

Виртуальная реальность в сферической перспективе

А.М. Ковалев

(Институт автоматизации и электрометрии СО РАН)

Аннотация

Отмечено, что *плоские* изображения, полученные в рамках систем классической *линейной* перспективы и *нелинейной* перспективы по Б.В. Раушенбаху, воспроизводят окружающий мир искаженно. Показано, что с точки зрения геометрии, физиологической оптики и психологии зрительного восприятия наиболее полно требованиям виртуализации трехмерного пространства отвечает *сферическая* перспектива, которая формирует изображения на сфере без геометрических, интерпозиционных и яркостных искажений. Получено *сферическое проективное преобразование* и модель пространства изображений для подвижного глаза с учетом аккомодации,

Ключевые слова: виртуальное пространство, перспектива, проективное преобразование, движения глаза, сферические изображения.

1. ВВЕДЕНИЕ

Синтетический трехмерный мир, имитация визуальной обстановки, виртуальная реальность - все это относится к той области информатики и компьютерной графики, которая зародилась в тренажеростроении [1,2] и бурно развивается теперь как новая *среда* для компьютерной коммуникации и телеуправления [2,3].

Основным методом синтеза изображений трехмерного пространства до сих пор является метод линейной перспективы. Это изобретение эпохи Возрождения, лежащее в основе фотографии, кинематографа, телевидения и компьютерной графики, используется для имитации пространства на плоских изображениях. Линейное проективное преобразование, характерное для таких оптических систем как линза, объектив или окуляр [4], принято в компьютерной графике [5] и успешно используется [6] несмотря на существенные недостатки, связанные с искажениями естественного зрительного восприятия. Академик Б.В.Раушенбах пишет [7, стр.220]: "Можно лишь поражаться тому, какую массу искажений естественного зрительного восприятия несет система перспективы, которая столетиями считалась идеалом точного, научного способа передачи пространства на плоскости картины".

В свою очередь Б.В.Раушенбах предложил систему нелинейной перспективы, названную *перцептивной*. К сожалению, и эта система имеет

недостатки, и может найти лишь ограниченное применение в компьютерной графике.

По нашему мнению, нарушение зрительного восприятия является следствием неверных в оптике представлений, что, глаз *подобен фотоаппарату*, а также тем, что *движениям* глаза не придается существенного значения.

Настоящая работа посвящена изучению перспектив, как учений о методах изображений, соответствующих зрительному восприятию, а конкретно, определению проективного преобразования, пригодного для выявления пространства объектов при больших полях наблюдения, на малых расстояниях до объектов, с учетом подвижности глаз человека.

2. ИЗОБРАЖЕНИЕ ПРОСТРАНСТВА НА ПЛОСКОСТИ

2.1. Линейная перспектива.

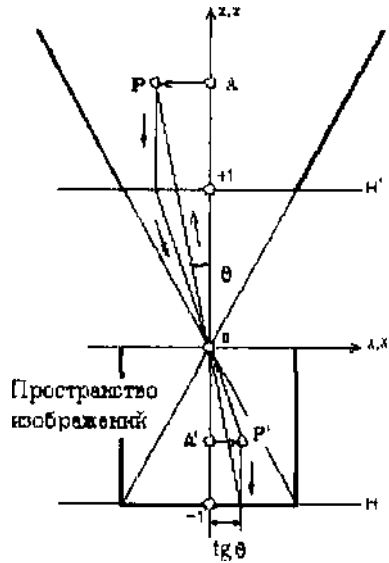
В согласии с оптикой солинейного сродства и оптикой Гаусса [4] линейное проективное преобразование связывает пространство объектов и изображений, заданных в декартовых прямоугольных системах координат xyz и $x'y'z'$, следующими формулами:

$$x' = -f \frac{x}{z} \quad y' = -f' \frac{y}{z} \quad z' = -ff' \frac{1}{z} \quad (1)$$

где f и f' соответственно фокусные расстояния переднего и заднего фокусов оптической системы, Первые две формулы определяют двумерные координаты плоского изображения, третья - формула Ньютона - определяет расстояние вдоль оси z' , совпадающей с оптической или зрительной осью.

На рис. 1 показана простейшая модель оптической системы, применяемая в компьютерной графике, в которой $f=f'$, H и H' - главные плоскости оптической системы, а центр проекции совпадает с фокусами и началами систем координат. Свойства линейного проективного преобразования хорошо изучены [5], но, пожалуй, самым замечательным является то, что гомоцентрический пучок лучей пространства объектов с пересечением в центре проекции преобразуется формулами (1) в пучок лучей, параллельных зрительной оси в пространстве изображений, и,

наоборот, параллельный пучок лучей пространства объектов становится гомоцентрическим в пространстве изображений.



Пространство объектов "+"

Рис.1

Компьютерная графика активно использует линейность пространства изображений. При этом алгоритмы построения изображений достигли такого совершенства, что работают в реальном времени на персональном компьютере [6].

Линейная перспектива, несмотря на классическую древность, несмотря на блестящие успехи ее применения не только в компьютерной графике, но, главным образом, в сфере коммуникации, образования, культуры, сохранила и свои первобытные недостатки, не позволяющие применить ее для выявления пространства при больших полях наблюдения и малых расстояниях до объектов.

Первыми критиками линейной перспективы стали художники, которые отображали окружающий мир по своему, каким воспринимали его визуально. На базе анализа геометрических построений в живописи разных эпох от древнего Египта до импрессионистов академик Б.В.Раушенбах разработал основы теории системы перцептивной перспективы [7], которая включает линейную перспективу как частный случай.

2.2. Нелинейная перспектива по Б.В.Раушенбаху.

Система перцептивной перспективы получается путем перенесения на плоскость геометрических свойств перцептивного пространства, которое, согласно [7], возникает в человеческом сознании путем

"растяжения" и "сжатия" линейного пространства изображений. Свойства перцептивного пространства следуя психологии зрительного восприятия определяются действием механизмов константности величины и формы [7, стр.247].

Механизм константности величины связан с компенсацией уменьшения изображения объектов мере их удаления от наблюдателя. В 'J непосредственного окружения человека (в рад!" единиц метров) эта компенсация почти полна" линейная перспектива фактически заменяется аксонометрией. Поскольку единственной переменной, от которой зависит численная величина "растяжения" и "сжатия", является расстояние вдоль зрительной оси, то считается, что деформациям будет подвержено воспринятое пространство.

Механизм константности формы связан с компенсацией изменения формы объекта. При этом возникает локальная деформация пространства, которая может меняться при замене одного предмета другим, что создает трудности однозначного воспроизведения перцептивного пространства. Поэтому говорят о системе перцептивной перспективы в узком смысле слова, учитывая лишь механизм константности величины,

"Жесткая" перцептивная перспектива определяется следующим проективным преобразованием

2

где $F(z) = 1 + \arctg(z-z_0)$ - непрерывная и монотонная функция расстояния от наблюдателя, предложенная Б.В.Раушенбахом, Функция удовлетворяет следующим условиям: $F(z_0)=1$, где z_0 - расстояние до плоскости проекции; $F(\infty)=1+n/2$; $dF/dz(z_0)=1$, Количественное соответствие выбранной зависимости $F(z)=1+arclj z_0)$ опыту зрительного восприятия человека подтверждено экспериментальным путем [7, стр.255].

На рис.2 в одинаковых масштабах показаны сечения плоскостями $y'=-y''=0$ двух пространств изображений, линейного (а) и деформированного функцией $F(z)$ при $z_0=1$ (б). Рассмотрим, преобразуются гомоцентрический и параллели пучки из линейного пространства в нелинейное. Гомоцентрический пучок, соответствующий параллельным линиям пространства объектов и отражающий само понятие "перспективы", превращается гомоцентрический криволинейный пучок, причем малых расстояниях до объектов ($z \rightarrow 1$, $z'' \rightarrow -1$) отчетливо проявляется механизм константно! величины, поскольку линии гомоцентрического пу практически параллельны. На больших расстояниях ($z \rightarrow \infty$, $z'' \rightarrow 0$) гомоцентрические пучки в линейно! нелинейной перспективах практически совпадают.

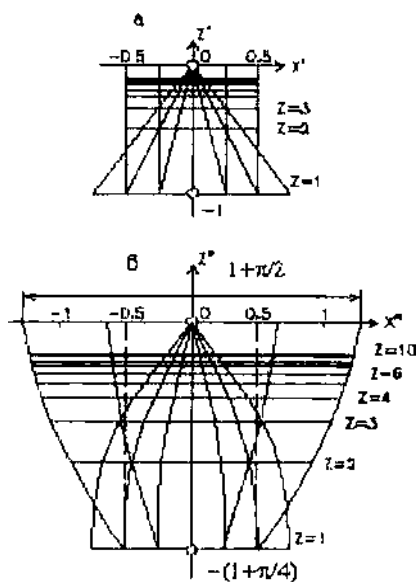


Рис.2

Параллельный пучок линейного пространства изображений отражает линии визирования или линии взгляда, вдоль которых осуществляется интерпозиция объектов и удаление элементов невидимых поверхностей. Этот пучок также деформируется и, расширяясь по мере удаления от наблюдателя, увеличивается по оси Ox'' на "бесконечности" в $1 + \pi/2$ ев. 2.57 раза. Чтобы сохранить "константность" величин, проекцию на плоскость и удаление невидимых поверхностей необходимо производить вдоль линий, параллельных оси z'' , но в таком случае нарушается интерпозиция объектов, даже при $z \rightarrow \infty$. Таким образом, предложенная нелинейная перспектива не дает интерпозиционных искажений в тех случаях, когда нет необходимости удалять невидимые поверхности. например, при отображении подстилающей земной поверхности (рис.3: а - линейная перспектива, б - нелинейная), В [7, стр.250-254] показано, что без искажений передать перцептивное пространство на плоскости принципиально невозможно. Например, невозможно изобразить на плоскости полый бесконечный цилиндр, расположенный вдоль зрительной оси, поскольку проекция образующей цилиндра оказывается больше проекции ближнего радиуса обреза цилиндра; невозможно без искажений отобразить интерьер комнаты, хотя каждую стену, потолок и пол по отдельности изобразить можно.

2.3. Недостатки известных систем.

1. Линейная перспектива изображает объекты на малых расстояниях искаженно вследствие того, что не учитывает механизма константности величины,

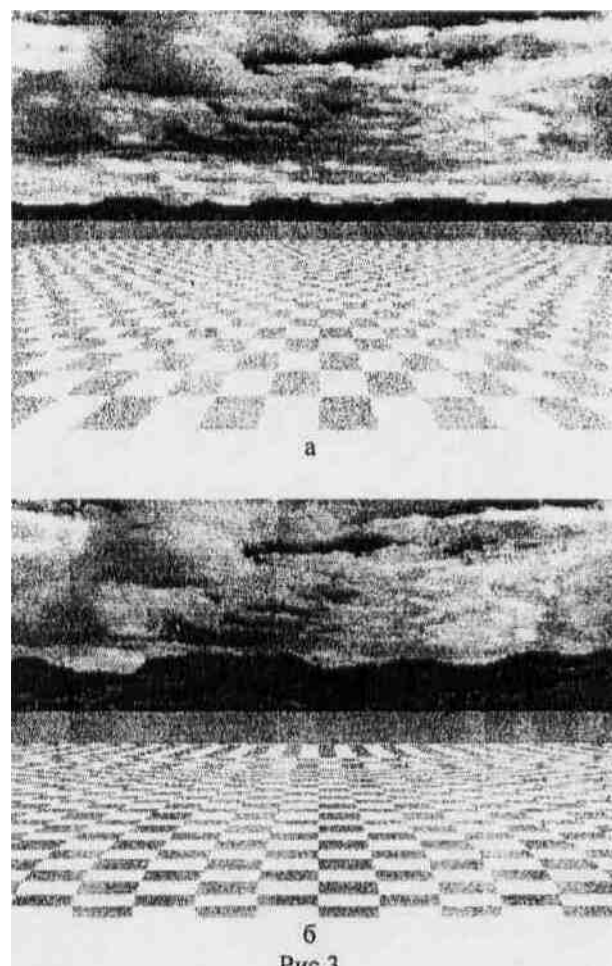


Рис.3

В результате на плоских изображениях близкие предметы оказываются излишне увеличенными.

2. Нелинейная перспектива по Б.В.Раушенбаху включает механизм константности величины на малых расстояниях и линейную перспективу - на больших. В результате возникает аксонометричность близких предметов, увеличиваются в размерах удаленные предметы, и, кроме того, проявляется удивительный эффект *обратной перспективы* при монокулярном наблюдении предметов в ракурсе [7, стр.263-270]. Существенным ограничением предложенной системы является нарушение интерпозиции объектов, что не дает возможности отобразить на плоскости трехмерное пространство однозначно и неискаженно.

3. В основе рассмотренных систем лежит метод центрального проектирования из некоторой неподвижной точки (в ней мыслится расположенным глаз наблюдателя) на неподвижную плоскость, перпендикулярную зрительной оси. Следовательно, подразумевается неподвижность глаза человека. Но это противоречит не только физиологии глаза [8], но и психологии зрительного восприятия, поскольку глазные движения включаются в перцептивный процесс [9,10].

4. Плоское изображение не способно в принципе обеспечить широкое поле зрения глаз с учетом их движения. Как известно, угловые размеры пространства, наблюдаемого условно неподвижным глазом, равны: книзу 70° , кверху 55° , к носу 60° и к виску 90° . Движение глаз позволяет увеличить просматриваемое пространство. Наибольшее отклонение зрительной оси в сторону достигает $40^\circ+50^\circ$, по вертикали 23° [8].

3. ПОВЕРХНОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

На наш взгляд, основной причиной, определяющей все геометрические погрешности известных систем перспектив, является использование плоских поверхностей, на которые проецируется трехмерное пространство объектов-

Плоскость - это абстрактная виртуальная среда для коммуникации [2], которая отличается уникальным свойством иметь разнообразное физическое воплощение: лист бумаги или полотно картины, фотография или киноплёнка, экраны телевизора или монитора компьютера. Человечество просто обязано своим развитием этому утилитарному свойству плоскости. Возможно поэтому изображение трехмерного пространства с помощью линейной перспективы считается до сих пор единственно верным, а нелинейная перспектива на плоскости вследствие ее неоднозначности дает лишь живописцам простор для творчества.

Выше мы показали недостатки плоских изображений. Возникает естественное предположение, что на смену плоскости для новой компьютерной среды коммуникации должна прийти *криволинейная поверхность*. Какая? Для имитации трехмерных объектов и их адекватного восприятия, решающими становятся формообразующие, а, вернее, "формоос охраняющие" возможности поверхности. Естественным требованием к поверхности является сохранение формы при перемещении и/или вращении проекций объектов или отображающей поверхности, т.е. соблюдение геометрических принципов транзитивности движения и вращения, подобных "постулатам движения" в евклидовой плоскости [11, стр.144-146]:

а) Поверхность может быть перемещена в самой себе таким образом, чтобы любая ее точка *A* пришла в совмещение с любой другой ее точкой *A'* (принцип транзитивности);

б) Поверхность может быть повернута в самой себе вокруг любой ее точки *A* таким образом, чтобы луч *AB*, выходящий из центра вращения, совместился с любым другим лучом *AB'*, также выходящим из центра вращения (принцип вращения). Заметим, что на сфере роль лучей выполняют окружности больших кругов.

Набор поверхностей, на которых возможны движения фигур без деформации с тремя степенями свободы, в евклидовом пространстве ограничен - это только плоскости и сферы; им соответствуют два типа двумерной геометрии - плоская и сферическая, как говорят, евклидова и риманова.

1. Покажем, что центральная проекция трехмерного пространства на сферу удовлетворяет требованиям начальной фазы процесса виртуализации реального мира, а именно: а) обеспечивает большие угловые размеры поля наблюдения, перекрывающие поле зрения человека; б) учитывает глазные движения; и в) обеспечивает геометрические свойства, вызывающие механизм константности величины.

4. ИЗОБРАЖЕНИЕ ПРОСТРАНСТВА НА СФЕРЕ

4.1. Сферическая перспектива.

Пусть пространство объектов задано в декартовой прямоугольной системе координат, начало которой совпадает с центром проекции (рис.4,а). Тогда через радиус-вектор любой точки $P=[x,y,z]$ этого пространства проходит луч, принадлежащий гомоцентрическому пучку проекции, а сама точка лежит на поверхности сферы и имеет сферические координаты γ, θ, φ (полярный радиус, широта и долгота

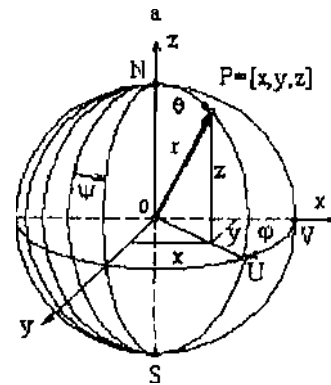
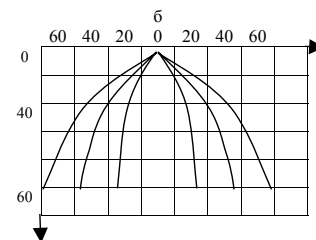


Рис.4



Известная связь между декартовыми прямоугольными и сферическими координатами выполняет роль *сферического проективного преобразования*:

(3)

Первая формула в (3) выражает расстояние до точки и может быть использована для удаления невидимых поверхностей объектов вдоль луча, заданного радиусом-вектором $P=[x,y,z]$, а две последние определяют угловые координаты точки (широту θ и долготу (φ) на *сферическом изображении*.

Нетрудно видеть, что: 1) пространство объектов и пространство изображений совпадают; 2) преобразование (3), которое является лишь заменой системы координат, не деформирует пространство объектов-изображений; 3) проекция на сферу производится вдоль лучей, ортогональных поверхности изображений. Таким образом, центральная проекция трехмерного пространства на сферу не вносит в изображение ни геометрических, ни интерпозиционных, ни яркостных (цветовых) искажений, и в этом смысле сферическая перспектива формирует *идеальное изображение* трехмерного пространства.

Широкое поле наблюдения. Очевидно, что пространство изображений может быть заполнено до телесного угла, равного 4π . Поэтому сферическое изображение способно перекрыть поле зрения человека,

Учет глазных движений. Если центр проекции совместить с центром вращения глазного яблока, а исходящий гомоцентрический пучок рассматривать как пучок зрительных осей, то становится очевидным, что сферическая перспектива инвариантна основному движению глаза - вращению - при осуществлении установочных, следящих, вергентных и, возможно, сенсорных функций системы зрения [9].

Механизм константности величины. Пучок параллельных в объектном пространстве линий отображается на сферу в виде полуокружностей больших кругов, плоскости которых пересекаются по прямой, параллельной этому пучку и совпадающей с их общим диаметром. Следовательно, имеется две точки "схода" полуокружностей, одна из которых соответствует $+\infty$ вдоль параллельного пучка, а другая - $-\infty$. На рис. 4,а показано, как могут отобразиться на сфере некоторые линии, параллельные оси Oz, образуя точки схода N и S при $\theta_N=0$ и $\theta_S=\pi$, т.е. у полюсов сферы. В этом случае пучок параллельных линий пространства объектов оказался сопряженным с совокупностью меридиан. Угловое расстояние ψ (или длину дуги) между отдельными меридианами при изменении широты θ от полюса ($\theta=0^\circ$) до экватора ($\theta=90^\circ$) можно определить из сферического треугольника, образованного двумя сторонами, ("катити на этих меридианах, и искомой стороной на

соответствующей параллели. Наибольшее расстояние ψ_{\max} на экваторе равно разнице между меридианами по долготе. Например, для треугольника UNV $\psi_{\max}=\varphi$. Наименьшее расстояние $=0$ в точке схода. На рис.4,б приведен график изменения угловых величин для меридиан, отстоящих по долготе на 20° . В районе экватора, т.е. на малых расстояниях параллельных линий от наблюдателя, прослеживается *константность угловых величин* (дуг). Поскольку при $\theta=90^\circ$ меридианы образуют с экватором прямые углы, наблюдается полная параллельность линий. По мере удаления от наблюдателя сферическая перспектива приближается к линейной.

Линейная перспектива в пространстве изображений сохраняет тангенсы углов, под которыми видна точка в пространстве объектов (рис.1), а не сами углы, как в сферической перспективе. При малых углах наблюдения и больших расстояниях до объектов, когда $\theta \approx \text{tg}\theta$, сферическая и линейная перспективы геометрически и по масштабу практически совпадают, а при больших углах наблюдения и малых расстояниях до объектов сферическая перспектива уменьшает размеры предметов по сравнению с линейной в масштабе от $\theta/\text{tg}\theta$ до z/Γ в зависимости от способов сравнения размеров плоского и сферического изображений.

Обратная перспектива объектов в ракурсе

Упомянутый эффект возникает в тех случаях, когда параллельные линии, на которые смотрит человек, направлены не "от" наблюдателя, а несколько "наискось" [7, стр.263]. Ракурс параллельных линий на сфере возникает, если зрительную ось повернуть не к полюсу, а несколько "наискось" к экватору. При этом поле зрения человека захватит область схода линий к полюсу, экватор, где наблюдается максимальное угловое расстояние между меридианами. а также область за экватором, ближнюю к другому полюсу, где это расстояние начнет уменьшаться, вызывая "*эффект обратной перспективы*".

Сферическая перспектива, удовлетворяющая требованиям процесса виртуализации реального мира, построена с использованием простейшей модели подвижного глаза в виде вращающейся зрительной оси. Рассмотрим, насколько это оправдано с точки зрения физиологической оптики и психологии зрительного восприятия.

4.2. Глаз и его вращения.

На рис.5 представлен меридиональный разрез глаза, построенный на основе схематического глаза по А.Гульстранду [12]. Показана зависимость остроты зрения от углового положения чувствительных к свету элементов. Разрешающий угол, равный $\approx 1'$ в области фовеа, практически линейно увеличивается с прираще-

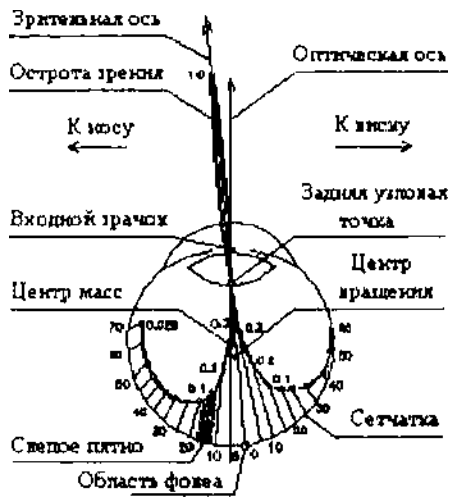


Рис.5

нием примерно 5' на каждые 10° отклонения от нее. Очевидно, что острота зрения - величина, обратная разрешающему углу, резко падает при отклонении лучей от зрительной оси и информация от сетчатки поступает в головной мозг как бы от остро направленной "антенны". В области фовеа, или *рабочего поля зрения* размером 6-8° происходит симультанная обработка данных [13]. Данные от периферического зрения (малое разрешение) несут вспомогательную, но не менее важную информацию о событиях, которые могут привлечь внимание в будущем, вызывая афферентируемые скачки или саккадические движения (саккады). Скачки обеспечивают перемещение фовеального зрения путем вращения глаза. Это очень важный вид движения, изучение которого [9] показывает:

- 1) при больших углах поворота до 60° скачки, как правило, сопровождаются поворотом головы; при углах поворота не более 15°-20° типичны повороты глаз, состоящие из двух и более скачков с промежуточными фиксациями между ними, которые не осознаются субъектом; минимальная амплитуда произвольных скачков 1'-30';
- 2) продолжительность (от 0.02 до 0.1 сек.) и скорость скачков (до 500°/сек) определяется необходимым углом поворота глаз и не зависит ни от его направления, ни от положения глаз перед скачком; скорость скачка не поддается произвольному управлению;
- 3) в течение латентного периода, т.е. от момента появления афферентного сигнала до начала скачка, производится "измерение" углового расстояния и "программирование" движения до будущей точки фиксации;
- 4) точность зрительно афферентируемых скачков имеет порядок 4.5'-6' при амплитуде порядка 10°; при

больших амплитудах основной скачок сопровождается маленьким поправочным скачком, но и тогда амплитуда первого скачка отклоняется от заданного не более, чем на 18'-30'.

Результаты исследований показывают, что восприятие пространства объектов мозгом человека происходит последовательно-параллельным образом. Возникают скачкообразные перемещения рабочего поля зрения путем вращения глаз, за которыми следуют фиксации взгляда. За время фиксации (от 0.3 до 1,5 сек) параллельно обрабатываются практически плоские изображения а рабочем поле зрения небольшого размера <10°.

Несмотря на непрерывные движения глаз окружающее пространство воспринимается неподвижным или константным. Изучение проблемы стабильности зрительного поля с помощью опытов по наблюдению последовательных образов привело психофизиологов к представлению о существовании на некотором уровне зрительной системы гипотетического "константного зрительного экрана", на который сетчаточные изображения приходят в строгом соответствии с движениями глаз и головы, т.е. адресно [14]. "Экран" является трехмерным даже при монокулярном зрении, а состояние его элементов не зависит от движения глаз. По всей вероятности - это кратковременная память, в которой фиксируется сферическое пространство изображений, поскольку наблюдается инвариантность *вращения* глаз.

Таким образом, совокупные психофизиологические данные убеждают, что система зрения человека по крайней мере приспособлена к восприятию сферической перспективы трехмерного пространства,

4.3. Пространство изображений подвижного глаза.

Будем считать, что, во-первых, принятая рана модель подвижного глаза в виде вращающейся зрительной оси справедлива, и, во-вторых, вдоль зрительной оси справедлива формула Ньютона, несмотря на то, что оптическая и зрительная оси глаза не совпадают. Угол между ними ≈5°. С учетом своеобразного измерения расстояний в геометрически! оптике (рис.6) пространство изображений подвижной глаза можно определить ш (3) следующим образом:

$r' = \frac{b' - f' - ff'}{(r - f - b)}$ $\rho' = \frac{8}{\rho}$ где b, b' - расстояния от центра вращения до главных плоскостей оптической системы H, H' ; F, F' - передний и задний фокусы; f, f' - фокусные расстояния; r, ρ, φ - сферические координаты точки в объектной пространстве; r', ρ', φ' - сферические координаты точки в пространстве изображений глаза,

Пространство имеет вид сферической коры конечных размеров. Точки на внутренней сфере меньшего радиуса сопряжены с бесконечно удаленными точками пространства объектов. Внешняя сфера большого диаметра сопряжена с ближними точками. Размеры пространства изображений зависят от степени аккомодации глаза. На рис.6 показаны сечения двух пространств изображений: сплошными линиями - для покоя аккомодации (58 диоптрий) и пунктиром - для максимума аккомодации (70 диоптрий).

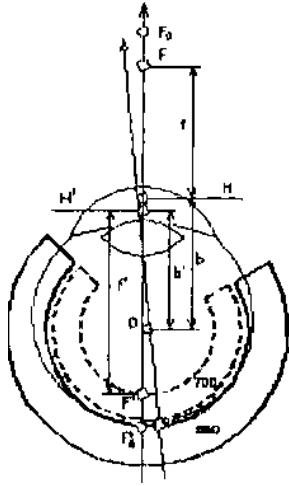


Рис.6

Если положить фокусные расстояния равными $f=f'$ и фокусы совместить с центром проекции (центром вращения), то получим нормализованную модель сферического пространства изображений подвижного глаза, в которой из (4)

5

где x'', y'', z'' - система декартовых прямоугольных координат пространства изображений, совпадающая с системой координат объектного пространства.

На рис.7 для сравнения показаны два изображения объекта AP: $A'P'$ - в линейном пространстве и $A''P''$ - в сферическом, полученном с помощью преобразования (5).

Можно утверждать, что преобразование (5) обладает свойствами конформного отображения в любых плоских сечениях, проходящих через начало координат. В самом деле, пусть комплексная плоскость $v=x+iz$ соответствует геометрической плоскости $y=0$. Отображение $w=1/v$ является конформным и представляет геометрически инверсию точки v относительно единичной окружности с центром в начале координат с последующим симметричным отображением относительно действительной оси:

$$w = \frac{1}{x+iz} = \frac{x}{x^2+z^2} - i \frac{z}{x^2+z^2} = x'' + iz'' \quad (6)$$

И в любой другой плоскости, проходящей через начало координат, с учетом (5) будет соблюдаться конформное преобразование, подобное (6). Таким образом, сферическое проективное преобразование сохраняет не только углы, под которыми наблюдается объект, но и углы в точке пересечения двух прямых или кривых, нежащих в плоском сечении объекта, которое проходит через центр проекции и содержит зрительную ось.



Рис.7

В нормализованной модели появляется обратное полярное расстояние пропорциональное аккомодации глаза в диоптриях. Поэтому сферическое проективное преобразование переводит пространство объектов в систему координат, непосредственно связанную с глазными параметрами - углы поворота глаза и аккомодация глаза.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Системы классической линейной и нелинейной (по Б.В.Раушенбаху) перспектив формируют изображения на плоских поверхностях. В результате трехмерное пространство отображается искаженно, особенно при больших полях наблюдения, сравнимых с полем зрения человека.

Линейность пространства изображений является, с одной стороны, достоинством линейной перспективы, позволяющим создавать высоко-эффективные алгоритмы синтеза изображений, но, с другой стороны,

недостатком, исключая возникновение перцептивного механизма константности величины и связанного с ним эффекта "обратной" перспективы, что приводит к искаженному, чрезмерно увеличенному изображению предметов на малых расстояниях,

Нелинейная перспектива по Б.В.Раушенбаху, сконструированная специально для учета механизма константности величины, страдает рядом недостатков; нарушением интерпозиции объектов, неизотропностью проективного преобразования, неоднозначностью его выбора, ограниченностью применения,

Альтернативой *плоским* поверхностям в евклидовом пространстве являются *сферические* поверхности, на которых возможно движение проекций объектов без деформации с тремя степенями свободы.

Центральная проекция пространства на сферу, или сферическая перспектива наиболее полно удовлетворяет физиологии и психологии зрительного восприятия. Сферические изображения не имеют геометрических и интерпозиционных искажений, Сферическая перспектива обеспечивает большие поля наблюдения, неискаженно воспроизводит объекты на малых расстояниях из-за проявления механизма константности угловых величин и эффекта "обратной" перспективы, инвариантна основному движению глаза -вращению, может учитывать глубинно-фокусные вариации взгляда при аккомодации, обладает свойствами конформного отображения, что существенно для перцептивного механизма константности формы объектов. Линейная перспектива является лишь предельным случаем сферической при уменьшении поля зрения до рабочего, или фовеального.

Центральная проекция трехмерного пространства на сферу, сохраняющая угловые размеры предметов с абсолютной точностью, в такой же степени совершенна и естественна, в какой совершенна параллельная проекция пространства на плоскость, или аксонометрия, которая передает неискаженно линейные размеры предметов,

Таким образом, на наш взгляд, на смену плоскости и линейной перспективы для новой компьютерной среды коммуникации - *виртуальной реальности* - должна прийти сферическая поверхность и сферическая перспектива,

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] А.М.Ковалев, Э.А.Талныкип, Машинный синтез визуальной обстановки // Автотметрия, 1984, N4,
- [2] S.R.Ellis. Nature and Origins of Virtual environments; a Bibliographical Essay // Computing Systems in Engineering, 1991, Vol.2, N4.
- [3] В.И.Алешин, В.О.Афанасьев, РМГалис, Ю.М.Баяковский, А.Н.Юмили. Виртуальная реальность. Проблемы освоения новой информационной технологии // Программные продукты и системы, 1994, N4,
- [4] Г.С.Ландсберг. Оптика// М.; Наука, 1976.
- [5] Ньюмен У., Спрулл Р. Основы интерактивной машинной графики // М.; Мир, 1976.
- [6] И.В.Белаго, Ю.В.Некрасов, А.В.Романовский, Ю.В.Тарасов. Программная система для разработки виртуальных сред на персональной ЭВМ // Автотметрия, 1996, N2.
- [7] Б.В.Раушенбах. Пространственные построения в живописи. Очерк основных методов, Приложения 1-9 //М.; Наука, 1980.
- [8] С-В.Кравков. Глаз и его работа // М.,Л.; АН СССР, 1950.
- [9] Ю.Б.Гиппенрейтер. Движения челоиическогогп глаза//М.: Московский университет, 1978,
- [10] Моторные компоненты зрения. Сб. статей // М.: Наука, 1975.
- [11] Н-И.Лобачевский. Сочинения по геометрии. Том 1 // М.,-Л.: Изд. технико-теоретич. лит., 1946.
- [12] ABC der Optik. Herausgegeben von K.Mulze. Leipzig, Verlag T.A.Brockhaus, 1961.
- [13] В.ДТлезер. Зрение и мышление//Л.: Наука, 1985.
- [14] Г.М.Зенкин, А.П.Петров. О механизмах константности зрительного восприятия пространства // Сенсорные системы. Л.: Наука, 1979.
Ковалев Аристарх Михайлович, чл.-
корр, АИН РФ, д.т.н. тел. (3832)39-92-
57 факс.(3832) 33-38-63 e-mail:
kovalev@iae.nsk.su

Virtual Reality in Spherical Perspective

A.M.Kovalev

(Institute of Automation and Electromelry, SB RAS)

Abstract

Central projections of a space onto a plane are considered within the framework of systems of the classical linear perspective and the Raushenbakh nonlinear perspective. Plane images are noted to reproduce environment with distortions. The spherical perspective, which forms images on a sphere without geometrical, interposition, brightness, or color distortions, has been demonstrated to satisfy the requirements of three-dimensional space virtualization most fully from the point of view of geometry, physiological optics, and psychology of visual perception. A model of an image space is suggested for a movable eye with regard for accommodation.