

УДК 004.5

ДВУХУРОВНЕВАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ИНТЕРФЕЙСА ЗАДАЧ РЕАБИЛИТАЦИОННОГО ТРЕНАЖЕРА

К. И. ПАТУТИН, А. С. НИКИТИНА, Я. В. Х. МЕРКУРЬЕВ
Научный руководитель А. Д. ОБУХОВ, д-р техн. наук, проф.
Тамбовский государственный технический университет
Тамбов, Россия

Современные реабилитационные тренажеры представляют собой программно-аппаратные комплексы, в которых виртуальная среда тренировки формируется и управляется в реальном времени. Ключевую роль в этом играет человеко-машинный интерфейс задач (ЧМИ задач) – подсистема, которая отвечает за наполнение виртуальной сцены [1], проецируемой на поверхность беговой дорожки [2]. Он функционально обособлен от ЧМИ нагрузки (сбор двигательных данных) и ЧМИ управления (взаимодействие оператора с оборудованием). Для их согласованной работы необходима систематизация информационных ресурсов ЧМИ задач, т. к. от их структуры напрямую зависят качество обратной связи с пользователем, управляемость тренировочного процесса и возможность адаптивной подстройки среды.

Предлагается двухуровневая классификация ресурсов. На верхнем уровне критерием выступает направление потока данных относительно ЧМИ задач, что позволяет разграничить данные, потребляемые подсистемой извне, и данные, циркулирующие в её внутреннем контуре. По этому критерию ресурсы разделены на ресурсы состояния (входящие) и ресурсы управления (внутренние). На втором уровне ресурсы управления делятся по способу образования на задаваемые (статические и динамические) и вычисляемые.

Ресурсы состояния – это внешние по отношению к ЧМИ задач данные, поступающие от смежных подсистем тренажёра: ЧМИ нагрузки и ЧМИ управления. Они описывают текущий контекст тренировки, на основании которого ЧМИ задач определяет реакцию виртуальной среды.

От ЧМИ нагрузки поступают текущие параметры пользователя: координаты положения стоп и положение центра давления. Эти данные образуют непрерывный поток, обеспечивающий синхронизацию виртуальной сцены с реальными движениями пользователя. От ЧМИ управления поступает команда управления тренировочной сессией (старт/стоп/пауза). Этот сигнал задает режим работы ЧМИ задач, синхронизируя состояние виртуальной сцены с фазой тренировки.

Ресурсы управления – это данные, циркулирующие в контуре ЧМИ задач и непосредственно определяющие вид, поведение и адаптивность виртуальной сцены. По способу образования они разделены на задаваемые и вычисляемые.

Задаваемые ресурсы загружаются в ЧМИ задач извне или устанавливаются оператором и образуют фундамент виртуальной сцены. Они, в свою очередь, делятся на статические и динамические. К статическим ресурсам относятся те

ресурсы, которые не изменяются в ходе сессии, к примеру графический контент (фон, препятствия, целевые метки), логика сценария реабилитации и множество сцен, привязанных к клиническим задачам реабилитации.

За настройки поведения сценария отвечают динамические ресурсы. К ним относятся номер активной сцены и набор параметров данной сцены (привязка к скорости беговой дорожки, частота препятствий, габариты и расположение целевых зон). Такие ресурсы могут изменяться во время сессии, т. е. адаптивно перестраиваться на основе вычисляемых данных без вмешательства оператора, закладывая механизм автоматического подбора сложности и отслеживания прогресса пользователя.

Вычисляемые данные возникают внутри ЧМИ задач, когда система сопоставляет ресурсы состояния и задаваемые ресурсы управления. К таким ресурсам можно отнести: попадание стопы в область виртуального объекта; классификация действия и индикация её цветом виртуального объекта; сигнализирующего об успехе или предупреждающего об ошибочности данного движения. Эти ресурсы поступают в ЧМИ оператора и на их основе вычисляются итоговые метрики для оценки реабилитационного эффекта. Также эти ресурсы обеспечивают пользователю обратную связь, предоставляя ему визуальную реакцию на его движение.

В работе предложена двухуровневая классификация, которая задает формализованную структуру информационных ресурсов ЧМИ задач, закрепляя состав и направление потоков данных между элементами реабилитационного тренажера. Такая формализация закладывает основу для построения адаптивных сценариев, автоматически подстраивающих сложность среды под прогресс пользователя [3], что позволит сократить сроки восстановления статодинамических функций пользователя реабилитационного тренажера.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта «Разработка медицинских VR тренажерных систем для опорно-двигательной реабилитации с биологической обратной связью» (№ 124032800018-5).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Карпушкин, С. В.** Выбор структуры и параметров систем визуализации тренажерных комплексов / С. В. Карпушкин, А. Д. Обухов, А. Е. Архипов // Инженерные технологии. – 2023. – № 2 (2). – С. 41–51.
2. **Obukhov, A.** Development of Control Algorithms for an Adaptive Running Platform for a Musculoskeletal Rehabilitation System / A. Obukhov, A. Volkov // Sensors. – 2025. – Vol. 25. – P. 6667.
3. **Волков, А. А.** Алгоритм адаптации виртуальной сцены и имитационных компонентов в системе опорно-двигательной реабилитации / А. А. Волков, Я. В. Х. Меркурьев, К. И. Патутин // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 10–12 нояб. 2025 г. – Тамбов : Тамбов. гос. техн. ун-т, 2025. – С. 183–186.