

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



Институт Радиотехники и электроники

Кафедра Светотехники

Направление Электроника и нанoeлектроники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Программа: Оптико-электронные приборы и системы

Тема: Исследование оценки качества субъективного
восприятия стереоизображений объективными параметрами

Студент ЭР 06-08 Пивоварова М.В.
группа *подпись* *фамилия, и., о.,*

Научный

руководитель доцент К.Т.Н. Мартынов В.Н.
должность *звание* *подпись* *фамилия, и., о.,*

Консультант _____
должность *звание* *подпись* *фамилия, и., о.,*

Рецензент доцент К.Т.Н. Снетков В.Ю.
должность *звание* *подпись* *фамилия, и., о.,*

Магистерская диссертация допущена к защите

Зав.кафедрой профессор Григорьев А.А.
звание *подпись* *фамилия, и., о.,*

Дата 19 июня

МОСКВА

2014 г.

АННОТАЦИЯ

В работе проведён анализ бинокулярного зрения и физиологической природы объёмного восприятия окружающего пространства человеком. Проанализированы результаты работ по оценке стереоскопических изображений субъективным методом. Разработаны и применены объективные методы оценки, а также проанализирована взаимосвязь объективного и субъективного методов. Так же, для более наглядной реализации объективного метода, с помощью пакета Matlab был разработан программный алгоритм с пользовательским интерфейсом.

ANNOTATION

The analysis of binocular vision and physiological nature surround perception of the space man. Analyzed the results of the evaluation of stereoscopic images subjective method. Developed and applied objective evaluation methods, as well as the interrelation of subjective and objective methods. Just in order to clarify the implementation of the objective method, using Matlab package was designed software algorithm with the user interface.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБЪЕМНОГО ВИДЕНИЯ.....	6
1.1. Биноккулярное видение и стереоскопический эффект.....	6
1.2. Особенности стереоскопического восприятия пространства.....	15
1.3. Особенности биноккулярного восприятия цвета.....	20
1.4. Динамический стереоэффект	22
ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ	25
2.1. Определение чувствительности стереозрения	25
2.2. Анатомия биноккулярного зрения в норме и при патологиях.	28
2.3. Характеристики биноклярного зрения	33
2.4. Модели биноклярного зрения.....	34
2.5. Технические средства исследования стереоскопического зрения.	39
ГЛАВА 3. МЕТОДЫ АНАЛИЗА СТЕРЕОИЗОБРАЖЕНИЙ	46
3.1 Цель проведения исследований и их актуальность	46
3.2 Методика определения субъективного восприятия глубины.....	49
стереоэффекта.....	49
3.3 Метод объективных оценок	50
3.3.1. Корреляционный подход.....	51
3.3.2. Вычисление диспаратета.....	54
ГЛАВА 4. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ	58
4.1. Выбор изображений	58
4.2. Статистические результаты исследования	61
4.3. Объективная оценка восприятия глубины для стереоизображений, созданных на стерео полигоне. .	65
ГЛАВА 5. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ.....	73
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	78
ЛИТЕРАТУРА.....	79
Приложение 1.....	80

ВВЕДЕНИЕ

Около 80 процентов всей информации об окружающем мире мы получаем через органы зрения. На самых ранних стадиях эволюционного развития зрительный аппарат животных приобрел пару глаз и способность видеть мир трехмерным. Мы умеем с легкостью определять размеры, форму и удаленность предметов, выделять целое из множества деталей и систематизировать образы. В этом нам помогает анализ перспективных искажений предметов, истинные размеры которых заранее известны, язык светотени, эффекты воздушной перспективы, цветовые искажения и неравномерное смещение предметов во время движения наблюдателя.

Перечисленные выше механизмы относятся к категории монокулярного пространственного зрения, которые позволяют нам уверенно ориентироваться в пространстве даже с одним глазом.

Благодаря монокулярному стереозрению каждый из нас способен адекватно оценить пространство на фотографии или картине художника, но получить ощущение реальной глубины пространства все-таки не удастся. Поэтому самым точным и эффективным инструментом восприятия пространства является бинокулярное зрение.

При решении задач по передаче и обработке объемных изображений особое внимание следует обратить на те, в которых воспроизведенные объемные изображения должны соответствовать оптимальным условиям восприятия их аппаратом зрения человека. Для этого был рассмотрен процесс наблюдения человеком объемных объектов [12].

В данной работе для более детального и глубокого анализа, ставится задача исследования не по результатам восприятия, а по результатам субъективной оценки. Субъективные оценки проставляет машина, опираясь на заложенный алгоритм и поуровневые величины, определяемые в процессе анализа и сопоставления ранее полученных с текущими оценками.

Данный эксперимент позволит скорректировать результаты полученные человеком, точнее после сопоставления двух результатов, можно будет получить «идеальный» (эталонный) набор значений, по которому будет производиться оценка стереозрения (бинокулярное зрение) любого обследуемого.

Биноккулярное видение дает нам представление о глубине видимого пространства и объемности предметов, находящихся в нем, с очень большим совершенством. Однако не только благодаря биноккулярному зрению человек получает зрительное представление о глубине видимого пространства и объемности предметов, находящихся в нем. Стереоскопическое восприятие обусловлено многими психофизиологическими факторами зрительного процесса.

Изображения, которые обеспечивают восприятие пространства с такой же степенью локализации глубины, как при естественном рассматривании реального пространства, называются стереоскопическими, пространственными или объемными изображениями. Изображения, обеспечивающие несколько меньшую степень локализации глубины изображенного пространства, обычно называются рельефными или пластичными. И, наконец, изображения с еще меньшей степенью локализации глубины пространства считаются плоскими изображениями.

Объемное изображение предмета может быть реальным (т. е. физической копией реального предмета) или мнимым, оптическим изображением, подобным видимому изображению предметов в зеркале. Именно такие пространственные изображения, искусственно воссоздаваемые в сознании наблюдателя в результате психофизиологических ощущений, и понимают под стереоскопическими изображениями.

Важными задачами являются изучение патологий стереозрения, утомления стереозрения человека-оператора. Ухудшение стереозрения приводит к трудностям в оценке удаленности объектов и их положения в окружающем пространстве. Наличие стереозрения необходимо для операторов сложных систем управления, в ряде профессий, связанных с особо точными и тонкими производственными операциями, при работе с биноккулярными и стереоскопическими приборами.

ГЛАВА 1. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБЪЕМНОГО ВИДЕНИЯ

1.1. Бинокулярное видение и стереоскопический эффект

При рассматривании близко расположенных предметов ресничная мышца изменяет радиусы кривизны поверхностей хрусталика, чем изменяется оптическая сила глаза и достигается фокусирование изображения объекта на поверхности сетчатки. Это явление изменения оптической силы глаза для получения резкого изображения предметов называется аккомодацией¹. Данная способность человеческого глаза играет важную роль в объемном видении.

При адаптации глаза с близко расположенных предметов на более дальние и наоборот мы получаем информацию об относительном расстоянии до наблюдаемых предметов и, сопоставляя их, воспринимаем картинку объемно.

Важнейшей особенностью бинокулярного зрения является то, что при рассматривании предметов одновременно двумя глазами изображения, видимые правым и левым глазом, сливаются в одно пространственное изображение.

Направление, в котором мы видим предметы одним глазом, определяется тем местом сетчатки, на которое попадают изображения этих предметов. При бинокулярном зрении направление видения предметов определяется линией, проходящей посередине между правым и левым глазом. Расстояние между центрами зрачков правого и левого глаз называется нормальным стереоскопическим базисом². В зависимости от возраста и индивидуального телосложения межзрачковое расстояние у различных лиц колеблется в пределах от 52 до 74 мм. Чаще всего используют его среднее значение, равное 65 мм. [1].

На Рис.1.1 изображена поверхность, заданная точками A_1 , A_2 , A_3 , которые находятся на одинаковом расстоянии от наблюдателя. На точку A_2 (точку фиксации) направлен взгляд наблюдателя, поэтому она проецируется в центральную ямку сетчаток его глаз (точки O_1 , O_1). Поверхности левой и правой сетчаток связаны с

¹ Аккомодация - приспособление органа либо организма в целом к изменению внешних условий. Например, изменение преломляющей силы оптической системы глаза для ясного восприятия объектов, расположенных на разном расстоянии.

² Нормальный стереоскопический базис - расстояние между узловыми точками глаз человека. Это расстояние для разных людей б.з. колеблется в пределах от 55 до 73 мм. Величина б.з. определяет различие между левым и правым сетчаточными изображениями, которое является основой стереоскопического восприятия.

системами координат $O_L X_L$, $O_R X_R$ таким образом, что центр (центральная ямка) находится в точке O . Пусть слева от точек O_L и O_R лежит область отрицательных значений координат. Проекция точки A_1 имеют на левой и правой сетчатке координаты x_{1l} и x_{1r} соответственно, проекции точки A_3 - координаты x_{3l} и x_{3r} . Координаты проекций точек, отстоящих от наблюдателя на то же расстояние, что и точка фиксации, на обеих сетчатках совпадают, то есть $x_{1l} = x_{1r}$, $x_{3l} = x_{3r}$. Говорят, что эти точки пространства проецируются на соответственные (корреспондирующие) точки сетчаток.

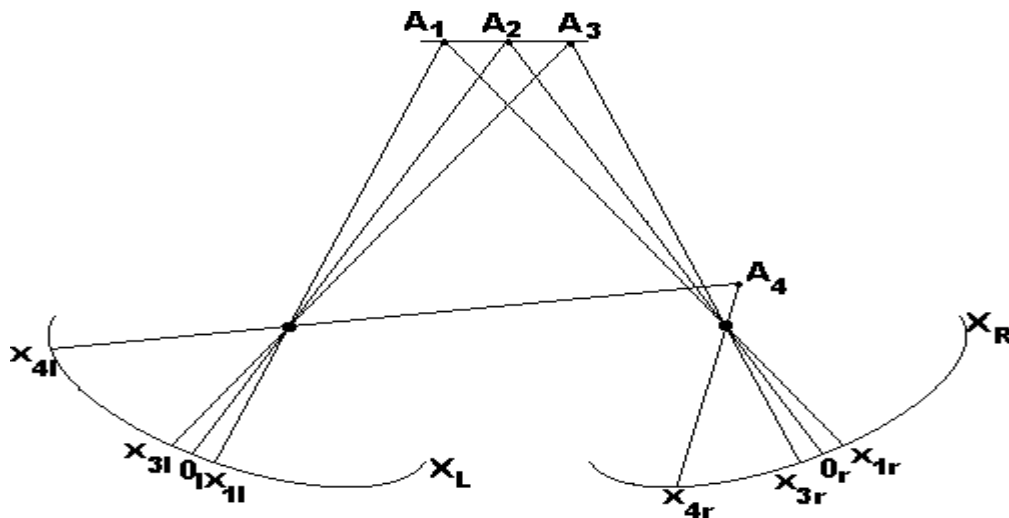


Рис.1.1. Проекция точек пространства на сетчатки глаз

Гороптер – это геометрическое место точек (для любого данного расстояния), которые попадают на корреспондирующие точки сетчаток. Все точки гороптера видятся слитно и (теоретически) должны казаться равноудаленными от наблюдателя.

Рассмотрим точку A_4 , расположенную ближе, чем точка фиксации. Координаты проекций такой точки связаны неравенством $x_{4l} < x_{4r}$ (так как $x_{4l} < 0$, $x_{4r} < 0$). Для точки A_5 (не показана на рисунке), расположенной дальше точки фиксации, справедливо неравенство $x_{5l} > x_{5r}$. Эти точки окружающего мира проецируются на некорреспондирующие или диспаратные точки сетчаток или, что то же самое, обнаруживают диспаратность³ [2]. Выделяют конвергентную (у точек, расположенных ближе точки фиксации) и дивергентную (у точек, расположенных

³ Диспаратность - различие взаимного положения точек, отображаемых на сетчатках левого и правого глаза. Диспаратность изображений лежит в основе неосознаваемых психофизиологических процессов бинокулярного и стереоскопического зрения.

дальше точки фиксации) диспаратность [13]. Распределение диспаратностей по изображению иногда называют картой диспаратностей [3].

Количественно диспаратность определяют как разность между координатами проекций объектов на сетчатки. Единица измерения диспаратности, очевидно, зависит от того, в каких единицах проградуированы системы координат $O_L X_L$ и $O_R X_R$. В физиологических и психофизиологических экспериментах диспаратность обычно измеряют в угловых минутах, в модельных экспериментах – в пикселях.

Преимущества бинокулярного зрения по сравнению с монокулярным общеизвестны. При видении двумя глазами увеличивается поле зрения и возрастает чувствительность, так как суммируются сигналы от обеих сетчаток. Острота бинокулярного зрения выше остроты монокулярного зрения примерно в 1.4 раза, а время реакции оператора в 1.1-1.2 раза меньше. При бинокулярном рассмотрении изображения уменьшается утомляемость и растет распознаваемость объекта рассматривания [4].

Выделяют три функции системы бинокулярного зрения – элементарное бинокулярное, глубинное и стереоскопическое зрение. При элементарном бинокулярном зрении мозг использует информацию от обоих глаз наблюдателя. В основе глубинного зрения лежит процесс слияния в единый образ сетчаточных изображений, происходящий в высших зрительных центрах мозга. При глубинном зрении наблюдатель способен оценивать трехмерное пространство на основе двумерных сетчаточных изображений. В основе стереозрения лежит процесс объединения монокулярных образов в бинокулярный, который сопровождается специфическим переживанием глубины. Стереозрение – способность наблюдателя воспринимать третье пространственное измерение в стереоскопических приборах, где создаются условия искусственной диспаратности.

Стереозрение невозможно в отсутствии глубинного зрения. Если субъект обладает стереозрением, то, следовательно, у него присутствует и глубинное зрение. Обратное неверно - наличие глубинного зрения не подразумевает наличие стереозрения.

У человека, в отличие от животных, поля зрения обоих глаз почти совпадают и, следовательно, оба глаза одновременно наблюдают одни и те же предметы, т.е. расширяется поле зрения и, кроме того, видение двумя глазами позволяет заглядывать за края впереди стоящего предмета. Таким образом, глаза человека взаимно заменяют функции друг друга. Именно этот эффект позволяет человеку чувствовать глубину наблюдаемого пространства.

Поле зрения одного глаза у человека составляет по горизонтали приблизительно 150° и по вертикали 135° . Границы поля зрения для различных цветов (красного, желтого, синего) при достаточно сильных раздражениях совпадают с границами для белого цвета; границы же видимости зеленого цвета на $20-25^\circ$ уже этих границ.

При бинокулярном видении поле зрения расширено по горизонтали на 30° и составляет около 180° , при этом поле зрения одного глаза только частично перекрывает поле зрения второго глаза. Общее поле зрения, получаемое при перекрывании полей обоих глаз, составляет по ширине до 120° и по высоте до 135° . Предметы, находящиеся в этом общем поле зрения, видны одновременно и правым и левым глазом.

При рассматривании какого-либо предмета одновременно правым и левым глазом глазные яблоки поворачиваются так, что направление визирных линий каждого глаза определяется фиксируемой обоими глазами точкой, в которой пересекаются визирные линии правого и левого глаза. Это явление носит название конвергенции, а фиксируемая точка на предмете называется центром конвергенции осей глаз. Угол между визирными линиями правого и левого глаза называется углом конвергенции.

Очевидно, чем ближе фиксируемая точка, тем больше угол конвергенции, и, наоборот, при бесконечно большом удалении фиксируемой точки угол конвергенции равен нулю.

Изменения аккомодации связаны с изменениями конвергенции, и, наоборот, каждое состояние конвергенции вызывает соответствующую степень аккомодации. Эта функциональная зависимость представлена на Рис.1.2.

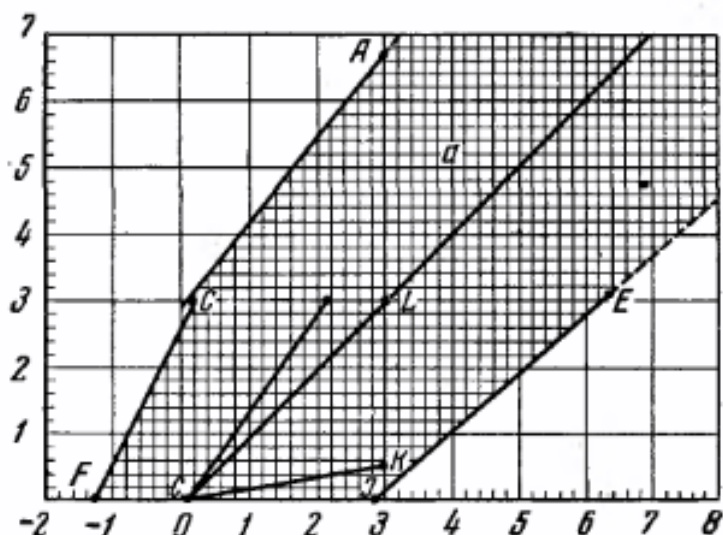


Рис.1.2 Связь аккомодации с конвергенцией.

a – зона относительной аккомодации и относительной конвергенции.

В результате проведения ряда экспериментов было установлено, что человеческие глаза переносят расхождение расстояний конвергенции и аккомодации в 3 дптр. При создании стереоскопических приборов это расхождение следует удерживать в зоне комфорта ± 1 дптр.

Принято различать несколько типов конвергенции:

- конвергенция, определяемая естественным напряжением глазных мышц, называется тонической;
- конвергенция, вызываемая определенным напряжением аккомодации, называется аккомодативной;
- разность между аккомодативной и тонической конвергенциями называется фузионной или сливающей конвергенцией.

Если глаза не сведены на фиксируемом предмете, то изображение «двоится в глазах». Когда же оси обоих глаз сведены на фиксируемом предмете, то психофизиологическое суммирование изображений, полученных правым и левым глазом, дает восприятие объемной трехмерной протяженности рассматриваемого предмета.

При раздражении корреспондирующих точек обоих глаз возникает единичное изображение предмета. Для каждого положения глаз только вполне определенные точки внешнего пространства дают изображения на соответствующих им корреспондирующих точках. Геометрическое место точек внешнего пространства,

которые дают изображения на корреспондирующих местах сетчатки, называется гороптером. Гороптер представляет собой поверхность сферы, и для различных положений глаз (различных поворотов глазных яблок) он различен. Также несколько различен гороптер для различных цветов ввиду хроматической аберрации глаз.

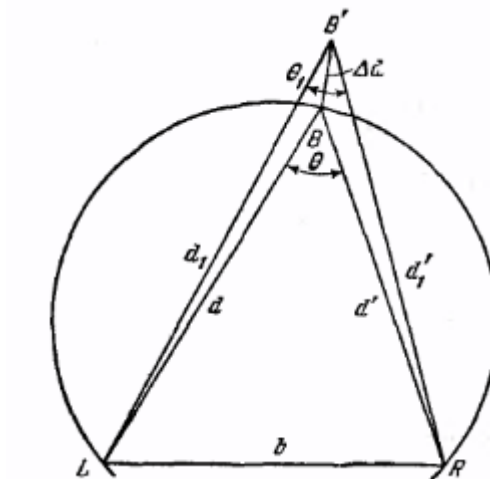


Рис.1.3. Гороптер и радиус стереоскопического видения.

На Рис.1.3. окружность LBR изображает гороптер в сечении его плоскостью рисунка. L и R — точки зрения левого и правого глаза, сконвергированных на точку B . Очевидно, по этим трем точкам L , R и B можно всегда легко построить поверхность гороптера для любого положения глаз (т. е. для любых условий конвергенции).

В том случае, если рассматриваемая точка B' лежит не на гороптере, изображение ее получается не на корреспондирующих точках сетчаток правого и левого глаза. В этом случае говорят, что изображение лежит на диспаратных точках сетчаток. Если диспаратность, т. е. несоответствие раздраженных мест сетчаток, велика, то получается двоение видимого изображения; если же диспаратность невелика, то возникает ощущение пространственной удаленности точки B' от B . Диспаратность изображений на сетчатке глаз является причиной бинокулярного стереоэффекта, т. е. эффекта пространственного видения, проявляемого при бинокулярном зрении. При одновременном рассматривании разноудаленных предметов изображения, получаемые на сетчатках глаз, всегда попадают на диспаратные точки.

Смещение точки изображения в одном глазу относительно соответствующей точки изображения в другом глазу носит название бинокулярного или стереоскопического параллакса. Бинокулярный параллакс определяется разностью углов, образуемых в обоих глазах визирными линиями (см.Рис.1.3.), идущими к фиксируемой точке B , лежащей в горизонте, и теми линиями, которые идут к сетчатке через узловые точки глаза (O_1 и O_2) от рассматриваемого предмета, находящегося ближе C или дальше A точки фиксации.

Бинокулярный параллакс может быть выражен в угловом измерении, как дифференциальный или разностный параллакс, равный разности углов конвергенции LBR (Рис.1.3.) и параллактического угла $LB'R$, обозначая которые соответственно θ и θ_1 , можно написать, что дифференциальный параллакс равен:

$$\Delta\theta = \theta - \theta_1 \quad (1.1)$$

Под остротой стереоскопического (бинокулярного) зрения обычно понимают величину предельного угла $\Delta\theta_0$ дифференциального параллакса, которую человек способен еще различить. Эта величина отлична от угла, определяющего разрешающую способность одного глаза, и сильно зависит от индивидуальных способностей человека к стереоскопическому видению пространства.

Обычно предельную величину угла $\Delta\theta_0$ принимают для расчетов равной $30''$, хотя многие лица обладают значительно большей остротой стереоскопического зрения. Статистическое распределение остроты стереоскопического зрения, определенное на основе обследования 106 лиц, представлено графически на Рис.1.4.

[2]

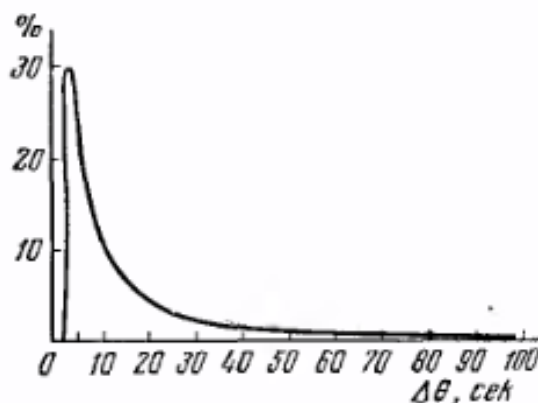


Рис.1.4. Статистическое распределение стереоскопической остроты зрения.

Острота стереоскопического зрения для каждого человека в отдельности сильно зависит от яркости наблюдаемого объекта и от длительности наблюдения. Опытные данные о зависимости остроты стереоскопического зрения от освещенности при наблюдении черных объектов на белом фоне (по данным Е. М. Белостоцкого) приведены на Рис.1.5

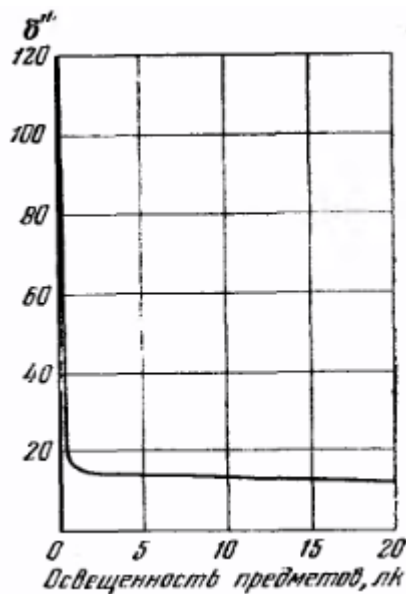


Рис.1.5. Зависимость порога глубины зрения от освещенности фона.

Зависимость порога стереоскопического зрения от продолжительности наблюдения (по Л. Н. Гассовскому и Н. А. Никольской) представлена на Рис.1.6. [2]

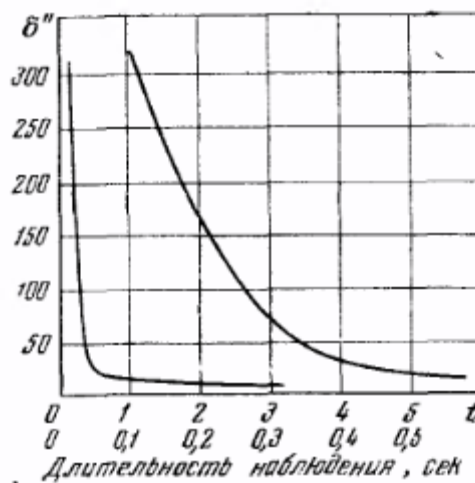


Рис.1.6. Зависимость порога глубины зрения от продолжительности наблюдения.

Значительное влияние на остроту стереоскопического восприятия оказывает также отношение вертикального размера объекта к горизонтальному и длина

периметра объекта. Радиус стереоскопического видения определяется как предельное расстояние, начиная с которого предметы, удаленные дальше вплоть до бесконечности, уже не различаются по удаленности друг от друга при помощи бинокулярного зрения.

Предположим, что глаза фиксируют точку, удаленную в бесконечность, т. е. визирные линии обоих глаз параллельны, тогда предельный угол дифференциального параллакса $\Delta\theta_0$ определит радиус стереоскопического видения r_0 согласно формуле (1.2).

$$r_0 = \frac{b_0}{\Delta\theta_0} \quad (1.2)$$

Полагая нормальный стереоскопический базис $b_0=65$ мм, предельный угол $\Delta\theta_0=0,000029$ (т. е. равным $10''$), будем иметь радиус стереоскопического видения

$$r_0 = \frac{65}{0.000029} = 1350 \text{ мм.} \quad (1.3)$$

Очевидно, все предметы, удаленные от глаза больше, чем на 1350 мм, при наблюдении их двумя глазами будут казаться на одном расстоянии, как и бесконечно удаленные.

Различимость рельефа (разноудаленность рассматриваемых предметов) определяется величиной дифференциального параллакса и удаленностью предметов. Из геометрических соотношений Рис.1.3. можно определить, что удаленность рассматриваемой точки B' от точки фиксации глаз B , лежащей на гороптере, по нормали к гороптеру, выражается уравнением

$$BB' = d_1 - d \quad (1.4)$$

Считаем $d_1 = \frac{b}{\theta_1}$ и $d = \frac{b}{\theta}$, так как удаленность точки фиксации B

значительна по сравнению с межзрачковым расстоянием b , тогда

$$BB' = b\left(\frac{1}{\theta_1} - \frac{1}{\theta}\right) \quad (1.5)$$

Отсюда:

$$b\left(\frac{1}{\theta_1} - \frac{1}{\theta}\right) = b \frac{\theta - \theta_1}{\theta_1 \theta} = \frac{b \Delta \theta}{\left(\frac{b}{d_1}\right) \left(\frac{b}{d}\right)} = \frac{\Delta \theta d_1 d}{b} \quad (1.6)$$

Уравнение можно переписать в более простом виде:

$$d_1 - d = \Delta d = \frac{\Delta \theta (d + \Delta d) d}{b} \quad (1.7)$$

Откуда

$$\Delta d = \frac{\Delta \theta d^2}{b - d \Delta \theta} \quad (1.8)$$

Наименьшая величина глубины рельефа Δd_0 , различимая при бинокулярном зрении, зависит от порога глубины $\Delta \theta_0$ и от удаленности рассматриваемых предметов d и может быть определена по формуле

$$\Delta d_0 = \frac{\Delta \theta d^2}{b - d \Delta \theta} \quad (1.9)$$

где угол $\Delta \theta_0$ выражается в радианной мере. Отсюда видно, что различимость рельефа обратно пропорциональная Δd_0 уменьшается пропорционально квадрату расстояния наблюдателя от рассматриваемого предмета.

1.2. Особенности стереоскопического восприятия пространства

Бинокулярный стереоскопический эффект наиболее сильно проявляется лишь при рассматривании сравнительно близких предметов. В этом легко убедиться, например, рассматривая предметы, которые мы держим в руке, сначала двумя глазами, а потом одним глазом. Закрыв один глаз, мы ощущаем значительную потерю пространственной телесности рассматриваемого предмета. Прodelывая такой же опыт с рассматриванием предметов, удаленных на несколько метров (нап-

пример, находящихся в дальнем конце комнаты), мы уже не замечаем большой разницы во впечатлениях от рассматривания этих предметов одним или двумя глазами.

Сила стереоскопичности зависит от угла зрительного охвата боковых сторон рассматриваемого предмета или от разности смещения рассматриваемого предмета по отношению к фону. Чем ближе рассматриваемый предмет к наблюдателю, тем больше охватывает каждый глаз наблюдателя боковые стороны предмета. Очевидно, что для увеличения охвата боковых сторон рассматриваемого предмета нужно либо приблизить рассматриваемый предмет, либо рассматривать его глазами гиганта, т. е. глазами, раздвинутыми на большой базис. Оптическое приближение рассматриваемого предмета можно осуществить с помощью бинокулярных зрительных приборов, биноклей и т. п. Оптическое раздвижение точек зрения правого и левого глаза также может быть достигнуто искусственно.

Простейшим прибором, позволяющим увеличивать искусственно стереоскопический базис при нормальном рассматривании предметов, является телестереоскоп. Увеличение стереоскопического базиса расширяет границы стереоскопического видения, так как радиус стереоскопического видения в этом случае увеличивается в несколько раз.

Увеличение радиуса стереоскопического видения пропорционально оптическому увеличению, даваемому зрительным прибором, и величине стереоскопического базиса.

Общее увеличение радиуса стереоскопического видения выражается произведением $n \cdot V = \Pi$, которое называется полной пластикой. [1]

При уменьшении стереоскопического базиса и оптическом уменьшении зрительного прибора соответственно уменьшается и радиус стереоскопического видения.

Усиление стереоскопического эффекта за счет искусственного увеличения стереоскопического базиса называется гиперстереоскопией. Гиперстереоскопия увеличивает границы стереоскопического видения и усиливает впечатление рельефа при рассматривании удаленных предметов; однако, благодаря законам

психофизиологического подравнивания при этом изменяется и кажущаяся масштабность предметного пространства. Психофизиологическое подравнивание в данном случае заключается в том, что на основе опыта человек приводит мысленно увеличенный радиус стереоскопического зрения к нормальной границе стереоскопического восприятия глубины пространства невооруженным глазом; а так как степень стереоскопичности изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния, то предметы с увеличенной степенью рельефа кажутся приближенными и соответственно уменьшенными.

Причины кажущегося приближения и уменьшения предметов при гиперстереоскопии могут быть поняты из Рис.1.7. При рассмотрении предмета A с увеличенного базиса F_1F_1 углы рассматривания предмета определяются размером и удаленностью его от точек наблюдения. Так как в действительности положение глаз соответствует нормальному базису FF , то углы θ , под которыми виден предмет, дадут кажущееся положение предмета в точке B , причем соответственно уменьшенных размеров. Наоборот, рассматривание предметов с уменьшенным стереоскопическим базисом сопровождается явлением кажущегося удаления и соответствующего увеличения рассматриваемых предметов.

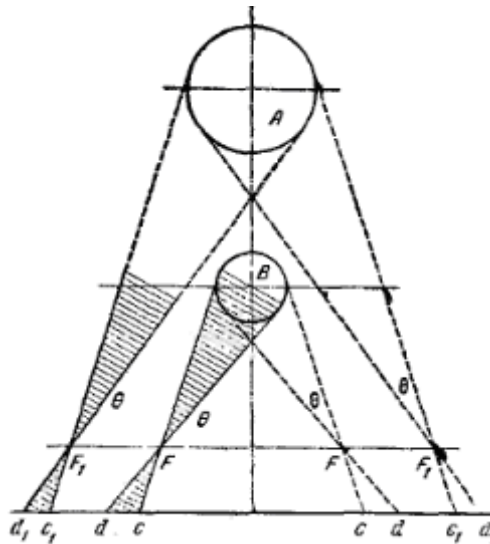


Рис. 1.7. Принцип гиперстереоскопии.

cd и c_1d_1 – изображения объекта на сетчатках глаз.

Таким образом, простое увеличение рассматриваемого изображения без изменения базиса вызывает уменьшение глубины пространства, пропорциональное

этому увеличению. Если мы от одного базиса переходим к другому, меньшему, чем первый, и вводим еще увеличение, меньшее единицы, то получаем обратную картину.

Уменьшая базис между точками зрения правого и левого глаза, можно прийти к положению, когда точки зрения правого и левого глаза совпадут. В этом случае действие бинокулярного стереоэффекта будет устранено, рельеф же и глубина рассматриваемого пространства будут определяться исключительно влиянием вторичных факторов стереоскопического видения. Такое восприятие пространства называется пинакоскопическим.

При взаимном перемещении точек зрения правого и левого глаза так, что правый глаз наблюдателя начинает видеть с точки зрения левого глаза, а левый глаз — с точки зрения правого глаза, получается эффект псевдоскопии.

Псевдоскопическое рассматривание предметного пространства вследствие бинокулярного стереоэффекта создает впечатление обратного рельефа: выпуклости кажутся вогнутыми, выступающие предметы — отступающими, и наоборот. Однако в результате опыта и наличия вторичных факторов стереоскопического видения обратный рельеф при псевдоскопическом рассматривании не воспринимается без борьбы с сознанием, что подавляюще действует на психику наблюдателя. Изображения, получаемые при псевдоскопическом рассматривании, называются стереоинвертными.

Наивыгоднейшая величина стереоскопического базиса для получения наиболее естественного рельефа зависит от удаленности рассматриваемых объектов, их глубины и конечных увеличений изображения.

Рассматривая пару стереоскопических изображений, не всегда можно добиться слияния этих изображений в одно пространственное. Когда различие между двумя изображениями значительно, так что сопряженные точки изображений попадают на слишком удаленные корреспондирующие точки сетчатки, слитного изображения не получится.

Движения глаз у человека при восприятии стереоскопических изображений, как показывает опыт, аналогичны движениям глаз при восприятии реальных объектов.

При переводе взгляда с одного предмета на другой происходит согласованное прослеживание обоими глазами за наиболее сюжетно важными деталями рассматриваемого объекта, также происходят согласованные конвергентные движения глаз.

Следует отметить, что стереоскопический эффект при бинокулярном рассматривании обнаруживает свое действие не сразу. Для получения стереоскопического эффекта при бинокулярном рассматривании пространственных изображений требуется затрата работы сознания обычно порядка до 15 сек.[3] И только по истечении этого времени человек начинает постепенно воспринимать пространственную стереоскопическую картину. Для восприятия более сложного пространственного образа, незнакомого человека, требуется большее время наблюдения.

В обычных условиях человек может свободно перемещать голову относительно рассматриваемого объекта, тем самым менять точки зрения правого и левого глаза, благодаря чему он может видеть рассматриваемый объект в разных аспектах. Но пространственное представление о рассматриваемом объекте можно получать и с фиксированных точек зрения.

Правда, ограничение рассматривания объекта всего двумя фиксированными точками зрения правого и левого глаза влечет за собой некоторое ограничение пространственного восприятия, сопровождающееся так называемым явлением кулисности, при котором рассматриваемые объекты представляются как бы вырезанными, плоскими, но различно удаленными от наблюдателя фигурами.

Преодолеть явление кулисности при рассматривании стереоскопических изображений можно только за счет некоторого (хотя бы небольшого) плавного или скачкообразного перемещения точек зрения при рассматривании пространственной картины.

В том случае, когда наблюдателю дается возможность некоторого выбора правого и левого сопряженного изображения из нескольких воспроизводимых одновременно сопряженных пар изображения за счет отклонений головы от нормального положения в ту или другую сторону, достигается так называемое

панорамное воспроизведение пространственной картины, при котором преодолевается кулисность.

В узком понимании под стереоскопическим воспроизведением изображений всегда подразумевается бинокулярное стереоскопическое воспроизведение, при котором обеспечивается восприятие каждым глазом зрителя своего соответственно правого или левого сопряженных изображений, бинокулярный стереоскопический эффект. В создании пространственного образа при бинокулярном видении участвуют конвергенция глаз и обусловленное ею окуломоторное действие, а также параллактическая разность сопряженных изображений, получаемых на корреспондирующих точках сетчаток правого и левого глаза вследствие рассматривания объектов с двух различных точек зрения, т. е. вследствие смещения центра перспективы одного изображения относительно другого. Главным фактором бинокулярного стереоскопического видения надо считать последнее, т. е. получение сопряженных, но не идентичных изображений на корреспондирующих точках каждого глаза.

Под сопряженными изображениями понимают такие изображения, которые получены центральной проекцией одного и того же объекта, но с различных точек зрения. Пара сопряженных изображений, получаемых с точки зрения правого и с точки зрения левого глаза, называется нормальной стереограммой, а иногда просто стереопарой.

1.3. Особенности бинокулярного восприятия цвета

Бинокулярное видение сопровождается не только стереоскопическим эффектом, позволяющим определять глубину и объемность пространства, но также и эффектом, позволяющим определять фактуру поверхностей рассматриваемых предметов. Последнее особенно сильно проявляется при рассматривании цветных и блестящих предметов, блеск поверхностей которых воспринимается неодинаково правым и левым глазом.

Стереоскопические изображения позволяют также воспроизводить цветной блеск кристаллов, что невозможно передать при помощи обычного плоского рисунка.

Обычное восприятие цветных оттенков правым и левым глазом у каждого человека несколько отличается друг от друга. Этого мы в жизни не замечаем, но встречаются условия, при которых одному и другому глазу приходится видеть большую разницу в цвете предмета. Это происходит, когда к каждому глазу попадают от предмета разно окрашенные лучи. В этом случае происходит бинокулярное смешение двух различных цветных оттенков, воспринимаемых правым и левым глазом. Такое смешение цветов создает видимость нового цветного оттенка рассматриваемого предмета.

Бинокулярное смешение цветов не совсем подобно смешению цветов, происходящему при монокулярном наблюдении. Так, например, если один глаз видит белое поле, а другой смотрит на черную поверхность, то у нас возникает ощущение своеобразного серого глянца, сменяющегося иногда впечатлениями то черного, то белого поля. Эти изменения называются «борьбой полей зрения». Именно вследствие этой борьбы полей зрения мы и воспринимаем металлический блеск предметов, характерный блеск кристаллов и цветную игру драгоценных камней. Во всех этих случаях каждый глаз наблюдателя видит различно окрашенными соответствующие участки рассматриваемого предмета.

Создавая искусственную возможность наблюдения правым и левым глазом различных цветных оттенков одной и той же поверхности, мы можем искусственно вызвать иллюзию металлического блеска даже от матовых поверхностей.

Бинокулярное смешение ярко окрашенных разных цветных лучей создает ту игру и блеск камней, которые не могут быть воспроизведены художником на картине, так как он не имеет возможности создать различную цветность окраски для правого и левого глаза зрителя.

В естественных условиях при преломлении света на гранях кристаллов драгоценных камней вследствие дисперсии вещества происходит разложение белого света в спектр.

Получаемые таким образом спектральные лучи оказываются в различной мере отклоненными, в результате чего к одному и другому глазу наблюдателя приходят от одной и той же грани кристалла лучи различных цветов.

Нужно заметить, что при бинокулярном смешении двух различных цветов, видимых правым и левым глазом, в результате борьбы полей зрения возникают периодически сменяемые впечатления ощущений то одного, то другого оттенка цвета. Однако цвет поверхности наблюдаемого предмета в данном случае зрителю представляется имеющим некоторый средний оттенок между теми цветами, которые видны отдельно правым и левым глазом. Этот воспринимаемый цвет поверхности предмета оказывается таким же, как это было бы при монокулярном смешении тех цветных оттенков, которые видны правым и левым глазом. Это обстоятельство подтверждает то, что воспринимаемое нами бинокулярное смешение цветов зависит от центральной нервной системы.

Особенности бинокулярного смешения цветов позволяют зрительно отличать цвет предмета от цвета освещения и узнавать истинную окраску предмета независимо от цветовых оттенков освещения.

1.4. Динамический стереозффект

Особенно большой эффект для объемного восприятия пространства создают перемещения и поворачивание рассматриваемых предметов относительно наблюдателя или перемещения последнего относительно рассматриваемых предметов.

Относительные перемещения предмета приводят к образованию параллактической разности последовательно получаемых изображений предмета на сетчатке глаза. Эта параллактическая разность получается в каждом глазу наблюдателя. Конфигурации изображения на сетчатке изменяются последовательно во времени. Получаемое за промежутки времени, соответствующий зрительной инерции глаза, смещение какой-либо точки изображения рассматриваемого

предмета на сетчатке относительно перемещающейся, фиксируемой точки изображения называется временным параллаксом.

Временной параллакс по своей природе сходен с объемным параллаксом, обуславливающим нормальный стереоэффект. Параллактическое смещение изображения на сетчатке одного глаза при относительно небольших скоростях движения предмета ведет к образованию пространственного образа предмета, а при значительных скоростях движения вызывает «смазывание» контуров и формы предметов. Образование пластического эффекта при последовательном рассматривании изображений предмета, полученных с различных точек зрения, основывается на законах перспективы движения, когда центр перспективы движется по какой-либо траектории [2].

Можно искусственно создавать пластический эффект при рассматривании последовательно чередующихся изображений, нарисованных по правилам перспективы движения. Серии таких рисунков с изображениями пирамид, цилиндров, усеченных конусов, образующих попарно стереограммы, показаны на рис. 1.8.

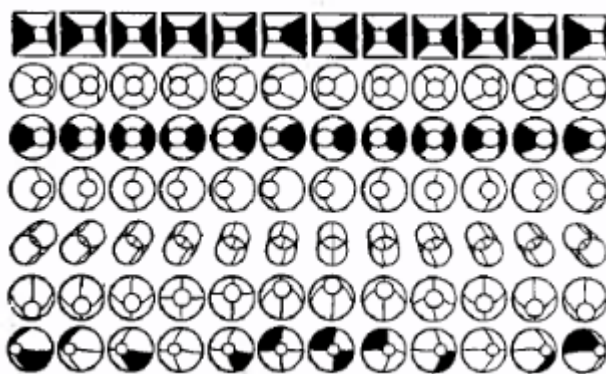


Рис. 1.8. Изображения, иллюстрирующие воспроизведение динамического стереоэффекта.

Каждый горизонтальный ряд на рис. 1.8. представляет собой серию изображений, при последовательной проекции которых на экран можно получить совершенно наглядный стереоскопический эффект. Такой же эффект получается и при стробоскопическом рассматривании этих изображений одним глазом, при этом получается впечатление, будто бы неподвижный квадрат нижнего основания пирамиды образует задний план, перед которым проходит малая торцовая поверхность.

Пластический эффект при съемке с движения подчас мало в чем уступает действительному бинокулярному стереоскопическому эффекту. И это вполне понятно. Природа пластического эффекта съемок с движения сходна с природой бинокулярного стереоскопического эффекта, так как оба они обязаны своим появлением параллактическим смещением соответственных точек изображения, параллактической разности воспринимаемых изображений, и вызваны первая — временным, вторая — объемным параллаксом [3].

В то время как параллактическая разность изображений при бинокулярном эффекте ограничена нормальным базисом точек зрения, при съемке с движения параллактическая разность изображений может последовательно нарастать до значительно больших величин, так как базис между точками зрения следующих друг за другом изображений может неограниченно увеличиваться, что обуславливает даже превосходство пластики движения по сравнению с пластикой бинокулярного эффекта.

Причины возникновения пластического эффекта при съемках с движения лежат в основе динамического стереоэффекта. Динамический стереоэффект, так же как бинокулярный, позволяет оглядывать предмет с большим углом охвата, видеть боковые стороны предмета, которые загорожены при прямом видении с неподвижной точки зрения, видеть фон и предметы, находящиеся за краями контура впереди расположенного предмета, осуществлять сравнительную оценку загороживаемых контурами ближних предметов, удаленных предметов и фона, не перекрываемых при прямом видении с неподвижной точки зрения. Все эти явления, сопровождающие съемку с движения, суммируются в подсознании зрителя и создают пластический стереоэффект. При этом динамический стереоэффект, обеспечивая непрерывную последовательность ряда точек зрения на рассматриваемую картину, преодолевает ощущение кулисности, неотступно сопутствующее двум фиксированным точкам зрения обычного стереоскопа.

При относительном перемещении объекта вдоль оптической оси глаза (т. е. при относительном приближении и удалении объекта) также наблюдается пластический эффект, обусловленный последовательным изменением глубинного параллакса, так

называемым глубинным стереоэффектом, который заметно сказывается лишь при не очень большом удалении рассматриваемых объектов.

ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

2.1. Определение чувствительности стереозрения

Важным вопросом является определение чувствительности стереозрения к параметрам тестовых изображений. Она описывается психометрическими функциями, выражающими отношение между значением параметра и вероятностью некоторого суждения испытуемого о нем. Чувствительность характеризуется пороговыми значениями параметров, при которых испытуемый способен вынести правильное суждение о тестовом изображении лишь случайно, в действительности его не воспринимая. Различают дифференциальные (минимально заметная разница между двумя тестовыми изображениями) и абсолютные (минимальное количественное значение параметра тестового изображения, необходимое для возникновения зрительного ощущения) пороги чувствительности [4].

В обычных условиях на сетчатки обоих глаз наблюдателя попадают сигналы от одних и тех же объектов трехмерного мира. Искусственные изображения визуализируются с помощью, например, ЭЛТ, все точки которой находятся на приблизительно одинаковом расстоянии от наблюдателя. Поэтому для исследования ощущения глубины необходимо использовать стереограммы – изображения, состоящие из двух плоских независимых частей, одна из которых предъявляется левому, а другая – правому глазу.

Для того чтобы стереограмма была тождественна объемной сцене, необходимо чтобы проекции точек сцены на сетчатки глаз при переходе от сцены к стереограмме оставались неизменными. Рассмотрим стереограмму (рис. 2.1), содержащую объекты, изображенные на рис. 1.1. $A_{1l} - A_{4l}$ – точки левой части стереограммы, $A_{1r} - A_{4r}$ – точки правой части стереограммы. Координаты проекций точек стереограммы на сетчатках такие же, как и на рис. 1.1. Из Рис.2.1 видно, что для того, чтобы точка A_4 воспринималась ближе, чем поверхность A_1-A_3 , расстояние $A_{3l}A_{4l}$ должно быть большим, чем $A_{3r}A_{4r}$.

Таким образом, поверхность, расположенная ближе точки фиксации, смещена относительно нее в левой части стереограммы больше, чем в правой части. Или, что то же самое, для того, чтобы наблюдатель воспринимал поверхность ближе, чем точку фиксации, она должна быть смещена в левой части стереограммы больше, чем в правой.

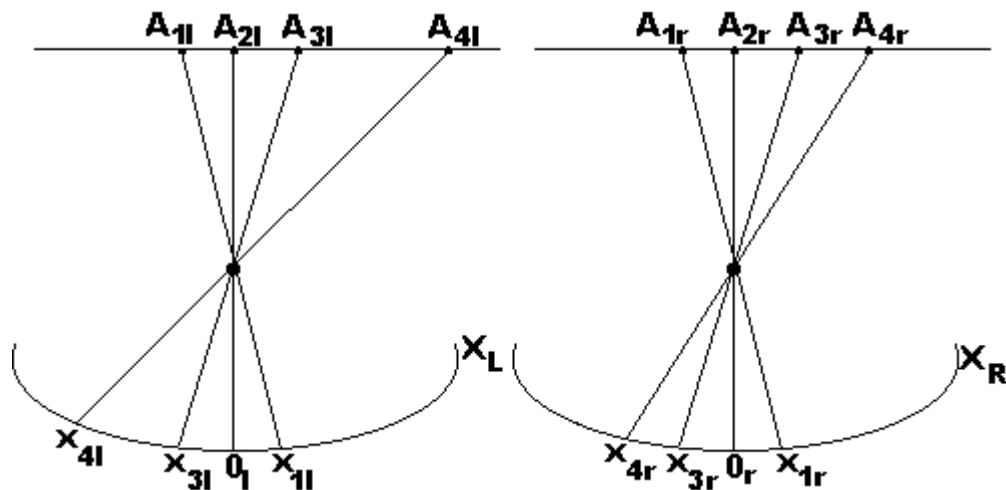


Рис. 2.1. Схема синтеза стереограммы.

Реальные объекты одновременно обладают различными признаками глубины (перекрывание объектов сцены, уплощение хрусталика, необходимое для фокусировки на объект, триангуляция, основанная на разнице напряжений глазодвигательных мышц, размер сетчаточного изображения), поэтому классическая (силуэтная) стереограмма состоит из двух изображений, сделанных камерами, расположение которых подобно глазам наблюдателя. Искусственно возможно создать изображение, глубина объектов которого задана только диспаратностью. Причем этого признака достаточно для принятия решения об относительном расположении

объектов. Для исключения иных признаков глубины, кроме диспаратности, в психофизиологии используют шумоподобные изображения – случайно-точечные стереограммы (СТС) [5].

Схема синтеза СТС приведена на Рис. 2.2. На Рис. 2.2 (а) изображена левая (то есть предъявляемая левому глазу наблюдателя) часть СТС, которая формируется путем равномерного разбрасывания точек одного цвета по фону другого цвета. В этом изображении задается план глубины фона (В) и специально сформированная область – план глубины стимула (S).

Для создания правой части СТС (рис. 2.2. б) сначала воспроизводится левая часть, а затем область S в ней сдвигается вдоль оси абсцисс на величину d . При бинокулярном наблюдении сдвиг, создающий диспаратность (d) между областями (S) изображений для сетчаток левого и правого глаза, предопределяет восприятие плоской СТС как объемного изображения с двумя планами глубины – фона с нулевой диспаратностью и стимула с диспаратностью d . При монокулярном наблюдении СТС воспринимается как шумоподобное изображение, поэтому часто говорят, что стимул закодирован в стереограмме. Пространственное расположение стимула определяется знаком диспаратности d . При $d > 0$ стимул расположен за плоскостью фона, а при $d < 0$ – перед ней.

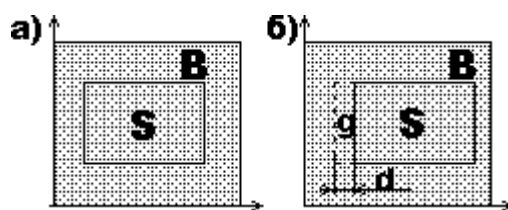


Рис. 2.2. Схема синтеза СТС.

Для каждой области стереограммы может быть задана не одна диспаратность d , а набор диспаратностей d_i . Такую область СТС при некоторых условиях наблюдатель воспринимает как набор полупрозрачных поверхностей, видимых друг через друга .

Для полноты изложения упомянем еще о двух видах случайно-точечных изображений: антикоррелированных и некоррелированных СТС. Антикоррелированные СТС – это СТС, в которой точкам цвета фона на одной части стереограммы соответствуют точки цвета стимула на другой и наоборот.

Некоррелированные СТС – это СТС, в которых точки на левой и правой частях стереограммы разбрасываются независимо друг от друга [4]. В рамках этой классификации обычные СТС называют коррелированными СТС.

Случайная природа СТС приводит к большому числу локальных ложных (то есть отвечающих несуществующему плану глубины) соответствий между левым и правым изображениями (Рис. 2.3).

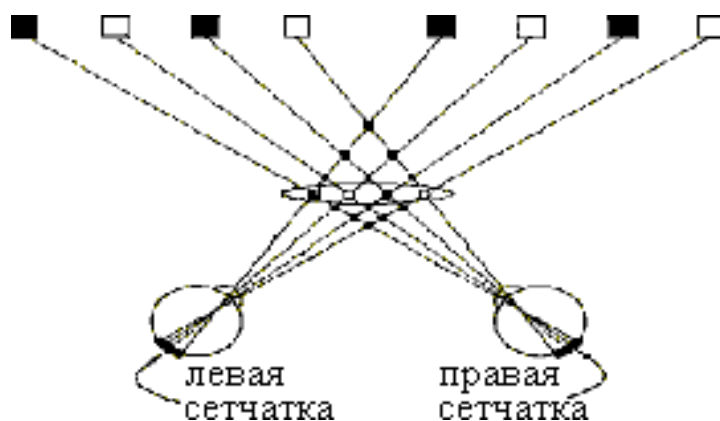


Рис. 2.3. Проблема локальных ложных соответствий.

Черными точками на пересечении лучей обозначены все возможные соответствия между целями (белыми и черными прямоугольниками), предъявляемыми отдельно левому и правому глазу. Корректные соответствия заключены в горизонтальный эллипс. Число возможных соответствий пропорционально квадрату числа целей (точек СТС), предъявляемых одному глазу. Факт способности наблюдателя к выделению планов глубины из СТС, несмотря на ложные соответствия, говорит о том, что процесс выделения глубины зрительной системой – кооперативный, требующий определения некоторого глобального соответствия между частями стереограммы.

2.2. Анатомия бинокулярного зрения в норме и при патологиях.

На основании анализа литературных данных выделены три уровня организации системы бинокулярного зрения [4]:

1. Уровень бинокулярных нейронов. Существуют нейроны, ответы которых зависят от диспаратности.

2. Уровень «нейронных сетей». Входом для этого уровня является информация от первичных монокулярных структур зрительного анализатора. В рамках уровня выделены два подуровня:

а) нейронных ансамблей – бинокулярные нейроны объединяются в структуры, предназначенные для выделения информативных, для распознавания трехмерных объектов, характеристик фрагментов изображения;

б) полей – информация от более близкого к сетчатке поля коры головного мозга передается для последующей обработки в поле, более удаленное от сетчатки.

3. Уровень восприятия. На основе сигналов от двух двумерных сетчаток возникает целостное восприятие трехмерного мира (собственно бинокулярное зрение).

Первые два уровня изучаются методами морфологии и физиологии, третий – методами психофизиологии и офтальмологии. Исследование каждого уровня обычно производится изолированно и сопряжено со специфическими проблемами.

Первой подсистемой зрительного анализатора, в которой сигналы от левого и правого глаза конвергируют (объединяются) на бинокулярных нейронах, является первичная зрительная кора, V1. Рассмотрим первичные структуры зрительного анализатора, являющиеся входными для сети бинокулярных нейронов: сетчатки и наружные колленчатые тела.

Сетчатка – это структура мозга, имеющая форму диска диаметром около 42 мм, которая расположена на задней поверхности роговицы. В центре сетчатки находится сосок оптического нерва, от которого расходятся основные кровеносные сосуды. Слева, примерно в 17° (4.5-5мм) от оптического нерва, расположено овальное пятно, fovea, свободное от сосудов. Округлая зона диаметром примерно 6 мм, расположенная вокруг fovea, считается центральной сетчаткой в то время, как вне этой зоны вплоть до зубчатого края (21 мм от центра оптического диска) расположена периферическая сетчатка.

Функция сетчатки заключается в преобразовании света в нервные импульсы. Сетчатка содержит «мозаику» из четырех типов фоторецепторов – палочек и трех типов колбочек, расположенных на внутренней стороне сетчатки, прямо напротив

клеток пигментного эпителия и слоев сосудистой оболочки [6]. Каждый тип рецепторов содержит свой особый светочувствительный пигмент. Палочки ответственны за способность видеть при слабом свете, то есть за сравнительно грубое зрение, не позволяющее различать цвета. Колбочки отвечают за цветное зрение. Пигменты колбочек трех типов имеют пики поглощения в области 430, 530 и 560 нм, поэтому их называют «синими», «зелеными» и «красными» или «коротко-», «средне-» и «длинноволновыми».

Световая энергия, вызывающая ощущение цвета, обладает двумя основными свойствами: интенсивностью и длиной волны. Эффективная освещенность фоторецепторов выражается следующим образом:

$$I_{eff} = \int E(\lambda)S(\lambda)d\lambda$$

где $E(\lambda)$ – спектральная плотность облучённости поверхности сетчатки, λ – длина световой волны, $S(\lambda)$ – спектральная чувствительность фоторецептора.

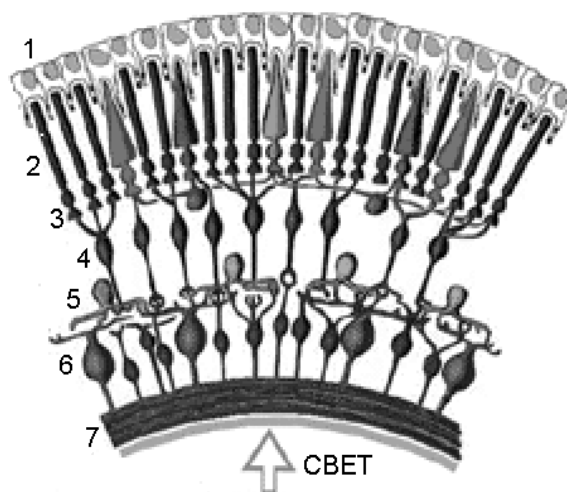


Рис. 2.4. Упрощенная схема строения сетчатки.

Упрощенная схема строения сетчатки учитывает только фоторецепторы и ганглиозные клетки вместе с небольшим количеством интернейронов, их соединяющих. На рис. 2.4 использованы следующие обозначения: 1 - пигментный эпителий, 2 - фоторецепторы, 3 – горизонтальные клетки, 4 – биполяры, 5 – амакриновые клетки, 6 – ганглиозные клетки, 7 – внутренняя мембрана.

Все сетчатки позвоночных состоят из трех слоев клеточных тел и двух слоев синапсов. Внешний ядерный слой содержит клеточные тела палочек и колбочек, внутренний ядерный слой – клеточные тела биполяров, горизонтальных и

амакриновых клеток. Слой ганглиозных клеток содержит их клеточные тела и смещенные амакриновые клетки. В первом слое синапсов имеют место соединения палочек и колбочек с вертикально ориентированными биполярами и горизонтально ориентированными горизонтальными клетками. Во втором слое синапсов происходит связь между биполярами и ганглиозными клетками. Результатом всех этих нейронных процессов является набор сигналов, несущих информацию об изображении, которые передаются в мозг по оптическому нерву [4].

Центральная часть сетчатки содержит больше колбочек, чем палочек, в то время, как в периферической сетчатке преобладают палочки. В центральной сетчатке колбочки расположены близко друг к другу, а немногочисленные палочки находятся между ними. Благодаря высокой плотности упаковки фоторецепторов, в особенности колбочек, и сопровождающих их биполяров и ганглиозных клеток центральная часть сетчатки значительно тоньше, чем периферическая.

Рецептивное поле (РП) нейрона – это область сетчатки, стимуляция которой вызывает его активацию. Характеризуя РП, описывают его структуру, то есть указывают как нужно стимулировать ту или иную его зону, чтобы вызвать реакцию нейрона. Наименьшие из измеренных центров РП ганглиозных клеток имеют диаметр около 2′′. Ганглиозные клетки с такими РП расположены вблизи от fovea. По мере удаления от fovea величина РП увеличивается [4].

Наружное коленчатое тело (НКТ) - легко распознаваемая структура мозга, которая помещается на нижней латеральной стороне подушки таламуса в виде достаточно большого плоского бугорка. В НКТ приматов и человека морфологически определено шесть слоев: 1 и 2 – слои больших клеток (магноцеллюлярные), 3-6 - слои малых клеток (парвоцеллюлярные). Слои 1, 4 и 6 получают афференты от контрлатерального (расположенного в противоположном по отношению к НКТ полушарии) глаза, а слои 2, 3 и 5 - от ипсилатерального (расположенного в том же, что и НКТ полушарии).

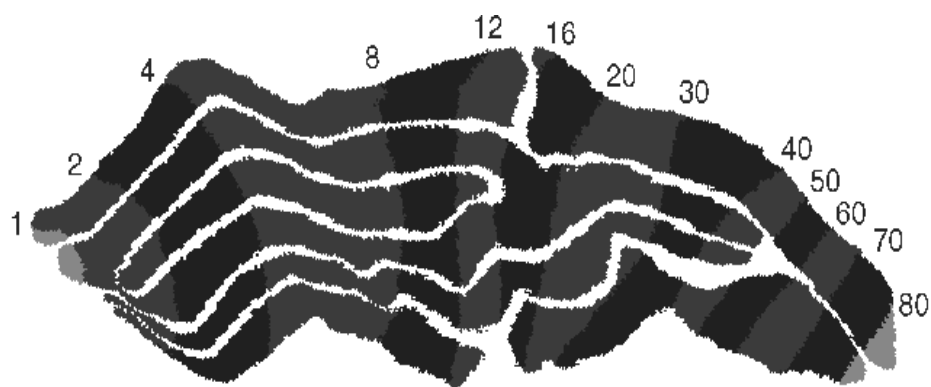


Рис. 2.5. Наружное колленчатое тело.

Из рис. 2.5 видно, что число слоев НКТ, участвующих в обработке сигнала, приходящего от ганглиозных клеток сетчаток, различно в зависимости от эксцентриситета сетчатки (отмечен на рисунке цифрами):

- при эксцентриситете меньше 1° в обработке участвуют два парвоцеллюлярных слоя;
- от 1° до 12° (эксцентриситет слепого пятна) – все шесть слоев;
- от 12° до 50° – четыре слоя;
- от 50° – два слоя, связанных с контрлатеральным глазом.

Бинокулярных нейронов в НКТ приматов нет. Они появляются только в первичной зрительной коре.

Известно, что не только человек, но и обезьяны, и кошки обладают стереозрением. Это означает, что механизмы восприятия глубины не связаны с высшей нервной деятельностью, характерной только для человека, и являются достаточно низкоуровневыми для того, чтобы попытаться найти нейронные корреляты восприятия глубины. Таким образом, большинство особенностей бинокулярного зрения обусловлено именно характеристиками нейронов и нейронных связей.

Основными нарушениями бинокулярного зрения являются косоглазие и амблиопия [4].

Косоглазием называют различные поражения зрительной и глазодвигательной систем, вызывающие периодическое или постоянное отклонение зрительной оси одного из глаз от точки фиксации. Оно возникает обычно в 2-3 года и встречается у 2-3% детей. Косоглазие - это косметический и функциональный недостаток, влияющий на развитие ребенка, ограничивающий его в выборе профессии и существенно повышающий опасность травматизма у детей. Это связано с ограничением у ребенка с косоглазием возможности оценивать пространственные соотношения предметов, то есть их удаленность и положение в окружающем пространстве.

Амблиопия - одностороннее или двустороннее понижение остроты зрения, никакую очевидную причину которого невозможно обнаружить физическим исследованием глаза, и которое в ряде случаев корректируется терапевтическими мерами. Амблиопия, обусловленная косоглазием, - всегда односторонняя, вызванная активным подавлением отклоненного глаза. Причем это подавление скорее следствие, чем причина косоглазия. Еще одной причиной амблиопии может быть катаракта. При достаточно высокой степени помутнения хрусталика амблиопия развивается за счет ограничения попадания света на одну из сетчаток. Чем выше степень амблиопии, тем ниже чувствительность стереозрения [4].

Лечение косоглазия – это сложный многоступенчатый процесс, цель которого состоит в восстановлении совместной деятельности сенсорной и моторной (глазодвигательной) систем обоих глаз. В первую очередь необходимо восстановить элементарное бинокулярное, а затем глубинное зрение, и, наконец, «выработать» у больного стереозрение.

2.3. Характеристики бинокулярного зрения

Основными характеристиками бинокулярного зрения являются наличие элементарного бинокулярного, глубинного и стереоскопического зрения, острота стереозрения и фузионные резервы

Наличие элементарного бинокулярного зрения проверяется посредством разбиения некоторого изображения на фрагменты, часть которых предъявляется левому, а часть – правому глазу. Наблюдатель обладает элементарным бинокулярным зрением, если он способен составить из фрагментов единое исходное изображение.

Наличие глубинного зрения проверяется путем предъявления силуэтных, а стереоскопического – случайно-точечных стереограмм, которые должны вызывать у наблюдателя специфическое переживание глубины, отличающееся от впечатления пространственности, основанного на монокулярных признаках.

Острота стереозрения – это величина, обратная порогу стереоскопического восприятия. Порог стереоскопического восприятия – это минимальная

обнаруживаемая диспаратность (угловое смещение) между частями стереограммы. Для его измерения используется принцип, который заключается в следующем. Три пары фигур предъявляются раздельно левому и правому глазу наблюдателя. В одной из пар положение фигур совпадает, в двух других одна из фигур смещена по горизонтали на определенное расстояние. Испытуемого просят указать фигуры, расположенные в порядке возрастания относительного расстояния. Если фигуры указаны в правильной последовательности, то уровень теста увеличивается (диспаратность уменьшается), если нет – диспаратность увеличивается.

Фузионные резервы – условия, при которых существует возможность моторной фузии стереограммы. Фузионные резервы определяются максимальной диспаратностью между частями стереограммы, при которых она еще воспринимается в качестве объемного изображения. Для измерения фузионных резервов используется принцип, обратный применяемому при исследовании остроты стереозрения. Например, испытуемого просят соединить (сфузировать) в одно изображение две вертикальных полосы, одна из которых видна левому, а другая – правому глазу. Экспериментатор при этом начинает медленно разводить полосы сначала при конвергентной, а затем при дивергентной диспаратности. Изображение начинает «разваливаться» при значении диспаратности, характеризующей фузионный резерв наблюдателя.

2.4. Модели бинокулярного зрения.

Модели позволяют связать разнородную информацию, полученную с помощью разнообразных методик изучения различных уровней системы бинокулярного зрения. Возможна классификация моделей по следующим основаниям: вид моделируемого явления (онтогенез зрительной коры, структура РП нейрона, взаимодействие бинокулярных каналов, собственно восприятие глубины); вход модели (изображения, ответы нейронов предыдущих уровней зрительного анализатора, первичная карта диспаратностей); структура модели (число пространственно-частотных каналов, имитируемые типы бинокулярных нейронов и

их РП, операции, осуществляемые модельными нейронами); граничные условия работы модели; выход модели (распределение бинокулярных нейронов различных типов, ответы бинокулярных нейронов, карта диспаратностей).

Одной из важных проблем при моделировании является определение степени адекватности модели. В настоящее время отсутствует универсальная модель, способная объяснить большую часть разрозненных физиологических, морфологических и психофизиологических данных, поэтому для любой современной модели стереозрения всегда существует «контрпример», лежащий за пределами ее возможностей. Это приводит к тому, что модели редко используются для обоснования выбора тестового набора изображений, методики эксперимента, обработки результатов и т.д. Тем не менее, необходимо и создание моделей процессов, протекающих в зрительном анализаторе, и разработка способов их тестирования.

Способы тестирования модели зависят от типа моделируемого явления.

Из описания алгоритма создания СТС достаточно очевидно, что для составления карты диспаратностей необходимо находить корреляцию между участками левого и правого изображения. Однако в понятие «корреляция» может вкладываться различный смысл. То есть корреляция может описываться с помощью различных алгебраических операций, вычисляться для различных по размеру и форме регионов стереограммы.

Массив проблем, связанных с исследованиями стереозрения, проще понять, обратившись к классическим моделям выделения глубины.

В основе первой, элементарной, модели, лежали два утверждения:

1. Всякая связанная область точек может быть воспринята как обладающая глубиной независимо от формы ее границ.

2. Для определения локального соответствия между точками левого и правого изображений должна использоваться некая операция «@». То есть мерой локального соответствия является $D_k(x, y) = L(x, y) @ R(x + k, y)$, где x и y – координаты точек, принадлежащих левому (L) и правому (R) изображениям, k – диспаратность.

Показано, что операцией «@» может быть вычитание или деление, но не умножение или сложение. В этом случае ответы модельных нейронов D_k сопоставимы с ответами нейронов $V1$.

Для построения начальной карты диспаратностей, состоящей из k слоев, $D = \{D_k\}$ выбрана операция вычитания: $D_k(x, y) = L(x, y) - R(x + k, y)$. Затем с картой диспаратностей итеративно проводятся несколько этапов фильтрации.

Достоинства модели - возможность обработки полутонковых СТС, естественных изображений, достаточно разреженных СТС.

Основной недостаток – невозможность исследования эффектов взаимодействия областей с различной диспаратностью (так как карта диспаратностей изначально состоит из непересекающихся слоев). Поэтому была предложена иная, пружинно-дипольная, модель, суть которой заключается в следующем.

Введем в рассмотрение плоскость, содержащую большой массив тонких магнитных диполей (стрелок компаса), насаженных на шпильки по центру так, что стрелки могут вращаться в любом направлении. Будем считать эту плоскость «кортикальной картой поля зрения», в которой диполи соответствуют бинокулярным нейронам. Стимуляция сетчатки белыми и черными точками эквивалентна ориентированию южных и северных полюсов магнитных диполей соответственно в направлении «от наблюдателя» и «к наблюдателю». После того, как магнитные диполи переймут паттерн части стереограммы, концы стрелок соседних диполей соединятся двумя пружинками. Диполи связываются с соседями как слева, так и справа, как сверху, так и снизу. Сила пружин, соединяющих соседей по горизонтали, больше, чем сила пружин, соединяющих соседей по вертикали. Таким же способом упорядочен другой массив диполей при стимуляции второй сетчатки.

Если части стереограммы идентичны, то после совмещения плоскостей, на которых расположены диполи, северный и южный полюса соответствующих диполей притянутся друг к другу. Хотя диполи могут поворачиваться на любой угол, только горизонтальная составляющая поворота отвечает восприятию глубины. Для идентичных паттернов после краткого переходного процесса все

соответственные диполи притянутся, и суммарная сила притяжения между массивами будет очень высока. Притяжение двух диполей соответствует локальной фузии, а притяжение области диполей – глобальной фузии. Максимальный угол поворота отвечает пределу локальной свободной фузии. Отталкивание двух диполей друг от друга отвечает локальной бинокулярной конкуренции.

Недостатком этой модели является ее аналоговый характер, что привело к тому, что она не была реализована. По-видимому, модель позволяет объяснить многие психофизиологические явления, однако с ней возможно проводить только мысленные эксперименты, что не позволяет выявить ее степень адекватности.

Для получения начальной карты диспаратностей в классическом кооперативном алгоритме нахождения областей равной диспаратности выбрана операция умножения.

$C_{xyd}(0) = L(x, y) * R(x + d, y)$, где C_{xyd} – ответ нейрона с координатами x, y слоя d карты диспаратностей, 0 – номер итерации. Ответы модельных нейронов C_{xyd} сопоставимы с ответами нейронов V1.

В ходе работы алгоритма нейроны, РП которых находятся в одной точке изображения, обладающие различной диспаратностью, конкурируют друг с другом. Максимальный ответ остается у нейрона, соседи которого предпочитают такую же диспаратность.

Алгоритм обладает следующими особенностями:

1. Могут быть решены СТС с плотностью менее 10%, причем скорость сходимости уменьшается с уменьшением плотности.
2. Алгоритм заполняет пустые области для разреженных СТС.
3. Ширина минимальной декодируемой области растет с ростом диспаратности.

Алгоритм сходится достаточно быстро для «хороших» СТС. Приведены [5] результаты обработки лишь черно-белых СТС (0 – черный, 1 - белый). Поэтому вопрос о правомерности выбора операции умножения для вычисления $C(0)$ остается открытым.

Роль движений глаз при фузии до сих пор неясна. Тем не менее существуют простые итеративные алгоритмы, позволяющие описывать процесс позиционирования модельных сетчаток на частях стереограммы. В их основе лежат функционалы, называемые потенциалами вергентности (ПВ).

Один из «простых» ПВ $V(s) = \iint \|L(u, v); R(u + s, v)\| dudv / \iint dudv$, где L и R – сегменты изображений, u и v – координаты точек внутри сегментов, s – диспаратность, $\| \|$ – подходящая мера схожести. V(s) имеет экстремум для такого s, при котором максимально число точек сегментов с диспаратностью s. Существует и более «сложные» ПВ, имеющие более глубокие экстремумы.

Функционал, подобный V, $U(s) = \sum |L(u, v) - R(u + s, v)|$ служит для выделения глобальных планов глубины из СТС. U(s) рассчитывается на TI нейронах, суммарная активность которых используется для управления TE нейронами и формирования движений глаз.

Проблема при использовании ПВ заключается в подборе размера «окна» - сегмента, для которого рассчитывается потенция. Так, в для фильтрации слоя карты диспаратностей использовался ПВ, рассчитываемый по всему изображению, кроме областей, исключенных из рассмотрения на предыдущих итерациях.

В настоящее время алгоритмы выделения глубины развиваются в сторону увеличения вычислительной сложности и более тщательного моделирования РП бинокулярных нейронов. Существуют модели, способные «фузировать» изображения различного контраста и объясняющие явления «притягивания» и «отталкивания» диспаратностей. Причем результирующая карта диспаратностей строится не для пар точек, а для некоторых областей изображения.

Разработаны аналитические модели, воспроизводящие двумерную структуру РП бинокулярного нейрона с помощью гауссианов. Однако эти модели строятся скорее исходя из требуемого результата, чем на основе физиологических данных. Например, некоторые схемы требуют наличия в V1 одинакового числа TI, TE, N и F нейронов. Однако показано, что нейроны составляют всего 8%, а N и F – 30% от общего числа бинокулярных нейронов.

Следует отметить некоторые общие недостатки существующих моделей уровня восприятия, построенных с учетом биологических данных:

1. Не учитывается структура связей между бинокулярными нейронами мозга – модельные бинокулярные нейроны объединяются в «нейронную сеть» для реализации некоторых «условий установления соответствия» между частями стереограммы, которые задаются исследователем на основе априорного представления о требуемом результате.

2. За счет увеличения вычислительной сложности теряется «биологическое правдоподобие» моделей. В них вводятся нелинейные операции или этапы фильтрации изображений, которые, по-видимому, не могут быть реализованы нейронами первичных слоев зрительной системы.

2.5. Технические средства исследования стереоскопического зрения.

Рассмотрим технические средства предъявления стереограмм, используемые в клинических и лабораторных тестах исследования стереозрения, а также наборы тестовых изображений, синтезируемые с их помощью.

С технической точки зрения наиболее сложным блоком средств исследования является устройство предъявления тестовых изображений. Цель разработчика этого блока – добиться того, чтобы наблюдатель воспринимал все три измерения изображения. Для этого необходимо некоторым образом разделить части стереограммы, предназначенные для левого и правого глаза наблюдателя. Экспериментальные оценки значений порогов и чувствительности зрения, в том числе и стереоскопического, зависят от используемого набора тестовых изображений. Поэтому для исследователя не менее важен и блок «устройство формирования тестового задания», включающий в себя схемы синтеза набора тестовых изображений и реализацию методик исследования.

Выделяют три группы устройств разделения частей стереограммы: мониторы, шлемы виртуальной реальности и автостереоскопические дисплеи.

Мониторы требуют использования дополнительных устройств, расположенных непосредственно перед глазами наблюдателя, для разделения оптических сигналов,

предназначенных для левого и правого глаза. При этом используется один из трех принципов разделения: цветовой, поляризационный и временной.

Цветовое разделение – один из примитивных методов, применявшийся еще в начале прошлого века. Части стереограммы пропускаются через фильтры дополнительных или близких к ним цветов (например, через красный и зеленый фильтр), а наблюдатель, в свою очередь, рассматривает изображение через очки с цветными стеклами. Эффекты бинокулярной конкуренции из-за различного цвета частей стереограммы и последующей адаптации от двухцветного красно-зеленого мира к обычной реальности ограничивают использование метода.

Цветовое разделение используется в некоторых программных продуктах, предназначенных для лечения косоглазия (программный комплекс «Eye»), в тестах, связанных с проверкой наличия элементарного бинокулярного зрения (цветотесты) и т. д. Например, в TNO тесте для первичного ознакомления используются СТС, содержащие изображения бабочек и геометрических фигур. Для измерения остроты стереозрения в диапазоне от 15'' до 480'' (с расстояния 40 см) используются круги, выступающие из плоскости фона, с вырезанным сектором, расположенным в плоскости фона. Наблюдатель должен указать положение вырезанного сектора.

Поляризационное разделение осуществляется посредством поляризованных стекол в сочетании с ортогонально поляризованными изображениями, предъявляемыми на двух мониторах. Такой подход позволяет предъявлять цветные стереограммы и избежать бинокулярной конкуренции.

Несмотря на то, что около 60% светового потока теряется при прохождении через фильтры, этот метод разделения используется во многих клинических тестах, связанных с изучением остроты стереозрения. Например, в Titmus Wirt тесте части стереограммы поляризованы под углом 45° и 135° и рассматриваются наблюдателем через соответственно ориентированные поляризованные стекла. Стереограммы содержат изображения кругов, формирующих ромб. Один из кругов при бинокулярном рассматривании через поляризованные стекла кажется выступающим из плоскости изображения. При расстоянии наблюдения 40см острота стереозрения,

необходимая для идентификации выступающего элемента, составляет от 40'' до 800''.

Более новая версия Randot Titmus содержит стимулы для измерения остроты стереозрения от 20'' до 400''. Для качественного теста на наличие стереопсиса используется увеличенное стереоизображение мухи.

Компьютерные технологии исследования зрения активно вытесняют специализированные электронные системы, которые не обладают необходимой функциональной гибкостью. Как правило, принцип временного разделения находит применение в программных продуктах, использующих для визуализации ЭЛТ. Временное разделение использует способность зрительной системы человека воспринимать как одно целое части стереограммы, предъявляемые с временной задержкой до 50 мс. Левая и правая части стереограммы предъявляются на одном мониторе в последовательных кадрах, что позволяет избежать геометрических и цветовых различий между частями стереограммы. При этом наблюдатель смотрит на монитор через жидкокристаллические (ЖК) очки.

Затворы ЖК очков, синхронизированные с частотой обновления кадров, срабатывают таким образом, чтобы левый глаз наблюдателя видел, например, нечетные, а правый – четные кадры. Оптический ЖК затвор включает в себя нематический или сегнетоэлектрический жидкий кристалл, расположенный между двумя параллельными стеклянными пластинками. На входе и выходе этой составной ячейки установлены линейные поляризаторы. Пластинки обработаны таким образом, что длинные оси жидкокристаллических молекул располагаются параллельно друг другу и стеклянным поверхностям, благодаря чему интенсивность прошедшего через ячейку плоскополяризованного света максимальна. При подаче напряжения через тонкое прозрачное электропроводное напыление к внутренней поверхности стеклянных пластин возникает электрическое поле, под действием которого молекулы выстраиваются вдоль его направления, то есть перпендикулярно поверхности пластин, и интенсивность прошедшего через ячейку плоскополяризованного света становится минимальной. Таким образом, максимальная непрозрачность ячейки достигается путем подачи напряжения, а его

выключение приводит к максимально возможной прозрачности ячейки — ЖК затвор закрывается и открывается.

Автоматизированные комплексы «Капбис» и «Меко», использующие различные силуэтные стереограммы, направлены на диагностику косоглазия, амблиопии и других нарушений бинокулярного зрения [14]. Аппаратно-программный комплекс исследования стереозрения использует черно-белые СТС для измерения остроты стереозрения. Программный комплекс «КЛАСС» использует СТС для стимуляции стереозрения. Однако лечение с помощью черно-белых СТС ориентировано лишь на детей с амблиопией слабой и средней степени при положительном прогнозе развития заболевания [9].

Существуют устройства и с временно-поляризационным разделением — изменение плоскости поляризации ЖК панели синхронизировано с частотой кадровой развертки. Такой подход позволяет использовать дешевые и легкие очки с поляризованными стеклами. Причем использование ЖК панелей позволяет конструировать стереоизображение больших угловых размеров.

Шлемы виртуальной реальности используют принцип пространственного разделения — части стереограммы передаются к глазам наблюдателя через отдельные каналы. Как правило, глубина всех точек изображения зафиксирована в одной плоскости, которая оптическими средствами размещается на произвольном расстоянии от глаза. При этом нарушается связь между аккомодацией (изменением формы хрусталика глаза для фокусировки по глубине) и вергенцией, что приводит к возникновению у наблюдателя чувства дискомфорта. Новые варианты шлемов содержат дополнительные «передаточные линзы», контролируя которые система в состоянии динамически подстраивать воображаемую дистанцию до изображения с помощью отслеживания положения зрачков.

Принцип пространственного разделения используется во многих приборах — скринерах бинокулярного зрения, фотофорах и синоптофорах [8,9]. Синоптофор (рис. 1.10) является усовершенствованной моделью стереоскопа Уитстоуна, предложенного еще в середине XIX века.

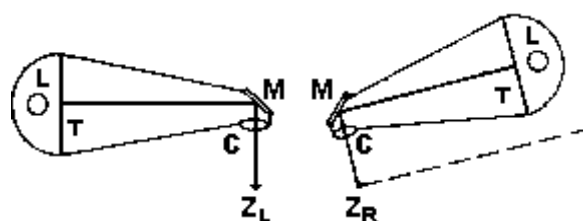


Рис. 1.10. Синоптофор.

Прозрачные пластинки Т, на которых изображены части стереограммы, расположены в трубках синоптофора и освещены небольшими лампами L. Свет от них, отражаясь от серебряных зеркал М, доходит до наблюдателя, проходя по пути через линзы-коллиматоры С, благодаря которым части стереограммы воспринимаются удаленными в оптическую бесконечность. В начальном положении расстояние между трубками синоптофора соответствует межзрачковому расстоянию. Трубки могут вращаться вокруг Z – центров вращения глазных яблок наблюдателя (ось вращения показана на рис. 1.10 пунктиром). Это позволяет изменять диспаратность стимула на сетчатках для стимуляции вергентных движений глаз и исследования косоглазия.

Один из клинических тестов, использующих пространственное разделение частей стереограммы, - тест Фрисби. Стимул теста Фрисби состоит из квадратной прозрачной пластины, на которой находятся четыре подобных паттерна (узора), которые кажутся наблюдателю напечатанными на одной стороне изображения. На самом деле три паттерна напечатаны на ближней к наблюдателю стороне пластины, а один – на дальней. В тесте содержатся пластины толщиной 6, 3 и 1 мм, что при расстоянии наблюдения 40 см соответствует остроте стереозрения 340'', 170'' и 55'' соответственно. Промежуточные значения остроты стереозрения могут быть измерены путем изменения расстояния между тестовым изображением и наблюдателем.

При автостереоскопии специальные вспомогательные устройства, расположенные между дисплеем и глазом наблюдателя, отсутствуют.

При свободной автостереоскопии наблюдатель должен смотреть на изображение таким образом, чтобы элементы стереограммы, предназначенные для левого глаза, располагались в поле зрения левого глаза, а элементы стереограммы,

предназначенные для правого глаза, – в поле зрения правого глаза. Изображения, предназначенные для свободной автостереоскопии, широко доступны. Существуют гипотезы об улучшении чувствительности стереозрения и снижения утомляемости за счет фузии автостереограмм.

При растровой автостереоскопии используется линзово-растровый дисплей, состоящий из множества вертикальных линз. Изображения, предназначенные для левого и правого глаза, чередуются полосами. Для правильного воспроизведения цветов требуется соответствующее расположение полос цветных светофильтров.

Тест Лэнга – один из клинических тестов, использующих растровую автостереоскопию. Он включает СТС, содержащие закодированные формы машины (550'' и 1200'') и звезды (340''). Тест предназначен для предъявления исключительно с расстояния 40 см под определенным углом для исключения влияния признаков монокулярного параллакса на результаты измерений.

Иные виды автостереоскопии (голографическая, волнометрическая) требуют сложных технологических решений и для исследования стереозрения в настоящее время не используются.

Клинические тесты способности к стереопсису используются для определения, во-первых, профессиональной пригодности к ряду профессий, и, во-вторых, качества стереозрения. В качестве тестовых изображений используются силуэтные или черно-белые СТС. Как правило, СТС состоит из элементов двух цветов, черного и белого.

Во всех средствах (приборах, опто типах и компьютерных программах), предназначенных для исследования остроты стереозрения диапазон доступных для пользователя диспаратностей жестко ограничен разработчиками. Причем обычно исследователь вынужден выбирать диспаратность закодированного стимула из значений некоторого дискретного ряда диспаратностей.

Большинство средств исследования стереозрения позволяют исследовать лишь значение общих фузионных резервов (без разделения на сенсорную и моторную составляющие).

В целом клинические средства исследования стереозрения обладают следующими техническими и методическими недостатками:

1. Позволяют синтезировать тестовые изображения, содержащие закодированный стимул с ограниченным набором диспаратностей, который недостаточно широк для исследования стереопсиса при некоторых заболеваниях (амблиопии, катаракты).

2. Позволяют синтезировать тестовые изображения, содержащие закодированный стимул лишь с конвергентной диспаратностью. Однако известно, что около 30% людей способны к стереопсису лишь при одном знаке диспаратности.

3. Содержат ограниченный набор тестовых изображений, так как предназначены для проведения достаточно быстрых (1-2 мин) исследований. Этого времени недостаточно для, например, исследования стереопсиса у некоторых бошьных, страдающих амблиопией.

4. Не учитывают специфики требований к стереозрению для различных специальностей, поскольку эти требования, за небольшим исключением, вообще не изучены. В последнее время разработаны измерительные средства и требования к остроте стереозрения операторов различных специальностей. Однако не существует методик исследования такого важного эргономического аспекта операторской деятельности, как утомление стереозрения.

ГЛАВА 3. МЕТОДЫ АНАЛИЗА СТЕРЕОИЗОБРАЖЕНИЙ

3.1 Цель проведения исследований и их актуальность

Идея объемного изображения вытекает из принципа работы человеческого зрения, то есть восприятия предметов двумя глазами (бинокулярное зрение).

В настоящее время проводятся многочисленные исследования мест, в которых по различным причинам человек работать не может. Это, например, исследование глубоководных впадин в морях и океанах, исследования при достаточно низких температурах, непереносимых человеком, и многое другое. В таких условиях ученым приходит на помощь многочисленная техника, в частности робототехника, которая выполняет определенные заложенные команды и действия и передает оператору всю полученную информацию: измеренные характеристики и параметры, картинки с места проведения работ, а также видеoinформацию, чтобы оператор имел возможность следить за проведением работ в режиме реального времени.

Желательно, чтобы предоставляемая оператору информация отображалась в привычном и удобном для него виде. Для улучшения ориентации оператора на месте проведения работ предлагается использовать устройство, позволяющее формировать трехмерное изображение. Это даст возможность более точно определять положение предметов относительно друг друга, а также увеличит вероятность правильного определения объектов и дальность видимости по сравнению с монокулярным зрением.

Если обратиться к истории возникновения стерео, то стремление человека получить из плоских картинок объемное изображение можно обнаружить еще в XV веке в работах Леонардо да Винчи. В 1593 году Джакомо Порты (итальянский архитектор, ученик Микеланджело) установил, что в нашем сознании комбинируются изображения, полученные обоими глазами, и описал отдельные составляющие стереопары.

Первые устройства, позволяющие получать стереоскопический эффект, появились к середине XIX века. В 1831 году был изобретен первый щелевой стереоскоп. В нем не использовалась оптика, а левое и правое изображения

следовало переставлять местами. Позднее в 1833 году изготовлен первый зеркальный стереоскоп, а в 1849 году разработан линзовый стереоскоп. В это время уже был понятен основной принцип создания стерео – правый глаз видит правый кадр стереопары, а левый- левый кадр.

В настоящее время стерео постепенно проникает во многие сферы деятельности человека. Примером наиболее известного широкой публике применения стереокомпьютерных систем является стереокино, о котором уже было написано в главе 2.

По сравнению с обычным телевидением объемное обладает двумя новыми качествами. Это трехмерная интерактивность, позволяющая телезрителю быть сотворцом телевизионной программы, и объемность изображения, позволяющая глазам человека работать в естественном режиме, перемещая взор с близких объектов наблюдения на дальние. Но это лишь начало активного внедрения стереосистем.

В последнее время число вариантов профессионального применения стерео постоянно увеличивается. Так, фирма View разработала прикладную программу для перевода созданных в CAD архитектурных проектов в стереоизображение [15]. Дополнительное ощущение глубины позволяет наиболее реально представить, как будет выглядеть разрабатываемый объект в привязке к окружающим зданиям.

Дальнейшее развитие технологии дало возможность объединить в одной системе функционал, позволяющий совместить вывод 3D и обычного видеоизображения. Благодаря ювелирной точности новой технологии проекционные 3D-видеосистемы стали использоваться не только в сфере развлечения, но и в точном машиностроении, автомобилестроении, авиации, геологии, а также в тех областях, где необходимо работать с точными трехмерными моделями. Сесть за руль еще не воплощенного в металле автомобиля, представить и просчитать поведение самолета или ракеты при аэродинамическом воздействии, погрузиться в толщу скальных пород для прокладки пути нефтяной скважины – все это стало возможным.

Так же нельзя не упомянуть о самой важной области для человека, такой как медицина. Множество областей, например, томография, хирургия, рентгенология, офтальмология, ультразвуковое исследование нуждаются в наблюдении и анализе именно объемного изображения. Уже разработаны и проверены программы с использованием стерео технологий, применяемое для выявления патологий органов зрения и их лечения. Например:

- комплекс «КАПБИС-1», разработанный сотрудниками НИКФИ совместно с Российским государственным медицинским университетом и Московским НИИ глазных болезней им.Гельмгольца. комплекс предназначен для лечения и диагностики нарушения бинокулярного зрения;

- пакет диагностических программ «Diagnose», содержащий пятнадцать тестов измерения важных параметров, предназначенных для контроля бинокулярного и стереоскопического зрения;

- программный пакет «МЕКО», включающий пять программ и предназначен для лечения косоглазия, амблиопии и других нарушений бинокулярного и стереоскопического зрения, выработки, тренировки и развития стереоскопического зрения;

- программа «SHOW», использующая стереомультипликацию в качестве простого теста на наличие стереовосприятия пациентами;

- программа «UFO» является основной программой для выработки бинокулярного зрения у детей с косоглазием и амблиопией;

- программа «KONSTR» предназначена для отдельной тренировки глаз при амблиопии.

Так как изначально трехмерное видео было создано для кино, то основная сфера активного применения технологии объемной визуализации – это развлечения. Создаются аттракционы с головокружительными спецэффектами, невероятными темпами развивается отрасль компьютерных видеоигр.

Но не смотря на быстрое развитие и использование стереотехнологий, до сих пор слабо разработаны методологические и психофизиологические аспекты

создания виртуального пространства и взаимодействия с ним человека, и здесь имеется множество вопросов.

Таким образом, создание экспериментальной установки, моделирование и исследование процессов стереовидения позволит более полноценно изучить особенности работы органа зрения человека при стереовосприятии предъявляемых изображений.

Полученные результаты могут быть использованы для определения требований к системам видеoeлектроники, работающих в стереорежиме, и оптимизировать их геометрические и оптические параметры.

3.2 Методика определения субъективного восприятия глубины стереоэффекта

Субъективная оценка качества стереоэффекта с использованием шкал, определением условий проведения измерений, выбор сюжетов для оценки качества изображения и метода обработки полученных результатов, соответствует рекомендациям по проведению субъективных оценок в телевидении, разработанным Международным союзом электросвязи (МСЭ) — International Telecommunication Union (ITU), в частности отделом ITU-T. [7] Качество изображения оценивается по пятибалльной шкале. Итоговый балл определяется как среднее арифметическое оценок наблюдателей по данному параметру.

Условия измерений постоянны: комната изолирована от влияния солнечного света, расстояние до экрана – 40-60 см; постоянный уровень подсветки помещения и экрана монитора [12].

На экране монитора предъявляются изображения объектов в случайном порядке. Длительность предъявления не менее 6 секунд [17]. В результате, после предъявления наблюдатель должен сообщить оператору, какую оценку он ставит стереоизображению, который видит на экране. Субъективная оценка включает в себя проверку наличия геометрических искажений, качества стереоэффекта, глубины фона и объемности объекта.

Современные исследования показывают, что использование субъективных методов также позволяет найти решение таких неожиданных проблем (неизбежно появляющихся при разработке новых аудиовизуальных систем), как, например, снижение риска опасного негативного воздействия. Оно может возникнуть при определенном сочетании технических параметров изображения (так же, как и звука). Практические методики оценки предполагают использование шкалы ухудшений с пятью реперными точками: ухудшение незаметно; ухудшение заметно, но не мешает; ухудшение несколько мешает; ухудшение мешает; ухудшение очень мешает. [18] Эти точки могут быть преобразованы в значения балльной шкалы для нашего эксперимента:

- 5 - заметен стереоэффект, объект воспринимается объемно, нет искажений;
- 4 - стереоэффект есть, нечетко проявляется объемность объекта, нет искажений;
- 3- стереоэффект есть, нечетко проявляется объемность объекта, наблюдаются искажения;
- 2 - нет стереоэффекта, есть искажения;
- 1- нет стереоэффекта, большие искажения фона и объекта.

Отметим недостатки субъективного метода:

- Необходимость создания специальных условий для проведения эксперимента;
- Велика погрешность при выставлении оценок наблюдателем (для получения приемлемых статистических данных, количество наблюдателей должно быть не менее 15 человек);
- Большое количество трудозатрат чел/час.

3.3 Метод объективных оценок

В субъективном методе существуют определенные недостатки (см. пункт 3.2). Так же в описанном методе происходит анализ выходных данных, т.е. если

рассматривать процесс создания стереоизображения, изначально существует только стереопара, части которой являются входными данными задачи.

Дадим определение объективной оценке:

Объективная оценка – оценка не зависящая от наблюдателя, или от восприятия наблюдателя.

Таким образом можно сформулировать задачу:

1. Разработать метод, способный по каким-либо критериям сравнивать части одной стереопары.

2. Разработать алгоритм проставления оценок, исходя из критерия сравнения частей стереопары и опираясь на заведомо известные оценки стереоизображения, полученных по субъективному методу.

В качестве наиболее оптимальных критериев для сравнения изображения, были выбраны следующие:

- Корреляционный критерий (расчет коэффициента корреляции);
- Диспаратный критерий (вычисление диспаратета).

3.3.1. Корреляционный подход

Корреляционный метод, заключается в нахождении коэффициента корреляции между двумя изображениями (левой и правой частями стереопары).

Было рассмотрено два метода вычисления коэффициента корреляции:

- Коэффициент корреляции между двухмерными массивами чисел (одна цифра);
- Кросс-корреляция (вычисление вектора).

Вычисление коэффициент корреляции между матрицами А и В одинакового размера, происходит следующим образом:

Коэффициент корреляции вычисляется с помощью следующего соотношения:

$$k = \frac{\sum_c \sum_r ((A(c, r) - A_m) \cdot (B(c, r) - B_m))}{\sqrt{(\sum_c \sum_r (A(c, r) - A_m))^2} \cdot \sqrt{(\sum_c \sum_r (B(c, r) - B_m))^2}}$$

где A_m и B_m – средние значения.

Из достоинств данного метода хочется отметить простоту. Из недостатков, не информативный результат (не совсем ясно, что за число получаем), матрицы должны быть одного размера (что всегда должно выполняться для стереопар).

Кросс – корреляция.

Стандартный метод оценки степени корреляции двух последовательностей. Часто используется для поиска в длинной последовательности более короткой заранее известной. Рассмотрим два ряда f и g . Взаимная корреляция определяется по формуле:

$$(f \times g)_i \stackrel{\text{def}}{=} \sum_j f_j^* g_{i+j},$$

где i — сдвиг между последовательностями относительно друг друга, а верхний индекс в виде звёздочки означает комплексное сопряжение. В общем случае, для непрерывных функций $f(t)$ и $g(t)$ взаимная корреляция определяется как

$$(f \times g)(t) \stackrel{\text{def}}{=} \int_{-\infty}^{+\infty} f^*(\tau) g(t + \tau) d\tau,$$

Если X и Y — два независимых случайных числа с функциями распределения вероятностей соответственно f и g , тогда взаимная корреляция $f^* \cdot g$ соответствует распределению вероятностей выражения $-X+Y$. Напротив, свёртка $f \cdot g$ соответствует распределению вероятностей суммы $X+Y$.

Наглядней процесс вычисления данного коэффициента можно представить следующим образом:

Шаг 1. Над обеими матрицами производится быстрое преобразование Фурье (FFT);

Шаг 2. Над базовой матрицей производим комплексное сопряжение (домножение на -1);

Шаг 3. Полученные матрицы перемножаются;

Шаг 4. Процедура обратного быстрого преобразования Фурье (Inverse FFT).

Результат вычислений изображен на Рис 3.1.

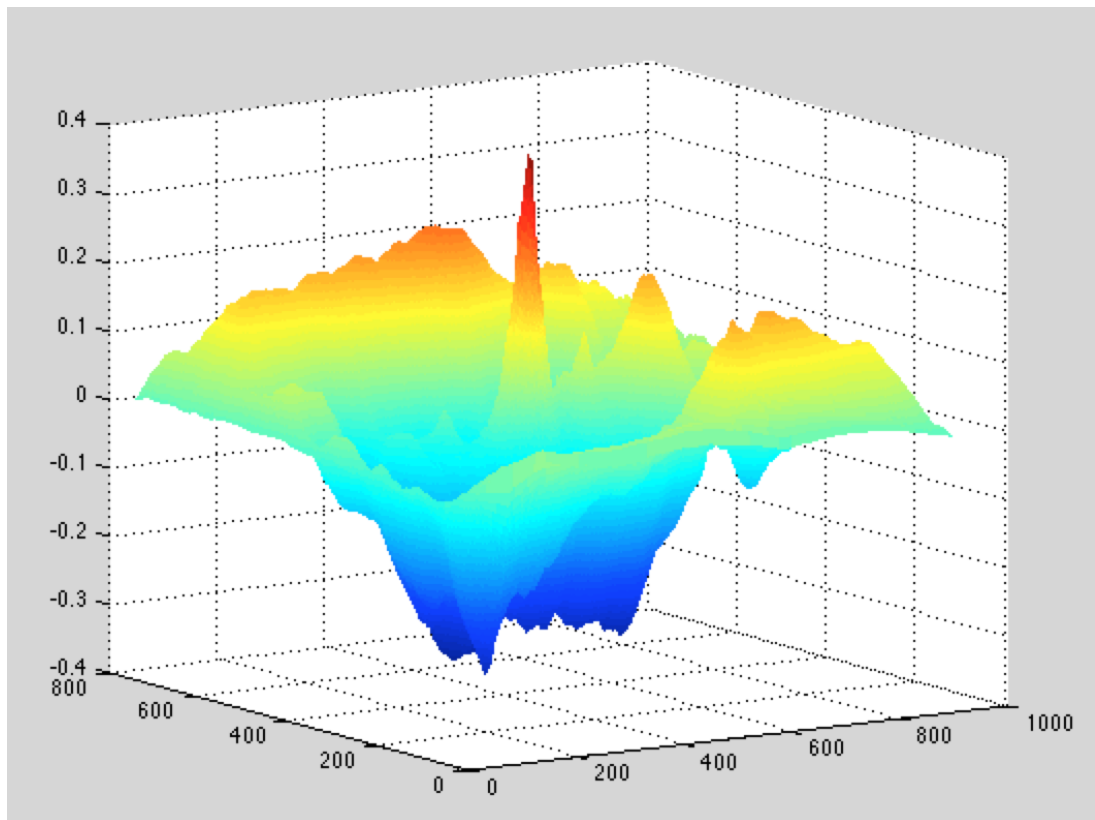


Рис.3.1. Результат расчета коэффициента кросс-корреляции.

Рис. 3.1 можно интерпретировать по разному, но на данный момент коэффициент корреляции соответствует максимальному положительному пиковому значению.

Данный метод имеет следующие плюсы и минусы:

- Возможность следить за группами объектов;
- Группа объектов может перемещаться в пространстве друг относительно друга (Преобразование фурье “поглотит” все изменения);
- Для достоверности измерений, рекомендуется измерять группы от 5 до 12 объектов.

При вычислении коэффициента корреляции одним из двух методов, необходимо предварительно проводить обработку изображения. Т.е. изображение представляет собой трехмерную матрицу (если рассматривать схему RGB), а указанные алгоритмы могут использовать только двухмерный массив (одномерная матрица).

3.3.2. Вычисление диспаратета

Одна из важных задач стереозрения - процесс преобразования двух плоских изображений в трехмерную сцену с восстановлением информации о *глубине* каждой точки плоского изображения (расстоянии от стереокамеры до соответствующей точки реальной сцены).

Зная информацию о глубине (функция двух переменных) можно генерировать 3D модели ландшафта и других природных объектов для использования в различных приложениях, таких как виртуальная реальность, симуляция полета, робототехника. В частности, знание об удаленности точек изображения от реального прообраза позволяет делать захват опорных точек движущегося объекта для получения трехмерных координат, что важно в индустрии спецэффектов, кино и телевидении [11]. Захват координат опорных точек позволяет строить уникальные бесконтактные человеко-машинные интерфейсы, управление в которых осуществляется движениями пальцев рук или вообще жестов в пространстве на некотором удалении от стереокамеры.

На данный момент известны активные и пассивные методы восстановления информации о глубине реальной сцены. Активные методы используют ультразвуковые преобразователи или лазерное освещение рабочего пространства, дающие на выходе быструю и точную информацию о глубине [19]. Однако у этих методов есть ограничения по отношению к диапазону измерений и стоимости аппаратных компонентов.

Пассивные методы, основанные на компьютерном зрении, обычно реализуются более простыми и недорогими сенсорами, определяющими расстояние. Такие методы способны генерировать информацию о глубине по полученной паре изображений и параметрам двух камер. Одна из фундаментальных проблем стереозрения заключается в установлении точного соответствия между левым и правым изображением стереопары. Под соответствием понимается расстояние (диспаратет) между пикселями одного и того же объекта на левом и правом изображении. Существующие локальные методы по вычислению карты диспаратета основаны на принципе «скользящего окна». Они характеризуются определенной

сбалансированностью скорости-качества, хорошо масштабируются и реализуются на таких параллельных архитектурах, как видеокарты.

Общий порядок вычислений представлен на рис. 3.2. Он состоит из предобработки входных данных и вычисления диспаратета пикселя.

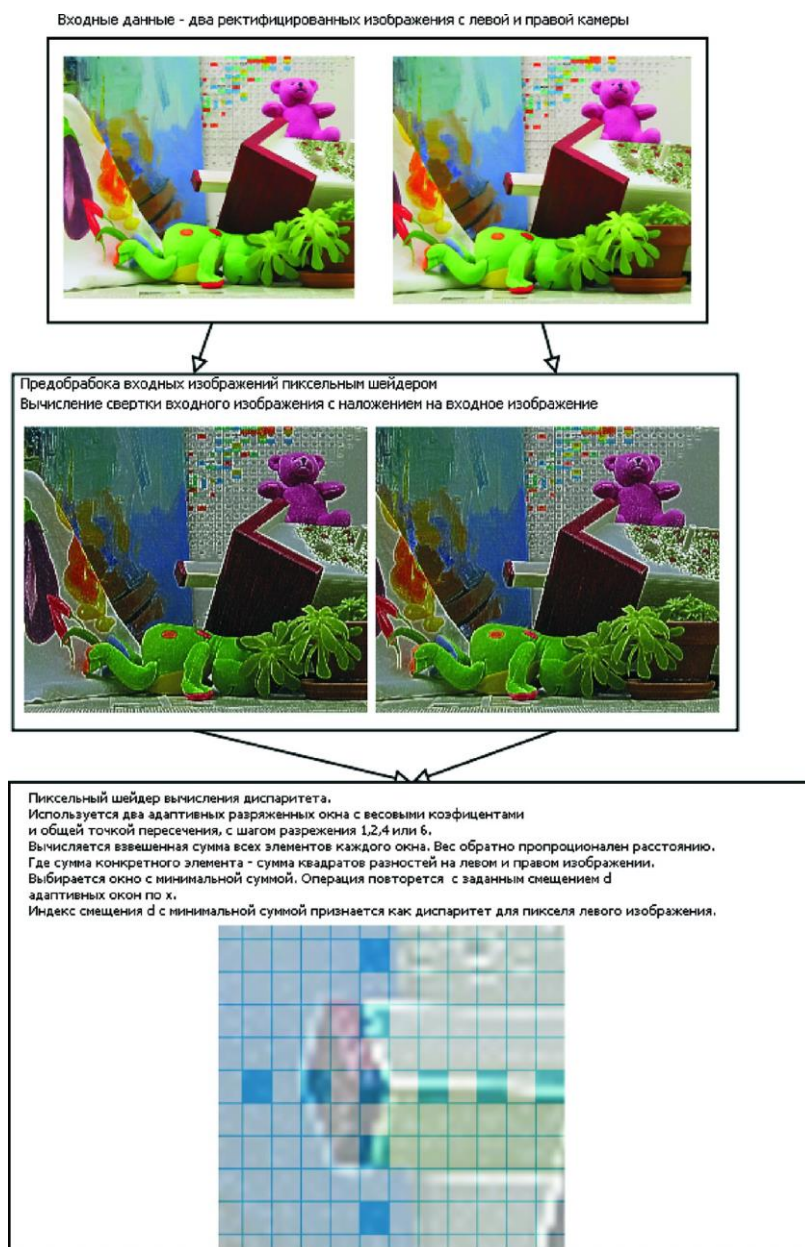


Рис.3.2. Общий порядок вычисления диспаратета.

Первый шаг вычислений - получение градиентных изображений стереопары методом свертки (рис. 3.3)

$$C_i(x, y) = \sum_{(i, j) \in N(x, y)} I_i(i, y) \times M(i, j)$$

Здесь C_i - обработанный пиксель левого изображения; $I_i(i, j)$ - исходный пиксель на левом изображении; $N(x, y)$ - окрестность 3×3 пикселей; $M(i, j)$ - элемент известной матрицы свертки

$$M = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix},$$

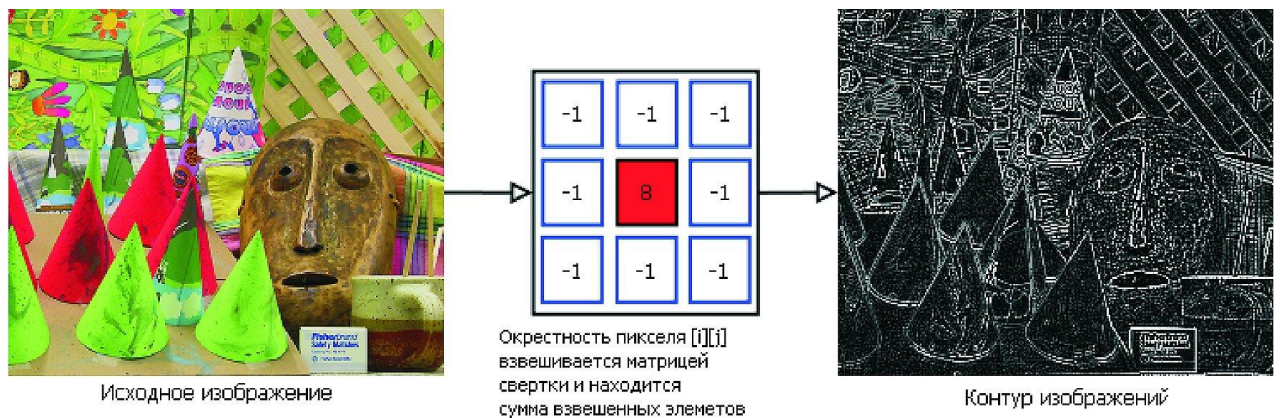


Рис.3.3. Выделение контуров на изображении.

Далее вычисляется линейная комбинация градиентного и исходного изображений с варьируемым параметром k (рис. 3.4).

Диспаритет пикселя d по определению равен расстоянию между соответственными пикселями левого и правого изображений (установление соответствия выполняется построчно перебором пикселей на выбранной строке изображений y)

$$d = |x_r - x_l|.$$

Здесь x_l - положение выбранного пикселя фиксированной строки y на левом изображении, x_r - положение соответственного пикселя этой строки на правом изображении.

Чтобы найти x_r , для каждого элемента (x, y) строки y правого изображения вычисляется сумма стоимостей пикселей C с окрестностями [10].

$$C(x, y, d) = \sum_{(i, j) \in M(x, y)} P_c(i, d, j),$$

где $W(x, y)$ - одно- или двумерная окрестность (окно) пикселей с центром в точке (x, y) .

Под стоимостью понимается модуль разности левого (выбранного) и правого (подбираемого) пикселей:

$$P_c(x, d, y) = |p(x, y) - g(x - d, y)|,$$

Здесь p - пиксель на левом изображении; q - пиксель на правом изображении; d - перебираемый диспаратет.

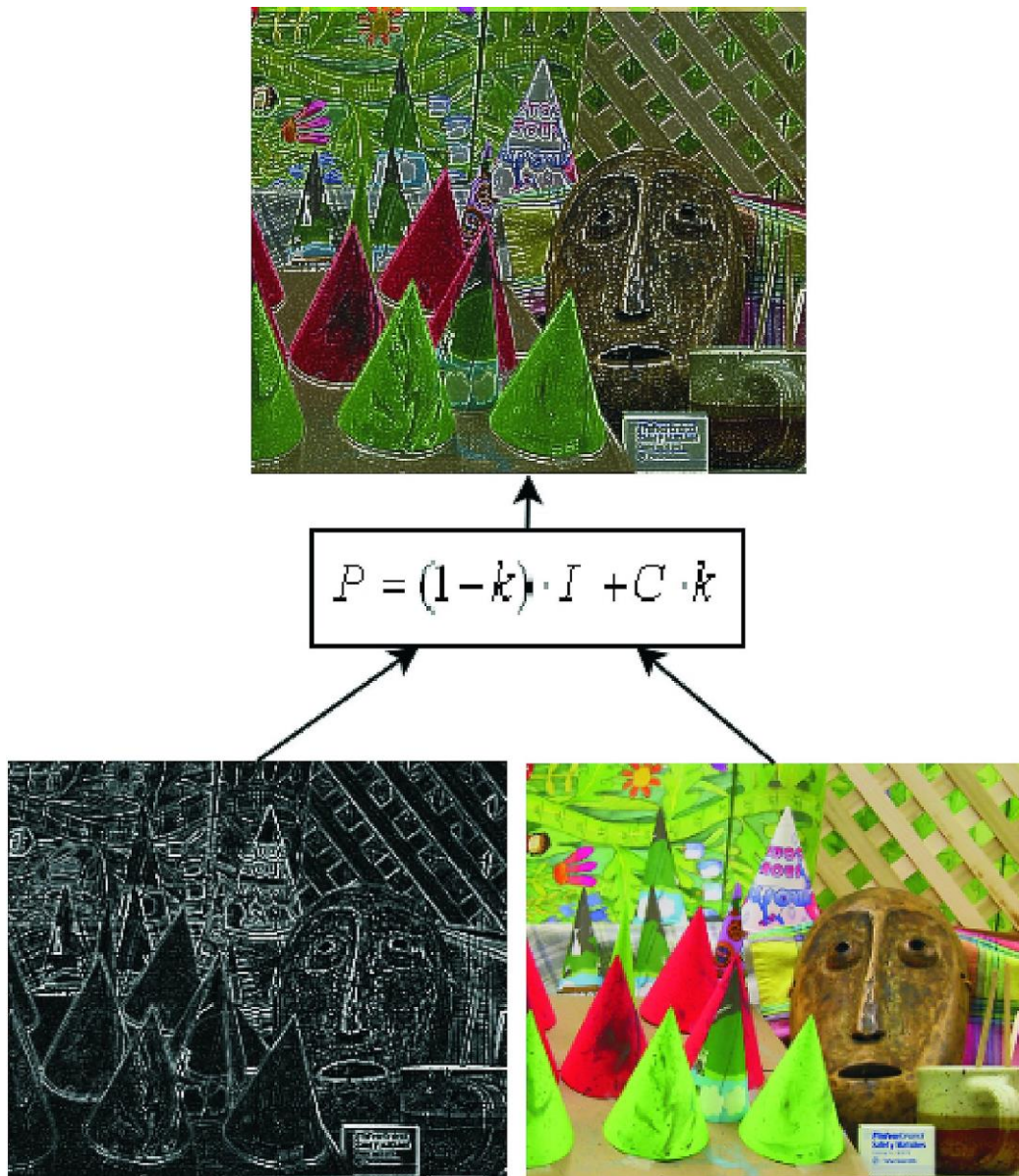


Рис.3.4. $k = 0,5$; P - обработанный пиксель, I - пиксель исходного изображения; C - пиксель градиентного изображения

ГЛАВА 4. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

4.1. Выбор изображений

На правильное восприятие стереоэффекта большое влияние оказывает форма объекта, его удлиненность, наличие мелких деталей, цвет и фактура.

Для изучения всех этих параметров были выбраны различные тест-объекты: простые: параллелепипед, пирамида, цилиндр; и сложные: самолет и

В качестве источника использован точечный источник, расположенный выше точки рассматривания, чтобы заведомо исключить стереоскопические ошибки рельефа, вызванные неправильным распределением светотеней.

Варьируемыми параметрами в данном исследовании являются база и вертикальный параллакс.

Выбран следующий ряд значений базы: 30мм, 45мм, 60мм, 90мм, 100мм, 120мм, 200мм, 300мм.

Положение объектов остается постоянным, меняется только положение камеры, которая меняет свое положение относительно центра комнаты (тем самым меняя базу) и точку фокусировки (меняется угловой параллакс).

Значения углового параллакса: 0° ; $0,1^{\circ}$; $0,2^{\circ}$; $0,3^{\circ}$; $0,4^{\circ}$; $0,5^{\circ}$; $0,6^{\circ}$; $0,7^{\circ}$; $0,8^{\circ}$; $0,9^{\circ}$; 1° .

Таким образом, получены изображения тест-объектов, примеры которых приведены на рис. 4.1-4.2.



Рис.4.1 Визуализированное изображение машины скорой помощи при расстоянии базы 30 мм и угле параллакса $0,3^{\circ}$.



Рис.4.2 Визуализированное изображение параллелепипеда при расстоянии базы 200 мм и угле параллакса $0,8^{\circ}$.

Установка и процесс фотографирования был описан в гл.3.2 работы [12]. Тест-объектами были выбраны: мишка, самолет, модель эйфелевой башни. Величина базы: 45мм, 60 мм и 90мм, 120мм, 200мм, 300мм. Значения горизонтального и вертикального параллакса 0° ; $0,1^{\circ}$; $0,2^{\circ}$; $0,3^{\circ}$; $0,4^{\circ}$; $0,5^{\circ}$; $0,6^{\circ}$; $0,7^{\circ}$; $0,8^{\circ}$; $0,9^{\circ}$; 1° .

Условия освещения были выбраны путём энергорасчёта, который заключается в выборе типа и мощности ламп осветительной установки представлен в работе [12].

Пороговая яркость $L_{пор}=0.44 \text{ Кд/м}^2$, отсюда находим яркость которую необходимо создать:

$$L = 100 \times L_{пор} = 44 \frac{\text{Кд}}{\text{м}^2} \quad (4.1)$$

Яркость диффузно-рассеивающей поверхности равна:

$$L = \frac{E\rho}{\pi} \quad (4.2)$$

Тогда значение освещенности:

$$E = \frac{L\pi}{\rho} = \frac{44\pi}{0.45} = 307 \frac{\text{лм}}{\text{м}^2} \quad (4.3)$$

Из закона квадратов расстояний находим силу света, с которой должны светить источники:

$$l = \frac{El^2}{\cos B} = \frac{El^2}{l} \sqrt{H^2 + l^2} = 186 \text{Кд} \quad (4.4)$$

Будем считать, что светит шар, поток которого будет равен:

$$\Phi = 2\pi l \int_0^\pi \sin\alpha d\alpha = 4\pi l = 2336\text{лм} \quad (4.5)$$

Лампа накаливания мощностью 100 Вт создает световой поток, примерно равный 1300 лм. Таким образом, двух ламп накаливания мощностью 100 Вт будет достаточно для создания необходимой освещенности, с заданным отношением сигнал/шум, при выбранном взаимном расположении источников света и объекта на мини полигоне.

В результате эксперимента были получены субъективные оценки, изображенный на рис.4.3, 4.4.

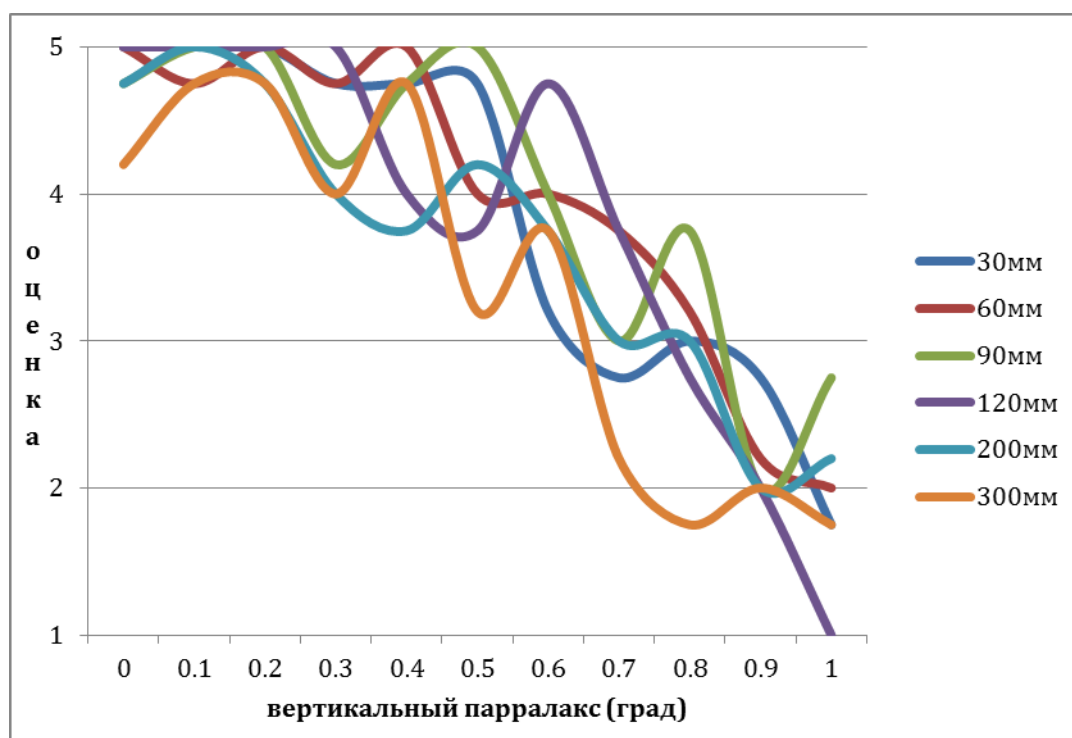


Рис.4.3. Оценка восприятия от величины вертикального параллакса. Тест-объект “Машина”.

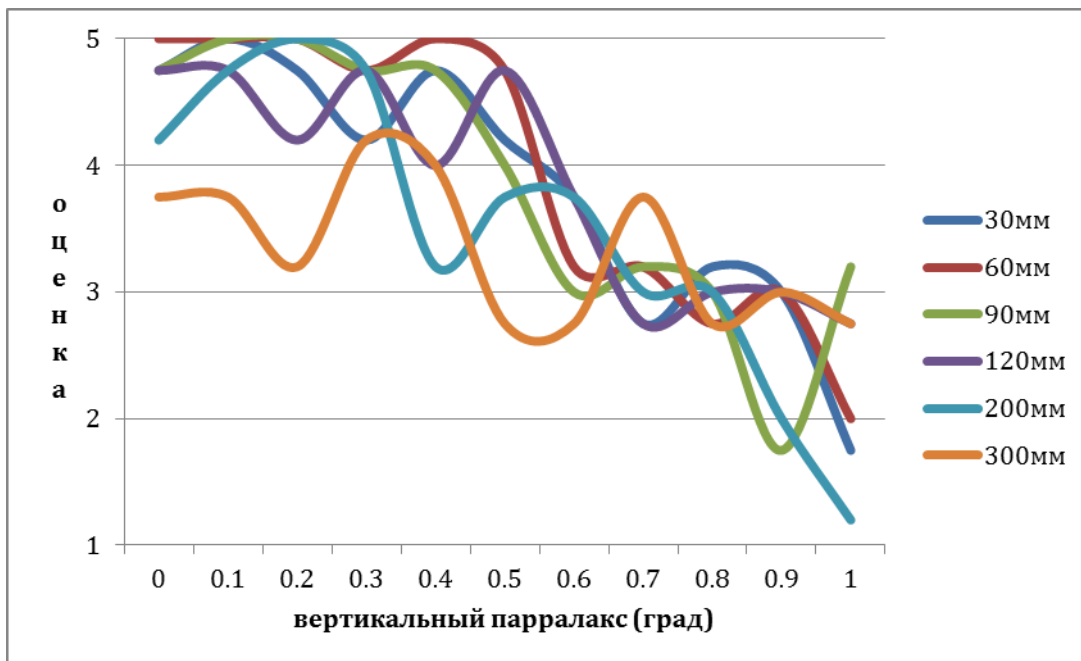


Рис.4.4. Оценка восприятия от величины вертикального параллакса. Тест-объект “Самолет”.

4.2. Статистические результаты исследования

Используя методы, описанные в главе 3, были получены следующие статистические зависимости (Рис.4.4-4.11).

- Тест-объект “Автомобиль”:

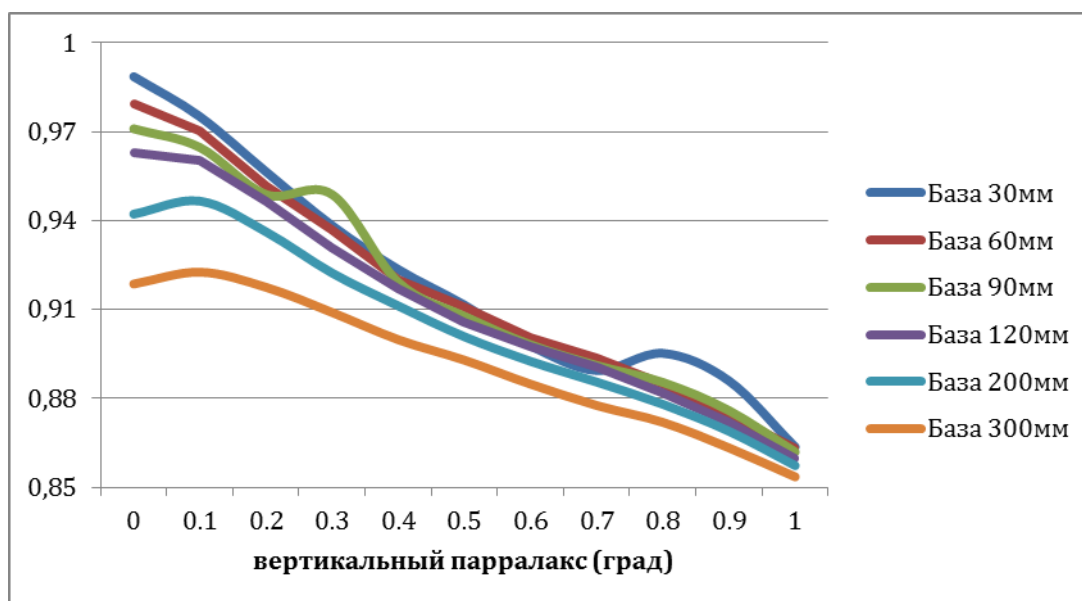


Рис.4.4. Зависимость коэффициента корреляции от величины вертикального параллакса, для различных значений базы.

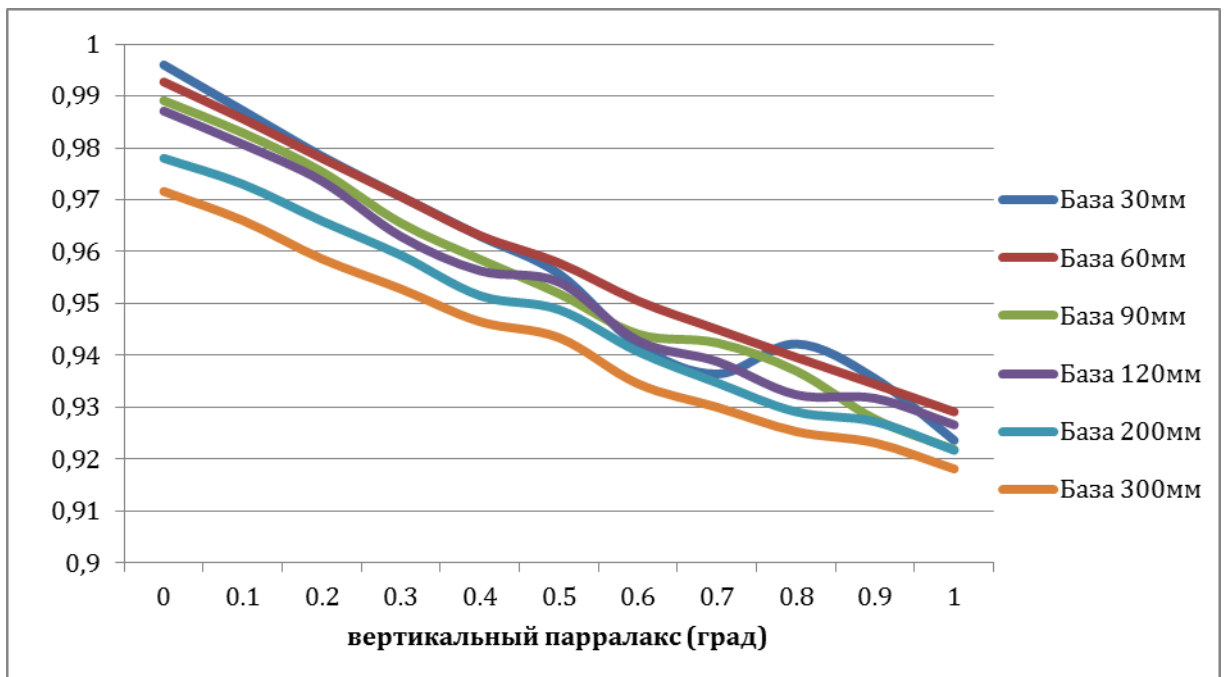


Рис.4.5. Зависимость пикового значения коэффициента кросс-корреляции от величины вертикального параллакса, для различных значений базы.

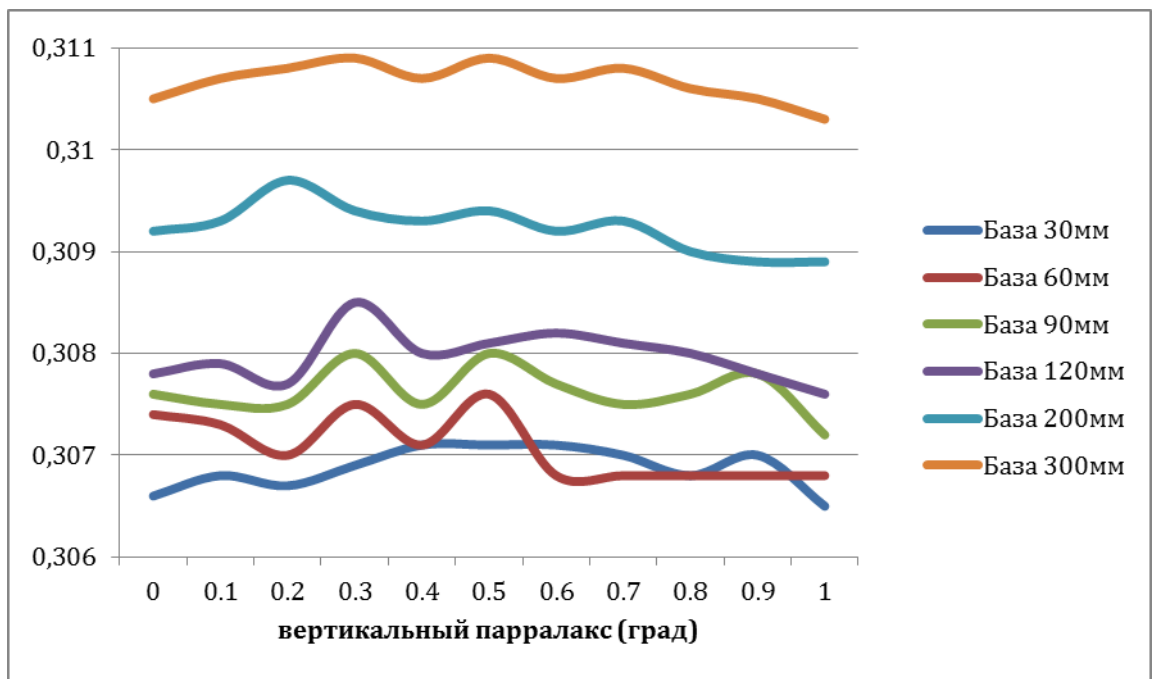


Рис.4.6. Зависимость среднего значения коэффициента кросс-корреляции от величины вертикального параллакса, для различных значений базы.

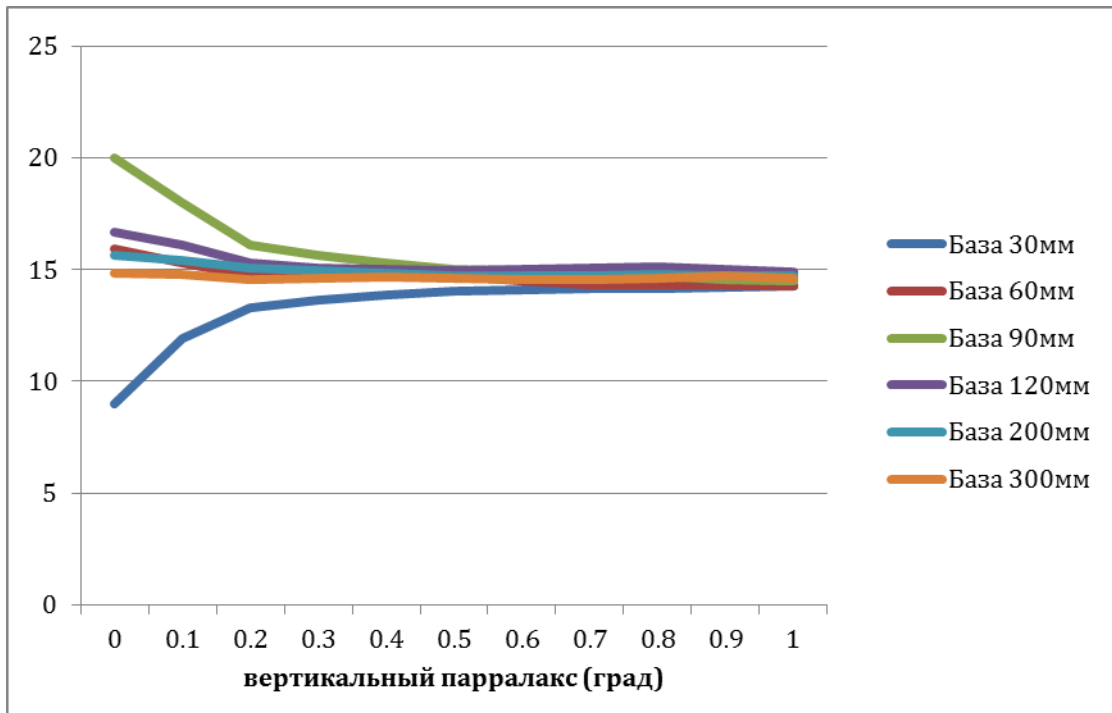


Рис.4.7. Зависимость диспаратета от величины вертикального парралакса, для различных значений базы.

- Тест-объект “Самолет”:

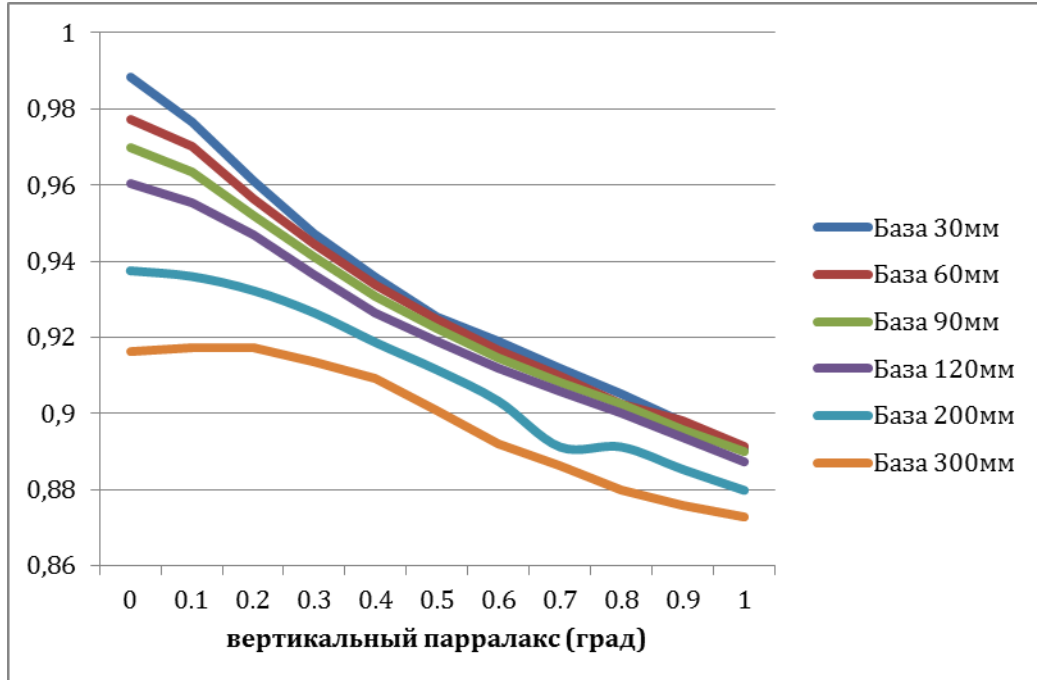


Рис.4.8. Зависимость коэффициента корреляции от величины вертикального парралакса, для различных значений базы.

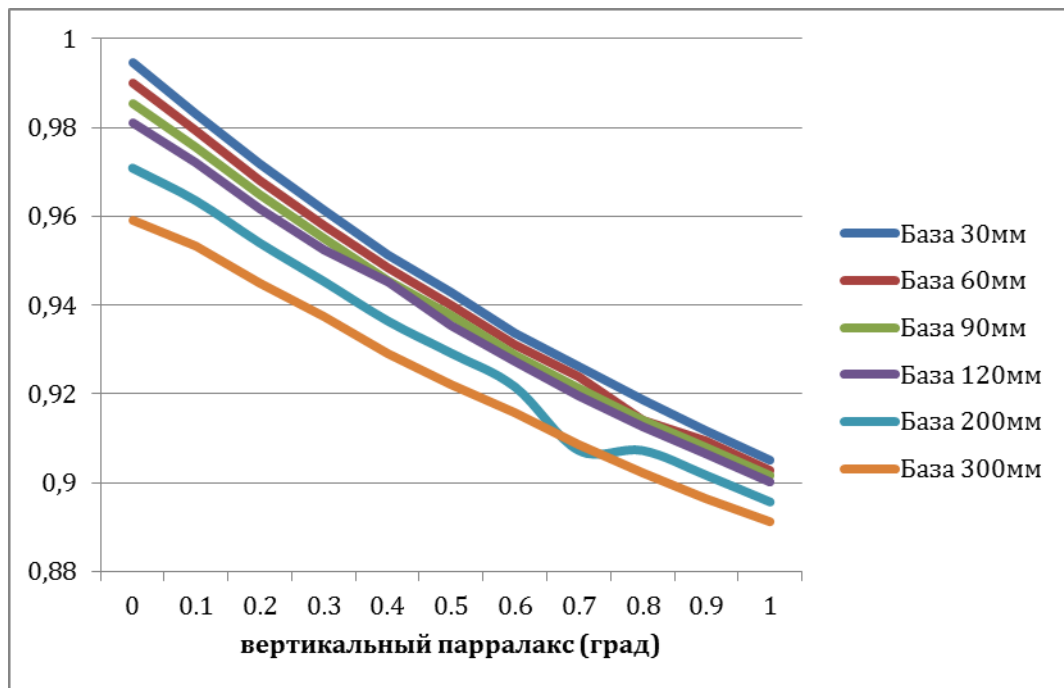


Рис.4.9. Зависимость пикового значения коэффициента кросс-корреляции от величины вертикального параллакса, для различных значений базы.

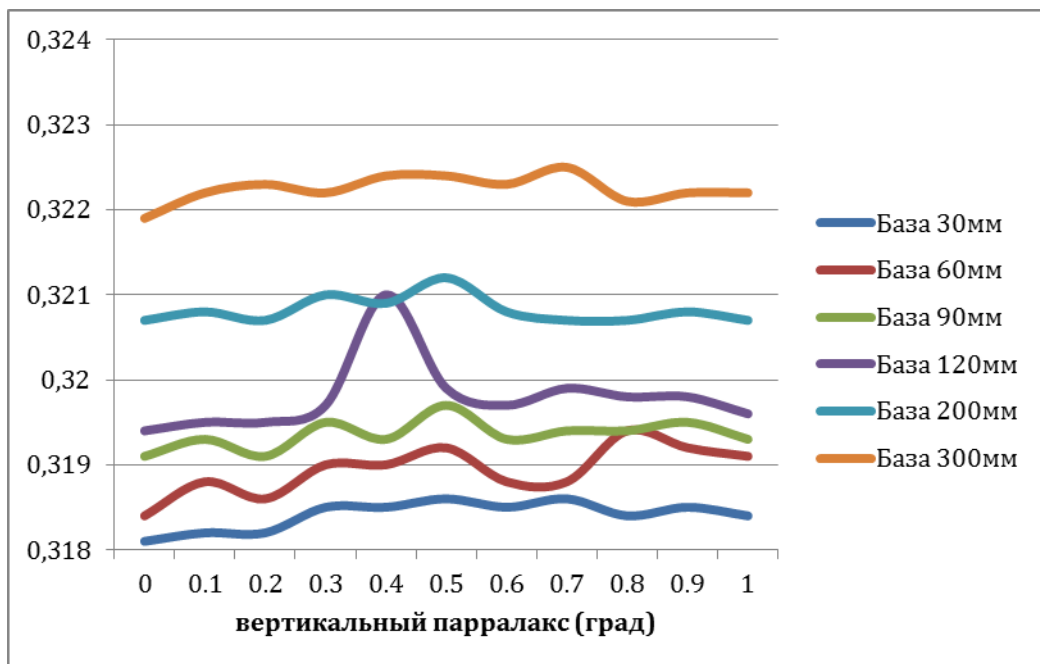


Рис.4.10. Зависимость среднего значения коэффициента кросс-корреляции от величины вертикального параллакса, для различных значений базы.

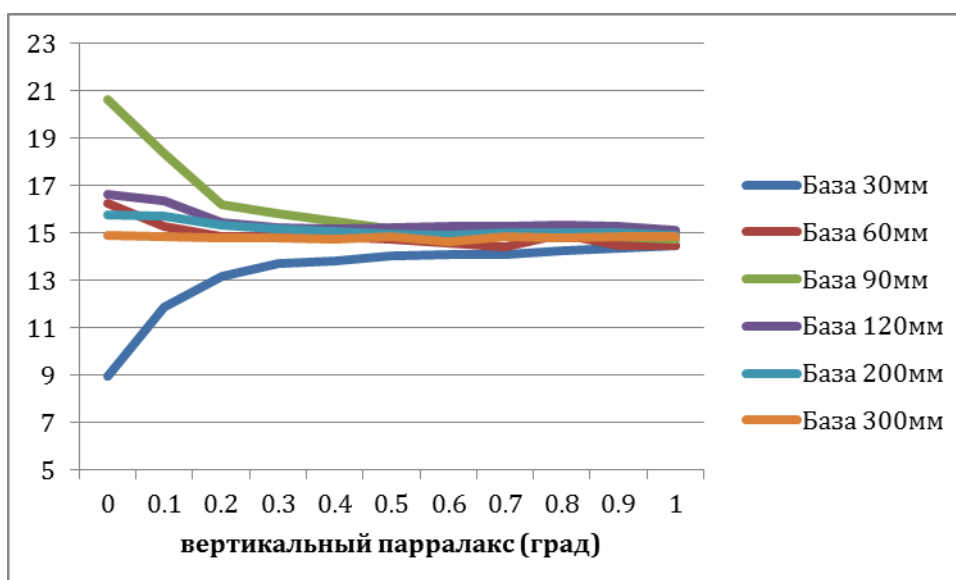


Рис.4.11. Зависимость диспаратета от величины вертикального параллакса, для различных значений базы.

Анализируя полученные зависимости можно сделать следующие выводы:

- Коэффициенты корреляции и кросс-корреляции (пик) уменьшаются при увеличении значения вертикального параллакса;
- Коэффициенты корреляции и кросс-корреляции (пик) уменьшается с увеличением базы;
- С увеличением значения базы увеличивается среднее значение коэффициента кросс-корреляции;
- Среднее значение коэффициента кросс-корреляции слабо зависит от значения вертикального параллакса;
- Вычлнение диспаратета, является не совсем очевидным методом, для статического анализа, тем не менее можно сделать вывод, что для большинства значений базы, используемых в исследовании, данный коэффициент находится на одном и том же уровне, однако существует значительные отклонения для значений базы 30мм и 90мм.

4.3.Объективная оценка восприятия глубины для стереоизображений, созданных на стерео полигоне.

Для получения оценок и более наглядного представления результатов, необходимо все полученные коэффициенты при статистическом анализе пересчитать в оценки, которые бы коррелировали с оценками полученными субъективным методом. Реализация такой задачи, возможна только при условии, что пересчет коэффициентов в оценки, будет базироваться на результатах полученных по методу субъективных оценок.

Произведя пересчет используя приемы математической статистики, были получены следующие значения (в данной работе берутся пороговые значения коэффициентов для каждого из уровня оценок, существуют и иные варианты пересчета):

- Тест – объект «Автомобиль»:

Таблица 1. Пороговые значения коэффициентов для каждой оценки.

Оценка	Коэф. корреляции	Коэф. кросс-корреляции (пик)	Коэф. кросс-корреляции (среднее)
5	0,9297	0.966	0.307
4	0,894	0.953	0.308
3	0,879	0.931	0.309
2	0.863	0.926	0.31
1	0.859	0.921	0.311

- Тест – объект «Самолет»:

Таблица 2. Пороговые значения коэффициентов для каждой оценки.

Оценка	Коэф. корреляции	Коэф. кросс-корреляции (пик)	Коэф. кросс-корреляции (среднее)
5	0.945	0.96	0.319
4	0.909	0.933	0.321
3	0.894	0.911	0.318

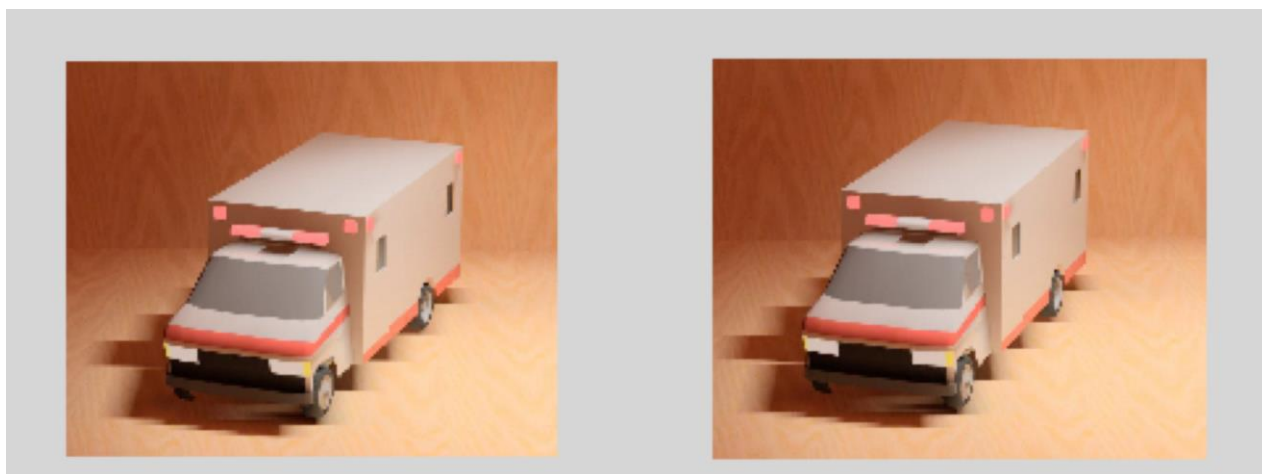
2	0.893	0.906	0.317
1	0.879	0.896	0.320

Как видно из таб.1 и таб.2 значения распределены не равномерно, и в некоторых случаях «спред» между ними чрезвычайно мал, что естественно, приведет к увеличению погрешности при выставления итоговой оценки.

Для уточнения вычисляемых коэффициентов, применяется «искусственная» дополнительная обработка изображения, заключающаяся в выделение самого объекта и отсечении части фона (естественно это приведет к изменению коэффициентов и пересчету таблиц) (Рис.4.12, Рис.4.13).



Рис.4.12. Исходные изображения для оценки.



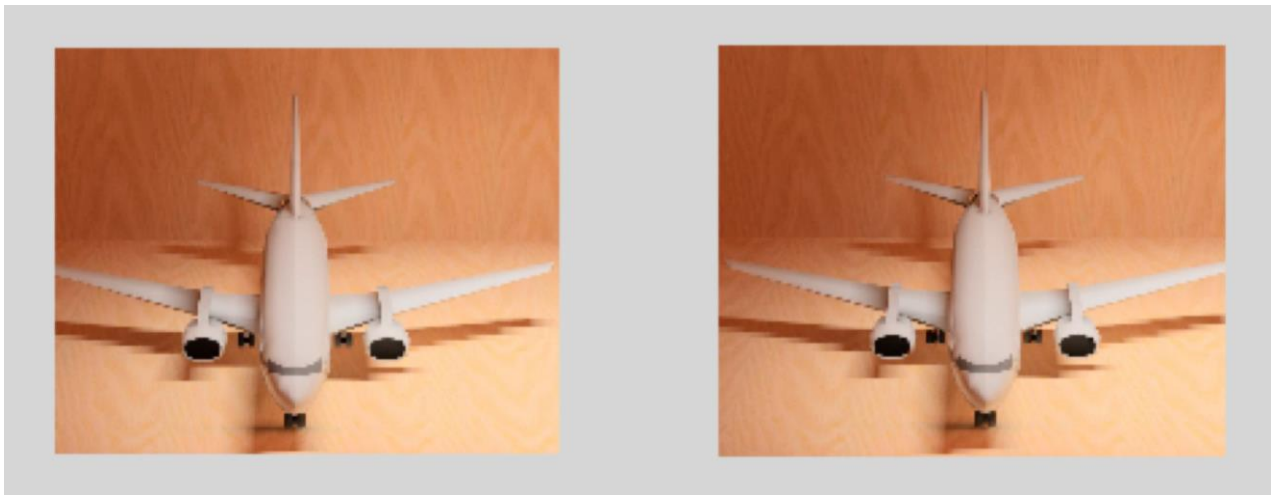


Рис.4.13. Изображения после дополнительной обработки (обрезана часть фона).

Собрав аналогичную статистику по данным изображениям (см.приложение 2), можно сделать вывод: что тренд остался прежним, но сами коэффициенты изменились и пороговые значения стали более выраженными (таблица 3).

Тест – объект «Автомобиль»:

Таблица 3. Пороговые значения коэффициентов для каждой оценки

Оценка	Коэф. корреляции	Коэф. кросс-корреляции (пик)	Коэф. кросс-корреляции (среднее)
5	0,82	0.798	0.258
4	0,724	0.77	0.256
3	0,677	0.69	0.255
2	0.64	0.66	0.254
1	0.61	0.65	0.253

Основываясь на данной сетке выставим оценки по объективному методу, используя тест объект «автомобиль» (итоговая оценка, вычисляется как среднеарифметическое от результатов оценки по каждому критерию, используемого в эксперименте) и построим график машинных оценок от величины вертикального параллакса Рис.4.14.

(по аналогии с Рис.4.13 и Рис.4.14).

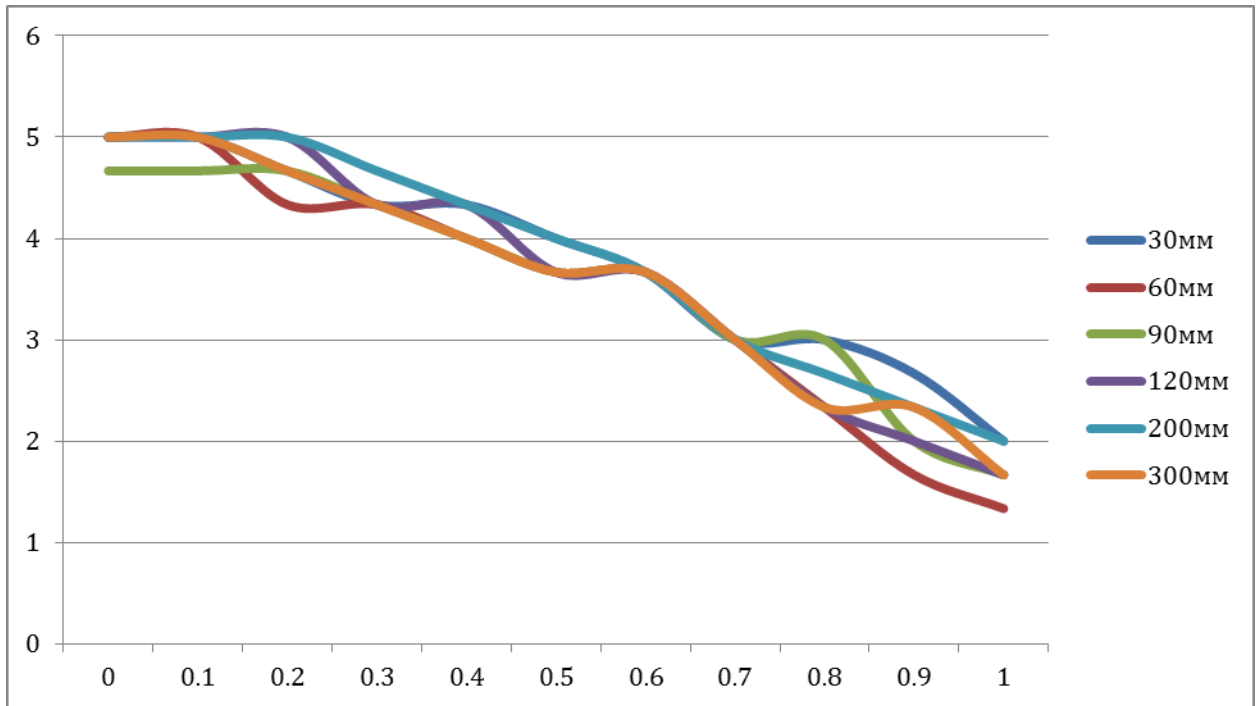


Рис.4.14. Зависимость машинных оценок от угла вертикального параллакса.

Рассмотрим в приближении графики зависимостей объективных и субъективных оценок, для случаев базы равно 30мм и 300мм (Рис.4.15 - Рис.4.20).

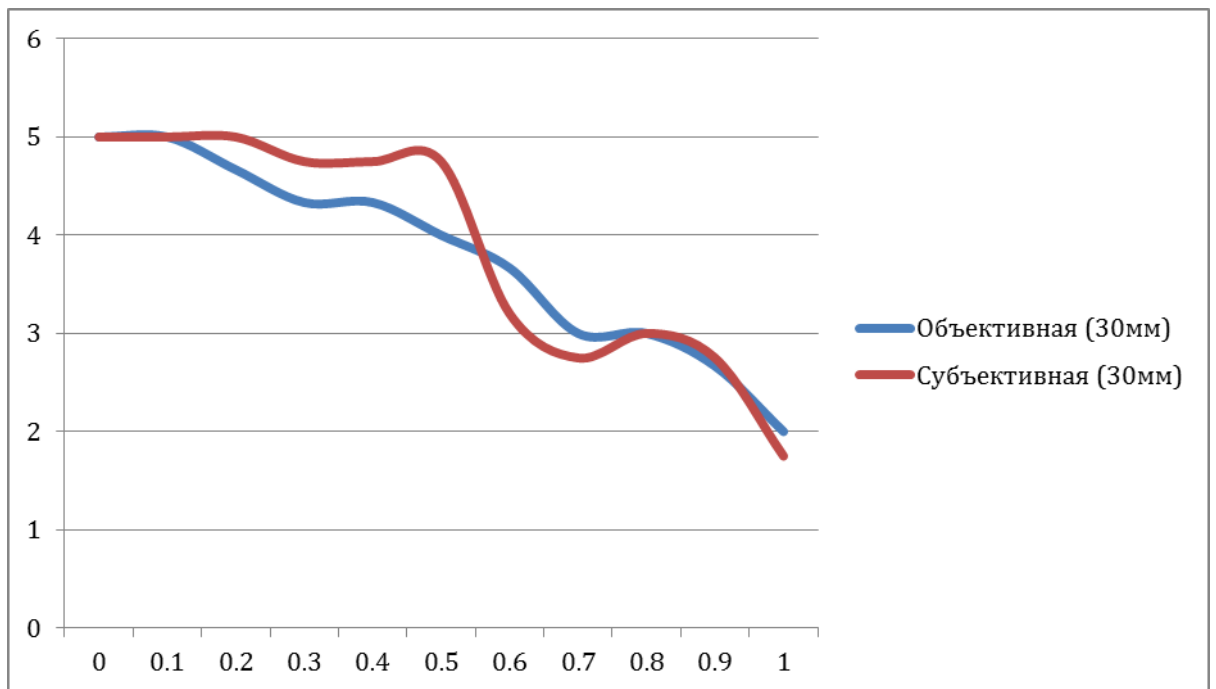


Рис.4.15. Зависимость оценок от угла вертикального параллакса, для значения базы 30мм.

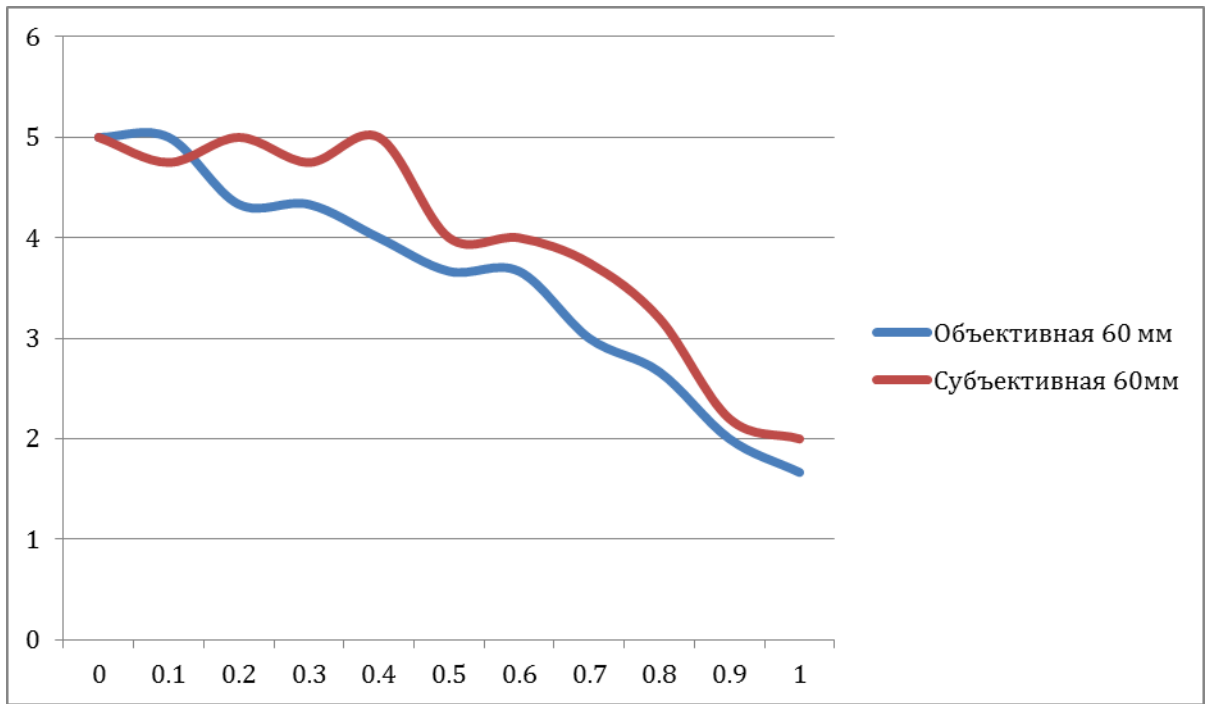


Рис.4.16. Зависимость оценок от угла вертикального параллакса, для значения базы 60 мм.

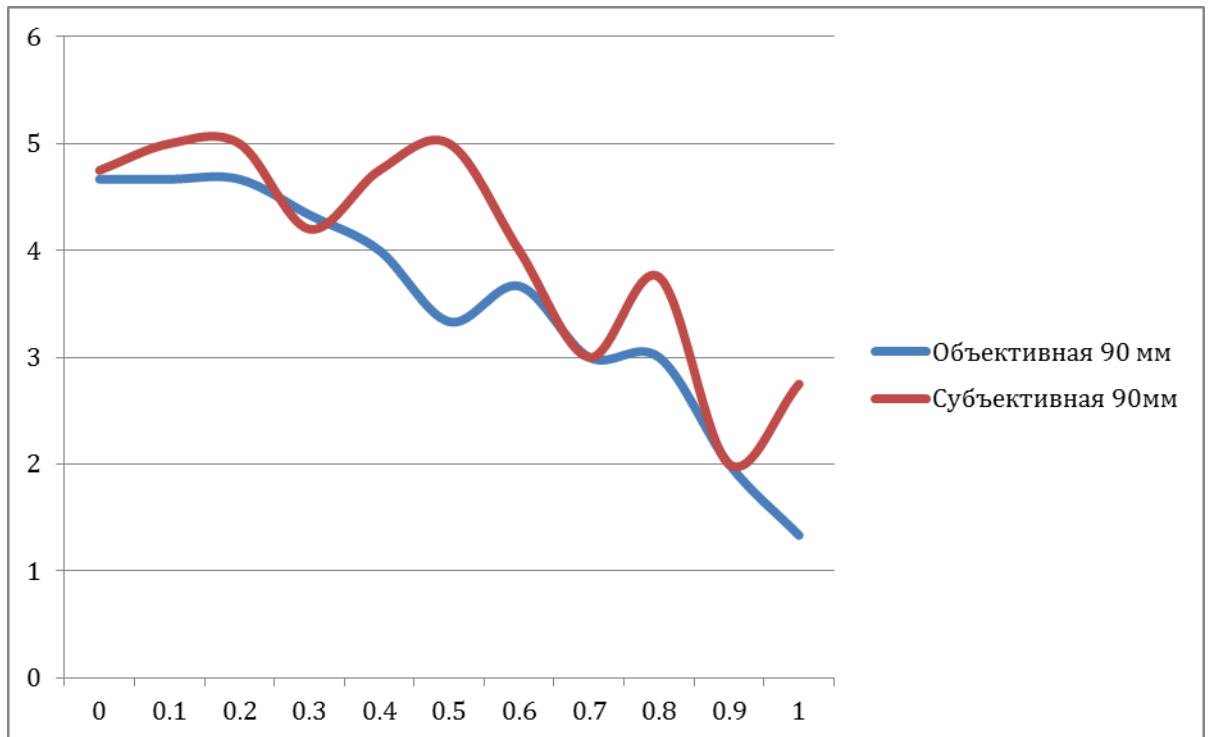


Рис.4.17. Зависимость оценок от угла вертикального параллакса, для значения базы 90 мм.

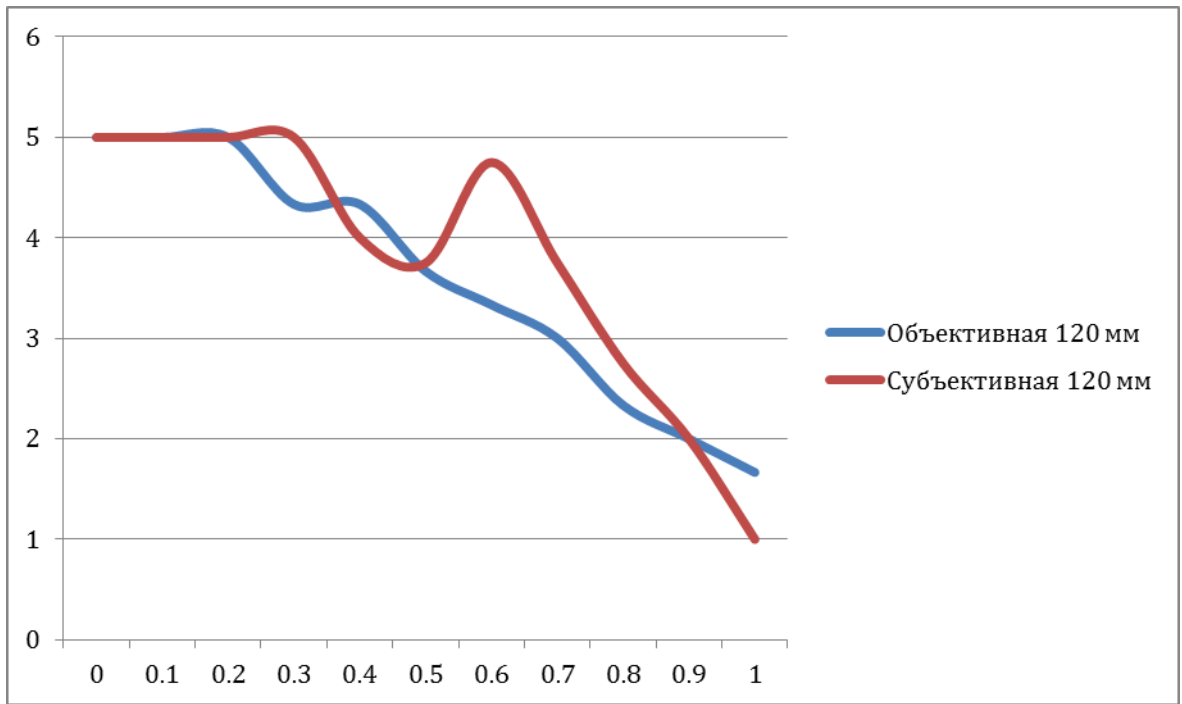


Рис.4.18. Зависимость оценок от угла вертикального параллакса, для значения базы 120 мм.

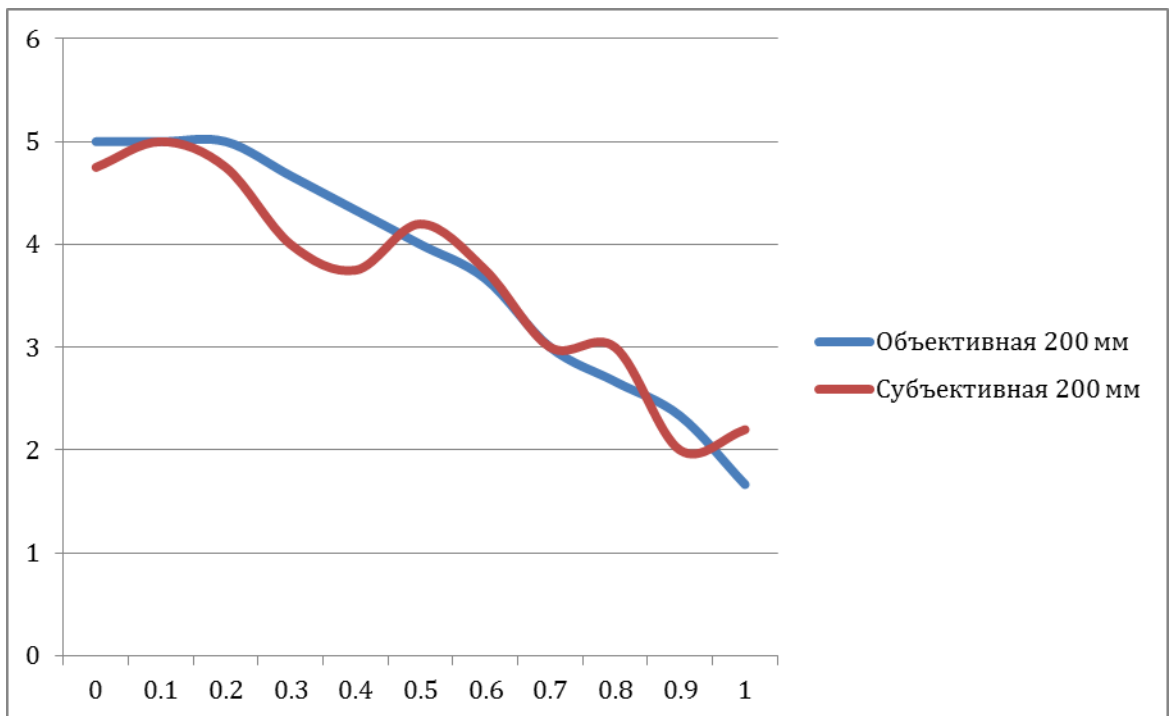


Рис.4.19. Зависимость оценок от угла вертикального параллакса, для значения базы 200 мм.

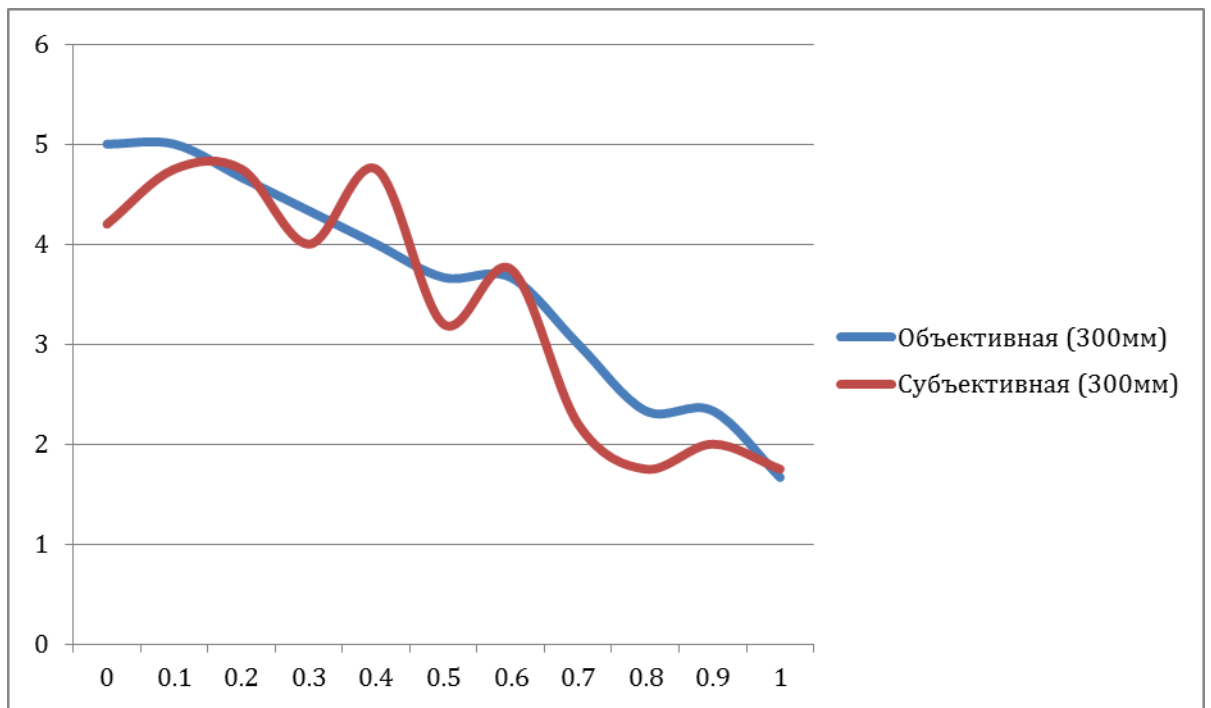


Рис.4.20. Зависимость оценок от угла вертикального параллакса, для значения базы 300мм.

Сравнивая зависимости на графиках, можно сделать следующие выводы:

- Общая зависимость обоих методов полностью совпадает;
- Некоторые оценки для одного и того же значения вертикального параллакса совпадают полностью;
- График полученный методом объективных оценок, имеет намного меньше скачков и более плавную форму, что приводит к наименьшему разбросу результатов;
- Обе зависимости сильно коррелируют между собой.

ГЛАВА 5. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

В целях оптимизации действий и времени направленных на вычисления интересующих коэффициентов, был разработан алгоритм с использованием пакета Matlab.

Основная задачи реализуемого приложения:

- Вычисление математических коэффициентов;
- Пересчет коэффициентов в оценки, согласно известным пороговым значениям;
- Удобный и динамический интерфейс для загрузки изображений и считывания результатов.

Основные этапы работы программы представлены в таблице 3, а логика принятия решения в таблице 4.

Таблица 3. Основные этапы работы алгоритма.

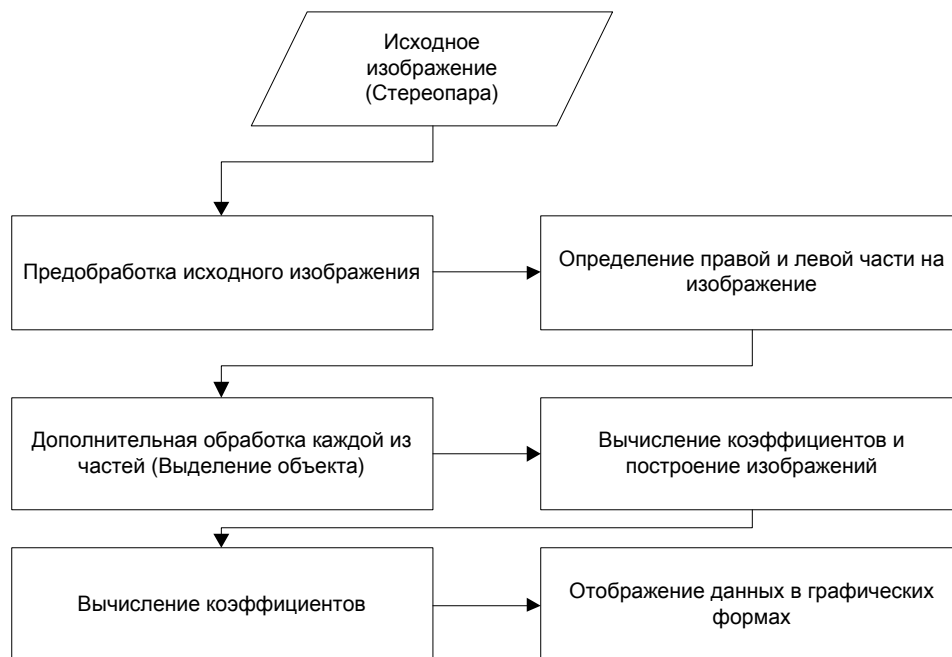
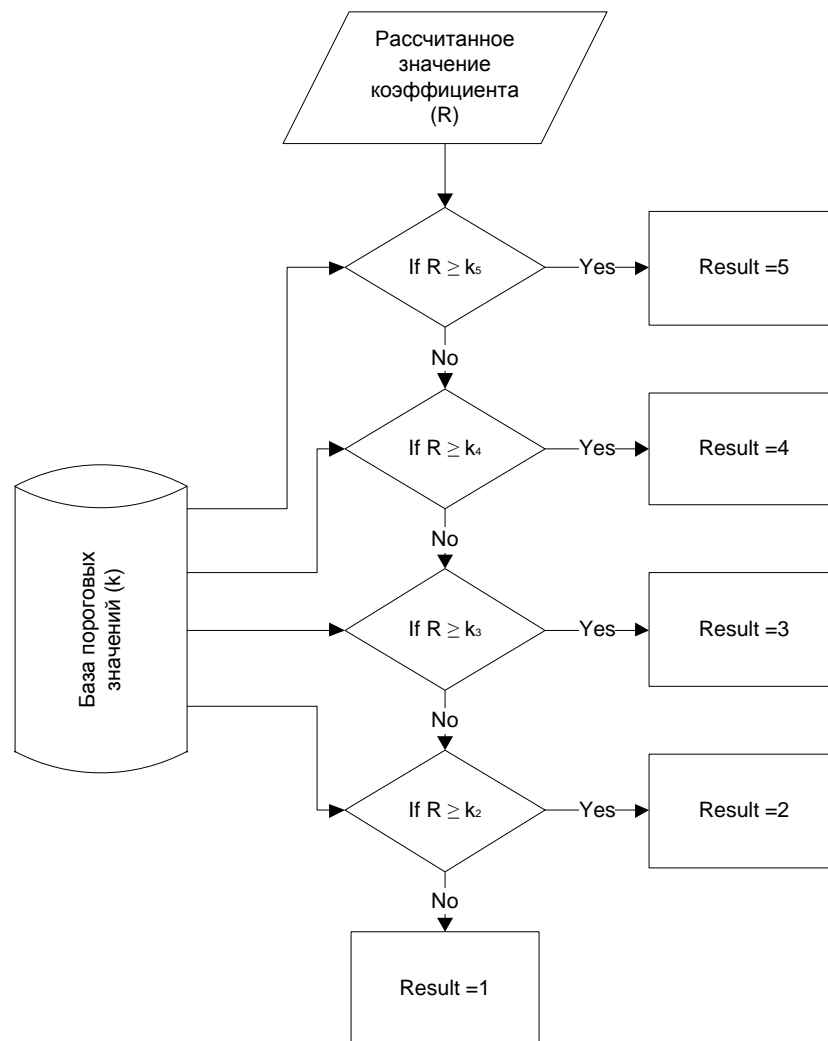


Таблица 4. Логика принятия решения.



Листинг программы приведен в приложении (см. Приложение 1).

Единственным действием пользователя, является выбор и загрузка необходимой картинки. В программе реализовано два режима: первый – загрузка картинок на каждой из которых изображена одна из частей стереопары, второй – загрузка изображения, на котором находится вся стереопара полностью (рис5.1.).

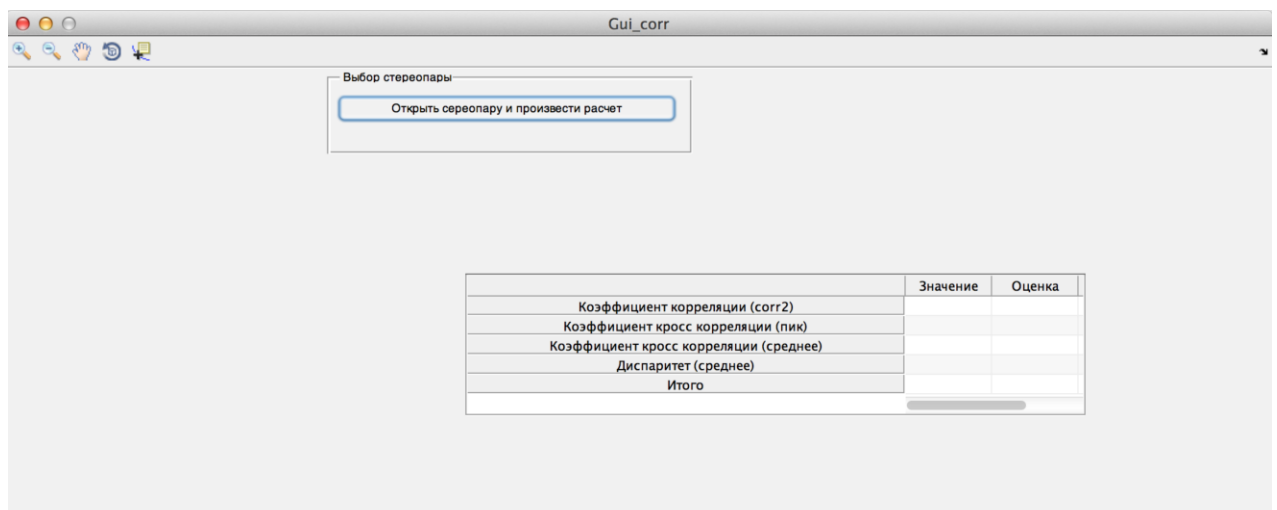


Рис.5.1. Вид интерфейса программы.

Для выбора изображения необходимо нажать кнопку «Открыть стереопару и произвести расчет» (Рис.5.2.).

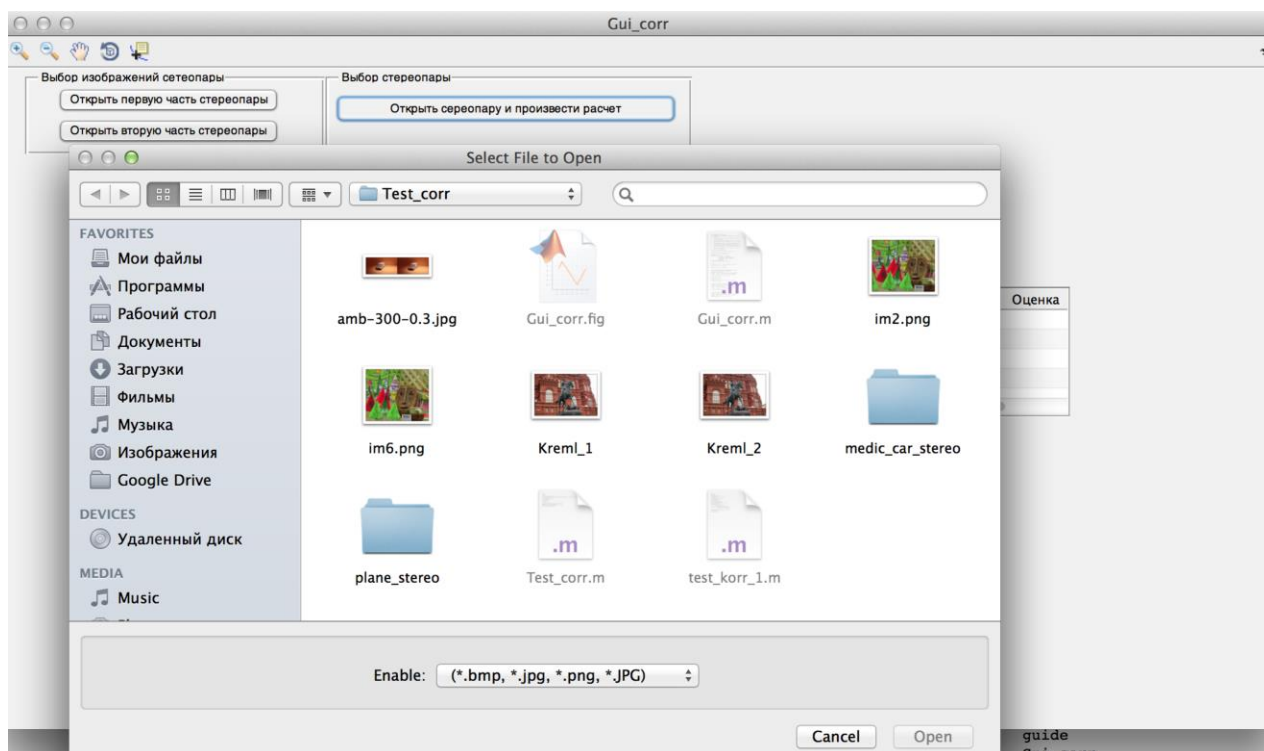


Рис.5.2. Выбор подгружаемого изображения.

После выбора изображения, дальнейший расчет произойдет автоматически, в результате будут получены коэффициенты и оценки.

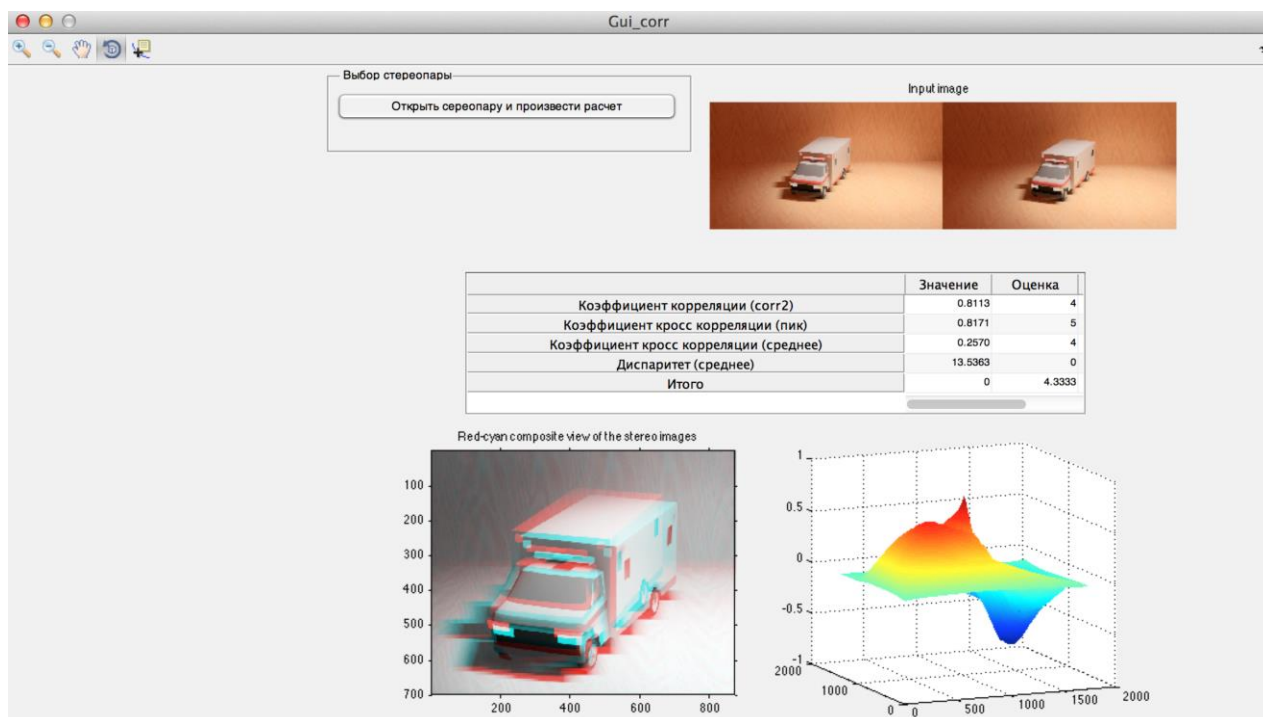


Рис.5.3. Результат работы программы.

Так же, для более наглядного понимания, какие изображения в итоге сравнивались, на экране появляется дополнительное окно, на котором отображены две части стереопары (Рис.5.4.)

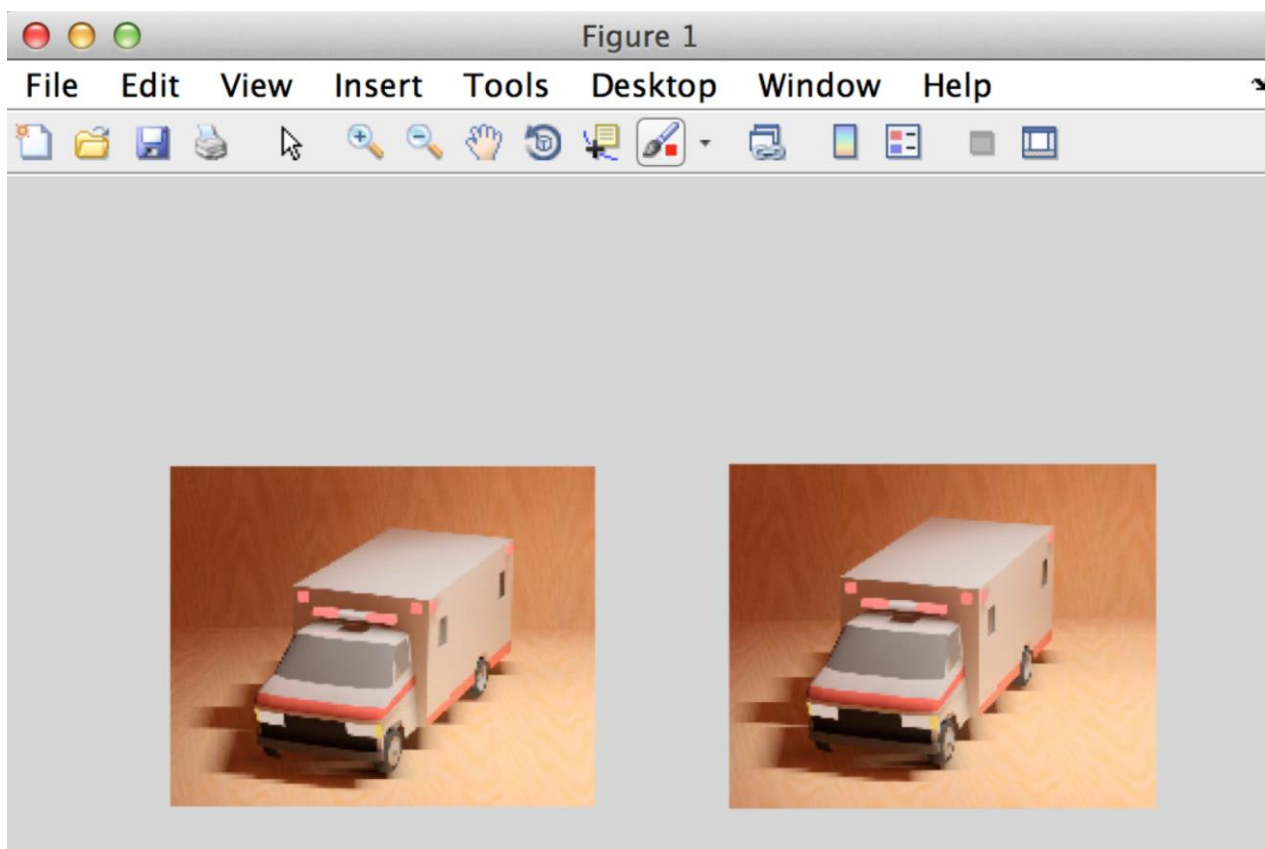


Рис.5.4. Окно с отображением сравниваемых изображений.

Отметим достоинства и недостатки разработанного приложения.

Достоинства:

- Хорошая визуализация;
- Оптимальный алгоритм расчета коэффициентов;
- Высокая автоматизированность (пользователю требуется выполнить только одно действие);
- Приложение является кросс-платформенным.

Недостатки:

- Не реализована одновременная загрузка «пачки» изображений и получение выходных данных в виде выгружаемого *.xls файла;
- Отсутствует алгоритм построения графиков (т.к. отсутствует возможность подгружать сразу несколько изображений).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом работы стало определение критериев, по которым можно производить оценку качества стереоизображения на ЭВМ, в работе такая оценка называется объективной. Объективность метода, состоит в невосприимчивости к различным человеческим факторам (усталость, дефекты зрения, различные ошибки при проведении экспериментов). Основными критериями, наиболее ярко выражающими различия между почти-что схожими изображениями, стали коэффициент корреляции, коэффициент кросс-корреляции с ориентированием на положительное пиковое значение, коэффициент кросс-корреляции с ориентированием на среднее значение. Так же было изучен параметр, называющийся – диспаратет. Его применение при данном исследовании неэффективно, т.к. результаты отражает незначительные изменения при сравнении различных изображений.

В дипломной работе было проведено сравнение результатов, полученных с помощью метода восприятия (субъективные оценки) и с помощью ЭВМ, были получены следующие результаты:

- Общая зависимость обоих методов полностью совпадает;
- Некоторые оценки для одного и того же значения вертикального параллакса совпадают полностью;
- График полученный методом объективных оценок, имеет намного меньше скачков и более плавную форму, что приводит к наименьшему разбросу результатов;
- Обе зависимости сильно коррелируют между собой.

Для определения объективных оценок, был разработан программный алгоритм, в математической среде Matlab. Так же, в целях визуализации результатов, к данному алгоритму был создан программный интерфейс в среде GUI Matlab.

Для получения аналитической информации были изучены основные понятия и эффекты, используемые для анализа и создания 3D – изображений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Валюс Н.А. Стерео: фотография, кино, телевидение, Москва, Искусство, 1986.
2. Мешков В.В., Матвеев А.Б., Основы светотехники: учебное пособие для вузов в двух частях, Москва, Энергоатомиздат, 1989.
3. Мамчев Г.В., Стереотелевизионные устройства отображения информации, Москва, Радио и связь, 1983.
4. Ляховецкий В.А., Имитационная модель, методы и технические средства исследования стереоскопического зрения человека, Санкт-Петербург, 2004
5. Ляховецкий В.А. Методика оценки утомления стереоскопического зрения оператора / В.А. Ляховецкий, Е.П. Попечителей, С.В. Иванов // Доклады конференции “Биотехнические системы в XXI веке”, СПб., 22-26 марта 2004г. – СПб., 2004.– С.91-93.
6. Г.В.Мамчев. Выбор устройств селекции изображений стереопары для электронной демонстрации стереофильмов. “Техника и технологии кино” 2007.
7. Нестерова Е. Роль субъективных оценок при тестировании различных видов изображений, СПб.: СПбГУКиТ. 2006.

8. Кинцис Ю. Современные мультимедийные проекторы. Тестирование и субъективная оценка качества изображения, Техника кино и телевидения. 2002. № 3.

9. Катус П.Г., Трехмерное отображение визуальной информации в виртуальном пространстве. Учебное пособие./МИРЭА, Москва, 1998

10. Takeo Kanade (Carnegie Mellon University), Masatoshi Okutomi (Canon Inc.), A Stereo Matching Algorithm with an Adaptive Window: Theory and Experiment. International Conference on Robotic and Automatic Sacramento, California – April 1991.

11. Котюжанский Л.А. Вычисление карты глубины стереоизображения на графическом процессоре в реальном времени. ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург 2012.

12. Махмутова Г.Э. Моделирование и исследование процессов стереовидения. МЭИ 2012.

13. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Диспаратность> (Определение диспаратности)

Приложение 1

```
function varargout = Gui_corr(varargin)
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
                  'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @Gui_corr_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn', @Gui_corr_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn', [] , ...
                  'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
function Gui_corr_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
handles.output = hObject;
guidata(hObject, handles);
function varargout = Gui_corr_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
varargout{1} = handles.output;
```



```

function img_L_Callback(hObject, eventdata, handles)
axes(handles.graph_img_L);
[FileName, PathName] = uigetfile('*.bmp;*.jpg;*.png');
if FileName~=0
    FullName = [PathName FileName];
    img_L = imread(FullName);
    imshow(img_L)
end
handles.L = img_L;
handles.img_L = img_L;
handles.img_L = rgb2gray(handles.img_L);
guidata(hObject,handles)
function img_R_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to img_R (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   structure with handles and user data (see GUIDATA)
axes(handles.axes5)
[FileName, PathName] = uigetfile('*.bmp;*.jpg;*.png');
if FileName~=0
    FullName = [PathName FileName];
    img_R = imread(FullName);
    imshow(img_R)
end
handles.R = img_R;
handles.img_R = img_R;
handles.img_R = rgb2gray(handles.img_R);
guidata(hObject,handles)

% --- Executes on button press in Lets_go.
function Lets_go_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to Lets_go (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   structure with handles and user data (see GUIDATA)
axes(handles.axes7)
R(1,1) = corr2(handles.img_L,handles.img_R);
imshowpair(handles.L,handles.R,'ColorChannels','red-cyan');
title('Red-cyan composite view of the stereo images');
D = disparity(handles.img_L, handles.img_R, 'BlockSize', 15,'DisparityRange', [0 32],
'UniquenessThreshold', 0);
for i = 1 : length(D(:,1))
    for j = 1 : length(D)
        if D(i,j)<0
            D(i,j) = 0;
        else
            D = D;
        end
    end
end
end
R(2,1) = mean(mean(D));

```

```

axes(handles.axes9)
C = normxcorr2(handles.img_L,handles.img_R);
surf(C), shading flat
[max_c, imax]=max(abs(C(:)));
[ypeak, xpeak]=ind2sub(size(C), imax(1));
R(3,1) = max_c;
set(handles.uitable1,'Data',R);
function one_img_Callback(hObject, eventdata, handles)
axes(handles.axes6)
[FileName, PathName] = uigetfile('*.bmp;*.jpg;*.png;*.JPG');
if FileName~=0
    FullName = [PathName FileName];
    img_one = imread(FullName);
    imshow(img_one), title('Input image')
end
example = img_one;
img_one = rgb2gray(img_one);
cy = size(img_one(:,1));
cy = cy(1,1)/2;
cx = length(img_one);
x1 = cx/4;
x2 = cx*3/4;
right = img_one((cy-350):(cy+350),(x2-410):(x2+460));
left = img_one((cy-350):(cy+350),(x1-460):(x1+410));
R(1,1) = corr2(right,left);
axes(handles.axes7)
imshowpair(left,right,'ColorChannels','red-cyan');
title('Red-cyan composite view of the stereo images');
D = disparity(left, right, 'BlockSize', 15, 'DisparityRange', [0 32], 'UniquenessThreshold', 0);
for i = 1 : length(D(:,1))
    for j = 1 : length(D)
        if D(i,j)<0
            D(i,j) = 0;
        else
            D = D;
        end
    end
end
end
R(4,1) = mean(mean(D));
axes(handles.axes9)
C = normxcorr2(left,right);
surf(C), shading flat
[max_c, imax]=max(abs(C(:)));
[ypeak, xpeak]=ind2sub(size(C), imax(1));
R(2,1) = max_c;
R(3,1) = mean(mean(abs(C)));
%%%
if R(1,1) > 0.82
    R(1,2) = 5;
elseif R(1,1)<0.82 & R(1,1)>0.724
    R(1,2) = 4;
elseif R(1,1)<0.724 & R(1,1)>0.677

```

```

end
if R(2,1) > 0.798
    R(2,2) = 5;
elseif R(2,1) < 0.798 & R(2,1) > 0.77
    R(2,2) = 4;
end
R(3,2) = 4;
R(5,2) = (R(1,2)+R(2,2)+R(3,2))/3;
%%%
right = example((cy-350):(cy+350),(x2-410):(x2+460),:);
left = example((cy-350):(cy+350),(x1-460):(x1+410),:);
figure, subplot(1,2,1), imshow(right), subplot(1,2,2), imshow(left);
set(handles.uitable1, 'Data', R);
guidata(hObject, handles)
function point_Callback(hObject, eventdata, handles)
point = str2double(get(hObject, 'String'));
if number_points < 1
    errordlg('Input must be 1 or more', 'Error');
end

handles.point = point;
guidata(hObject, handles)
function point_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'), get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

```