



# Collection Space Navigator: интерактивный интерфейс визуализации для многомерных наборов данных

Тиллманн Ом

mail@tillmannohm.com

Факультет цифровых технологий, Таллиннский университет Таллин, Эстония

Андрес Карьюс

Факультет гуманитарных наук Таллинского университета  
Таллинн, Эстония

Мар Канет Соло

mar.canet@tlu.ee

Балтийская школа кино, медиа и искусств, Таллиннский университет Таллинн, Эстония

Максимилиан Ших

Балтийская школа кино, медиа и искусств, Таллиннский университет  
Таллинн, Эстония

## АБСТРАКТ

Мы представляем Collection Space Navigator (CSN), инструмент визуализации на основе браузера для изучения, исследования и курирования больших коллекций визуальных цифровых артефактов, связанных с многомерными данными, такими как векторные вложения или таблицы метаданных. Медиа-объекты, такие как изображения, часто кодируются как числовые векторы на основе метаданных или с использованием вложений машинного обучения. Тем не менее, остается проблема исследования, анализа и понимания полученных многомерных проекций. Методы снижения размерности, такие как t-SNE или UMAP, часто служат для проектирования высокомерных данных в низкоразмерные визуализации, но с ними требуются интерпретации, учитывая их обычно абстрактные измерения. Collection Space Navigator предоставляет настраиваемый интерфейс, который объединяет двумерные проекции с массивом настраиваемых многофункциональных фильтров и элементов управления навигацией. Пользователь может просматривать и исследовать коллекцию, масштабируя и преобразуя между проекциями и фильтруя измерения с помощью ползунков диапазона и текстовых фильтров. Полученные в ходе этих взаимодействий знания можно использовать для дополнения их одних данных с помощью запросов в использовании возможностей экспорта. В эту статью включена функциональная онлайн-демонстрация, демонстрирующая большую цифровую коллекцию классического озадаченного искусства. Пользователи могут переключаться между интерфейсами в соответствии с собственными данными и исследователями потребностями, включая проекции и элементы управления фильтрами. Этот инструмент с открытым исходным кодом предназначен для применения в широком диапазоне вариантов использования, типов коллекций и в различных типах данных.

## КОНЦЕПЦИИ И УЧУ

• Человеко-ориентированные вычисления Визуальная аналитика  
Визуализация информации; Наборы инструментов визуализации.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

визуализация, векторные вложения, метаданные, интерфейс, культурные данные, наборы данных, преобразование текста в изображение, визуализация информации

Оба автора внесли равный вклад

Разрешение на создание цифровых или печатных копий части или всей этой работы для личного или учебного использования предоставляется бесплатно при условии, что копии не будут деланы или распространены с целью получения прибыли или коммерческой выгоды, и что копии будут содержать это уведомление и полную ссылку на первую страницу. Авторские права на сторонние компоненты этой работы должны соблюдаться.

Пытаться амлюбо одуг оис пользования обращайтесь к владельцу/автору(ам).

VINCI 2023, 22–24 сентября 2023 г., Гуанчжоу, Китай © 2023

Авторские права принадлежат владельцу/автору(ам).

ISBN ACM 979-8-4007-0751-3/23/09. [https://](https://doi.org/10.1145/3615522.3615546)

[doi.org/10.1145/3615522.3615546](https://doi.org/10.1145/3615522.3615546)

Формат ссылки ACM:

Тиллманн Ом, Мар Канет Соло, Андрес Карьюс и Максимилиан Ших. 2023. Навигатор проекции коллекций: интерактивный интерфейс визуализации для многомерных наборов данных. В 16-м Международном симпозиуме по визуальной информационной коммуникации и взаимодействию (VINCI 2023), 22–24 сентября 2023 г., Гуанчжоу, Китай. ACM, Нью-Йорк, США, 5 страниц. <https://doi.org/10.1145/3615522.3615546>

## 1 ВВЕДЕНИЕ

Большие коллекции цифровых артефактов, связанных с ними метаданных, можно эффективно изучать с помощью проецируемых интерактивных визуализаций, которые отражают и резонируют с внутренней формой данных [20]. Отображение топологии коллекции в многомерном пространстве может помочь лучше понять общую структуру набора данных и выявить закономерности, указывающие на базовые тенденции и динамику.

Например, исследователь или куратор может визуализировать пространство, сформированное с учетом некоторой степени сходства артефактов, раскрашивая различные группы схожих объектов, чтобы определить области интереса для дальнейшего количественного исследования.

Многомерные векторы признаков могут быть использованы для дальнейшего описания

своих артефактов. Это может включать как категориальную так и числовую информацию. Числовые свойства могут быть получены непосредственно из метаданных, например, в случае дат создания артефактов, или сконструированы с помощью различных методов извлечения признаков.

Многие из этих сетей, например, могут кодировать меры схожести текстовой семантики [8], свойства визуальных изображений [12, 15, 16, 33], совместных вложений пар изображение-текст [27, 29, 35] или спектральных звуковых признаков [28]. Подходы к ручной разработке признаков [41] и алгоритмические подходы, такие как ансамбли жатия [14], предлагают интерпретируемые векторные представления. Визуализация и исследование шаблонов в метаданных, таких как даты создания или приобретения произведений искусства, также могут быть информативными сами по себе [36].

Методы снижения размерности могут использоваться для снижения многомерных данных до более управляемого числа измерений путем перераспределения или проектирования многомерной топологии в координатное пространство меньшей размерности [2, 22, 24, 37, 38]. Для визуальной интерпретации многомерных проекций такие методы проектирования используются для представления данных в двух или трех измерениях, которые по сути могут функционировать как опорная структура исходной многомерной топологии. Задача методов снижения размерности заключается в сохранении сложных взаимосвязей при обязательном жатии информации: объекты, близкие друг к другу в исходном пространстве, в идеале должны также быть близки в пространстве топологической проекции меньшей размерности.

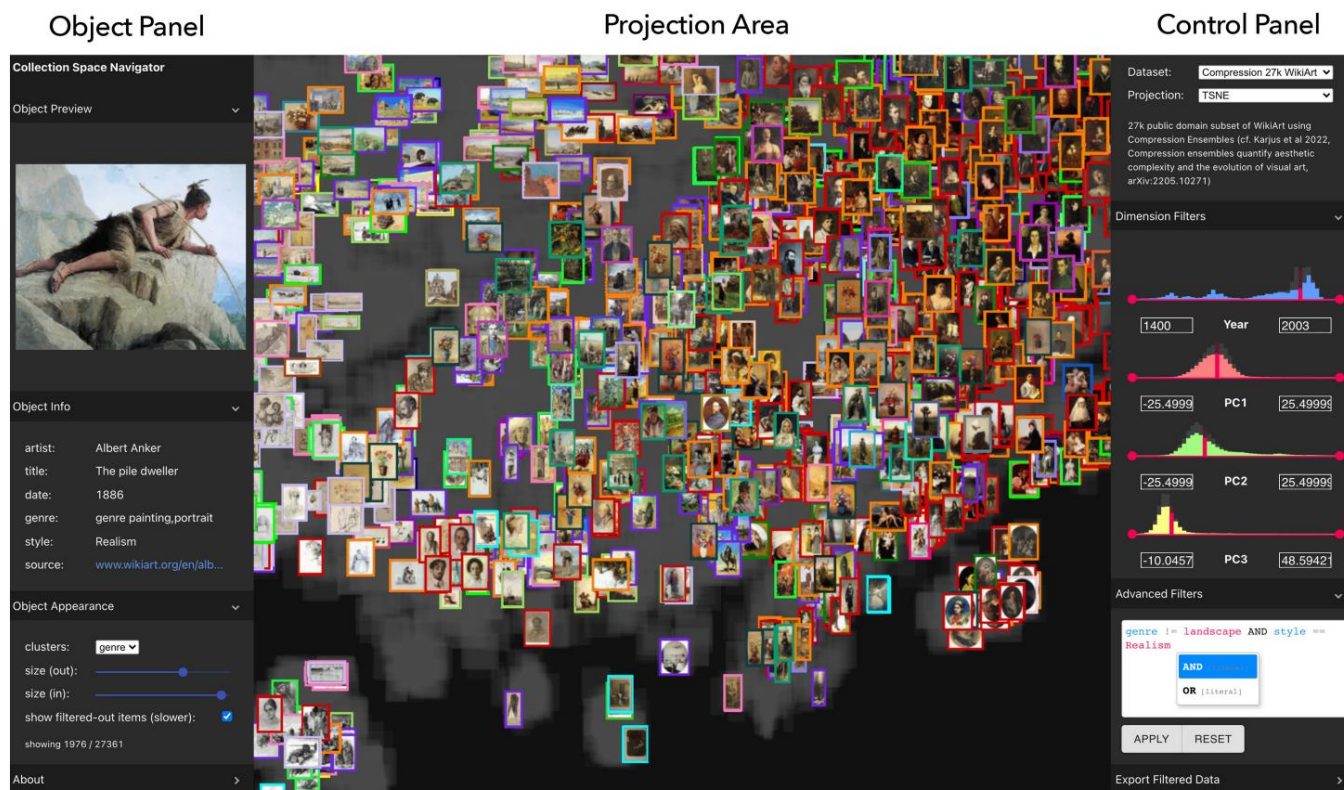


Рис унок 1: Навигатор пространства коллекций (CSN). Центральная проекционная область отображает диаграмму расщепления изображения на основе выбранной проекции (например, UMAP, t-SNE), с отфильтрованными изображениями, выделенными с помощью мыши. Панель объектов (слева) показывает увеличенное изображение объекта, предварительный просмотр выделенного изображения вместе с информацией об объекте на основе выбранных метаданных; Внешний вид объекта визуализирует кластеры (опционально), устанавливает размер эскиза проекции (увеличенный и уменьшенный). Панель управления (справа) позволяет для выбора данных и пронозов; настраиваемые интерактивные фильтры измерений и расширенные фильтры облегчают исследование наборов данных, анализ и понимание (с.м. текст); отфильтрованные метаданные объекта и текущий вид проекции можно загрузить с помощью экспорта отфильтрованных данных.

Несколько проекционных видов могут помочь лучше понять многомерные данные [2]. Двумерные статистические проекции визуализируют сложную структуру данных, но могут дать только ограниченную картину многомерных данных. Чтобы получить интуицию о многомерном векторном пространстве, может быть полезно интерпретировать и сравнивать множество различных проекций. Интерактивные компоненты в графических пользовательских интерфейсах (GUI) могут дополнительно помочь обрести интуицию о сложных взаимодействиях между многими измерениями. Элементы GUI, такие как диапазон ползунков, особенно полезны для навигации по нескольким функциям измерения, а также для запроса и фильтрации данных [1, 40].

## 2 С ВЯЗАННЫЕ РАБОТЫ

Было проведено несколько экспериментов и прототипов интерактивной визуализации, появившихся в последние годы, которые опосредуют взаимодействие между низкоразмерными проекциями. Их фокус различается: некоторые цель — обеспечить интуитивное понимание многомерности и методы внедрения путем визуализации наборов данных, обычно используемых для задач машинного обучения [7, 13, 17, 34] или предлагать исследовательские интерфейсы

пространств с помощью культурных коллекций [9–11, 42]. Эти интерактивные проекты визуализации направлены на обеспечение обзора и более глубокого понимания их коллекций, адаптированных к определенным наборам данных. VIKUS [25, 26] предлагает более общую структуру для исследования культурных коллекций. Позволяет не только раскладывать коллекцию как карту с помощью изображений, но и динамически фильтровать метаданные, такие как время и категории. Самоисследование Проекта Selficity [21] также использует ряд ползунков диапазона для фильтрации многомерного набора данных изображений.

Пользовательский интерфейс CSN соответствует классическим традициям культурной картографии и дизайна научных фигур, используя декартову систему координат. Проекция с осями вспомогательными индексами и выносными деталями [23]. Он сочетает это с современной парадигмой интерактивного дизайна фигур [5, 39], что позволяет обеспечить более глубокий функциональный пользовательский опыт (UX) и понимание многомерных данных. Парадигма навигации и ползунков диапазона CSN, которые функционируют как фильтры измерений, еще больше перекликается с последними достижениями в области понимания математической многомерности посредством интерактивной анимации [30]. CSN объединяет эти осевые парадигмы с ее новыми участием изображений [19]. CSN также функционально похожа на сеть

приложения визуализации, такие как Cytoscape [31], Helios Web [32] или Г ефи [3], которые фокусируются на изображении другой (нордственной) формы многомерности в диаграммах узлов и связей сложных сетей [6].

В связи с этим авторы TensorFlow Embedding Projector

[34] предлагают включить многопанельные проекции, т.е. более одной с инхронная проекционная панель. Это также имело бы смысл как возможное расширение CSN и будет соответствовать расширенности «многодиаграммных» фигурных панелей в междисциплинарной науке журналы [4, 18].

## 3 НАВИГАТОР ПРОСТРАНСТВА КОЛЛЕКЦИЙ

### 3.1 Мотивация

Мы разработали CSN как гибкий браузерный исследовательский инструмент, применимо в различных вариантах использования и областях исследований:

- 1) Исследование больших коллекций цифровых объектов (например, изображений, видео, аудио, текст, 3D-модели) с возможностью идентификации шаблонов и подгрупп на основе метаданных и векторов встраивания;
- 2) Понимание многомерности и методов проекции путем сравнения различных пространств встраивания и методов снижения размерности с помощью интуитивной навигации;
- 3) Представление целых медиакolleкций в Интернете и доведение результатов исследований до разнообразной аудитории.

Хотя для каждого из этих аспектов существуют прототипы и варианты использования, обескуражившиеся выше, мы не знаем инструмента, который бы отвечал всем этим требованиям. Наш вклад поэтому заключается в сочетании и расширении существующих интерфейсов для работы над более универсальной, кросс-платформенной, открытой модульной системой исследований и кураторства. Он высоко оптимизирован и способен отображать большие коллекции с отныне тысяч артефактов даже на потребительском оборудовании.

### 3.2 Принципы проектирования

Сделать сложные взаимодействия в многомерных наборах данных понятными, удовлетворяя при этом разнообразные потребности пользователей, таких как исследователи и кураторы, мы сформулировали три принципа проектирования инструмента:

- 1) Представление открытой модульной системы, которая адаптируется к различным потребностям исследования, домены и наборы данных, предотвращая при этом информационную перегрузку;
- 2) Представление полного обзора коллекции, одновременно обеспечивая углубленное исследование объектов;
- 3) Представление множества механизмов и модальностей взаимодействия для развития интуиции, таких как масштабирование, панорамирование, наведение, и скроллинг по размерам объектов.

### 3.3 Компоненты

3.3.1 Область проекции. Центральная часть интерфейса — область проекции (рис. 1 в центре). Она отображает заданных одну коллекцию объектов в виде миниатюрных изображений на интерактивной двумерной диаграмме рассеяния, с координатами, определенными выбранным методом проекции (рис. 2). Базовые навигационные операции, такие как масштабирование или «перетаскивание и перемещение», позволяют свободно исследовать проекционное пространство. В то время как пользователь видит только 2 измерения в центральной проекционной области, CSN технически включает третьую для глубины. Двигаясь вдоль оси глубины (по

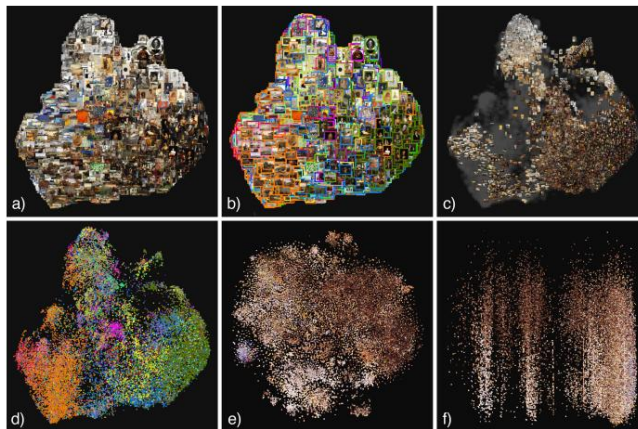


Рисунок 2: Примеры различных 2D-проекций и функций визуализации в инструменте CSN. а) Проекция UMAP с большим количеством миниатюр, обеспечивающая полное представление изображения с детализацией; б) проекция UMAP с миниатюрами среднего размера и категориальными данными, выбранными в Object Appearance; в) проекция UMAP с миниатюрами среднего размера и отфильтрованными объектами среднего размера; г) проекция UMAP с небольшими миниатюрами и категориальными данными, обеспечивающая более компактное представление; е) проекция t-SNE, демонстрирующая альтернативный метод снижения размерности; ф) проекция t-SNE с графиком X/Y, здесь показан главный компонент с течением времени исследования. Этот гибкий инструмент позволяет проводить эффективные исследования и сравнение данных по различным методам визуализации с помощью нескольких различных 2D-проекций. Они гибкие и на основе конфигурации импорта данных, выбираемой в разделе «Данные» & Проекция. Размер миниатюры и выделение кластера могут быть одновременно настроены с помощью настраиваемых параметров.

масштабирование) эффективно показывает перекрывающиеся объекты. Внешний вид миниатюры можно настроить на панели объектов.

3.3.2 Панель объектов. Панель объектов (рис. 1 слева) имеет три раскрывающихся подменю: Предварительный просмотр объекта, Информация об объекте и Внешний вид объекта. Раздел Предварительный просмотр объекта отображает увеличенную версию миниатюры, на которой в данный момент находится курсор в области проекции. По умолчанию просмотр вызывает увеличенную версию той же миниатюры, но его можно настроить на отображение версии наведенного курсора с более высоким разрешением изображения, хранящейся локально или удаленно. Раздел «Информация об объекте» содержит подробную информацию о текущем выбранном объекте. Этот аспект CSN очень гибкий, поскольку поля метаданных, которые предоставляют эту информацию могут быть легко определяются в отдельном файле конфигурации. Минимально он может отображать только имя файла, но оно может также включать в себя обширные метаданные — например, в случае коллекции произведений искусства, автор, производитель, год, место, жанр, стиль и другие детали.

Раздел «Внешний вид объекта» содержит параметры для управления визуальным видом объектов в области проекции. Предопределенная группа (из категориальных метаданных) можно выбрать из раскрывающегося списка для отображения кластеров. Объекты одной категории изображены с той же цветовой рамкой вокруг их миниатюры. Размер и масштаб миниатюры изображений можно регулировать с помощью ползунков. Размер

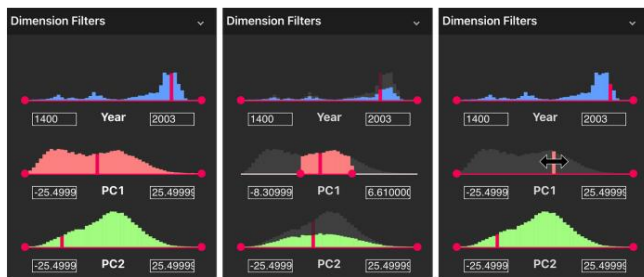


Рисунок 3: Интерактивные фильтры измерений. Слева: Нефильтрованные фильтры измерений, состоящие из ползунков диапазона с интерактивными гистограммами над ними, показывающие распределение всех объектов по измерению ползунком с чейкой текущей выбранной объектом, выделенной красным. В центре: уменьшение диапазона одного ползунка влияет на распределение всех измерений, отраженных гистограммами. Справа: функциональность режима чейки активируется щелчком по гистограмме, позволяя пользователю активировать одну чейку за раз, при этом область проекции отображает соответствующие объекты в активной чейке. Эти интерактивные функции фильтра измерений позволяют проводить углубленное исследование и визуализацию многомерных распределений данных для более глубокого понимания взаимосвязей между точками данных.

определяет, насколько большими должны быть миниатюры при максимальном уменьшении масштаба, тогда как Масштаб влияет на размер при увеличении масштаба.

3.3.3 Панель управления. Панель управления (рис. 1 с права) имеет четыре раскрывающихся подменю: Данные и проекция, Фильтры измерений, Расширенные фильтры и Экспорт отфильтрованных данных. Раздел Данные и проекция содержит раскрывающийся список Набор данных для выбора наборов данных. Для очень больших коллекций мы рекомендуем предоставлять меньший поднабор по умолчанию предлагать весь набор по запросу (такие поднаборы можно удобно создавать с помощью блокнота конфигурации CSN Python).

Раздел также содержит выпадающий список Projection с выбираемыми проекциями и отображениями. Переключение между различными проекциями, например, различными методами внедрения или редукции, плавно перестраивает позиции объектов в Projection Area. Эти интуитивные анимации могут предоставлять новые сведения о промежуточном состоянии между двумя проекциями и выявлять их различия.

Фильтры измерений — это дополнительные интерактивные элементы, которые позволяют функционировать объектов на панели проекции (рис. 3). Они управляют диапазоном назначенных переменных, которые могут быть размерами, встраиваниями, метаданными, такими как дата или год создания художественного произведения, или предполагаемыми свойствами изображения, такими как красочность или контрастность. Гистограммы над ползунками диапазона предоставляют дополнительную статистическую информацию и обратную связь о том, как изменения влияют на распределение отображения. Они постоянно обновляются, чтобы отражать распределение всего набора данных, а также распределение отфильтрованных и неотфильтрованных объектов. Щелчок по гистограмме активирует режим Bin Mode: перемещение курсора по полосам гистограммы временно отображает только объекты в узком диапазоне полосы. Повторный щелчок завершает эту функцию и возвращает фильтры обратно к предыдущему состоянию. Кроме того, наведение курсора на миниатюры

в области проекции выделяется соответствующая вертикальная полоса на каждой гистограмме.

Раздел Advanced Filters представляет собой текстовое поле для построения и применения поисковых и фильтрующих запросов. По умолчанию обрабатывает основные операторы запросов, такие как AND, OR, равно (==), не равно (!=), а также пользовательские операторы. Вложенные и сложные поисковые запросы также поддерживаются с использованием круглых скобок. При настройке CSN для новой коллекции с использованием файла конфигурации (в формате блокнота Jupyter) каждое поле метаданных может быть определено как свободная текстовая запись (включая запросы) или как категориальный выбор (генерирующий раскрывающийся список, т.е. элементы графического интерфейса, которые позволяют выполнять поиск и выбор). Раздел Export Filtered Data на панели управления позволяет загружать метаданные текущих отфильтрованных объектов в виде файла CSV, а текущий вид проекции — в виде файла PNG.

## 4 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

CSN — это гибкий и мощный инструмент для визуализации больших многомерных наборов данных, включая встроенные векторы и метаданные. CSN, доступный публично на Github, включает в себя демонстрационную документацию и использование через интерактивный блокнот Jupyter. Он адаптируется к различным потребностям в исследовании данных, поддерживая различные типы векторов, метаданные, методы проецирования и представления в удобном для пользователя интерфейсе. Хотя мы демонстрируем CSN с использованием визуальных данных, он не ограничивается векторами, полученными из изображений. Он может в равной степени визуализировать вложения или метаданные из аудио или текста, представленные с соответствующими миниатюрами или метками, для исследования невидимых смысловых пространств. CSN имеет открытый исходный код, и мы поощряем разработку и внесение изменений. В заключение следует отметить, что CSN — это исследовательский инструмент для изучения, изучения и курирования больших коллекций цифровых артефактов, который поддерживает междисциплинарные исследования и понимание многомерных систем. пространств

## ДОСТУПНОСТЬ КОДА И ДЕМО-ВЕРСИЯ

CSN выкладывается как лицензия MIT с кодом и документацией.

доступно по адресу <https://github.com/Collection-Space-Navigator/CSN> Демонстрация в реальном времени, использующая те же данные, что и в рисунке на бумаге, доступна по адресу <https://collection-space-navigator.github.io/CSN>

## БЛАГОДАРНОСТИ

TO и MC спроектировали, совместно написали и разработали программное обеспечение Collection Space Navigator. TO, MC, AK и MS внесли вклад в дизайн исследования и совместно написали рукопись. TO, MC и AK собрали данные. TO и MC внесли равный вклад в эту работу как первые авторы. Авторы благодарят Себастьяна Ангерта, Милу Ойву и всю команду CUDAN за полезные беседы и вклад. Все авторы поддерживаются проектом CUDAN ERA Chair, финансируемым через Исследовательскую инновационную программу Европейского Союза Horizon 2020 (грант № 810961).

## ССЫЛКИ

- [1] Кристофер Альберг и Бен Шнейдерман. 1994. Визуальный поиск информации с использованием киноискусства. В сборнике статей «Человеческий фактор в вычислительных системах», 433–434.
- [2] Эсан Амид и Манфред К. Вармут. 2019. TriMap: крупномасштабное снижение размерности с использованием триплетов. Препринт arXiv arXiv:1910.00204 (2019).
- [3] Мэтью Бастиян, Себастьян Эйманн и Мэтью Жакони. 2009. Gephi: программное обеспечение с открытым исходным кодом для исследования и управления сетями. В трудах международной конференции AAAI по веб- и социальным сетям, том 3, 361–362.

- [4] Генрих Карл Вильгельм Бергхаус. 1845. Физический атлас или собрание карт: на которых изображены основные явления географической природы в соответствии с их географическим расположением и расположением. Текст. Том 1. Юттер Пергес.
- [5] Жак Берген. 2010. Семантика рамок, диаграммы, сети, карты.
- [6] Ян Никлас Бём, Филипп Беренс и Дмитрий Кобак. 2022. Спектр притяжения — оттаивания в соседних вложениях. Журнал исследований машинного обучения 23, 95 (2022), 1–32.
- [7] Грант Кастер. 2020. Интерактивная визуализация UMAP наборов данных MNIST. <https://github.com/GrantCuster/umap-explorer>. [Онлайн; доступ 10 мая 2023 г.].
- [8] Джейкоб Девлин, Минг-Вэй Чан, Кентон Ли и Кристина Тутанова. 2018. Берг: Предварительное обучение глубоких двунаправленных трансформаторов для понимания языка. [arXiv:1810.04805](https://arxiv.org/abs/1810.04805) (2018).
- [9] Сирил Диань, Николай Баррадо и Саймон Дурк. 2018. Карта-СНВ. <https://experiments.withgoogle.com/t-sne-map>. [Онлайн; дата обращения 19 июля 2022 г.].
- [10] Дуг Лас. 2017. PixPlot. <https://github.com/yaleDHLab/pix-plot>. [Онлайн; дата обращения 19 июля 2022 г.].
- [11] Катрин Глинка, Кристофер Питч и Мариан Джек. 2017. Прошлые видения и согласие взглядов: визуализация времени, тексты и тем в культурных коллекциях. DHQ: Digital Humanities Quarterly 2 (2017).
- [12] Каймин Хэ, Сянь Чжан, Шоуин Жэнь и Цзянь Чжан. 2016. Глубокое остаточное обучение для распознавания изображений. В *Трудах конференции IEEE по компьютерному зрению и распознаванию образов*. 770–778.
- [13] Зейн Ханг, Дэниел Витчард, Константин Кучер и Андреас Керрен. 2023. VAE+ Embeddings STAR: Современный отчет об использовании Embeddings в визуальной аналитике. В *форуме COMPUTER GRAPHICS*, том 42.
- [14] Андреас Карьяк, Мар Канет Сопла, Тильманн Ом, Себастьян Э. Анерт и Максимилиан Ших. 2023. Комплексные аннотации количественно определяют эстетическую ложность и эволюцию визуального искусства. *EPJ Data Science* 12, 1 (2023), 21.
- [15] Александр Колесников, Лукас Бейер, Сяоюан Чжай, Джон Пучсервер, Джесика Юнг, Сильвен Желли и Нил Хьюлсби. 2020. Большой перенос (бит): общее визуальное репрезентативное обучение. В *Европейской конференции по компьютерному зрению* Springer, 491–507.
- [16] Алекс Крижевский, Илья Суцкевер и Джеффри Э. Хинтон. 2017. Классификация ImageNet с глубокими сверточными нейронными сетями. *Commun. ACM* 60, 6 (2017), 84–90.
- [17] Cloudera Fast Forward Labs. 2019. Протокол Active Learner. <https://activelearner.fastforwardlabs.com>.
- [18] Po-shen Lee, Jevin D West and Bill Howe. 2017. Vizometrics: Анализ визуальной информации в научной литературе. *IEEE Transactions on Big Data* 4, 1 (2017), 117–129.
- [19] Лев Манович. 2012. Как сравнить миллион изображений? В *Understanding digital humanities*. Springer, 249–278.
- [20] Лев Манович. 2012. Визуализация медиа: Визуальные приемы для исследования больших медиаколлекций. *Медиаисследования будущего* 0(2012), 1–21.
- [21] Лев Манович, Мориц Стефанер, Мехмед Яздани, Доминикус Баур, Дэниел Голдмейер, Элис Тифентале, Надав Хохман и Джей Чоу. 2015. The Selfexploratory. <https://selfcity.net/selfexploratory/>. [Онлайн; дата обращения 19 декабря 2022 г.].
- [22] Леланд Маквиннес, Джон Хили и Джеймс Мелвилл. 2018. Umap: Равномерное многообразие аппроксимации и проекции для уменьшения размерности. [arXiv:1802.03426](https://arxiv.org/abs/1802.03426) (2018).
- [23] Джамбаттиста Нолли. 1748. Новая топография Рима Рим.
- [24] Карл Пирсон. 1901. III. Олиния и плоскость, наиболее близких к системам точек в пространстве. *Лондонский, Эдинбургский и Дублинский философский журнал и научный журнал* 2, 11 (1901), 559–572.
- [25] Кристофер Питч. 2017. ВИКУС. Просмотрщик. <https://github.com/cpietsch/vikus-zritely>. [Онлайн; дата обращения 19 июля 2022 г.].
- [26] Кристофер Питч, Виктория Брюггеманн, Марк-Ян Блудай и Мариан Джек. 2020. Визуальное исследование двух музейных коллекций. <https://visualizaiaa.chey-lmusej.org/>. [Онлайн; по состоянию на 19 июля 2022 г.].
- [27] Алек Рэдфорд, Чон Ук Ким, Крис Халлас и, Адитья Рамеш, Габриэль Го, Сандхуни Агарвал, Гирини Шастри, Аманда Акелл, Памела Мишжун, Джек Кларк и др. 2021. Изучение переносимых визуальных моделей с помощью тестирования языкового контроля. В *Международной конференции по машинному обучению PMLR*, 8748–8763.
- [28] Чжао Жэнь, Кунь Цянь, Цзыин Чжан, Ведас Пандит, Элис Бэрд и Бьорн Шуллер. 2018. Глубокое калограмное представление для классификации акустических сцен. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica* 5, 3 (2018), 662–669.
- [29] Робин Ромбак, Андреас Блаттманн, Доминик Лоренц, Патрик Эсер и Бьорн Оммер. 2022. Синтез изображений высокого разрешения с моделями скрытой диффузии. В *Трудах конференции IEEE/CVF по компьютерному зрению и распознаванию образов*. 10684–10695.
- [30] Грант Сандерсон. 2017. Мышление за пределами 10-мерного пространства. <https://www.youtube.com/watch?v=zWAD6dRSvYI>. [Онлайн; дата обращения 19 декабря 2022 г.].
- [31] Пол Шеннон, Эндрю Маркисль, Оуэн Сьюер, Нитин С. Балига, Джонатан Т. Ванг, Дэниел Рэмпейдж, Хара Амин, Бенно Шиковски и Трей Идкер. 2003. Cytoscape: программная среда для интегрированных моделей с сетевой биомолекулярной взаимодействием. *Genome research* 13, 11 (2003), 2498–2504.
- [32] Филиппи Насименто Силва. 2023. Веб-сайт Гелиос <https://github.com/filipinascimento/helios-web>. [Онлайн; дата обращения 10 июля 2023 г.].
- [33] Карен Симонян и Эндрю Зиссерман. 2014. Очень глубокие сверточные сети для распознавания изображений большого масштаба. [arXiv:1409.1556](https://arxiv.org/abs/1409.1556) (2014).
- [34] Дэниел Смитлов, Николас Торат, Чарльз Николсон, Эмили Рейф, Фернандо Б. Виейра и Мартин Ваггенберг. 2016. Проектorstравания: интерактивная визуализация и интерпретация стратифицированных. [arXiv:1611.05469](https://arxiv.org/abs/1611.05469) (2016).
- [35] Яша Соп-Джисгейн, Эрик Вайс, Ниру Махешваранган и Сурия Гангули. 2015. Глубокое неконтролируемое обучение с использованием неравновесной термодинамики. В *Международной конференции по машинному обучению PMLR*, 2256–2265.
- [36] Мар Канет Сопла, Антонина Корепанова, Ксения Мухина и Максимилиан Ших. 2023. Количественная оценка отставания коллекций в европейских музеях с современным искусством. [arXiv:2305.14159](https://arxiv.org/abs/2305.14159) (2023).
- [37] Цзянь Тан, Цзинчжоу Лю Мин Чжан и Цяньчжоу Мэй. 2016. Визуализация крупномасштабных и многомерных данных. В *Трудах 25-й международной конференции по компьютерной графике*. 287–297.
- [38] Лоренс Ван дер Ватен и Джеффри Хинтон. 2008. Визуализация данных с использованием t-SNE. *Журнал исследований машинного обучения* 9, 11 (2008).
- [39] Брет Виттор. 2011. Научная коммуникация как последовательное искусство. <http://worrydream.com/ScientificCommunicationAsSequentialArt>. [Онлайн; дата обращения 10 мая 2023 г.].
- [40] Кристофер Уильямсон и Бен Шнейдерман. 1992. Динамический HomeFinder: Оценка динамических запросов в системе поиска информации о недвижимости. В *Трудах 15-й ежегодной международной конференции ACM SIGIR по исследованиям и разработкам в области поиска информации*. 338–346.
- [41] Цзянь Чжан, Ювэй Мян, Цзыюнь Чжан и Цзыньюй Юй. 2020. Inkhetics: комплексная вычислительная модель для эстетической оценки китайских картин тушью. *IEEE Access* 8 (2020), 225857–225871.
- [42] Аудун Мэйгард. 2017. Визуализация коллекций произведений искусства. <http://auduno.github.io/2018/10/27/visualizing-art-collection/index.html>. [Онлайн; доступ 19 июля 2022 г.].