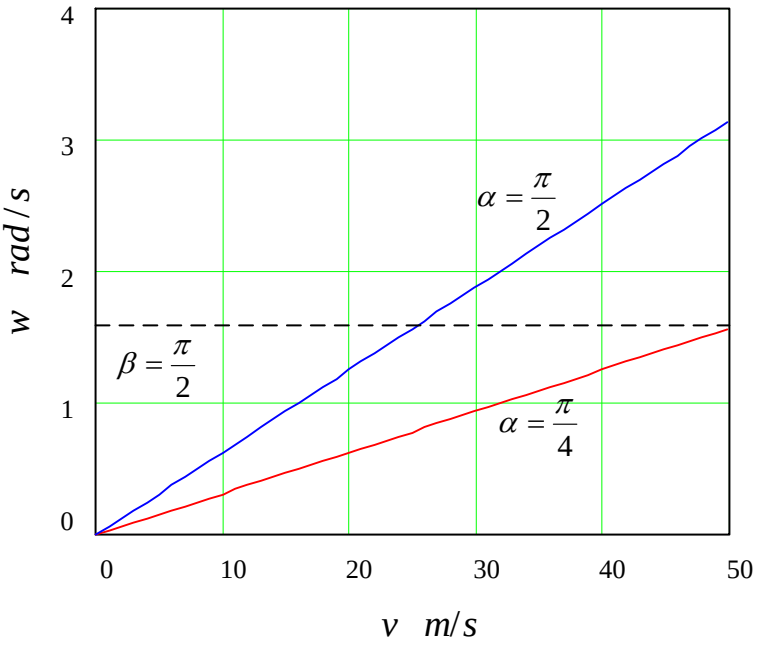

Рисунок 3.9 - Соотношения скорости угловой поворота и линейной скорости движения при равной интенсивности потока

Например, при повороте на угол $\beta = \pi/2$ за 1 с интенсивность трафика эквивалентна интенсивности трафика линейного движения со скоростью 50 м/с (180 км/час). В данном примере радиус выбран равным 50 м. Такое соотношение производимого трафика и особенности движения БПЛА следует учитывать при выборе способа реализации выбора и доставки данных.

Рассмотренная выше модель позволяет произвести анализ трафика услуги дополненной реальности без привязки к способу реализации услуги как в части серверной, так и в части клиентской составляющих. Конкретный способ реализации может существенно влиять на характер производимого трафика. Реализация характеризуется распределением функций обработки данных между клиентскими и серверными приложениями, а также способами выбора данных. В частности, это организация буферной памяти (кеша) клиентского приложения, определения его размера, скорости обновления данных, формирования запросов данных с учетом прогноза движения. Управление этими параметрами позволяет выбрать наиболее приемлемый режим использования ресурсов в зависимости от требований и поведения клиентского приложения или устройства.

3.2.3 Модель поведения (движения) пользователя

В главе 1 приводится подробное описание и классификация различных услуг ДР [345, 346]. Очевидно, что многообразие способов реализации услуг ДР и широта областей их применения требуют конкретизации модели услуги для каждого исследуемого случая. Для исследования модели движения пользователя рассматривались приложения, которые добавляют информацию к объектам различного характера. В частности, рассматривался пользователь, который идет по городу в очках дополненной реальности и ему необходимо получать информацию об окружающих его зданиях. Это может быть историческая справка о сооружении, представляющем архитектурную

ценность или поэтажный план торгового центра с указанием расположенных в нем магазинов или меню и наличие посетителей в ресторане.

3.2.3.1 Модель услуги ДР для Умного города (или в очках ДР)

В настоящее время современные технологии предоставляют человеку целый спектр новых возможностей, которые еще десятилетия назад были недоступны, и их реализация казалась невозможной [347, 348]. Однако уже сейчас они постепенно внедряются в нашу повседневную жизнь и становятся её неотъемлемой частью [349]. С каждым годом разработки выходят на совершенно новый уровень, делая массу полезных вещей: они способны распознавать лицо человека, его голос, мимику и жесты, а также определять эмоции и настроение. Например, существующие на данный момент устройства 3D-сканирования (так называемое биометрическое сканирование), используемые в различных областях медицины, могут просканировать лицо и тело человека, при этом используя все его анатомические особенности, что широко применяется для пластической хирургии [350 - 352].

Большинство технологий ориентировано не только на развлекательную сторону жизни, но и, прежде всего, на принесение пользы людям и упрощение их деятельности. В последнее время дополненная реальность всё больше интересует экспертов в IT -области, создателей игр и приложений на платформах Android и iOS, а также маркетологов [353, 354]. Данная технология позволяет человеку получать информацию совершенно новыми способами, совмещая в себе и виртуальное и реальное, и делает это простыми и наглядными способами. Она преобразует объекты реального мира в ином качестве, раскрывая их, пользователю с другой стороны.

Интерес пользователя к услугам дополненной реальности ставит новые задачи перед операторами, которые предоставляют данный вид услуг. Они должны поддерживать работу сети на должном уровне и обеспечивать требуемые значения показателей QoS и QoE. Для реализации таких услуг необходимо

пересмотреть подходы к построению сетей связи, так есть ряд работ, которые рассматривают новый вид коммуникаций - D2D и новый принцип организации сетей – SDN сети [355 - 361].

Предположим пользователь идет по улице в очках дополненной реальности ДР [362]. Очки подключены к смартфону, например, через технологию Bluetooth. Когда пользователь смотрит в какую-либо сторону, очки ДР считывают маркеры с объектов находящихся в поле зрения. Очки, например, Epson Moverio BT 200 управляются специальным пультом Moverio BT 200 (контроллер) версии Android 4.0.4, с помощью которого пользователь дает очкам команду визуализировать перед ним дополнительную информацию о выбранном объекте. На смартфоне пользователя установлено приложение для взаимодействия с очками ДР. Таким образом очки ДР через смартфон обращаются к базе данных сервера ДР. База данных хранит всю информацию об объектах в разных форматах. После того, как в базе данных успешно был определен объект, сервер извлекает о нем информацию и через сеть отправляет ее приложению. Оно, получив утвердительный ответ, накладывает слой на в виде текста, описывающего название и назначение объекта. Схема предоставления данной услуги представлена на рисунке 3.10.

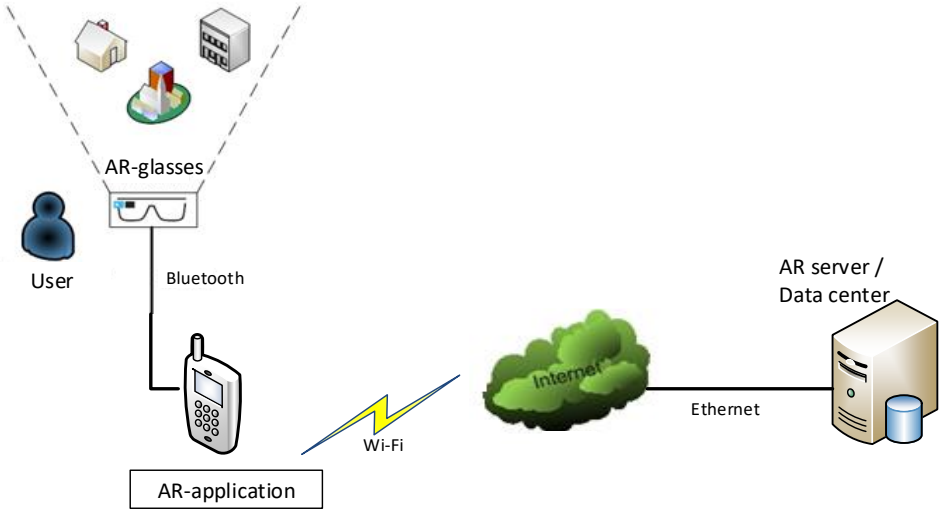

Рисунок 3.10 – Схема предоставления услуги ДР в очках ДР

Помимо описанного выше сценария, объекты, находящиеся в радиусе обзора пользователя, могут напрямую передавать информацию о себе. Это может быть расписание движения автобусов, если пользователь выбрал объект «автобусная остановка» или часы работы магазина. Для этого могут использоваться различные технологии, такие как Wi-Fi и D2D коммуникации. Также следует учесть, что данные могут поступать от объектов без участия пользователя. Т.е. пользователь не выбирает объект, о котором хочет получить информацию, а просто смотрит по сторонам и очки считывают данные со всех окружающих объектов. В любом случае возникает вопрос о том, какое количество информации может воспринять пользователь за определенный период времени. Пользователь может находится в месте с большой плотностью объектов дополненной реальности или двигаться с большой скоростью, и тогда часть полученной информации человек просто не успеет прочесть или осознать.

3.2.3.2 Модель восприятия пользователя

Пользователь услуги дополненной реальности получает некоторый объем дополнительной информации в виде сообщений различного типа: текстовых, графических, речевых, звуковых, тактильных и, возможно, других типов. Сообщения вводятся в окружение пользователя и доступны для восприятия.

Сделаем следующие допущения:

-пользователь способен адекватно воспринимать некоторое количество информации μ за единицу времени (интенсивность восприятия информации);

-интенсивность восприятия информации различна для различных типов сообщений (текст, графика, голос, звук, тактильные ощущения) μk, $k=1…K$;

-сообщения находятся в окружении пользователя в течение некоторого, в общем случае, ограниченного времени t;

-сообщения различного типа возникают (поступают) в окружение пользователя независимо друг от друга в случайные моменты времени;

-пользователь способен выбирать сообщение согласно степени его значимости (приоритета);

-пользователь способен прерывать обработку (восприятие текущего сообщения) при поступлении более значимого сообщения.

При сделанных допущениях модель пользователя может быть описана моделью СМО с выбором заявок согласно их приоритетам (с относительными приоритетами), как показано на рисунке 3.11.

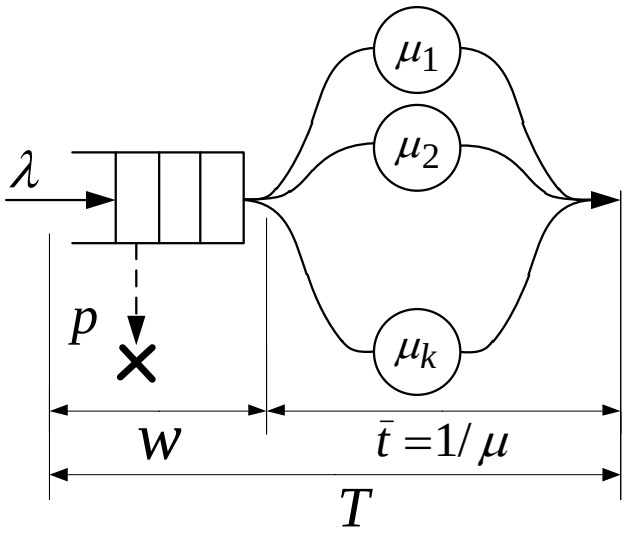

Рисунок 3.11 – Модель пользователя ДР

С учетом сказанного, время обслуживания случайно, а распределение времени обслуживания определяется смесью распределений

$$f(x) = \sum_{i=1}^{k} \xi_i p_i(x) \quad , \qquad (3.20)$$

где $p_i(x)$ - плотность вероятности времени обслуживания k-го типа сообщения;

$0 \le \xi_i \le 1, \quad \sum_{i=1}^{n} \xi_i = 1$ вероятность поступления сообщения i-го типа.

Как отмечено выше, в общем случае, модель восприятия ДР информации может быть описана системой массового обслуживания. Рассмотрим

использования для ее описания модели вида G/G/1 с приоритетным обслуживанием заявок. Учитывая случайный характер размещения элементов и характер движения пользователя, можно допустить более частный случай M/G/1 [7], который при указанных условиях может быть достаточно близок к реальной ситуации. Среднее время ожидания начала обслуживания для приоритета (типа) p в данной системе может быть определено как

$$w_p = \frac{\sum_{i=1}^{K} \lambda_i M\left(t_i^2\right)}{2\left(1-\theta_p\right)\left(1-\theta_{p-1}\right)} \qquad (3.21)$$

где λi – интенсивность потока сообщений i-го приоритета (типа);

μi – интенсивность обслуживания (восприятия) сообщений i-го приоритета (типа);

$M\left(t_i^2\right)$ - второй начальный момент функции распределения времени обслуживания сообщений i-го приоритета (типа);

$$\theta_p = \sum_{i=1}^{p} \frac{\lambda_i}{\mu_i}.$$

Аппроксимация распределения времени ожидания сообщения i-го типа приоритета может быть аппроксимирована выражением [1]

$$h_p(t) \approx 1 - p_{>0} e^{-\frac{p_{>0}}{w_p}} \qquad (3.22)$$

Для простейшего потока вероятность задержки в очереди численно равна значению интенсивности нагрузки $p_{>0} = \rho = \sum_{i=1}^{K} \frac{\lambda_i}{\mu_i}$.

Зная распределение времени восприятия (3.22) можно определить параметры системы на основе требований к времени ожидания. Время ожидания может и время обслуживания определяют время, в течение которого сообщения будет воспринято пользователем. Время восприятия сообщения i-го типа

$$T_i = w_i + \bar{t}_i \tag{3.23}$$

где среднее время обслуживания $\bar{t}_i = \frac{1}{\mu_i}$.

Требования к системе могут быть заданы как вероятность Λ0i того, что время ожидания сообщения не превысит некоторой пороговой величины T0i

$$h_p(T_{oi}) = p(t < T_{oi}) = \Lambda_{0\text{i}} \tag{3.24}$$

Выбор пороговой величины T0i времени ожидания может производиться из различных соображений, зависящих от особенностей услуги и значимости сообщений. В качестве характерного подхода можно исходить из того, что время ожидания не должно превышать времени пребывания сообщения в окружении пользователя, т.е. времени его существования.

Время пребывания сообщения в окружении пользователя определяется временем пребывания в ней соответствующего объекта и зависит от поведения пользователя [363]. Например, если окружение пользователя задано областью ограниченной кругом с радиусом R, то при прямолинейном и равномерном движении пользователя, рисунок 3.12, при случайном распределении объектов, путь пройденный объектом в области восприятия будет случайной величиной с плотностью вероятности

$$g(d) = \frac{1}{\pi R\sqrt{1-\left(\frac{d}{2R}\right)^2}} \tag{3.25}$$

и математическим ожиданием

$$M[d] = \bar{d} = \frac{4}{\pi}R \tag{3.26}$$

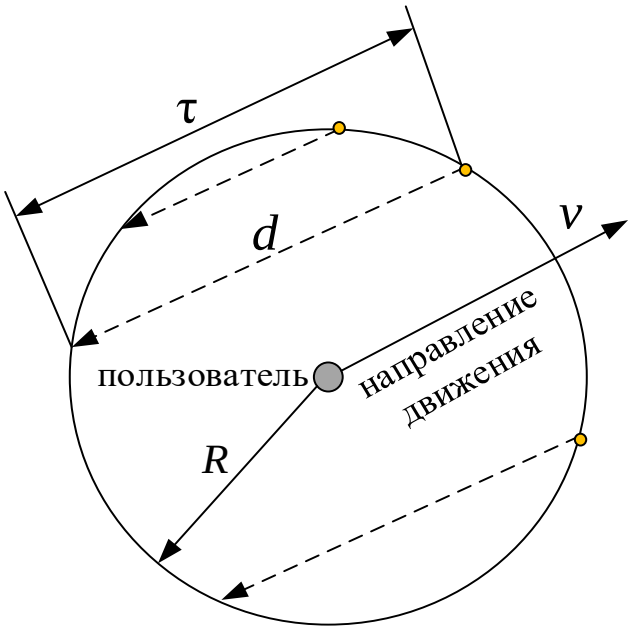

Рисунок 3.12 – Модель движения пользователя

При скорости движения пользователя v время пребывания объекта в области также будет случайной величиной с плотностью вероятности

$$q(t) = \frac{1}{\pi R\sqrt{1-\left(\frac{v}{2R}\tau\right)^2}} \tag{3.27}$$

и математическим ожиданием

$$M[t] = \vec{\tau} = \frac{4}{\pi}\frac{R}{v} \tag{3.28}$$

График плотности вероятности (3.23) приведен на рисунке 3.13.

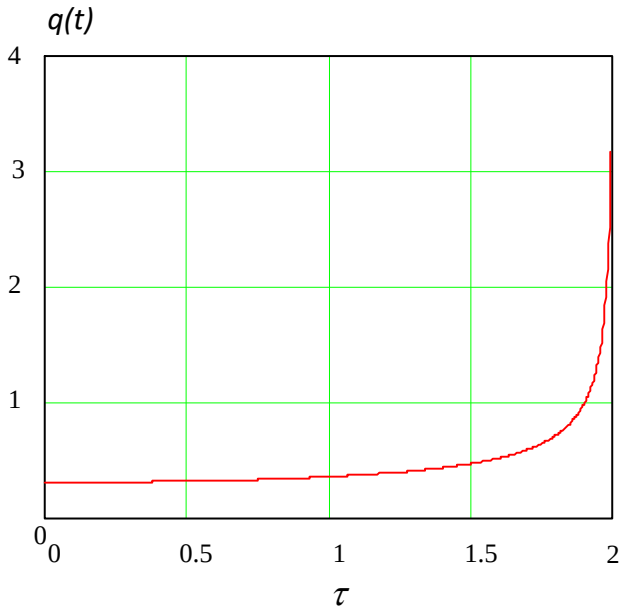

Рисунок 3.13 - Время пребывания объекта в области зрения пользователя

Выражения (3.27) и (3.28) дают возможность оценить время пребывания объектов в доступной для пользователя области и выбрать адекватное значение пороговой величины для выражения (3.24).

Задача построения системы в таком случае будет состоять в выборе значений параметров системы, при которых выполняется условие (3.24). Этими параметрами являются доли сообщений каждого типа и способы их формирования. Рассмотрим далее модель предоставления услуги.

3.2.3.3 Модель предоставления услуги ДР

Предоставление услуги дополненной реальности заключается в предоставлении пользователю дополнительной информации об его окружении в виде некоторого набора сообщений [365]. Предоставляемая информация может относиться к любым объектам как доступным, так и недоступным для непосредственного наблюдения и находящимся на различном расстоянии от пользователя, в зависимости от особенностей услуги. В общем случае, объем этой информации определяется теми данными, которые содержатся в БД услуги, а также могут быть получены из локальных хранилищ, размещенных

непосредственно на объектах (элементах ИВ), находящихся в зоне связи пользователя. Если в окружении пользователя имеется n объектов, снабженных некоторой информацией Ij, j=1…n. Общий объем информации будет определяться как $I = \sum_{j=1}^{n} I_j$. Информация о каждом объекте j может быть представлена в виде сообщения mj, которое формируется согласно некоторым правилам $m_j = R(I_j)$. Правила формирования сообщения включают в себя способ представления сообщения и метод его формирования. В качестве способов представления сообщений могут быть выбраны, например, представление в виде текста, графики (пиктограммы), речи, звука, тактильного воздействия и других способов представления. Метод формирования сообщения предполагает построение сообщения на основе имеющейся информации об объекте и требований к объему сообщения. Например, текстовое сообщение может быть подробным или сокращенным, графическое сообщение может содержать фотографию, план или краткую пиктограмму и т.п.

Таким образом, правила формирования сообщения могут быть определены как $R(I_j, U) = \{M_k(I_j, U), k(U)\}$, где Ij определяет метод построения сообщения для выбранного способа представления k, а способ представления также как и метод его формирования зависит от данных о состоянии пользователя U (k=1…K), где K количество возможных способов представления сообщения). Состояние (поведение) пользователя влияет как на выбор типа сообщения, так и на процесс его формирования. Цель данного процесса выбрать такой тип сообщения и его информативность, чтобы получить наибольший эффект от дополнительной информации, предоставляемой пользователю. Объем информации в сформированном сообщении равен $I_k = M_k(I_j, U)$.

Сделаем следующее допущение: пользователь способен адекватно воспринимать некоторое количество информации μ за единицу времени

(интенсивность восприятия информации). Интенсивность восприятия информации различна для различных способов формирования сообщений (текст, графика, голос, звук, тактильные ощущения) k=1…K. Формирование сообщения об объекте ДР показано на рисунке 3.14.

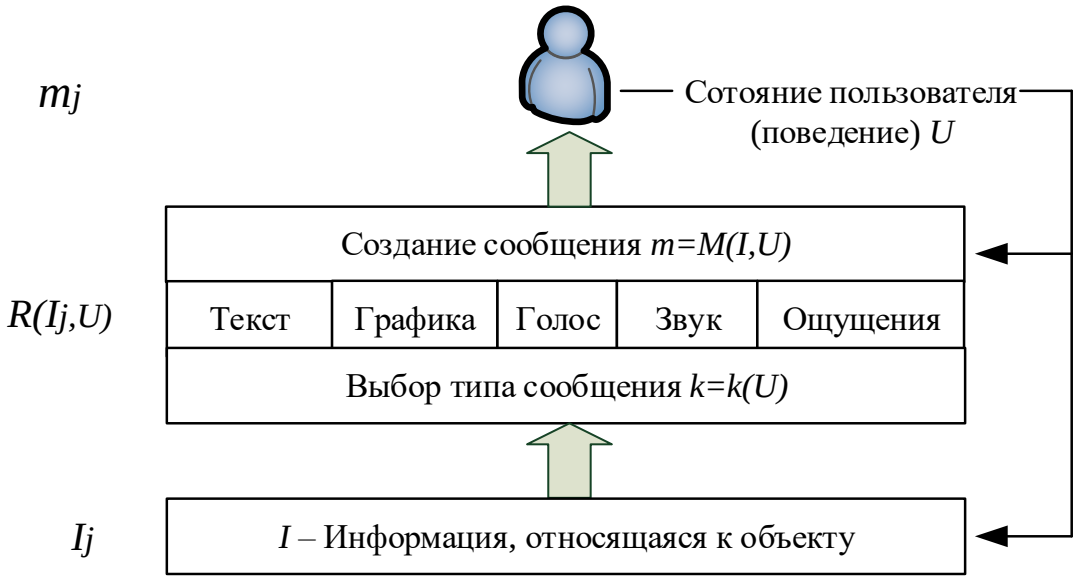

Рисунок 3.14 - Формирование сообщения об объекте ДР

Таким образом, это случайная величина, распределение которой зависит от распределения типов сообщений. Полагаем, что сообщение mj находится в области восприятия пользователя в течение некоторого времени τ. Это время зависит от параметров области окружения и характера перемещения пользователя, как было показано выше. Таким образом, параметры предоставления услуги, такие как способы представления сообщений и объем информации в сообщении влияют на количество воспринимаемых пользователем сообщений, следовательно, и воспринимаемое количество информации.

Оценим долю воспринимаемых пользователем сообщений через функцию распределения времени ожидания (3.24). Тогда выбрав значение T0, исходя из характеристик движения пользователя (3.27) и (3.28) можно сформулировать целевую функцию

$$\{M,k\} = \arg\left(\max_{k,M} \left(h_p(T_{oi}) I_p \right) \right) \tag{3.29}$$

$k = 1 \ldots K$;

$M = M(I,U)$;

где Ip – объем информации в сообщении.

Поиск максимума целевой функции состоит в достижении максимального объема воспринимаемой пользователем информации за заданный интервал времени T0. Это достигается выбором типов сообщений k=1…K и метода их представления M(I,U). Метод представления сообщения, фактически определяет объем информации в сообщении (детальное, сокращенное, краткое и т.д.). Выбор метода представления сообщения, в общем случае, требует отдельного рассмотрения. В данной работе полагаем, что M(I,U) это дискретная функция, значением которой является сообщение, которое может быть представлено в трех форматах: подробный, сокращенный и краткий форматы. Выбор того или иного формата определяется решением задачи (3.29).

В данных условиях задача (3.29) является задачей оптимизации дискретной целевой функции. В качестве метода ее решения может быть использован метод динамического программирования.