

## Приложение на имерсивните технологии в обучението по компютърни мрежи

Апостол Тодоров, Ваня Стойкова

### The Application of Immersive Technologies in Teaching Computer Networks

Apostol Todorov, Vanya Stoykova

#### Abstract:

Computer networks are a fundamental subject in engineering education, studied by students across all disciplines within the fields of communication and computer engineering. However, for many learners, these communication environments remain conceptually abstract due to the invisible nature of network processes and protocols, the layered architecture, and the overall difficulty of linking theoretical knowledge to the organization and real-world behavior of networks. Traditional teaching approaches, such as lectures, static diagrams, and limited access to physical laboratories, are often insufficient for developing a deep, experiential understanding of network processes, including packet transmission, media access methods, routing, error control, and others.

This paper aims to explore the potential of a CAVE-based virtual learning environment to enhance students' conceptual understanding, practical skills, and engagement in computer networks education, with a view toward evaluating its effectiveness compared to traditional teaching approaches in future work.

**Keywords:** Computer Networks, Virtual Reality, CAVE, Immersive Learning, VR Education

**For contacts:** Apostol Todorov, Trakia University, [apostol.todorov@trakia-uni.bg](mailto:apostol.todorov@trakia-uni.bg)

#### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Компютърните мрежи са фундаментална учебна дисциплина и се изучават от студентите от всички специалности от областта на комуникационната и компютърна техника. За голяма част от обучаемите обаче, тези комуникационни среди остават концептуално абстрактни поради невидимата природа на процесите и протоколите, слоестия модел и като цяло трудността да се свърже теоретичното знание с организацията и реалното поведение на мрежите. Традиционните подходи като лекции, статични диаграми и ограничен достъп до физически лаборатории, често са недостатъчни за осигуряване на дълбоко, емпирично разбиране на мрежовите процеси като пренасяне на пакети, методи за достъп до преносната среда, маршрутизиране, контрол на грешките и др. Технологиите за виртуална реалност (VR) се утвърждават като ефективни инструменти за създаване на потапящи, интерактивни учебни среди. Съществуващите VR решения обаче обикновено се ограничават до изолирани визуализации или опростени симулации и не използват пълноценно пространствената имерсия и съвместното взаимодействие. CAVE (Cave Automatic Virtual Environment), със своята стая с проекционни стени и възможности за многопотребителско взаимодействие, предоставя възможност за създаване на споделено виртуално пространство, в което студентите могат да се запознаят и изследват сложни топологии, да визуализират поведението на мрежовите процеси, да отстраняват неизправности и да разбират абстрактни концепции чрез физическо взаимодействие. Въпреки този потенциал липсват изследвания за това как CAVE средите могат да бъдат проектирани така, че да подпомагат обучението по компютърни мрежи, кои методи и технологии ще са най-ефективни. На лице е

и необходимост от сравняване на успеваемостта и активността на студентите при използване на тези среди и при традиционното обучение с desktop-базирани симулации.

Въпреки нарастващия интерес към VR технологиите в образованието, тяхното приложение в обучението по компютърни мрежи остава ограничено. Съществуващите решения често се фокусират върху изолирани визуализации или базови симулации и рядко използват пълния потенциал на пространственото потапяне, въплътеното взаимодействие и съвместното обучение. Налице е необходимост от разработване на имерсивни учебни среди, които не само визуализират мрежовите процеси, но и позволяват активно взаимодействие с тях. Това включва възможност за пространствено изследване на топологии, визуализация на пакетен поток, troubleshooting сценарии, симулация на методи за достъп до медията и работа с виртуална инфраструктура.

Целта на доклада е да се проучат възможностите за приложение на CAVE-базирана виртуална учебна среда, която да подобри концептуалното разбиране, практическите умения и активността (ангажираността) на студентите при обучението по компютърни мрежи, с тенденция да бъде изследвана на следващ етап и ефективността ѝ в сравнение с традиционните подходи на обучение.

## **2. ПРЕГЛЕД НА ЛИТЕРАТУРАТА**

В литературните източници, свързани с темата се разглеждат различни аспекти на ученето чрез визуализация и активно участие на обучаемите. В теорията Kolb [1] си подчертава, че ефективното обучение се постига чрез активно взаимодействие със средата, а не чрез пасивно възприемане на информация. Той представя ученето като цикличен процес, основан на преживяване, рефлексия, концептуализация и активно експериментиране. Този модел е особено подходящ за VR и CAVE среди, тъй като те позволяват на обучаемите да участват директно в симулирани ситуации и практически задачи. В контекста на компютърните мрежи това подпомага изграждането на по-дълбоки ментални модели и практически умения. Radianti [2] и съавтори в своите изследвания представят систематичен преглед на приложенията на имерсивната виртуална реалност във висшето образование. Авторите анализират различни VR системи, използвани в STEM дисциплини, и установяват, че VR подобрява пространственото разбиране, ангажираността и практическите умения на студентите. Изследването подчертава значението на педагогическия дизайн и интерактивността за постигане на ефективни учебни резултати. Авторите идентифицират липса на достатъчно изследвания в специфични инженерни области, включително компютърните мрежи. Makransky и Petersen [3] извършват мета-анализ на изследвания, свързани с VR и обучението. Те установяват, че виртуалната реалност значително повишава мотивацията, усещането за присъствие и ангажираността на обучаемите. Въпреки това резултатите показват, че повишеното потапяне не винаги води автоматично до по-добри учебни постижения. Авторите подчертават, че ефективността на VR зависи в голяма степен от начина, по който технологията е интегрирана в учебния процес. Това е важно при разработването на CAVE-базирани среди за обучение по компютърни мрежи. В свои разработки de Back [4] и съавтори изследват влиянието на CAVE средите върху учебния процес и

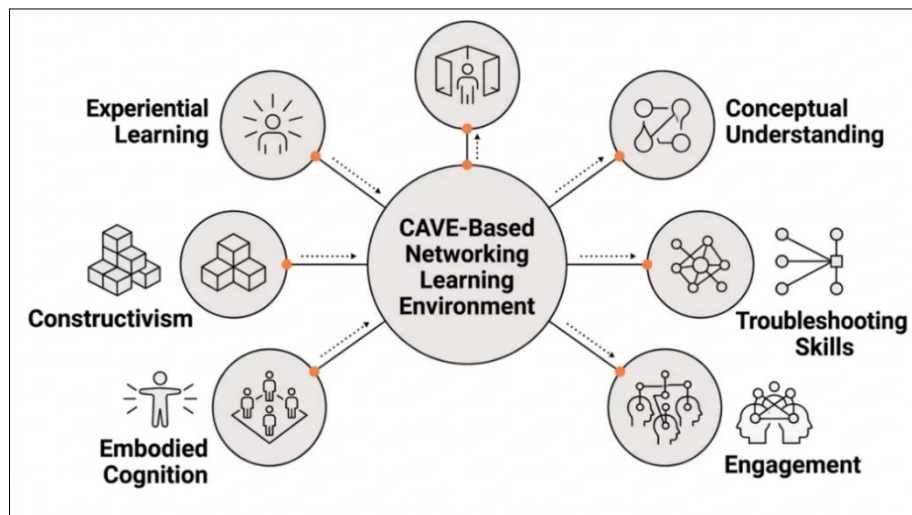
пространственото разбиране. Резултатите показват, че обучаемите в CAVE постигат по-добри резултати в сравнение с традиционните методи, особено при задачи, изискващи пространствено мислене. Изследването също така показва, че имерсивните среди могат да намалят когнитивните бариери при студенти с по-ниски пространствени способности. Авторите заключават, че CAVE системите са особено подходящи за визуализация на сложни и динамични процеси.

По отношение на обучението по компютърни мрежи широко използвана е симулационния софтуер Cisco Packet Tracer [5], който предоставя възможност за визуализация както на логическата, така и на физическата мрежова инфраструктура чрез Physical Mode. Документацията описва как студентите могат да взаимодействат с виртуални комуникационни шкафове, кабели, рутери и комутатори в 3D среда. Това подпомага разбирането на връзката между логическите конфигурации и физическата инфраструктура. Physical Mode се разглежда като важна стъпка към по-реалистични имерсивни среди за обучение по компютърни мрежи.

Въпреки тези резултати, почти липсват изследвания върху реални, практически задачи. Повечето системи използват опростени визуализации. Има недостиг на директни емпирични сравнения между CAVE и традиционни мрежови симулации. Липсват ясни рамки за внедряване, което затруднява практическото приложение на тези технологии в образованието.

### 3. ТЕОРЕТИЧНА И КОНЦЕПТУАЛНА РАМКА

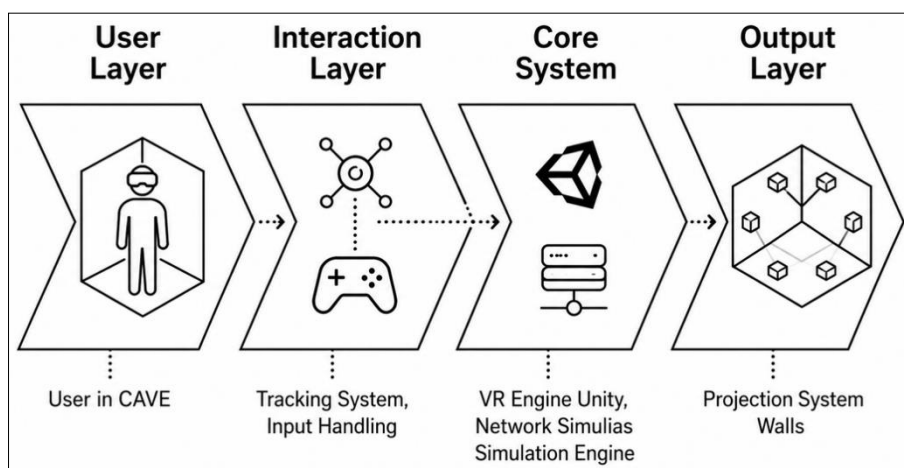
Това изследване се основава на три ключови теории. Всяка от тях подкрепя ученето чрез взаимодействие и опит. **Учене чрез преживяване** - студентите учат най-добре чрез действие и осмисляне. CAVE позволява директно взаимодействие с поведението на мрежата. **Конструктивизъм** - знанието се изгражда чрез активно участие. Студентите изследват, тестват и откриват, вместо пасивно да наблюдават. **Въплътено познание** - физическото движение подпомага когнитивното разбиране. Навигирането в мрежа пространствено укрепва мисловните модели. Трите теоретични стълба се сливат в CAVE средата, където имерсивното взаимодействие, пространствената навигация и съвместните задачи се превръщат директно в измерими резултати от обучението (Фиг. 1). Настоящото изследване предлага концептуална рамка за приложение на CAVE-базирана имерсивна среда в обучението по компютърни мрежи. Основната идея на рамката е да трансформира традиционно абстрактните и невидими мрежови процеси в пространствени, интерактивни и визуално достъпни учебни преживявания. Предложеният модел комбинира: пространствена визуализация; активно взаимодействие; въплътено познание; съвместно обучение; симулация на динамични мрежови процеси. Целта е обучаемите не само да наблюдават мрежовото поведение, но и активно да взаимодействат с него в реално време.



Фиг. 1. Рамка – от теория към резултат

### 3.1 Системна архитектура

Системата е проектирана като многослойна архитектура, която свързва потребителя с имерсивна симулационна среда. На ниво потребител имаме студента в CAVE, който е физически потопен в средата. Следва слой за взаимодействие, който включва tracking системата и управлението на входа – тук се улавят движенията и действията на студента. Тези данни се подават към основната система, където VR енджинът и симулацията на мрежата обработват поведението и генерират динамичен отговор. Накрая, резултатът се визуализира чрез прожекционната система върху стените на CAVE, затваряйки цикъла на взаимодействие. Тази архитектура позволява не просто наблюдение, а активно участие в симулирана мрежова среда (Фиг. 2).

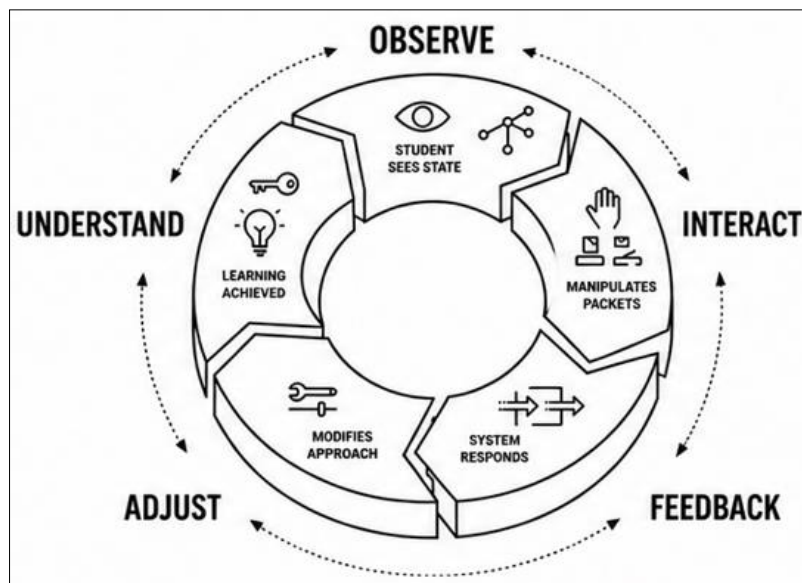


Фиг. 2. Системна архитектура

### 3.2 Модел на учебен процес

Върху тази техническа основа се изгражда и учебният процес. Той следва цикъл от пет стъпки: първо обучаемият наблюдава състоянието на системата, след това взаимодейства чрез действия като манипулиране на пакети. Системата реагира и предоставя обратна връзка, което позволява на студента да коригира подхода си. В крайна сметка това води до по-дълбоко разбиране на процесите. Този цикличен модел, вдъхновен от опитното учене на Колб ни гарантира, че всяко взаимодействие в CAVE генерира незабавна обратна връзка, стимулирайки

итеративното разбиране, а не пасивното усвояване (Фиг. 3).



Фиг. 3. Цикъл на учебно взаимодействие

### 3.3 Приложения на CAVE

Предвижда се реализирането на седем сценария, които да демонстрират как потапянето във виртуалната среда може да подпомогне различни аспекти на мрежовото образование: Изследване на мрежова топология; Визуализация на пътя на пакета; Сценарии за отстраняване на неизправности; Операции във виртуален център за данни; Режим „Бъди рутерът“; Съвместна мрежова лаборатория; Симулация на кибератака и защита, подробно описани в други наши разработки.

### 3.4 Методология на изследването

Изследването използва смесен методологичен подход, като комбинира количествени и качествени данни. Първо разработваме CAVE среда и провеждаме пилотно тестване, за да валидираме използваемостта. Следва експериментално сравнение между група, която използва CAVE, и група с традиционни методи. Резултатите се измерват чрез тестове преди и след обучението и чрез представянето на обучаемите при изпълнение на задачи. Като допълнение се предвиждат и анкетни проучвания, за да установи как студентите възприемат обучението (Фиг. 4).



Фиг. 4. Методология на изследването

### 3.5 Хипотези

На база на този дизайн формулираме три основни хипотези. Очакваме подобрения в концептуалното разбиране, отстраняването на проблеми и ангажираността. Тези подобрения формират основната оценка на системата. Допълнително изследването разглежда и три вторични хипотези. Изследваме пространствените способности, присъствието и сътрудничеството. Тези хипотези позволяват не само да се оцени ефективността, но и да се разберат механизмите зад нея.

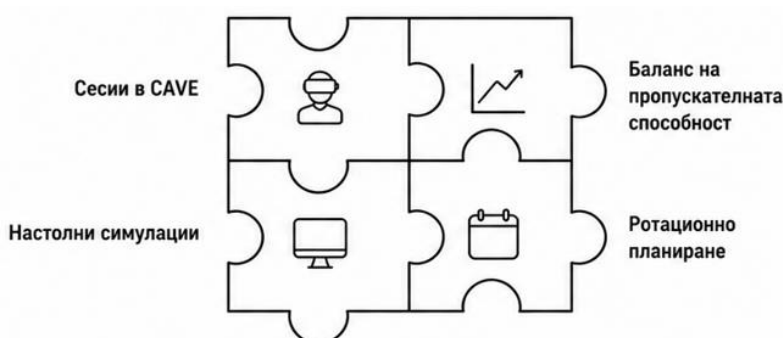
## 4. ПРЕДИМСТВА И ОГРАНИЧЕНИЯ

Ключовите предимства на виртуалната среда включват безопасност, повторяемост, отдалечен достъп и подобро пространствено разбиране. Това е трудно постижимо в традиционните лаборатории. Необходимо е да се вземат предвид и някои ключови ограничения, включително цена, мащабируемост и ефект на новост. CAVE системите изискват високопроизводителен хардуер. Освен това те не са широко достъпни. В сравнение с други методи, CAVE предлага висока степен на потапяне, но ниска мащабируемост. Това подчертава необходимостта от стратегическо използване (Табл. 1).

Таблица 1. Сравнение на мащабируемостта

Подход	Разход	Мащабируемост	Потапяне	Сътрудничество
Традиционни лаборатории	Среден	Висока	Ниско	Средно
Настолни симулатори	Нисък	Много висока	Много ниско	Ниско
HMD VR	Среден	Средна	Високо	Ниско
CAVE	Много висок	Ниска	Много високо	Много високо

Хибридният подход комбинира CAVE сесии с традиционни инструменти. Това балансира разходите, мащабируемостта и обучителната стойност (Фиг. 5).



Фиг. 5 Хибриден модел

## 5. ДИСКУСИЯ

Имерсивните технологии не трябва да се разглеждат като заместител на традиционните лаборатории, а като допълващ инструмент. Най-големият им потенциал е свързан с визуализацията на абстрактни процеси и развитието на пространствено разбиране. В това отношение хибридният модел, комбиниращ теория, VR и реална практика, се очертава като най-перспективен.

## **6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Настоящото изследване разглежда приложението на имерсивните технологии в обучението по компютърни мрежи и представя CAVE като перспективна платформа за визуализация и активно обучение. Концептуалната рамка и предложените сценарии, тяхната реализация и изследване целят да докажат потенциала за подобряване на концептуалното разбиране, практическите умения и ангажираността на студентите. Въпреки ограниченията, свързани с цена и достъпност, имерсивните технологии представляват обещаващо направление за бъдещо развитие на инженерното образование.

## **БЛАГОДАРНОСТИ**

Настоящото изследване е осъществено с подкрепата на проекти №1ФТТ/2023 г. „Подобряване на нивото на дигитализация при оценка на данни от експерименти“ и №1ФТТ/2025 „Приложение на автоматизирани системи в екологичното и устойчиво производство“. Авторите изразяват своята благодарност за предоставената финансова и институционална подкрепа.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. D. A. Kolb, *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*, Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice Hall, 1984.
2. J. Radianti, T. A. Majchrzak, J. Fromm, and I. Wohlgenannt, “Virtual reality applications for higher education: A systematic review,” *Computers & Education*, vol. 147, Art. no. 103778, 2020.
3. G. Makransky and G. B. Petersen, “Immersive virtual reality and learning: A meta-analysis” *Educational Psychology Review*, vol. 31, no. 2, pp. 531–549, 2019.
4. T. T. de Back, A. M. Tinga, and M. M. Louwerse, “CAVE-based immersive learning in undergraduate courses: Examining the effect of group size and time of application,” *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, vol. 18, no. 1, 2021.
5. Cisco Systems, “Cisco Packet Tracer – Physical Mode Documentation” Cisco Networking Academy, 2023.