

Технология виртуальной 3D среды в обратных задачах анализа визуального восприятия и интерпретации изображений*

В.П. Алешин

aleshin_vl@mail.ru

Россия, Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)
Протвино, Россия, Институт Физико-технической информатики

Виртуальная 3D среда используется, в основном, для решения задач, связанных с визуализацией различных видов информации и 3D моделей [1]. Эти задачи принято называть «прямыми». В работе рассматриваются возможности компьютерной графики и индуцированной виртуальной среды (ИВС) для решения «обратных» задач, соответствующих принятым решениям о 3D сцене по визуальной и оптической информации. В докладе предлагаются методы и исследуются алгоритмы и режиме человеко-машинного интерфейса для анализа 3D сцен. Экспериментально анализируется эффективность зрения человека (глаза+мозг) в поставленных задачах.

Ключевые слова: виртуальная 3D среда, обратные задачи, визуальное восприятие

Technology of Virtual 3D Environment in Inverse Problems for Analysis of Visual Perception and Image Interpretation*

V.P. Aleshin

Russia, Moscow Institute of Physics and Technology (State University)
Protvino, Russia, Institute of Computing for Physics and Technology

Virtual 3D environment is used mainly for solving problems related to the visualization of the different types of information and 3D models [1]. These tasks are called “direct”. The report examines the possibilities of computer graphics and induced virtual environment (IVS) solutions for “inverse” problems, the relevant decisions of the 3D scene on a visual and optical information. The paper presents methods and algorithms are investigated and the mode of human-computer interface for the analysis of 3D scenes. Effectiveness of the human vision (eyes + brain) experimentally analyzed in the task.

Keywords: virtual 3D environment, inverse problems, visual perception

1. Введение

Применение технологии индуцированной виртуальной среды (окружения) в режиме человеко-машинного интерфейса приводит к необходимости анализа эффективности визуального восприятия человека. Визуальное восприятие представляет фундаментальную научную задачу и исследуется во многих областях науки: нейрофизиология, психофизика, психология, компьютерная графика и виртуальное окружение, компьютерное зрение, теория информатики, нейровизуализация [10,12-15]. Существуют основные концепции восприятия: конструктивизм Гельмгольца – неосознанный вывод (unconscious inference)[10], психофизика Фехнера-Вебера, теория «экологического зрения» Гибсона, модель Грегори, восприятие как обратная задача (inverse problem) [12] и байесовский вывод (bayes inference) Нейрофизиологи и психологи обычно ограничиваются чисто феноменологическим использованием аппарата обратных задач. В докладе будут приведены результаты эксперимен-

тального исследования возможностей предлагаемых методов для решения конкретных задач с помощью разработанных систем виртуального окружения и стенда трекинга.

2. Индуцированная виртуальная 3d среда в обратных задачах

В контексте рассматриваемых задач, генерация изображений (в том числе и невидимых наблюдателем) с помощью ИВС производится на основе внешних измерений трекинга (ориентация и положение камеры, источники освещения, ориентация 3D объектов и тп.) и физически адекватных моделей наблюдаемых процессов (характеристики отражений, среда распространения, физические и кинематические законы движения). Структурная схема метода приведена на рис. 1

3. Модель визуального восприятия

В данном докладе визуальное восприятие будем трактовать как решение обратной задачи [12,9] и байесовский вывод, что соответствует конструктивизму Гельмгольца [10]. Рассмотрим задачу с позиций статистических решающих функций [8]. Пусть $S(o, \delta)$ – функция потерь, где o – структурный параметр (параметр «восприятия», объект, 3D сцена) δ , – решающая функция $\delta = \delta(i)$, i – наблюдения.

Автор выражает признательность Клименко С.В. за конструктивную помощь в работе. Работа частично поддерживается проектом РФФИ, грант 16-07-00637. Работа опубликована по гранту РФФИ №16-07-20482



Рис. 1: Индуцированная виртуальная 3D среда (окружение)

$$R(o, \delta(i)) = \int C(o, \delta) P(o; i) di$$

– средний риск, где $P(o; i)$ – вероятностная плотность распределения (предполагается выполнение условий Радона-Никодима). Минимакс определяется выражением:

$$R(\delta^*(i)) = \min_{\delta(i)} \max_o R(o, \delta(i))$$

При выполнении условий теоремы А. Вальда [8], минимаксное решение находится в классе байесовских. Для «простой» функции потерь байесовское решение соответствует максимуму апостериорной вероятности (нормировка опущена)

$$(1) \quad \hat{o}_{ap} = \max_o P(o; i)_{ap} = \max_o P(o; i) * P(o)$$

С позиций визуального восприятия априорная плотность $P(o)$ определяет регуляризирующий 3D образ [9,12,13]. Считается, что трехмерные образы хранятся в гиппокампе мозга. С помощью ИВС можно проводить рендеринг виртуальных сцен и соответствующих изображения i_{3D} . Если эту информацию подавать в режиме человеко-машинного интерфейса, то мозг будет в процессе принятия решений (1) формировать априорные 3D образы $P(o)$.

4. Аппаратно программный комплекс виртуальной 3d среды для оценки визуального восприятия

Для экспериментальной проверки метода был реализован аппаратно программный комплекс, состоящий из визуальной части (различные виды стереосистем), систем трекинга, тренажерных платформ, управляющих компьютеров, объединенных в сеть. Аппаратная структура комплекса приведена на рис. 2., а стенд – на рис. 3. В экспериментах использовались различные виды тренажерных платформ: электронно – механическая SkyTecInteractive (рис. 3, 4) и механическая платформа Proski-Simulator (рис. 5) [2,3]. Имеется возможность подключения к другим тренажерным



Рис. 2: Аппаратура экспериментального стенда



Рис. 3: Стенд для исследований визуального восприятия

платформам, например, Maxcue motion platform [11].

В качестве визуальной части использовались пассивная стереосистема (рис. 3,4) и наголовные шлемы (рис. 5). В последнее время реализуется визуальная часть на основе мобильных устройств.

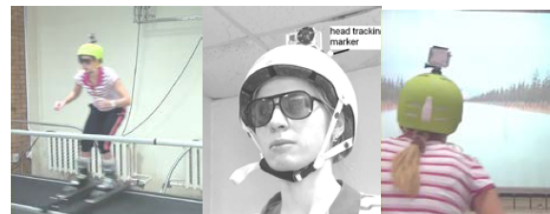


Рис. 4: Пассивная стереосистема и маркеры трекинга головы

Системы трекинга использовали пакет Optitrack (Natural points) и систему позиционирования взгляда, разработанную ИТМО. Системы трекинга



Рис. 5: Наголовные шлемы HMD Sony и HMD Oculus Rift

позволяют накапливать большой объем информации. Данная информация дает возможность оценивать степень визуального восприятия тренируемого и оператора в зависимости от условий наблюдения, физических моделей движения и реализаций траекторий в виртуальной сцене. На рис. 6 приводится траектория движения головы экспериментатора, полученная с помощью системы трекинга. Анализ движения в виртуальной сцене определяет объективные показатели визуального восприятия (например, время исполнения задания, качество траектории, уровень подготовки и тп.).

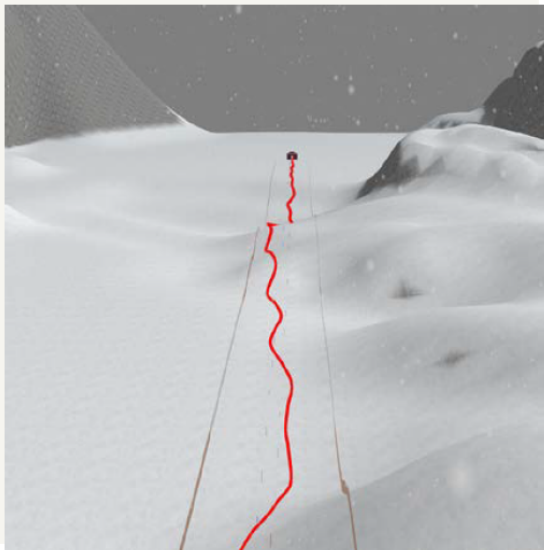


Рис. 6: Траектория движения головы в виртуальной 3D сцене

5. Интерпретация изображений космических аппаратов и астероидов

Проблема анализа ситуаций в космическом пространстве с космическими аппаратами (КА), космическим «мусором» и астероидной – кометной опасностью является весьма актуальной [4-7]. Несмотря на наличие адаптивной оптики [4,6] и спекл – интерферометров [5], атмосферные иска-

жения не позволяют использовать обычные алгоритмы компьютерного зрения. Хорошую эффективность показали в данных условиях разработываемые методы. На рис. 6 показана структурная схема метода

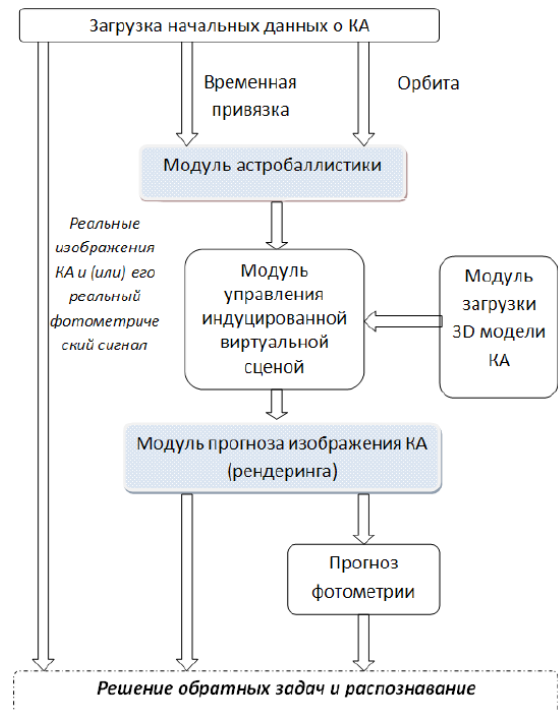


Рис. 7: Структурная схема ИВС для ситуационной оценки в околоземной астрономии

Впервые получена и обработана уникальная информация Большого телескопа (БТА СО РАН) [5] от геостационарных космических аппаратов. На рис. 7 приводится интерпретация и оценка ориентации космического аппарата «Экспресс-М»

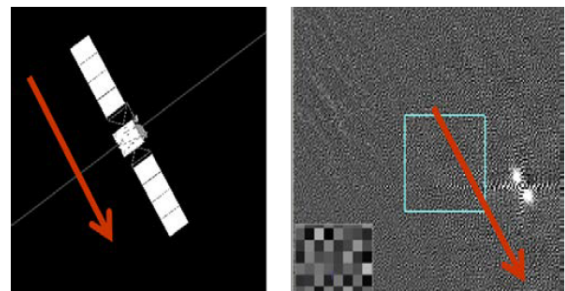


Рис. 8: Интерпретация спекл-изображений геостационарного

Несмотря на экстремальные значения условий наблюдения (порог квантовой чувствительности на дальности 40000 км и дифракционный предел разрешения) получено хорошее соответствие измерений и виртуальной индуцированной сцены. На рис. 8 показана оценка ориентации аварийной ор-

битальной станции «Фобос-Грунт» на различных витках орбиты по информации адаптивной оптики Алтайского оптико-лазерного центра [7]. Применялся предлагаемый метод ИВС. Данные оценки являлись единственной информацией о состоянии станции и использовались при работе Госкомиссии.

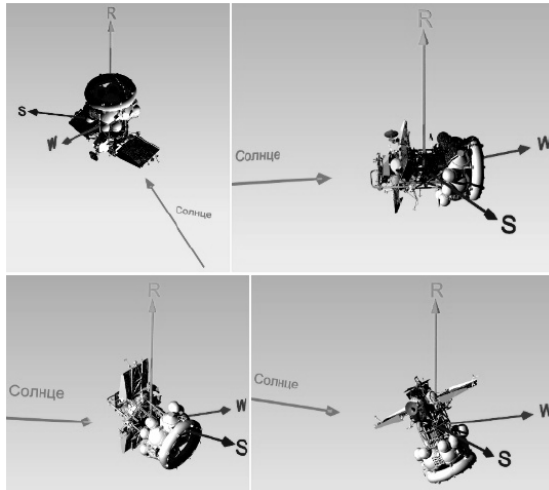


Рис. 9: Реконструкция ориентации «Фобос-Грунт»

Рис. 9 иллюстрирует оценку вращения КА «Океан» (приближение Эйлера-Пуансо). Показаны изображения адаптивной оптики, синхронизированные с ориентацией КА (шаг 25 с) с учетом реальной орбиты.

Аналогичные синхронизированные кадры для «Фобос-Грунт» изображены на рис. 10.

6. Заключение

Основные результаты исследований:

1. Разработана методология решения обратных задач оценки визуального восприятия и интерпретации изображений, на основе технологии индуцированной виртуальной 3D среды
2. Реализован аппаратно программный комплекс виртуальной 3D среды для оценки визуального восприятия в тренажерных системах с силовой обратной связью
3. Разработаны программно – алгоритмические методы для генерации индуцированных виртуальных сцен в задачах околоземной астрономии
4. Создана программно – алгоритмическая система интерпретации оптической информации в околоземной астрономии для турбулентной атмосферы
5. Разработан программно – алгоритмический комплекс ведения базы данных, обработки и анализа оптической, геометрической и сопутствующей информации
6. Эффективность разработанных методов и алгоритмов подтверждена экспериментальной обработкой большого объема реальной информации

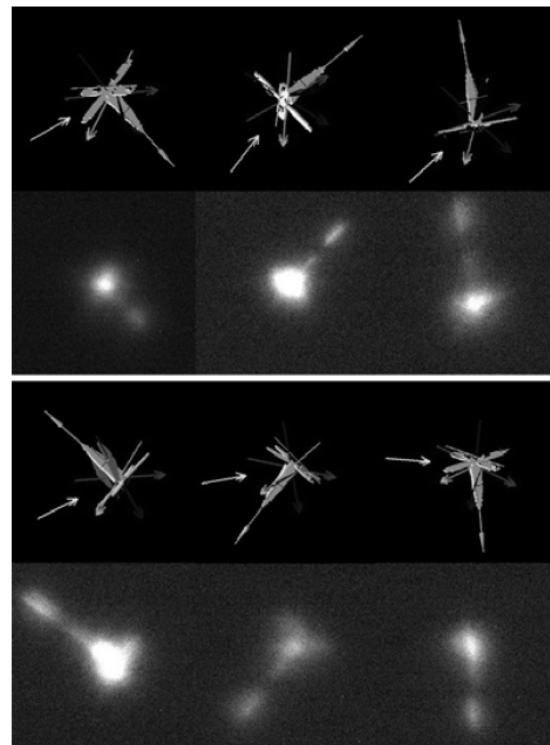


Рис. 10: Последовательные ориентации КА «Океан» (шаг около 25 с)

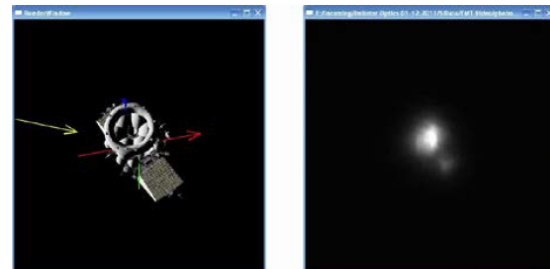


Рис. 11: Оценка ориентации «Фобос-Грунт»

Литература

- [1] Алешин В.П., Афанасьев В.О., Байгозин Д.А., Батулин Ю.М., Клименко С.В., Система визуализации индуцированного виртуального окружения: состояние проекта // В сборнике трудов 14-й Межд. Конф. «Графикон-2004», – М.: Изд-во МГУ, 2004, – 318 с., С.12-15
- [2] Vladimir Aleshin, Valery Afanasiev, Alexander Bobkov, Stanislav Klimenko, Vitaly Kuliev, and Dmitry Novgorodtsev, Visual 3D Perception of Motion Environment and Visibility Factors in Virtual Space, Transaction on Computer Science, XVI, Lecture Notes on Computer Science 7380, Springer-Verlag Berlin Heidelberg pp.17–33, 2012
- [3] Aleshin Vladimir, Klimenko Stanislav, Klimenko Andrey, Bobkov Alexander, Novgorodtsev Dimitriy and Sandler Andrey, Virtual Environment Systems for a 3D Perception Research of the Ski Course, Между-

- народный конгресс ICSS-2013, Сан. Кристоф, Австрия, Meyer&Meyer (UK), pp. 95-103, 2015
- [4] Алешин В.П., Наземные системы получения оптических изображений космических аппаратов и обратные задачи, Электромагнитные волны и электронные системы, 8'2014 г., М., «Радиотехника», С.60-67.
- [5] В.П.Алешин, Ю.Ю. Балегга, А.Ф. Максимов, С.Л. Комаринский, Д.Д. Новгородцев, Спекл-интерферометрия геостационарных ИСЗ: реальность и перспективы, Международная конференция «Околосемная астрономия 2011», Красноярск, Вестник СИБГАУ, вып. 6(39), С.154-158
- [6] Алешин В.П., Моделирование и восстановление оптических изображений в околосемной астрономии, Межд. Конф. «Околосемная астрономия 2013», ISSN 1729-5459, Экологический вестник научных центров ЧЭС, 2013, №4, Т. 3. С.7-12
- [7] Алешин В.П., Новгородцев Д.Д., Выгон В.Г., Гришин Е.А., Дорноступ С.А., Симонов Г.В., Шаргородский В.Д., Юрасов В.С., Оценка движения аварийных космических аппаратов относительно центра масс по реальным оптическим наблюдениям, Межд. Конф. «Околосемная астрономия 2013», ISSN 1729-5459, Экологический вестник научных центров ЧЭС, 2013, №4, Т. 2. С.7-14
- [8] Вальд А., Статистические решающие функции, в сборнике: Позиционные игры, М., 1967.
- [9] Maloney Laurence T., Hang Zhang, Decision-theoretic models of visual perception and action, Vision Research 50 (2010) 2362–2374
- [10] von. Helmholtz H., Helmholtz's Treatise on Physiological Optics, Translated from the Third German Edition, 1925, volume 3 (The Perceptions of Vision, 515 p.)
- [11] von der Heyde Markus, A Distributed Virtual Reality System for Spatial Updating , Concepts, Implementation, and Experiments, PhD Thesis , MPI, 2000, 112 p.
- [12] Pizlo Zygmunt, Perception viewed as an inverse problem, Vision Research 41 (2001) pp 3145–3161
- [13] Poggio, T., Torre, V. & Koch, C. Computational vision and regularization theory. (1985) Nature 317, pp 314-317
- [14] Раушенбах Б.В., Геометрия картины и зрительное восприятие, М., Интерпракс, 1994, 312 с.
- [15] Ярбус А.Л., Роль движений глаз в процессе зрения, Наука, Москва, 1965, 161 с.