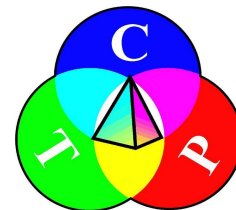




МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)
ФАКУЛЬТЕТ ИННОВАЦИЙ И ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАТИКИ



АВТОРЕФЕРАТ

*выпускной квалификационной работы Магистра
(Магистерской диссертации)*

по теме «Исследование восприятия динамических
3D-сцен в тренажёрах с системами виртуального
окружения»

Тема утверждена на заседании Государственной экзаменационной комиссии Кафедры Физико-технической информатики (протокол No 6/2015 от 8 сентября 2015 г.)

Магистрант

Сандлер Андрей Дмитриевич

(Ф.И.О.)

Научный руководитель

к.т.н., доцент Алешин В.П.

(подпись)

(ученая степень, ученое звание, Ф.И.О.)

Москва, 2016

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации

Известно, что процесс тренировки на тренажёре с системой виртуального окружения во многом зависит от того, насколько хорошо человек погружается в процесс тренировки. К примеру, автомобильный или самолётный тренажёр часто снабжают механическими частями кабины для того, чтобы повысить реалистичность управления по сравнению с виртуальными панелями и рычагами управления. Но, помимо механики, немаловажную роль играет визуальная составляющая тренажёра - система виртуального окружения.

Для улучшения эффекта тренировок необходимо научиться оценивать, насколько хорошо тренирующийся воспринимает окружающее его виртуальное пространство. При наличии способа оценки данной величины (метрики) появляется возможность эту метрику увеличивать или уменьшать (в зависимости от поставленной задачи), и тем самым влиять на ход тренировочного процесса в лучшую сторону. На данный момент не существует способа численно оценить «реалистичность» тренажёра и степень погружения в тренировочный процесс (все предыдущие подходы к такой оценке были сугубо качественные), однако, задача разработки способа численной оценки погружения является крайне актуальной, например, для самолётного тренажёра МиГ или горнолыжного тренажёра в МФТИ. По словам пилотов, тренирующихся на тренажёре МиГ, процесс полёта на нём воспринимается очень нереалистично по сравнению с настоящим истребителем МиГ-29. Автор данной работы лично поучаствовал в тренировке на тренажёре МиГ, и подтверждает (со своей

непрофессиональной точки зрения), что это мало чем напоминает полёт на настоящем самолёте.

Помимо оценивания погружения в процесс тренировки, актуальной является и задача разработки бинокулярного интерфейса для тренажёров с использованием трекинга головы и глаз. Такой интерфейс позволяет создавать вокруг тренирующегося более реалистичное виртуальное окружение с учётом его местонахождения в пространстве и направления взгляда. В настоящей работе автором реализован модуль совмещения реальных и виртуальных объектов 3D-сцены, необходимый для тренажёров с комбинированной виртуальной сценой, дополненной реальными пультами управления, например, МиГ, где в режиме дозаправки в воздухе виртуальный конус заправочного шланга совмещается с реальной механической кабиной. В варианте реализации тренажёра без этого модуля, реальные и виртуальные объекты не совмещаются, и картинка «разваливается» при любом повороте или перемещении головы пилота. Использование модуля позволяет добиться совмещения объектов при любом положении тренирующегося и за счёт этого получить более глубокое погружение в процесс тренировки.

Степень научной разработанности проблемы и научная новизна

Вопросы 3D восприятия и человеко-машинного интерфейса исследуются уже достаточно давно. Следует отметить пионерские работы [1], [2], [3] академика Б.В. Раушенбаха, соратника Ю.П. Королева, и американского ученого Д.Марра [4].

Термин «погружение в виртуальное окружение» (*immersive virtual reality*) рассматривается в работах Мэла Слейтера [5], [6]. В данных работах обозна-

чаются принципы, по которым можно оценивать погружение в виртуальное окружение, и приводятся условия, при которых возможно погружение.

Большое внимание визуальному восприятию уделяется в экспериментальной медицине. В работах [7], [8], [9] и [10] технологии погружения в виртуальное окружение рассматриваются как инструменты исследования в психологии, поведенческом анализе, социальных геномных исследованиях и даже реабилитации пациентов. Однако, способов оценивания погружения в них не приводится.

В работе Станислава Владимировича Клименко и Максима Брагуты [11] рассматривается возможность применения технологии виртуального окружения для нужд диспетчерского управления сложными технологическими процессами. Дается обзор технологий, позволяющий достичь требуемого уровня погружения в процесс управления, обосновывается необходимость такого рода систем в связи с всё возрастающим объёмом информации, который приходится обрабатывать диспетчерам. Погружение в данном случае измеряется временем реакции диспетчера на внештатные ситуации по сравнению с управлением без виртуального окружения, количеством допущенных ошибок и уровнем психофизического состояния, который может быть измерен с помощью медицинских приборов.

Существует ряд работ, направленных на изучение восприятия отдельных параметров виртуального окружения, таких, как скорость передвижения, расстояние до объекта, размеры объектов, глубина изображения и длина пройденного пути. Так, в статье [12] показано, что визуальное восприятие скорости у наблюдателя в виртуальном окружении смещено в сторону занижения

действительных значений (воспринимается как более медленное).

Восприятие расстояний в виртуальном окружении рассматривается в работах [13] и [14]. Зависимость воспринимаемого расстояния от параметров системы виртуального окружения изучается в [15]. Общее заключение из этих работ гласит о том, что расстояния кажутся наблюдателю меньше, чем они есть на самом деле, однако, при тщательно настроенных параметрах системы данный эффект становится менее выражен.

Размеры объектов, ожидаемо, тоже кажутся наблюдателям меньше, чем они есть на самом деле (см. [16]). В работе [17] также показано, что реальные объекты кажутся наблюдателю ближе, чем виртуальные, расположенные на такой же глубине. Сравнивая восприятие одних и тех же виртуальных объектов через 2D LCD-дисплей и систему виртуального окружения, авторы статьи [18] приходят к выводу, что восприятие в последней значительно более реалистичное, а погружение - сильнее.

Кроме работ, оценивающих отдельные аспекты погружения в виртуальное окружение, есть ряд статей, в которых авторы пытаются рассмотреть этот вопрос с более общих позиций. Так, например, в работе [19] описывается поведение наблюдателей в виртуальном музее и взаимодействие с экспонатами. Довольно общий подход к измерению присутствия и погружения в 3D-сцену даёт Роберт Витмер в [20]. Это измерение основано на опроснике с большим числом вопросов, на которые предлагается отвечать по некоторой относительной шкале. Мэл Слейтер позже выпустил статью [21], в которой критикует предложенную Витмером анкету и предлагает использовать другую, которая называется Immersive Tendencies Questionnaire (ITQ).

Исследование восприятия при погружении в большую, сложную 3D-сцену проводится в работе [22] коллектива учёных из института им. Макса Планка. Для исследования была воссоздана 3D-модель немецкого города Тюбинген, на примере которой изучался вопрос навигации человека в городе. Улучшение или ухудшение параметров навигации отражает степень погружения наблюдателя в процесс ориентирования в виртуальном пространстве. Там же подтверждаются выводы о восприятии скорости в виртуальном пространстве.

Предыдущие работы на горнолыжном тренажёре МФТИ ([23], [24]) затрагивают вопросы оценки восприятия 3D-сцены человеком. Тренажёр снабжён оптической системой трекинга, которая позволяет включить реакцию на перемещение наблюдателя в режиме реального времени. В экспериментах было отмечено, что виртуальное окружение лучше воспринимается в условиях сцены со стабильным горизонтом. Поворачивание камеры вслед за поворотом головы спортсмена приводит к дрожанию изображения, потере реалистичности и худшему восприятию.

Качество изображения 3D-сцены также влияет на погружение. В работе [25] показано, что наблюдатели, которым показывали сцену, построенную с помощью алгоритма рекурсивного рей-трейсинга (Real-Time Recursive Ray Tracing), включающего отображение теней и отражений, воспринимали её реальнее, чем те, которым та же сцена была изображена с помощью алгоритма нерекурсивного бросания лучей (без отражений и теней).

В статье [26] рассматривается вопрос реалистичности восприятия ландшафтов, и делается вывод о том, что для корректного и полного восприятия необходима очень существенная детализация сцены. Психофизиологиче-

ский аспект восприятия изучается в работе [27]. Показано, что люди с низкой степенью социальной активности чаще избегают взаимодействия с виртуальными человекоподобными изображениями. Изучению взаимодействия между людьми, решений и действий человека в виртуальной среде также посвящена работа команды Bunraku (INRIA, Франция) [28].

Теоретическими исследованиями проблем восприятия 3D-информации занимается также Институт проблем передачи информации РАН во главе с доктором биологических наук Г. И. Рожковой. Она прочитала в 2014 году публичную лекцию об исследованиях института на тему «Механизмы бинокулярного зрения человека и восприятие фильмов 3D формата».

В целом, практически все приведённые выше исследования на тему восприятия виртуального окружения и оценки погружения в 3D-сцену обладают одним существенным недостатком - отсутствием способа численного измерения восприятия или погружения. Обосновывается это тем, что в разных условиях и при решении разных задач слишком сложно (а зачастую и невозможно) выбрать универсальную метрику, по которой можно было бы объективно сравнивать очень субъективную величину - человеческое восприятие. В данной работе приводится способ численной оценки погружения применительно лишь к одному типу тренажёров, общая же задача остаётся открытой.

Цели и задачи исследования

Цели работы:

- 1) Разработка метрик оценивания погружения в процесс тренировки на горнолыжном тренажёре МФТИ и восприятия 3D-сцен, отвечающих следу-

ющим требованиям:

- Метрики должны коррелировать с исследуемым значением (чтобы по изменениям значений метрик можно было судить о погружённости в процесс тренировки),
 - Метрики должны позволять сравнивать параметры тренированности различных спортсменов,
 - Вычисление метрик должно быть относительно простым (для возможности практического применения).
- 2) Создание приложения с удобным интерфейсом для тренера, позволяющее легко анализировать и сравнивать записанные прохождения трассы (в дальнейшем – заезды) на тренажёре,
- 3) Разработка модуля бинокулярного интерфейса для совмещения реальных и виртуальных объектов.

Для достижения первой цели необходимо решить следующие задачи (которые разбиваются на ряд подзадач):

- 1) Провести исследование процесса тренировки на горнолыжном тренажёре:
- Откалибровать систему трекинга и трассу тренажёра,
 - Настроить экспорт данных,
 - Написать код для первичной обработки данных,
 - Разработать метрики, оценивающие погружение в процесс тренировки.

- 2) Провести серию тренировок спортсменов различной степени подготовки, записать данные заездов и применить к ним разработанные метрики.

Для достижения второй цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) Выделить шаблоны использования и требования к программе от потенциальных пользователей, и с учётом этого разработать архитектуру приложения,
- 2) Реализовать приложение на выбранном языке программирования,

Для достижения третьей цели необходимо решить следующую задачу:

- 1) Реализовать модуль совмещения реальных и виртуальных объектов бинокулярного интерфейса на примере задачи «шарик на палке» — имеется виртуальный шар, который должен совмещаться с реальным объектом (находиться на конце лыжной палки) при любом взаимном расположении наблюдателя и палки.

Практическая значимость полученных результатов

Практическая новизна состоит в определении метрик численной оценки погружённости в процесс тренировки и восприятия 3D-сцены, реализации данных метрик в пользовательском приложении, в написании кода модуля совмещения реальных и виртуальных объектов для бинокулярного интерфейса, а также в решении задачи системной интеграции большого числа подсистем (камеры OptiTrack, механическая часть тренажёра, eye-трекер, программа визуализации, программа обработки данных).

Личный вклад автора

Автором впервые разработаны численные метрики оценивания погружения в процесс тренировки на горнолыжном тренажёре МФТИ, реализовано приложение TrackAnalyzer для анализа заездов на данном тренажёре, выполняющее вычисления указанных метрик, написан код модуля совмещения реальных и виртуальных объектов для бинокулярного интерфейса (C++), а также реализовано приложение RedSphere, демонстрирующее работу модуля.

Апробация работы

Система впервые апробирована в 2015 г. на горнолыжном тренажёре МФТИ совместно с горнолыжной секцией МФТИ под руководством Марковой А.В., используется в тренировочном процессе.

СТРУКТУРА И ОБЪЁМ ДИССЕРТАЦИИ

Работа состоит из введения, пяти глав и заключения.

Основное содержание работы

Во введении (первая глава) даётся обзор существующих работ, описывается проблематика и обозначаются цели и задачи исследования.

Вторая глава посвящена определению погружённости в процесс тренировки, рассматриваются способы оценки погруженности.

Третья глава описывает эксперименты, которые были проведены на горнолыжном тренажёре в МФТИ, а также содержит план по измерениям и получением данных с тренировок.

Четвёртая глава касается разработки приложения для анализа данных с тренировок, в ней описываются требования к приложению, детали реализации и режимы работы приложения.

Пятая глава посвящена анализу полученных экспериментальных данных и применению разработанных метрик.

Шестая глава касается разработки модуля бинокулярного интерфейса, отвечающего за совмещение реальных и виртуальных объектов, даётся теоретическое обоснование, приводятся детали реализации и демонстрируются результаты работы модуля.

В заключении сделаны выводы о достижении поставленных задач по результатам работы.

ВЫВОДЫ

- Изменение погруженности в процесс тренировки можно измерить численно, разработаны соответствующие метрики, позволяющие это сделать,
- Выяснено, что в процессе тренировок наступает момент усталости, он характеризуется увеличением абсолютных значений разработанных метрик,
- С помощью разработанных метрик и приложения TrackAnalyzer можно оценить качество тренированности спортсмена и сравнить, кто из двух (нескольких) спортсменов в группе тренирован лучше,
- Разработан модуль бинокулярного интерфейса, позволяющий совмещать виртуальные и реальные объекты на 3D-сцене, благодаря которому возможны дальнейшие работы по улучшению восприятия 3D-визуализации.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Vladimir Aleshin, Andrey Klimenko, Stanislav Klimenko, Alexander Bobkov, Dimitrij Novgorodtsev, Andrey Sandler. Virtual Environment Systems for a 3D Perception Research of the Ski Course, SCIENCE AND SKIING VI, Meyer&Meyer Sport (UK), 2015, ISBN: 978-1-78255-066-2, pp.95-103
2. Алешин В.П., Афанасьев В.О., Бобков А.Е., Клименко А.С., Клименко С.В., Новгородцев Д.Д., Ротков С.И., Сандлер А.Д. Особенности формирования изображений статических и динамических 3D-сцен в системах виртуального окружения/ В.П. Алешин, В.О. Афанасьев, А.С. Клименко, С.В. Клименко, Д.Д. Новгородцев, С.И. Ротков, А.Д. Сандлер // Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур.- строит. ун-т. - Н. Новгород, 2015. - № 1. - С.84-92
3. Алешин В.П., Афанасьев В.О., Клименко А.С., Клименко С.В., Пугач В.Н., Ротков С.И., Сандлер А.Д., Уразметов В.Ф. Особенности реализации виртуального окружения для тренировки сложных режимов пилотирования в учебно-тренажерных комплексах/ В.П. Алешин, В.О. Афанасьев, А.С. Клименко, С.В. Клименко, В.Н. Пугач, С.И. Ротков, А.Д. Сандлер, В.Ф. Уразметов // Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. - Н. Новгород, 2014. - № 3. - С.91-99

Выступления на конференциях

4. Выступление со стендовым докладом «Совмещение объектов виртуальной 3D-сцены и окружающего мира» на конференции Resilience-2014, Протвино, 2014 г.

5. Выступление с докладом «Применение оптического трекинга в тренажерах с системами виртуального окружения» на конференции СРТ2014, г. Ларнака, Республика Кипр, 10-16.06.2014

Другие работы и доклады

6. Выступление с докладом «Использование линейных регрессионных моделей для предсказания пользовательских метрик в текстовом ранжировании» на конференции СРТ2015, г. Ларнака, Республика Кипр, 11-17.06.2015
7. А.С.Обоймов, П.Г.Гуревич, А.Д.Сандлер, В.И.Пестриков, А.М.Хабибуллина, Статистическое моделирование процессов, влияющих на успешность предприятий. Сборник научной конференции НИЯУ МИФИ-2013.
8. М.А.Берберова, Ю.Н.Коваль, И.К.Абрамов, П.Г.Гуревич, А.Д.Сандлер, С.Х.Шайхлисламов, А.С.Обоймов, Исследование характеристик мартенситного превращения и структуры сплава Fe-Pt. Ядерная энергетика. Известия высших учебных заведений.
9. Ю.Н.Коваль, М.А.Берберова, И.К.Абрамов, П.Г.Гуревич, А.Д.Сандлер, С.Х.Шайхлисламов, А.С.Обоймов, Метод исследования характеристик мартенситного превращения на примере сплава Fe-Pt. Труды Международной научной конференции MEDIAS-2012, 7-14 мая 2012, Лимассол, Республика Кипр.

Список литературы

- [1] Раушенбах, Б. В. Пространственные построения в живописи / Б. В. Раушенбах. — Москва: Наука, 1975.
- [2] Раушенбах, Б. В. Системы перспективы в изобразительном искусстве. Общая теория перспективы / Б. В. Раушенбах. — Москва: Наука, 1986.
- [3] Раушенбах, Б. В. Геометрия картины и зрительное восприятие / Б. В. Раушенбах. — Санкт-Петербург: Азбука-классика, 2001.
- [4] Marr, D. Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information / David Marr. — New York, NY, USA: Henry Holt and Co., Inc., 1982.
- [5] Slater, M. A framework for immersive virtual environments (five): Speculations on the role of presence in virtual environments / Mel Slater, Sylvia Wilbur. — Vol. 6, no. 6. — P. 603–616.
- [6] How we experience immersive virtual environments: the concept of presence and its measurement / Mel Slater, Beau Lotto, Maria Marta Arnold, Maria V. Sanchez-Vives // The UB Journal of psychology. — Vol. 40, no. 2.
- [7] Persky, S. Immersive virtual environment technology: A promising tool for future social and behavioral genomics research and practice / Susan Persky, Colleen M. McBride // Health Commun. — Vol. 24, no. 8. — P. 677–682.
- [8] Blascovich, J. J. Immersive virtual environment technology as a basic research tool in psychology / James J. Blascovich, Jack M. Loomis, Andrew C. Beall //

Behavior Research Methods, Instruments & Computers. — no. 31. — P. 557–564.

- [9] Immersive virtual environment technology as a methodological tool for social psychology / Jim Blascovich, Jack Loomis, Andrew C. Beall et al. // Psychological Inquiry. — no. 13. — P. 103–124.
- [10] Kizony, R. Adapting an immersive virtual reality system for rehabilitation / Rachel Kizony, Noomi Katz, Patrice L. (Tamar) Weiss // The Journal of Visualization and Computer Animation, Special Issue: Virtual Reality in Mental Health and Rehabilitation. — Vol. 14, no. 5. — P. 261–268.
- [11] Клименко, С. В. Использование систем виртуального окружения для визуализации информации в сфере управления электроэнергетическими системами / С. В. Клименко, М. В. Брагута // Вестник ИГЭУ. — Vol. 4.
- [12] The perception of walking speed in a virtual environment / Tom Banton, Jeanine Stefanucci, Frank Durgin et al. // Presence: Teleoperators and Virtual Environments. — Vol. 14, no. 4. — P. 394–406.
- [13] Interrante, V. Distance perception in immersive virtual environments, revisited / Victoria Interrante, Brian Ries, Lee Anderson // IEEE Virtual Reality Conference VR2006. — P. 3–10.
- [14] Witmer, B. G. Judging perceived and traversed distance in virtual environments / Bob G. Witmer, Paul B. Kline // Presence: Teleoperators and Virtual Environments. — Vol. 7, no. 2. — P. 144–167.

- [15] Effects of stereo viewing conditions on distance perception in virtual environments / Peter Willemsen, William B. Thompson, Amy A. Goocha, Sarah H. Creem-Regehr // Presence: Teleoperators and Virtual Environments. — Vol. 17, no. 1. — P. 91–101.
- [16] Evaluating the accuracy of size perception in real and virtual environments / Jeanine K. Stefanucci, David A. Lessard, Michael N. Geuss et al. // Proceedings of the ACM Symposium on Applied Perception SAP'12. — ACM New York, NY, USA. — P. 79–82.
- [17] Towards Quantifying Depth and Size Perception in 3D Virtual Environments / Jannick P. Rolland, Christina A. Burbeck, William Gibson, Dan Ariely; University of North Carolina at Chapel Hill Chapel. — Hill, NC: USA.
- [18] Visual depth perception of 3D CAD models in desktop and immersive virtual environments / F. Girbacia, A. Beraru, D. Talaba, G. Mogan // International Journal of Computers Communications & Control. — Vol. 7, no. 5. — P. 840–848.
- [19] 3D printing and immersive visualization for improved perception of ancient artifacts / Paola Di Giuseppantonio Di Franco, Carlo Camporesi, Fabrizio Galeazzi, Marcelo Kallmann // Presence: Teleoperators and Virtual Environments. — Vol. 24, no. 3. — P. 243–264.
- [20] Witmer, B. G. Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire / Bob G. Witmer, Michael J. Singer // Presence: Teleoperators and Virtual Environments. — Vol. 7, no. 3. — P. 225–240.

- [21] Slater, M. Measuring presence: A response to the witmer and singer presence questionnaire / Mel Slater // Presence: Teleoperators and Virtual Environments. — Vol. 8, no. 5. — P. 560–565.
- [22] Navigating through a virtual city: Using virtual reality technology to study human action and perception / Hendrik A.H.C. van Veen, Hartwig K. Distler, Stephan J. Braun, Heinrich H. Bülthoff // Future Generation Computer Systems. — Vol. 14. — P. 231–242.
- [23] The use of virtual environment systems for a research of 3D perception of the ski course / Vladimir Aleshin, Andrei Sandler, Stanislav Klimenko et al. // SCIENCE AND SKIING VI, Meyer&Meyer Sport. — P. 95–103.
- [24] Visual 3D perception of the ski course and visibility factors in virtual space / Vladimir Aleshin, Valery Afanasiev, Alexander Bobkov et al. // Transactions on Computational Science. — Vol. 7380. — P. 17–33.
- [25] Visual realism enhances realistic response in an immersive virtual environment / Mel Slater, Pankaj Khanna, Jesper Mortensen, Insu Yu // IEEE Computer Graphics and Applications. — P. 76–84.
- [26] Lange, E. The limits of realism: perceptions of virtual landscapes / Eckart Lange // Landscape and Urban Planning. — Vol. 54, no. 1. — P. 163–182.
- [27] The responses of people to virtual humans in an immersive virtual environment / Maia Garau, Mel Slater, David-Paul Pertaub, Sharif Razzaque // Presence: Teleoperators and Virtual Environments. — Vol. 14, no. 1. — P. 104–116.

- [28] Bunraku-Team. Virtual reality to analyze interaction between humans. — <http://raweb.inria.fr/rapportsactivite/RA2007/bunraku/uid122.html>. — 2016.
- [29] Mine, M. R. / Mark R. Mine, Frederick P. Brooks, Jr., Carlo H. Sequin // Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. — P. 19–26.
- [30] Virtual Reality Society. CAVE fully immersive virtual reality. — <http://www.vrs.org.uk/virtual-reality-environments/cave.html>. — 2016.
- [31] Geomedia. HIVE virtual reality. — <http://geomedia.com/hive-vr>. — 2016.
- [32] Computational Interaction and Robotics Laboratory. IVRE - an immersive virtual robotics environment. — <http://cirl.lcsr.jhu.edu/research/human-machine-collaborative-systems/ivre/>. — 2016.
- [33] Barco Ltd. TAN VR-Cube - cubic, immersive virtual environment. — <https://www.barco.com/en/Products/Cubic-immersive-virtual-environment.aspx>. — 2016.
- [34] VRPN: Virtual reality peripheral network - official repo. — <https://github.com/vrpn/vrpn/wiki>. — 2016.
- [35] Stahlke, D. Gnuplot-iostream interface. — <https://github.com/dstahlke/gnuplot-iostream>. — 2016.