
MODELE ȘI ARTEFACTE / PROMPTURI ȘI METAFORE Către intenționalitate în proiectarea arhitecturală asistată de AI

MODELS AND ARTEFACTS / PROMPTS AND METAPHORS Towards Intentionality in AI Aided Architectural Design

Adel AL BLOUSHI

adl.architetto@gmail.com

Universitatea de Arhitectură și Urbanism „Ion Mincu”, București, RO
“Ion Mincu” University of Architecture and Urban Planning Bucharest, RO

Rezumat

Această lucrare face legătura între natura metaforică a intențiilor arhitecturale, artefacte, experiențe și proiectarea computațională asistată de AI, precum și noi posibilități de proiectare folosind realitatea virtuală. O relație strânsă între metafore și arhitectură este în general recunoscută în discursul teoretic, însă afirmațiile metaforice sunt greu de verificat, iar dificultatea este amplificată atunci când se încearcă producerea sau stabilirea oricărei relații între intențiile arhitecturale formulate ca metafore lingvistice și artefactele arhitecturale ca metafore spațiale.

AI-ul generativ prezintă o provocare pentru modul în care este conceptualizată proiectarea arhitecturală. Confrunțați cu perechi de prompturi textuale și reprezentări vizuale ale unor artefacte ipotetice asamblate prin manipularea statistică a pixelilor, avem nevoie de perspective noi care

Abstract

This work bridges between the metaphorical nature of architectural intentions, artefacts and experiences, and AI aided computational design, as well as novel possibilities of designing using Virtual Reality. A close relationship between metaphors and architecture is generally recognized in theoretical discourse, yet metaphorical statements are hard to verify, and this difficulty is amplified when trying to produce or ascertain any relationship between architectural intentions formulated as linguistic metaphors and architectural artefacts as spatial metaphors.

Generative AI presents a challenge to how architectural design is conceptualized. Faced with pairs of textual prompts and visual depictions of hypothetical artefacts assembled through statistical manipulation of pixels, we need novel perspectives that address the historicity and

să abordeze istoricitatea și intertextualitatea datelor de antrenament ca artefacte de sine stătătoare, noul context al cuplării lor, precum și codarea, decodarea și manipularea lor. Sistemele AI nu sunt constrânse de realitate, astfel, imaginile generate descriu artefacte fundamental invalide. Observăm că este necesar un efort semnificativ pentru a transforma imaginea sugestivă într-o propunere arhitecturală valabilă. În plus, analizând capacitatea modelelor generative de inteligență artificială de a crea noi tipologii de clădiri, a devenit evident că astfel de modele de inteligență artificială sunt deficitare. Ipoteza noastră este că interpolarea este o abordare inadecvată pentru proiectarea arhitecturală.

Prin urmare, propunem un parcurs către un sistem diferit de inteligență artificială, bazat pe învățarea prin reforțare și pe modele lingvistice mari, capabil să transforme intențiile arhitecturale în artefacte arhitecturale. Acesta trebuie să dispună nu numai de un solver, ci și de un sistem general de analiză și sinteză pentru a ajuta la negocierea între intenții potențial contradictorii. Nu în cele din urmă, discutăm meritele unui astfel de sistem atunci când este asociat cu realitatea virtuală. Ca mediu de reprezentare, realitatea virtuală poate produce o simulare convingătoare a realității, inducând iluzia prezenței, ceea ce permite un angajament fenomenologic semnificativ cu artefactele virtuale, un angajament care păstrează relația metaforică dintre intențiile arhitecturale și artefactele digitale.

Cuvinte-cheie: Arhitectură, Modelare, Artefacte, Metafore, Reprezentare, AI, Codare

Introducere

Acest articol explorează relațiile complexe dintre metaforele, modelele și artefactele arhitecturale, acordând o atenție deosebită paradigmelor computaționale noi, în special proiectării computaționale asistate de AI, precum și posibilităților reprezentative și experiențiale ale proiectării cu ajutorul realității virtuale. Obiectivul nostru

intertextualității de date de antrenament ca artefacte, contextul nou al perechii lor, și codarea, decodarea și manipularea lor. Sistemele AI nu sunt constrânse de realitate; astfel, imaginile generate descriu artefacte fundamentale invalide. Observăm că este necesar un efort semnificativ pentru a traduce imaginea sugestivă într-o propunere arhitecturală validă. În plus, explorând capacitatea modelelor generative de AI să creeze noi tipuri de construcții, a devenit clar că astfel de modele de AI sunt deficitare. Ipotezăm că interpolarea este o abordare inadecvată pentru proiectarea arhitecturală.

În răspuns, propunem o hartă de drum pentru un sistem AI diferit, bazat pe învățarea prin reforțare și pe modele lingvistice mari, capabil să transforme intențiile arhitecturale în artefacte arhitecturale. Acesta trebuie să aibă nu numai un solver, ci și un sistem general de analiză și sinteză pentru a ajuta la negocierea între intenții potențial contradictorii. În final, discutăm meritele unui astfel de sistem atunci când este asociat cu Realitatea Virtuală. Ca mediu de reprezentare, VR poate produce o simulare convingătoare a realității, inducând iluzia prezenței, ceea ce permite un angajament fenomenologic semnificativ cu artefactele virtuale, un angajament care păstrează relația metaforică între intențiile arhitecturale și artefactele digitale.

Keywords: Architecture, Modelling, Artefacts, Metaphors, Representation, AI, Coding.

Introduction

This article explores the complex relationships between architectural metaphors, models, and artefacts, with a particular focus on novel computational paradigms, particularly AI aided computational design, as well as representational and experiential possibilities of designing using Virtual Reality. Our primary objective is to consider the

principal este de a lua în considerare natura metaforică a ideilor și intențiilor arhitecturale față de metodologiile noi de proiectare asistată de AI și de a reformula abordarea noastră conceptuală a problemei modelării artefactelor arhitecturale prin intermediul instrumentelor computaționale. Astfel, propunem un nou cadru teoretic care combină modelele AI cu realitatea virtuală pentru a aborda în mod computațional natura metaforică a intențiilor arhitecturale, calitatea fenomenologică a spațiilor arhitecturale și relația lor cu modelarea.

Studiul este situat într-un discurs mai larg privind intersecția dintre tehnologia de ultimă oră și metodologia și analiza designului arhitectural, unde apariția instrumentelor generative de AI precum DallE, Midjourney și Stable Diffusion prezintă noi provocări, dar și oportunități. Ca atare, ne bazăm pe un spectru larg de teorii tradiționale și contemporane, poziționându-ne în mijlocul discursului evolutiv privind modelarea, reprezentarea și analiza arhitecturală, în care metaforele joacă un rol cheie. Abordarea noastră interdisciplinară combină analiza teoretică cu evaluarea practică, profitând de un studiu de caz al unui studio de proiectare de la Kuwait University.

Această abordare dublă permite o înțelegere mai profundă atât a implicațiilor filosofice ale metaforelor arhitecturale, cât și a metaforelor sugestive din imaginile generate de AI. În centrul discuției noastre se află lucrările lui Gilles Deleuze, în special noțiunile sale de artefact ca modelator de idei (1969/1990, 1968/1994), precum și conceptele lui Paul Ricoeur de timp și narațiune în arhitectură (1983/1990, 1998/2016). În plus, facem referire la cercetările contemporane ale unor teoreticieni precum del Campo, Manninger, Sanche, & Wang, (2019), del Campo, Carlson, și Manninger (2020) și Chaillou (2022) cu privire la rolul AI în generarea imaginilor arhitecturale, alături de critici și perspective ale cercetătorilor și teoreticienilor precum Leach (2022) și Bernstein (2022) cu privire la implicațiile AI pentru practicile de proiectare.

metaphorical nature of architectural ideas and intentions vis-à-vis novel AI-assisted design methodologies, and to reframe our conceptual approach to the issue of modelling architectural artefacts via computational tools. Thus, we propose a novel theoretical framework that combines AI models and Virtual Reality to computationally address the metaphorical nature of architectural intentions, the phenomenological quality of architectural spaces, and their relationship to modelling.

The study is situated within a broader discourse on the intersection of cutting-edge technology and architectural design methodology and analysis, where the advent of generative AI tools like DallE, Midjourney, and Stable Diffusion presents novel challenges and opportunities. As such, we draw on a broad spectrum of historical and contemporary theories, positioning ourselves amidst the evolving discourse on architectural modelling, representation, and analysis, where metaphors play a key role. Our inter-disciplinary approach combines theoretical analysis with practical assessment, leveraging a case study from a design studio at Kuwait University.

This dual focus allows for a deeper understanding of both the philosophical implications of architectural metaphors vis-à-vis the suggestive metaphors in AI-generated images. Central to our discussion are the works of Gilles Deleuze, particularly his notions of the artefact as a modeler of ideas (1969/1990, 1968/1994), and Paul Ricoeur's concepts of time and narrative in architecture (1983/1990, 1998/2016). Additionally, we reference contemporary research from theorists such as del Campo, Manninger, Sanche, and Wang (2019), del Campo, Carlson, and Manninger (2020) and Chaillou (2022) on AI's role in generating architectural imagery, alongside critiques and insights from researchers and theorists such as Leach (2022) and Bernstein (2022) on the implications of AI for design practices.

Conștientizând limitările inerente acestui tip de studiu, remarcăm provocările de a surprinde pe deplin complexitatea impactului AI asupra designului arhitectural în cadrul acestui domeniu aflat în evoluție rapidă. O interpretare prudentă a constatărilor noastre subliniază cu tărie necesitatea unor noi perspective din care ar putea fi realizat un studiu mai adecvat. În plus, deși împărtășim unele dintre observațiile și concluziile altor cercetători, acestea sunt inerent specifice și prin urmare pot să nu fie generalizabile.

La final, această cercetare explorează potențialul de reprezentare al realității virtuale (VR) atunci când este combinată cu abordările computaționale moderne pentru proiectarea arhitecturală. Capacitatea VR de a induce un sentiment convingător de prezență oferă arhitecților un mediu puternic pentru a naviga și manipula configurația spațială și relațiile metaforice ale artefactelor arhitecturale în timp real.

Metafore, modele și artefacte

Deși ar putea apărea ideea că spațiul arhitectural are o esență sau o substanță constitutivă, aceasta nu poate fi mai mult decât o metaforă, o interpretare literală ar cădea rapid într-o lume de contradicții și paradoxuri. Orice efort de a dezlega nodurile gordiene aparent nelimitate ale provocărilor conceptuale le multiplică și mai mult, făcând și mai evidentă nevoia de a trata problema în planul metaforelor.

Cu siguranță, relația arhitecturii cu metaforele generative a fost în general bine recunoscută (Collins, 1998) și faptul că acestea se inspiră adesea din progresele altor discipline, cu o anumită afinitate față de sfera preeminentă din punct de vedere intelectual sau creativ a timpului respectiv (Seligmann & Seligmann, 1977). Din păcate, simpla constatare a necesității de a trata metaforele nu face situația mai clară sau mai simplă. Spre exemplu, nu este clar dacă construcția metaforică implică faptul că există

Recognizing the limitations inherent in this type of study, we note the challenges of fully capturing the complexity of AI's impact on architectural design in this rapidly evolving field. A cautious interpretation of our findings strongly suggests the need for novel lenses from which a more adequate study could be conducted. Furthermore, although we share some of the findings and conclusions of other researchers, these are inherently specific and thus may not be generalizable.

Finally, this inquiry explores the representational potential of Virtual Reality (VR) when combined with modern computational approaches to architectural design. VR's capacity to induce a compelling sense of presence offers a powerful medium for architects to navigate and manipulate the spatial configuration and metaphorical relationships of architectural artefacts in real-time.

Metaphors, Models and Artefacts

Although one might entertain the idea that architectural space has an underlying essence or a constituting substance, that idea cannot be more than a metaphor; a literal interpretation would fall quickly into a world of contradiction and paradoxes. Any struggle to untie the seemingly limitless gordian knots of conceptual challenges further multiplies them, making the need to treat the matter on the metaphoric plane even more obvious.

Certainly, architecture's relationship with generative metaphors has been generally well recognized (Collins, 1998), and that they often draw on advances in other disciplines, with a certain affinity to the intellectually or creatively preeminent sphere of its time (Seligmann & Seligmann, 1977). Unfortunately, simply stating the need for dealing with metaphors does not make the situation any clearer or simpler. For instance, it is not clear if the metaphorical construct implies that there is a certain constellation of

o anumită constelație de calități sau atribute care au fost concepute, o alta care a fost pur accidentală sau un amestec din ambele.

Orice astfel de afirmații ar trebui verificate, dar nu dispunem de metode fiabile de testare a afirmațiilor metaforice despre spațiul arhitectural. Unele piste pot fi într-adevăr găsite în teoria arhitecturii, unde astfel de metafore sunt tratate în mod regulat în cadrul discursurilor privind estetica, fenomenologia, semiotica, psihologia și inclusiv politica mediului construit. Cu toate acestea, niciuna dintre ele nu pare să aibă o veridicitate dovedită. Trebuie să recunoaștem că obținerea „adevărului” este o sarcină prea grea; înlocuirea acestuia cu „relevant” sau „productiv” face sarcina mai ușoară și, în același timp, satisfăcătoare într-o anumită măsură.

Indiferent de conținutul și puterea lor, astfel de metafore sunt construcții mentale. Urmându-l pe Deleuze (1969/1990, 1968/1994), s-ar putea spune că artefactul arhitectural împreună cu spațiul pe care îl desfășoară articulează continuumul experienței și al formării ideilor. Impresiile și ideile ricoșează pe suprafața perceptibilă a artefactului și sunt transformate, articulate, eliminate sau multiplicat; un artefact arhitectural, el însuși manifestarea unui model arhitectural, funcționează ca un modelator de idei metaforice. Poate că un mod mai bun de a expune acest lucru ar fi să spunem că un artefact arhitectural este un fel de catalizator pentru procesele mentale, din care unele devin integrate în modele și viitoare artefacte arhitecturale, fiind un sistem de relații care construiește și articulează realitatea.

Acest lucru rezultă din teoria deleuziană conform căreia nu există o separare substanțială între observator și observat în planul imanenței, însă relațiile diferențiale sunt responsabile pentru geneza experienței reale a individului existent concret aici și acum, în spațiul arhitectural (Deleuze, 1968/1994).

qualities or attributes that were designed, another that was purely accidental, or a mix of both.

Any such statements would need to be verified, but we do not have reliable methods of testing metaphorical statements about architectural space. Some leads can indeed be found in architectural theory, where such metaphors are regularly treated in discourses concerning aesthetics, phenomenology, semiotics, psychology and even politics of built environments. Yet none of them seem to have a substantiated claim to veracity. It must be conceded that achieving “truth” is too heavy a burden; substituting it with “relevant” or “productive” makes the task easier and, at the same time, satisfactory to a certain extent.

Regardless of their content and potency, such metaphors are mental constructs. Following Deleuze (1969/1990, 1968/1994), one might say that the architectural artefact together with the space it unfolds articulate the continuum of experience and idea formation. Impressions and ideas bounce off the sensible surface of the artefact and are transformed, articulated, eliminated, or multiplied; an architectural artefact, itself the manifestation of an architectural model, functions like a modeler of metaphorical ideas. Perhaps a better way of putting it would be to say that an architectural artefact is a kind of catalyst for mental processes, some of which become integrated into future architectural models and artefacts; it is a system of relationships that constructs and articulates reality.

This follows from the Deleuzian theory that there is no substantial separation between the observer and the observed in the plane of immanence, despite differential relationships that are responsible for the genesis of the real experience of concretely existing individual here and now, in architectural space (Deleuze, 1968/1994).

Așa cum ne-am aștepta de la orice proces, există o dimensiune temporală care trebuie considerată cu atenție. Un indiciu suplimentar de la Ricoeur (1983/1990, 1998/2016) ar putea inspira categorizarea timpului în timp trăit, timp povestit, timp înregistrat și timp interpretat, toate fiind acte de mimesis care modelează idei în diferite moduri. Fiecare nouă experiență arhitecturală este contextualizată prin sedimentarea clădirilor care constituie mediul construit deja existent, ceea ce, la rândul său, permite arhitecturii o istoricitate și o intertextualitate. În contextul construcțiilor și al ideilor despre construire, arhitectul înscrie noi lucrări, oferind și reinventând simultan moduri de a locui și de a experimenta (Ricoeur, 1998/2016), multiplicând astfel repertoriul metaforelor arhitecturale.

Prompturi și imagini metaforice de artefacte

Astăzi, abordările tradiționale ale proiectării și discursului arhitectural sunt puse la încercare de apariția AI-ului generativ de calibrul DallE, Midjourney, Stable Diffusion și altele. Aceste modele ne prezintă perechi de prompturi textuale și un artefact ipotetic asamblat printr-o manipulare statistică ingenioasă a pixelilor pe ecran. Considerarea oricăruia dintre aceste sisteme ca model este întrucâtva înșelătoare, deoarece acestea sunt sisteme complexe formate din diverse modele statistice.

O explicație detaliată a modului în care funcționează astfel de sisteme nu intră în scopul prezentei lucrări, dar un mod bun de a privi lucrurile este că există mai multe modele AI, unele responsabile pentru codificarea unui text sau a unei imagini într-o reprezentare vectorială, altele pentru inversare (de la reprezentarea vectorială la text sau imagine), iar altele pentru corelarea între reprezentările vectoriale ale textului și reprezentările corespunzătoare ale imaginilor. Poate cel mai interesant aspect al acestui sistem este că, undeva la mijlocul sistemului, atât textul, cât și imaginea sunt transformate în obiecte de reprezentare de același tip, mai precis în vectori n-dimensional. Acest

As one would expect of any process, there is a time dimension that needs to be considered carefully. A further cue from Ricoeur (1983/1990, 1998/2016) might inspire the categorization of time into lived time, recounted time, recorded time and interpreted time; all acts of mimesis that shape ideas in various ways. Each new architectural experience is contextualized by the sedimentation of buildings constituting the already existing built environment, which in turn allows architecture a historicity and an intertextuality. It is amidst the context of what has been built and what has been thought about building that an architect inscribes new work, simultaneously providing for and reinventing modes of inhabiting and experiencing (Ricoeur, 1998/2016), therefore multiplying the repertoire of architectural metaphors.

Prompts and Metaphorical Images of Artefacts

Today, traditional approaches to architectural design and discourse are challenged by the advent of generative AI of the caliber of DallE, Midjourney, Stable Diffusion and others. These models present pairs of textual prompts and a hypothetical artefact assembled through an ingenious statistical manipulation of pixels on the screen. Considering any of these systems as models is somewhat misleading since they are complex systems of various statistical models.

A lengthy explanation of how such systems work is besides the scope of this paper, but a good way to think about it is that there are multiple AI models, some responsible for encoding a text or image into a vectorial representation, others for inversing (from vectorial representation to text or image), and others for matching between the vectorial representations of text and the corresponding representations of images. Perhaps the most interesting aspect of this system is that somewhere in the middle of the system both the text prompt and the image are cast into representational objects of the same type, more specifically n-dimensional vectors. This simplifies the

lucru simplifică morfismul matematic dintre reprezentările de text și reprezentările de imagini (a se vedea, de exemplu, Marcus et al., 2022; OpenAI, 2021).

Aici trebuie să analizăm cu atenție imaginile care ne prezintă artefacte ipotetice. O întrebare evidentă care trebuie pusă este: cum se poate recunoaște un anumit grad de coerență în ele? Din toate punctele de vedere, trebuie să considerăm aceste imagini ca mozaicuri de metafore legate statistic care declanșează memoria într-un anumit mod. Dacă recunoașterea este într-adevăr o funcție puternic dependentă de memorie, atunci ajută faptul că există deja un anumit grad de familiaritate experiențială cu conceptele pe care utilizatorul încearcă să le exprime în prompt. Cu alte cuvinte, mimesisul funcționează pe deplin și trebuie să îl înțelegem în detaliu.

Un cadru hermeneutic-fenomenologic ricoeurian l-ar considera un proces de interpretare și, într-adevăr, trebuie să inventăm noi unghiuri din care să interpretăm rezultatele. Astfel de perspective trebuie să ia în considerare nu numai istoricitatea și intertextualitatea datelor de antrenament ca artefacte de sine stătătoare care indexează lumea, ci și noul context al asocierii lor cu modul în care informațiile lor sunt codificate și decodificate de mașină. Poate că datorită schimbării fundamentale de context s-ar putea privi aceste imagini noi din unghiul „înstrăinării” și al „designului postuman” (del Campo, 2021; del Campo, Manninger, Sanche, & Wang, 2019; del Campo, Carlson, & Manninger, 2020), iar astfel de posibilități merită o analiză mai aprofundată.

Trebuie să facem o pauză și să ne amintim că modelul AI nu este constrâns de realitate și că gestul de constrângere (care este predominant în proiectarea arhitecturală) nu poate fi abordat pe deplin de modelele AI generative actuale (a se vedea, de exemplu: Bernstein, 2022; Chaillou, 2022). Astfel, trebuie să tratăm aceste artefacte ipotetice ca fiind fundamental invalide, dar (uneori) puternic evocatoare. Devine imediat evident că o anumită cantitate de muncă

mathematical morphism between representations of text and representations of images (see, for example, Marcus et al., 2022; OpenAI, 2021).

Here we need to carefully consider the images that bring forward hypothetical artefacts. An immediate question one must ask is: how is it even possible to recognize any degree of coherence in them? For all intents and purposes, one needs to consider these images as patchworks of statistically related metaphors that trigger the memory in a certain way. If recognition is indeed a function heavily reliant on memory, then it helps that there is already some degree of experiential familiarity with the concepts the user tries to express in the prompt. In other words, mimesis fully works, and one needs to carefully understand it.

A Ricoeurian hermeneutic-phenomenological framework would regard it as some process of interpretation, and indeed we need to invent new perspectives from which to interpret the outputs. Such perspectives must consider not only the historicity and intertextuality of the training data as standalone artefacts indexing the world, but the new context of their pairing alongside the way their information is encoded and decoded by the machine. It is perhaps due to the fundamental shift in context that one might look at these novel images from the angle of “estrangement” and “post-human design” (del Campo, 2021; del Campo, Manninger, Sanche, & Wang, 2019; del Campo, Carlson, & Manninger, 2020), and such possibilities need further consideration.

We must pause and remind ourselves that the AI model is not constrained by reality, and that the gesture of constraining (which is prevalent in architectural design) cannot be fully addressed by current generative AI models (see for example (Bernstein, 2022; Chaillou, 2022)). Thus, we need to treat these hypothetical artefacts as fundamentally invalid yet (at times) powerfully evocative. Immediately, it becomes obvious that some amount of work is invariably

este invariabil necesară pentru a transforma imaginea sugestivă într-un model al unui artefact valid. Pare firesc ca aceste modele de AI generativ să fie considerate utile ca generatoare de partituri sau instrumente de vizualizare preliminară (Leach, 2022).

Sugestii generate de AI și modele arhitecturale

Urmând logica descrisă mai sus, în cadrul unui atelier de proiectare cu Dr. Jawad Tabtabai de la Kuwait University, care a avut loc în primăvara anului 2023, am cerut studenților să utilizeze ChatGPT, Midjourney și Stable Diffusion pentru a examina potențialul AI în generarea de imagini sugestive din punct de vedere arhitectural, acestea urmând să fie interpretate ca o colecție de potențiale strategii arhitecturale capabile să fie extrase în abstractum și apoi utilizate în proiectare. Aceste strategii arhitecturale extrase au fost puse în aplicare pentru a modela un pavilion la sol, un tip de arhitectură neobișnuită ce poate fi înțeles ca un proiect peisagistic impregnat cu calități spațiale specifice clădirilor.

Studenții au observat imediat că era imposibil pentru ei să solicite AI să genereze reprezentări adecvate ale unui astfel de obiect. Ipoteza noastră este că motivul se află în setul de antrenament al modelului AI; acest concept specific pe care l-am inventat (un pavilion la sol) nu avea reprezentanți în datele de antrenament sau cel puțin nu în număr suficient. Prin urmare, orice solicitare care contura direct conceptul era străină modelului. În schimb, modelele (Midjourney și Stable Diffusion) au generat imagini care ar putea fi înțelese ca reprezentări parțiale ale altor concepte exprimate cu cuvinte similare.

O altă constatare a fost aceea că anumite cuvinte aveau conotații care erau contrare sarcinii în cauză. De exemplu, aproape toate prompturile care foloseau cuvintele „pavilion”, „clădire” sau „arhitectură” au generat imagini care prezentau unul sau mai multe artefacte tipice

needed to transform the suggestive image into a model of a valid artefact. It only makes sense that these generative AI models should be deemed useful as parti generators or preliminary visualization tools (Leach, 2022).

AI Generated Suggestions and Architectural Models

Following the logic outlined above, in a design studio with Dr. Jawad Tabtabai at Kuwait University held in spring 2023, we asked the students to use ChatGPT, Midjourney and Stable Diffusion to probe AI's potential in generating architecturally suggestive images, which would thereafter be interpreted as a collection of potential architectural strategies that could be extracted in abstractum then used in design. These extracted architectural strategies were implemented to model a ground-pavilion, an uncommon type of architecture that might be explained as a landscape project imbued with spatial qualities typically seen in buildings.

Immediately the students noticed that it was impossible for them to prompt the AI to generate adequate representations of such an object. We hypothesize that the reason behind this lies in the training set of the AI model; this particular concept that we invented (a ground-pavilion) had no representants in the training data, or at least not in sufficient numbers. As a result, any prompt outlining the concept directly was foreign to the model. Instead, the models (Midjourney and Stable Diffusion) generated images that could be understood as partial representation of other concepts formulated with similar words.

Another observation was that specific words carried certain connotations that were contrary to the task at hand. For example, almost all prompts using the words “pavilion”, “building” or “architecture” resulted in images showing one or more typical artefacts sitting on the ground (sometimes

așezate pe sol (uneori implicit). Aceste tipuri de imagini nu erau dezirabile și presupuneau ca studenții să elimine din prompt orice cuvinte care ar fi declanșat în mod normal asocieri legate de obiecte sau artefacte discrete. În schimb, trebuiau să formuleze propoziții care să facă aluzie indirectă la ceea ce urmăream. Doar un număr mic de imagini generate au fost selectate pentru sugestivitatea lor în ceea ce privește strategiile arhitecturale pe care, ulterior, studenții au fost însărcinați să le transpună într-un pavilion la sol pe un mic teren dat din Kuwait City (a se vedea figura 1). Aici observăm că interpretarea imaginilor generate a fost un exercițiu imaginativ, axat pe metaforele detectabile, urmat de un proces reciproc pentru stabilirea relațiilor cu metaforele arhitecturale. Acestea din urmă au fost apoi traduse în strategii formale. Cu diferite grade de succes, s-a pus, de asemenea, accentul pe păstrarea atmosferei fenomenologice din imaginile generate, ceea ce s-a dovedit deosebit de dificil având în vedere intervalul de timp și mediul auster de modelare (Rhinoceros3D).

De la AI generativ la sisteme de AI care creează modele

După discutarea status quo-ului, trebuie să oferim o schiță conceptuală pentru un viitor sistem ipotetic de AI de alt tip. Prima cerință este să ne îndepărtăm de generarea unui mozaic de imagini metaforice pentru a ajunge la un sistem de inteligență artificială care poate crea modele valide. Un astfel de sistem ar trebui să fie fundamental diferit, mai apropiat de modelele de ultimă oră de învățare prin reforțare (RL), care s-au dovedit capabile să simuleze un simț al controlului și luarea deciziilor în medii artificiale (Canese et al., 2021; Ha, 2019; Jara-Ettinger, 2019). Acest nou sistem trebuie să ia decizii cu privire la construirea de modele din intenții și, ca atare, trebuie să aibă nu numai un rezultat, ci și un sistem general de analiză și sinteză pentru a facilita negocierea între intenții potențial contradictorii.

Deși discursul actual este dominat de modelele generative de AI, nu trebuie neglijat faptul că există și alte

implicit). These kinds of images were not desirable and meant that students had to eliminate from the prompt any words that would normally trigger associations relating to discrete objects or artefacts. Instead, they needed to formulate sentences that would allude indirectly to what we were after. Only a small number of generated images were selected for their suggestiveness of architectural strategies which the students were then tasked to translate into a ground-pavilion on a small given lot in Kuwait City (see figure 1). Here we note that the interpretation of the generated images was an imaginative exercise, focused on the metaphors detectable in the images, followed by a process of back and forth to establish relationships to architectural metaphors. The latter were then translated into formal strategies. With varying degree of success, there was also an emphasis on retaining the phenomenological atmosphere from the generated images, which proved to be exceedingly difficult given the timeframe and the austere modelling environment (Rhinoceros3D).

From Generative AI to Model-making AI Systems

After discussing the status quo, we must offer a roadmap of a hypothetical future AI system of another kind. The first requirement is to step away from generating a patchwork of image metaphors towards an AI system that can create valid models. Such a system should be fundamentally different, more akin to cutting-edge Reinforcement Learning (RL) models, which have been shown capable of simulating agency and decision-making in artificial environments (Canese et al., 2021; Ha, 2019; Jara-Ettinger, 2019). This new system must make decisions about constructing models from intentions, and as such must have not only a solver, but also a system of general analysis and synthesis to aid in negotiating between potentially contradictory intentions.

While the current discourse is dominated by generative AI models, it must not be overlooked that other promising

tehnologii promițătoare. Modelele lingvistice mari și alte transformatoare pot aparent codifica și extrapola informații. Modelele de învățare prin ranforsare, pe de altă parte, pot fi înțelese ca un algoritm de căutare generic optimizat care își amintește experiența, cu alte cuvinte, învață cum să navigheze în mediul său pentru a-și îndeplini sarcinile. Aici se găsește diferența crucială. Ceea ce fac modelele transformatoare este să abordeze totalitatea datelor de antrenament furnizate acestora, în timp ce modelele de ranforsare abordează lumea în care se află.

O expunere oarecum rudimentară a modelului RL tipic ar fi să spunem că acesta vede lumea ca având o stare, în urma căreia agentul decide să întreprindă o acțiune care afectează acea stare, cu scopul de a obține un anumit rezultat. O definiție formală mai concisă ar fi: „controlul optim al proceselor decizionale Markov incomplet cunoscute” (Sutton & Barto, 2018, p. 2).

Utilizarea RL pentru a explora spațiile de soluții în proiectarea arhitecturală computațională s-a dovedit deja a fi o pistă de cercetare promițătoare. De exemplu, un agent RL poate învăța politici de utilizare a gramaticilor geometrice pentru a crea scheme bidimensionale de case unifamiliale care îndeplinesc un set de criterii (Ruiz-Montiel et al., 2013), cum ar fi eficiența energetică (Mandow et al., 2020). Un scenariu poate mai evident ar fi explorarea spațiului de soluții definit de modele parametriche de către un agent RL pentru a optimiza un anumit obiectiv dorit (Chang et al., 2019; Feng et al., 2019). Aici principala remarcă este că modul în care agentul RL explorează opțiunile de proiectare depinde în mare măsură de o metrică de evaluare (uneori numită euristică) care ghidează agentul în căutarea soluțiilor optime; generalitatea învățării prin ranforsare implică faptul că setarea metricii de evaluare este extrem de importantă atunci când se implementează RL pentru rezolvarea unor sarcini specifice.

O oportunitate interesantă dată de modelele RL provine din faptul că acestea pot funcționa în cadre tipice de

technologies are available. Large Language Models and other transformers can seemingly encode and extrapolate knowledge. Reinforcement learning models, on the other hand, can be understood as an optimized generic search algorithm that remembers its experience, in other words, it learns how to navigate its environment to achieve its tasks. Here lies the crucial difference. What transformer models do is address the totality of the training data given to it, while reinforcement models address the world in which they find themselves.

A somewhat crude exposition of the typical RL model would be to say that it sees the world as having a state, upon which the agent decides to take an action affecting that state, with the goal of reaching some outcome. A more concise, formal definition would be: “the optimal control of incompletely-known Markov decision processes”(Sutton & Barto, 2018, p. 2).

Using RL to explore solution spaces in computational architectural design has already been shown to be a promising avenue of investigation. For example, an RL agent can learn policies for using shape-grammars to create two dimensional layouts for single family homes that satisfy a set of requirements (Ruiz-Montiel et al., 2013) such as energy efficiency (Mandow et al., 2020). Perhaps a more obvious scenario would be the exploration of the solution space defined by parametric models by an RL agent to optimize for some desired goal (Chang et al., 2019; Feng et al., 2019). Here the main take-away is that the way the RL agent explores design options is heavily reliant on an evaluation metric (sometimes called a heuristic) that guides the agent in its search for optimal solutions; the generality of reinforcement learning implies that setting up the evaluation metric is crucially important when implementing RL for solving specific tasks.

One interesting opportunity with RL models comes from the fact that they can operate within typical 3D modelling

modelare 3D, în care un model arhitectural este exprimat într-un mediu 3D care are rolul unui context. Există o limită a ceea ce poate fi reprezentat în formă digitală având în vedere capacitățile tehnologice actuale. Cu toate acestea, din perspectiva unui agent RL, acel context este lumea în care poate lua decizii pentru a ajunge la un anumit rezultat dorit (aceasta ar fi aproximativ analog cu un arhitect care proiectează în cadrul unui model BIM ce include o cantitate mare de informații despre sit).

Un scenariu productiv ar fi acela în care agentul RL reușește să traducă o intenție arhitecturală exprimată sub formă metaforică într-o serie de decizii care articulează mediul 3D într-un mod dorit. Cu toate acestea, problema metaforelor este într-adevăr una profundă. Proiectarea în sine este o problemă slab structurată (Simon, 1988), la fel și traducerea metaforelor (Eco, 1986), prin urmare traducerea intențiilor arhitecturale din metafore lingvistice în metafore cu extensie geometrică este o sarcină extrem de dificil de conceptualizat, mai ales de formalizat.

Aici, modelele lingvistice mari (LLM) actuale ar putea ajuta la traducerea unei părți din limbajul care exprimă intenția arhitecturală într-un set de posibile instrucțiuni formale cu care se poate calcula. Vom observa că o previzualizare foarte timpurie a acestui potențial poate fi simulată cu tehnologia actuală. Se poate demonstra destul de ușor că LLM-urile pot transforma un prompt bine construit în cod (funcții) ce ulterior poate fi inserat într-un software de modelare (Rhino) și genera geometrie. La momentul redactării acestui text, atunci când i s-a solicitat să „creeze un fragment de cod în python pentru Rhino Grasshopper care să genereze clădiri în formă de U”, ChatGPT a produs un cod ce utilizează bibliotecile RhinoScriptSyntax și RhinoCommon pentru scripting, cod ce putea fi conectat la o capsulă Grasshopper Python, fără modificări majore ca să funcționeze. Acesta a înțeles chiar că un astfel de cod ar trebui să aibă unii parametri, anume „lățime”, „adâncime”, „înălțime” și „curte_interioară”, ce puteau fi ajustați pentru a modifica forma clădirii (OpenAI, 2024).

frameworks, where an architectural model is expressed within some 3D environment that functions like a context. There is a limit to what can be represented in digital form given current technological capabilities, nevertheless, from the perspective of an RL agent, that context is the world upon which decisions can be taken to reach some desired outcome (this would be loosely analogous to an architect designing within a BIM model that includes a high amount of site information).

A productive scenario would be where the RL agent manages to translate an architectural intent expressed in a metaphorical form into a series of decisions that articulate the 3D environment in a desirable manner. Yet the problem of metaphors is indeed a deep one. Design itself is an ill-structured problem (Simon, 1988), and so is translating metaphors (Eco, 1986), therefore translating architectural intentions from linguistic metaphors to metaphors with geometric extension is an exceedingly difficult task to conceptualize, let alone formalize.

In this case, current Large Language Models (LLMs) might help with translating some of the language expressing the architectural intent into a set of possible formal instructions which can be computed with. We will note that a very early preview of this potential can be simulated with current technology. It can be shown rather easily that LLMs can transform a well-constructed prompt into code (functions) which can subsequently be plugged into a modelling software (Rhino) and generate geometry. At the time of writing, when prompted with “create a code snippet in python for rhino grasshopper that can generate u-shape buildings” the ChatGPT-generated code that used RhinoScriptSyntax and RhinoCommon libraries for scripting, code which could be plugged into a Grasshopper Python capsule, without major modifications to make it work. It even understood that such script should have some parameters, namely “width”, “depth”, “height”, and “inner_courtyard” that could be adjusted to modify the shape of the building (OpenAI, 2023). Of course, with further prompting the generated code

Desigur, cu ajutorul unor indicații suplimentare, codul generat ar putea fi rafinat și complexificat pentru a adăuga mai multe caracteristici. Deși acest exemplu este mai degrabă rudimentar, el indică destul de clar posibilitatea unui viitor apropiat în care LLM-urile vor putea genera cod pentru agenți RL capabili să ia decizii în vederea atingerii rezultatelor dorite.

Abilitatea sistemelor AI de a-și aminti experiențele trecute, prin codificarea acestora în modele statistice, le oferă un avantaj. Capacitatea acestor sisteme de a deveni depozite de cunoștințe exprimate în formă literară, vizuală și auditivă implică faptul că ele pot codifica, de asemenea, cunoștințe despre soluții arhitecturale și geometrice pentru diverse intenții arhitecturale. Deși intențiile ar putea fi formulate în text, principala provocare este crearea unei baze de date cu astfel de soluții. O altă provocare ar fi găsirea unei reprezentări comune a ambelor (potențial vectorială), astfel încât morfismul matematic să fie posibil.

Cu toate acestea, acest lucru nu ar fi suficient, deoarece interpolarea pe baza datelor anterioare nu este o abordare adecvată. Prin natura sa, interpolarea nu poate aborda nici constrângerile, nici conflictele sau paradoxurile care apar. Prin urmare, este necesară o metodă de negociere atât la scară globală, cât și la scară locală a modelului.

Realitatea virtuală, prezența și designul fenomenologic

În cele din urmă, a rămâne în mediile software CAD sau BIM standard din industrie este nesatisfăcătoare. Chiar dacă admitem posibilitatea ca metaforele arhitecturale să poată fi abordate în mod corespunzător și traduse în modele digitale de către LLM-uri sau agenți RL, există un obstacol experiențial dat de marea diferență dintre crearea unui model și experimentarea unui artefact construit. Procesul de proiectare în sine, cu sau fără ajutorul sistemelor AI, necesită și consolidează un fel de punct arhimedic de la care poate fi ordonată o potențială parte viitoare a lumii.

could be refined and complexified to add more features. While this example is rather rudimentary, it does point quite clearly to the possibility of a near future where LLMs could generate code for RL agents capable of making decisions towards reaching intended outcomes.

The ability of AI systems to remember past experiences, by encoding them in statistical models, gives them an advantage. These systems' capacity to become repositories of knowledge expressed in literary, visual, and aural form, implies they can also encode knowledge about architectural and geometric solutions to various architectural intentions. While intentions could be formulated in text, the main challenge is to create a database of such solutions. Another challenge would be to find a common representation of both (potentially vectorial) so that mathematical morphism can be possible.

However, this would not be enough, as interpolation on past data is not an adequate approach. By its nature, interpolation cannot address neither the acts of constraining nor arising conflicts or paradoxes. Thus, the need for a method of negotiation on a both global and local scale of the model.

Virtual Reality, Presence, and Phenomenological Design

Remaining within industry-standard CAD or BIM software environments is ultimately unsatisfactory. Even if we allow for the possibility that architectural metaphors could be properly addressed and translated by LLMs or RL agents into digital models, there is an experiential obstacle given by the dramatic chasm between producing a model versus experiencing a built artefact. The process of design itself, with or without the help of AI systems, requires and reinforces a kind of Archimedean Point from which a potential future part of the world can be ordered. From such stance, metaphors

Dintr-o astfel de poziție, metaforele care pot fi accesate doar prin intermediul experienței întrupate sunt în mod necesar reduce la concepte abstracte care pot sau nu să producă efectele propuse în artefactul construit. Chiar și atunci când materialul de reprezentare este de o calitate atât de înaltă încât pare să invite privitorul la un angajament cognitiv și emoțional cu spațiul descris (similar cu ceea ce se poate obține printr-o fotografie; a se vedea, de exemplu: [Barthes, 1980/1981; Benjamin, 1931/1972; Sontag, 1973/2005]), un arhitect, în timp ce proiectează, ar trebui să treacă de la o poziție fundamental diferită la alta, una de ordonare a spațiilor și una de imaginare a experienței în cadrul aceluia spațiu ordonat, ducând la paradoxuri aparent insurmontabile.

Un model alternativ de reprezentare este oferit de realitatea virtuală (VR), care poate oferi „percepția de a fi prezent fizic într-o lume non-fizică ... prin înconjurarea utilizatorului sistemului VR creat cu imagini, sunet sau alți stimuli care oferă un mediu foarte absorbant” (Freina & Ott, 2015, p. 133). Cu toate acestea, în industria AEC, cea mai mare atenție a fost acordată utilizării VR și a realității augmentate (AR) ca o altă modalitate de a vizualiza o propunere de edificare: utilă pentru implicarea clienților, sprijinirea și revizuirea proiectării sau construcției, operațiuni și gestionare și formare (Delgado et al., 2020). O evoluție mai recentă a fost facilitarea colaborării echipelor în medii virtuale imersive (Yu et al., 2022). În timp ce aceste aplicații au cu siguranță utilizările lor în industrie, trebuie remarcat faptul că ele se îndepărtează de conceperea imaginativă a spațiilor arhitecturale. Un aspect important pentru investigația noastră este faptul că, în timpul imersiunii în lumi simulate, se păstrează kinestezicul, o iluzie obținută prin coordonarea rapidă și reușită a poziției între lumea reală și cea virtuală, care alimentează simularea stimulilor, promovând senzația de prezență. O implicație a acestei prezențe kinestezice este că, fără postura care permite ordonarea detașată bazată pe abstractizare, modelarea spațiilor virtuale locuite necesită instrumente diferite. Se pot imita într-o măsură

that are only accessed through embodied experience are necessarily reduced to abstract concepts that might or might not carry through to produce their promised affects in the built artefact. Even when the representational material is of such high quality as to seemingly invite the viewer to engage cognitively and emotionally with the depicted space (similar to what can be achieved by a photograph; see for example: [Barthes, 1980/1981; Benjamin, 1931/1972; Sontag, 1973/2005]), an architect, while designing, would need to jump between two fundamentally different stances, one of ordering spaces and one of imagining experience within that ordered space, leading to seemingly unsurmountable paradoxes.

An alternative representational model is offered by virtual reality (VR), which is able to offer “a perception of being physically present in a non-physical world ... by surrounding the user of the VR system created with images, sound, or other stimuli that provide a very absorbing environment” (Freina & Ott, 2015, p. 133). However, in the AEC industry most of the focus has been on using VR and Augmented Reality (AR) as another way of viewing a building proposal: useful for client engagement, design support and review, construction support and review, operations and management, and training (Delgado et al., 2020). A more recent development has been in enabling team collaboration in immersive virtual environments (Yu et al., 2022). While these applications certainly have their uses in the industry, one must note that they are removed from the imaginative projection of architectural spaces. Importantly for our investigation, while immersed in simulated worlds one retains the kinesthetic, an illusion brought about by the successful and rapid coordination of position between the real and virtual worlds which feeds into the simulation of the stimuli, furthering the sensation of presence. One implication of this kinesthetic presence is that without the posture allowing for detached ordering through abstraction, modelling the inhabited virtual spaces needs different tools. One can mimic to a limited

limitată, folosind gesturi și gadgeturi, unele comenzi de modelare găsite în sistemele tipice de modelare 3D (Ergün et al., 2019). Cu toate acestea, oportunitatea constă în coordonarea calculelor și a intențiilor de proiectare într-un mediu virtual care permite luarea de decizii coerente fenomenologic. Imersiunea kinestezică în VR, așa cum a fost detaliată mai sus, vine cu o altă consecință, și anume dizolvarea punctului arhimedic care permite ordonarea în practica tipică de zi cu zi a proiectării arhitecturale, ceea ce înseamnă că calculul ar subsuma sarcina de a traduce ideile, prin metodologii, în decizii directe care afectează modelul. Eliberat de sarcina de modelare directă, arhitectul s-ar putea concentra asupra conceptelor, meta-modelelor mentale și explorării implicațiilor lor fenomenologice.

Analogii parțiale ale celor de mai sus pot fi găsite în practică. De exemplu, un arhitect principal ar putea îndruma un asistent să creeze modelul conceptual al proiectului și să facă modificări din mers, un altul ar putea informa o echipă de proiectare cu privire la obiectivele de proiectare și s-ar putea întâlni la intervale regulate pentru a analiza rezultatele, a sugera modificări sau a selecta o versiune. Mai recent, în cadrul procesului de proiectare parametrică, un arhitect se confruntă adesea cu alegerea unuia dintre mai multe fenotipuri (Leach, 2022). În toate aceste relatări, arhitectul principal, în calitate de observator, este îndepărtat de procesul de implementare a ideilor de proiectare și implicat într-un proces de feedback atunci când se confruntă cu unul sau mai multe modele, fizice sau digitale, care reprezintă un potențial viitor artefact arhitectural la un anumit nivel de abstractizare. Dinamica dintre arhitectul care observă și judecă și obiectul de reprezentare permite doar așteptări experiențiale proiective și intuitive, care adesea se îndepărtează semnificativ de realitatea artefactului construit, ceea ce le face nefiabile. Transferarea procesului de proiectare cu ciclul său de feedback în VR rezolvă parțial problema prezicerii calităților experiențiale în viitoarele artefacte arhitecturale. Provocările sunt multiple,

extent, using gestures and gadgets, some of the modelling commands found in typical 3D modelling systems (Ergün et al., 2019). Yet the opportunity lies in the coordination between computation and design intent within a virtual environment that allows for phenomenologically coherent decision making. Kinesthetic immersion in VR as detailed above comes with another implication, namely the dissolution of the Archimedean point which allows for ordering in typical day-to-day architectural design practice, meaning that computation would subsume the task of translating ideas, through methodologies, into direct decisions affecting the model. Freed from the task of direct modelling, the architect could then focus on designing concepts, mental meta-models and exploring their phenomenological implications.

Partial analogies of this can be found in practice. For example, a lead architect might direct an assistant to create the conceptual model of the project and make changes on the fly, another might brief a design team on design goals and meet at regular intervals to critique the results, suggest changes, or select a version. More recently, an architect is often faced with choosing one of many phenotypes in parametric design process (Leach, 2022). In all these accounts, the lead architect, as an observer, is removed from process of implementing design ideas and involved in a feedback process when confronted with one or more models, whether physical or digital, representing a potential future architectural artefact at some level of abstraction. The dynamic between the observing, judging architect and the representational object only allows for projective and intuitive experiential expectations, which often depart significantly from the reality of the built artefact, making them unreliable. Transferring the design process with its feedback loops to VR partially solves the problem of predicting experiential qualities in future architectural artefacts. The challenges are multifold, but the question of reliability moves focus from the intuition of the designer to the technical capabilities of the VR system in simulating realistic phenomena, and while

dar problema fiabilității mută centrul atenției de la intuiția proiectantului la capacitățile tehnice ale sistemului VR de a simula fenomene realiste și, deși tehnologia actuală nu poate pretinde o verosimilitate completă, există progres semnificativ către obiectivul de a face ca lumile simulate să nu poată fi diferențiate de realitate.

După cum se spune, nu este o chestiune de dacă, ci mai degrabă de când. Chiar și cu tehnologia și practicile standard actuale, VR este utilizată în practicile de proiectare pentru testarea sau demonstrarea (către client) calităților propunerilor de proiectare (Schiavi et al., 2022). Acest lucru se întâmplă, de obicei, atunci când dezvoltarea proiectului este avansată, spre etapele finale. O altă utilizare notabilă a VR este în experimentele științifice care urmăresc să testeze efectul mediului construit asupra bunăstării (Chan, 2021; Tawil et al., 2021). Aceste utilizări ale VR nu contestă în mod fundamental practicile standard de producție a proiectării și se bazează în continuare pe sistemele CAD sau BIM standard din industrie.

Pentru ca un arhitect să fie imersat într-o simulare VR și, în același timp, toate procesele directe de modelare să fie atribuite unui sistem computațional, este nevoie de cadre computaționale care să traducă intențiile arhitecturale în modele care extind relațiile geometrice dincolo de desenele reprezentative sau bazele de date (utilizate în BIM). Un efect secundar potențial nedorit ar fi acela că astfel de cadre stabilesc limitele a ceea ce poate fi considerat o intenție arhitecturală semnificativă, aptă de a fi tradusă într-un model arhitectural. Cu toate acestea, aceste cadre se situează pe un spectru cuprins între cele complet structurate și cele nestructurate. Structurarea completă a unui cadru înseamnă stabilirea regulilor pentru crearea rezultatelor valide, iar aceste reguli pot codifica aspecte precum cele stilistice, juridice, structurale, economice etc. Un cadru complet structurat este analog unui model parametric amplu care funcționează prin diferite straturi de abstractizare și la diferite scări, de la nivelul unui detaliu arhitectural la cel al contextului urban (a se vedea,

current technology cannot claim complete verisimilitude, there is significant progress towards the goal of having the simulated worlds virtually indistinguishable from reality.

As the adage goes, it is not a question of if but rather of when. Even with current technology and standard practices, VR is used in design practices for testing or demonstrating (to the client) the qualities of design proposals (Schiavi et al., 2022). This happens usually when the project development is advanced and towards the final stages. Another noteworthy use of VR is in scientific experiments looking to test the effect of the built environment on wellbeing (Chan, 2021; Tawil et al., 2021). These uses of VR do not fundamentally question standard design production practices and are still reliant on industry-standard CAD or BIM systems.

To have an architect immersed in a VR simulation while at the same time relegating all direct modelling processes to a computational system necessitates computational frameworks to translate architectural intent into models that extend geometric relationships beyond representational drawings or databases (used in BIM). A potentially undesirable side effect would be that such frameworks set the boundaries of what can be considered a meaningful architectural intent capable of being translated into an architectural model. Nevertheless, these frameworks would fall on a spectrum between fully curated and uncurated. Fully curating a framework means establishing the rules for creating valid outcomes, and these rules might encode aspects such as stylistic, legal, structural, economic, etc. A fully curated framework is analogous to a large parametric model operating through various layers of abstraction, and at different scales, from the level of an architectural detail to that of the urban context (see for example ArcGIS CityEngine [ESRI, 2023] and

de exemplu, ArcGIS CityEngine [ESRI, 2023] și Finch [Finch, 2024]). S-ar putea specula rezonabil că un astfel de cadru ar fi capabil să abordeze și să imite orice metodologie de proiectare formală; cu toate acestea, negocierea între metodologii de proiectare eterogene într-un model de mari dimensiuni este practic nesustenabilă într-o paradigmă parametrică, deoarece ar necesita o intervenție manuală constantă pentru actualizarea modelului și rezolvarea incompatibilităților. Abordarea provocării menționate mai sus ar necesita un sistem bine structurat de analiză și sinteză, capabil să gestioneze concurența, incompatibilitatea și contradicția dintre intențiile de proiectare. Astfel de sisteme sunt greu de conceptualizat, iar proiectarea manuală a acestora este foarte improbabilă, prin urmare acestea ar fi cadre nestructurate. Anterior în lucrare s-a menționat că s-a demonstrat faptul că agenții RL simulează un simț al controlului și au capacitatea de a-și aminti experiențele trecute (o caracteristică comună majorității claselor de modele AI). De asemenea, aceștia se îmbunătățesc în permanență la viteze accelerate.

Rămâne de văzut dacă viitoarele sisteme RL pot aborda multitudinea de constrângeri și intenții întâlnite de obicei în proiectele de arhitectură, în special în stadiul de idee, însă există motive să fim optimiști. Pe de o parte, ceea ce au în comun metodologiile practice de proiectare (și anume, cele care au ca rezultat artefacte construibile) este faptul că acestea pot fi privite ca niște cartograferi ale spațiului geometric euclidian, iar pe de altă parte, modelele AI pot aproxima, în teorie, orice funcție (Cybenko, 1989; Hornik et al., 1989). Ca atare, dezvoltările AI în domenii precum soluțiile sistemelor fizice, demonstrațiile algebrice și geometrice, optimizarea topologică, reprezentarea vizuală, raționamentul semantic, codarea (această listă nu este exhaustivă) vor avea o importanță crucială în dezvoltarea unui cadru neorganizat capabil să traducă un set de metafore arhitecturale în modele digitale construibile care pot fi experimentate, ca și cum ar fi reale, în timpul imersiunii în VR.

Finch [Finch, 2024]). One could reasonably speculate that such a framework should be able to address and mimic any formal design methodology, however, negotiating between heterogeneous design methodologies in a large model is practically untenable in a parametric paradigm as it would require constant manual intervention to update the model and resolve inconsistencies. Addressing the aforementioned challenge would require a well-structured system of analysis and synthesis capable of handling competition, inconsistency and contradiction between design intentions. Such systems are hard to conceptualize and manually designing them is highly improbable, hence they would be uncurated frameworks. Earlier in the paper we mentioned that RL agents have been shown to simulate agency and have a capacity to remember past experiences (a feature shared by most classes of AI models). They are also continuously improving at accelerated rates.

It remains to be seen if future RL systems can address the multitude of constraints and intentions typically encountered in architectural projects, especially at the stage of ideation, yet there is reason to be optimistic. On the one hand, what practical design methodologies (i.e. that result in buildable artefacts) have in common is that they can be seen as mappings to Euclidean geometric space, and on the other hand, AI models can in theory approximate any function (Cybenko, 1989; Hornik et al., 1989). As such, AI developments in fields such as multi-physics solvers, algebraic and geometric proofs, topology optimization, visual representation, semantic reasoning, coding (this list is not exhaustive) will be crucially important in developing an uncurated framework capable of translating a set of architectural metaphors to buildable digital models to be experienced, as if they were real, while immersed in VR.

Ipozeza noastră este că, în cazul în care se produce o simulare convingătoare a realității, iar iluzia prezenței este indusă intens, ceea ce conduce la un angajament fenomenologic semnificativ cu artefactele virtuale, atunci arhitectul imersat în acest peisaj virtual își va însufla propria subiectivitate într-un mod care nu face abstracție de corpul care simte și percepe. Păstrarea conștiinței depline a propriului corp în timp ce se află într-o stare de prezență, primind astfel un feedback instantaneu asupra deciziei de design, ar face procesul de proiectare mai visceral, intim, afectiv și semnificativ. Acest lucru sugerează, de asemenea, că intențiile arhitecturale și-ar putea păstra relația metaforică cu artefactele virtuale percepute. În cadrul realității virtuale, artefactul arhitectural simulat articulează continuumul experienței și al formării ideilor. Timpul, mimesisul, contextul și intertextualitatea sunt continuate, în mintea arhitectului, din lumea reală în lumea virtuală și viceversa. Imitând experiențele reale, impresiile și ideile ricoșează pe suprafața simulată a artefactului și sunt transformate, articulate, eliminate sau multiplicat. Aici, distincția dintre model și artefact este atât de redusă încât este aproape transparentă.

Această schimbare fundamentală în abordarea proiectării arhitecturale ar avea, fără îndoială, implicații profunde în practica dezvoltării proiectelor și este destul de tentant să speculăm în continuare modul în care practica viitoare s-ar putea schimba odată cu apariția tehnologiei schițate mai sus. Pe scurt, ne vom concentra pe două schimbări evidente. În primul rând, modul de dezvoltare a proiectului se va îndrepta către o interacțiune de dialog între un arhitect axat pe conceperea ideilor și un cadru care le traduce în artefacte virtuale habitabile care pot fi construite și în viața reală. În al doilea rând, o proporție semnificativă a efortului va fi atribuită sarcinii monumentale de creare, implementare și utilizare a acestor cadre ipotetice. Acest ultim punct se prezintă ca o oportunitate pentru disciplina arhitecturii de a se implica profund în crearea tehnologiilor relevante.

Our hypothesis is that if a convincing simulation of reality is produced, and the illusion of presence is strongly induced, leading to a meaningful phenomenological engagement with virtual artefacts, then the architect immersed in this virtual landscape would infuse their own subjectivity into it in a manner that does not abstract away the sensing, feeling body. Retaining full awareness of one's own body whilst in a state of presence, thus receiving instant feedback on design decision, would make the process of design more visceral, intimate, emotional, and meaningful. It also suggests that architectural intentions could retain their metaphorical relationship to the perceived virtual artefacts. Within virtual reality, the simulated architectural artefact articulates the continuum of experience and idea formation. Time, mimesis, context, and intertextuality is continued, in the mind of the architect, from the real world into the virtual world and vice versa. Mimicking real experiences, impressions and ideas bounce off the simulated surface of the artefact and are transformed, articulated, eliminated, or multiplied. Here the distinction between model and artefact is so blurred that it is almost transparent.

This fundamental shift in approaching architectural design would undoubtedly have profound implications in the practice of project development, and it is rather tempting to further speculate how future practice might change with the advent of the technology sketched above. For brevity, we will focus on two obvious changes. Firstly, the mode of project development will shift towards a dialogical interaction between an architect focused on designing concepts and a framework translating them into inhabitable virtual artefacts that are also buildable in real life. Secondly, a significant proportion of effort will be relegated to the monumental task of creating, implementing and deploying these hypothetical frameworks. This last point presents itself as an opportunity for the architectural discipline to get deeply involved in the creation of relevant technologies.

Concluzii și cercetări suplimentare

Acest studiu a prezentat provocările oferite de abordarea ideilor metaforice privind artefactele arhitecturale în noua eră a instrumentelor AI. Pentru a înțelege pe deplin cum ar putea arăta o cooperare fructuoasă între creativitatea arhitecturală umană și ajutorul AI, este esențial să înțelegem capacitățile actuale ale modelelor AI generative. Mai mult, am avea nevoie de o ontologie nouă pentru a înțelege natura artefactelor ilustrate, precum și tehnicile de generare a acestora. Pe partea tehnică, teoreticienii contemporani oferă sinteze (Bernstein, 2022; Chaillou, 2022; del Campo, 2021; del Campo, Manninger, Sanche, & Wang, 2019; del Campo, Carlson, & Manninger, 2020; Leach, 2022), dar rareori problematizează natura corespondenței dintre intenția arhitecturală și caracterul specific al tehnologiei. Acest lucru poate lăsa domeniul arhitecturii în afara practicii de creație a instrumentelor AI, însemnând că arhitecții vor folosi în mod oportunist instrumentele create de alții, instrumente precum DallE, Midjourney și Sable Diffusion. Utilizarea AI în lucrările de arhitectură este încă la început și nu este direct utilă, în principal pentru că astfel de modele nu sunt constrânse de realitate și nici de abordări metodologice. Generatoarele de imagini AI în sine sunt generice și nu sunt specifice domeniului arhitecturii, ceea ce înseamnă că, prin construcție, nu abordează multitudinea de considerente și constrângeri pe care un proiect arhitectural tipic trebuie să le ia în considerare, cum ar fi considerentele experiențiale, structurale, juridice, economice, sociale și politice. Rămâne în continuare pe umerii arhitectului să filtreze și să traducă sugestiile generate în modele arhitecturale adecvate, așa cum am văzut în timpul atelierului nostru de proiectare discutat mai devreme în articol. La o concluzie similară au ajuns Bernstein (2022), Chaillou (2022) și Leach (2022). O altă problemă este că asocierea dintre tokenurile text și tokenurile imagine în sistemele actuale de AI nu permite extrapolarea, ceea ce înseamnă că inventarea noilor tipologii de clădiri nu poate fi abordată în mod adecvat.

Conclusions and Further Research

This study presented the challenges offered by addressing metaphorical ideas concerning architectural artefacts in the new age of AI tools. To fully understand what a fruitful cooperation between human architectural creativity and AI aid could be, it is crucial to understand what the generative AI models are currently capable of. More importantly we might need a new ontology to understand the nature of the artifacts depicted as well as the techniques that generate them. On the technical side, contemporary theorists do provide overviews (Bernstein, 2022; Chaillou, 2022; del Campo, 2021; del Campo, Manninger, Sanche, & Wang, 2019; del Campo, Carlson, & Manninger, 2020; Leach, 2022), but they seldom problematize the nature of correspondence between the architectural intent and the specificity of the technology. This potentially leaves the architectural domain outside the practice of AI tool creation, meaning that architects opportunistically use the tools others have created, tools such as DallE, Midjourney and Sable Diffusion. Using AI in architectural work is still in its infancy and not directly useful, mainly because such models are not constrained by reality nor any methodological approaches. AI image generators in themselves are generic in scope and are not specific to the domain of architecture, meaning that by design they do not address the multitude of concerns and constraints a typical architectural project needs to account for, such as experiential, structural, legal, economic, social, political considerations. It still falls on the architect's shoulders to filter and translate the suggestions from the generated into proper architectural models, as we have seen during our design studio discussed earlier in the article. A similar conclusion is reached by Bernstein (2022), Chaillou (2022), and Leach (2022). Another issue is that the association between text tokens and image tokens in current AI systems does not allow extrapolation, which means that inventing new types of buildings cannot be adequately addressed.

Persistă problema motivului exact pentru care funcționează interpolarea, iar acest lucru trebuie să fie bine înțeles de oricine dorește să utilizeze inteligența artificială în mod critic. În plus, este necesar să se înțeleagă procesele cognitive și psihologice care permit fenomenului manipulării statistice a pixelilor să aibă un impact semnificativ. Deși ar putea fi ademenitoare calea conceptuală care recunoaște existența unui simț al controlului în modelele de AI, adevărul rămâne că un astfel de control este pur speculativ și improbabil. Dacă controlul AI este o iluzie, o abordare mai utilă ar încerca să înțeleagă cum anume este creată această iluzie, atât din punct de vedere tehnic, cât și experiențial. Acest aspect merită cercetări suplimentare.

Credem că dimensiunea metaforică care străbate și conectează intențiile, modelele și artefactele arhitecturale trebuie să revină în centrul discursului contemporan. Argumentul nostru a pornit de la observația că, pentru a trata în mod adecvat metaforele arhitecturale, este nevoie nu numai de un alt tip de abordare a AI, ci și de un mediu de reprezentare diferit, care să fie continuu din punct de vedere experiențial. În acest scop, am propus o traiectorie pentru un sistem nou care se îndepărtează de imaginile AI generative către crearea de modele bazate pe RL, pornind de la eventuala posibilitate ca intențiile arhitecturale să poată fi traduse din metafore textuale în decizii de modelare a agenților RL. Cuplarea unui astfel de sistem cu VR ar aborda dimensiunea fenomenologică și metaforică a modelării arhitecturale, prin menținerea senzației de prezență în lumea simulată care conține artefactul arhitectural digital.

Recunoaștem că astfel de sisteme trebuie încă dezvoltate și suntem pe deplin conștienți de provocările care vor urma. Cu toate acestea, există suficiente motive de a fi optimiști. Tehnologia evoluează, iar noi ar trebui să fim pregătiți să o folosim sau chiar să o modelăm pentru a răspunde mai bine nevoilor noastre practice, intelectuale și emoționale. În acest scop, trebuie să ne implicăm critic

There is still a question of why exactly interpolation works, and that needs to be well understood by professionals who aim to use AI critically. Furthermore, there is a need to understand the cognitive and psychological processes that allow the phenomenon of statistical pixel manipulation to have any significant effect. It might be alluring to take the conceptual route that recognizes agency in AI models, but the fact remains that such agency is purely speculative and improbable. If AI agency is an illusion, a more fruitful approach would try to understand how exactly is that illusion created, both from the technical angle as well as the experiential one. This point merits further research.

We believe that the metaphorical dimension that permeates and connects architectural intentions, models and artefacts needs to come back to center-stage in contemporary discourse. Our argument has pivoted on the observation that to properly deal with architectural metaphors there is not only a need for another type of approach to AI but also a different representational environment which is experientially continuous. To that end, we proposed a roadmap for a novel system that departs from Generative AI images towards RL-based model making, pivoting on the eventual possibility that architectural intentions could be translated from textual metaphors into RL agent modelling decisions. Coupling such a system with VR would address the phenomenological and metaphorical dimension of architectural modelling, by retaining the sensation of presence inside the simulated world containing the digital architectural artefact.

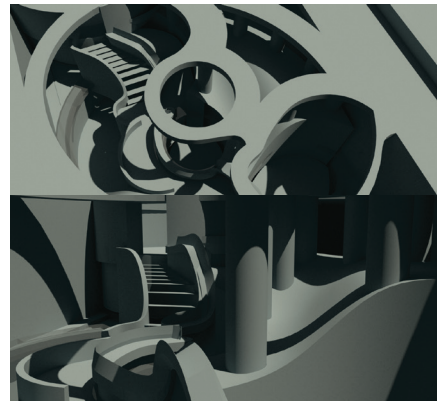
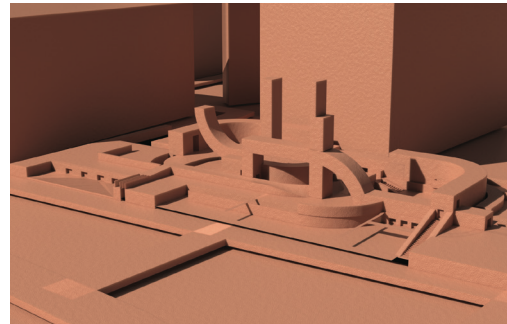
We recognize that such systems still need to be developed and we are fully aware of the challenges ahead. However, there is sufficient reason to be optimistic; technology evolves, and we should be prepared to use it or even shape it to better suit our practical, intellectual, and emotional needs. For this we need to critically engage with their reality not from narrow perspectives but with the full force

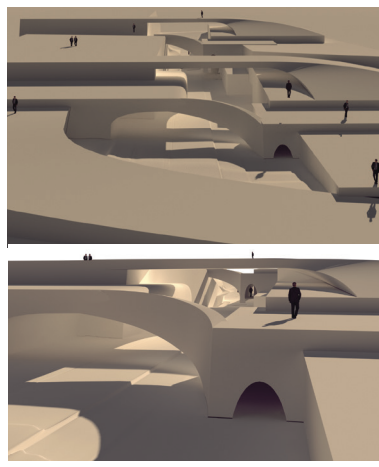
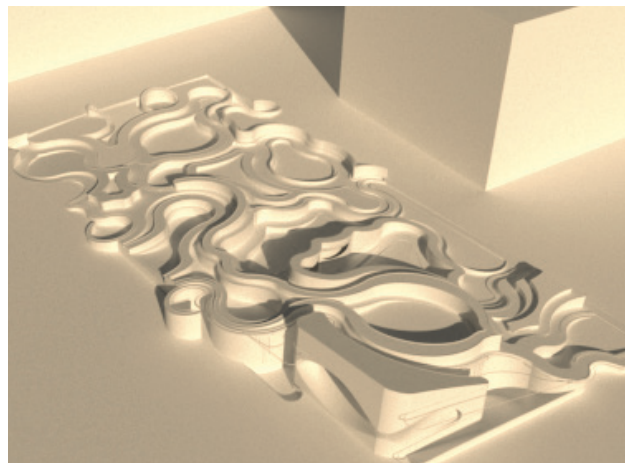
În realitatea lor nu din perspective înguste, ci cu toată forța și nuanțarea discursului arhitectural. Este bine cunoscut faptul că atât proiectarea arhitecturală, cât și traducerea metaforelor sunt probleme slab structurate, prin urmare nu ar trebui să ne surprindă faptul că traducerea intențiilor arhitecturale din metafore lingvistice în relații metaforice spațiale este o sarcină extrem de dificil de conceptualizat, ca să nu mai vorbim de formalizare. Acest lucru face ca provocarea de a aborda o astfel de traducere din punct de vedere computațional să fie mai presantă și, în același timp, mai captivantă.

and nuance of architectural discourse. It is well known that both architectural design and translating metaphors are ill-structured problems, therefore it should not be surprising that translating architectural intentions from linguistic metaphors to metaphorical relationships in space is an exceedingly difficult task to conceptualize, let alone formalize. This makes the challenge of addressing such translation computationally even more urgent and, at the same time, exhilarating.

Figura 1. Imagini sugestive generate de AI (stânga) și traducerea lor manuală într-un pavilion la sol (dreapta). Imagini generate cu Midjourney și pavilioane modelate în Rhinoceros3D de către Aliaa Abdelalim (rândul 1), Ghaliyah Almutawa (rândul 2), Dalal Alajmi (rândul 3) și Zahraa Hashim (rândul 4)

Figure 1. Suggestive AI generated images (left) and their manual translation into a ground pavilion (right). Images generated with Midjourney and pavilions modelled in Rhinoceros3D by Aliaa Abdelalim (row 1), Ghaliyah Almutawa (row 2), Dalal Alajmi (row 3), and Zahraa Hashim (row 4).





Referințe/References

Barthes, R. (1981). *Camera lucida: Reflections on photography* (R. Howard, Trans.). Hill and Wang. (Original work published 1980).

Benjamin, W. (1972). *A short history of photography* (S. Mitchell, Trans.). *Screen*, 13(1), 5–26. <https://doi.org/10.1093/screen/13.1.5> (Original work published 1931)

Bernstein, P. (2022). *Machine learning: Architecture in the age of artificial intelligence*. RIBA Publishing. <https://doi.org/10.4324/9781003297192>

Canese, L., Cardarilli, G. C., Di Nunzio, L., Fazzolari, R., Giardino, D., Re, M., & Spanò, S. (2021). Multi-agent reinforcement learning: A review of challenges and applications. *Applied Sciences*, 11(11), Article 4948. <https://doi.org/10.3390/app11114948>

- Chaillou, S. (2022). *Artificial intelligence and architecture: From research to practice*. Birkhäuser. <https://doi.org/10.1515/9783035624045>
- Chan, S. H. M. (2021). *The effects of nature in virtual reality on psychological wellbeing* [Doctoral dissertation, Nanyang Technological University]. Nanyang Technological University Repository. <https://doi.org/10.32657/10356/156158>
- Chang, S., Saha, N., Castro-Lacouture, D., & Yang, P. P.-J. (2019). *Multivariate relationships between campus design parameters and energy performance using reinforcement learning and parametric modeling*. *Applied Energy*, 249, 253–264. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.04.109>
- Collins, P. (1998). *Changing ideals in modern architecture, 1750-1950*. McGill-Queen's University Press.
- Cybenko, G. (1989). Approximation by superpositions of a sigmoidal function. *Mathematics of Control, Signals, and Systems*, 2(4), 303–314. <https://doi.org/10.1007/BF02551274>
- del Campo, M. (2021). Architecture, language and AI: Language, attentional generative adversarial networks (AttnGAN) and architecture design. In A. Globa, J. van Ameijde, A. Fingrut, N. Kim, & T. T. S. Lo (Eds.), *PROJECTIONS - Proceedings of the 26th CAADRIA Conference - Volume 1* (pp. 211-220). The Chinese University of Hong Kong and Online, Hong Kong, 29 March - 1 April 2021. http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/Show?caadria2021_389
- del Campo, M., Carlson, A., & Manninger, S. (2020). Towards hallucinating machines: Designing with computational vision. *International Journal of Architectural Computing*, 19(1), 88-103. <https://doi.org/10.1177/1478077120963366>
- del Campo, M., Manninger, S., Sanche, M., & Wang, L. (2019). The Church of AI: An examination of architecture in a posthuman design ecology. In M. H. Haeusler, M. A. Schnabel, & T. Fukuda (Eds.), *Intelligent & Informed: Proceedings of the 24th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2019)*, (pp. 767–772). Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA). <https://doi.org/10.52842/conf.caadria.2019.2.767>
- Deleuze, G. (1990). *The logic of sense* (M. Lester & C. J. Stivale, Trans.; C. V. Boundas, Ed.). Columbia University Press. (Original work published 1969)
- Deleuze, G. (1994). *Difference and repetition* (P. Patton, Trans.). Columbia University Press. (Original work published 1968)
- Delgado, J. M. D., Oyedele, L., Demian, P., & Beach, T. (2020). A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction. *Advanced Engineering Informatics*, 45, 101122. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101122>
- Eco, U. (1986). *Semiotics and the philosophy of language*. Indiana University Press.
- Ergün, O., Akin, Ş., Gürsel Dino, İ., & Sürer, E. (2019). Architectural design in virtual reality and mixed reality environments: A comparative analysis. *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, 23-27 March 2019, Osaka, Japan, 914–915. <https://doi.org/10.1109/VR.2019.8798180>
- ESRI. (2023). *ArcGIS CityEngine (2024.0)* [Computer software]. ESRI. <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-cityengine/overview>
- Feng, K., Lu, W., & Wang, Y. (2019). Assessing environmental performance in early building design stage: An integrated parametric design and machine learning method. *Sustainable Cities and Society*, 50, 101596. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101596>
- Finch. (2024). *Finch (Version 1)* [Web application]. Finch. <https://www.finch3d.com>
- Freina, L., & Ott, M. (2015). A literature review on immersive virtual reality in education: State of the art and perspectives. In I. Roceanu, F. Moldoveanu, S. Trausan-Matu, D. Barbieru, D. Beligan, & A. Ionita (Eds.), *Rethinking education by leveraging the eLearning pillar of the Digital Agenda for Europe!* (Vol. 1, pp. 133–141). Carol I National Defence University Publishing House. <https://doi.org/10.12753/2066-026X-15-020>

- Ha, D. (2019). Reinforcement learning for improving agent design. *Artificial Life*, 25(4), 352–365. https://doi.org/10.1162/artl_a_00301
- Hornik, K., Stinchcombe, M., & White, H. (1989). Multilayer feedforward networks are universal approximators. *Neural Networks*, 2(5), 359–366. [https://doi.org/10.1016/0893-6080\(89\)90020-8](https://doi.org/10.1016/0893-6080(89)90020-8)
- Jara-Ettinger, J. (2019). Theory of mind as inverse reinforcement learning. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 29, 105–110. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2019.04.010>
- Leach, N. (2022). *Architecture in the age of artificial intelligence: An introduction to AI for architects*. Bloomsbury Visual Arts.
- Madow, L., Pérez-de-la-Cruz, J.-L., Rodríguez-Gavilán, A. B., & Ruiz-Montiel, M. (2020). Architectural planning with shape grammars and reinforcement learning: Habitability and energy efficiency. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 96, 103909. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2020.103909>
- Marcus, G., Davis, E., & Aaronson, S. (2022). *A very preliminary analysis of DALL-E 2*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2204.13807>
- OpenAI. (2021, January 5). *DALL-E: Creating images from text*. OpenAI. <https://openai.com/research/dall-e>
- OpenAI. (2024). *ChatGPT* (January 26, 2024 version) [Web application]. <https://chat.openai.com/share/6df06ea1-290d-47be-9792-437843d4262b>
- Ricoeur, P. (1990). *Time and narrative* (K. McLaughlin & D. Pellauer, Trans.; Vol. 1). University of Chicago Press. (Original work published 1983)
- Ricoeur, P. (2016). Architecture and narrativity (E. Brennan, R. Carney, & S. Lelièvre, Trans.). *Études Ricœuriennes / Ricoeur Studies*, 7(2), 31–41. <https://doi.org/10.5195/errs.2016.378> (Original work published 1998)
- Ruiz-Montiel, M., Boned, J., Gavilanes, J., Jiménez, E., Madow, L., & Pérez-de-la-Cruz, J.-L. (2013). Design with shape grammars and reinforcement learning. *Advanced Engineering Informatics*, 27(2), 230–245. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2012.12.004>
- Schiavi, B., Havard, V., Beddiar, K., & Baudry, D. (2022). BIM data flow architecture with AR/VR technologies: Use cases in architecture, engineering and construction. *Automation in Construction*, 134, 104054. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104054>
- Seligmann, K., & Seligmann, C. (1977). Architecture and language: Notes on a metaphor. *Journal of Architectural Education*, 30(4), 23–27. <https://doi.org/10.2307/1424433>
- Simon, H. A. (1988). The science of design: Creating the artificial. *Design Issues*, 4(1/2), 67–82. <https://doi.org/10.2307/1511391>
- Sontag, S. (2005). *On photography*. Rosetta Books. (Original work published 1973)
- Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). *Reinforcement learning: An introduction* (2nd ed.). The MIT Press.
- Tawil, N., Sztuka, I. M., Pohlmann, K., Sudimac, S., & Kühn, S. (2021). The living space: Psychological well-being and mental health in response to interiors presented in virtual reality. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(23), Article 12510. <https://doi.org/10.3390/ijerph182312510>
- Yu, R., Gu, N., Lee, G., & Khan, A. (2022). A systematic review of architectural design collaboration in immersive virtual environments. *Designs*, 6(5), Article 93. <https://doi.org/10.3390/designs6050093>