

Системы интерактивной визуализации на основе гиперглобусов

Григорий Бояршинов^{*1,2} | Алена Захарова¹

¹ Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук, г. Москва, Россия

² Геофизический центр Российской академии наук, г. Москва, Россия

g.boyarshinov@gcras.ru, zaawmail@gmail.com

Аннотация

В работе рассматривается класс систем интерактивных 3D визуализаций, инструментом обработки данных которых являются гиперглобусы, также называемые цифровые глобусы. Дается общая характеристика гиперглобусам и принципам их использования в качестве интерактивной 3D карты. Кратко описывается развитие основополагающих технологий виртуальных и тактильных гиперглобусов. Искомая работа является предтечей к проектированию универсальной среды интерактивных визуализаций на базе виртуальных и тактильных гиперглобусов.

Ключевые слова

Гиперглобус, Цифровой глобус, Виртуальный глобус, Тактильный глобус, Сферический экран, Цифровая Земля

Interactive visualization systems based on hyperglobes

Grigory Boyarshinov^{1,2} | Alena Zakharova¹

¹ Institute of Control Sciences Academician VA Trapeznikov of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² Geophysical Center of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

g.boyarshinov@gcras.ru, zaawmail@gmail.com

Abstract

The paper considers a class of interactive 3D visualization systems whose data processing tool is hyperglobes, also called digital globes. The general characteristics of hyperglobes and the principles of their use as an interactive 3D maps are given. The development of the basic technologies of virtual and tactile hyperglobes is briefly described. The current work is a precursor to the design of a universal interactive visualization environment for both virtual and tactile hyperglobes.

Keywords

Hyperglobe, Digital globe, Virtual globe, Tactile globe, Spherical screen, Digital Earth

Происхождение и общая характеристика гиперглобусов

На сегодняшний день на стыке парадигм «Digital Earth» (Eremchenko, 2020, 2021, 2022; Аноприенко, Еремченко, Клименко, 2017; Hruby, 2008) и «True-3D in Cartography» (Riedl, 2012; Buchroithner, Knust, 2013) развивается направление систем интерактивных геопространственных визуализаций на базе гиперглобусов (Riedl, 2000, 2007, 2012; Buchroithner, Knust, 2013), также называемых цифровыми глобусами.

* Corresponding author

Гиперглобусы являются преемниками классического глобуса – шарообразного макета планетарного тела. Идея о шарообразности Земли развивалась с VI в. до н.э. такими античными математиками, как Пифагор, Аристотель, Эратосфен и др. (Щетников, 2012). Хотя со времен Исаака Ньютона доказано и показано, что форма Земли не является идеальным шаром, в нулевом приближении можно считать её таковой для упрощения расчётов.

Глобус удобен для получения общего представления о континентах, крупных географических регионах, океанах и т.п. – глобальной картины мира. В то же время он имеет достаточно мелкий масштаб и не способен показать местность подробно.

Глобусы играют важную роль в научно-практических приложениях. Например, в XVII и XVIII веках глобусы были частью стандартного оборудования на голландских кораблях и использовались в навигации (Davids, 1986). В пилотируемых полётах в рамках советской и российской космической программы с 1961 года использовались навигационные индикаторы в виде вращающихся глобусов (Рис. 1): компактный и функциональный прибор помещался в малогабаритной кабине космонавта и использовался вплоть до 2001 года до замены его цифровым аналогом.



Рис. 1. Индикатор местоположения и места посадки «Глобус» на панели управления серии космических кораблей «Восход» (ArcGIS Blog, 2018).

В сущности, глобус обладает следующими признаками:

- аналоговый способ формирования изображения (фотопечать, гравировка и т.п.);
- осязаемость (материальность) поверхности шара;
- реальность пространственного воплощения.

С 2000 г. австрийский специалист Андреас Ридл развивает классификацию гиперглобусов (Riedl, 2000, 2007, 2012) (Рис. 2), основанную на декартовом произведении шкал категориальных признаков (аналоговый, цифровой) – (материальный, нематериальный) – (реальный, виртуальный). Так образуется восемь теоретических сущностей, из которых четыре имеют смысл и реализуемы на практике. Первая из четырех – вышеописанный классический глобус. Оставшиеся три именуются гиперглобусами:

- виртуальный гиперглобус (цифровой-нематериальный-виртуальный);
- тактильный гиперглобус (цифровой-материальный-реальный);
- голографический гиперглобус (цифровой-нематериальный-реальный).

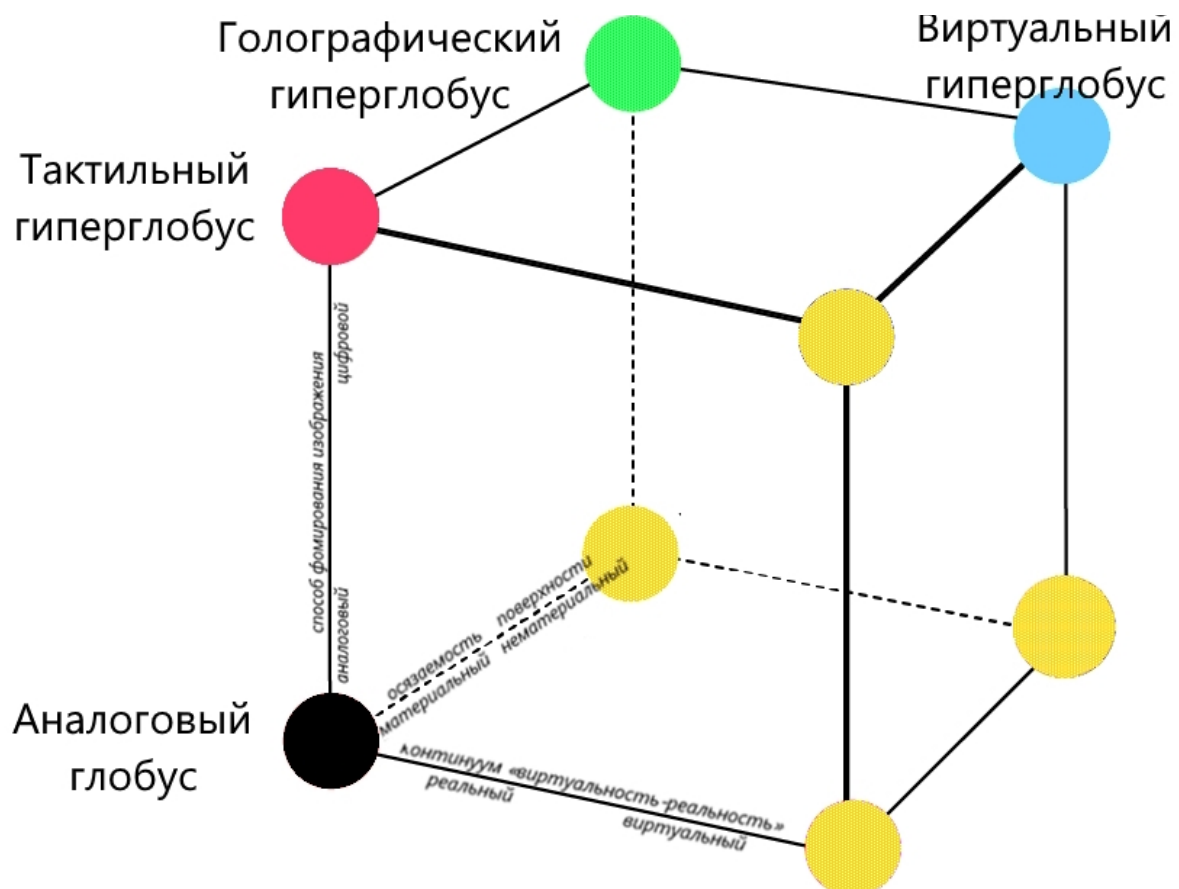


Рис. 2. Классификация гиперглобусов (пер. с англ. (Riedl, 2007)).

Цифровой способ формирования изображения, характерный для всех видов гиперглобусов, определяет их альтернативное название – цифровые глобусы.

Гиперглобусы обеспечивают трёхмерное, анимационное, мультимедийное представление пространства (Лисицкий, 2013), а также интерфейсы для обработки визуализируемых данных.

Префикс «гипер» указывает на связь с гипермедиа технологиями, потому как гиперглобусы способны заменять структуру гипертекстового документа географической организацией (Tuttle, Sharolyn, Huff, 2008; Baturin, Eremchenko, Zakharova, 2019). По этой причине сформировалось альтернативное наименование виртуальных гиперглобусов – 3D геобраузеры (англ. 3D Geobrowser) (Foresman, 2004; Aurambout, Pettit, Lewis, 2008).

Гиперглобусы как интерактивная 3D картографическая основа

Отображение картографической основы в 3D повышает наглядность данных (Орлов, Журкин, 2018). Преимущество 3D карты, по сравнению с любой 2D картографической проекцией, заключается в неискаженном представлении глобальных пространственных соотношений (Riedl, 2007; Aurambout, Pettit, Lewis, 2008): известно, что сферическую поверхность нельзя спроецировать на плоскую карту без искажения площадей, расстояний и/или углов, что доказано в «Замечательной теореме» (в пер. с лат. «Theorema Egregium») Гауссом (Pressley, 2010).

Приложение в картографии методов и средств компьютерной графики сформировало новый класс картографических продуктов «Digital Earth», обладающих огромными эвристическими возможностями (Eremchenko, 2022). Наглядность и интерактивность систем визуализаций на базе гиперглобусов послужила драйвером в развитии геовизуальной аналитики. В основе геовизуальной аналитики находятся «методики, направленные на поддержку конструирования идей на основе графического отображения пространственных данных (нередко в сочетании с применением статистических методов или методов моделирования). Геовизуальная аналитика является связующим звеном между способностями пользователей к творческому мышлению (абдукция по Ч. Пирсу), а также индуктивными (структурирование данных, интеллектуальный анализ и др.) и дедуктивными (вывод умозаключений из множества ранее известных правил и взаимоотношений и др.) возможностями современных компьютеров» (Тикунов, 2015).

Использование виртуальных гиперглобусов как мультифункционального инструмента геовизуальной аналитики предвосхищается вице-президентом США Альбертом Гором в книге «Earth in the Balance: Ecology and the Human Spirit» (Gore, 1992), а затем конкретизируется в выступлении (Gore, 1998), вошедшем в историю под названием «The Digital Earth: Understanding our planet in the 21st Century» (в пер. на рус. «Цифровая Земля: понимание нашей планеты в XXI веке»), состоявшееся 31 января 1998 г. в Калифорнийском научном центре (англ. California Science Center) в г. Лос-Анджелесе. Выступление было основано на следующих ключевых тезисах:

- Любой человек сможет взаимодействовать с трехмерным вращающимся виртуальным глобусом, отображаемом при помощи компьютера, тем самым получать доступ к огромному количеству научной и культурной информации для лучшего понимания деятельности человечества на планете;
- Большая часть мировых архивов цифровых знаний будет публично доступна через сеть Интернет, однако также будет существовать коммерческий рынок сопутствующих продуктов и услуг, отчасти для поддержания дорогостоящей инфраструктуры.

Гор положил начало парадигме «Digital Earth» – «метафоре интерфейса для доступа к глобальным наборам геоданных с высоким разрешением и их визуализации» (Riedl, 2007).

Итак, следуя классификации Еремченко Е.Н., представленной в работах (Аноприенко, Еремченко, Клименко, 2017; Baturin, Eremchenko, Zakharova, 2019; Eremchenko, 2020) и др. (Рис. 3), можно отметить, что гиперглобусы перенимают от других картографических продуктов базовые интерактивные свойства:

- от глобусов – многоракурсность;
- от геопорталов – многомасштабность.

Важно отметить, что гиперглобусы, в отличие от аналоговых картографических продуктов, способны переключать, дополнять и комбинировать картографические слои, что предоставляет возможность оперативного изменения тематического содержания визуализации (Берлянт, 2007), в т.ч. на основе данных, получаемых в режиме реального времени.



Рис. 3. Классификация геопространственных визуализаций по степени свободы в выборе ракурса просмотра сцены и детальности ее отображения (переработанная иллюстрация (Аноприенко, Еремченко, Клименко, 2017)).

Краткое описание технологий виртуальных гиперглобусов

В литературных источниках в наименовании «виртуальный гиперглобус» часто для краткости опускают приставку «гипер-»; в дальнейшем тексте будем эквивалентно употреблять наименование с приставкой и без неё, а также наименование «3D геобраузер» (Aurambout, Pettit, Lewis, 2008).

Виртуальный глобус – это «мультимасштабная цифровая 3D-модель Земли, а также интерактивное программное обеспечение для синтеза изображения этой 3D-модели или её фрагмента на экране монитора» (Бобков, Леонов, 2017; Cozzi, Ring, 2011).

В данном контексте под цифровой моделью понимается интерактивная визуализация 3D сцены, состоящая из планетарного шара в сочетании с 2D и 3D образами над-, около- и подземных объектов в привязке к географическим координатам. Глубина 3D сцены на 2D экране ощущается в результате оптической иллюзии, достигаемой с помощью светотеней, перспективы и других приемов компьютерной графики (Краак, 1989).

Изначально виртуальные глобусы представляли собой мультимедийные приложения в формате энциклопедических систем, распространяемых на оптических носителях как CD-,

DVD- и пр. дисков. Изначально виртуальные глобусы представляли собой мультимедийные приложения в формате энциклопедических систем, распространяемых на оптических носителях: CD, DVD и пр.. Ввиду ограниченности объема хранения информации оптических носителей разрешение текстур было невысоким, поэтому масштабирование было возможно всего до нескольких порядков (Бобков, Леонов, 2017).

На рубеже тысячелетий рост доступности и пропускной способности сети Интернет в сочетании с повышением количества и качества спутниковых изображений, а также вычислительных мощностей графических и центральных процессоров, способствовали развитию и широкому внедрению виртуальных глобусов (Aurambout, Pettit, Lewis, 2008; Бобков, Леонов, 2017). Перечисленные факторы сделали возможным обеспечение работы виртуальных глобусов посредством клиент-серверного взаимодействия, загружая данные с удаленных серверов, в т.ч. спутниковые данные в реальном времени. Именно в этот момент виртуальные глобусы стали по праву именоваться 3D геобраузерами.

Поколение виртуальных глобусов как законченных приложений, автономных или замкнутых внутри родительской программной экосистемы, быстро исчерпало себя, т.к. широкий спектр их применения слабо коррелировался с ограниченным предлагаемым набором функций без возможности их модификации, добавления поддержки своих типов данных и интеграции с другими приложениями (Бобков, Леонов, 2017).

Поэтому виртуальные глобусы переформатировались во встраиваемый инструмент в качестве программных библиотек и программных модулей, взаимодействующих по интерфейсу прикладного программирования API (от англ. Application Programming Interface, API). Исходный код таких программных продуктов, как правило, открыт и, соответственно, может быть модифицирован.

На сегодняшний день браузеры и их производные (например, прогрессивное web-приложение (от англ. Progressive Web App, PWA) и др.) как кроссплатформенный инструмент, конкурирующий по производительности с нативными средами разработки, стали универсальной средой работы с виртуальными глобусами. До 2010-х гг. реализация 3D-графики в браузерах основывалось на плагинах, на их замену пришел оптимизированный за счет использования низкоуровневых средств вычислений непосредственно на видеокартах стандарт WebGL (аббр. от англ. Web-based Graphics Library), являющегося составным элементом пятой версии языка гипертекстовой разметки (от англ. HyperText Markup Language 5, HTML5).

Краткое описание технологий тактильных гиперглобусов

Изображение планетарного шара на плоскости представляет собой проекцию и неизбежно приводит к потере информации. С конца XV века этот недостаток компенсируется развитием технологий макетирования, что, в свою очередь, сначала послужило основанием для широкого распространения классических глобусов, а впоследствии, ввиду развития цифровых технологий видеоотображения, породило новую сущность – тактильные гиперглобусы.

Изображение тактильного гиперглобуса формируется на поверхности шара, называемой сферическим экраном (СЭ). Ввиду сферичности экранной поверхности исходный планарный картографический слой становится трехмерным. В этом смысле образ, формируемый тактильным гиперглобусом, в отличие от виртуального, имеет реальное пространственное воплощение (Vega, Wernert, Beard, Gniady, Reagan, Boyles, Eller, 2014). Пользователь тактильного гиперглобуса, в сущности, находится перед интерактивным макетом – уменьшенной трехмерной моделью Земли или другого сферического небесного тела, обладающей элементами иммерсивности: анимационность и, в ряде случаев, сенсорность поверхности, возможность одновременного группового просмотра с разных ракурсов.

Исходные данные визуализации необходимо геометрически корректно отобразить на 3D экране. Задачу репроецирования карт следует рассматривать как первостепенную задачу. Необходимым условием для адекватной визуализации является рендеринг в режиме реального времени. При этом также важно обеспечить отзывчивое управление визуализацией в реальном времени, чтобы пользователь получил корректную обратную связь в отношении своих манипуляций (Hruby, Kristen, Riedl, 2008).

Проекционные СЭ бывают твердотельными или надутыми. По способу проецирования разделяют системы обратной и внешней проекции.

При обратной проекции искажение пучков света, необходимое для охвата всей области СЭ, происходит при помощи широкоугольных объективов (Рис. 4а), либо системы (выпуклых) зеркал (Рис. 4б). В последнем случае, с целью увеличения яркости, контрастности, а также разрешения изображения, может быть использовано несколько проекторов с соответствующими устройствами искажения пучков света.

Недостатком тактильного гиперглобуса технологии обратного проецирования является

наличие белых пятен ниже примерно -80 и/или выше примерно 80 градусов широты, что, как правило, скрывается конструкцией (Vega, Wernert, Beard, Gniady, Reagan, Boyles, Eller, 2014).

Тактильные гиперглобусы технологии обратного проецирования являются наиболее распространёнными, т.к. отличаются простотой эксплуатации и существующими реализациями в мобильном исполнении, когда все комплектующие объединяются в переносимом или передвижном при помощи колесиков корпусе.

В случае внешнего проецирования (Рис. 4в) набор проекторов находится вне СЭ, а сам экран должен быть установлен статично. Обычно такая система состоит из четырех проекторов, расположенных на плоскости экватора сферы; иногда для картирования полюсных областей используется пятый и шестой проектор (Riedl, 2012). Таким образом, в зависимости от степени охвата области СЭ используются от 1 до 6 проекторов.

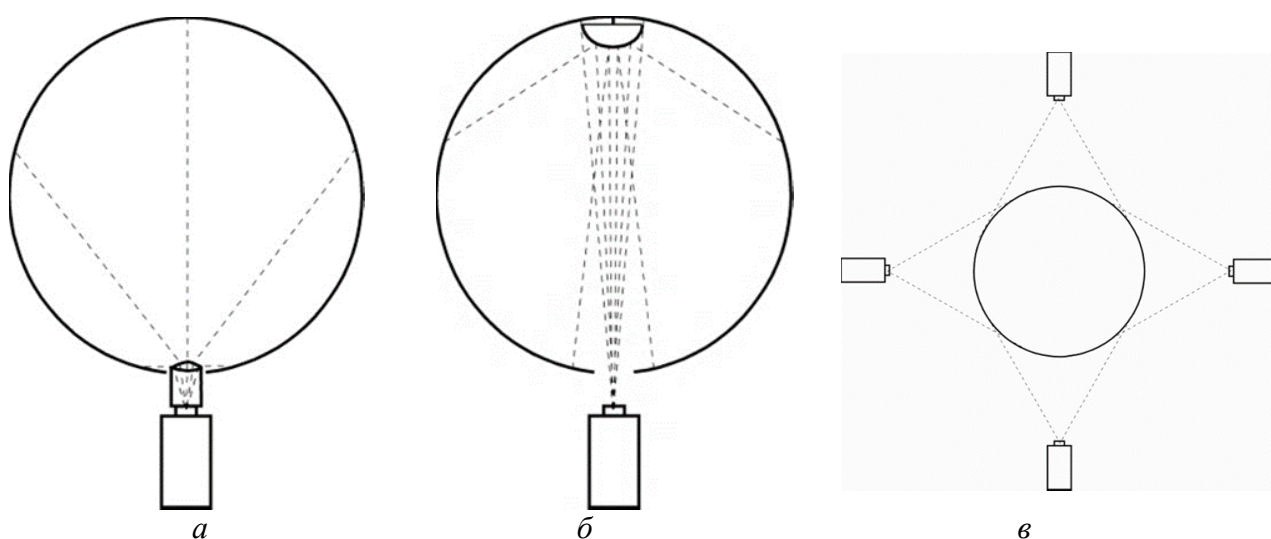


Рис. 4. Системы обратной (а – на базе объектива «рыбий глаз», б – на базе системы зеркал) и внешней (в) проекционной технологии гиперглобусов (Riedl, 2012).

Заключение

Гиперглобусы заключают огромный потенциал в обработке научной информации, обеспечивая интерактивный доступ к данным широкому кругу пользователей, включая лиц, принимающих решения, исследователей и общественность. Системы интерактивных

визуализаций на базе виртуальных и тактильных гиперглобусов активно развиваются на сегодняшний день как в направлении научно-образовательной деятельности, так и конкретно-прикладной, например, в ситуационных центрах.

Несмотря на различие технологий формирования изображения виртуальных и тактильных гиперглобусов, в остальном принципы работы обоих направлений во многом схожи до некоторого уровня абстракции. Поскольку создание и адаптация систем интерактивных визуализаций на базе рассмотренных классов гиперглобусов трудоемко для каждой отдельно взятой задачи, авторами предлагается на основе общности пользовательских интерфейсов каждого их классов спроектировать универсальную среду разработки. Подобная среда устраним фрагментарность развития такого потенциального инструментария тактильных гиперглобусов, что может быть перенят от виртуальных глобусов, и наоборот, по принципу взаимодополнения.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 21-77-30010)

Список литературы

Аноприенко, А., Еремченко, Е., Клименко, С. (2017). *Digital Earth как метод визуализации*. GraphiCon 2017: Труды 27-й Международной конференции по компьютерной графике и машинному зрению, Пермь, 24–28 сентября 2017 года, 290-294. URL: <https://www.graphicon.ru/html/2017/papers/pp290-294.pdf>

Берлянт, А. (2007). *Глобусы: второе рождение*. Природа, 8, 19-28. URL: http://vivovoco.astronet.ru/VV/JOURNAL/NATURE/08_07/GLOBUS.HTM

Бобков, А., Леонов, А. (2017). *Виртуальный глобус: история и современность*. Научная визуализация, 9(2), 49-63. URL: <http://sv-journal.org/2017-2/05.php?lang=ru>

Лисицкий Д. (2013). *Перспективы развития картографии: от системы «Цифровая Земля» к системе виртуальной геореальности*. Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий, 2(22), 8-16. URL: https://scholar.google.ru/citations?view_op=view_citation&citation_for_view=OUbo9EwAAAAJ:ULOm3_A8WrAC

Тикунов, В. (2015). *Виртуальные географические среды*. Краснодар, Россия: Краснодарская панорама досуга.

Щетников, А. (2012). *Сферическая Земля от древних греков до эпохи Великих географических открытий*. Scholē. Философское антиковедение и классическая традиция, 6(2), 384-404. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17770466>

ArcGIS Blog. (2018, февраль, 9). URL: <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/3d-gis/mapping/steal-these-globe-ifiers-please/>

Aurambout, JP., Pettit, C., Lewis, H. (2008). *Virtual Globes: the Next GIS?*. In: Pettit, C., Cartwright, W., Bishop, I., Lowell, K., Pullar, D., Duncan, D. (eds) *Landscape Analysis and Visualisation. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*. Springer, Berlin, Heidelberg, 509-532. DOI: 10.1007/978-3-540-69168-6_25

Baturin, Y., Eremchenko, E., Zakharova, M. (2019). *3D-document and Digital Earth*. CEUR Workshop Proceedings, Bryansk, September 23th-26th 2019, 2485, 155-158. DOI: 10.30987/graphicon-2019-2-155-158

Buchroithner, M., Knust, C. (2013). *True-3D in Cartography – Current Hard- and Softcopy Developments*. In: Moore, A. and Drecki, I. (Hrsg.): *Geospatial Visualisation*, Springer Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, 41-65. DOI: 10.1007/978-3-642-12289-7_3.

Cozzi P., Ring K. (2011). *3D Engine Design for Virtual Globes*. New York, USA: CRC Press.

Davids, K. (1986). *The use of globes on ships of the Dutch East-India Company*. Conference Coronelli-Gesellschaft für Globen- und Instrumentenkunde, Amsterdam, 35(37), 69-80. URL: <http://www.jstor.org/stable/41628828>

Eremchenko, E. (2020). *What is and What is not the Digital Earth*. Proceedings of the 30th International Conference on Computer Graphics and Machine Vision (GraphiCon 2020), 2, 1-11. DOI: 10.51130/graphicon-2020-2-3-47.

Eremchenko, E. (2021). *Digital Earth: Prism of 2020*. CEUR Workshop Proceedings : 31, Nizhny Novgorod, September 27th-30th 2021, 555-563. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3027/paper56.pdf>

Eremchenko, E. (2022). *Digital Earth: Prism of 2021*. Proceedings of the International Conference on Computer Graphics and Vision “Graphicon”, 32, 756-761. URL: https://www.graphicon.ru/html/2022/papers/paper_077.pdf

Foresman, T. (2004). *Digital earth visualization and web-interface capabilities utilizing 3D*

geobrowser technology. XXth ISPRS Congress, 12–23 July, XXXV(B4), 885-888. URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?doi=db98b5b1b8318f0e48cdf7a358ff5a83994f357b>

Gore, A. (1992). *Earth in the Balance: Ecology and the Human Spirit*. New York, USA: Houghton Mifflin Harcourt.

Gore, A. (1998). *The Digital Earth: Understanding our planet in the 21st Century*. Al Gorespeech at California Science Center, Los Angeles, California, on January 31, 1998. URL: <https://studylib.net/doc/8370409/the-digital-earth--understanding-our-planet-in-the-21st-c>

Hruby, F., Kristen, J., Riedl, A. (2008). *Global Stories on Tactile Hyperglobes – visualizing Global Change Research for Global Change Actors*. Proceedings, Digital Earth Summit on Geoinformatics: Tools for Global Change Research, Potsdam, Germany. URL: [https://ucris.univie.ac.at/portal/de/publications/global-stories-on-tactile-hyperglobes--visualizing-global-change-research-for-global-change-actors\(586f2b99-12c1-4e1c-b1c7-1702269a5408\).html](https://ucris.univie.ac.at/portal/de/publications/global-stories-on-tactile-hyperglobes--visualizing-global-change-research-for-global-change-actors(586f2b99-12c1-4e1c-b1c7-1702269a5408).html)

Hruby, F., Riedl, A., Tomberger, H. (2008). *Virtual representations of antique globes - new ways of touching the untouchable*. International Journal of Digital Earth, 1, 107-118. DOI: 10.1080/17538940701782635.

Kraak, M. (1989). *Computer-Assisted Cartographical 3D Imaging Techniques*. In: Raper J., Three-Dimensional Applications in Geographical Information Systems, Taylor and Francis, London, 98-113. DOI: 10.1201/9781003069454-7

Pressley, A. (2010). *Elementary Differential Geometry*. London, England: Springer.

Riedl, A. (2000). *Virtuelle Globen in der Geovisualisierung*. Viena, Austria: Department of Geography and Regional Research, Cartography and Geoinformation

Riedl, A. (2007). *Digital Globes*. In: Cartwright, W., Peterson, M.P., Gartner, G. (eds) Multimedia Cartography, Springer, Berlin, Heidelberg, 255-266. DOI: 10.1007/978-3-540-36651-5_18

Riedl, A. (2012). *State-of-the-art of tactile hyperglobes*. In: Buchroithner, M. True-3D in cartography – autostereoscopic and solid visualisation of geodata, Springer Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, 215–226. DOI: 10.1007/978-3-642-12272-9_14.

Tuttle, B., Sharolyn, A., Huff, R. (2008). *Virtual Globes: An Overview of Their History, Uses, and Future Challenges*. *Geography Compass*, 2, 1478-1505. DOI: 10.1111/j.1749-8198.2008.00131.x.

Vega, K., Wernert, E., Beard, P., Gniady, T., Reagan, D., Boyles, M.J., Eller, C. (2014). *Visualization on Spherical Displays: Challenges and Opportunities*. Proceedings of the IEEE VIS 2014 Arts Program, VISAP'14: Art+Interpretation, Paris, France, November 9th-14th 2014. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Visualization-on-Spherical-Displays-%3A-Challenges-Vega-Wernert/b8c88d29f99c63d8d41d390294eb05bf569fecd8>