

# Revisão Sistemática das Aplicações Imersivas com base nas Tecnologias Habilitadoras B5G/6G, MEC e IA

André Luiz de J. Gonçalves<sup>1</sup>, Antonio Oliveira-Jr<sup>1,2</sup>, Leandro A. Freitas<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Informática – Universidade Federal de Goiás (UFG),

<sup>2</sup>Fraunhofer Portugal AICOS, Porto, Portugal

<sup>3</sup>Instituto Federal de Goiás (IFG), GO, Brasil

andre.goncalves@discente.ufg.br, antoniojr@ufg.br,

leandro.freitas@ifg.edu.br,

**Abstract.** *This systematic review aims to primarily identify studies addressing issues related to immersive applications based on enabling technologies such as B5G/6G, MEC, and AI. The motivation is to comprehend the advancements in this field and identify emerging solutions and knowledge gaps. The results obtained indicate the predominance of Deep Reinforcement Learning techniques in addressing network solutions based on multi-access edge computing to enable immersive applications. It is expected that this systematic review contributes to a better understanding of the current state of immersive applications and informs future research in this area.*

**Resumo.** *Esta revisão sistemática tem como objetivo principal identificar estudos que abordem questões relacionadas às aplicações imersivas com base nas tecnologias habilitadoras B5G/6G, MEC e IA. A motivação é compreender os avanços realizados nesse campo e identificar soluções emergentes e lacunas de conhecimento. Os resultados obtidos indicam a predominância do uso da técnica de Aprendizado por Reforço Profundo para abordar soluções de rede baseadas na computação de borda de múltiplo acesso, a fim de viabilizar as aplicações imersivas. Espera-se que esta revisão sistemática contribua para uma melhor compreensão do estado atual das aplicações imersivas e para pesquisas futuras relacionadas ao tema.*

## 1. Introdução

A evolução das redes celulares trouxe inovações para atender às diversas demandas da indústria, destacando-se as redes de quinta geração (5G), capazes de suportar uma ampla gama de serviços [Liu et al. 2022]. Nesse contexto, as aplicações de Realidade Estendida (XR) se destacam, combinando elementos do mundo real e virtual para proporcionar experiências imersivas [Zhang et al. 2023] [Song et al. 2022].

No passado, sistemas XR dependiam de conexões com fio devido às limitações das redes 4G. Contudo, as redes 5G permitiram a conexão sem fio de dispositivos XR a servidores de borda, possibilitando processamento e armazenamento local para melhorar o desempenho [Maier et al. 2020].

A arquitetura de renderização dividida proposta pelo 3rd Generation Partnership Project (3GPP), na qual o tráfego XR é enviado intermitentemente para servidores de

borda, pode resultar em atrasos e problemas de transmissão, afetando a experiência do usuário [Song et al. 2022]. Entretanto, com a chegada das redes de sexta geração (6G), espera-se atender às crescentes demandas das aplicações imersivas, oferecendo comunicações hiperconectadas e inteligentes [Liu et al. 2022].

Ao considerar essa perspectiva, a pesquisa proposta busca compreender o potencial impacto das tecnologias pós-quinta geração de redes móveis (B5G) ou mesmo das redes de sexta geração, da Computação de Borda de Múltiplo Acesso (MEC) e da Inteligência Artificial (IA) no avanço de aplicações imersivas. O objetivo principal é conduzir uma análise de estudos que explorem a sinergia entre essas tecnologias, com a intenção de identificar interações e efeitos combinados capazes de aprimorar a experiência em ambientes digitais imersivos.

Este artigo está organizado da seguinte forma: na Seção II, apresenta-se a metodologia utilizada para a seleção e análise dos estudos. A Seção III apresenta os resultados obtidos. E por fim, na Seção V, é apresentada a conclusão do estudo.

## 2. Metodologia

Para a condução da pesquisa, foi definido o método empírico, que foi colocado em prática por meio da realização de uma Revisão Sistemática da Literatura.

A metodologia utilizada baseou-se nas diretrizes e no modelo do Protocolo para Revisões Sistemáticas da Literatura em Engenharia de Software [Kitchenham et al. 2007]. Esse processo envolveu a realização de diversas etapas organizadas em três fases principais: o planejamento, a execução e a apresentação dos resultados obtidos, descritos a seguir.

### 2.1. Planejamento

A fase inicial deste estudo foi dedicada ao planejamento, momento em que realizou-se a leitura e análise de estudos abrangentes, proporcionando uma visão panorâmica antes de adentrar em tópicos mais específicos, aprimorando a compreensão do contexto.

A partir desta análise, por meio da Tabela 1 é apresentada uma comparação entre os trabalhos que embasaram as pesquisas preliminares, que culminaram na condução desta revisão sistemática.

Inicialmente foram definidos os objetivos da revisão sistemática e formuladas as questões de pesquisa, as quais orientaram as análises subsequentes. Em seguida, foram selecionadas as fontes digitais de pesquisa e definidas as strings de busca. Na sequência, foram definidos os critérios de inclusão e exclusão de estudos. Posteriormente, ainda na fase de planejamento, foi definida a utilização de duas importantes ferramentas: o Parsifal, uma plataforma online que oferece a documentação dos processos, e o Zotero, um software de gerenciamento de referências e pesquisa.

**Tabela 1. Comparação entre Trabalhos Relacionados**

Trabalhos Relacionados	B5G/6G	MEC	Técnica de IA	Requisitos
[Siriwardhana et al. 2021]	x	x		x
[Yazici et al. 2023]	x	x	x	
[Cardoso et al. 2023]	x	x		x
Revisão sistemática proposta	x	x	x	x

### 2.1.1. Objetivos

A pesquisa tem como objetivo principal identificar estudos que tratam das aplicações imersivas com base nas tecnologias habilitadoras B5G/6G, MEC e IA. Os objetivos específicos incluem a identificação de requisitos para o desenvolvimento dessas aplicações, a exploração de áreas promissoras, a compreensão dos desafios técnicos, éticos e de usabilidade, e a identificação dos avanços alcançados, soluções emergentes e lacunas do conhecimento.

### 2.1.2. Questões de pesquisa

Com o propósito de analisar estudos que abordam aplicações imersivas sob a perspectiva da alta confiabilidade de transmissão, foram estabelecidas quatro Questões de Pesquisa (QP), conforme a Tabela 2.

A resposta a essas questões desempenha um papel fundamental na obtenção de uma compreensão abrangente das aplicações imersivas, abordando seus requisitos, vantagens, possíveis aplicações e desafios. Cada uma dessas questões aborda um aspecto relevante que contribui para o avanço do conhecimento nesse domínio.

**Tabela 2. Questões de Pesquisa**

<b>QP.1</b>	Quais são os requisitos necessários para atender às demandas das aplicações imersivas?
<b>QP.2</b>	Como as tecnologias B5G/6G, MEC e IA podem contribuir para o desenvolvimento de aplicações imersivas?
<b>QP.3</b>	Em quais cenários ou contextos as aplicações imersivas podem ser utilizadas?
<b>QP.4</b>	Quais são as limitações, apontadas por estudos recentes, para o desenvolvimento de aplicações imersivas?

A QP.1 busca identificar critérios cruciais para o desenvolvimento bem-sucedido dessas aplicações. Já a QP.2 explora o papel de tecnologias emergentes, como B5G/6G, computação de borda e inteligência artificial, nas aplicações imersivas. A QP.3 foca em identificar áreas promissoras para essas tecnologias, visando direcionar esforços de desenvolvimento. Por fim, a QP.4 investiga barreiras identificadas em estudos recentes, fundamentais para abordar desafios técnicos, éticos e de usabilidade.

A resposta a essas questões contribuirá para a obtenção de uma compreensão abrangente das aplicações imersivas, orientando futuras pesquisas e o desenvolvimento de tecnologias.

### 2.1.3. Strings de busca

As strings de busca, apresentadas na Tabela 3, foram elaboradas para direcionar a pesquisa e recuperar estudos relevantes nas áreas de aplicações imersivas, inteligência artificial, computação de borda e as futuras gerações de redes de comunicação (B5G/6G). Cada componente das strings de busca desempenha um papel na abrangência e precisão da seleção de artigos.

**Tabela 3. Strings de Busca**

<b>S1</b>	("Immersive applications"OR ("Augmented Reality"OR "Virtual Reality"OR "Extended Reality"OR "Mixed Reality")) AND ("Artificial Intelligence"OR AI) AND ("Multi-access Edge Computing"OR "MEC") AND ("5G"OR "6G")
<b>S2</b>	("Immersive technologies"OR ("Augmented Reality"OR "Virtual Reality"OR "Extended Reality"OR "Mixed Reality")) AND ("Artificial Intelligence"OR AI) AND ("Multi-access Edge Computing"OR "MEC") AND ("5G"OR "6G")

#### 2.1.4. Fontes de Pesquisa

As Fontes de Pesquisa utilizadas incluem as bases digitais ACM; IEEE Xplore, Science Direct, Scopus e Springer. Essas plataformas são amplamente reconhecidas na comunidade acadêmica e abrangem uma ampla variedade de publicações em áreas como ciência da computação, engenharia, tecnologia e ciências. Isso proporciona uma base sólida de literatura para a revisão sistemática em questão.

#### 2.1.5. Critérios de Seleção dos Artigos

Os critérios de seleção dos artigos são apresentados na Tabela 4. A finalidade da adoção destes critérios de inclusão e exclusão é assegurar que os artigos selecionados para este estudo sejam pertinentes, oferecendo contribuições significativas para responder às questões de pesquisa estabelecidas. Essas diretrizes desempenham um papel essencial na condução da análise da literatura, garantindo, assim, uma base sólida para os resultados [Wazlawick 2009].

**Tabela 4. Critérios de Seleção dos Artigos**

<b>Critérios de Inclusão</b>	
<b>CI.1</b>	O artigo responde parcialmente às questões de pesquisa
<b>CI.2</b>	Publicações entre 2020 e 2023
<b>CI.3</b>	Artigos em inglês
<b>CI.4</b>	O título e o resumo indicam que o artigo é relevante para a pesquisa
<b>Critérios de Exclusão</b>	
<b>CE.1</b>	Artigo publicado fora do período preestabelecido para a pesquisa
<b>CE.2</b>	Artigos duplicados
<b>CE.3</b>	O título e o resumo indicam que o artigo não trata diretamente das questões de pesquisa
<b>CE.4</b>	Artigos secundários
<b>CE.5</b>	Literatura informal
<b>CE.6</b>	O artigo não está disponível na sua íntegra para consulta
<b>CE.7</b>	A introdução/conclusão/desenvolvimento do artigo indicam que o estudo não trata diretamente das questões de pesquisa

#### 2.2. Execução

Na fase de execução, o planejamento previamente elaborado foi colocado em prática. As buscas nas bases de dados selecionadas foram realizadas, aplicando-se os critérios de seleção aos artigos encontrados, além da avaliação da qualidade dos estudos escolhidos. A extração de dados foi conduzida, coletando informações relevantes de cada artigo para a análise. Também realizou-se a síntese dos resultados, identificando tendências, lacunas e pontos de convergência entre os estudos selecionados.

Inicialmente, foram realizadas pesquisas preliminares com o objetivo de verificar a existência de revisões sistemáticas da literatura sobre aplicações imersivas, considerando as tecnologias habilitadoras B5G/6G, MEC e IA. No entanto, constatou-se que nenhum dos estudos recuperados estava diretamente relacionado aos objetivos expressos nas questões de pesquisa estabelecidas nesta pesquisa.

Na sequência, para a definição da string de busca levou-se em consideração os termos-chave identificados em estudos preliminares. A partir daí, foram realizadas pesquisas piloto para aprimorar essa string de forma iterativa. Assim, foram consolidadas as strings de busca S1 e S2, apresentadas na Tabela 3. A estratégia de busca adotada tem como objetivo identificar os termos das strings de busca S1 e S2 nos títulos, resumos, palavras-chave e textos de artigos científicos revisados por pares.

As buscas para a string S1 retornaram 29 artigos na ACM, 11 na IEEE Xplore, 267 na Science Direct, 7 na Scopus e 62 na Springer, totalizando 376 artigos. Já para a string S2, foram encontrados 21 artigos na ACM, 11 na IEEE Xplore, 245 na Science Direct, 5 na Scopus e 72 na Springer, totalizando 354 artigos.

O processo de busca na Science Direct apresentou uma particularidade. A limitação de oito conectores booleanos por pesquisa exigiu buscas separadas para diferentes variações das strings, assegurando o padrão de combinação dos mesmos termos utilizados nas demais bases. Esse fato justifica o quantitativo obtido. A soma total das buscas resultou em 730 estudos, os quais foram submetidos ao processo de seleção baseado nos critérios de inclusão (CI) e critérios de exclusão (CE) descritos na Tabela 4.

Identificou-se que todos os estudos recuperados foram publicados no idioma inglês. Após a eliminação de 9 artigos fora do período e 474 artigos duplicados, foram selecionados 247. Após uma nova refinagem, com base na relevância do escopo, 149 artigos foram descartados. Dos 98 restantes, 48 estudos secundários foram excluídos. Foi desconsiderado também 1 estudo informal e 1 artigo sem acesso ao conteúdo completo. A leitura da introdução, conclusão e desenvolvimento dos 48 artigos restantes resultou na exclusão de outros 11. Ao final do processo, 37 artigos qualificados para avaliação e análise, distribuídos entre ACM (3), IEEE Xplore (18), Science Direct (9) e Springer (7), sem nenhum artigo da Scopus.

Para que a avaliação e análise de qualidade dos artigos fossem realizadas, foram definidas cinco Questões de Qualidade (QQ), listadas na Tabela 5. Foram definidas também as Respostas às Questões de Qualidade (RQQ), segundo os níveis de escala, apresentadas na Tabela 6. As questões de qualidade propostas visam avaliar os seguintes itens dos estudos selecionados: o objetivo, a definição do problema, a identificação e discussão das limitações para a realização da pesquisa, a apresentação dos resultados, além da identificação de evidências e oportunidades para trabalhos futuros.

A utilização das questões de qualidade, segue uma escala objetiva de avaliação e contribui para a seleção e classificação ordenada dos artigos mais relevantes e confiáveis. Importante mencionar que a soma das pontuações atribuídas a cada item avaliado define a pontuação total de cada artigo, com a pontuação máxima alcançando 25 pontos. Para garantir a seleção de artigos qualificados e adequados à pesquisa, foi estabelecido um critério de pontuação mínima acima de 12,5 pontos.

Na próxima seção serão apresentados os resultados da avaliação e análise de qua-

lidade dos artigos selecionados.

**Tabela 5. Questões de Qualidade**

<b>QQ.1</b>	Qual a avaliação para a definição do objetivo da pesquisa?
<b>QQ.2</b>	Qual a avaliação para a definição do problema da pesquisa?
<b>QQ.3</b>	Avalie como o artigo apresentou limitações ou dificuldades para a realização da pesquisa.
<b>QQ.4</b>	Qual a avaliação para a apresentação dos resultados da pesquisa?
<b>QQ.5</b>	Avalie o estudo conforme a apresentação das evidências e oportunidades para trabalhos futuros.

**Tabela 6. Respostas às Questões de Qualidade**

<b>Questão</b>	<b>RQQ.1</b>	<b>RQQ.2</b>	<b>RQQ.3</b>	<b>RQQ.4</b>	<b>RQQ.5</b>
<b>Avaliação</b>	Ótimo	Muito Bom	Bom	Regular	Ruim
<b>Pontuação</b>	5.0	4.0	2.5	1.0	0.0

### 3. Resultados

Os resultados obtidos indicam um crescente interesse da academia nas aplicações imersivas e nas tecnologias que as habilitam. Esse interesse é confirmado pelo gráfico apresentado na Figura 1, onde dos 29 artigos avaliados, 13 foram publicados em 2023.

Dentre esses, o estudo [Chu et al. 2023] faz referência à QP1, listando como requisitos para aplicações imersivas a baixa latência na comunicação, viabilizando a interação em tempo real entre usuários e objetos virtuais. Essa abordagem demanda recursos intensivos para renderização 3D e gestão de grandes volumes de dados. Além disso, destaca-se a necessidade de comunicação ultrarrápida para assegurar uma experiência contínua aos usuários.

No que diz respeito à QP2, [Zhang et al. 2023] apresenta a computação de borda como um componente que facilita a realização da computação na extremidade da rede, mais próxima dos usuários. Essa abordagem visa reduzir a latência e aprimorar a qualidade do serviço. A inteligência artificial é empregada para antecipar a demanda de recursos e otimizar a alocação em tempo real, contribuindo para a melhoria da eficiência e escalabilidade do sistema virtualizado.

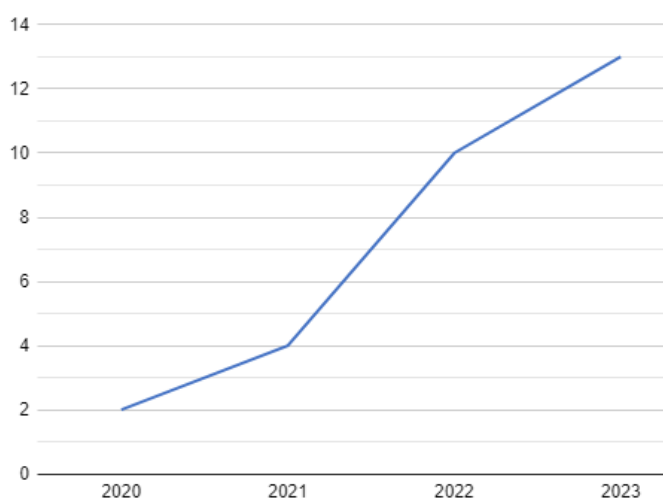
Em relação à QP3, a maioria dos estudos aborda cenários nos quais as aplicações imersivas são empregadas, incluindo cirurgia remota, carros autônomos, aplicativos de assistência cognitiva, jogos online multiplayer [Ahmad et al. 2020], teletransporte holográfico, teleconferência [Qian et al. 2022] dentre outras aplicações no contexto do Metaverso [Chu et al. 2023].

Por fim, em resposta à QP4 destaca-se [Nguyen et al. 2022] que aborda a limitação da capacidade de rede e o aumento exponencial do tráfego. E também, [Wang et al. 2023] cita restrições de armazenamento, a complexidade de prever o comportamento do usuário e a necessidade de equilibrar a carga de trabalho entre o dispositivo móvel e o servidor de borda.

O interesse e a busca pelo aprimoramento da experiência do usuário e otimização da alocação de recursos são tendências constatadas. Vale ressaltar a aplicação do Aprendizado por Reforço Profundo (DRL) em cenários de offloading de computação, resultando

em menor latência, maior eficiência energética e melhor qualidade de experiência para os usuários. Além disso, a integração do MEC com tecnologias de IA é uma tendência central, destacando-se a utilização de MEC para processar o tráfego de XR na borda da rede, a alocação eficiente de recursos e a adaptação em tempo real às condições de rede.

Os dados obtidos a partir da análise dos problemas de pesquisa, relatados nos 29 estudos, indicam que 82,8% tratam de soluções relacionadas à latência mínima, enquanto 65,5% tratam do consumo de energia. Outros desafios inerentes às aplicações imersivas, como a segurança e a privacidade de dados, não são explorados em nenhum dos estudos, conforme aponta a Tabela 7. Possivelmente, esta seja uma área promissora para novas pesquisas.



**Figura 1. Quantidade de publicações por ano**

#### **4. Conclusão**

Em síntese, a revisão sistemática revela uma tendência significativa e um crescente interesse da comunidade científica na temática que envolve a interseção das tecnologias imersivas, MEC, IA e as redes de comunicação avançadas. Os estudos analisados demonstram a necessidade em melhorar a experiência do usuário, bem como a otimização na alocação de recursos, para superar os desafios inerentes às soluções imersivas.

Uma tendência destacada envolve a utilização DRL em contextos de otimização de alocação de recursos. Tendência que aponta para um futuro onde a fusão de tecnologias de última geração promete transformar radicalmente a forma como interagimos com o mundo digital. As oportunidades identificadas nas referências bibliográficas destacam a necessidade de explorar novas fronteiras nesse campo.

#### **Referências**

Ahmad, M., Jafri, S. U., Ikram, A., Qasmi, W. N. A., Nawazish, M. A., Uzmi, Z. A., and Qazi, Z. A. (2020). A Low Latency and Consistent Cellular Control Plane. In *Proceedings of the Annual conference of the ACM Special Interest Group on Data Communication on the applications, technologies, architectures, and protocols for computer communication*, pages 648–661, Virtual Event USA. ACM.

**Tabela 7. Lacunas de Pesquisa e Direções Futuras**

Artigos	Segurança e Privacidade	Consumo de Energia	Baixa Latência
[Sadiki et al. 2023]		x	x
[Liu et al. 2022]			x
[Chen et al. 2021]			x
[Dutta et al. 2023]			x
[Wang et al. 2023]		x	x
[Maier et al. 2020]		x	x
[Yu et al. 2023]		x	x
[Chu et al. 2023]		x	x
[Trinh and Muntean 2023]		x	x
[Liubogoshchev et al. 2021]			x
[Lagen et al. 2023]		x	x
[Sehad et al. 2023]		x	x
[Qian et al. 2022]		x	x
[Binucci et al. 2022]		x	x
[Li et al. 2022a]		x	x
[Hsu et al. 2022]		x	x
[Koutlia et al. 2023]			
[Bojović et al. 2023]			x
[Perez et al. 2022]			x
[Ahmad et al. 2020]		x	x
[Zhang et al. 2023]		x	x
[Du et al. 2022]		x	x
[Chukhno et al. 2023]		x	x
[Picano and Fantacci 2023]		x	x
[Passas et al. 2022]			
[Ateya et al. 2023]		x	
[Li et al. 2022b]		x	x
[Wang et al. 2021]		x	x
[Nguyen et al. 2022]			

Ateya, A. A., Muthanna, A., Koucheryavy, A., Maleh, Y., and El-Latif, A. A. A. (2023). Energy efficient offloading scheme for MEC-based augmented reality system. *Cluster Comput*, 26(1):789–806.

Binucci, F., Banelli, P., Di Lorenzo, P., and Barbarossa, S. (2022). Adaptive resource optimization for edge inference with goal-oriented communications. *EURASIP J. Adv. Signal Process.*, 2022(1):123.

Bojović, B., Lagén, S., Koutlia, K., Zhang, X., Wang, P., and Yu, L. (2023). Enhancing 5G QoS Management for XR Traffic Through XR Loopback Mechanism. *IEEE J. Select. Areas Commun.*, 41(6):1772–1786.

Cardoso, L. F. d. S., Kimura, B. Y. L., and Zorzal, E. R. (2023). Towards augmented and mixed reality on future mobile networks. *Multimedia Tools and Applications*, pages 1–36.

Chen, M., Liu, W., Wang, T., Liu, A., and Zeng, Z. (2021). Edge intelligence computing for mobile augmented reality with deep reinforcement learning approach. *Computer Networks*, 195:108186.

Chu, N. H., Hoang, D. T., Nguyen, D. N., Phan, K. T., Dutkiewicz, E., Niyato, D., and Shu, T. (2023). MetaSlicing: A Novel Resource Allocation Framework for Metaverse.



- IEEE Trans. on Mobile Comput.*, pages 1–18.
- Chukhno, O., Galinina, O., Andreev, S., Molinaro, A., and Iera, A. (2023). User and Content Dynamics of Edge-Aided Immersive Reality Services. *IEEE Netw. Lett.*, pages 1–1.
- Du, H., Wang, J., Niyato, D., Kang, J., Xiong, Z., Shen, X. S., and Kim, D. I. (2022). Exploring Attention-Aware Network Resource Allocation for Customized Metaverse Services. *IEEE Network*, pages 1–8.
- Dutta, S., Roy, D., and Das, G. (2023). Modified Split-Rendering Architecture to enable AI-assisted Application-aware MAC for XR Slice. *IEEE Netw. Lett.*, pages 1–1.
- Hsu, C.-F., Hung, T.-H., and Hsu, C.-H. (2022). Optimizing Immersive Video Coding Configurations Using Deep Learning: A Case Study on TMIV. *ACM Trans. Multimedia Comput. Commun. Appl.*, 18(1):1–25.
- Kitchenham, B., Charters, S., et al. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering.
- Koutlia, K., Bojovic, B., Lagén, S., Zhang, X., Wang, P., and Liu, J. (2023). System analysis of QoS schedulers for XR traffic in 5G NR. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 125:102745.
- Lagen, S., Bojovic, B., Koutlia, K., Zhang, X., Wang, P., and Qu, Q. (2023). QoS Management for XR Traffic in 5G NR: A Multi-Layer System View & End-to-End Evaluation. *IEEE Commun. Mag.*, pages 1–7.
- Li, J., Shang, Y., Qin, M., Yang, Q., Cheng, N., Gao, W., and Kwak, K. S. (2022a). Multiobjective Oriented Task Scheduling in Heterogeneous Mobile Edge Computing Networks. *IEEE Trans. Veh. Technol.*, 71(8):8955–8966.
- Li, Y., Wang, T., Wu, Y., and Jia, W. (2022b). Optimal dynamic spectrum allocation-assisted latency minimization for multiuser mobile edge computing. *Digital Communications and Networks*, 8(3):247–256.
- Liu, X., Deng, Y., Han, C., and Renzo, M. D. (2022). Learning-Based Prediction, Rendering and Transmission for Interactive Virtual Reality in RIS-Assisted Terahertz Networks. *IEEE J. Select. Areas Commun.*, 40(2):710–724.
- Liubogoshchev, M., Ragimova, K., Lyakhov, A., Tang, S., and Khorov, E. (2021). Adaptive Cloud-Based Extended Reality: Modeling and Optimization. *IEEE Access*, 9:35287–35299.
- Maier, M., Ebrahimzadeh, A., Rostami, S., and Beniiche, A. (2020). The Internet of No Things: Making the Internet Disappear and "See the Invisible". *IEEE Commun. Mag.*, 58(11):76–82.
- Nguyen, T.-V., Dao, N.-N., Dat Tuong, V., Noh, W., and Cho, S. (2022). User-Aware and Flexible Proactive Caching Using LSTM and Ensemble Learning in IoT-MEC Networks. *IEEE Internet Things J.*, 9(5):3251–3269.
- Passas, V., Makris, N., Wang, Y., Apostolaras, A., Mpatziakas, A., Drosou, A., Korakis, T., and Tzovaras, D. (2022). Artificial Intelligence for network function autoscaling in a cloud-native 5G network. *Computers and Electrical Engineering*, 103:108327.

- Perez, P., Corregidor, D., Garrido, E., Benito, I., Gonzalez-Sosa, E., Cabrera, J., Berjon, D., Diaz, C., Moran, F., Garcia, N., Igual, J., and Ruiz, J. (2022). Live Free-Viewpoint Video in Immersive Media Production Over 5G Networks. *IEEE Trans. on Broadcast.*, 68(2):439–450.
- Picano, B. and Fantacci, R. (2023). A Channel-aware FL Approach for Virtual Machine Placement in 6G Edge Intelligent Ecosystems. *ACM Trans. Internet Things*, 4(2):1–20.
- Qian, P., Huynh, V. S. H., Wang, N., Anmulwar, S., Mi, D., and Tafazolli, R. R. (2022). Remote Production for Live Holographic Teleportation Applications in 5G Networks. *IEEE Trans. on Broadcast.*, 68(2):451–463.
- Sadiki, A., Bentahar, J., Dssouli, R., En-Nouaary, A., and Otrok, H. (2023). Deep reinforcement learning for the computation offloading in MIMO-based edge computing. 141:103080.
- Sehad, N., Cherif, B., Khadraoui, I., Hamidouche, W., Bader, F., Jäntti, R., and Debbah, M. (2023). Locomotion-Based UAV Control Toward the Internet of Senses. *IEEE Trans. Circuits Syst. II*, 70(5):1804–1808.
- Siriwardhana, Y., Porambage, P., Liyanage, M., and Ylianttila, M. (2021). A survey on mobile augmented reality with 5g mobile edge computing: Architectures, applications, and technical aspects. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 23(2):1160–1192.
- Song, L., Hu, X., Zhang, G., Spachos, P., Plataniotis, K. N., and Wu, H. (2022). Networking Systems of AI: On the Convergence of Computing and Communications. *IEEE Internet Things J.*, 9(20):20352–20381.
- Trinh, B. and Muntean, G.-M. (2023). A Deep Reinforcement Learning-Based Offloading Scheme for Multi-Access Edge Computing-Supported eXtended Reality Systems. *IEEE Trans. Veh. Technol.*, 72(1):1254–1264.
- Wang, C., Yu, X., Xu, L., Wang, Z., and Wang, W. (2023). Multimodal semantic communication accelerated bidirectional caching for 6G MEC. *Future Generation Computer Systems*, 140:225–237.
- Wang, Y., Chen, X., Chen, Y., and Du, S. (2021). Resource allocation algorithm for MEC based on Deep Reinforcement Learning. In *2021 IEEE International Performance, Computing, and Communications Conference (IPCCC)*, pages 1–6, Austin, TX, USA. IEEE.
- Wazlawick, R. S. (2009). *Metodologia de pesquisa para ciência da computação*, volume 2. Elsevier.
- Yazici, İ., Shayea, I., and Din, J. (2023). A survey of applications of artificial intelligence and machine learning in future mobile networks-enabled systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 44:101455.
- Yu, W., Chua, T. J., and Zhao, J. (2023). Asynchronous Hybrid Reinforcement Learning for Latency and Reliability Optimization in the Metaverse Over Wireless Communications. *IEEE J. Select. Areas Commun.*, 41(7):2138–2157.
- Zhang, L., Zhuge, S., Wang, Y., Xu, H., and Sun, E. (2023). Energy-delay tradeoff for virtual machine placement in virtualized multi-access edge computing: a two-sided matching approach. *J Ambient Intell Human Comput*, 14(6):6603–6621.