

УДК 004.946:539.3

Применение технологий смешанной реальности для визуализации трехмерных полей

Макаренков Данил Алексеевич

makarenkovda@student.bmstu.ru

SPIN-код: 5440-2154

Щеглов Георгий Александрович

shcheglov_ga@bmstu.ru

SPIN-код: 3501-7903

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Современные методы численного моделирования позволяют получать большие массивы пространственных данных, описывающих физические поля в различных научных и инженерных задачах. Однако традиционные методы визуализации, основанные на двумерных экранах, ограничивают восприятие сложных трехмерных структур данных. В статье рассматриваются подходы к визуализации трехмерных полей с использованием технологий смешанной реальности (MR). Проводится обзор существующих примеров использования MR для визуализации полей в различных областях. Рассматриваются возможности применения MR для визуализации трехмерных полей напряжений, перемещений и форм колебаний инженерных конструкций. Приведены преимущества и недостатки визуализации полей с использованием MR, по сравнению с традиционными методами.

Ключевые слова: смешанная реальность, трехмерные поля, визуализация данных, инженерный анализ, формы колебаний, поля напряжений

Application of mixed reality technologies for three - dimensional fields visualization

Makarenkov Danil Alekseevich

makarenkovda@student.bmstu.ru

SPIN-code: 5440-2154

Shcheglov Georgy Alexandrovich

shcheglov_ga@bmstu.ru

SPIN-code: 3501-7903

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. Modern numerical modeling methods make it possible to obtain large arrays of spatial data describing physical fields in various scientific and engineering tasks. However, traditional visualization methods based on two-dimensional screens limit the perception of complex three-dimensional data structures. The article discusses approaches to visualization of three-dimensional fields using mixed reality (MR) technologies. An overview of existing examples of using MR to visualize fields in various fields is provided. The possibilities of using MR for visualization of three-dimensional stress fields, displacements and vibration modes of engineering structures are considered. The advantages and disadvantages of visualizing fields using MR, compared with traditional methods, are given.

Keywords: mixed reality, three-dimensional fields, data visualization, engineering analysis, modes of vibration, stress fields

Введение. Визуализация трехмерных полей традиционно осуществляется с помощью двумерных экранов, что ограничивает возможности восприятия. Исследователи вынуждены интерпретировать сложные поля, оценивая плоские проекции на мониторе. Это создает когнитивный разрыв между математической моделью и ее физическим пониманием.

Технологии смешанной реальности (MR — от англ. *mixed reality*), объединяющие физическое окружение с виртуальными объектами, открывают новые возможности для анализа трехмерных полей. Пользователь имеет возможность визуально оценить рассчитываемую модель, увидеть распределение напряжений наблюдать формы колебаний. Благодаря эффекту глубины восприятие виртуального объекта становится ближе к действительности.

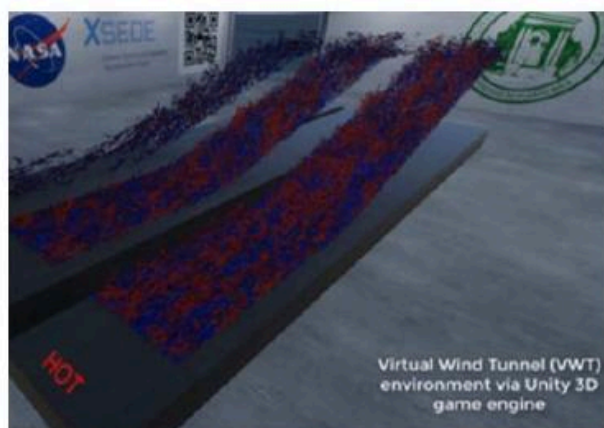
В данной работе рассматриваются современные исследования, использующие MR для визуализации различных типов полей в научных и инженерных задачах. Предлагается использование MR для визуализации результатов конечно-элементного анализа — полей напряжений, перемещений и форм колебаний. Анализируются достоинства и недостатки данного метода визуализации.

Материалы и методы. Проведен анализ литературы и существующих проектов в области MR для визуализации трехмерных полей. Источниками являются научные публикации из рецензируемых журналов и материалов конференций, а также найденные публикации в Research Gate по ключевым словам: “mixed reality”, “fields”. Методология включает сравнительный анализ подходов к визуализации различных типов полей и оценку их эффективности для инженерной практики.

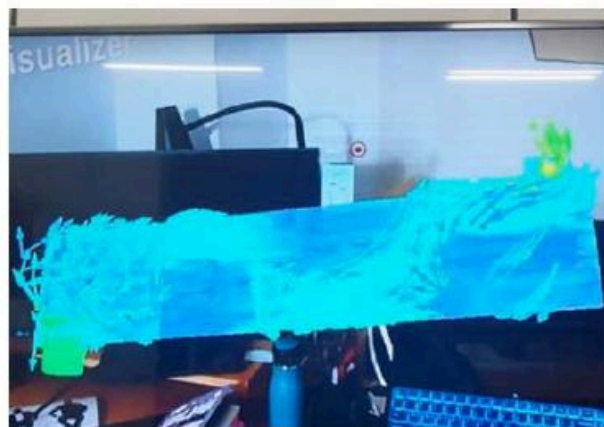
Результаты. Одним из направлений применения смешанной реальности является анализ результатов вычислительной гидродинамики. В исследованиях, посвященных визуализации потоков жидкости и газа [1], разработаны системы, позволяющие отображать результаты CFD-моделирования (рисунок а) в шлеме смешанной реальности. В качестве основы приложения использовался игровой движок Unity. Подобная работа была проведена в области химической инженерии [2], где основой приложения также являлся игровой движок Unity. В работе проводилась демонстрация работы химического реактора (рисунок б).

Реализована система [3], позволяющая отображать силовые линии электрического поля и распределение магнитной индукции (рисунок в). Данное приложение было использовано в школе для учащихся различной возрастной группы. По результатам обратной связи от учеников, три школы официально подтвердили, что приложение эффективно для изучения магнитного поля.

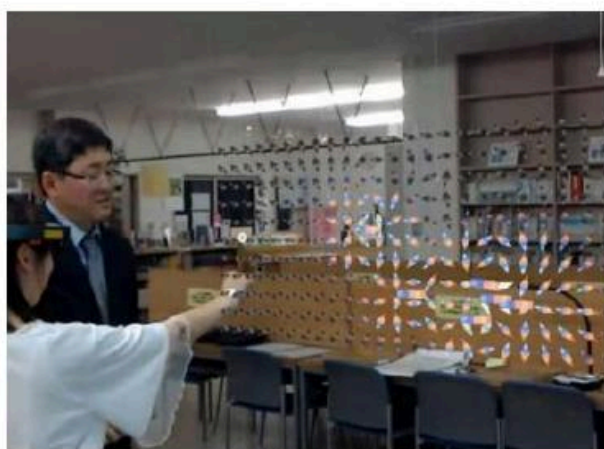
Исследователи из Университета Миннесоты разработали интерфейс “Drawing in the Flow” [4], позволяющий пользователям создавать визуализации потоков (рисунок г) с помощью рисования в MR. Система интерпретирует нарисованные трехмерные штрихи относительно пространства и создает векторное поле.



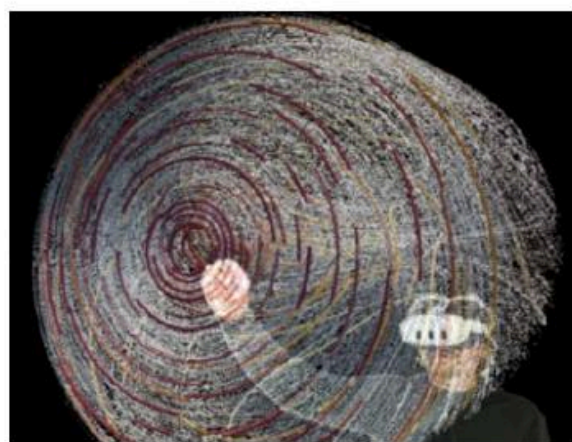
а



б



в



г

Примеры визуализации полей с использованием MR:

а — результаты вычислительной гидродинамики (CFD-моделирование); б — демонстрация работы химического реактора; в — силовые линии электрического поля и распределение магнитной индукции; г — визуализация потоков с помощью рисования в MR

Обсуждение. Анализ существующих исследований показывает, что технологии смешанной реальности успешно применяются для визуализации полей в различных областях. Основным устройством смешанной реальности в большинстве случаев является шлема HoloLens 2 и Meta Quest 3. Процесс создания приложения включает в себя проведение численного моделирования и конвертацию результатов расчета в графический формат (например — gltf/glb), который загружается в игровой движок (Unity или Unreal Engine 5), где производится настройка способов взаимодействия с объектом исследования. По результатам анализа сделан вывод, что использование MR для визуализации положительно сказывается на восприятии сложных трехмерных данных.

В инженерных задачах, связанных с анализом напряженно-деформированного состояния конструкций, использование смешанной реальности может облегчить интерпретацию результатов расчетов и повысить эффективность принятия инженерных решений. В MR инженер может разместить виртуальную копию рассчитываемой детали или конструкции [5]. Например, при расчете корпуса редуктора можно увидеть распределение напряжений

на виртуальной геометрической модели заготовки. Данная визуализация позволяет быстрее выявлять опасные зоны концентрации напряжений, особенно в сложных деталях с криволинейными поверхностями.

Помимо полей напряжений или перемещений предлагается использование MR для визуализации форм колебаний. Например, при расчете корпуса летательного аппарата или крыла самолета можно увидеть, как именно колеблется конструкция на различных собственных частотах с цветовой индикацией. Это позволяет лучше понять динамическое поведение конструкции и выявить проблемы, которые могут быть неочевидны при анализе на экране.

Заключение. В работе рассмотрены возможности применения технологий MR для визуализации трехмерных полей. Проведен анализ существующих примеров в различных областях. Основными преимуществами использования MR являются улучшение восприятия данных, возможность интерактивного взаимодействия и повышение наглядности результатов анализа.

Из недостатков стоит отметить высокое требование к вычислительным ресурсам средств MR при работе со сложными данными, необходимость предварительной подготовки данных и ограниченную распространенность в инженерной практике. Ожидается, что по мере развития технологий и средств смешанной реальности, возможности пользователя и разработчика будут многократно увеличены, что исключит большую часть перечисленных недостатков.

Список источников

- [1] Sandeep S., Antron B., Paeres D., Araya G. Remote Visualization and Optimization of Fluid Dynamics Using Mixed Reality. *Applied Sciences*, 2025, vol. 15. <https://doi.org/10.3390/app15169017>
- [2] Gbadago D.Q., Moon J., Hwang S. Mixed Reality-based chemical reactor visualization. *IFAC-PapersOnLine*, 2022, vol. 52, pp. 580–585. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.07.506>
- [3] Ueda T. Practices and Improvements of Lesson using Magnetic field Visualization by Mixed Reality (MR) technology. 2019.
- [4] Sands W., Dorr S., Tran K., Keefe D.F. Drawing in the Flow: A Data-Aware Mixed-Reality Sketching Interface for Illustrative 3D Flow Visualization. *IEEE VIS Short Papers*, 2025. URL: <https://ivlab.cs.umn.edu/Sands-2025-DrawingInTheFlow.html> (accessed 12.01.2026).
- [5] Poh E., Liong K., Lee J. Mixed Reality Interface for Load Application in Finite Element Analysis. *Social Computing and Social Media: Experience Design and Social Network Analysis. HCI 2021. Lecture Notes in Computer Science*, 2021, vol. 12774, pp. 470–483. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77626-8_32