Павел Варгин
генеральный директор ПКБ «Рельеф»

Объёмное телевидение – символ XXI века

XIX век – век пара и электричества,
XX век – атомный,
XXI век – что станет его символом?
Нанотехнологии, интернет, мобильная связь, компьютер, …?

Многие изобретения, оказывая глубокое влияние на современную им науку и политику, изменяют мир и могут служить своеобразными символами эпохи. В XIX веке паровая машина привела в движение паровоз и пароход. Возможность за 80 дней (по расчетам Жюля Верна) обогнуть земной шар сильно уменьшила нашу планету в сознании человека. Телеграф и телефон способствовали еще большему ее уменьшению. Принцип относительности позволяют нам говорить о том, что произошло расширение сознания. Атомный XX век сменил век пара и электричества. Возможность одномоментной гибели цивилизации от силы атомной бомбы обозначила ужасную перспективу - уничтожение сознания человека. Политикам удалось преодолеть возникшую опасность, подняв нашу цивилизацию на новую ступень развития. Какое изобретение может стать символом XXI века? По-видимому, то, которое окажет наибольшее воздействие на наше сознание. Среди возможных претендентов на эту роль объемное телевидение обладает преимуществом, поскольку оно по своей сути предназначено для этого. Есть основания предполагать, что воздействие может приобрести необычайную силу, следствием которой может стать захват сознания. Феномен захвата сознания состоит в невозможности или устойчивом нежелание сопротивляться постороннему воздействию на разум человека.

Каким будет объёмное телевидение? Может быть, вы сразу представили себе стереотелевидение или стереокино, фильмы «Аватар» или «Алиса в стране чудес»? Это ошибочное, а точнее, далеко не полное, представление.

С точки зрения телезрителя, по сравнению с обычным телевидением, объемное будет обладать двумя новыми качествами: трехмерной интерактивностью - возможностью взаимодействия с изображением и объемностью, позволяющей глазам человека работать в естественном режиме, перемещая взор с близких объектов наблюдения на дальние. Ранее в журнале Broadcasting (Радиовещание) №№ 6,7. 2007 г., обсуждалась возможность технической реализации объёмного телевидения. В этой статье мы расскажем о некоторых его особенностях.

Анализ термина «объёмное телевидение»

Буквальный перевод слова «телевидение» – «дальновидение» - обозначает возможность наблюдать далёкие от нас события. Далёкие, не только в пространстве, но и во времени, так как существует возможность записи событий прошлого. Заметим, что телевидение осуществляет также дальнослышание. В принципе, существует возможность передачи на большие расстояния запахов, тактильных и даже вкусовых ощущений. Возможно также дистанционное воздействие на вестибулярный аппарат человека. И всё-таки используется термин телевидение так как считается, что наибольший объём информации человек получает через зрение.

Слово «объёмное» созвучно слову «обнимать». Корень слова «ём» означает действие сходное со значением слов: «взятие, хватание».

Это действие иллюстрирует рис. 1, где объект А осуществляет ём объекта В.

Сравните с фразой: Я «ем (кушаю)». Приставка «Об (о)» означает круговой, всесторонний характер действия. Такое действие в заключительной его фазе иллюстрирует рис. 2.

На рисунках приведены плоские схемы, нам же следует представлять указанные действия как пространственные.

В этой статье мы говорим о телевидении и обнимать объекты мы собираемся в основном визуально, при помощи глаз и телекамеры. Таким образом, в данном случае речь идет о всестороннем охвате объектов физического мира. Использование терминов, связанных с телесными ощущениями, оправдывается их понятностью для всех носителей языка.

Иногда в качестве альтернативы термину «объёмное телевидение» предлагаются другие варианты. Например, стереотелевидение (от греч. στερεός - пространственный). Исторически термин привязан к методам создания, передачи и воспроизведения стереопары – двух слегка различных изображений для левого и правого глаза. Метод стереопары не подразумевает трехмерной интерактивности и не обеспечивает полной объёмности изображения.

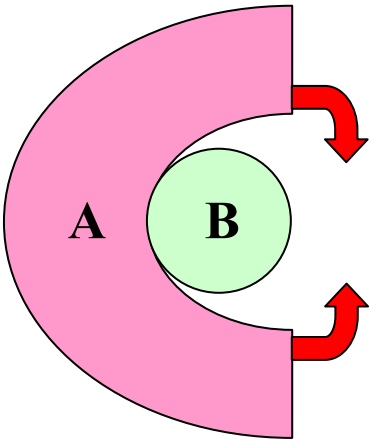


Рис. 1. Ём

Другой вариант - телевидение со свободной точкой наблюдения (англ. - free viewpoint television) возник в связи с развитием многоракурсных методов воспроизведения плоских изображений. Этот термин обычно подразумевает ограниченную инерактивность, но не указывает на объемность изображения.

Термин «виртуальная реальность» (от лат. virtus — потенциальный, возможный и лат. realis — действительный, существующий) – дословно «нереальная (кажущаяся) реальность», в приложении к телевидению, акцентировал бы внимание на реалистичности воспроизведения модели мира телевизором. В телевидении качество телевизионного изображения, его реалистичность принято оценивать множеством предназначенных для этого метрологических характеристик. Говорить об уже состоявшейся реальности воспроизведения не приходится, поскольку нет предела совершенству. Вместе с тем, необходимо отметить, что термин виртуальная реальность в технике ассоциируется с многомодальностью (воздействием на различные органы чувств), что, конечно, соответствует направлению развития объёмного телевидения.

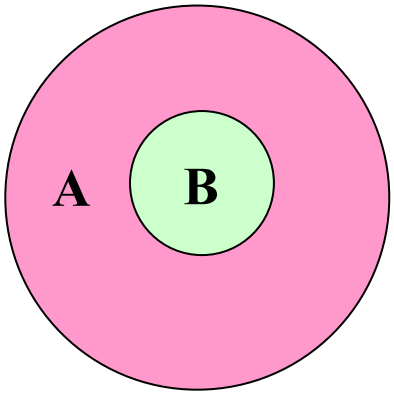


Рис. 2. Объём

Переходя теперь к классификации систем объёмного телевидения, хотелось бы заметить, что если вы уважаемый читатель никогда не были в стереокино (3D-кинематографе), то вы можете все-таки представить себе, что такое объёмность телевизионного изображения, глядя в окно или в зеркало. Но если вам не довелось играть в компьютерные 3D игры, вам, скорее всего, будет трудно представить себе, что такое трёхмерная интерактивность. Важно не только посмотреть, как играют в «стрелялки» в ближайшем интернет-кафе, но и самому попробовать двигаться внутри изображения с

помощью компьютерной мыши или джойстика. Трехмерный телевизионный мир отличается от игрового мира тем, что последний нарисован художником – создателем 3D игры, а в случае объёмного телевидения он строится в реальном времени в памяти компьютера с помощью множества специальных объёмных телекамер. Опыт трехмерного взаимодействия с объемным изображением на примере компьютерной игры позволит вам с полным пониманием обратиться к следующим разделам настоящей статьи.

Подчеркнем, что фундаментальное отличие системы объемного телевидения от системы обычного плоского или стереоскопического телевидения состоит в том, что объектом телевизионной передачи является не сюжет, показанный телережиссером, а трехмерный телевизионный мир, в котором разворачивается сюжет доступный наблюдению с любой, выбранной телезрителем, точки зрения, с задействованием всех механизмов восприятия этого мира зрительной системой человека. При этом и у самого телережиссера возможности формировать свою точку зрения на события резко возрастают. Пассивный телезритель может не включать режим интерактивности и смотреть на мир глазами режиссера. В любом случае при просмотре объемной телепередачи появится захватывающая иллюзия реальности происходящего.

Классификация систем объёмного телевидения

Объекты наблюдения, которые составляют физический мир, доступны глазу человека и телекамере, благодаря формируемому ими световому полю. Обсуждая фундаментальные вопросы зрения человека, Э.Х. Адельсон и Д.Р.Берген в статье «Пленоптическая функция и элементы первичной стадии зрения» (The plenoptic function and the elements of early vision ,1991 г.) ввели описывающую «все, что можно увидеть» пленоптическую функцию (от лат. plenus – полный и англ.. optic – оптический). Она представляет собой запись распределения интенсивности света внутри пучка лучей на входе оптической системы глаза $P = P(\theta, \phi, \lambda, t, V_x, V_y, V_z)$, где: θ, φ – угол места и азимут линии визирования, V_x, V_y, V_z - координаты наблюдателя, λ - длина волны света и t – время. Эта функция позволила авторам создать таблицу базовых визуальных элементов, подобную периодической таблице Д.И.Менделеева. Элементы таблицы представляют собой двумерные сечения пленоптической функции. Некоторые из этих элементов являются математическими аналогами рецептивных полей (см. ниже) зрительной системы человека. Функция нашла широкое применение в литературе по компьютерной графике и многоракурсному телевидению.

Для классификации систем объёмного телевидения можно использовать геометрическую часть пленоптической функции, при этом параметр λ, связанный с цветом излучения можно опустить, подразумевая, конечно, что объемное изображение цветное. В отличие от глаза, объемная телевизионная камера способна использовать зависимость пленоптической функции от времени, для определения расстояния r от точки наблюдения до наблюдаемой точки объекта методом активной светолокации (см. ниже), при этом r и t связаны известной линейной зависимостью. Заменим также оригинальные обозначения V_x, V_y, V_z на x, y, z соответственно.

При новой параметризации получим: $P \equiv P(\theta, \phi, r, x, y, z)$ - функцию шести переменных (измерений), где: θ, φ, r – составляют сферическую систему координат с центром в точке наблюдения, а x, y, z – декартовы координаты точки наблюдения. Для определенности углы θ, φ можно отсчитывать относительно оси параллельной оси глубины - z. Оси x - горизонтальную и y - вертикальную в одних случаях (для измерений) удобно выбрать параллельными плоскости окна объёмного телевизора, а в других (для навигации) привязать к какому либо объекту телевизионного изображения. Шесть параметров (измерений) практически полностью определяют конфигурацию (геометрию) системы отображения в пространстве. Хотя в некоторых случаях полезным может оказаться введение параметра ψ – поворота телевизионной камеры вокруг оптической оси (крена) и тогда общее число измерений может вырасти до семи. Заметим, что у человека существует специальный механизм, парирующий повороты глаз вокруг оси зрения при наклоне головы вбок. Можно

считать, что θ, φ, r – числовые значения координат точки поверхности наблюдаемого объекта в субъективной системе координат, а x, y, z – объективные координаты центра зрачка глаза субъекта или объектива телекамеры.

Сегодня на рынке кинооборудования принято говорить о 3D (трехмерном) стереоскопическом изображении. В 4D кинозале добавляются кресла с динамическими платформами. В 5D кинематографе добавляется комплекс спецэффектов (ветер, брызги воды, генераторы дыма и снега, имитаторы прикосновений и покалываний, инжекторы запахов). Такое употребление терминов (3D, 4D, 5D) обусловлено скорее рекламными, чем техническими соображениями.

Наш выбор параметров классификации систем объёмного телевидения соответствует геометрии отображения физического мира человеком и обусловлен стремлением к тому, чтобы телевизионная система максимально ей соответствовала.

Уточненный нами геометрический вид пленоптической функции, позволяет говорить о шестимерности развитой системы объемного телевидения. Учитывая это, можно составить следующую классификацию систем объёмного телевидения (таблица):

Таблица

№ п/п	Параметры	Формула (полная)	Формула (сокращенная)	Телевидение
1	θ, φ	2D(θ, φ)	**2D**	Двумерное (обычное)
2	θ, φ, r	3D(θ, φ, r); 2,5D(θ, φ, r)	**3D; [2,5D]**	Объёмное [стереоскопическое] без оглядывания объектов наблюдения
3	θ, φ, r, x	4D(θ, φ, r, x)	**4D(r, x)**	Объёмное с оглядыванием по горизонтали
4	θ, φ, r, x, y	5D(θ, φ, r, x, y)	**5D(r, x, y)**	Объёмное с оглядыванием по горизонтали и вертикали
5	θ, φ, r, x, y, z	6D(θ, φ, r, x, y, z)	**6D(r, x, y, z)**	Объёмное с произвольным перемещением точки наблюдения

θ, φ – угол места и азимут линии визирования; r – расстояние от точки наблюдения до точки объекта; x, y, z – координаты наблюдателя.

В соответствии с приведенной таблицей, необходимо привести формулу обсуждаемого варианта системы телевидения, например, 3D(θ, φ, x), что означает, что мы имеем дело с двумерным изображением θ, φ трехмерной модели, при возможности ее оглядывания, перемещаясь по горизонтали x. Такая формула отсутствует в таблице, содержащей лишь некоторые примеры. Смысл ее очевиден. В данном случае в телевизионной системе отсутствует измерение r, то есть, не предусмотрена возможность изменения аккомодации и конвергенции глаз при отслеживании объёмного сюжета.

Поскольку наличие координат θ и φ в телевизионной системе обязательно, их можно опустить и использовать сокращенную формулу, например, **5D(r, x, z)**. Последняя обозначает систему объемного телевидения, или телевизора (формулы могут не совпадать) с трехмерным (**r**) изображением и возможностью перемещаться в трехмерном пространстве (трехмерная интерактивность) в горизонтальной плоскости (**x, z**).

В нашей системе классификации обычная стереоскопическая система будет иметь обозначение **2,5D(r)** или просто **2,5D**.

Такое дробное обозначение нуждается в пояснении. Когда мы направляем свое внимание на определенную зону пространства, задавая дистанцию наблюдения, эта зона выделяется с помощью органа зрения. Выделение по углу происходит благодаря пику разрешающей способности глаза возле линии визирования (рис. 14), а выделение по глубине (дальности) благодаря аккомодации и конвергенции глаз. Аккомодация (фокусировка) глаза обеспечивает ясное видение в пределах глубины резкости. Конвергенция (скашивание) глаз минимизирует диспаратность (рис. 14) на выбранной дистанции наблюдения, исключая двоение изображения. Если телевизионная система не обеспечивает функций конвергенции и

аккомодации глаз, то в ней отсутствует измерение **r**, если обеспечивает обе функции, мы говорим о наличии этого измерения, если обеспечивается только одна, о 50 % реализации измерения **r** или о **0,5 r**. При наблюдении стереопары конвергенция глаз меняется при переносе внимания с близких точек объекта на дальние, а аккомодация остается неизменной, соответствуя дистанции расположения стереопары. Такая неестественная работа глаз приводит к их повышенному утомлению.

Схемы наблюдения

Рис.3. Объёмный телевизор замкнутого (аквариумного) типа, замыкает (вырезает) небольшой сферический объём большого телевизионного мира.

Рис. 4. Объёмный телевизор открытого типа, обеспечивает естественный обзор телевизионного мира из малого виртуального объёма.

Вводя классификацию систем объёмного телевидения, необходимо отметить, что любая функция, включая пленоптическую, имеет область определения и область значений. В общем случае областью определения *n* - мерной функции, с учетом возможного вырождения по координатам, является *к* - мерное многообразие, где $к \leq n$, что подчеркивает возможную зависимость областей определения различных параметров пленоптической функции друг от друга. При оценке ее области определения необходимо учитывать наличие двух миров физического и телевизионного, системы пространственных координат которых необходимо привязывать друг к другу. Для случая классификации систем объемного телевидения следует определять координаты точки наблюдения x, y, z в системе координат, привязанной к телевизионному миру (пространству телевизионного изображения).

Рис. 3 иллюстрирует «аквариумную» - с замкнутым объёмом изображения схему объемного телевидения, когда наблюдаемый сюжет ограничен сферической поверхностью. В данном случае систему телевидения можно характеризовать формулой 6D(θ, φ, r, x, y, z). Точка наблюдения здесь находится в точке физического пространства, внешней по отношению к пространству изображения. В отличие от физического аквариума вы можете менять с помощью джойстика содержание объемного изображения сферического терминала (телевизора) в интерактивном режиме, виртуально изменяя координаты x, y, z и перемещаясь, таким образом, в совершенно другую область телевизионного мира. С другой

стороны вы можете, при желании обойти свой «аквариум» кругом, приблизиться или удалиться от него, тем самым, физически изменяя свои координаты x, y, z в физическом мире. В обоих случаях центр системы координат x, y, z остается привязанным к какой либо выбранной точке объёмного изображения.

Приведенную схему наблюдения большого телевизионного мира трудно назвать естественной, поскольку мы привыкли видеть окружающий мир без резких ограничений его объёма. Конструкция монитора (телевизора) должна обеспечивать восприятие объёмного изображения без искусственных ограничений по глубине и с достаточно широким полем зрения (рис. 4). В этом случае у телезрителя легко возникает иллюзия присутствия внутри телевизионного изображения, при минимально ощущаемых собственных размерах. Здесь мы также имеем дело с системой телевидения, характеризуемой формулой 6D(θ, φ, r, x, y, z). Центр системы координат x, y, z в данном случае также следует привязать к выбранной точке объемного изображения. Для обеих схем наблюдения может оказаться удобным поворот системы координат x, y, z вокруг вертикальной оси y так, чтобы ось z была направлена в сторону наблюдателя.

Область пространства изображения в совокупности с привязанной к ней областью физического объема возможного перемещения точки наблюдения представляет собой пространство наблюдателя.

Область определения координат θ, φ, r, зависящая от положения точки наблюдения и поворота зрителя представляет собой пространство (зону) наблюдения.

Все познается в сравнении. Можно было бы вести рассказ об объемном телевидении, сравнивая его с обычным «плоским» телевидением, но более экономным представляется путь проведения параллелей между системой объёмного телевидения и сознанием человека. Сознание - субъективная модель окружающего мира, формируется в процессе активности человека в трехмерном физическом мире. Всю жизнь мы совершенствуем эту модель, познавая мир.

Когнитивная наука

Весь комплекс таких наук, как психология, лингвистика, нейрофизиология, философия, искусственный интеллект, нейроинформатика, антропология, экономика и др., предоставляющих свои методы и наработки для исследований познавательных возможностей человека принято сегодня называть когнитивной наукой. Можно предполагать, что её достижения будут востребованы объёмным телевидением в полной мере, оно же в свою очередь будет влиять на ее развитие.

При создании развитой системы объёмного телевидения человечество вплотную подойдет к тайне сознания, важнейшим инструментом которого является воображение. Наше воображение воспроизводит объемные зрительные образы. В памяти человека содержится неисчислимое их количество. Слова нашего языка являются кодом доступа к этой памяти. В своем сознании мы можем масштабировать, вращать, перемещать объемные сцены, синтезировать их цепочки. Мы можем определять жизнь действующих лиц, живущих в наших мыслях, многократно проигрывая и изменяя историю их бытия. При этом воображаемые объекты обычно похожи на реальные, но могут приобретать иногда и совершенно необычные формы. По существу, реальный мир - пища для нашей фантазии.

Объемное телевидение будет обладать всеми возможностями воображения отдельного человека и превосходить его, поскольку оно, в части информационного содержания, будет плодом усилий всей цивилизации.

До изобретения телевидения и фотографии человек отправлялся в путешествие, смотрел по сторонам, возвращался домой и рисовал соседям картины дальних стран с помощью карандаша или словами с помощью воображения собеседника. Фотоаппарат, а затем киноаппарат сделали эти картины более достоверными. Телевидение ликвидировало задержку во времени. Большинство людей знакомы с фото, кино и телетехникой. Некоторым приходилось играть в компьютерные 3D игры. Но, далеко не каждый, по-видимому, задумывался над тем, как он осознает окружающий мир. Однако для того чтобы заглянуть в будущее и представить себе возможности объёмного телевидения необходимо приготовиться

к погружению в синтез компьютерных, телевизионных и когнитивных технологий. Говоря о сознании человека, мы должны представлять себе, что это просто весьма изощренный механизм отображения реальности. Инженеру, занимающемуся разработкой системы объемного телевидения, которая также представляет собой механизм отображения, следует освоить особую не техническую терминологию для использования в своем творчестве технических решений природы.

Поскольку сознание формируется в процессе познания, предельно упрощенная модель процесса познания будет полезна при обсуждении свойств объёмного телевидения.

На рис. 1 тело А познаёт (осязает) поверхность тела В и его форму. Объект В «знал» (сохранял) свою поверхность и форму. Субъект А познал (скопировал при контакте) эти свойства В и таким образом возникло со-знание А, то есть у А появилось совместное с В знание. Так наглядно мы определили две важнейших функции сознания: познание как процесс и знание как результат этого процесса.

Субъект (носитель сознания) А кроме В поочередно познает множество объектов С, D,… окружающей его среды. Познав объекты по отдельности, субъект познает их как множество, выявляя их соотношения. Соотношения могут динамично изменяться.

Человек слепой и глухой познает предметы окружающего мира в основном через осязание или объятие. Кроме относительных координат элементов поверхности предмета он может определить ее шершавость, твердость, теплоту, влажность и пр.

Зрячий и слышащий человек активно пользуется дистанционным методом познания окружающей среды. Именно так можно быстрее «объять необъятное».

Субъект познает необъятный (превосходящий размер его объятий) мир, моделируя этот мир. Он создаёт модель окружающего мира в своем сознании из фрагментов своих ощущений. Информация зрения, слуха, осязания автоматически наносится на некую «карту», которая постоянно, при смене ракурса наблюдения, сверяется с окружающим миром и уточняется. При постоянных движениях глаз и тела человека, для привязки карты к местности важен учет этих движений. Так обеспечивается константность восприятия человеком пространства.

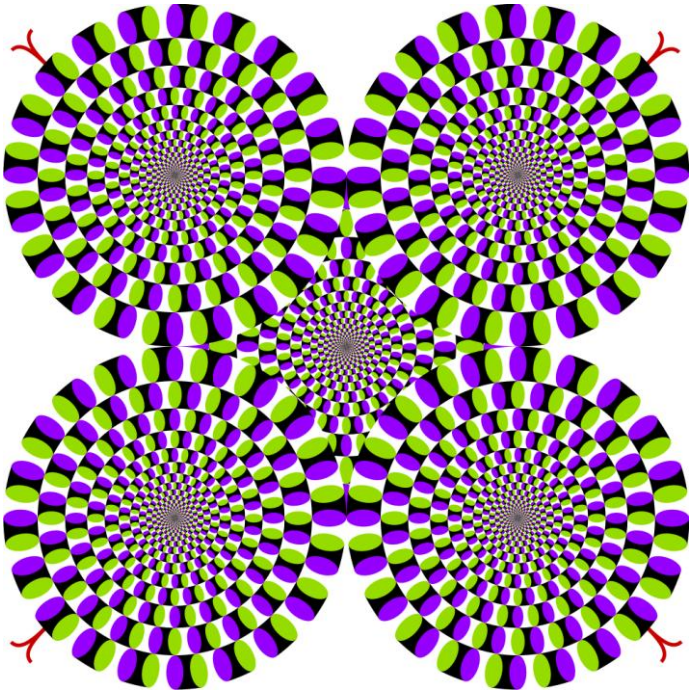


Рис. 5. Иллюзия вращающихся колёс.

В рамках данной статьи нас не слишком интересует, какова физическая реализация этой карты (памяти), то есть, представляет ли она собой нейронную или синаптическую сеть или биохимический комплекс, также как пока нас не интересует, будут ли реализованы схемы объемного телевидения с применением фотолитографии или нанотехнологий.

В математике существует понятие гомеоморфизма – взаимно однозначного соответствия между двумя математическими объектами. Если модель мира субъекта соответствует, как нам кажется, реальности, мы называем её адекватной, но при этом мы должны понимать, что модель никогда не бывает гомеоморфной.

Доказательством последнего является наличие оптических иллюзий (обмана зрения) Например, на рис.5 многие люди, хотя и не все, видят вращение колес, которое на самом деле отсутствует.

Восприятие мира может также сопровождаться иллюзиями, связанными с достройкой модели мира, при отсутствии необходимых данных от органов чувств, то есть с фантазией человека, с его воображением. В языке это свойство сознания закреплено в выражении «мне показалось». Правильная достройка возможна потому, что человек знает законы изменения

формы мира, при перемещении в нем. Эти законы он постигает еще в детстве, во время игр. Учитывая эти законы, сознание субъекта может не только достраивать модель мира, в процессе восприятия, но и создавать собственные воображаемые миры.

Телевизионная модель физического мира, создаваемая из фрагментов, получаемых с помощью объёмных телекамер, также должна обладать целостностью и стабильностью воспроизведения (константностью). Во многих случаях мы можем не добиваться идентичности телевизионного мира миру физическому, ограничившись их похожестью.

Объёмное телевидение в значительной мере будет копировать как окружающий мир, так и сознание человека. Творческий коллектив, участвующий в создании объёмной телепередачи, создает компьютерную модель мира, в которой могут действовать персонажи реального мира, анимационные персонажи, а также телезрители. Такую модель можно назвать смешанной реальностью (англ. mixed reality). Другими словами телевизионный мир в известном смысле сложнее физического, поскольку может представлять собой синтез моделей физического и воображаемых миров.

Три мира

Так устроен человек и так идет развитие цивилизации, что в недалеком будущем, мы сможем иметь доступ в три трехмерных мира: физический, телевизионный и мир воображения. Каждый из этих миров допускает трехмерную интерактивность.

На рис.6 символически показаны эти три мира: физический 1, телевизионный 2, и воображаемый 3, воспринимаемые (сплошные стрелки) субъектом (4), в соответствии с переключением его внимания (пунктирные стрелки). Миры связаны между собой взаимодействием – интерактивностью (двунаправленные стрелки). Поскольку для субъекта важно не просто увидеть, а узнать объект наблюдения его восприятие происходит одновременно с действием его воображения, то есть одновременно с синтезом умственной модели объекта путем трансформации содержимого памяти субъекта. Если субъект наблюдает мир 1, то его внимание переключается с высокой скоростью, от впечатления из мира 1 к впечатлению из мира 3. Субъект подобен скульптору, многократно переводящему взгляд с живой модели на мраморную, которую он должен сделать подобной оригиналу. Аналогично, при наблюдении телевизионного мира внимание переключается между миром 2 и 3. Аналогия зрительной модели со скульптурой весьма условна, поскольку зрительная модель, это лишь некоторый код, извлекаемый из памяти субъекта, который создает у него иллюзию видимости знакомого объекта. Эта иллюзия – гипотеза позволяет ему направлять взор на информативные (характерные) участки модели и сличать их с участками видимого внешнего мира, реагируя на различия. Если гипотеза подтверждается, он решает что узнал объект внешнего мира, если нет выдвигает новую гипотезу, если объект ни на что не похож, конструирует из знакомых элементов синтетический образ, называет его и запоминает для будущих узнаваний. Поскольку время пространственной фиксации взора ограничено периодом между непроизвольными скачками глаз – микросаккадами (около трехсот миллисекунд), количество последовательных итераций модели к впечатлению от

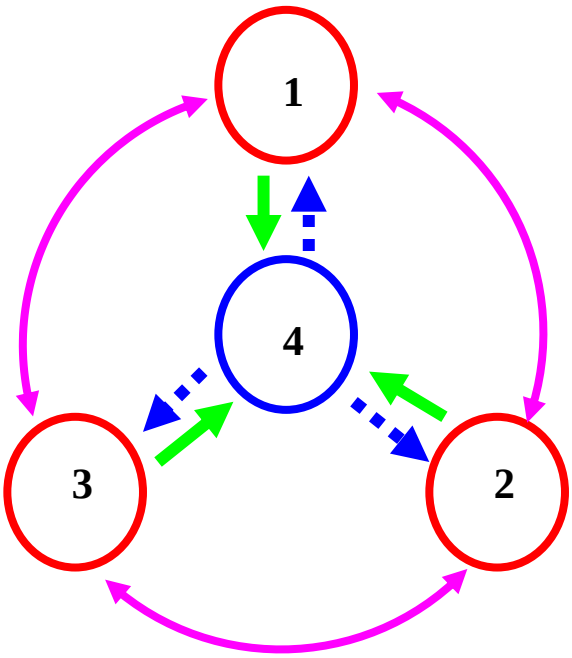


Рис. 6. Наблюдаемые миры: 1 – физический, 2 – телевизионный, 3 – воображаемый (сновидений). Субъект 4 воспринимает (сплошная стрелка) то, на что направлена стрела (пунктирная) его внимания.

объекта наблюдения ограничено примерно десятью. Обычно человек быстро и хорошо узнает объекты внешнего мира, что говорить о весьма эффективном кодировании и обработке визуальной информации в его зрительной системе. Мы можем узнавать объекты по нескольким штрихам их рисунка, размытой черно-белой фотографии, единственному, характерному цветному пятну или особенности движения. Это наводит на мысль о различных, взаимно дополняющих системах кодирования. Действительно, в коре головного мозга найдены (Д.Хьюбел, «Глаз, мозг, зрение», 1990) специализированные нейроны, реагирующие на направления штрихов, углы, пространственные частоты, цвет и движение наблюдаемых объектов.

В развитой системе объемного телевидения при отображении мира 1 в мир 2 процесс отображения может происходить во многом аналогично. Распознанные объекты могут сличаться с их моделями, что выгодно с информационной точки зрения. При этом с каждым телевизионным кадром имеющаяся большая телевизионная трехмерная модель мира не должна обновляется целиком, а лишь корректироваться в той ее части, где за время кадра появились различия между моделью и отображением внешнего мира. Телевизионная система, состоящая из множества объемных телекамер, может следить за физическим миром и обращать свое внимание только на существенные его изменения. Реагирование на изменения – общий принцип живых организмов, выработанный долгой эволюцией.

При обучении синтезу умственной модели ребенок совершает ее аффинные (масштаб, поворот, смещение) преобразования, например, при игре с кубиком, а также преобразования сжатия – растяжения - изгиба, при игре с мягкой или резиновой игрушкой. Заметим, что ввиду особенностей зрения младенца, поначалу все трансформации доступные ему происходят в области низких пространственных частот и лишь с возрастом он осваивает высокие пространственные частоты, расширяя пространственную зону наблюдения, а к полугоду развивает бинокулярное (трехмерное) зрение.

В системе объёмного телевидения могут осуществляться практически любые трансформации телевизионного мира как на передающей, так и на приемной стороне. Можно, например, осуществить инверсную стереографическую проекцию телевизионного мира в сферу по формуле $\rho = R^2/\rho'$, где: ρ и ρ' - радиальные координаты точек внешнего и внутреннего пространства сферы с началом в ее центре, а R - радиус сферы равный, например, радиусу сферы объёмного телевизора рис. 4. В этом случае гигантский внешний мир «свернется» в объём сферы. Разумеется, при этом он претерпит громадные нелинейные искажения, но он будет вполне точной объёмной картой этого мира, а мы сможем в интерактивном режиме проникнуть внутрь этой карты.

При освоении пространства физического мира с первых дней жизни кроме зрения активно при наличии хватательного и сосательного рефлексов используется осязание. Ребенок осваивает мир, обнимая его в прямом и переносном смысле. Постепенно он формирует свое перцептивное (ощущаемое) пространство, которое и является его моделью наблюдаемого физического мира. Заметим, что геометрические свойства этого пространства отличаются от свойств евклидова пространства. Эти свойства изучаются как экспериментально, так и путем анализа геометрических свойств картин нарисованных различными художниками, в которых явно присутствуют законы перцептивной проекции. Математическое описание геометрических свойства перцептивного пространства формируемого из сетчаточного образа путем растяжений и сжатий его элементов под действием механизмов константности величины и формы получено Б.В.Раушенбахом (1980).

Здесь уместно задать себе чисто телевизионные вопросы. Каково качество изображения субъективного мира при закрытых глазах, то есть при отсутствии синхронизирующих воображение внешних впечатлений? Насколько четко может воспроизводить мир наше воображение? Насколько насыщенными могут быть цвета воображаемых трехмерных объектов? Какова динамика этих объектов? И, наконец, каковы возможности трехмерной интерактивности в воображаемом мире? Вопросы эти отнюдь не праздные, поскольку обсуждаемое здесь взаимодействие трех миров может приводить к самым неожиданным последствиям для человека.

Если мы закроем глаза и постараемся вообразить цветную трехмерную сцену, вряд ли эта попытка нас удовлетворит. Скорее всего, мы зафиксируем что-то вроде фрагмента из

мира теней. Яркое – эйдетическое воображение, когда человек в течение нескольких минут способен удерживать перед закрытыми глазами образ увиденного предмета, в наше время, по наблюдениям психологов, редкость и чаще встречается у детей в возрасте до 5 лет.

Особым состоянием сознания является сон. Во сне мы сталкиваемся с действием нашего воображения при отсутствии внешних впечатлений. Все люди видят сны, но не все их помнят. Помнящие сновидцы иногда описывают очень яркие и четкие цветные сны.

Исключительный интерес представляет динамика сна. Сновидения, по наблюдениям ученых возникают в фазе быстрых движений глаз. В этой фазе сна, появляющейся несколько раз за ночь, человек, видящий сон, переводит взор с одних объектов мира сна на другие, при этом его глаза физически совершают скачки (саккады), аналогично тому, как это происходит наяву. То есть глаза сохраняют подвижность, в то время как все остальные части тела спящего человека обездвижены. Это свойство глаз в принципе позволяет осуществлять объективный контроль визуальных впечатлений спящего человека, например, методами аналогичными методу А.Л.Ярбуса рис.7, когда след движения глаз позволяет угадать объект, разглядываемый во сне.

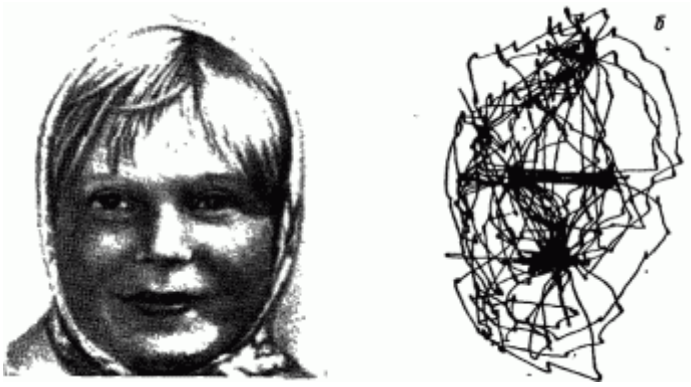


Рис. 7. Слева рассматриваемый портрет. Справа запись движений глаз.

Как правило, внимание сновидца не принадлежит ему самому. Он видит сон как пассивный кинозритель по программе не им созданной. Являясь персонажем сна, он следует за его сюжетом некритически, оправдывая для себя самые нелепые его повороты. Такие сны вспоминаются обычно (но не обязательно) как почти черно-белые, не слишком четкие иллюстрации к различным эмоциональным состояниям. Это прекрасный пример захвата сознания.

Совершенно иная картина наблюдается в осознанном сновидении. Спонтанно осознанные сновидения возникают редко и, по-видимому, не у всех. Человек видит сон и знает, что спит. Во сне он обладает волей, способен формулировать и выполнять свои желания, ставить эксперименты и при этом помнить о решениях принятых им наяву. Методики обучения осознанному сновидению, разработанные, например, в Центре изучения сна при Стэндфордском университете, позволяют обучить ему, любого человека. Особенно важно то, что движения глаз онейронавта, фиксируемые с помощью полиграфа («детектора лжи» в некоторых приложениях) позволяют ему установить одностороннюю связь с лабораторией. Начиная и заканчивая эксперимент во сне, он подает сигнал об этом заранее оговоренным движением глаз, например, влево – вправо семь раз.

Осознанно сновидящий прекрасно помнит свой сон после пробуждения, его сон цветной, яркий, четкий, не уступающий, при желании, по качеству изображения наблюдению физического мира наяву. Он способен силой своего желания изменять динамику сновидения, то есть обладает практически любой трехмерной интерактивностью, включая полеты на заданной высоте и осуществление «материализации» предметов. Судя по многочисленной литературе оккультной направленности в мир осознанного сновидения можно перейти после соответствующего обучения, минуя фазу засыпания, путем погружения в глубокую медитацию.

Захват сознания

Человек общественное существо. Общество, составной единицей которого он является, может потребовать от него действий, не совместимых с его личными интересами. Это требование может быть продиктовано интересами выживания социума, в который входит данный человек. Например, государство может отправить его воевать и заставить постоянно рисковать своей жизнью. По-видимому, на протяжении бесчисленных веков эволюции у

человека сформировался физиологический механизм, помогающий его сознанию перейти в ведомый режим и действовать без лишних страхов и сомнений, выполняя приказы. Похоже, что такой режим сознания мы и наблюдаем в обычном сновидении.

С другой стороны возможности выживания отдельной личности и общества, в котором она привычно существует, зависят от развития и самостоятельности самой личности. Герой – личность наивысшей степени общественной ценности, не только смел, но и умел. Заметим, что в осознанном сновидении человек обладает смелостью, сознавая что он спит, собственной волей и умением решать возникающие задачи с помощью своей мысли.

Стремительное, по меркам исторического развития, вхождение в мир человека телевидения может нарушить сложившийся за его долгую эволюцию баланс между активностью и пассивностью, умелостью и беспомощностью, индивидуализмом и альтруизмом. Конечно, у человечества есть опыт изменения баланса. Во время войны доминируют социалистические отношения, а в мирное время выходит на первый план частная инициатива, но при этом почти не затрагиваются репродуктивные основы цивилизации. Люди всегда учили своих детей тем навыкам, которые сами обретали в детстве. Во всяком случае они не мешали детям развиваться. В предыдущем разделе мы касались вопроса формирования перцептивного пространства ребенка. Модель мира надо научиться строить в своем сознании, исследуя мир комплексно с помощью всех органов чувств, а вовсе не только с помощью зрения. Если подвергнуть живое существо депривации (лишению какого либо информационного канала) в процессе его интенсивного развития (в детстве), то в дальнейшем никакими усилиями невозможно восстановить нормальное функционирование подвергшегося блокировке органа чувств. Если посадить ребенка перед телевизором, вместо того чтобы ежедневно читать ему вслух, объясняя прочитанное, играть с ним в игрушки, петь, прививать интерес к поделкам, то последствия будут весьма плачевными. Новейшие исследования физиологической активности мозга «теледетей», проводящих перед телевизором ежедневно по десять - пятнадцать часов, показывают, что у них «кора головного мозга подобна пустыне». «Они страдают полной *потерей способности воображения*». «Некоторые дети даже не в состоянии нарисовать по памяти бытовые предметы, скажем чашку».

Потеря произвольного воображения - вот что угрожает телеману! То есть, согласно рис. 6, мир 2 (телевизионный) может вытеснить мир 3 (воображение). Человек может также потерять вкус к активной жизни. То есть мир 2 может полностью заменить мир 1 (физический) в нашем сознании. Возникает, если можно так выразиться, «война миров». Общество, с потерей навыков и интереса к активной жизни своих членов, слабеет, а человек, с уничтожением самостоятельного воображения теряет способности творца. А между тем, формула счастья звучит так: «Сам придумал и сам воплотил».

Когда мы говорили о телемании, то есть о навязчивом стремлении смотреть телевизор, то имели в виду уже существующее двумерное телевидение. О воздействии телевидения на детей можно прочитать в книге немецкого ученого и учителя Р.Пацлафа «Застывший взгляд».

Объемное телевидение, как уже говорилось во введении, обладает двумя новыми качествами: объемностью и трехмерной интерактивностью. Эти качества усиливают иллюзию реальности происходящего в окне объёмного телевизора, понижают порог критического отношения телезрителя к происходящему и сознание человека с большей легкостью может переходить в ведомый режим, когда происходит его захват.

Надо сказать, что свойство объёмности, само по себе чрезвычайно полезно для глаз человека, поскольку он не вынужден в течение всего времени просмотра фиксировать взгляд на дистанции расположения телевизора, а постоянно перемещает взор с близких объектов сюжета на дальние.

С другой стороны свойство трехмерной интерактивности дает возможность телезрителю вести активный просмотр телепередачи. Включая режим интерактивности, он становится сам себе режиссером, который быстро осваивает технику наездов, панорамирования, смены ракурсов, то есть всех тех приемов, которые, будучи ему неведомыми, механически удерживают его внимание, подчиняя воле телережиссера.

Обладая профессиональным взглядом, человек может более критично относиться к телевизионной информации.

Но многие люди могут не захотеть включать режим интерактивности. Им нравится неосознанный сон наяву, который, как и обычный сон, не обязательно запоминается. Мы знаем, что внимание человека циклично: бодрствование - сон, урок – перемена. Мы усваиваем информацию, только если у нас есть время на ее усвоение, то есть, имеется возможность повторить увиденное несколько раз в воображении. Непрерывный поток телевизионного видеоряда позволяет манипулировать нашим вниманием. Фильмы в жанре экшен могут запоминаться лишь в самых общих чертах, что и требуется, для того, чтобы оставить память свободной, например, для рекламы.

Говоря о видеоряде, мы не должны забывать о речи. Обсуждая особенности захвата сознания, хотелось бы обратить внимание читателей на весьма странный способ общения людей между собой с ее помощью. Произнося слово «табуретка» я имею в виду сидение с четырьмя ножкам, а мой собеседник столяр воображает целый комплекс технологических приемов и свойств материала, необходимых для изготовления этого «сидения», тем не менее, благодаря контексту и снисхождению столяра мы понимаем друг друга. Такой способ кодирования визуальной информации с использованием личного опыта корреспондентов может легко приводить к недоразумениям, но заслуживает и пристального изучения, и не только в связи с возможностью гигантского сокращения с его помощью информационных потоков. Важно то, что речевое обращение к человеку на понятном ему языке переводит его в творческий режим, включая его воображение. Этот режим включается и при чтении человеком какого-либо текста. Таким образом, язык, слово способствуют рождению творца.

Однако фильмы с разговорами не слишком популярны у телезрителей, а информационные программы насыщенны видеоинформацией и требуют минимального воображения.

Наличие хорошего воображения само по себе еще не обеспечивает творческого режима жизни. Необходима осознанность восприятия информации как внешней, так и порождаемой самим человеком.

Наркомания – принудительный, «химический» уход в мир сна, игромания – зацикленное, азартное, выполнение автоматических движений, телемания – пассивное впитывание визуальной информации, все это формы неосознанности. Человек и в нормальных условиях обычно стремиться к неосознанным реакциям, переводя по мере обучения свои действия в разряд автоматических, потому, что, с одной стороны, такие действия быстрее и надежнее, а с другой не требуют напряжения. Но заложенный в нас на глубоком уровне *активный интерес* к жизни постоянно устремляет нас к новым впечатлениям и умениям. При этом овладеть умением можно только в состоянии осознанности.

В XXI информационном веке человечество сталкивается с новым вызовом цивилизации – сохранить развитую психическую сферу человека в условиях, когда стремление к впечатлениям легко удовлетворяется, а отсутствие разнообразных умений не влечет угрозу для жизни. Справиться с этим вызовом для него означает подняться на новую ступень своего развития. Мы уже сталкивались с подобным вызовом для нашего тела, когда физическая работа стала быстро уступать место умственной и нашли выход в спорте и физкультуре. Спорт мы связываем с соревнованием, физическую культуру с общим уровнем развития человека. В новых условиях внедрения объёмного телевидения, по-видимому, правильно будет говорить и о необходимости создания новых видов спорта и о психической культуре социума.

Важным признаком осознанности является способность различать миры. Сознающий наблюдатель в любой момент времени понимает, находится ли он в телевизионном, физическом или воображаемом мире. Другим признаком осознанности является творческий режим человека, когда он, взаимодействуя с миром, воплощает свой замысел. В творческом режиме человек активно приобретает технологические знания – умения.

Различению и творчеству надо учить с детства. Мы учим малыша, отличать сон от яви и строить песчаный замок. Осознающему себя и окружающие обстоятельства человеку объёмное телевидение не угрожает захватом сознания. Заметим, что трехмерная

интерактивность объёмного телевидения позволяет телезрителю в буквальном смысле иметь свою точку зрения. Вместе с тем, мы должны отдавать себе отчет в том, что приобрести осознанность и избежать захвата сознания весьма не просто. В качестве спортивного тренинга осознанности могут использоваться специальные телевизионные игры, выиграть в которые можно, только напрягая интеллект а, не используя быстроту реакции и эрудицию. По-видимому, нам предстоит сильно изменить культуру использования телевидения, с учетом его влияния на человека на физиологическом и психологическом уровнях.

Поиск решений, позволяющих сохранить творческие силы человека, в условиях развития телевидения, должен осуществляться творчески, методом проб и ошибок, с использованием принципа моделирования. При этом в нашем распоряжении: наука как инструмент моделирования, государства как модели человечества и религии как модели сознания.

Если содержание (контент) передач объемного телевидения будет зависеть от его творцов, и мы можем только надеяться, что оно не разочарует нас, то его техническая сторона гораздо более определенна и может быть здесь описана.

Три части телевизионной системы

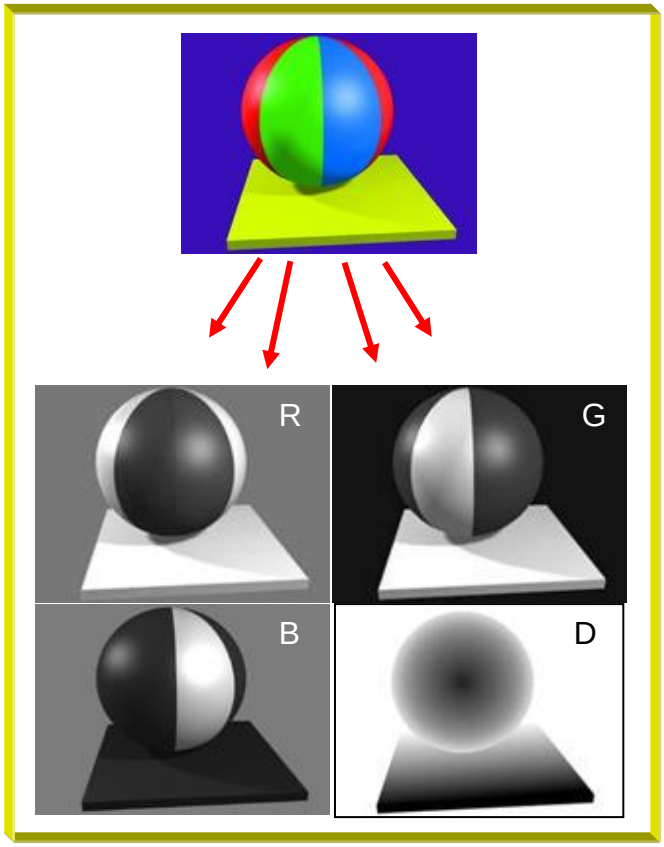


Рис. 8. Разложение изображения объекта на RGBD - компоненты

Телевизионная система состоит из трех основных частей: преобразователя свет-сигнал (телекамеры), линии связи (радио или проводной) и преобразователя сигнал-свет (телевизора). Такой вид имеет и простая телевизионная система передачи объёмного изображения. При этом к обычной цветной телекамере добавляется устройство определения пространственной формы снимаемых объектов. Способы определения формы могут быть различными, например, способ, разработанный автором статьи (1980), позволяет это делать с помощью импульсного инфракрасного излучения. Получаемый в результате добавления четырехкомпонентный RGBD-видеосигнал объемной телекамеры (рис.8), отличается от RGB - сигнала обычной видеокамеры D – компонентой, модуляция яркости которой соответствует рельефу объекта наблюдения. Эту компоненту принято называть картой глубины. Четырехкомпонентный видеосигнал, поступая на объёмный монитор, позволяет воссоздать в пространстве форму поверхности и цвет снимаемых объектов.

На рис. 9 приведена схема такого монитора, разработанного в ПКБ «Рельеф». Здесь красными линиями показана горизонтальная плоскость сечения поверхности изображаемого объекта, перемещающаяся равномерно вниз вдоль оси **y** со скоростью кадровой развертки. Синей линией, лежащей в этой плоскости, показана траектория горизонтальной развертки. Эта траектория формируется, как равномерным движением вдоль оси **x** лежащей на пересечении фронтальной и горизонтальной плоскостей, так и движением вдоль оси глубины **z**, в соответствии с величиной D – компоненты видеосигнала. Цвет элемента объёмного изображения определяется остальными R (красной),G (зеленой), и B (синей) компонентами. Монитор может использоваться, как в замкнутом (рис. 3), так и в разомкнутом (рис. 4) режиме, с помощью специальной оптической системы.

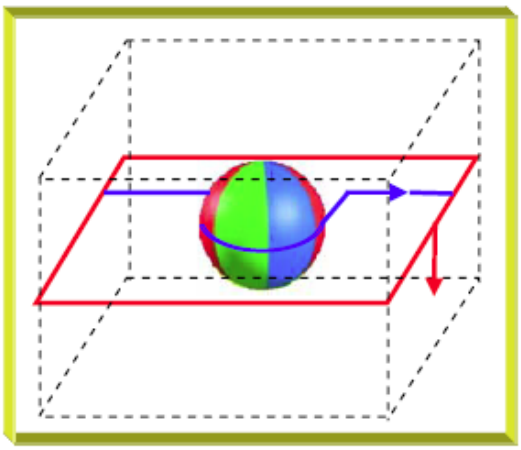


Рис. 9. Воспроизведение изображения объекта по RGBD - видеосигналу

С использованием данного монитора, описанная телевизионная система имеет формулу **4D(θ, φ, r, z)** или **4D(r, z)** в соответствии с приведенной выше системой классификации, то есть является подлинно объёмной, и допускающей перемещение зрителя в направлении z (ближе – дальше) без искажений изображения. При другом мониторе, например, выполненном по технологии DepthCube, система может обладать выраженной кулисностью с малым числом планов по глубине и тогда может возникнуть сильное ограничение на перемещение зрителя в направлении z из-за возможных искажений вызванных наложением или разрывами планов изображения. Подчеркнем, что приведенная формула дана без учета возможности использования телевизионной системы в режиме трехмерной интерактивности. Когда режим трехмерной интерактивности используется, он возможен в двух применениях.

Одно применение позволяет уменьшить или полностью устранить какие-либо искажения объёмного изображения при перемещении зрителя возле монитора. Оно может позволить увеличить размерность телевизионной системы в нашей системе классификации. Вариант такого применения реализуется с помощью определителя положения глаз или головы зрителя (хедтрекера).

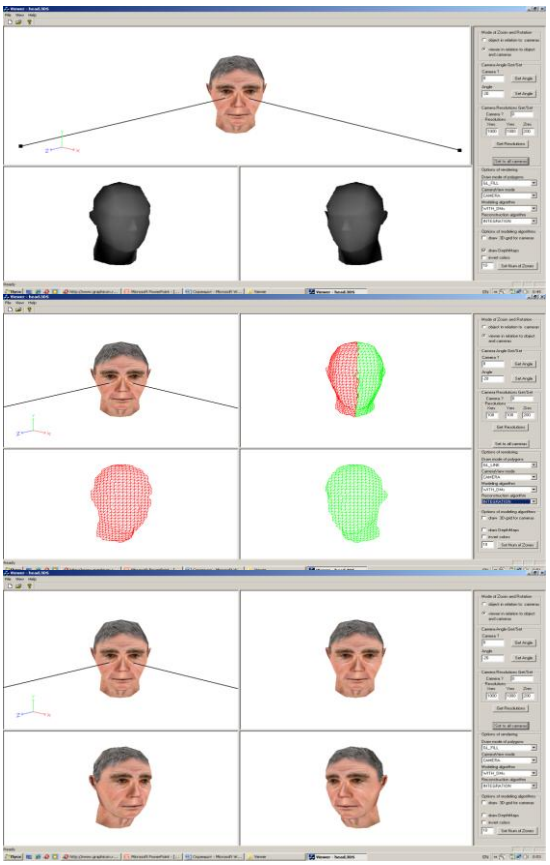


Рис. 10. Компьютерное моделирование «сшивки» двух ракурсов.

Другое применение позволяет зрителю перемещаться в пространстве объёмного телевизионного изображения – телевизионном мире. Оно реализуется с помощью специального пульта, джойстика, компьютерной мыши или даже устройства снятия биопотенциалов с головы зрителя, позволяющее ему отдавать мысленные приказы.

Практически, любая телевизионная система передачи объёмного изображения является шестимерной, то есть описывается формулой 6D(θ, φ, r, x, y, z) или **6D(r, x, y, z)**, если ограничиться малой областью изменения ее параметров x, y, z. Однако, исключая этот вырожденный случай, мы будем говорить о том, что система имеет данное измерение, если область изменения соответствующего параметра, превышает величину межглазного расстояния (порядка 65 мм). Указанное расстояние соответствует появлению следующего ракурса в некоторых многоракурсных телевизионных системах.

Для того, чтобы развить нашу описанную выше телевизионную систему до уровня **5D(r, x, z)**, необходимо использовать две объёмных телекамеры, расположенные на некотором расстоянии друг от друга, например, на расстоянии одного метра, наведенные на один объект. При этом мы получим изображения двух ракурсов объекта, вместе с соответствующими картами глубины (D – компонентами). Далее мы должны «сшить» две трехмерные модели объекта, исключив их перекрытие. Полученная телевизионная модель допускает ее оглядывание в пределах угла между двумя

отснятыми ракурсами объекта. На рис. 10 приведены полученные в ПКБ «Рельеф» результаты компьютерного моделирования такой сшивки. Здесь мы можем видеть карты глубины, каркасные модели (трехмерные сетки) ракурсов объекта и синтезированное итоговое изображение (вверху справа нижней части рисунка), допускающее оглядывание в реальном масштабе времени.

Особой задачей является передача синтезированной модели по линии связи к устройству воспроизведения. Для этого модель должна быть подвергнута подходящему кодированию. Современные линии связи отличаются большим разнообразием. Телевидение передается по наземным, кабельным и спутниковым линиям, использует собственные сети и Интернет. Гибкость цифровых методов передачи информации позволяет с легкостью использовать для телевидения любые средства связи, позволяющие обеспечить приемлемое качество изображения и звука.

Новыми качествами объёмного телевидения, как отмечалось в начале статьи, являются объёмность и трехмерная интерактивность. Оба эти качества обусловлены передачей трехмерной модели физического мира – телевизионного мира. Принимать сигнал объёмного телевидения можно на телевизор объёмного изображения, стереоскопический телевизор и обычный с двумерным изображением, оснащенные соответствующими средствами декодирования. В первом случае новые качества полностью реализуются, во втором нам будут доступны интерактивность и стереоскопическое изображение, а в последнем случае только трехмерная инерактивность. Используя две объемных телекамеры, мы получим во всех случаях возможность оглядывания объекта по горизонтали, с использованием хедтрекинга, то есть обеспечим наличие x - измерения. При этом в первом случае мы будем иметь уровень телевизионной системы - **5D(r, x, z)**, во втором - **4,5D(r, x, z)** и в третьем - **4D(x, z)**. Если использовать три объемные телекамеры, разместив, например, третью по середине и выше двух других, то можно добавить y - измерение и получить телевизионные системы с соответствующими формулами: **6D(r, x, y, z)**, **5,5D(r, x, y, z)** и **5D(x, y, z)**.

При разработке системы объёмного телевидения необходимо учитывать свойства получателя телевизионной информации. Обратимся к физиологии зрения человека.

Бинокулярное зрение

Зрительная система человека обладает рядом интересных особенностей.

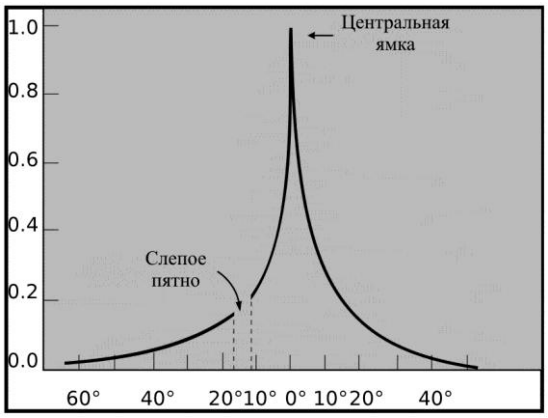


Рис. 11. Относительная разрешающая способность сетчатки глаза.

Во-первых, разрешающая способность глаза быстро меняется при смещении изображения объекта от центральной ямки сетчатки к переферии (рис. 11). Это обусловлено тем, что от сетчатки в мозг человека поступают не сигналы отдельных рецепторов (палочек и колбочек), а взвешенные суммы таких сигналов. Суммируются сигналы рецепторов небольших зон сетчатки – рецептивных полей. Рецептивные поля ганглиозных нейронов сетчатки имеют приблизительно круглую форму. Диаметр рецептивных полей изменяется от 2 угловых минут в центре до 1 – 2 градусов на периферии сетчатки. Для сравнения угловой размер луны составляет 30 минут, а колбочки 0,5 минуты. Рецептивные поля близких нейронов частично перекрываются. В результате такой обработки сигналов от 150 миллионов фоторецепторов сетчатки глаза в мозг идет только миллион нервных волокон. При моделировании работы нейронов сетчатки в качестве весовых функций рецептивных полей используют двумерные функции Гаусса колоколообразной формы.

Во-вторых, каждый отдельный рецептор сетчатки имеет собственную биохимическую систему адаптации к световому потоку. Эта система может быть описана на функциональном уровне как система с глубокой параметрической обратной связью, аналогичная системе автоматической регулировки усиления (АРУ), используемой в радиотехнике. Контуры АРУ имеются также на уровнях слоев горизонтальных и амакриновых клеток сетчаток глаз, которые изменяют весовые функции рецептивных полей. Учет действия АРУ позволяет объяснить многие психофизиологические эффекты зрения, такие как наличие полос Маха (подчеркивание контуров) или появление последовательных образов (рис. 12).

Рис. 12. Фиксируйте взгляд на центре флага 10 секунд, затем переведите его на белый лист бумаги (потолок). Вы увидите правильную раскраску флага.

Параметры статического режима АРУ можно определить, например, используя психофизический закон Стивенса. Динамический режим АРУ возникает, лишь тогда, когда входной сигнал значительно изменяется за время сравнимое с постоянной времени цепи АРУ. В случае зрения человека эта постоянная примерно равна одной секунде.

В-третьих, глаза человека постоянно двигаются. Повороты глаз влево - вправо, вверх - вниз и вокруг оптической оси производятся с помощью трех пар мышц каждого глаза. С одной стороны они позволяют стабилизировать поле зрения при наклонах и поворотах головы, а с другой отслеживать движущиеся объекты, сочетая плавные (нистагмы) и скачкообразные (саккады) движения. Особо следует отметить небольшие (менее 10 угловых минут) движения глаз так называемые микросаккады, дрейф и тремор (рис. 13), совершаемые бессознательно.

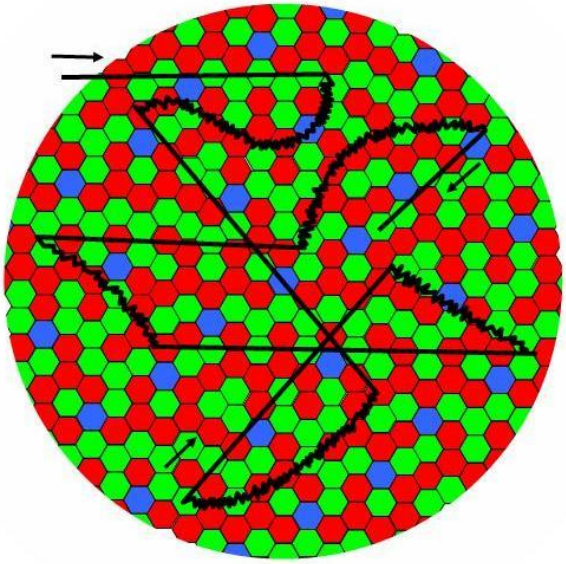


Рис. 13. Микросаккады – прямые линии. Дрейф – кривые линии. Тремор – зигзаги на кривых.

Если искусственно остановить движения глаз, человек перестает видеть неподвижное изображение через несколько секунд, поскольку все участки изображения приходят за это время к одинаковому серому фону из-за перехода АРУ зрительной системы из динамического в статический режим.

В-четвертых, бинокулярный (двухглазный) механизм зрения обеспечивает нам особое ощущение объемности изображения трехмерных объектов. То есть дает нам возможность определять относительную глубину точек поверхности объекта наблюдения.

Абсолютную глубину или дальность светящейся точки в физике часто соотносят с ее параллаксом – углом, под которым из этой точки виден базис наблюдения. Базисом зрительной системы является межглазное расстояние (65 мм). При наблюдении светящейся точки из двух точек пространства сначала определяют ее параллакс, а затем по параллаксу вычисляют расстояние до нее. Такой способ определения дистанции, оправданный геометрией наблюдения, закрепился в астрономии в названии единицы длины – парсек (параллакс – секунда), соответствующей дистанции с которой базис (диаметр орбиты Земли) виден под углом в одну угловую секунду.

Когда мы фиксируем взор на какой-либо точке, наши глаза скашиваются на угол конвергенции (рис. 14), который равен параллаксу этой точки. Все другие точки пространства, которые кажутся нам находящимися на одинаковом с точкой фиксации расстоянии, находятся на некоторой поверхности, называемой гороптером. Гороптер можно определить опытным путем. Его форма зависит от расстояния до наблюдаемой точки. Хотя мы смотрим двумя глазами, но обычно видим один не двоящийся мир. Мы как бы видим его одним циклопическим глазом. Волшебство этого глаза в том, что он дает нам ощущение объемности и слитности изображения. Его серединное положение (рис. 14) может меняться при амблиопии, смещаясь в сторону ведущего глаза.

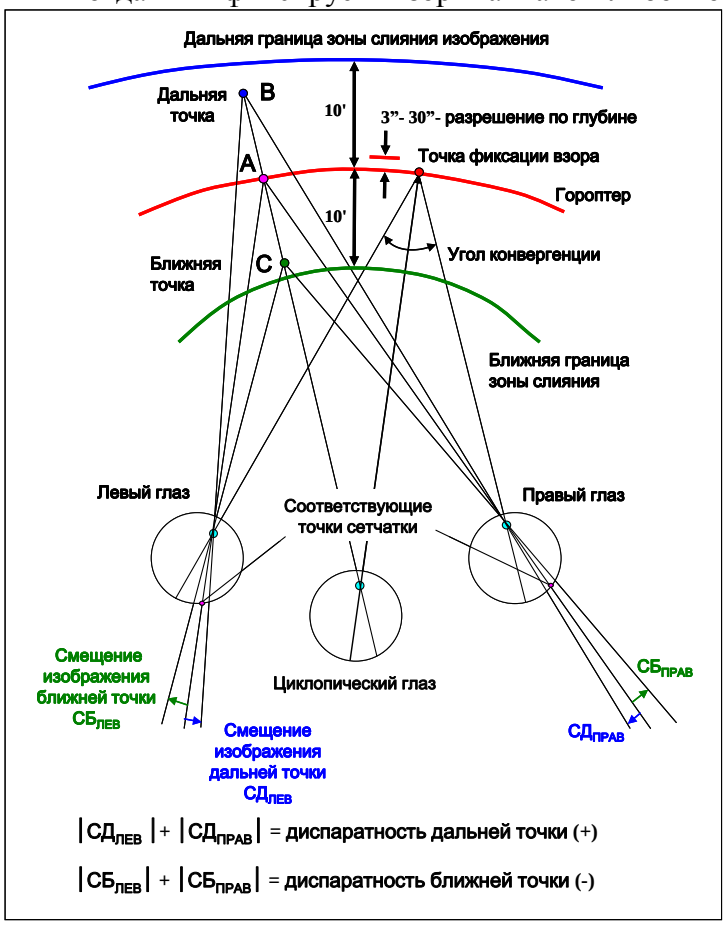


Рис. 14. Бинокулярная диспаратность – основа стереоскопического зрения.

Задав положение циклопического глаза и его линию визирования выбранной точки пространства можно ввести понятие диспаратности для пары изображений левого и правого глаза этой точки. Диспаратность равна сумме модулей отклонений этих изображений от изображений точки гороптера, пересекаемой линий визирования циклопического глаза. Для точки пространства дальше гороптера диспаратности присваивается положительное значение, а для точки ближе гороптера отрицательное. Можно показать, что диспаратность точки B (C) на рис. 14 равна разности параллаксов точек A и B (C), то есть так называемому дифференциальному параллаксу.

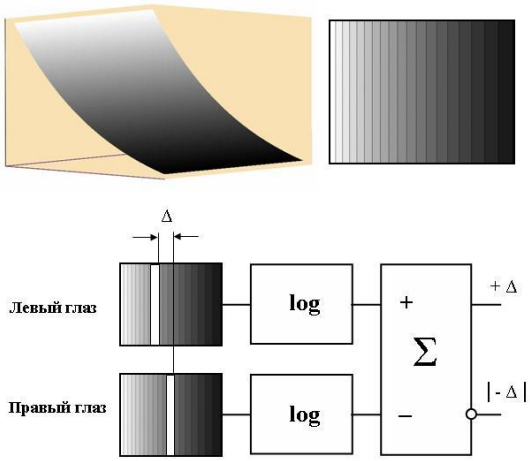


Рис. 15. Модель определения диспаратности светлого объекта.

Человек способен оценивать диспаратность точек локальных особенностей поверхности объекта наблюдения с помощью специальных бинокулярных нейронов зрительной коры головного мозга. Каждый такой нейрон работает, получая одновременно сигналы рецептивных полей левого и правого глаза. Весовые функции этих полей часто представляют действительной и мнимой частями комплексного вейвлета (wevalet – всплеск) Габора. Эти функции не обладают круговой симметрией, в отличии от весовых функций первичных рецептивных полей ганглиозных нейронов сетчатки, но на уровне коры мозга может происходить синтез из первичных других рецептивных полей с необходимыми функциями.

Здесь мы предложим модель определения диспаратности с экспоненциальными весовыми функциями рецептивных полей левого и правого глаза. На рис. 15 вверху слева показан график поверхности такой функции. Для наглядности поверхность модулирована по яркости в соответствии с высотой ее точек. Справа вид графика сверху, дополненный

линиями равного уровня. Снизу изображена модель, на которой кроме рецептивных полей левого и правого глаза показаны элементы логарифмирования и вычитания входных сигналов. Выходы модели соответствуют двум отдельным бинокулярным нейронам. Один нейрон (+Δ) реагирует на положительную разность входных сигналов, которая пропорциональна положительной диспаратности точек изображений светлого объекта (линии) на рецептивных полях. Другой нейрон (–Δ) реагирует на отрицательную разность входных сигналов, если диспаратность светлого объекта отрицательна.

Совокупность реакций соответствующих бинокулярных нейронов дает карту положительных или отрицательных диспаратностей по полю зрения, которая аналогична картам глубины, приведенным выше, но отличается от них фрагментарностью соответствующей местоположению в поле зрения локальных особенностей яркости. Модель не реагирует на диспаратность изображений точек однородно окрашенной поверхности, что соответствует свойству нашего зрения. Анализ работы модели при различных оптических сигналах показывает, что минимизация ошибок определения диспаратности достигается при размере локальных неоднородностей яркости окраски объекта много меньше размера рецептивных полей. Кроме того угловой интервал между неоднородностями должен быть много меньше углового значения диспаратностей. Эффективным средством минимизации ошибок является выделение контуров неоднородностей. Именно такую операцию производит совместное действие АРУ зрительной системы и механизма микросаккад. Обратим внимание на то, что максимальная амплитуда микросаккад (рис. 13) одного порядка с максимальной глубиной зоны слияния (рис. 14) – 10 угловых минут. Последнее обстоятельство, наряду с конфигурацией траекторий микросаккад и дрейфа, позволяет эффективно усреднять карты диспаратностей по времени.

На рис. 15 приведена схема модели реагирующей на повышенную яркость или локальное включение света. Модель, реагирующая на пониженную яркость (темный объект) или локальное выключение света отличается от нее наличием инверторов по входам сигналов.

Поггио и Фишер (1977) обнаружили четыре типа бинокулярных нейронов с модуляционными характеристиками, приведенными на рис. 16. Наша модель объясняет возбуждение нейрона на дальнюю и юлижнюю диспаратности. Модель, получающаяся суммированием выходных сигналов +Δ и –Δ, объясняет торможение нейрона на нулевую диспаратность, а эта же модель с инверсией выходного сигнала объясняет возбуждение нейрона на нулевую диспаратность.

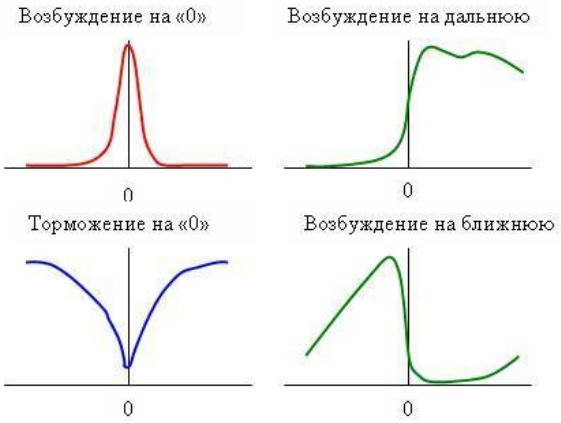


Рис. 16. Модуляционные характеристики бинокулярных нейронов.

Особо отметим, что приведенная модель обладают инвариантностью по отношению к изменениям амплитуды и местоположения оптических сигналов. Так как вычисляемая разность логарифмов двух величин равна отношению этих величин, то одинаковые коэффициенты яркости и сдвига оптических сигналов сокращаются. Коэффициент разности сдвига, экспоненциального вида, при логарифмировании дает линейную зависимость выходных сигналов модели от диспаратности.

Бинокулярное зрение человека, обеспечивающее фузию (слияние) изображений, формируемых мозгом с помощью каждого из двух его глаз, представляет собой весьма сложный процесс, требующий изучения. Для проектирования системы объемного телевидения важно то, что глубина видимого пространства может быть разделена на три зоны. Наблюдение до трех метров, сопровождается изменением, как конвергенции, так и аккомодации. От трех до шести метров изменяется только конвергенция. До 1300 – 2600 метров мы способны видеть рельефность (глубину) сцены, благодаря оценке диспаратности. Разрешение по глубине (диспаратности) зрительной системы человека

варьируется от 3 до 30 угловых секунд у разных людей. Эти данные позволяют рассчитать число различимых человеком планов по глубине. Расчет показывает, что на расстояниях от 1 метра до «бесконечности» число планов равно 450 при разрешении по глубине в 30 угловых секунд.

Отметим, что, например, конструкция объёмного монитора ПКБ «Рельеф» обеспечивает возможность создания сотен и даже тысяч планов разрешения по глубине, а конструкция монитора по технологии DepthCube обеспечивает 20 планов разрешения по глубине, при этом разработчики утверждают, что им удалось сгладить дискретность (кулисность) изображения, обусловленную низким разрешением по глубине, с помощью оригинального алгоритма сглаживания.

Важными являются пороговые характеристики зрения. Порог конвергенции оценивается смещением объекта в глубину на 3 угловые минуты. Порог аккомодации на 30 угловых минут. При превышении порога зрительная система автоматически перестраивается на новую глубину.

В школьных учебниках по биологии и даже в учебниках по телевидению глаз часто уподобляют фотоаппарату или телекамере. Как мы имели возможность убедиться это весьма упрощенное представление. При разработке системы объёмного телевидения, когда перед нами встает проблема создания трехмерной, динамичной модели (карты) физического мира, по существу, только зрительная система человека служит нам примером ее решения. Пример может показаться трудно досягаемым даже на первых (низких) уровнях зрительной системы. Вызывает восхищение, скажем, ее эффективность при решении задачи адаптации.

Адаптация

Мы живем в мире, наполненном светом. Диапазон изменения яркостей окружающих объектов может достигать пятнадцати порядков (квадралиона раз). Это диапазон изменения значений пленоптической функции, о которой мы говорили в начале статьи. На рис. 17 приведен диапазон яркостей белой бумаги освещаемой различными источниками освещения. Даже создание такого диапазона яркостей в экспериментальных условиях представляет известную проблему. Во всем этом диапазоне глаз сохраняет работоспособность, хотя как жаловался Ньютон (1691) в своем письме Локку, ему пришлось трое суток сидеть в полной темноте, чтобы избавиться от послеобразов Солнца после наблюдении его в телескоп. Бойль (1664) в таких опытах получил ожог сетчатки и продолжал видеть образ Солнца с закрытыми глазами даже спустя 10 лет. С другой стороны после нескольких часов проведенных в темноте человек может видеть ничтожную вспышку света эквивалентную восприятию десяти фотонов. Ни одна телевизионная камера не может перекрыть такой диапазон яркостей. В лучшем случае мы можем попытаться перекрыть его с помощью трех телекамер разных диапазонов, охваченных глубокими параметрическими обратными связями автоматических регулировок режимов (коэффициентов усиления).

При использовании трехмерной интерактивности объёмного телевидения можно представить себе следующие ситуации: сначала вы находились в помещении, а затем вышли из дома полюбоваться закатом или, двигаясь в автомобиле по ярко освещенной автостраде, заехали в тоннель. Перепады яркости, вызванные вашим поведением, весьма велики и для реалистичности объёмного изображения телевизионная модель должна содержать информацию о текущей освещенности на местности.

В последние годы вызывает большой интерес проблема отображения тона (TM - Tone Mapping) – сжатия светового диапазона содержащегося в изображении широкого динамического диапазона (HDR – High Dynamic Range) в визуализируемый узкий динамический диапазон (LDR – Low Dynamic Range). Например, в Минесотском Институте прикладной математики (2009) разработан алгоритм TM на основе модифицированного уравнения Нака – Раштона, позволяющий не только сжимать HDR, но и осуществлять локальное повышение контраста изображения и устранять потери цвета.

Необходимо отметить, что разброс коэффициентов отражения поверхностей природных объектов не велик, обычно не более 40 раз. Примерно такой же диапазон яркости отображает зрение человека без адаптации. Классический пример отображения связан с чтением книги. В помещении текст нам кажется черным, а лист книги белым. На ярком солнечном свете текст, все равно нам кажется черным, а лист белым, хотя объективно яркость текста на солнце в десять раз больше яркости листа в помещении. Учитывая такие адаптационные свойства зрения достаточно иметь монитор с тысячекратным изменением яркости для воспроизведения любых изображений, в том числе и с имитацией пересветки. Современные цифровые фотокамеры обладают большим динамическим диапазоном и фиксируют HDR в RAW (англ. raw — сырой) файлах (до 14 бит на канал) или Tiff (англ. Tagged Image File Format) файлах (до 64 бит на канал) . Для сравнения в широко используемом стандарте True color яркость (цвет) кодируется всего 256 уровнями (8 бит на канал), при этом глаз не ощущает «ступенек» тона. Обладая запасом разрешения по градациям яркости можно растягивать при воспроизведении диапазон яркости малоконтрастных локальных участков, повышая их локальный контраст.

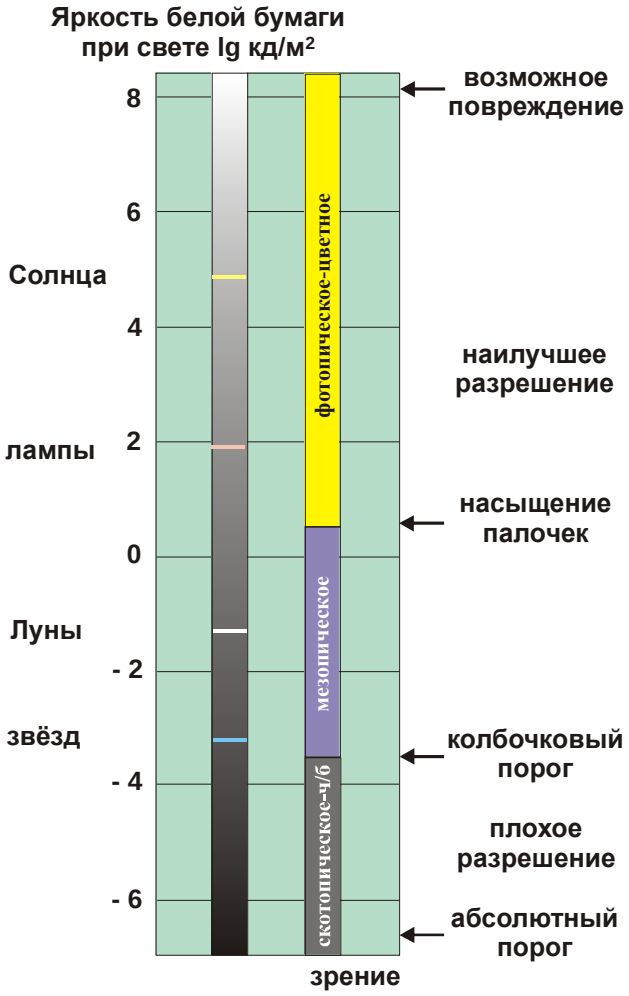


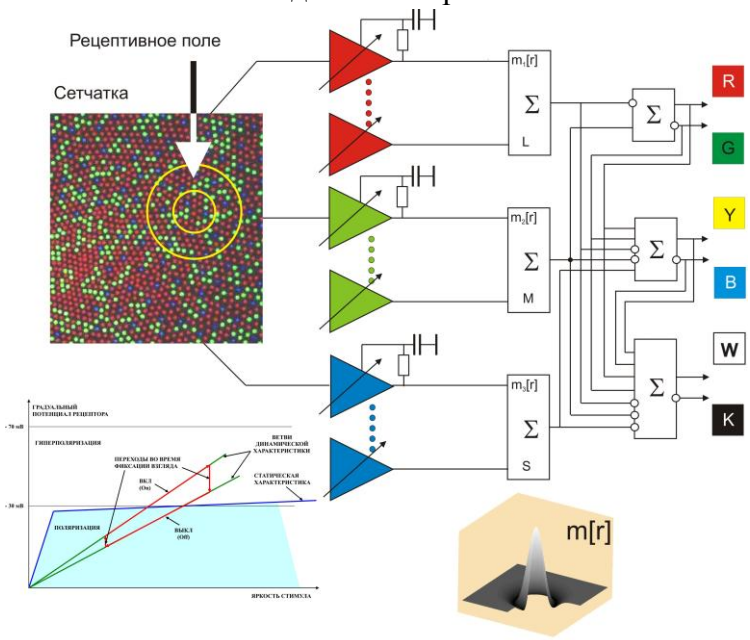
Рис. 17. Диапазон яркостей белой бумаги при различных источниках освещения.

Благодаря процессу эволюции, подвергаясь непрерывным колебаниям освещенности при смене дня и ночи, мы получили механизм зрения, обладающий феноменальными динамическими характеристиками. Обычно говорят об адаптационной роли зрачка глаза (изменение площади в 16 раз) и подчеркивают наличие двух видов фоторецепторов сетчатки глаза: палочек и колбочек, которые делят диапазон воспринимаемых яркостей на два. В действительности основная «тяжесть» адаптационной перестройки падает на биохимический комплекс механизма трансдукции фоторецепторов (изменение передачи в миллионы раз), а также на нейросетевой механизм организации рецептивных полей сетчатки глаза.

Механизм фототрансдукции обеспечивается длинным каскадом биохимических реакций, заканчивающийся цГМФ (циклический гуанин моно фосфат) регуляцией пропускания мембранных каналов рецепторов. Изменение ионной проводимости мембраны фоторецептора вызывает изменение ее внутриклеточного потенциала (минус 35 мВ). Увеличение яркости света вызывает гиперполяризацию мембраны, до минус 70 мВ, уменьшение - деполяризацию, до 0 мВ. Градуальный потенциал рецепторов воздействует на биполярные и горизонтальные нейроны сетчатки глаза и далее на ее амакриновые и ганглиозные нейроны так, что у ганглиозной клетки образуется приблизительно круглое рецептивное поле, с выраженными центром и переферией.

Схема восприятия света для дневного (колбочкового) зрения показана на рис. 18. Три вида колбочек сетчатки глаза, изображены разными цветами в соответствии с их спектральными характеристиками: L (длинноволновые) – красным, M (средневолновые) – зеленым и S (коротковолновые) - синим. Каждая из колбочек обладает собственной системой

автоматической регулировки усиления (АРУ). На схеме это показано с помощью усилителей, изображенных треугольниками, охваченных цепями параметрической обратной связи, воздействующей на коэффициент их усиления. Запаздывающий характер этой связи изображен с помощью интегрирующих RC цепочек. Постоянная времени АРУ колбочек составляет величину порядка нескольких секунд. Роль обратной связи в механизме фототрансдукции, как считают, выполняют в основном ионы кальция, воздействуя на различные ее фазы. Вид статической и динамических характеристик АРУ колбочки, приведенный на рисунке, соответствует периодическим скачкам взгляда с яркого на темный фрагмент объекта наблюдения и обратно. Важной особенностью усилителя с АРУ является различие его коэффициентов усиления для низких и высоких *временных* частот, что соответствует различным наклонам его статической и динамической характеристик.



СВЕТ	ОБРАЗ НА РЕЦЕПТИВНОМ ПОЛЕ ПРИ МАКСИМАЛЬНОМ СИГНАЛЕ НА ВЫХОДЕ НЕЙРОНА					
ВКЛ (On)	R	G	Y	B	W	K
ВЫКЛ (Off)	G	R	B	Y	K	W
ОБРАЗ	R G	G R	Y B	B Y	W K	K W

Рис. 18. Функциональная схема восприятия света первичного уровня зрительной системы. Вейвлет «сомбреро» (с вырезанной для наглядности четвертью) представляет собой весовые функции трех сумматоров сигналов колбочек концентрических рецептивных полей (РП) нейронов R, G, Y, B, W и K. Вид характеристик АРУ колбочек РП соответствует раздражению мигающим светом. Снизу приведена таблица реакций нейронов на различные образы.

Сигналы колбочек каждого вида с площади, очерченной большим кругом рецептивного поля, поступают на соответствующий сумматор. Каждый сумматор осуществляет взвешенное суммирование сигналов колбочек. Весовые функции сумматоров, можно аппроксимировать двумерными вейвлетами типа «сомбреро» (mexhat). Положительная (возбудительная) часть вейвлета соответствует внутреннему (малому) кругу рецептивного поля, а отрицательная (тормозная) его внешнему кольцу. Здесь центр слегка преобладает над периферией в отличие от принятого в вейвлет анализе баланса, что позволяет фиксировать постоянную составляющую сигнала. Выходные сигналы сумматоров обрабатываются согласно приведенной схеме. Небольшие белые кружки на входах и выходах элементов схемы обозначают инверсию сигналов. Результат обработки представляется сигналами на шести выходах: R (**r**ed - красный), G (**g**reen - зеленый), Y (**y**ellow - желтый), B (**b**low – синий), W (**w**ait – белый), и K (blac**k** - черный. Эти выходы соответствуют шести отдельным нейронам, с одинаковыми по площади, местоположению и форме рецептивными полями. Выходные сигналы здесь положительные (соответствуют деполяризации нейрона) и могут присутствовать либо на выходе R, либо на выходе G, либо отсутствовать на обоих. Аналогичное ограничение распространяется на пары Y, B и W, K. Такую организацию распределения выходных сигналов принято называть оппонентной. Согласно таблице внизу рис. 18, при проецировании на рецептивное поле подходящего образа, при включении или выключении света будет получена максимальная реакция

(сигнал) соответствующего нейрона. При освещении рецептивного поля однородным по цвету излучением реагирует нейрон, соответствующий цвету излучения.

Важной особенностью работы данной схемы является небольшой коэффициент усиления для сигналов низких *пространственных* частот и большой для частот, на которые настроен вейвлет. Необходимо отметить, что разбалансировка вейвлета может меняться при увеличении внешней освещенности в сторону уменьшения относительного веса его положительной части, то есть в зрительной системе присутствует еще одна петля обратной связи АРУ не показанная на схеме.

Приведенная схема имеет иллюстративное значение (показывает наличие различных механизмов зрения) и не может приниматься за вполне адекватную модель обработки сигналов зрительной системой человека. Элементы более точной модели можно найти, например, у Ванхатерена (2007), где учитывается действие колбочек, биполярных и горизонтальных клеток сетчатки глаза. В частности там учтен нелинейный характер передачи сигналов в сетчатке. Наша схема соответствует оппонентной теории цветовосприятия, предложенной Эвальдом Герингом в ее линейном приближении. Учет нелинейности, по-видимому, можно свести к утверждению о том, что оппонентные выходы представляют нам не разность, а отношение входных сигналов.

Мы ощущаем красный цвет, когда возбуждаются нейроны R, при более активном действии колбочек L-типа, или ощущаем зеленый цвет, когда возбуждаются нейроны G, при преобладании действия колбочек M-типа, либо не ощущаем этих цветов при балансе действия этих типов колбочек, когда не R не G не возбуждаются.

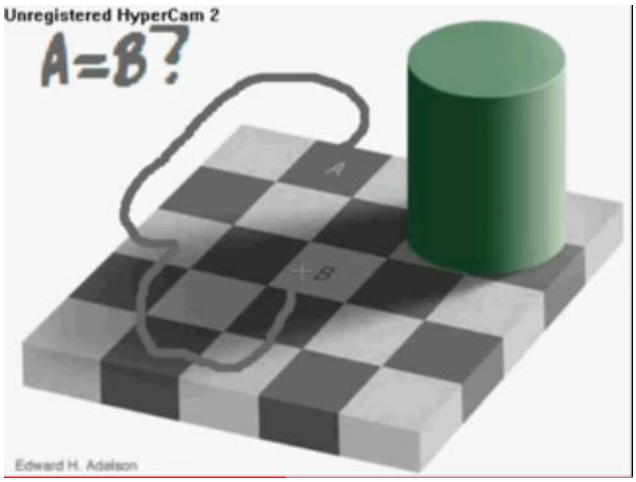


Рис. 19. Тест Эдельсона.

Мы ощущаем желтый цвет, когда возбуждаются нейроны Y, при преобладании суммарного действия колбочек L и M типов над действием колбочек S-типа, или ощущаем синий цвет, когда возбуждаются нейроны B, при преобладании действия колбочек S-типа, либо не ощущаем этих цветов при балансе действия этих типов колбочек. Обратите внимание на то, что по схеме суммарное действие колбочек L и M типов берется без значения разности их действия.

Мы ощущаем степень светлоты объекта наблюдения, когда срабатывают нейроны W или степень его затененности, когда срабатывают нейроны K, по сравнению со средним уровнем ощущения яркости сцены.

Градуальные выходные сигналы схемы в реальной сетчатке преобразуются ганглиозными клетками в частотно-импульсные сигналы потенциалов действия и по аксонам, которые составляют зрительный нерв, передаются в головной мозг.

Снижение удельного веса нижних пространственных частот приводит к эффекту хорошо видному на тесте Э. Эдельсона (рис.19), где клетки A и B, а также соединяющая их линия, кажутся различными по яркости, хотя на самом деле таковыми не являются.

Такая организация преобразователя свет-сигнал, которую нам демонстрирует зрительная система человека, заслуживает пристального внимания с технической точки зрения, поскольку речь идет о возможности резкого сокращения динамического диапазона светоприемника.

Отметим, что весовые функции рецептивных полей сетчатки увеличивают свой масштаб по мере удаления от ее центра, что приводит к снижению разрешающей способности сетчатки на периферии (рис. 11). Это соответствует возможности вычисления вейвлет-спектра изображения по осям сдвига и масштабирования, накапливая данные при разнообразных скачках (саккадах) глаз.

С другой стороны во время дрейфа глаз (рис. 13) изображение с небольшой скоростью (до 20 элементов в секунду) смещается по сетчатке глаза. В телевидении используются

телевизионные камеры (ИК диапазона), в которых реализовано так называемое оптическое микросканирование (искусственный дрейф) с помощью вращающейся наклонной стеклянной плоскопараллельной пластинки. Благодаря этому техническому приему разрешающая способность телекамер существенно (в несколько раз) повышается. Возможно, что дрейф глаз используется зрительной системой человека на ее высоком уровне с той же целью, преодолевая потерю разрешения на стадии формирования рецептивных полей.

Мы рассмотрели ряд механизмов начальных стадий работы зрительной системы человека. Уже на этих стадиях нас поражают ее возможности парировать гигантские изменения освещенности окружающей среды и добиваться высокого пространственного и временного разрешения при наличии весьма скромных возможностей по быстродействию.

Эволюция биологических и технических систем отображения окружающего мира идет, на первый взгляд, различными путями. Между ними имеется, однако, много общего начиная с подобия генных мутаций и изменчивости технических идей и заканчивая прямым заимствованием молодым, мыслительным эволюционным потоком технических решений у старушки природы. В качестве примера попытки такого заимствования отметим сообщение IBM (2008) о начале реализации проекта разработки принципиально новой архитектуры аппаратной вычислительной системы, строящейся на принципах организации живого мозга. Официальное название проекта – «Создание компьютера, способного к познанию с помощью синаптроники и высокопроизводительных вычислений» («Cognitive Computing via Synaptronics and Supercomputing» (C2S2)). Предполагается, что мозг, скорее, представляет собой не нейронную, а синаптическую сеть, а мышление является результатом биохимической организции мозга.

Сигналы, поступающие в мозг от сетчаток глаз, подвергаются им сложной обработке. На корковом уровне работы зрительной системы, производится выделение направлений контуров и движений объектов наблюдения с помощью сложных рецептивных полей. Имеются данные (И.А.Шевелев, 2007) о том, что, ориентационная чувствительность нейронов зрительной коры динамически перестраивается за время одной саккады с дискретностью в 20 миллисекунд от вертикальной до горизонтальной ориентации. С помощью метода функциональной магнито-резонансной томографии удалось выявить у человека до 36 зон коры мозга, осуществляющих последовательную и параллельную обработку зрительной информации. Считается, что обработка идет по принципу детектирования все более обобщенных признаков распознаваемых объектов наблюдения. Обнаружены механизмы синхронизации процессов обработки в виде волн электрической активности мозга. Изучая мозг, можно видеть, что процесс анализа информации о внешнем мире идет параллельно с ее сжатием.

Сжатие мира телевизионного

В начале статьи мы говорили о проблеме создания маленькой трехмерной модели большого окружающего мира. Специалисту в области цифрового сжатия телевизионной информации может показаться невероятной возможность сжатия и передачи по обычным телевизионным каналам больших действующих моделей. Между тем нам следует принять во внимание, что существует несколько принципов редукции видеоинформации эффективных именно для объёмного телевидения.

Обратим внимание на рис.6. Здесь дугообразными стрелками показаны информационные связи между наблюдаемыми мирами. Первый – физический мир, находясь под изменяющим воздействием двух других, подчинен законам физики. Их назначение - сохранять целостность физического мира. Здесь действуют законы гравитации, механики, оптики. Второй - телевизионный мир, копируя законы физики из первого мира, одновременно подчинен социальным законам. Их назначение – сохранять целостность социума. Здесь действуют законы государства, морали, эстетики, лингвистики, социальной психологии. Третий – воображаемый мир, отражая связи первого и второго, подчиняется законам физиологии и психологии. Их назначение – сохранять целостность личности субъекта. Все перечисленные законы представляют собой связи, ограничивающие свободу действия в любом из миров.

Рис. 20. Статическая часть телевизионной модели. Интерьер музея.

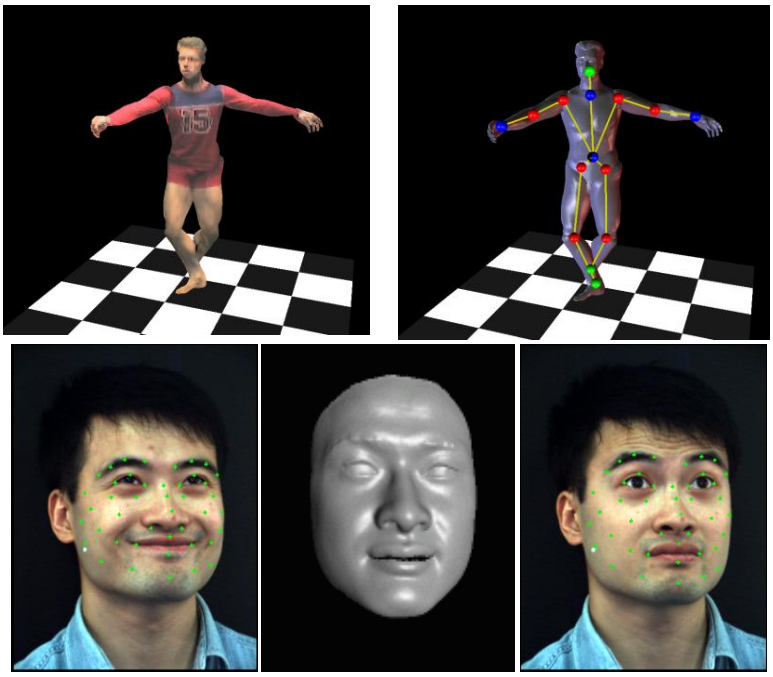


Рис. 21. Элементы динамической трехмерной модели. Точками обозначены узлы трехмерных сеток (вершины), движения которых необходимо задавать. Анимированная маска внизу в центре полностью воспроизводит мимику человека. Наложенные на сетки анимированные текстуры лица или тела, могут полностью имитировать их движения.

Используя известные связи можно так сжать (компактифицировать) объёмную телевизионную информацию, что средний информационный поток получаемый телезрителем будет находиться в рамках ограничений, налагаемых на существующие цифровые телевизионные каналы.

Приведем примеры возможностей такого сжатия. В физическом мире часть объектов статичны (неподвижны), а часть нет. Статичные объекты трехмерной телевизионной модели (рис. 20), однократно введенные в память вашего объёмного телевизора, далее служат сценой для развертывания динамичного сюжета передачи. Заготовки таких сцен очень больших размеров могут использоваться телережиссером для создания виртуальных декораций. Можно, например, один раз архивировать трехмерный интерьер Эрмитажа и далее использовать его части в различных телепередачах. Для обычного телевизионного репортажа из музея с использованием технологии виртуальной телекамеры достаточно передавать телезрителю код положения и ориентации этой телекамеры, и он будет видеть предлагаемые части предварительно загруженной им модели интерьера, слушая комментарий искусствоведа. В последнем случае информационный поток практически полностью определяется звуковым содержанием.

Динамичные объекты сцены - персонажи (люди, животные, машины) (рис. 21) обладают ограниченным числом степеней свободы, те их возможное движение ограничено подвижностью суставов, числом и конфигурацией элементов их скелета. Например, «скелет» автомобиля имеет всего пять элементов: кузов и четыре колеса. Задав всего два параметра: скорость вращения и поворот передних колес можно привести автомобиль в заданную точку статической модели. Естественные ограничения, накладываемые на траектории движения тел, приводят к модельному (model-based) способу кодирования динамичных объектов. Речь идет о создании отдельной модели каждого динамического объекта. Такая модель включает суставы (совокупности узловых точек движения), каркас (поверхность тела) и натянутую на каркас текстуру, задающую раскраску объекта. Даже относительно грубая динамическая модель позволяет кодировать реальную сцену с высокой степенью реалистичности, используя ее для

предсказания очередного пространственно-временного положения моделируемого объекта. Модельный способ позволяет ограничиться отслеживанием лишь параметров движения объектов, для чего могут использоваться даже простые, не объемные телекамеры. Этот способ подразумевает возможность создания складов моделей одежды, обуви, предметов быта, моделей любых объектов естественного и искусственного происхождения. Единожды созданная и переданная модель обеспечивает создание бесконечного числа ее ракурсов в пространстве по воле телережиссера или телезрителя.

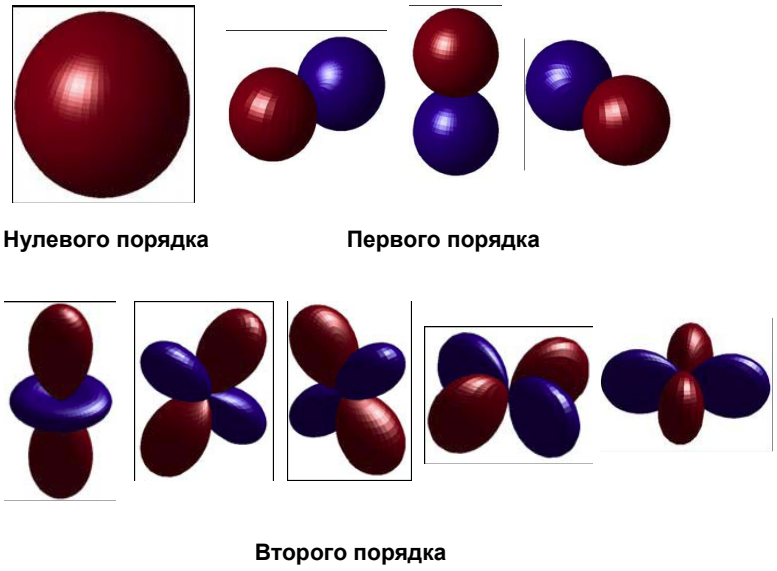


Рис. 22. Сферические функции (гармоники) трех первых порядков.

В разделе адаптация мы говорили о гигантском диапазоне возможных яркостей объектов физического мира Яркость в общем случае зависит от углов наблюдения θ и φ. Яркость хорошо рассеивающей поверхности одинакова в любом направлении (рассеяние по Ламберту). Яркость зеркальной поверхности соответствует яркости отраженных объектов и зависит от направления наблюдения. Во многих случаях мы имеем дело с промежуточной ситуацией, когда объекты не обладают зеркальной поверхностью, но яркость поверхности зависит от угла наблюдения. Перемещаясь в телевизионном пространстве (объёмном изображении) и наблюдая изменение ракурса объектов, мы должны видеть изменение их яркости, аналогичное изменению яркости объектов физического мира. Один из возможных подходов к кодированию угловой зависимости яркости заключается в ее приближенном представлении с помощью сферических функций (рис. 22). Этот метод аналогичен частотной фильтрации, используемой при обработке временных и пространственных сигналов, когда отбрасываются малые по величине высокочастотные составляющие сигналов. Частотное представление (преобразование Фурье) сигналов, в том числе многомерных, оказалось эффективным во многих областях. Например, в цифровом телевидении используется дискретно-косинусное преобразование для сжатия двумерных изображений блоков. Использование метода сферических функций возможно потому, что шероховатая поверхность объекта, в отличии от зеркальной, обладает фильтрующими свойствами, подавляя высшие гармоники функции углового распределения яркости точек поверхности. Кроме того, в случае сопоставления объёмного телевизионного изображения, с представлениями телезрителя о физическом мире, следует учитывать, что не многие люди способны проводить такое сопоставление с высокой точностью, тем более что обычно мы наблюдаем по телевизору незнакомые места и в условиях разнообразного освещения.

Рассеивающие свойства поверхности объектов наблюдения могут иметь выраженную спектральную и поляризационную зависимости, что позволяет в ряде случаев эффективно разделять зеркальную и рассеянную компоненты отраженного излучения.

Зеркальная компонента излучения содержит информацию об отраженных объектах, которые сами содержаться в трехмерной телевизионной модели. Существует возможность синтеза зеркального отражения путем геометрических трансформаций соответствующих частей модели. Отмеченные обстоятельства позволяют говорить о перспективности использования сферических функций для целей сжатия больших телевизионных миров, поскольку во многих случаях можно ограничиваться сферическими компонентами первого и даже нулевого порядка.

Когда из сцены выделены динамичные объекты, то мы можем предполагать, что движение многих из них подчинено законам физики, которые ограничивают возможные траектории их перемещений. Учет законов движения позволяет использовать, например, кодирование с предсказанием движения объектов, что значительно снижает поток информации о движении.

Можно ли нарушать законы физики в телевизионном мире? Это должен решать, по-видимому, создатель телепередачи. Следуя своему художественному замыслу, он может позволить телезрителю, например, отключать гравитацию и тот, в интерактивном режиме, должен будет учиться двигаться в невесомости. С другой стороны, агрессивно настроенный телезритель может пожелать разрушить изнутри мир в своем телевизоре или нанести вред персонажам этого мира. Стоит ли поощрять подобные наклонности?

Поскольку трехмерный телевизионный мир в значительной мере является копией физического мира, по-видимому, и в нем следует соблюдать многие физические и не только физические законы. Соответствующие ограничения, накладываемые на возможные трансформации телевизионных моделей, технически легко установить.

Трансформации мира телевизионного

Если созданы трехмерная модель или модели физического или не совсем физического мира, возможны разнообразные сочетания и искажения этих моделей. Можно сжимать, растягивать, наклонять, перемещать, переворачивать и подвергать различным нелинейным искажениям, единожды созданный телевизионный мир. Достаточно просто передать телезрителю формулу закона искажения. При этом, кроме геометрических, легко доступны цветовые и тональные трансформации. Формулы трансформаций могут включать самые разнообразные математические операции.

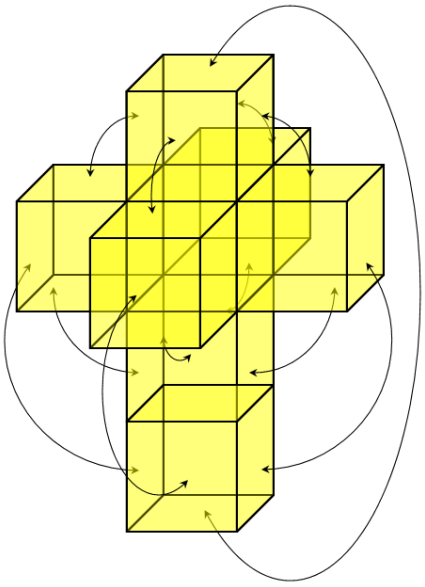


Рис. 23. Трехмерная развертка четырехмерного куба. Стрелки показывают какие плоскости следует «склеить».

Например, рис. 23 иллюстрирует операцию склейки тессеракта – гиперповерхности четырехмерного куба.

Представим себе, что мы находимся в одном из желтых кубиков. Мы можем пойти в каком-либо направлении и пройти сквозь грань этого кубика, оказавшись в соседнем. Если грань наружная, то в соответствии со стрелкой «склейки» граней мы все равно окажемся в другом соответствующем кубике. В каком бы кубике мы первоначально не находились, идя по прямой и пройдя три промежуточных кубика мы снова окажемся в том, из которого вышли. Аналогичное, но двумерное, путешествие предпримет муравей переползая с грани на грань обычного детского кубика. Операция склейки часто используется математиками при топологических преобразованиях. В нашем случае внутренностью различных кубиков могут быть интерьеры различных комнат и мы будем испытывать иллюзию прохождения сквозь стены этих комнат, каждый раз оказываясь в новой и блуждая по кругу как в лабиринте. Можно наполнить комнаты зеркальными по отношению друг к другу интерьерами, где левое меняется на правое. Вместо комнат могут быть более обширные области пространства. Вместо кубов могут быть другие многогранники. Можно представить себе путешествие по трехмерным гиперплоскостям более чем четырехмерных многообразий. Склейки можно осуществлять не только в пространстве, но и во времени.

В этой статье мы ограничились обсуждением визуальной части объемного телевидения. Объемный звук будет предметом следующей статьи, которая поможет читателю получить представление о существующих проблемах и методах их решения при создании трехмерных акустических телевизионных миров.

Заключение

Ребенок получает первое представление об *объёме* предмета, *обнимая* его руками. Постепенно он учиться ориентироваться в трехмерном пространстве с помощью зрения. В результате обучения он приобретает *воображение* – способность визуального, объемного моделирования окружающего мира.

Одни *объёмные* телекамеры (светолокационные), подобно руке человека могут определять рельеф поверхности объекта сразу во всех доступных точках, другие (триангуляционные) позволяют по соотношению удаленностей некоторых особых точек поверхности интерполировать этот рельеф, подражая зрительной системе человека. Сигналы объёмных телекамер являются основой для построения трехмерных телевизионных моделей физического мира.

То, что сегодня часто называют объёмным (стереоскопическим, 3D) телевидением, является таковым лишь частично. Оно предоставляет телезрителю информацию о параллаксе особых точек поверхности объектов телевизионной съёмки, но теряет информацию о радиусе волнового фронта излучения этих точек. Такое «половинчатое» предоставление данных о третьем измерении (глубине сцены) позволяет нам характеризовать его формулой - 2,5D. Называя это телевидение по традиции стереоскопическим, мы также должны отдавать себе отчет в том, что оно не позволяет телезрителю производить оглядывание объектов сцены и тем более перемещаться между ними.

Для полной оценки пространственных свойств объёмного телевидения целесообразно ввести шестимерную шкалу (6D), ни в коем случае не посягая на трехмерность нашего физического пространства.

Создавая объёмное телевидение, мы вступаем на путь, который прошла эволюция, создавая человека. Человек в своем сознании способен воспроизводить воображаемый мир, который похож или не похож на мир физический. Этой способности мы будем обучать объёмное телевидение по мере его развития. Настанет время, когда в сознании человека столкнутся во взаимодействии три трехмерных мира: физический, воображаемый и телевизионный. Нам следует быть готовыми к этой ситуации. Готовность предполагает знание свойств объёмного телевидения. Чтобы знать, необходимо создавать и изучать новую телевизионную технику. Знание является единственной гарантией для общества того, что его адаптация к новым техническим средствам захвата сознания, пройдет для него не только с минимальными издержками, но и с максимальным извлечением пользы из нового витка технического прогресса.

В нашей стране развитие объёмного телевидения должно определяться не только необходимостью находиться в русле технического прогресса, соображениями экологической безопасности, но очевидными экономическими причинами. Достаточно сказать, что ускорение внедрения объёмного телевидения на несколько лет эквивалентно экономии в сотни миллиардов рублей. Экономия может достигаться не только путем купирования продаж обычных цифровых телевизоров, как правило, иностранного производства, за счет объёмных, обладающих новыми потребительскими свойствами, но и благодаря удовлетворению потребностей рынка объёмных телевизоров и другого телевизионного оборудования отечественной промышленностью.

Автор признателен профессору Л. Л. Полосину за всестороннее обсуждение темы статьи.