

ОТЧЕТ МСЭ-R ВТ.2088

Стереоскопическое телевидение

(2006)

1 Введение

Системы стереоскопического изображения позволяют создавать иллюзию глубины при использовании плоского устройства отображения. Они были разработаны для кино, телевидения и других применений, например формирования изображения в медицине. Системы стереоскопического изображения не следует путать с голографией, для которой необходимо использование лазеров и которая, как правило, не совместима с существующими технологиями кино и телевидения.

Технология формирования стереоскопических неподвижных изображений появилась почти сразу после изобретения фотографии в середине XIX века. Для движущихся изображений она существует в коммерческом виде с 50-х годов прошлого века.

Документы МСЭ-R по стереоскопическому телевидению включают в настоящее время один действующий Вопрос и дополнительный вопрос, находящийся в процессе утверждения, два отчета и две рекомендации:

Вопрос МСЭ-R 88/6 – Субъективная оценка стереоскопических телевизионных изображений.

Отчет МСЭ-R ВТ.312 – Создание системы стереоскопического телевидения (последнее обновление в 1990 г.). В настоящем Отчете кратко описаны методы воспроизведения стереоскопических изображений, перечислены требования к разработке практических стереоскопических телевизионных систем, перечислены документы МККР по данному вопросу и приведена краткая библиография.

Отчет МСЭ-R ВТ.2017 – Многоплановый профиль стереоскопического телевидения MPEG-2.

В настоящем Отчете описано Исправление 3 к стандарту кодирования видеосигналов MPEG-2 (Рекомендация МСЭ-T Н.262/ИСО/МЭК 13818-2), утвержденного в 1996 г., на основании которого осуществляется кодирование стереоскопических изображений.

Рекомендация МСЭ-R ВТ.1198 – Стереоскопическое телевидение, в котором используются два сигнала в различных каналах – для правого и левого глаза (1995).

В данной Рекомендации приведен краткий (одна страница) список требований к совместимости моноскопических и стереоскопических сигналов для радиовещания и, в частности, в разделе *учитывая* упоминаются автостереоскопические устройства отображения.

Рекомендация МСЭ-R ВТ.1438 – Субъективная оценка стереоскопических телевизионных изображений (из Вопросы МСЭ-R 88/6, Субъективная оценка стереоскопических телевизионных изображений, ранее Вопрос МСЭ-R 234/11).

В этой Рекомендации рассматриваются факторы оценки, методы оценки, условия просмотра, отбор наблюдателей по зрению и тестовых материалов, содержащих неподвижные и движущиеся изображения.

Рассмотрение вопроса о формировании стереоскопических изображений является своевременным по нескольким причинам:

- Разработки в области технологии изображений для радиовещания обусловили появление более плоских экранов большего размера по все более доступным ценам. Они представляют собой идеальную платформу для различных реализаций стереоскопических изображений.
- Технология персональных компьютеров содействовала созданию очков с затворами на основе ЖК-дисплеев для компьютерных игр. В настоящее время они доступны по цене и наличию.
- Появление цифрового радиовещания обусловило большую гибкость форматов кодирования изображения. Эта гибкость обеспечивает возможность формирования стереоскопических изображений при существенно лучшей совместимости с моноскопическими изображениями.

В отличие от этого на стереоскопических изображениях, кодированных с использованием аналоговых методов, обычно есть заметные артефакты, как, например, появление посторонних изображений, мерцание или "эффект кукольного театра", и они имеют ограниченную совместимость с моноскопическими изображениями.

- Разработки в области формирования изображений на компьютере позволяют сегодня столь же просто создавать детальные искусственные стереоскопические изображения, как и моноскопические изображения.

2 Стереоскопическое изображение и параллакс

В системах стереоскопического изображения используется два изображения – по одному для каждого глаза. Для обеспечения правильного параллакса эти изображения должны быть сняты из положений, расстояние между которыми примерно равно расстоянию между глазами (около 65 мм). Различие перспективы в этих двух положениях обеспечивает восприятие глубины, когда мозг сравнивает два изображения, наблюдаемые по отдельности правым и левым глазом.

Небольшой разнос точек получения изображений налагает некоторые ограничения на камеры и объективы. В некоторых случаях это ограничивает допустимые сочетания диаметра диафрагмы объектива и фокусного расстояния. Однако использование зеркал может в некоторой степени уменьшить такие проблемы. Тем не менее в настоящее время невозможно осуществлять последующую обработку стереоскопических изображений для изменения их параллакса. Это налагает ответственность как на разработчика камеры, так и на оператора, в отношении постоянного учета явлений, связанных с параллаксом.

Параллакс часто изменяется при работе по созданию трехмерных изображений для спецэффектов. Обычный параллакс обусловит появление стереоскопического изображения позади экрана. Однако параллакс можно изменить, переставив левое и правое изображения, с тем чтобы изображение появилось впереди экрана, что приведет к искажениям конечного изображения. Параллакс может быть подчеркнут путем изменения расстояния между объективами для увеличения или уменьшения видимой глубины.

Параллакс является конкретной проблемой в отношении макроизображений близкого плана, поскольку фокусное расстояние может быть сравнимо с расстоянием между объективами или быть меньше него. Это может привести к неприятным эффектам, обусловленным малой глубиной поля и/или отсутствием перекрытия между изображениями для левого и правого глаза и/или большими углами между видимым объектом и точками получения изображения. Для решения этой проблемы при работе с макроизображениями параллакс может быть сознательно искажен путем уменьшения расстояния между объективами камеры. Для увеличения перекрытия изображений можно также сместить оптические пути. Этот метод обычно используется в стереомикроскопии. Поскольку параллакс дает не только информацию о глубине, но и о масштабе, побочным эффектом этого искажения параллакса является нереальный масштаб изображения, имеющего гораздо больший размер, чем на самом деле. Это дает некоторый простор для спецэффектов, а мозг способен осуществлять коррекцию, поскольку знает, что имеет дело с системой искусственного просмотра.

3 Общие аспекты совместимости

Точно так же, как цветное видеоизображение должно быть совместимым с монохроматическим видеоизображением, желательно, чтобы стереоскопическое видеоизображение было совместимым с обычным моноскопическим видеоизображением. Гораздо более ранние стереоскопические видеосистемы не были действительно совместимыми с обычными моноскопическими видеосистемами, в результате чего изображения при просмотре на нормальном мониторе получались расплывчатыми и/или мерцающими. Более подробно эта проблема рассматривается отдельно для каждого стереоскопического метода.

4 Методы и технологии отображения

Технология стереоскопических изображений существует более ста лет и возникла на основе работы Уитстона и Брюстера по формированию статических изображений, сделанной в 30-х годах XIX века. Поскольку основные технологии стереоскопических движущихся изображений предусматривали разделение изображения по цвету, технология стереоскопических движущихся изображений была создана только после Второй мировой войны, когда использование неэкспонированной цветной киноплёнки получило широкое распространение.

Ряд систем использовался коммерчески для просмотра стереоскопических движущихся изображений. Большинство из этих систем, за заслуживающим внимания исключением систем с мультиплексированием по времени и с использованием эффекта Пульфриха, были разработаны на основе методов стереоскопической неподвижной фотографии. Эти методы включают хроматический анаглиф, поляризационный анаглиф и интегральный анаглиф.

4.1 Отдельные устройства отображения изображений

4.1.1 Устройства отображения, надеваемые на голову

Изображения для левого и правого глаза могут демонстрироваться с использованием отдельных устройств отображения, надеваемых как очки. Они применялись в некоторых ранних видеоиграх "виртуальной реальности". Однако может смущать то, что эти дисплеи и демонстрируемые на них изображения двигаются вместе с головой и что их разрешающая способность ограничена, поскольку размер дисплеев невелик. Метод, в действительности, не годится для группового просмотра.

4.1.2 Находящиеся рядом устройства отображения с призматическими очками

Отдельные устройства отображения могут также использоваться на том или ином расстоянии при условии, что оптические пути к глазам соответствующим образом искривляются очками, содержащими зеркала или призмы. Этот метод требует от зрителя, чтобы он как можно меньше двигал головой, что может быть довольно утомительным.

4.2 Анаглифическое устройство отображения

Анаглифические устройства отображения осуществляют наложение двух изображений на одном и том же дисплее, а затем разделяют их для просмотра с помощью оптической фильтрации.

4.2.1 Разделение с помощью светофильтра (хроматический анаглиф)

Для отображающего устройства на основе хроматического анаглифа может быть использовано любое сочетание взаимно исключающих цветов. Для полноцветного воспроизведения рекомбинируемого мозгом изображения для левого и правого глаза должны использоваться дополняющие цвета – красный/голубой, зеленый/пурпурный или синий/желтый. Договорились использовать красный и голубой цвета, поскольку данное сочетание обладает простой характеристикой пропускания волн малой и большой длины. Тогда как зеленый/пурпурный цвета имеют лучшее совпадение значений яркости (см. таблицу 1), данное сочетание требует характеристики заграждения/пропускания, которую гораздо сложнее воспроизвести точно и согласованно.

ТАБЛИЦА 1

Значения яркостей и отношения яркостей дополняющих цветов, используемых для анаглифического представления (с использованием колориметрии для систем PAL/SECAM/NTSC/ТСЧ)

Цвет 1	Цвет 2	Отношение яркостей
Красный	Голубой	
$Y' = 0,299$	$Y' = 0,701$	2,34
Зеленый	Пурпурный	
$Y' = 0,587$	$Y' = 0,413$	1,42
Синий	Желтый	
$Y' = 0,114$	$Y' = 0,886$	7,77

Светофильтры используются на этапе получения изображения с помощью двух отдельных камер. Затем два изображения микшируются и представляют собой одно изображение для просмотра. После этого две части изображения разделяются на изображения для левого и правого глаза с помощью очков с красными/голубыми линзами. Объединенный спектр передачи этих двух фильтров близок к белому свету. Эта технология стереоскопических движущихся изображений является самой дешевой и старой, и существует объемный каталог материалов, созданных в данном формате. Система является легко реализуемой в кино и телевидении, хотя натуральность изображения ухудшает отсутствие полноты информации о цвете, получаемой каждым глазом. В действительности, в такой системе каждый глаз работает при частичном дальтонизме. Однако положительной стороной системы является то, что при ее использовании требуется только один кинопроектор или телевизионный дисплей, а разделение изображений для зрителя является пассивным и поэтому не требует электроэнергии, электронных схем, синхронизации или распределения.

4.2.2 Поляризационный анаглиф или вектограф

Данный процесс аналогичен процессу с использованием светофильтра, однако в отличие от него основан на поляризации света при угле $+45^\circ$ для правого глаза и -45° для левого глаза для разделения изображения. Система была запатентована для проецирования неподвижных изображений до 1900 года [McKay, 1953], впервые использована в кино в 1950-е годы Арчем Оболером и применялась до 1990 года в кинотеатрах IMAX. По сравнению с системами со светофильтрами эта система обеспечивает высшую натуральность, поскольку в системе, основанной на поляризации, каждый глаз получает изображение с полным спектром. Однако данная система никогда не была широко принята, поскольку для нее были необходимы специальные проекторы, делавшие ее нерентабельной для многих небольших кинотеатров. Тем не менее преимущество все еще состоит в том, что эта система является пассивной и зрителю требуются только поляризованные очки. Но этот метод трудно реализовать в телевизионной системе.

4.2.3 Линзовый/интегральный анаглиф (автостереоскопический)

В системе линзового анаглифа используется два изображения, одновременно отображаемых в двух чередующихся полосах. Система цилиндрических линзовых объективов размещается на экране, а затем по отдельности фокусирует два изображения на расстоянии удаления одного глаза от другого. В этой системе важно точное расположение головы для получения стереоскопического эффекта. В данной системе не требуются очки для просмотра, поэтому она известна как автостереоскопическая система.

4.3 Эффект Пульфриха

Данная система, в которой используются очки/предохранительные очки с одной тонированной линзой (левый глаз) и одной нетонированной линзой (правый глаз), основана на большем времени передачи, требуемом для того, чтобы мозг принял темное изображение. Эффект, в основном, наблюдается на изображениях, движущихся слева направо в горизонтальном направлении, при использовании описанной конструкции. Преимуществом системы является ее совместимость с монохромными устройствами отображения, однако ее недостаток состоит в необходимости наличия движения на изображении в горизонтальном направлении для создания эффекта глубины. Сведений о коммерческой реализации такой системы нет.

4.4 Мультиплексирование во временной области

При этом процессе левый и правый глаз получают изображения последовательно. Затем изображения разделяются для зрителя с помощью активных, обычно на основе ЖК-дисплеев, очков с попеременно действующими синхронизированными затворами. Такая система использовалась в кинотеатрах IMAX начиная с 1990 года, в компьютерных играх и может применяться для телевидения. Однако на изображениях, создаваемых с помощью этого метода, может появиться мерцание ввиду низкой скорости регенерации (12 кадров в секунду для стандартного телевидения, 12,5–15 кадров в секунду для телевидения с чересстрочной разверткой). Метод работает гораздо лучше при более высоких скоростях регенерации, используемых в случае построчной развертки.

5 Кодирование цифровых стереоскопических изображений и совместимость с моноскопическими сигналами

Кодирование различного изображения в каждом поле изображения с чересстрочной разверткой или в каждом кадре изображения с построчной разверткой ставит проблемы снижения объема данных в цифровых системах кодирования. Поскольку может существовать значительная разница между изображениями для левого и правого глаза, в частности при съемке близких планов, кодирование различий между изображениями значительно снижает объем имеющихся данных. Однако эти системы могут быть переконфигурированы для достижения большей эффективности путем разделения сигнала на два отдельных подпотока (для левого глаза и правого глаза). Такая схема была добавлена в стандарт кодирования видеоизображений MPEG-2 и описана в Отчете МСЭ-R ВТ.2017.

6 Форматы стереоскопического производства

В то время как для демонстрации стереоскопических изображений требуется специализированное устройство отображения и, как правило, некоторая форма оптического мультиплексирования и демупльтиплексирования, для стереоскопического производства, по существу, такое мультиплексирование не требуется. Все, что необходимо, – это получить два потока одновременных изображений с правильным расстоянием разнеса. Поэтому вполне возможно производить и осуществлять окончательный монтаж этого материала по отдельности, лишь объединяя и кодируя материал для требуемого формата воспроизведения на этапе демонстрации. В то время как для производства двойного изображения может потребоваться больший объем оборудования или более совершенное оборудование, чем для записи анаглифического изображения, оно, по существу, является более гибким и может быть использовано, если необходимо, для многих форматов воспроизведения. Если для стереоскопического телевидения не выбран стандартный формат воспроизведения, то важно придерживаться практики производства двух отдельных изображений. К счастью, расширение MVP стандарта MPEG-2 (см. Отчет МСЭ-R ВТ.2017) позволяет кодировать сигнал таким способом. Будут необходимы также эквивалентные форматы производства. Если работа в этих форматах будет обеспечена в пределах ширины полосы существующего оборудования, то может быть необходимо допустить некоторые потери в качестве изображения.

7 Заключение

При правильном внедрении улучшенное воспроизведение стереоскопических изображений обеспечивает большее ощущение присутствия, большую натуральность и, возможно, более удовлетворительное восприятие аудитории. В данном отношении в этом есть много общего с технологией объемного звука, которая улучшила восприятие аудитории в кино и телевидении.

Последние технологические достижения, в частности в области устройств отображения и кодирования, существенно приблизили практическое широкомасштабное внедрение стереоскопического телевидения. В этом отношении формирование стереоскопических изображений также имеет много общего с технологией объемного звука, которая была широко принята после ввода цифрового радиовещания.

Сегодня, когда моноскопическое цифровое телевидение окончательно создано, стереоскопия в плане технологии изображения представляет собой следующую важную задачу для исследователей, разработчиков, производителей и радиовещательных организаций. Все еще существует необходимость в проведении большой работы по стандартизации и уточнению форматов производства и доставки этого нового носителя.

В частности, в настоящее время в МСЭ-R следует провести работу в следующих областях:

- определить, необходим или желателен ли общий формат стереоскопического устройства отображения, и, если это так, определить количественные и качественные критерии эффективности функционирования для его оценки и выбора;
- создать общие форматы стереоскопического производства для упрощения обмена программами и их распределения;

- определить желательные свойства и стандарты качества работы оборудования для стереоскопического производства;
- сформулировать рекомендуемые варианты практики стереоскопического производства;
- установить стандарты качества стереоскопических изображений и процедуры управления качеством;
- определить, будут ли системы передачи стереоскопического телевидения более чувствительными, по сравнению с системами передачи моноскопического телевидения, к явлениям, связанным с уровнем сигнала, помехами, топографией или другими факторами, относящимися к передаче, которые могут затрагивать общие показатели работы системы.

8 Справочные документы и библиография

По данному вопросу имеется большой объем литературы. Представленные ниже справочные документы и библиография являются далеко не исчерпывающими, однако должны послужить отправным пунктом для тех, кто хочет узнать об этом больше.

Общие справочные документы

WOODS, DOCHERTY and KOCH [1991] The use of flicker-free television products for stereoscopic display applications in Stereoscopic Displays and Applications II, J. Merritt, S. Fisher, editors, Proceedings of SPIE Vol. 1457, 25-27 February 1991, San Jose, California, United States of America.

MCKAY, H.C., [1953] Three-dimensional photography: principles of stereography: American Photographic Publishing Company 1953. Republished online at the Stereoscopic Displays Conference website <http://www.stereoscopic.org>

BENTON, S.A. ed, [May 2001] Selected Papers on Three-Dimensional Displays SPIE.

Proceedings of the SPIE – Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems – 13 vols to date.

References on Pulfrich effect from http://www.siu.edu/~pulfrich/Pulfrich_Pages/lit_pulfr/1_pulfr.html

PULFRICH, C. [June-September, 1922] Die Stereoskopie im Dienste der isochromen und heterochromen Photometrie. *Die Naturwissenschaften*, **10**: Heft 25, p. 553-564; Heft 26, p. 569-574; Heft 27, p. 596-601; Heft 33, p. 714-722; Heft 34, p. 735-743; Heft 35, p. 751-761.

LYTHGOE, R.J. [1938] Some Observations on the Rotating Pendulum. *Nature*, **141** (March 12 issue), 474.

LIT, A. [1949] The magnitude of the Pulfrich stereophenomenon as a function of binocular differences of intensity at various levels of illumination. *American Journal of Psychology*, **62**, 159-181.

LIT, A. and HYMAN, A. [1951] The Magnitude of the Pulfrich Stereophenomenon as a Function of Distance of Observation. *American Journal of Optometry and Archives of the American Academy of Optometry*, **Monograph No. 122**, 1-17.

LIT, A. [1960a] Magnitude of the Pulfrich stereophenomenon as a function of target thickness. *Journal of the Optical Society of America*, **50**, 321-327.

LIT, A. [1960b] Magnitude of the Pulfrich stereophenomenon as a function of target velocity. *Journal of Experimental Psychology*, **59**(3), 165-175.

ALPERN, M. [1968] A Note on Visual Latency. *Psychological Review*, **75**, 260-264.

CHRISTIANSON, S. and HOFSTETTER, H.W. [1972] Some Historical Notes on Carl Pulfrich. *American Journal of Optometry and Archives of the American Academy of Optometry*, **49**, 944-947.

RUSHTON, D. [1975] Use of the Pulfrich Pendulum for Detecting Abnormal Delay in the Visual Pathway in Multiple Sclerosis. *Brain*, **98** (Part II), 283-296.

- BRAUNER, J.D. and LIT, A. [1976] The Pulfrich effect, simple reaction time, and intensity discrimination. *American Journal of Psychology*, **89**(1), 105-114.
- NICKALLS, R.W.D. [1986] Nickalls' Theorem and the Pulfrich Illusion. *The Mathematical Gazette*, and related works SMPTE Journal 1991-2000:
- HARRIS, SHAW, DEAN, HENDRIKS, OMIDVAR, MURRAY, and BAKER [October, 1994] 3-D for the Nineties-A Wide-Field Stereo IMAX® Camera, 103:648.
- HIRUMA and FUKUDA [December, 1993] Accommodation Response to Binocular Stereoscopic TV Images and Their Viewing Conditions, 102:1137.
- LIPTON [May 1991] The Evolution of Electronic Stereoscopy, 100:332.
- MAYHEW [June 1991] Vision III Single-Camera Autostereoscopic Methods, 100:416.
- MAYHEW [June 1993] A 35mm Autostereoscopic System for Live-Action Imaging Using a Single Camera and Lens, 102:505.
- MAYHEW and HALLOWS [September 1993] On Usage of the Word Stereoscopic, Re: *A 35mm Autostereoscopic System for Live Action Imaging Using a Single Camera and Lens*, (June 1993 SMPTE Journal, p. 505-511), 104:826, (Letter).
- YAMANOUE [April 1997] The Relation Between Size Distortion and Shooting Conditions for Stereoscopic Images, 106:225.
- YANO and YUYAMA [January 1991] Stereoscopic HDTV: Experimental System and Psychological Effects, 100:14.

Справочные документы из предыдущих Отчетов МСЭ-R:

- HIRUMA, N. and FUKUDA, T. [December, 1990] Accommodation response to binocular stereoscopic TV images and their viewing conditions. *J. SMPTE*, 102, 12, p. 2047-2054
- YAMANOUE, H. *et al.* [October, 1997] Subjective study on the orthostereoscopic conditions for 3D-HDTV. *ITE Tech. Report*, Vol. 21, **63**, p. 7-12
- YAMANOUE, H. *et al.* [1998] Orthostereoscopic conditions for 3-D HDTV. *Proc. SPIE*, 3295, Stereoscopic displays and Applications IV
- BERTHOLD, A. [1997] The influence of blur on the perceived quality and sensation of depth of 2D and stereo images. *ATR Human Information Processing Research Laboratories Technical Report*, TR-H-232, Kyoto, Japan
- JULESZ, B. [1971] *Foundations of Cyclopean Perception*. The University of Chicago Press, Chicago, IL United States of America
- PASTOOR, S. [1991] 3D-television: A survey of recent research results on subjective requirements, *Signal Processing: Image Communication*, 4(1), p. 21-32
- PASTOOR, S., WÖPKING, M., FOURNIER, J. and ALPERT, T. [1995] Digital stereoscopic imaging & applications (DISTIMA): Human Factors Data, Deliverable ID: R2045/HHI/AT/DS/C/026/b1
- PERKINS, M.G. [1992] Data compression of stereopairs. *IEEE Trans. on Comm.*, 40(4), p. 684-696
- STELMACH, L. and TAM, W. J. [1998] Stereoscopic image coding: effect of disparate image-quality in left- and right-eye views, *Signal Processing: Image Communication*, 14, p. 111-117
-