

EXPLORAREA SI DISCRETIZAREA SPAȚIULUI LATENT AL IMAGINAȚIEI ALGORITMICE PRIN COMPUTARE AFECTIVĂ¹

EXPLORING AND DISCRETIZING THE LATENT SPACE OF ALGORITHMIC IMAGINATION THROUGH AFFECTIVE COMPUTATION¹

Andreea ROBU-MOVILĂ

andre.movila@gmail.com

Sabin-Andrei ȚENEA

sabin.tenea@gmail.com

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

Rezumat

Domeniul arhitecturii a trecut prin numeroase salturi transformative în ultimii ani, odată cu integrarea algoritmilor generativi și a sistemelor de inteligență artificială, care marchează trecerea de la instrumente de facere la instrumente de gândire. Astfel, computația nu mai este doar o unealtă de proiectare ci tinde să devină metoda de proiectare în sine. Acest articol își propune să adreseze una dintre implicațiile „celeia de-a doua revoluții digitale” (Carpo, 2017) în arhitectură, adresând paradoxul alegerii ce derivă din explorarea spațiului latent al imaginației algoritmice de către factorul uman în etapele post-generative ale procesului de proiectare. Studiul aduce în vedere potențialul computării afective ca instrument ce poate fi angajat în adresarea problematicii identificate, iar în cadrul acestei metode sunt evidențiate în mod distinct oportunitățile componentei ERP.

Una dintre provocările proiectării generative este paradoxul alegerii dat de excesul de soluții generate, care face ca în fața abundenței de soluții disponibile din etapa post-generativă, arhitecții să devină copleșiți, confuzi și suprastimulați decizional. Autorii adresează această

Abstract

The field of architecture has undergone many transformations in recent years, given the integration of generative algorithms and artificial intelligence systems that mark the shift from tools designed to do to tools designed to think. Thus, computation is no longer just a design tool, but aims to become the design method in itself. This article aims to address one of the implications of the “second digital turn” (Carpo, 2017) in architecture, addressing the paradox of choice that derives from the exploration of the latent space of algorithmic imagination by the human factor, in the post-generative stages of the design process. This study brings to light the potential of affective computing as a tool that can be employed to address this matter, and within this method the opportunities of the ERP component are distinctly highlighted.

One of the challenges of generative design is the paradox of choice given by the excess of generated solutions, which makes architects become overwhelmed, confused and over-stimulated in their decision making in the face of the abundance of solutions produced by the algorithmic

problematică examinând modul în care emoțiile sprijină în mod curent procesul decizional și cum acestea pot fi interpretate în mediul digital prin intermediul „computării afective” (Picard, 1997) care reprezintă o interfață om-mașină (HCI, Human-Computer Interface) bazată pe captarea semnalului fiziologic electroencefalografic EEG. În cadrul acestei paradigme a fost identificată componenta ERP (*Event-Related Potential*) prin care se poate accede la deciziile inconștiente din cadrul procesului de discretizare semantică vizuală.

Lucrarea se construiește pe ipoteza meținerii controlului decizional în cadrul proceselor de proiectare generativă în favoarea factorului uman prin computarea afectivă, ca metodă capabilă să reducă „abisul de execuție” și „abisului de evaluare” (Hutchins, 1985), respectiv distanța articulatorie dintre concept și evaluare. Studiul va analiza premisele care stau la baza acestei ipoteze și va testa un model HCI accesibil, bazat pe un set de căști EMOTIV EPOC X, validând funcționalitatea acestui cadru propus.

Cuvinte cheie: Proiectare generativă, Spațiu latent, Paradox de alegere, Proces decizional, Computare afectivă.

Procesul de proiectare arhitecturală: de la abordarea magistrală („top-down”) la cea inductivă („bottom-up”)

Proiectarea de arhitectură este un proces nonlinear, de echipă și transdisciplinar, care implică mai multe tipuri de gândire și inteligență (logică, spațială, lingvistică și emoțională) și salturi intermitente de la ambiguitate la specificitate (Bolojan et al.). Relația noastră cu instrumentele cu ajutorul cărora gândim și proiectăm s-a aflat într-o dinamică continuă de-a lungul timpului iar creatorii au fost ei înșiși modelați de instrumentele cu care modelează. Pe măsură ce computația nu mai este doar un instrument de susținere a procesului de proiectare ci devine ea însăși metoda de proiectare, preocuparea pentru inteligența inter-relațională om-mașină și simbioza om-mașină (Licklider, 1960) a revenit în ultimii ani ca o temă importantă.

and generative phases. The authors address this issue by examining how emotions currently support decision-making and how they can be interpreted in the digital environment through “affective computing” (Picard, 1997) which is a Human-Computer Interface (HCI) based on the capture of physiological electroencephalographic EEG signals. Within this paradigm, the *Event-Related Potential* (ERP) component has been identified to access unconscious decisions within the visual semantic discretization process.

The paper articulates on the hypothesis of relocating the decision control in favour of the human factor through affective computation in generative design processes. This method is capable to reduce the “execution gulf” and the “evaluation gulf” (Hutchins, 1985), i.e. the articulatory distance between concept and evaluation. The study will analyze the premises underlying this hypothesis and test an accessible HCI model based on an EMOTIV EPOC X headset, validating the functionality of this proposed framework.

Keywords: Generative Design, Latent Space, Choice Paradox, Decision Making, Affective Computation.

The Architectural Design Process: from the Top-Down to the Bottom-Up Approach

Architectural design is a nonlinear, team-based, transdisciplinary process that involves multiple types of thinking and intelligence (logical, spatial, linguistic, and emotional) and intermittent leaps from ambiguity to specificity (Bolojan et al.). Our relationship with the tools with which we think and design has been in a continuous dynamic over time and designers have themselves been shaped by the tools with which they shape. As computation is no longer just a tool to support the design process, but becomes itself the method of design, thus the concern for inter-relational human-machine intelligence and human-machine symbiosis (Licklider, 1960) has returned in recent years as an important topic to be addressed.

Schimbare fundamentală de paradigmă în arhitectura ordată cu „cea de-a doua revoluție digitală” (Carpo, 2017) chestionează metodologiile clasice de proiectare bazate pe asistarea computerizată (CAD) ce reflectau o metodă magistrală „de sus în jos” („top-down”). În cadrul acestui model, viziunea și obiectivele de proiectare sunt stabilite de la început și sunt rafinate în etapele ulterioare (Makstutis,2018). În timp ce această abordare poate duce la un rezultat de proiectare coerent, ea poate impune, de asemenea, limitări în ceea ce privește predispozițiile creatorilor spre părtiniri cognitive („bias”).

Procesul de proiectare al noii paradigme se bazează pe generativitate și emergență și implică o abordare inductivă de „jos în sus” („bottom-up”) facilitată de „capacitățile de automatizare” (Andia & Spiegelhalter, 2014). Inteligența artificială pare să stabilească un cadru în care toate formele posibile există deja (Terzidis, 2014), iar pentru proiectant este doar o chestiune de căutare soluțiilor potrivite, așadar „pur și simplu o chestiune de a efectua „căutarea” corectă, (...) de a selecta cea mai bună soluție dintr-o gamă de opțiuni posibile” (Leach, 2018, p. 17).

Metoda inductivă valorifică imaginarea algoritmică (Finn, 2017) și este considerată promițătoare în eliberarea de fixațiile de proiectare și lărgirea spațiului amplu de soluții de proiectare (Diniz et al., 2020). Navigarea prin câmpul decizional, în care soluțiile precalificate și optimizate prezintă doar diferențe discrete, necesită o analiză atentă a interpretării subiective a repertoriului de opțiuni disponibile.

Bolojan et al. (2022) remarcă că această tranziție de la procesul tradițional de proiectare liniar, care începe cu o foaie goală, cu un singur rezultat, către procesul în care există brusc o multitudine de variante de proiectare disponibile implică o provocare principală la nivelul găsirii unor metode eficiente de explorare, filtrare și selectare a soluțiilor optime, designerul având un rol curatorial important în definirea constrângerilor, supravegherea procesului și dezvoltarea de filtre și strategii de evaluare.

The fundamental paradigm shift in architecture brought by the “second digital revolution” (Carpo, 2017) questions the classical computer-aided design (CAD) methodologies that reflected a masterful “top-down” approach. In this model, the design vision and goals are set at by the designer and refined in subsequent stages (Makstutis,2018). While this approach can lead to a coherent design outcome, it can also impose limitations in terms of designers' predispositions towards cognitive biases.

The design process of the new paradigm is based on generativity and emergence and involves an inductive “bottom-up” approach facilitated by “automation capabilities” (Andia & Spiegelhalter, 2014). Artificial intelligence seems to establish a framework in which all possible forms already exist (Terzidis, 2014), and for the designer it is only a matter of searching for the right solutions, thus “simply a matter of performing the right 'search', (...) selecting the best solution from a range of possible options” (Leach, 2018, p. 17).

The inductive method harnesses the algorithmic imagination (Finn, 2017) and is considered promising in freeing us from design fixations and broadening the ample space of design solutions (Diniz et al., 2020). Navigating through the decision field, in which prequalified and optimized solutions exhibit only discrete differences, requires careful consideration of the subjective interpretation of the repertoire of available options.

Bolojan et al. (2022) note that this transition from the traditional linear design process, which begins with a blank sheet, with a single outcome, to a process in which there are suddenly a multitude of design choices available, involves a primary challenge in finding effective methods for exploring, filtering, and selecting optimal solutions, with the designer having an important curatorial role in defining constraints, overseeing the process, and developing filters and evaluation strategies.

Spațiul latent și paradoxul alegerilor

Spațiul latent este în esență spațiul soluțiilor latente, este spațiul multidimensional în care fiecare dimensiune poate reprezenta orice concept imaginabil. Acest „univers al posibilităților” (Wiggins, 2019) reprezintă toate interpolările și posibilitățile latente de permutare a setului de date, iar în simulări punctele de date cu caracteristici similare sunt dispuse în proximitate. Spațiul latent este o reprezentare cu dimensionalitate redusă a datelor de intrare ce au o rezoluție mare, reflectând caracteristicile esențiale ale domeniului și modul de înțelegere a problemei, de către sistemul de învățare. În proiectul Deep Himmelblau dezvoltat în cadrul biroului Coop Himmelb(l)au de Wolf Prix, spațiul latent este înțeles ca un spațiu n-dimensional care codifică trăsăturile setului de date prin crearea unei reprezentări interne a problemei de arhitectură fiind așadar o reprezentare comprimată a semnificațiilor interne a bazei de date prin cartografierea tuturor atributelor esențiale. Adoptarea în arhitectură a conceptului de spațiu latent schimbă perspectiva asupra procesului de proiectare spre un proces care se bazează pe explorare și selectare dintr-o gamă de opțiuni de proiectare.

Pe măsură ce tehnologia avansează, costul de producție a variațiilor scade: „ne îndreptăm, de fapt, spre supra-alegere – punctul în care avantajele diversității și individualizării sunt anulate de complexitatea procesului decizional al cumpărătorului” (Toffler, 1970, p. 141). Toffler a avertizat că ritmul accelerat al schimbărilor și abundența de alegeri pot duce la suprastimulare și supraîncărcare cognitivă. Atunci când indivizii sunt nevoiți să funcționeze dincolo de limitele lor de adaptare, ei pot experimenta o confuzie care estompează granița dintre realitate și iluzie, ceea ce creează confuzie în masă și o paralizie decizională (Piller et al., 2005). Procesul de proiectare de arhitectură a implicat dintotdeauna o lungă secvență de decizii adaptate în funcție de fiecare etapă și context de proiectare. În fața alegerilor excesive și suprastimulării decizionale, Schwartz introducea conceptul paradoxului alegerii (Schwartz et al., 2002). Prin aceasta se afirmă că, deși un grad ridicat de alegere este asociat în mod obișnuit cu bunăstarea și libertatea, o cantitate excesivă de opțiuni poate duce de

Latent Space and the Paradox of Choices

Latent space is essentially the space of latent solutions, it is the multidimensional space in which each dimension can represent any conceivable concept. This “universe of possibilities” (Wiggins, 2019) represents all the interpolations and latent permutation possibilities of the dataset and in visual simulations, data points with similar characteristics are arranged in close proximity. The latent space is a low dimensionality representation of input data that has a high resolution, reflecting the essential characteristics of the domain and the learning system's understanding of the problem. In Deep Himmelblau project developed in the Coop Himmelb(l)au office, the latent space is understood as an n-dimensional space that encodes the features of the dataset by creating an internal representation of the architecture problem thus being a compressed representation of the internal meanings of the database by mapping all essential attributes. Adopting the concept of latent space in architecture changes the perspective on the design process to one that is based on exploration and selection from a range of design options.

The architectural design process has always involved a long sequence of decisions tailored to each stage and design context. As technology advances, the cost of producing variation decreases: “we are, in effect, moving towards over-choice - the point at which the advantages of diversity and individualisation are cancelled out by the complexity of the buyer's decision-making process” (Toffler, 1970, p. 141). Toffler warned that the accelerated pace of change and abundance of choice, the excessive choice can lead to overstimulation and cognitive overload. When individuals are forced to operate beyond their adaptive limits, they can experience confusion that blurs the boundary between reality and illusion, which creates mass confusion and decisional overstimulation and paralysis (Piller et al., 2005). Schwartz introduced the concept of the paradox of choice (Schwartz et al., 2002). This states that while a high degree of choice is commonly associated with well-being and freedom, an excessive amount of choice can actually lead to decisional overstimulation and decreased satisfaction

fapt la suprastimulare decizională și scăderea satisfacției, dincolo de un anumit prag de saturație a opțiunilor asociat vârfului curbei lui Wundt. Paradoxul de alegere a fost identificat ca fiind o cauză majoră a confuziei, cu un impact negativ asupra eficienței procesului decizional. Acest fenomen a fost explorat de diverși cercetători ca Wundt (1874), iar pe baza observațiilor sale Berlyne (1971) propunea existența unei „curbe Wundt” (Fig. 1) ce demonstrează o relație în formă de U între numărul de opțiuni și eficiența decizională.

În abordare paradoxului de alegere ce derivă din evaluarea și discretizarea spațiului latent, în acest articol vom aborda o metodă care vizează evaluarea spațiului de soluții prin intermediul computării afective (Picard, 1995) pentru a înțelege emoțiile și mecanismele inconștiente de activare a deciziilor proiectantului. Metodologia vizează să creeze o interfață personalizată și directă cu algoritmul generativ. Makoto Sei Watanabe (2001) imaginează în mod similar un „algoritm al preferințelor”, care cu ajutorul unui sistem de recomandare interactiv merit să restrângă spațiul de soluții ar fi capabil să ofere sprijin decizional pe baza înțelegerii preferințelor utilizatorului de-a lungul timpului. Feedback-ul utilizatorului este incorporat pentru a ghida algoritmul către obiectivul autorului, ceea ce conduce la un spațiu de soluții individualizat și implicit mai restrâns.

beyond a certain threshold of choice saturation associated with the peak of the Wundt curve. The choice paradox has been identified as a major cause of confusion, with a negative impact on the efficiency of decision-making. This phenomenon has been explored by various researchers such as Wundt (1874), and based on his observations Berlyne (1971) proposed the existence of a “Wundt Curve” (Fig. 1) demonstrating a U-shaped relationship between the number of choices and decision efficiency.

To address the paradox of choice that derives from the evaluation and discretization of latent space, this paper proposes a method that aims to evaluate the solution space through affective computation (Picard, 1995) to understand the emotions and unconscious mechanisms of activating the designer's decisions. The methodology aims to create a personalized and direct interface with the generative algorithm. Makoto Sei Watanabe (2001) similarly imagined a “preference algorithm”, which with the help of an interactive recommender system aimed at narrowing the solution space, would be able to provide decision support based on the understanding of user preferences over time. User feedback is incorporated to guide the algorithm towards the author's goal, leading to an individualized and implicitly a more manageable solution space.

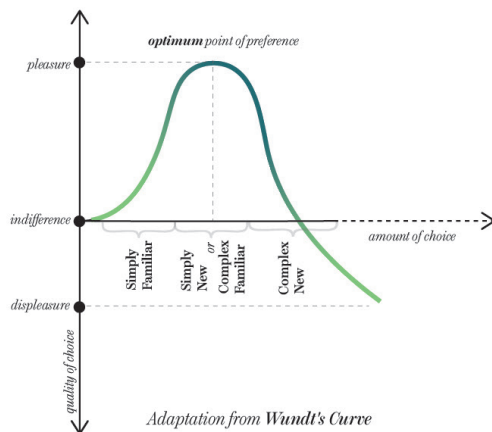


Fig. 1. Diagrama lui Berlyne (1971) referitoare la „curbe Wundt” de reprezentare a paradoxului alegerii/ Berlyne's (1971) adapted diagram of "Wundt Curve" representing the paradox of choice.

Computarea afectivă în asistarea proceselor decizionale

Rolul emoțiilor în procesele cognitive și decizionale a devenit recunoscut în sfera științifică de numeroși cercetători (Damasio 1991, 1994; Bechara et al., 1997; Elster 1996, 1998; Pfister și Böhm, 2008 etc.), odată cu depășirea tezei dualismului cartezian promovată de Damasio referitoare la relația de interacțiune dintre corp și minte. Studiile sugerează că nu există un conflict fundamental între rațiune și emoție și că, din contră, emoțiile pot sprijini gândirea rațională și procesul decizional. Emoțiile sunt privite ca schimbări atât în stările corpului, cât și în cele ale creierului ca răspuns la diverși stimuli interni sau externi (vizuali, auditivi etc.). Ele joacă un rol crucial în a da sens haosului din această lume suprasaturată cu informații, servind drept indicator de relevanță și de semnalizare a faptului că un eveniment are o relevanță personală pentru un individ, acestea fiind un mesager a informațiilor subconștiente.

Așadar emoțiile sunt factori puternici, omniprezenți și previzibili ai procesului decizional. Emoțiile și afectul au un rol fundamental în mecanismul rațiunii, servind ca parte constitutivă a procesului decizional cu un impact semnificativ asupra percepției cognitive. În acest context,



Fig. 2. Cum navigăm în spațiul de decizie generat algoritmic? Optimizare metaeuristică multi-obiectivă în Grasshopper cu Wallacei permite extragerea Frontului Parreto care este o restrângere a spațiului latent. Imagini din adresând studiul de caz/ How do we navigate the algorithmically generated decision space? An excerpt of the latent space of the multi-objective metaheuristic optimization in Grasshopper with Wallacei. Images from the authors' case study.

Affective Computing in Assisting Decision-Making Processes

The role of emotions in cognitive and decision-making processes has been gradually recognized in the scientific sphere by many researchers (Damasio 1991, 1994; Bechara et al., 1997; Elster 1996, 1998; Pfister and Böhm, 2008 etc.), overcoming the Cartesian Dualism thesis promoted by Descartes that regards the interaction relationship between body and mind. Studies suggest that there is no fundamental conflict between reason and emotion and on the contrary, emotions can support rational thinking and decision-making. Emotions are seen as changes in both body and brain states in response to various internal or external stimuli (visual, auditory, etc.). They play a crucial role in making sense of the chaos in this information overloaded world, serving as an indicator of relevance and signalling that an event has personal relevance to an individual, they are a messenger of subconscious information.

As a result, emotions are powerful, pervasive and predictable factors in decision-making. Emotions and affect play a fundamental role in the mechanism of reason, serving as a constitutive part of the decision-making process with a significant impact on cognitive perception. In



ipoteza markerilor somatici dezvoltată de Damasio și colegii săi (1991) este relevantă pentru a înțelege modulul în care procesele ghidate emoțional și feedbackul corpului pot influența procesele decizionale în situații de incertitudine și complexitate. Acest mecanism este descris prin faptul că „opțiunile pe care le avem în față sau anticiparea consecințelor selectării uneia sau alteia dintre opțiuni declanșează răspunsuri emoționale și generează sentimentele sau semnale ascunse corespunzătoare, care ne pot influența deciziile în mod inconștient.” (Verweij & Damasio, 2019). Deciziile noastre derivă din consensul dintre procesele conștiente și inconștiente (Fitzsimons et. al, 2002), acestea din urmă având de fapt o contribuție majoră. Mai mult, studiile lui Zaltman (2000), arată faptul că 95% dintre toate procesele de luare a deciziilor sunt automate și inconștiente și sunt asociate cu emoția, personalitatea și motivația. Emoțiile declanșate în etapele decizionale sunt reglementate în două zone cheie ale creierului, amigdala și cortexul prefrontal ventromedial fiind ulterior codificate în timpul activității noastre cerebrale în cortexul prefrontal și cel parietal. Din punct de vedere anatomic, lobul prefrontal este responsabil cu procesul decizional, deoarece majoritatea funcțiilor cognitive își au originea în această parte a creierului iar analiza potențialelor evocate vizual (VRP) se raportează de regulă la electrozii de deasupra lobului occipital, care este zona care procesează informațiile vizuale. Raportat la o acțiune de alegere Xing-Jie Chen și Youngbin Kwak (2022) au demonstrat într-un studiu simultan EEG-fMRI chiar că sistemul motor este și implicat în acțiunile de alegere.

Computarea afectivă este un domeniu care utilizează computere și dispozitive fizice pentru a urmări și a descifra emoțiile oamenilor, Picard (1995) enunțând: „știm cu toții din experiență că prea multă emoție poate afecta procesul decizional, dar noile dovezi științifice arată și că prea puțină emoție poate afecta procesul decizional.” (p. 9). Herb Simon (1967), laureat al premiului Nobel, care a studiat fundamentele cogniției, a subliniat că o teorie generală a gândirii de proiectare și a rezolvării problemelor trebuie să încorporeze influențele emoțiilor, Minsky (1985) sugera dacă nu cumva „întrebarea nu este dacă mașinile inteligente pot avea emoții, ci dacă mașinile pot fi

this context, the somatic marker hypothesis developed by Damasio and colleagues (1991) is relevant to understanding how emotionally guided processes and body feedback can influence decision-making processes in situations of uncertainty and complexity. This mechanism is described by the fact that “the options before us or the anticipation of the consequences of selecting one or another option—trigger emotive responses and generate the corresponding feelings or the corresponding covert signals, which can bias decisions nonconsciously” (Verweij & Damasio, 2019, p.3). Our decisions derive from consensus between conscious and unconscious processes (Fitzsimons et. al, 2002), with the latter actually making a major contribution. Furthermore, studies by Zaltman (2000), show that 95% of all decision-making processes are automatic and unconscious and are associated with emotion, personality and motivation. Emotions triggered in the decision-making stages are regulated in two key areas of the brain, the amygdala and ventromedial prefrontal cortex being subsequently encoded during our brain activity in the prefrontal and parietal cortex. From an anatomical point of view, the prefrontal lobe is responsible for the decision-making process, the main cognitive functions originate in this part of the brain and the analysis of visual evoked potentials (VRP) is usually related to the electrodes above the occipital lobe, which is the processing area for visual information. Related to a choice action, Xing-Jie Chen and Youngbin Kwak (2022) demonstrated in a simultaneous EEG-fMRI study even that the motor system is involved in choice actions.

Affective computing is a field that uses computers and physical devices to track and decipher people's emotions, Picard (1995) states that: “we all know from experience that too much emotion can affect decision-making, but new scientific evidence also shows that too little emotion can affect decision-making ” (p. 9). Herb Simon (1967), a Nobel laureate who studied the foundations of cognition, pointed out that a general theory of design thinking and problem solving must incorporate the influences of emotions while Minsky (1985) suggested whether “the question is not whether intelligent machines can have emotions, but whether machines can be intelligent without

inteligente fără a avea emoții” (p. 163). În cadrul paradigmei generative pe care am descris-o, miza principală ține de umanizarea domeniului computațional prin incorporarea expresiilor umane subiective în procesul de proiectare care pot conduce spre rezultate care sunt mult mai apropiate de sensibilitatea umană.

În computarea afectivă sunt disponibile o varietate largă de instrumente psihofiziologice portabile și de biosenzori pentru a măsura și a capta valența (calitatea), dominanța și arousalul (excitarea, intensitatea) emoțională a unei persoane față de stimul, ca electroencefalografia (EEG), rezonanța magnetică funcțională (fMRI), activitatea electrodermală (EDA), expresia facială, urmărirea ochilor etc. Studiul nostru face rapel la EEG ca metodă de înregistrare a activității electrice a creierului prin care poate fi captate semnale fiziologice din care poate fi dedusă starea emoțională globală a unei persoane.

Componenta ERP și citirea semnalelor fiziologice asociate procesul decizional prin intermediul EEG

Computarea afectivă bazată pe sistemele EEG este folosită astăzi în diverse arii non-clinice, ca sfera jocurilor video, business și neuromarketing pentru înțelegerea deciziilor consumatorilor până la domeniile proiectării de arhitectură sau design. De exemplu, Banaei et al. (2017) au folosit o cască EEG complexă cu 128 electrozi pentru a evalua intensitatea (arousalul) și valența unor tipologii diferite de spații interioare, reflectând predilecția non-arhitecților pentru formele fluide, curbe în detrimentul celor cu unghiuri drepte. Barsan-Pipu et al. (2020) au propus o imersare procedurală în mediu de VR prin construirea unei paradigme BCI (Brain Computer Interface) prin care formele geometrice erau generate, în timp ce studiul Mindsculpt făcea posibilă generarea de diverse forme geometrice doar prin activarea gândului (Yang, Q et al., 2023). Spre deosebire de alte instrumente psihofiziologice, EEG-ul este o tehnică imagistică ce măsoară activitatea electrică generată de creier prin suprafața scalpului, folosind biosenzori portabili și sisteme de amplificare, având cea mai bună rezoluție de reacție în timp - latența dintre expresia

having emotions” (p. 163). Within the generative paradigm we have described, the main stake is in humanizing the computational domain by incorporating subjective human expressions into the design process that can lead to outcomes that are much closer to human sensitivity.

In affective computing, a wide variety of portable psychophysiological tools and biosensors are available to measure and capture a person's emotional valence, dominance and to the stimulus, such as electroencephalography (EEG), functional magnetic resonance imaging (fMRI), electrodermal activity (EDA), facial expression, eye tracking, etc. Our study turns to EEG as a method of recording electrical activity of the brain through which physiological signals can be captured and person's overall emotional state can be inferred.

ERP Component and the Reading of Physiological Signals Associated with Decision Making Using EEG

Affective computing based on EEG systems is used today in various non-clinical areas, such as video games, business and neuromarketing for understanding consumer decisions, to the fields of architecture and design. For example, Banaei et al. (2017) used a complex EEG headset with 128 electrodes to assess the arousal and valence of different typologies of interior spaces, reflecting non-architects' preference for fluid, curved shapes over right-angled ones. Barsan-Pipu et al. (2020) proposed a procedural immersion in a VR environment by constructing a BCI (Brain Computer Interface) paradigm through which geometric shapes were generated, while the Mindsculpt study made it possible to generate various geometric shapes only through thought activation (Yang, Q et al., 2023). Unlike other psychophysiological tools, EEG is an imaging technique that measures electrical activity generated by the brain through the scalp surface, using wearable biosensors and amplification systems, with the best resolution of response over time. EEG can collect, visualise and export raw EEG signals, power spectral

emoției și captarea semnalului fiind minimă. Prin EEG se pot colecta, vizualiza și exporta semnale EEG brute, date despre densitatea spectrală de putere sau benzile de putere și se poate evalua activitatea creierului și ce parte a acestuia este activă, emoțiile de bază și motivația, comportamentul cognitiv și fluctuațiile în sarcina cognitivă, angajamentul față de sarcină sau distragerea, interesul, relaxarea, stresul etc. Oscilațiile neuronale EEG sunt fie oscilații spontane (semnal de benzi de frecvență ca delta (0,5-4 Hz), theta (4-7 Hz), alfa(8-12 Hz), beta(13-30 Hz) și gamma (30-40 Hz) sau oscilații evocate de anumite evenimente (atunci când creierul produce oscilații provocate de stimuli externi, care pot fi un răspuns vizual/audio la stimuli sau un răspuns la o sarcină cognitivă).

În ceea ce privește analiza procesului decizional, de-a lungul timpului au fost validate mai multe metode precum: (1) analiza spectrului de frecvențe și analiza spectrală de putere (Salma, 2017) (2) asimetria activării regiunilor corticale prefrontale în exprimarea direcției motivaționale - apropierea sau retragerea (Harmon-Jones și Allen, 1997; Sutton și Davidson, 1997) sau (3) analiza potențialelor evocate (ERP bazată pe vârful P300, descoperită pentru prima dată de Walter et al. în 1964).

Potențialele evocate (ERP) reprezintă o metodologie robustă de studiu a procesării cognitive. Atunci când sunt expuse la evenimente sau stimuli specifici, structurile creierului generează aceste ERP-uri, în special când subiectul este expus la un stimul neașteptat dintr-o serie de stimuli de referință. După stimularea ariei cerebrale specifice naturii stimulului (vizual, olfactiv, auditiv etc.), această metoda măsoară deviația pozitivă sau negativă a semnalului EEG între 250 și 700 ms. ERP este definit de mai multe vârfuri pozitive sau negative ca P1, N1, P2, N2, sau P3 și de componenta MMN. Vârful P300 analizează modificările în cadrul EEG care apar în primele 300 ms de la apariția stimulului, devenind un parametru esențial în neuroștiințe și oferind indicii importante despre participarea afectivă a subiectului, angajamentul, cogniția (Woodman, 2010) sau mecanismul de luare a deciziilor (Palmer et al., 1994) apelând la deciziile inconștiente și cele automate (Libet, 2004). Studiul nostru face apel la componenta Potențialelor

density data or power bands, brain activity and assess which part of the brain is active, underlying emotions and motivation, cognitive behaviour and fluctuations in cognitive load, task engagement or distraction, interest, relaxation, stress, etc. EEG neuronal oscillations are either spontaneous oscillations (signal frequency bands such as delta (0.5-4 Hz), theta (4-7 Hz), alpha (8-12 Hz), beta (13-30 Hz) and gamma (30-40 Hz) or event-evoked oscillations (when the brain produces oscillations caused by external stimuli, which may be a visual/audio response to stimuli or a response to a cognitive task).

Regarding the analysis of decision making, several methods have been validated over time such as (1) frequency spectrum analysis and power spectral analysis (Salma, 2017) (2) activation asymmetry of prefrontal cortical regions in expressing motivational direction - approach or withdrawal (Harmon-Jones and Allen, 1997; Sutton and Davidson, 1997) or (3) evoked potentials analysis (ERP based on the P300 peak were first discovered by Walter et al. in 1964).

Evoked potentials (ERP) is a robust methodology for studying cognitive processing in decision making. When exposed to specific events or stimuli, brain structures generate these ERPs, especially when the subject is exposed to an unexpected stimulus from a series of reference stimuli. After stimulating the brain area specific to the nature of the stimulus (visual, olfactory, auditory, etc.), this method measures the positive or negative deviation of the EEG signal between 250 and 700 ms. The ERP is defined by several positive or negative peaks such as P1, N1, P2, N2, or P3 and the MMN component. The P300 peak analyzes changes in the EEG that occur within the first 300 ms of stimulus onset, becoming an essential parameter in neuroscience and providing important clues about the subject's affective participation, awareness, cognition (Woodman, 2010) or decision-making mechanism (Palmer et al., 1994) by appealing to unconscious and automatic decisions (Libet, 2004). Our study refers to the Visual

Evocate Vizual (VEP) care este o subcategorie a ERP în relație cu procesarea semantică a stimulilor vizuali, prin măsurarea potențialului electric provocat de o imagine, iar ulterior prin analiza comparativă a Potențialelor Evocate Vizual asociate fiecărei imagini pot fi deduse preferințele subiectului în raport cu stimulul.

Evaluare și discretizarea spațiului latent prin computare afectivă: o metodologie

Acest studiu vizează așadar identificarea unei conformații bazată pe computare afectivă prin EEG pentru discriminarea semantică vizuală într-o sarcină de proiectare de arhitectură, respectiv adresarea paradoxului alegerii asociat evaluării spațiului latent. Întrucât miza finală ar constitui-o o paradigmă de folosire curentă în cadrul unui birou de arhitectură, în constituirea acestui model s-au avut în vedere următoarele criterii de calificare: (1) modelul sistemului de EEG să fie accesibil publicului larg și la un preț accesibil (până în aprox. 2000 euro, preț de achiziție hardware + software) (2) sistemul EEG să fie validat prin studii independente asupra calității înregistrării și procesării semnalului. (3) sistemul să fie fiabil, cu un design atractiv și compact prin care să poate fi ușor montat și demontat de pe scalp.

În privința primului criteriu, în ultimul deceniu numeroase sisteme EEG non-invasive și non-clinice au apărut pe piață oferind soluții relativ comparabile celor profesionale, de laborator, la prețuri accesibile. Noile generații de sisteme EEG ca Emotiv EPOC X, Emotiv EPOC+, Emotiv INSIGHT, OpenBCI, NeuroSky MindWave, Imec EEG, NeuroFocus Mynd, Neurokeeper etc. oferă alternative non-clinice la prețuri accesibile. O parte dintre aceste sisteme operează și cu electrozi uscați ceea ce le face și mai practice. Pentru acest studiu autorii au achiziționat o cască EEG fără fir, Emotiv EPOC X, cu 14 canale care vine însoțită de un software de analiză (Fig. 3). În privința celui de-al doilea criteriu, mai multe studii academice ca cele conduse de Duvina et. al (2013), Bad-cock et. al (2013) au evaluat și confirmat fiabilitatea și calitatea semnalului înregistrat de casca Emotiv EPOC X sugerând că aceasta poate fi o alternativă validă la sistemele profesionale de laborator

Evoked Potentials (VEP) component which is a subcategory of the ERP in relation to the semantic processing of visual stimuli, by measuring the electrical potential elicited by an image, and then by comparative analysis of the Visual Evoked Potentials associated with each image, the subject's preferences in relation to the stimulus can be inferred.

Assessment and Discretization of Latent Space by Affective Computation: A Methodology

This study aims to identify a conformation based on affective EEG computation for visual semantic discrimination in an architectural design task, i.e. addressing the paradox of choice associated with latent space evaluation. Since the ultimate goal would be creating a paradigm to be used in an architectural office, the following qualification criteria were considered for the constitution of this model: (1) the model of the EEG system should be accessible to the general public and at an affordable price (up to approx. 2000 euro, purchase price hardware + software) (2) the EEG system should be validated by independent studies on the quality of signal recording and processing. (3) the system should be reliable, with an attractive and compact design that can be easily mounted and removed from the scalp.

Addressing the first criterion can be said that in the last decade, numerous non-invasive and non-clinical EEG systems have appeared on the market offering relatively comparable solutions to professional, laboratory-based, affordable EEG systems. New generations of EEG systems such as Emotiv EPOC X, Emotiv EPOC+, Emotiv INSIGHT, OpenBCI, NeuroSky MindWave, Imec EEG, NeuroFocus Mynd, Neurokeeper etc. that offer affordable non-clinical alternatives. Some of these systems also operate with dry electrodes which makes them even more practical. For this study the authors purchased a wireless EEG headset, Emotiv EPOC X, with 14 channels that comes with an analysis software (Fig. 3). For EMOTIV headset, several independently academic studies such as those conducted by Duvina et. al (2013), Bad-cock et. al (2013) have evaluated and confirmed the reliability and signal quality recorded by the Emotiv EPOC X headset suggesting that it can be a

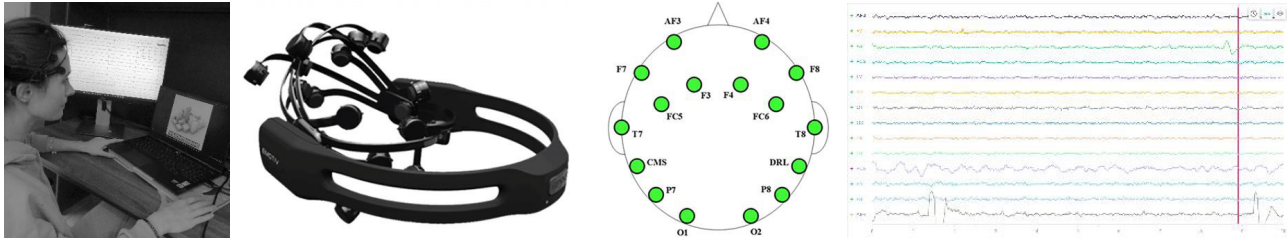


Fig. 3. Casca Emotiv EPOC X. Electrozii sunt localizați în pozițiile AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4 conform sistemului internațional de dispunere 10-20 iar înregistrarea oscilațiilor se face pe fiecare electrod în parte/ Emotiv EPOC X headset. The electrodes are located in positions AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4 according to the international 10-20 arrangement system and the oscillations are recorded on each individual electrode.

pentru studiile non-clinice. Mai mult, Williams et. al, (2020), Barham et al., (2017) au demonstrat că sistemul este suficient de precis pentru cercetarea ERP, ținând cont de faptul că pentru înregistrarea ERP-lui este necesară o sincronizare precisă între apariția stimulului și sistemul de înregistrare a răspunsului de la nivel cerebral.

Metodologie

Plecând așadar de la identificarea componentei ERP ca instrument valid pentru sarcinile de discriminare semantică vizuală, acest studiu și-a propus să testeze în primul rând funcționalitatea acestei paradigme, a calității semnalului înregistrat înrolând casca Emotiv EPOC X și a modului în care acest cadru poate fi încadrat fluid într-un proces de proiectare generativ. Înregistrarea EEG investighează activitatea cerebrală care are loc în timpul etapei de luare a deciziilor, respectiv de evaluare și discretizare a soluțiilor spațiului latent, deci în timp ce se fac alegeri și se exprimă preferințele.

Așa cum este ilustrat în Fig. 4, în prima etapă s-a conturat un cadru de proiectare generativ. În acest caz a fost elaborată o temă de proiectare care viza generarea parametrică a unui turn într-un context urban. Soluțiile au fost optimizate metaeuristic cu Wallacei și Lady Bug după o serie de criterii ce țin de minimizare a radiației solare incidente pe fațadă prin modificarea unghiului de rotație a etajelor și deformare a fațadei. Optimizarea metaeuristică a scos la suprafață un spațiu latent de 1013 soluții, iar din

valid alternative to professional laboratory systems for non-clinical studies. Furthermore, Williams et. al, (2020) and Barham et al, (2017) demonstrated that the system is sufficiently accurate for ERP research, considering that a precise timing between stimulus onset and the brain-level response recording system is required for ERP recording.

Methodology

Based on the identification of the ERP component as a valid tool for visual semantic discrimination tasks, this fast study set out to test primarily the functionality of this paradigm and the quality of the signal recorded by enrolling the Emotiv EPOC X headset, and how this framework can be fluidly fitted into a generative design framework. The EEG recording investigates the brain activity that occurs during the decision-making stage, i.e. the evaluation and discretization of latent space solutions while making choices and expressing preferences.

In Fig. 4 a generative design framework is proposed. In this case, a design theme has been developed aiming to generate a parametric tower in an urban context. The solutions were metaheuristically optimized with Wallacei and Lady Bug according to a set of criteria related to minimizing solar radiation incident on the façade by changing the rotation angle of the floors and the deformation of the façade. The metaheuristic optimization revealed a latent space of 1013 solutions, and from this latent space the Pareto Front of 50

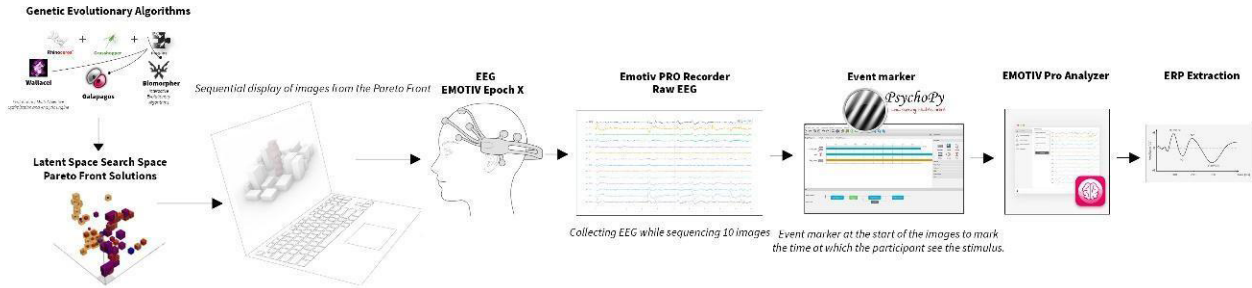


Fig. 4. Schema cadrului larg de proiectare ce implică computarea afectivă în care a fost testată paradigma propusă de autori/ The broad design framework involving affective computation in which the authors' proposed paradigm is tested.

acest spațiu latent a fost extras Frontul lui Pareto de 50 de soluții. În scopul acestui studiu evaluarea a fost împărțită în 5 sesiuni a câte 10 imagini, nu pentru că nu ar fi putut avea loc în mod grupat ci pentru a putea verifica vizual mai facil înregistrarea ERP. Testul a fost rulat pentru un calup de 10 imagini pe un computer pe care rulează Windows și software-urile PsychoPy și EMOTIV Pro iar protocolul de procesare a datelor este descris mai jos, în Fig.5. Pentru analiza ERP, este esențial să se știe exact când apare un stimul, prin urmare, în înregistrarea EEG s-au inserat prin intermediul unui software extern (PsychoPy) markeri de eveniment (afișați prin linii roșii) care reflectă momentul exact în care o imagine este afișată.

După încheierea înregistrării, aceasta este procesată în Emotiv PRO Analyzer prin care are loc extragerea ERP-lui pentru fiecare electrod în parte. În continuare am probat calitatea semnalului de înregistrare a ERP-lui pe un arhitect practician (31 de ani) care a văzut cele zece imagini, fiecare imagine persistând timp de 3 secunde pe ecran. În fig. 7 sunt extrase graficele pentru electrozii O1 și O2 dintre cei 14 senzori. Aceștia fiind cei care se află direct deasupra cortexului vizual oferă cele mai multe indicii despre percepția vizuală și sunt așadar relevanți pentru Potențialele Evocate Vizual (VEP). Media potențialului evocat pentru fiecare dintre cele 10 imagini pe electrozii O1 și O2 reflectă faptul că această paradigmă poate citi potențialele evocate vizual, putând fi distinse componentele N200 și P300 ale VEP (Fig.6)

solutions was extracted. For the purpose of this study the evaluation was divided into 5 sessions of 10 images, not because it could not take place in a clustered way, but in order to visually check the ERP record more easily. The test was run for a batch of 10 images on a computer running Windows and PsychoPy and EMOTIV Pro software and the data processing protocol is described below in Fig.5. For ERP analysis, it is essential to know exactly when a stimulus occurs, therefore event markers (displayed by red lines) reflecting the exact moment when an image is displayed were inserted into the EEG recording via external software (PsychoPy).

We have tested the quality of the ERP recording signal on a practicing architect (31 years old) who viewed the ten images, each image persisting for 3 seconds on the screen. Once the recording is complete, it has been processed in the Emotiv PRO Analyzer whereby the ERP extraction takes place for each individual electrode. Fig. 6 reflect the plots for electrodes O1 and O2 among the 14 sensors. These are the ones directly above the visual cortex and provide the most clues about visual perception and are therefore relevant for Visual Evoked Potentials (VEP). The average evoked potential for each of the 10 images on electrodes O1 and O2 reflects the fact that this framework can read visual evoked potentials, and the N200 and P300 components of VEP are distinguishable for further analysis.

Procesarea datelor EEG

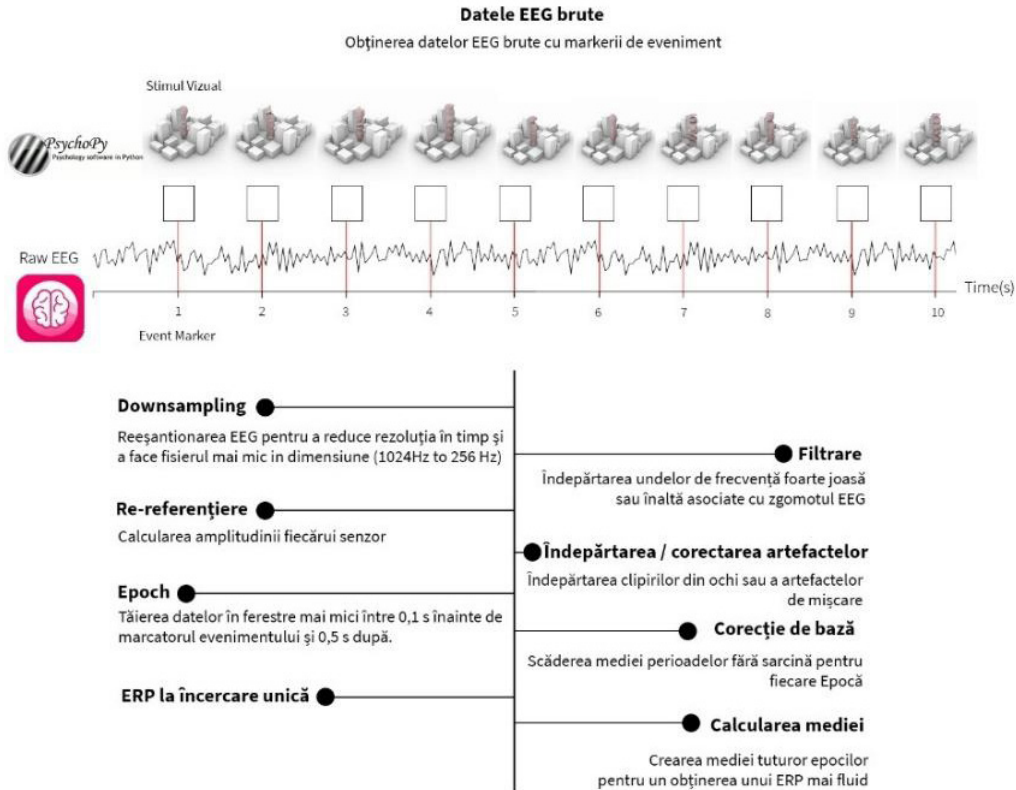


Fig. 5. Imaginea de mai sus descrie protocolul de achiziție și procesare a datelor brute EEG/ The image depicts the raw EEG data acquisition and processing protocol.

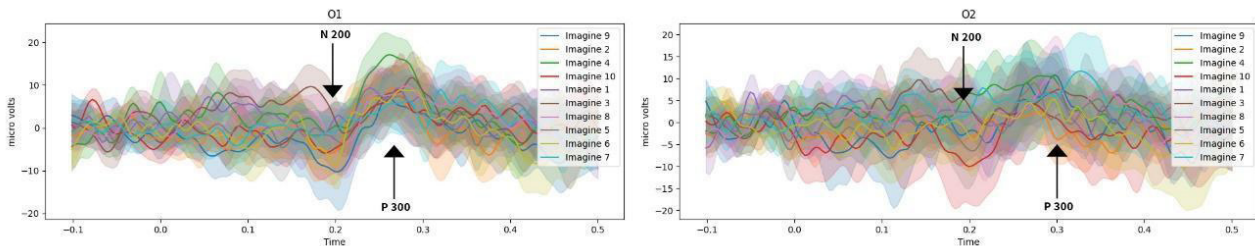


Fig. 6. Suprapunerea VEP pentru cele 10 imagini x de 10 ori afișarea fiecărei imagini/ VEP overlay for the 10 x images 10 times displaying each image.

Concluzii, rezultate și cercetări viitoare

Studiul a vizat în prima parte analiza contextului paradigmei generative în arhitectură din care derivă paradoxul alegerii asociat evaluării și discretizării spațiului latent. Cea de-a doua parte a studiului s-a concentrat pe identificarea unei metode de abordare a acestei problematice. Astfel, metoda computării afective este propusă ca un cadru prin care poate fi intermediată evaluarea și discretizarea unui set de soluții din spațiul latent prin recunoașterea rolului transformator al emoțiilor în procesul decizional. Trebuie menționat faptul că paradigma nu este legată de cadrul de proiectare descris în acest studiu, tema generării turnurilor în context urban fiind doar suportul de testare.

Paradigma de înregistrare și analiza a datelor poate fi folosită, după nevoie și în alte cadre de proiectare, de exemplu în evaluarea oricărui timp de soluții sau imagini generate (ca cele prin modelele de difuzie ca Midjourney, DALL-E 2, Stable Diffusion, GPT etc.). Astfel, pot fi discretizate baze largi de date (până la sute de imagini) fără ca oboseala cognitivă asociată paradoxului alegerii să intervină și să perturbe calitatea deciziei.

Componenta ERP este un indicator solid în neuroștiințe iar dezvoltarea de metode curatoriale bazate pe acesta poate oferi multe direcții de implementare în domeniile dependente de comunicare vizuală, ca arhitectura. Studiul a identificat vârful P300 din cadrul componentei ERP (Event Related Potential), ca fiind o metodă validă în studiul preferințelor vizuale ce se manifestă în mod inconștient în mintea umană înainte de a se manifesta conștientizarea iar așa cum au demonstrat și studiile independente dar și testul nostru izolat de captare a semnalului, cadrul bazat pe sistemul Emotiv EPOC X poate citi varful P300 al componentei VRP. Cu toate acestea, sistemul propus are și o serie de limitări date de natura căștii (cu electrozi umezi) care ia aproximativ 10 – 15 minute pentru calibrare electrozilor și a semnalului iar softwear-ul de înregistrare nu dă datele brute decât în regimul achiziționării unei licențe. Analiza ERP făcută în Emotiv PRO Analyzer se rulează pe serverul EMOTIV ceea ce face ca înregistrările cu dimensiune mare să depindă de conexiunea la internet.

Conclusions, Results and Future Research

The first part of the study aimed at analysing the context of the generative paradigm in architecture from which the paradox of choice associated with the evaluation and discretization of latent space derives. The second part of the study focused on identifying a method to address this issue. Thus, the method of affective computation is proposed as a framework through which the evaluation and discretization of latent space solutions can be mediated by recognizing the transformative role of emotions in the decision-making process. It should be noted that the affective computing method is not strictly related to the design framework described in this study, the topic of tower generation in an urban context being only the test support. The data recording and analysis paradigm can also be used as needed in other design frameworks, for example in the evaluation of generated solutions or images (such as those through diffusion models like Midjourney, DALL-E 2, Stable Diffusion, GPT etc.). Thus, large databases (up to hundreds of images) can be discretized without the cognitive fatigue associated with the paradox of choice that is intervening and disturbing the quality of the decision.

The ERP component is a strong indicator in neuroscience and the development of curatorial methods based on it can provide many directions for implementation in fields dependent on visual communication, such as architecture. The study identified the P300 peak of the Event Related Potential (ERP) component as a valid method in the study of visual preferences that manifest unconsciously in the human mind before awareness occurs (up to 300 ms) and as demonstrated in independent studies and our isolated signal capture test, the Emotive EPOC X-based paradigm can read the P300 peak of the VRP component. However, the proposed system has also a number of limitations given by the nature of the headset (with wet electrodes) which requires about 10 - 15 minutes to calibrate the electrodes and signal and the limitations of the recording software that does not give raw data unless under a license purchasing regime. The ERP analysis done in Emotiv PRO Analyzer runs on the EMOTIV servers which makes large recordings dependent on good internet connection.

Analiza componentelor ERP și ierarhizarea imaginilor în funcție de aceasta reprezintă cea de-a doua etapă a studiului, care este în desfășurare. Prin analiza latenței și amplitudinii vârfurilor N200 și P300, cercetările susțin că forma, amplitudinea și latența P300 este în corelație cu natura stimulilor de bază și cu nouitatea și complexitatea acestora. Se poate apela la metoda extracției și clasificării vârfului P300 pe baza analizei discriminării liniare (Guger et al., 2009), filtrarea potrivită (Serby et al., 2005) sau algoritmi de învățare automată (machine learning). Această lucrare descrie fundamentul teoretic și un posibil flux de lucru, însă scopul final al acestui demers este acela de a crea un cadru intuitiv și ușor de utilizat prin crearea unui BCI (Brain-Computer Interface) similar sistemului BCI dezvoltat de g.tec neurotechnology GmbH Unicorn Blondy Check ce folosește răspunsul P300 pentru a clasa imaginile după relevanța lor pentru subiect.

Abundența de informații la care trebuie să facem față zi de zi în contextul „cele de-a doua revoluții digitale” (Carpo, 2017) se reflectă și asupra modului în care practicăm arhitectura. Creierile noastre nu au fost structurate istoric să facă față unui asemenea suprastimulări decizionale așa cum nu au aceeași structură computațională de înțelegere a big data ca instrumentele de inteligență artificială. Teza consideră că pe măsură ce tehnologia evoluează, metodologiile de proiectare trebuie să se adapteze, pentru ca arhitectul să rămână relevant în fața valului de automatizare. Augmentarea capacităților umane dar și valorificarea dimensiunilor umane distincte - ca dimensiunea afectivă în cadrul computațional - sunt teme actuale de cercetare în noul context de proiectare în arhitectură. De când computația nu mai este doar un instrument de susținere a procesului de proiectare ci devine ea însăși metoda de proiectare, designerii și arhitecții sunt puși în fața faptului de a regândi inteligența relațională om-mașină ca mediu de co-creație. Computarea afectivă este o formă de „manipularea directă” (Hutchins et. al, 1985) care poate intermedia recunoașterea și valorificarea rolului transformator al emoțiilor și percepției umane în cadrul proceselor generative, deschizând oportunitatea unei umanizări a aridului terenului al computației.

The analysis and image ranking according to ERP components is the second phase of the study, which is ongoing. By analyzing the latency and amplitude of the N200 and P300 spikes, the research argues that the shape, amplitude, and latency of the P300 correlates with the nature of the underlying stimuli and their novelty and complexity. For example, one can appeal to the method of extracting and classifying ERPs based on the P300 peak based on linear discrimination analysis (Guger et al., 2009), matched filtering (Serby et al., 2005) or machine learning algorithms. This paper describes the theoretical background and a possible workflow, the ultimate goal of this approach being to create an intuitive and easy-to-use framework. To the end, the goal is to create a BCI (Brain-Computer Interface) like the BCI system developed by g.tec neurotechnology GmbH Unicorn Blondy Check that uses the P300 response to classify images by their relevance to the subject and reintroduce the preferred solution genes back to the generation.

The abundance of information we have to deal with every day in the context of the “second digital turn” (Carpo, 2017) is also reflected in the way we practice architecture. Our brains have not historically been structured to cope with such decisional overload just as it does not have the same computational structure for understanding big data as artificial intelligence tools. The thesis considers that as technology evolves, design methodologies need to adapt for architects to remain relevant in the face of the wave of automation. Augmenting human capabilities and leveraging distinct human dimensions such as the affective dimension in computation are themes of research in the new context of design in architecture. Since computation is no longer just a tool to support the design process but becomes the design method itself, designers and architects are faced with rethinking human-machine relational intelligence as a co-creative medium. “Direct manipulation” (Hutchins et. al, 1985) through affective computation can be envisioned as a possible mechanism for recognizing and harnessing the transformative role of human perception within generative processes, whereby the arid terrain of computation can be humanized.

Referințe/References

- Andia, A. & Spiegelhalter, T. (2014). *Post-Parametric Automation in Design and Construction*. Artech House
- Barsan-Pipu, C., Sleiman, N., Moldovan (2010). Affective Computing For Generating Virtual Procedural Environments Using Game Technologies. 40th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture: Distributed Proximities, ACADIA 2020 ; 1:120-129, 2020.
- Badcock, N. A., Preece, K. A., de Wit, B., Glenn, K., Fieder, N., Thie, J., & McArthur, G. (2015). Validation of the Emotiv EPOC EEG system for research quality auditory event-related potentials in children. *PeerJ*, 3, e907.
- Banaei, M., Hatami J., Yazdanfar A., Gramann K. (2017). Walking through Architectural Spaces: The Impact of Interior Forms on Human Brain Dynamics. *Frontiers in Human Neuroscience* 11: 1–14.
- Barham, M.P., Clark, G.M., Hayden, M.J., Enticott, P.G., Conduit, R., & Lum, J.A. (2017). Acquiring research-grade ERPs on a shoestring budget: A comparison of a modified Emotiv and commercial SynAmps EEG system. *Psychophysiology*, 54 9, 1393-1404 .
- Bechara A., Damasio H., Tranel D., Damasio A.R. (1997). Deciding Advantageously before Knowing the Advantageous Strategy. In *Science New Series*, 275(5304), 1293–1295.
- Berlyne, D.E. (1971). *Aesthetics and Psychobiology*. New York. Appleton-Century-Crofts.
- Bolojan, D., Vermisso, E., Yousif, S. (2022, 9-15 aprilie). Is Language All We Need? In van Ameijde, J., Gardner, N., Hyun, K. H., Luo, D., Sheth, U. (Eds.). *Post-Carbon Proceedings of the 27th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2022). Volume 1: (353-362)*
- Carpo, M. (2017). *The Second Digital Turn: Design Beyond Intelligence*. MIT Press.
- Chen, X. J., & Kwak, Y. (2022). Contribution of the Sensorimotor Beta Oscillations and the Cortico-Basal Ganglia-Thalamic Circuitry During Value-Based Decision Making: A Simultaneous EEG-FMRI Investigation. In *NeuroImage*, 368(4)
- Damasio, A. R. (1994). *Descartes' Error: Emotion, Reason, And The Human Brain*. New York . G.P. Putnam.
- Damasio, A.R., Tranel, D. & Damasio, H. (1991). Somatic Markers and the Guidance of Behaviour: Theory and Preliminary Testing. In H.S. Levin, H.M. Eisenberg & A.L. Benton (Eds.). *Frontal Lobe Function and Dysfunction* 217–229: Oxford University Press.
- Diniz, N., Signore, M. D., & Melendez, F. (2020). *Data, Matter, Design: Strategies in Computational Design*. Routledge.
- Duvinage, M., Castermans, T., Petieau, M., Hoellinger, T., Cheron, G., & Dutoit, T. (2013). Performance of the Emotiv EPOC headset for P300-based applications. *Biomedical engineering online*, 12, 56.
- Elster, J. (1996). Rationality and the Emotions. In *Economic Journal*, Royal Economic Society vol. 106(438), 1386-1397.
- Fitzsimons, G.J., Hutchinson, J.W., Williams, P. Williams, P, Alba, J. W., Chartrand, T., L., Huber, J., Kardes, F. R., Menon, G., Raghurir, P., Russo, J. E., Shiv, B. & Tavassoli, N. T. (2002). Non-Conscious Influences on Consumer Choice. In *Marketing Letters* 13, 269–279.
- Finn, E. (2017). *What Algorithms Want: Imagination in the Age of Computing*, MIT Press.
- Guger, C., Daban, S., Sellers, E., Holzner, C., Krausz, G., Carabalona, R., et al. (2009). How many People Are Able to Control a P300-Based Brain-Computer Interface (Bci)? *Neurosci. Lett.* 462(1), 94-98.
- Harmon-Jones, E., Allen, J.J.B., (1997). Behavioral Activation Sensitivity and Resting Frontal EEG Asymmetry: Covariation of Putative Indicators Related to Risk for Mood Disorders. In *Journal of Abnormal Psychology* 106(1), 159–163
- Hutchins, Edwin L. James D. Hollan, and Donald A. Normad. (1985). Direct Manipulation Interfaces. In *Human-Computer Interaction* 1(4), 311-338.
- Libet, B. (2004). *Mind Time*. Cambridge. Harvard University Press
- Licklider, J. C. R. (1960). Man-Computer Symbiosis. In *IRE Transactions on Human Factors in Electronics*. HFE-1, 4–11.

- Leach, N. (2018). Design in The Age of AI. In *Landscape Architecture Frontiers*, 6(2), 8-19. <https://doi.org/10.15302/J-LAF-20180202>.
- Watanabe, M. (2022, October 11), Aitect. Makato Sei Watanabe. <https://www.makoto-architect.com/aitect.html>
- Makstutis, G. (2018). *Design Process in Architecture - From Concept to Completion*. Londra. Laurence King.
- Minsky, M. L. (1988). *The Society of Mind*. New York. Simon & Schuster.
- Palmer, B., Nasman, V. T., & Wilson, G. F. (1994). Task Decision Difficulty: Effects on ERPs in a Same-Different Letter Classification Task. In *Biological psychology*, 38(2-3), 199-214.
- Pfister, H.R., & Böhm, G. (2008). The Multiplicity of Emotions: a Framework of Emotional Functions in Decision Making. In *Judgment And Decision Making*, 3(1), 5-17.
- Picard, R. W. (1995). Affective Computing. In *M.I.T Media Laboratory , Perceptual Computing Section Technical Report No. 321*, 1-16.
- Salma, N. (2017). *EEG Signal Analysis in Decision Making*. [Unpublished master dissertation]
- Simon, H. A. (1967). Motivational and Emotional Controls of Cognition. In *Psychological Review*, 74(1), 29-39.
- Schwartz, B., Ward, A., Monterosso, J., Lyubomirsky, S., White, K., & Lehman, D. R. (2002). Maximizing Versus Satisficing: Happiness Is a Matter of Choice. In *Journal of Personality and Social Psychology*, 83(5), 1178-1197.
- Serby, H., Yom-Tov, E., and Inbar, G. F. (2005). An Improved P300-Based Brain-Computer Interface. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.* 13, 89-98.
- Sutton, S.K., Davidson, R.J., (1997). Prefrontal Brain Asymmetry: a Biological Substrate of the Behavioral Approach and Inhibition Systems. In *Psychological Science* 8. 204-210.
- Terzidis, K. (2014). *Permutation Design: Buildings, Texts, and Contexts*. Routledge.
- Toffler, A. (1970). *Future Shock*. Bantam Books.
- Verweij, M., & Damasio, A. (2019). The Somatic Marker Hypothesis and Political Life. In Redlawsk, D. (ed) *Oxford Research Encyclopedia of Politics*. doi: 10.1093/acrefore/9780190228637.013.928
- Wiggins, G. A. (2019). A Framework for Description, Analysis and Comparison of Creative Systems - 2.4.1 A Universe of Possibilities. In Tony, V. & Amílcar, C. F. (Eds.) *Computational Creativity. The Philosophy and Engineering of Autonomously Creative Systems*, Springer, 25-30.
- Walter, W. G., Cooper, R., Aldridge, V. J., McCallum, W. C., and Winter, A. L. (1964). Contingent Negative Variation : An Electric Sign of Sensori-Motor Association and Expectancy in the Human Brain. *Nature* 203, 380-384.
- Woodman, G. F. (2010). A Brief Introduction to the Use of Event-Related Potentials in Studies of Perception and Attention. *Atten. Percept. Psychophys.* 72, 2031-2046.
- Wundt, W. M. (1874). *Principles of physiological psychology* (E. B. Titchener, Trans.). Leipzig, Germany: Engelmann.
- Yang, Q., Cruz-Garza, J.G., & Kalantari, S. (2023). MindSculpt: Using a Brain-Computer Interface to Enable Designers to Create Diverse Geometries by Thinking. ArXiv, abs/2303.03632.
- Zaltman, G. (2000). Consumer Researchers: Take a Hike!. In *Journal of Consumer Research*, 26(4) 423-428.

¹ Acknowledgements: Mulțumim Assoc. Prof. Dr. Alexandru Berceanu din cadrul CINETIC pentru informațiile primite din domeniul științelor cognitive și pentru accesul oferit în cadrul laboratorului LDCAPEI – Dezvoltare cognitivă și psihologie aplicată prin experiențe imersive din cadrul Centrului CINETIC/

Acknowledgements: Many thanks to Assoc. Prof. Dr. Alexandru Berceanu from CINETIC for the information received in the field of cognitive sciences and for the access provided to the LDCAPEI Lab - Cognitive Development and Applied Psychology through Immersive Experiences at CINETIC.