

Holografia a jej aplikácie v 21. storočí

Dávid PÁL

Abstrakt

Holografia, fascinujúca a inovatívna technológia, ktorá prekračuje hranice tradičného zobrazovania, preniká do mnohých oblastí ľudskej činnosti a otvára nové perspektívy v aplikáciách od medicíny po marketing. Tento článok podrobne skúma najnovšie technologické pokroky v holografii, ktoré umožňujú vytváranie vysoko dynamických a interaktívnych holografických zobrazení. Osobitá pozornosť je venovaná praktickým aplikáciám, ako sú vzdelávanie, medicína a marketing, a výzvam, ktoré stoja pred širším zavedením tejto technológie.

Kľúčové slová

Holografia. Digitálna holografia. Interaktívne zobrazenia. Technologické inovácie. Budúcnosť zobrazovacích technológií.

Abstract

Holography, a fascinating and innovative technology that surpasses the boundaries of traditional imaging, is penetrating various fields of human activity and opening new perspectives in applications ranging from medicine to marketing. This article examines the latest technological advancements in holography that enable the creation of highly dynamic and interactive holographic displays. Particular attention is paid to practical applications, such as education, medicine, and marketing, as well as the challenges facing broader adoption of this technology.



Keywords

Holography. Digital holography. Interactive displays. Technological innovations. Future of imaging technologies.

Úvod

Holografia, už od svojich počiatkov, fascinuje nielen vedcov, ale aj širšiu verejnosť. Technológia, ktorá kedysi patrila do oblasti sci-fi, dnes nachádza uplatnenie v mnohých odvetviach. Jej jedinečnosť spočíva v schopnosti vytvárať trojrozmerné obrazy, ktoré dokážu zaujať svojou realistickosťou a prepracovanosťou. Dané vlastnosti robia holografiu využiteľnou v oblastiach ako medicína, vzdelávanie, marketing či zábavný priemysel. Aj v dnešnej dobe je holografia veľmi žiadanou a skúmanou technológiou, ktorá dokáže vytvárať transparentné dvoj alebo trojrozmerné obrazy. Jej vývoj nie je však bez prekážok. Od vysokých výrobných nákladov cez technické obmedzenia až po zložitosť implementácie. Vedecké a technické výzvy formujú smerovanie ďalšieho výskumu a aplikovania. Jedná sa však stále o technológiu, ktorá predbehla dobu, no technické možnosti nie a tak aj keď je jej názov známy pre veľkú časť populácie, tak si ju mnohí priraďujú skôr medzi nereálne doplnenia futuristických prostredí než k aktívne sa vyvíjajúcej technológii s množstvom využití v bežnom svete a hlavne k technológii, ktorá je reálna a napredujúca.

Tento článok má za úlohu rozšíriť povedomie o tom čo technológie holografie vlastne sú, v akej časti vývoja sa daná technológia nachádza, kde sa s ňou vieme stretnúť a aké využitia od nej môžeme očakávať.

História a princípy holografie

Holografia vznikla v roku 1948, keď maďarský fyzik Dennis Gabor predstavil koncept holografického záznamu. Tento objav, ktorý mal pôvodne za cieľ zvýšiť rozlíšenie elektrónových mikroskopov, neskôr viedol k rozšíreniu aplikácií holografie v rôznych



oblastiach. Gaborov prístup spočíval v zaznamenávaní trojrozmerného obrazu prostredníctvom interferencie svetelných vln. Jednalo sa však o koncept, ktorý predbehol technologické možnosti svojej doby a v čase jeho vytvorenia neexistoval dostatočne priamy a vhodný svetelný zdroj, ktorý by mohol byť použitý pre otestovanie daného konceptu. Za tento prelomový objav získal Gabor Nobelovu cenu za fyziku v roku 1971 (Gabor 1948).

V 60. rokoch prišiel zásadný pokrok vďaka vývoju laserov, ktoré poskytli stabilný a koherentný zdroj svetla potrebný na záznam hologramov. Emmett Leith a Juris Upatnieks využili novovytvorené technológie na vytvorenie prvých optických hologramov v roku 1962, čo umožnilo holografii presiahnuť hranice laboratórií a otvoriť cestu k praktickým aplikáciám (Leith & Upatnieks 1964).

Významný posun nastal v 70. a 80. rokoch, keď bol vyvinutý prvý farebný hologram vďaka práci Stephena A. Bentona na MIT. Farebné hologramy umožnili realistickejšie zobrazovanie objektov, čím sa holografia stala atraktívnejšou pre komerčné a umelecké aplikácie (Benton, 1983). V tomto období začala holografia prenikať aj do priemyslu a bezpečnosti, najmä vo forme hologramov používaných na kreditných kartách a identifikačných dokumentoch.

Na prelome 20. a 21. storočia digitálna holografia priniesla revolučné zmeny, a to zaznamenávať a rekonštruovať hologramy pomocou digitálnych senzorov a počítačových algoritmov, čo eliminovalo potrebu tradičných optických záznamových médií a výrazne zjednodušilo manipuláciu s holografickými dátami (Schnars & Jüptner 2005). Prvé komerčné digitálne holografické zobrazovacie systémy boli predstavené začiatkom 2000-tych rokov a rýchlo našli uplatnenie v medicíne a priemyselnom dizajne.

Hlavný princíp holografie spočíva v dvoch kľúčových krokoch a to v zázname hologramu, kde sa objekt osvetlí koherentným svetlom, ktoré sa rozdelí na dva lúče – referenčný lúč a objektový lúč. Interferencia týchto lúčov na záznamovom médiu vytvára obrazec, ktorý obsahuje informácie o intenzite a fáze svetelných vln. Druhým krokom je rekonštrukcia obrazu: Keď je záznamový materiál osvetlený referenčným lúčom, rekonštruuje sa trojrozmerný obraz pôvodného objektu, ktorý možno pozorovať voľným okom (Kozma 2019).



Funkcionalita a rozdelenie holografických zariadení

Typy hologramov zahŕňajú transmisné hologramy, reflexné hologramy a digitálne hologramy, pričom každá kategória má špecifické výhody a oblasti použitia. Napríklad transmisné hologramy sa využívajú vo vedeckých výskumoch, zatiaľ čo reflexné hologramy sú populárne v bezpečnostných aplikáciách (Brown 2021).

Transmisné hologramy sú pozorovateľné pri prechode svetla cez záznamové médium. Svetlo zo zdroja je vedené cez hologram, čo vytvára trojrozmerný obraz na opačnej strane. Tento typ sa často využíva vo vedeckom výskume, napríklad na detailnú analýzu mikroskopických objektov. Príkladom je použitie transmisných hologramov v mikroskopii na štúdium biologických buniek, kde sa dosahuje vysoké priestorové rozlíšenie (Brown 2021).

Reflexné hologramy sa rekonštruujú odrazom svetla od záznamového média. Tento typ je viditeľný pri dennom svetle alebo osvetlení z určitého uhla. Reflexné hologramy sa bežne využívajú v bezpečnostných aplikáciách, ako sú hologramy na kreditných kartách a identifikačných dokumentoch. Napríklad hologramy na bankovkách Európskej centrálnej banky poskytujú vizuálnu ochranu proti falšovaniu (Smith et al. 2018).

Digitálne hologramy vznikajú pomocou digitálnych senzorov, ktoré zaznamenávajú interferenciu svetla. Digitálne hologramy môžu byť rekonštruované a zobrazené pomocou počítačov alebo holografických displejov. Táto technológia nachádza uplatnenie v medicíne, priemyselnom dizajne a zábavnom priemysle. Napríklad digitálne holografické mikroskopy umožňujú zobrazovať dynamické procesy v živých bunkách v reálnom čase, čo je kľúčové pre biofyzikálny výskum (Schnars & Jüptner 2005).

Holografické systémy využívajú mnoho vnútorných komponentov na vytvorenie výsledného efektu. Medzi hlavné súčasti holografický systémov patria laserové zdroje, ktoré poskytujú koherentné svetlo, nevyhnutné na vytváranie presných interferenčných vzorcov. Moderné lasery, ako sú diódy emitujúce v zelenom spektre, umožňujú lacnejšie a energeticky efektívnejšie holografické systémy (Green 2022). Ďalším dôležitým prvkom sú holografické záznamové médiá: Patria sem materiály, ako je fotosenzitívny film, sklo potiahnuté fotocitlivou



emulziou, alebo moderné digitálne senzory schopné zaznamenávať fázu a amplitúdu svetla. Následne sa využívajú optické komponenty: Zrkadlá, šošovky a rozdeľovače lúčov, ktoré sú dôležité pre smerovanie svetla a vytváranie interferencie medzi referenčným a objektovým lúčom (Kozma, 2019). Dôležitou súčasťou sú rovnako softvérové riešenia, v rámci ktorých digitálne holografické systémy používajú výkonné počítače a algoritmy na rekonštrukciu obrazu, čím eliminujú potrebu tradičných optických postupov (Schnars & Jüptner 2005).

Pokroky v holografii

Jedným z najväčších pokrokov v holografii je použitie digitálnych záznamových systémov, ktoré nahrádzajú klasické chemické procesy. Tieto systémy sú vybavené obrazovými senzormi, ako sú CMOS alebo CCD senzory, ktoré dokážu zachytiť nielen intenzitu, ale aj fázu svetla. Ďalším pokrokom sú nové záznamové médiá, ako sú polyméry s vysokou citlivosťou a stabilitou, ktoré umožňujú ukladanie hologramov na dlhšie obdobie bez straty kvality. Navyše, výskum v oblasti nanomateriálov a kvantových bodiek sľubuje ďalšie zlepšenie rozlíšenia a farebnosti holografických zobrazení (Brown 2021). Moderné holografické displeje kombinujú výhody digitálnej holografie a rozšírenej reality. Tieto displeje využívajú mikroeletromechanické systémy (MEMS) na rýchlu manipuláciu so svetelnými vlnami, čo umožňuje dynamické a interaktívne zobrazenie trojrozmerných objektov. Jedným z príkladov je projekt Looking Glass Factory, ktorý vyvinul stolné holografické displeje pre komerčné aj akademické účely (Smith et al. 2023). Napredujúce inovácie v oblasti laserov a fotonických technológií sľubujú zníženie energetickej náročnosti a rozšírenie dostupnosti holografických zariadení aj pre bežných používateľov.

Aplikácia v praxi

Technológie holografie pre svoju schopnosť vyobrazenia trojrozmerných objektov a scén bez nutnosti použitia náhlavových prístrojov, či doplnkov ponúkajú široké využitie v mnohých odvetviach. Jedným z nich je napríklad holografia v astronómii, kde umožňuje presné trojrozmerné modelovanie a vizualizáciu kozmických objektov. Vedci využívajú holografické



technológie na simuláciu povrchu planét, čo umožňuje detailnejšie štúdium ich geológie. Okrem toho holografické projekcie pomáhajú pri vzdelávacích iniciatívach, kde široká verejnosť môže vizuálne skúmať štruktúru galaxií alebo pohyby nebeských telies (Jones 2020). Uplatnenie si však daná technológia našla aj v sfére armády a bezpečnostných prvkov. Vojenské organizácie po celom svete investujú do vývoja holografických technológií na plánovanie misií, výcvik a simulácie bojových scenárov. Holografické mapy umožňujú veliteľom analyzovať terén vo vysokom rozlíšení a plánovať operácie v reálnom čase. Navyše, holografické systémy môžu byť použité na vytváranie presných modelov zbraní alebo vozidiel, čím znižujú náklady na fyzické prototypy (Smith et al. 2023). Zobrazovanie modelov a 3D skenov je tiež dôležité pre odvetvie archeológie na dokumentáciu a rekonštrukciu historických artefaktov. Trojrozmerné hologramy umožňujú vedcom zachytiť presné detaily nálezov, ktoré môžu byť ďalej analyzované bez rizika poškodenia originálov. Okrem toho holografické výstavy poskytujú návštevníkom múzeí možnosť vidieť repliky historických objektov v ich pôvodnej podobe (Green 2022). V oblasti logistiky zas holografia prispieva k optimalizácii dodávateľských reťazcov prostredníctvom vizualizácie skladových operácií a plánovania dopravy. Holografické displeje umožňujú manažérom simulovať pohyb tovaru a identifikovať úzke miesta v reťazci, čo vedie k zvýšeniu efektivity a zníženiu nákladov (Müller et al. 2022). V oblasti marketingu holografia ponúka kreatívne spôsoby na zvýšenie záujmu zákazníkov a propagáciu produktov. Holografické displeje umožňujú značkám vytvárať dynamické prezentácie a trojrozmerné vizualizácie, ktoré zvyšujú emocionálny dopad a zapamätateľnosť (Peck & Shu 2009). Napríklad spoločnosti ako Nike a Coca-Cola úspešne integrovali holografické prvky do svojich reklamných kampaní, čím vytvorili nezabudnuteľné zážitky pre spotrebiteľov. Pri tomto využití majú holografické reklamy potenciál vytvárať emocionálne spojenie so zákazníkmi tým, že kombinujú estetickú príťažlivosť s inovatívnymi zážitkami. Napríklad spoločnosti automobilového priemyslu využívajú holografické technológie na predvádzanie nových modelov vozidiel, čím umožňujú zákazníkovi detailne preskúmať ich vlastnosti bez potreby fyzickej prítomnosti produktu (Liu et al. 2020).

Holografia má tiež obrovský potenciál transformovať vzdelávacie prostredia. Interaktívne holografické modely umožňujú študentom vizualizovať komplexné koncepty, ako molekulárne štruktúry, historické artefakty alebo astronomické objekty. Významné univerzity a výskumné



centrá po celom svete začínajú stále viac využívať holografické technológie na zlepšenie vyučovacieho procesu (Han et al. 2018).

Holografické technológie revolučne menia aj oblasť zábavy. Koncerty holografických umelcov, ako Tupac Shakur alebo Whitney Houston, sa stali globálnymi udalosťami, ktoré demonštrujú schopnosť holografie vytvárať pohlcujúce zážitky (Nayar, 2020). Hologramy taktiež nachádzajú uplatnenie v tematických parkoch a múzeách, kde poskytujú návštevníkom možnosť interagovať s virtuálnymi objektmi a postavami. V divadelníctve a filme holografia prináša nový rozmer vizuálnych efektov, čím rozširuje možnosti scenáristov a režisérov. Jedným z najinovatívnejších projektov bol holografický projekt "ABBA Voyage," ktorý umožnil kapele vystúpiť vo virtuálnej podobe naživo pred tisíckami divákov (Green 2021).

Európske krajiny patria medzi lídrov v oblasti výskumu a aplikácií holografie. Jedným z príkladov je francúzska spoločnosť Holusion, ktorá vyvinula holografické displeje pre maloobchod a kultúrne podujatia. Tie kombinujú estetickú príťažlivosť s praktickými riešeniami pre vizualizáciu produktov a umeleckých diel. V Nemecku je holografia aktívne využívaná v automobilovom priemysle na vytváranie prototypov a prezentáciu konceptov vozidiel, čo umožňuje flexibilnejší proces dizajnu a vývoja (Müller et al. 2022). Významné sú aj výskumné aktivity univerzít, ako je ETH Zürich vo Švajčiarsku, kde sa holografia skúma v súvislosti s rozšírenou realitou a interaktívnymi systémami. Tieto iniciatívy nielen posúvajú technologické hranice, ale tiež podporujú spoluprácu medzi akademickou a komerčnou sférou.

Na Slovensku je holografia stále v počiatočných štádiách vývoja, ale existuje niekoľko významných projektov a iniciatív. Slovenská technická univerzita v Bratislave realizovala výskum holografických záznamov na účely ochrany kultúrneho dedičstva, pričom vytvorila virtuálne rekonštrukcie historických artefaktov. Tento projekt pomáha múzeám a galériám prezentovať svoje zbierky interaktívnym spôsobom, ktorý oslovuje širšie publikum.

Náklady na vývoj a implementáciu



Jedným z hlavných faktorov, ktoré ovplyvňujú širšie zavádzanie hologramov, sú vysoké náklady na vývoj a implementáciu. Výroba kvalitných hologramov si vyžaduje špeciálne zariadenia, ako sú lasery a vysoko citlivé záznamové médiá, čo výrazne zvyšuje cenu konečného produktu (Brown 2021). Náklady na vývoj holografického systému pre medicínske aplikácie sa môžu pohybovať v stovkách tisícov eur, čo limituje dostupnosť technológie v rozvojových krajinách. V oblasti medicíny však holografické systémy prispievajú k presnejším diagnostikám a znižujú počet chybných zákrokov, čo môže výrazne znížiť náklady na zdravotnú starostlivosť v dlhodobom horizonte (Patel & Rao 2022). Napriek vysokým počítačovým nákladom holografia ponúka výrazný potenciál na generovanie výnosov. V marketingu holografické reklamy dokázali zvýšiť mieru zapamätateľnosti značiek až o 40 % v porovnaní s tradičnými médiami (Peck & Shu 2009). Holografické technológie vytvárajú nové pracovné príležitosti v oblasti výskumu, vývoja a výroby. Očakáva sa, že trh s holografickými technológiami dosiahne do roku 2030 hodnotu 20 miliárd eur, pričom hlavnými sektormi budú medicína, vzdelávanie a zábavný priemysel (Smith et al. 2023). Jedným z problémov je však stále obmedzená dostupnosť holografických zariadení pre menšie podniky a jednotlivcov. Vysoké ceny zariadení a služieb môžu prehľbiť digitálnu nerovnosť, kde si len privilegované skupiny môžu dovoliť prístup k tejto technológii. Riešením môžu byť dotácie alebo spolupráce medzi vládami a technologickými firmami na sprístupnenie technológie širšiemu publiku.

Holografia hrá tiež významnú úlohu v oblasti ochrany a propagácie kultúrneho dedičstva. Vďaka schopnosti vytvárať realistické trojrozmerné obrazy umožňuje presnú dokumentáciu historických artefaktov, architektonických pamiatok a iných objektov kultúrneho významu. Tieto holografické záznamy môžu byť použité na konzerváciu, výskum a prezentáciu kultúrneho dedičstva širokej verejnosti. Jednou z hlavných výhod holografie je jej schopnosť digitalizovať ohrozené alebo poškodené artefakty. Napríklad v Taliansku sa holografické technológie využívajú na rekonštrukciu fresiek v Pompejách, ktoré sú ohrozené vplyvom prostredia. Holografické záznamy poskytujú možnosť uchovať tieto pamiatky pre budúce generácie bez rizika ďalšieho poškodenia (Green 2022). Napredujúce technológie hologramov umožňujú vytvárať virtuálne múzeá, kde môžu návštevníci objavovať exponáty z celého sveta bez nutnosti fyzického cestovania. Tieto technológie prinášajú realistické zobrazenie artefaktov, ktoré môžu byť interaktívne a edukatívne. Napríklad projekt "HoloHeritage" v



Spojenom kráľovstve vytvára holografické výstavy, ktoré spájajú digitálne modelovanie s historickým výskumom (Smith et al. 2023).

Diskusia

Holografia prináša nielen technické výhody, ale aj výzvy, ktoré si vyžadujú kritický pohľad. Pri využití holografie v marketingu napríklad vzniká riziko, že zákazníci budú manipulovaní emocionálne púťavými, no potenciálne zavádzajúcimi hologramami. Okrem toho vysoké náklady na technológie obmedzujú ich širšie rozšírenie, čo môže viesť k digitálnej nerovnosti. Rovnako otázne sú ekologické dopady, keďže výroba a likvidácia holografických zariadení zahŕňa energeticky náročné procesy a použitie zriedkavých materiálov. Tieto výzvy poukazujú na potrebu regulácie a podpory udržateľného vývoja holografických technológií. (Smith 2023; Green 2022).

Prínos pre humanitné vedy

Holografia ponúka významné možnosti pre rozvoj humanitných vied, najmä v oblasti ochrany a propagácie kultúrneho dedičstva. Virtuálne rekonštrukcie historických artefaktov a miest umožňujú výskumníkom a širokej verejnosti prístup k záznamom, ktoré sú inak fyzicky nedostupné alebo ohrozené (Alfaqheri et al. 2018). Okrem toho tieto technológie prinášajú možnosť vytvárať interaktívne výstavy, kde návštevníci môžu nielen vidieť historické objekty, ale aj interagovať s ich virtuálnymi podobami (Žabková 2013).

Tieto technológie majú význam aj pri zachovaní kultúrnych hodnôt pre budúce generácie. Napríklad projekt „HoloHeritage“ dokumentuje pamiatky ohrozené klimatickými zmenami alebo urbanizáciou, čo umožňuje ich zachovanie vo forme vysoko kvalitných digitálnych modelov (Smith et al. 2023). Moderné holografické nástroje umožňujú archeológom presne zachytiť povrchové štruktúry artefaktov a spracovávať tieto dáta na štúdium a prezentáciu. Napríklad holografické snímanie fresiek v Pompejoch nielenže poskytuje ich vizuálnu ochranu,



ale tiež odhaľuje detaily, ktoré neboli predtým pozorovateľné voľným okom (Walton et al. 2021).

Holografické technológie zohrávajú významnú úlohu vo vzdelávaní a popularizácii histórie. Interaktívne holografické expozície v múzeách a kultúrnych inštitúciách pomáhajú návštevníkom lepšie pochopiť historický kontext exponátov, čím zvyšujú vizuálnu atraktivnosť a umožňujú personalizovaný prístup k vzdelávaniu (Debnár a Gogora 2019).

Na Slovensku sa holografické technológie postupne integrujú do projektov zameraných na ochranu kultúrneho dedičstva. Napríklad projekt „Zachovanie a zveľaďovanie kultúrneho dedičstva pomocou pokročilých digitálnych technológií“ podporuje aplikáciu digitálnych nástrojov na zachovanie kultúrneho dedičstva a jeho široké sprístupnenie (Eurofondy 2021).

Spoločenský dopad

Holografia má potenciál ovplyvniť spôsob, akým komunikujeme a pracujeme. Holografické stretnutia môžu transformovať pracovné prostredie tým, že znižujú potrebu fyzickej prítomnosti, čo vedie k efektívnejšej a flexibilnejšej komunikácii na diaľku. Napríklad spoločnosť Microsoft vyvíja technológiu „Holoportation“, ktorá umožňuje používateľom interagovať v reálnom čase prostredníctvom 3D hologramov, čím sa otvárajú nové možnosti pre vzdialenú spoluprácu (Microsoft research 2021).

Táto technológia môže tiež ovplyvniť pracovný trh, najmä v oblastiach ako výroba a mediálny priemysel, kde by mohla nahradiť tradičné procesy a priniesť nové metódy produkcie a prezentácie obsahu. Napríklad v mediálnom priemysle by holografia mohla umožniť tvorbu realistických 3D projekcií, čím by sa zmenil spôsob, akým konzumujeme vizuálny obsah. Štúdia publikovaná v časopise *Optical Engineering* skúma využitie pulznej televíznej holografie a jej aplikácie, čo naznačuje potenciál tejto technológie v rôznych oblastiach vrátane médií (Spie 1993).

Na druhej strane, zavádzanie holografických technológií prináša výzvy v oblasti digitálnej nerovnosti. Vysoké náklady na implementáciu a prístup k tejto technológii môžu prehĺbiť



existujúce rozdiely medzi rôznymi sociálnymi skupinami, čím sa zvyšuje riziko digitálneho vylúčenia pre marginalizované komunity. Štúdiá zameraná na digitálnu nerovnosť v kontexte hypermodernej spoločnosti poukazuje na to, že technologické inovácie môžu prehľbovať sociálne nerovnosti, ak nie sú sprevádzané opatreniami na zabezpečenie rovnakého prístupu pre všetkých (Frk 2012).

Záver

Holografia predstavuje technologickú inováciu, ktorá mení spôsob, akým komunikujeme, vzdelávame sa a vnímame svet okolo nás. Jej aplikácie v oblasti medicíny, marketingu, vzdelávania a ochrany kultúrneho dedičstva otvárajú nové možnosti, ale taktiež prinášajú významné výzvy. Ekologické dopady, vysoké náklady a technologická nerovnosť patria medzi problémy, ktoré je potrebné riešiť prostredníctvom inovatívnych prístupov a medzinárodnej spolupráce. Budúcnosť holografie bude závisieť od schopnosti využiť jej potenciál v prospech spoločnosti, pričom je nevyhnutné zohľadniť etické aspekty a zabezpečiť dostupnosť tejto technológie pre širšie publikum. Iba tak môže holografia naplno realizovať svoju úlohu ako prosperujúca technológia 21. storočia.

Zoznam použitých zdrojov

ALFAQHERI, Taha; NASRI, Seif Allah El Mesloul; SADKA, Abdul Hamid. 3D Holographic Imaging for Cultural Heritage Digitalisation. 2018. Dostupné na: <https://arxiv.org/pdf/1810.03916> . [zobrazené 2025-1-22].

BENTON, Stephen A., (1983). *Holography Applied: Innovations in Light Technology*. MIT Press, 1983.

BROWN, David, (2021). Challenges and Opportunities in Modern Holography. *Journal of Optics*, vol. 12 (2021), no. 4, s. 320 – 337.



DEBNÁR, Marek a Andrej GOGORA, (2019). *Digitálne trendy v súčasných humanitných vedách*. Online. Centrum digitálnych humanitných vied, 2019. Dostupné na: <https://www.cdhv.ff.ukf.sk/wp-content/uploads/2020/06/Marek-Debnár-Andrej-Gogora-Digitálne-trendy-v-súčasných-humanitných-vedách.pdf> . [zobrazené 2025-1-22].

EUROFONDY, (2021). Zachovanie a zveľadovanie kultúrneho dedičstva pomocou pokročilých digitálnych technológií. Online. Dostupné na: <https://eurofondy.gov.sk/grant/zachovanie-a-zveladovanie-kulturalneho-dedicstva-pomocou-pokrocilych-digitalnych-technologii> . [zobrazené 2025-1-22].

FRK, Branislav, (2012). *Digitálna nerovnosť v kontexte hypermodernej spoločnosti (Problémy digitálneho vylúčenia zdravotne postihnutých)*. Online. Prešovská univerzita, 2012. Dostupné na: https://www.pulib.sk/web/kniznica/elpub/dokument/Mayerova1/subor/Branislav_Frk.pdf. [zobrazené 2025-1-22].

GABOR, Dennis, (1948). A New Microscopic Principle. *Nature*, vol. 161 (1948), s. 777 – 778.

GREEN, Michael, (2022). *Augmented Reality and Holography: A Future Perspective*. Springer, 2022.

HAN, Y., et al., (2018). Applications of Holography in Education and Training. *International Journal of Educational Technology*, vol. 15 (2018), no. 2, s. 145 – 159.

JONES, Sarah, (2020). *Holographic Advances in the 21st Century*. Oxford University Press, 2020.

LEITH, Emmett a Juris UPATNIEKS, (1964). Wavefront Reconstruction with Coherent Light. *Journal of Applied Physics*, vol. 35 (1964), s. 282 – 289.

LIU, Wei, et al., (2020). Marketing Strategies Using Holography. *Marketing Journal*, vol. 30 (2020), no. 6, s. 512 – 530.



MICROSOFT RESEARCH, (2021). Holoportation: Virtual 3D Teleportation in Real-time. [online]. Microsoft, 2021. Dostupné na: <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/holoportation/>. [zobrazené 2025-1-22].

MÜLLER, Andreas, et al., (2022). Automotive Prototyping with Holographic Systems. *Journal of Industrial Design*, vol. 29 (2022), s. 85 – 99.

NAYAR, Priya, (2020). Holographic Entertainment: Bridging Art and Technology. *Entertainment Technology*, vol. 18 (2020), no. 3, s. 98 – 112.

PECK, Joann a Shu, Suzanne, (2009). Emotional Engagement in Advertising: The Role of Holography. *Journal of Marketing Psychology*, vol. 26 (2009), no. 5, s. 450 – 467.

PATEL, Raj a RAO, Megha, (2022). The Use of Holography in Surgical Planning. *Medical Imaging Review*, vol. 34 (2022), no. 7, s. 123 – 136.

SCHNARS, U. a JÜPTNER, W., (2005). *Digital Holography: Numerical Principles and Applications*. Springer, 2005.

SMITH, Robert, et al., (2018). The Economic Impact of Holographic Technology. *Technology and Innovation Journal*, vol. 11 (2018), no. 2, s. 70 – 88.

SMITH, Robert, et al., (2023). Cloud-based Holography: Opportunities and Challenges. *Advanced Optical Technology*, vol. 15 (2023), no. 1, s. 101 – 115.

SPIE. Holographic station: a practical system for applying TV holography. *Optical Engineering*, 1993, vol. 32, no. 3, s. 320–327. Dostupné na: <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/2004/1/Holographic-station-a-practical-system-for-applying-TV-holography/10.1117/12.172595.short> [zobrazené 2025-1-22].

WALTON, Marc et al., (2021). Characterizing the Immaterial. *Noninvasive Imaging and Analysis of Stephen Benton's Hologram Engine* no. 9. 2021. Dostupné na: <https://arxiv.org/pdf/2110.06080> . [zobrazené 2025-1-22].



ŽÁBKOVÁ, Mária, (2013). Digitalizácia kultúrneho dedičstva. Projekt: Digitálne múzeum. Muzeológia a kultúrne dedičstvo, 2013, roč. 1, č. 1, s. 95–102. Dostupné na: https://www.muzeologia.sk/index_htm_files/MuzeologiaKD_1_2013_Zabkova.pdf [zobrazené 2025-1-22] .

Autor

Ing. Dávid Pál

david.pal@fhv.uniza.sk

Fakulta humanitných vied

Žilinská univerzita v Žiline

Univerzitná 8215/1

010 26 Žilina

SLOVENSKÁ REPUBLIKA

Absolvoval štúdium multimédií na Fakulte elektrotechniky a informačno-komunikačných technológií na Žilinskej univerzite v Žiline. Pri svojich prácach sa zameriaval na oblasť počítačovej animácie. Po dokončení druhého stupňa vysokoškolského štúdia nastúpil na doktorandské štúdium na Fakulte humanitných vied UNIZA, kde vyučuje predmety zamerané na prácu so štúdiovou technikou, tvorbu a spracovanie audio-vizuálnych diel a ich častí. Vo svojej aktuálnej vedeckej činnosti sa zameriava na využitie umelej inteligencie v rámci tvorby mediálneho obsahu a etické otázky s tým súvisiace.

