

ТЕОРІЯ ТА ІСТОРІЯ АРХІТЕКТУРИ

DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2025.71.3-20>

УДК 711.01/.09

Аранчій Дмитро Олександрович,

аспірант, асистент кафедри інформаційних технологій в архітектурі

Київського національного університету будівництва і архітектури

aranchii.do@knuba.edu.ua

<https://orcid.org/0009-0005-4661-0474>

АРХІТЕКТУРА ПОВЕДІНКИ: РЕАКЦІЇ, СПІЛКУВАННЯ ТА ВЗАЄМОДІЇ

“Учіться, брати мої, думайте, читайте”

— Тарас Шевченко, *«І мертвим, і живим, і ненарожденним»*

Анотація: у статті розглядається поведінкова архітектура, що здатна до зворотної реакції, спілкування та двосторонньої взаємодії, зокрема за рахунок самонавчання. Такими є системи адаптації, які здатні проявляти складну поведінку. Архітектура стаючи також машиною та набуваючи "інтелекту" нерідко може проявляти нетривіальну й непередбачувану емерджентну поведінку. Остання базується на відносно простій конструкції своєї механіки (будови "тіла") та електроніки й інструкцій/алгоритмів взаємодії (будови "розуму"). Прослідковується еволюція від перших спроб створення систем спілкування у XX столітті у царині ранньої кібернетики. Зокрема у таких роботах як проєкти Гордона Паска як MusiColour та Колоквій Мобілів (які включно з релевантністю до архітектури розглянуті у цій статті), механічних "розумних" створінь Уолтера Грея Уолтера та до сучасних використань. До них у тому числі відносяться проєкти NOX, Minimaforms та Aranchii Architects. Основний акцент робиться на методі (алгоритмові) взаємодії, який базується, як правило, на відповідних йому у часові новітніх науково-технічних досягненнях, зокрема у царині машинного навчання, а також на цінності, яку ця взаємодія несе - цінність натомість носить здебільшого гуманістичний (спрямований на задоволення ментальних потреб: зацікавлення людини, формування у неї нового досвіду та контролю над невизначеністю, або ж оптимізацією фізичних властивостей середовища перебування для покращення якостей життя) та останнім часом також сталий (sustainable) характер. Аналізуються приклади дослідницьких та утилітарних втілень у світі та пропонуються шляхи розвитку взаємодії в архітектурі за залучені частиною простору (адаптація шкіри/оболонки,

реконфігурація структури, та еволюція елементів внутрішнього простору) з користю для людини й середовища, у тому числі урбаністичного та містопланувального.

Ключові слова: поведінкова архітектура; інтерактивна система; теорія розмови; стохастичні процеси; адаптація; двостороння взаємодія.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій.

Архітектура більше не є застиглою. Натомість вона все більше стає динамічною розумною матерією, яка вчиться реагувати, спілкуватися та взаємодіяти. Людство здійснило великий крок у напрямку створення систем взаємодії (прямо чи опосередковано застосовуваних до архітектури). Мрія людей про "справжнього" *механічного турка* в вже здійснилася, оскільки через понад 2 століття після відомої містифікації, людина створила машину IBM Deep Blue, яка перемогла чемпіона світу з шахів.

Проте у науці та віртуальних середовищах системи взаємодії поширюються значно швидше, ніж у фізичному світі, зокрема в галузі архітектури. Потенціал використання інтерактивних систем у проектуванні будівель та урбанізмі лише починає розкриватися, часом поодиноким, даючи розрізнені, але надзвичайно захоплюючі результати.

Ще в минулому столітті в архітектурі проводились перші експерименти з навчання будівель та архітектурного середовища взаємодіяти та спілкуватися. Дослідженням цього питання займалися зокрема Гордон Паск, Уолтер Грей Уолтер. Експерименти були здебільшого супроводжували розвитком і впливом кібернетики і проводились людьми до неї дотичними. В академічному світі вищої школою, яка традиційно поєднувала авангардну архітектуру та кібернетику, була лондонська школа Архітектурної Асоціації. Ранній вплив на механіку архітектурної взаємодії здійснив Річард Бакмінстер Фуллер. Серед сучасників можна виділити Ларса Спайброка (NOX) та Теодора Спірополуса (Minimaforms), який продовжує справу попередників та досліджує емерджентність та свідомість архітектурних машин. В Україні деякі системи архітектурної взаємодії розробила майстерня Aranchii Architects.

Метою публікації є привернення уваги архітекторів, наукової та професійної спільноти до приголомшливої перспективи, яку нам надає розвиток систем взаємодії, а також систематизація знань у даній області, аби з розумінням історичних передумов та еволюцію систем *інтерації*, можна було створювати новітню архітектуру спілкування спираючись на ґрунтовну філософію піонерів досліджень та новітні застосунки науковців сучасності, оскільки архітектура може отримати потужний (можливо навіть емерджентний) виток розвитку

передусім залучаючи прогресивні досягнення із сусідніх галузей знань, таких, зокрема, як кібернетика, теорія алгоритмів та глибоке навчання.

Основна частина.

Спадок Гордона Паска.

Ранні експерименти з взаємодії потрапили в архітектуру з околу кібернетики, представником якої був Гордон Паск, який відомий створенням так званої *Теорії Розмови (Conversational Theory)*, де у спільній системі існували взаємодії: людина-машина, людина-людина та людина-машина. Паск зацікавлений у створенні конструктивно-творчих взаємин між людиною та середовищем, що дає змогу вчитися один у одного, за допомогою створення взаємодіючих недетермінованих (*стохастичних*) артефактів.

Паск стверджує, що людина завжди прагне досягнути нової мети шляхом пошуку *новизни* в середовищі, яка у свою чергу може призводити до нових знань та людського *контролю* на ситуаціями, що виникають: "... людина завжди націлена досягнути певної мети й вона завжди шукає нової мети" [1, стор. 76]. Новизна у середовищі проявляється через події або конфігурації, які викликають *невизначеність* і змушують людину намагатися зрозуміти їх або вирішити проблеми. Контроль у даному сенсі може трактуватися як вирішення проблем, пояснення новизни або зв'язок з попереднім досвідом. Середовище, що здатне викликати новизну, невизначеність та спонукати ступінь контролю є *естетично спроможним (aesthetically potent)*, *реакційне* й *адаптивне* - воно сприяє інтеракціям, які викликають задоволення і є важливим аспектом у творенні мистецтва, будь то музика, образотворче мистецтво чи інші його види. За Паском, виконавець (творець) є ментально спорідненим з глядачем або слухачем твору. Таким чином взаємодія з мистецтвом передбачає не лише пасивне сприйняття, але й активне включення – людина інтерпретує і внутрішньо реагує на художній твір, що створює "*розмову*" між твором та глядачем [1, стор. 76-77].

Машина **MusiColour** Гордона Паска була видовищною машиною, що випромінювала кольори під час виступу музичних виконавців будучи здатною розпізнавати 2 категорії вхідних параметрів, частоту та ритм. Колірне світло (вихідний параметр), якими світилася MusiColour робило її повноцінним виконавцем концерту, адже створюючи неповторний патерн свічення при цьому не випадковий. Стомлюючись від одноманітних ритму та частоти, вона починала слухати інші ритми і частоти та засвічувати світло лише знаходячи їх. Продукуючи та провокуючи імпровізацію, машина таким чином поводи́ла себе так як джазові виконавці гурту [2, стор. 56]. Перфоманс був діалогом між виконавцями та MusiColour. А основою системи - обчислення і прийняття рішення щодо *нудності/новизни* музики.

Система MusiColour була, як зазначав Паск [1], мультимодальною (зоровою та звуковою), що відображено у назві - що у 1950-х роках було досить новітнім явищем. *Машина* містила трансд'юсер, який вибирав візуальні символи для проєкції на екран на основі заздалегідь визначеного словника. Ці символи змінювалися залежно від аудіовізуальних зв'язків, які налаштовувалися під час виконання. Система навчання MusiColour полягала в здатності машини адаптуватися і навчатися у виконавця. Це дозволило виконавцю співпрацювати з машиною для створення нових ефектів, які не могли бути досягнуті лише людиною.

Експерименти з системою проводилися на зустрічах клубу Pomegranate, що дозволило спостерігати реакцію невеликих груп людей на взаємодію з MusiColour. Стало очевидно, що система здатна набільше аніж простий трансд'юсер - виконавець ставши активним учасником міг навчати систему, яка ставала ніби його продовженням, змінюючи та впливаючи на результати роботи машини під час взаємодії, перетворюючи процес виконання у своєрідну "гру" з системою. Таким чином під впливом реакції системи змінювалось і виконання людини. Щоправда, авдиторію до взаємодії *виконавець-машина* долучити на цьому етапі не вдалося, зокрема і через зростаючу технічну складність системи (бажаючи поглибити її самонавчальні здібності необхідно було на одне лише світло 30-50 кВт потужності та 2 транспортних засоби).

Незважаючи на еволюцію системи, Паск з колегами вирішили лишити назву, яка натякала на більш примітивну поведінку, через бажання комерційного успіху вже певним чином відомої назви. Після успіхів та досвіду експериментів у Ліверпулі та інших містах, досліди було перенесено до Лондона. Подальші експерименти показали, що існує певний рівень стійкості у відносинах між виконавцем і машиною, що дозволяє виконавцю адаптуватися до певного рівня збоїв у системі, і цей допустимий рівень збоїв підвищується зі зростанням рівня взаємодії. Окрім того спостерігалось явище втрати відчуття часу виконавцем, що засвідчувало глибоку залученість у процес та встановлення міцного зв'язку з системою, як зазначається в 'A Comment, a case history, a plan' [1].

У MusiColour присутні фільтри налаштувань (*property filters*), що нагадують нейрони, через які машина "слухає" виконавця, тобто вхідний сигнал через інструмент та мікрофон, (частоти (як правило, різних смуг частот)), транзієнтності (короткочасних сигналів) та ритму з індивідуальними параметрами). Сигнали випрямляються блоками усереднювачів, після чого потрапляють на адаптивні порогові пристрої, де лінійно змінюються адаптуючись до вхідного сигналу у діапазоні від 0 до 1 (з 1 і нижче при перевищенні порогу і навпаки з 0 і вище у протилежному випадку). Таким чином

система коригує свої реакції на сигнали від виконавця. Система записує попередні стани фільтрів до пам'яті. "Навчання" й адаптація фактично відбувається через корегування вагових коефіцієнтів фільтрів налаштувань. За допомогою оцінювання якості сигналу система стає чутливішою за відсутності вхідних даних і починає "нудьгувати" від одноманітності. У той же час на вихід через дилери і перемикачі подаються параметри щодо вибору вихідного візуального патерну прожекторів на циклограмі чи екрані, щоби залучити до *зворотного зв'язку* і виконавця спонукаючи пошук новизни.

Можна простежити зв'язок Musicolour з сучасними неймережами чи навіть порівняти цей зв'язок зі зв'язком ранніх пращурів сучасної людини (або навіть неандертальців - виду, який був паралельною гілкою до нашого і мав не надто багато відмінностей, окрім, імовірно, ключової - здатності вирішувати проблеми спільно; не варто забувати, що у сучасних європейців та азійців є 1-4% гена неандертальців) з *homo sapiens* [3, стор. 215]. Так, бажана Паском стохастичність системи була для тих часів на високому рівні, а "пращур" неймережі вражає інноваціями для свого часу, особливо у інтерактивному втіленні фізичної системи. Слід зазначити, що у 1958 Паск експериментував також з електрохімічними комп'ютерами, основною зацікавленістю в яких було як зазначає Гак у [2, стор. 58] "конструювання аналогових систем, що емулюють біологічні нейронні мережі у їхньому браку визначеності (*specificity* - в оригіналі, прим. автора)". Вирощуючи сенсори зануренням заживлених електродів у спиртовий розчин олова та срібла утворюються зв'язки (тендрилів) між електродами, що відновлюються й переналаштовуються задля розпізнавання образів та оптимізації обчислень. Паск винагороджував систему додатковими вільними зонами металу для стимулювання зростання ниток за виконання вихідних критеріїв. Інновація паскіанських електрохімічних систем перекликається з винагородою нейронних мереж у підкріплювальному навчанні (*reinforcement learning*).

У машині **SAKI** (Self-Adaptive Keyboard Instructor, 1956) Гордона Паска у співпраці з Робертом МакКінонвудом цілі студента, що вчиться друкувати та машині та самої машини залежать від відповідей один одного. Фактично SAKI емулює стосунки студента-викладача, у яких останній фокусується на індивідуальних потребах студента оцінюючи слабкі сторони. Сенсори та актуатори SAKI створюють алгоритм, що має динамічний середовищний ввід та вивід, що базується на внескові людини. Три змінних важливі для цього концепту: обізнаність, упертість та забування. Природа взаємодії людини та машини взаємозалежна та чутлива до сторін відгуку, який вони надають один одному. Машина варіює час виділений на відповідь та можливість надання підказки будучи середовищем з динамічними вхідними/вихідними параметрами

- архітектура вчиться у людини так само як і людина у архітектури [2, стор. 57]. Такий підхід підсилений сучасними нейромережами можна застосовувати у сталих архітектурних проєктах, зокрема для тренування користувача до автоматизованого мультикомфортного середовища, а системи - до кастомізованих уподобань користувачів. Під мультикомфортом мається на увазі сукупність параметрів у сталому будівництві, як-то температура, вологість, якість повітря (CO₂ тощо), рівень шуму, циркадна освітленість тощо, які впливають на зручність та здоров'я людей. Звісно, останнє стосується не лише керування інженерією, а й динамікою форми/оболонки, що уможливлює регулювання освітленості/прівітрювання тощо.

Colloquy of Mobiles, 1968. Проєкт, представлений на виставці Cybernetic Serendipity - уособлення теорії розмови, є за словами Гордона Паска [1, стор. 88] "соціально-орієнтованим реакційно-адаптивним середовищем". Мобілі являють собою кібернетичні сутності, які взаємодіють між собою та зовнішнім середовищем (люди). Підвішені механічні артефакти здатні до руху та обертання: "жінки" - світлові промені та "чоловіки" - дзеркала для відбиття світла з комбінацією сервоприводів. Мова комунікації включала світлові (кольори та тони), звукові сигнали й модуляцію сигналів спілкування з іншими мобілями. Мобілі немов шукали рівноваги: промені від жінок відбивались від дзеркал чоловіків та опинялися на датчиках жінок, після чого обертання припинялось але осциляція дзеркал чоловіків продовжувалась деякий час, після якого мобілі шукали нового стану рівноваги. Цілі мобілів були автономними, могли бути не сумісними, що уможливлювало *конкуренцію* їх між собою. Цілі недосяжними для окремого штучного індивіда провокували навпаки *співпрацю*. Автономна поведінка втім була залежна від зворотнього зв'язку від інших мобілів й середовища. Цілі мобілів були ієрархічними - основні цілі доповнювалися підцілями, а автономну взаємодію колективна, що забезпечувало досягнення складніших цілей.

Таким чином створювалася складна й струнка недетермінована хореографія, квінтесенцією якої ставала періодична узгодженість між учасниками *розмови*. Цей алгоритм може бути уподібнений до соціальної взаємодії, де кожен мобіль діє як індивід, що намагається задовольнити свої потреби через взаємодію з іншими мобілями. Процес пошуку, виявлення, взаємодії та підкріплення схожий на людську комунікацію та співпрацю. Відвідувачі також ставали жвакими учасниками розмови іноді перешкоджаючи напрямку відбиття світла, а іноді втручаючись ліхтариками та імітуючи світло жінок [2]. Паск припускав [1, стор. 91], що розвиток подальшого залучення людей до середовища може впливати на мобілі та їх взаємодію. Незважаючи на нездатність мобілів до інтерпретації своїх аудіо-візуальних сигналів, така

здатність присутня в людей, що відкриває вікно вищого рівня дискурсу й естетично спроможного середовища.

Кібернетичні створіння Грея Уолтера.

Важливою ланкою у становленні інтерактивних систем також була робота британського нейрофізіолога та кібернетика Грея Уолтера. Як зазначає Джон Джонстон, післявоєнні експерименти Грея Уолтера були певним продовженням розроблених ним військових технологій, зокрема механізму сканування радару (plan position indicator), тож його подальший пошук лежав у "конструюванні пристроїв, що імітують чи моделюють діяльність з цілевказівки та сканування" [4, стор. 48]. Грей Уолтер розмірковує у своїй статті *An Imitation of Life* [5] щодо сфокусованості науки на поведінці та роллю нервової системи у її визначенні порівнюючи складні функції, які можна відтворити механічними засобами, з природними процесами. Уолтер створює штучних черепах (*Tortoise*, назва запозичена з *Пригод Аліси в країні чудес* Л'юїса Керола, як видно з епіграфу). Механічні черепахи (Рис. 1), "Адамом і Євою" серед яких стають Елмер та Елсі, стають прикладом того, як прості механічні та електронні компоненти можуть створювати складні поведінкові патерни, які можуть бути сприйняті як прояв *свободи волі*. "Хоча вони мають лише два сенсорні органи та дві електронні нервові клітини, вони демонструють "вільну волю" - зазначає Уолтер у передмові [5, стор. 42].

Першим поколінням еволюції *tortoise* Уолтер назвав *Machina speculatrix*, оскільки вона була розроблена для демонстрації спекулятивної поведінки подібної до поведінки тварин. Принцип роботи черепах включає здатність реагувати на світлові стимули та самостійно адаптуватися до змін у середовищі через процеси негативного зворотного зв'язку. Завдяки своїм простим, але ефективним механізмам, ці черепахи імітують основні аспекти рефлекторної активності живих організмів, що робить їх прикладом ранньої форми інтерактивних систем з емерджентною поведінкою. Адже неочікувано автономна, саморегульована та непередбачувана механічна черепаха маючи лише два сенсорні органи та дві електронні нервові клітини (досить простий електро-механічний дизайн), здатна була демонструвати поведінку, що нагадує свободу волі.

Окрім руху циклоїдними спіралями, пошуку світла та відступу при розпізнаванні близького інтенсивного світла чи повернення для підзарядки, найцікавішим і найскладнішим було "розпізнавання" себе черепахою у дзеркалі, коли її датчик сканував відзеркалення свого ж світлового індикатора. Хореографія саморозпізнавання при цьому нагадувала як зазначав сам Грей Уолтер [5, стор. 44] "мерехтіння та сіпання на своє відображення".

Друге покоління під назвою *Machina docilis* (з латини - легко навчувана) [4, стор. 49] утворилась шляхом додавання електронної плати CORA (Conditioned Reflex Analogue). Механічний еквівалент умовного рефлексу працював через датчики світла, дотику і звуку, а також через зворотний зв'язок. Зустріч черепах призводила до взаємного "танку" складного характеру. Сенсор удару допомагав обходити перешкоду (здається, сучасні роботи пілосмоки через 6-7 декад увібрали в себе досить багато властивостей Елмера та Елсі). Додавання ж додаткових кіл навчання створювало конфлікти та інтерференції, що могли призводити до втрати здатності до адаптації — явище, яке Ґрей Уолтер назвав "експериментальним неврозом". Уолтер використовував мінімальні засоби створення машини двома нейронами та довів, що важлива не кількість одиниць у системі, а їхні взаємозв'язки - правильний зв'язок кількох простих компонентів породжує складність, демонструє мету і водночас непередбачуваність [4, стор. 51-52].

(Навколо)архітектурні застосування.

Геодезичний купол Бакмінстера Фуллера на всесвітній виставці у Монреалі 1967 року мав засвідчити один з перших вагомих кроків у реакції архітектури, щоправда не на людину, а на природні чинники. Відтак купол, що мав у діаметрі 76 метрів та, презентуючи ефективність даного типу конструкцій, та був складений зі зварених сталевих порожнинних труб тридюймового діаметру [6] - каркасу низької загальної металоємності (за підрахунками Фуллера 1/40 ваги стандартних конструкцій) у порівнянні з замкненим у ньому об'ємом та забезпечував максимальну міцність і жорсткість, був оздоблений акриловими панелями та динамічними триангульованими панелями, що мали регулювати світло й повітря всередині споруди рухаючись за сонцем та забезпечувати мультикомфорт людям усередині. Через деякий час після відкриття виставки механіка вийшла з ладу й більше не могла приносити комфорт відвідувачам. Натомість було встановлено клапани для "дихання споруди". у 1976 році акрилові панелі були знищені пожежею, проте у 1990-х після викуплення урядом Канади споруду знов відкрили у якості Музею Навколишнього Середовища. Незважаючи на долю експерименту з динамічними чарунками (і нехай алгоритм поведінки чарунок, імовірно, був досить простим) черговий ранній крок на шляху до поведінкової архітектури через фізичне втілення реакції було зроблено.

Інсталяція Ларса Спайброка (архітектурний гурт NOX) у місті Дойтінгем у Нідерландах пропонує мешканцям в мережі обрати одну емоцію з набору та забарвлюється таким чином аби інтерпретувати мапу емоцій міста в мініатюрі діодами, що світять спектральними кольорами через скловолоконну оболонку-розсіювач. Кольори еквівалентні емоціям на серцеподібному монументі, що виростає "артеріями" в землю ніби живе продовження колективних почуттів

мешканців [детальніше 7, стор. 33]. Це не є вираженою двосторонньою взаємодією інтенційно, проте імовірно викликає зворотну реакцію у людей, що дивляться на неї, як серед тих, хто проголосував на веб-сторінці, так і серед тих, хто ще цього не зробив, провокуючи до дії.

Проект Petting Zoo від студії Minimaforms (Стівена та Теодора Спіропулосів) не є архітектурою у загальноприйнятому значенні цього слова, проте є експериментом зі створення роботизованого середовища, що здатне демонструвати поведінку за рахунок взаємодії з учасниками викликаючи у людей допитливість через гру. Штучні домашні улюбленці формують поведінку, що розвивається з часом на основі досвіду вивчення взаємодії між собою та з публікою. Розпізнаючи образи (жести, активність) сенсорами кожен з улюбленців автономно обробляє дані. Це сприяє формуванню неповторних особистостей на основі штучного інтелекту та провокує подальші області вивчення розвитку людей та машин в єдиному (зокрема і архітектурному) середовищі [8] продовжуючи ідеї Гордона Паска (наприклад, Petting Zoo втомлювалась від одноманітності дій людей, як і MusiColour Паска).

Авторські проекти. Проект Знакового Гаю (*Signature Garden*) з взаємодіючими фонтанами GodMode (2016) та інсталяція ubiQuitous у проекті Чорного Співіснування (*Black Coexistence*) у бізнес парку Європасаж на вул. Сім'ї Прахових у Києві від Aranchii Architects є прикладами використання поведінкових алгоритмів в архітектурному середовищі.

Так сухий фонтан GodMode [10] на зеленому даху Signature Gargen, як показано на Рисунку 2, реагує на людину першим чином однонапрямлено "режимом Бога" - розступаючись перед нею динамічно при русі за принципом лінійного атрактора [9]: відсутність води коло людини аби лишити її сухою та градієнте підвищення вертикальних струменів на віддалі, де вода вже не замочить користувача. Потім сенсор системи сканує взаєморозташування людей на площі (враховує) і активує відповідну конфігурацію форсунок утворюючи ніби проєкцію людей поруч, яка змінюється в реальному часі разом зі зміною положення людей. Услід за цим за емерджентними правилами "активізовані" струмені фонтану починають взаємодіяти між собою.

Водночас перша стадія взаємодії інсталяції ubiQuitous [11] 2018 року полягає в віддзеркаленні людей. Тривимірний масив прозорих сфер (Рис. 5) розмірністю 8 x 8 x 8 містить у кожній чарунці колір, таким чином динаміка зміни кольору приводить у рух весь масив. Спершу віддзеркалення відповідають людям поруч у реальному часі, а потім, під час другої стадії, "відлипають" від людей ніби породжені ними сутності, які враз набули еволюційної поведінки за алгоритмом клітинних автоматів - емерджентному алгоритму формалізованої

еволюції, у якому вокселі (3-вимірні пікселі) "народжуються" та "вмирають" від "перенаселення" чи "самотності".



Рис. 1. Tortoise, У. Грей Уолтер, світлина: Дмитро Аранчій, Лондонський музей наук, 2014



Рис. 2. Взаємодіючі фонтани godMode. Струмені розступаються перед людьми, потім взаємодіють автономно. Aranchii Architects. Світлина: Алік Усік.

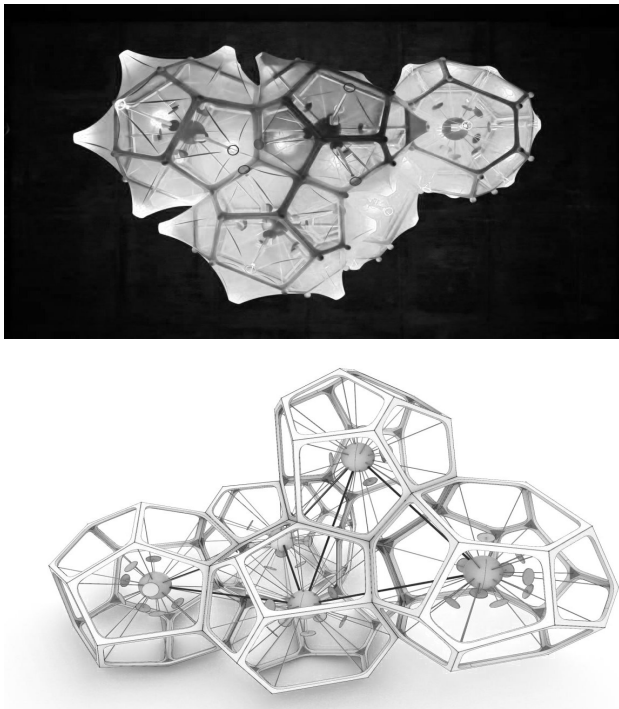


Рис. 3. Інсталяція KineticCloud. Схеми реакцій світлом та механікою на людину та схема внутрішньої будови. Aranchii Architects.

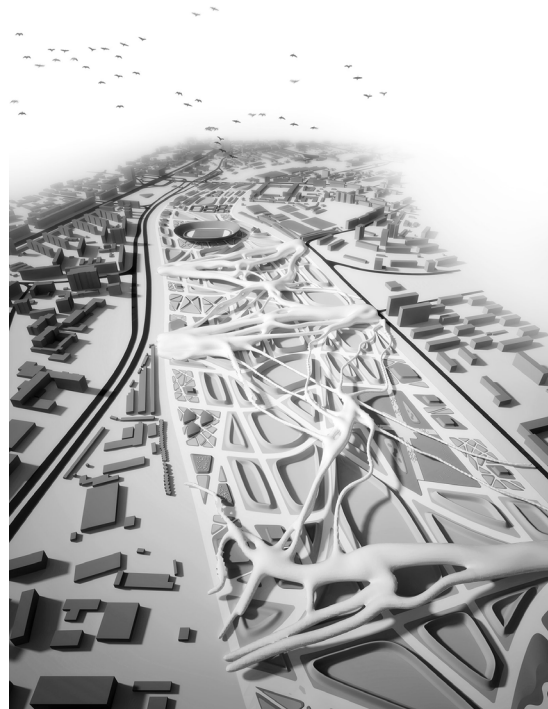


Рис. 4. Проєкт реновації вагонного депо Київ-пасажирський, 2013. Симуляція натовпу породжує формотворення ефективних сполучень. Aranchii Architects.

На момент написання цієї статті фонтани знакового гаю ще не були запрограмовані, але інсталяція *ubiQuitous* реалізована [12] (2020) і функціонує. В обох випадках люди втягуються у взаємодію даючи системі дані - початкові параметри для взаємодії "цифрових двійників". І хоча люди не взаємодіють напряду з двійником ввесь час, вони починають зацікавлюватись правилами гри і при перезапуску алгоритму знов починають впливати на початкові умови для подальшого спостереження за взаємодією машина-машина.

Інсталяція *KineticCloud*, 2022-2024, від Aranchii Architects реагує на відвідувачів зміною кольору (у задумі - кінематично - виштовхуванням "колючок" з граней актуаторами), як видно з Рисунку 3. Будучи підвішеною до стелі і маючи близько 2.5м у габариті вона артикулює присутність людей інтенсивністю свічення та зміною кольору запрошуючи до взаємодії, а також працює за непередбачуваним сценарієм за відсутності людини-співрозмовника. Усі вищенаведені авторські проєкти як і паскіанське середовище передбачають наявність у людини бажання до новизни. Чи навіть як подають це нині дослідники ДНК, "фаустівський ген" чи "ген безумства", [3, стор. 228] у людини, у днк якої судячи з усього є ланка, що відповідає за жагу до першовідкриттів та до незвіданого, яка здатна перебороти страхи та сумніви.

У проєкті *noMad* (2013-2015) тисячі самосвідомих автономних мобільних роботів "розумних-цеглин" через комунікацію проявляють емерджентність спілкування, що призводить до здатності утворювати разом невеликі таксономії з покращеними характеристиками "розумності" та мобільності, та подальші мегакластери, як відображено на Рисунку 1, які адаптуються до людей і середовища в реальному часі та слугують великою архітектурою та конструктивом [13][14][15]. Емерджентність пов'язана не лише з алгоритмом колективного/ройового інтелекту (де кожен юніт-учасник володіє досить обмеженим функціоналом, сенсорикою та здатністю приймати рішення), а й з структурними особливостями кожного модуля - восьмигранник, як показано на Рисунках 6, 7, здатний трансформацією, яку запропонував Бакмінстер Фулер, перетворюватися на кубовосьмигранник, пропонує дуже складні й цікаві кристалічні поєднання, що ускладнює хореографію з'єднань та рухів, але точно привносить безліч непередбачуваних можливостей.

Перспектива систем взаємодії у архітектурі. Слід окремо зазначити потенціал взаємодії взаємодіючих систем. З наслідковий експоненційним злетом емерджентності. Так, ніби несподівана поведінка черепахи Грея Уолтера множить на непередбачувану взаємодію мобілів Гордона Паска. Взаємодія різних складних систем несе нам безліч відкриттів.

Як і багато еволюційних змін, зміни в архітектурі, що базуються на процесах описаних у цій роботі, не можуть бути швидкими. Проте вони можуть бути

поступовими з імовірністю експоненційного поширення. При чому інтеграція взаємодії в архітектуру теж може лежати в діапазоні від частковості до тотальності. Часткові інтеграції є більш можливими і швидкими. Ми можемо уявити приміром розвиток оболонок будівель як компромісний варіант для швидкого впровадження. "Свідома" регуляція шкіри будівлі, що впливає на енергоефективність (перешкоджання перегріву влітку чи максимальний прогрів узимку), освітленість та видові характеристики (на основі вивчення і передбачення патернів поведінки людини), регуляція повітря та інших параметрів - нехай у цьому менше безпосередньої інтеракції з користувачем і ці зміни можуть бути більш просторово непомітними, аніж у деяких з розглянутих систем, але як мінімум присутня розумна адаптація під *homo sapiens*, та взаємодія з природою у цілях важливих для *homo sapiens* (при чому цілі ці мають враховувати сталий гармонійний розвиток з оточенням).

З іншого боку, трансформації можуть бути піддані самі будівлі. Прикладом початкової стадії якої слугує, наприклад, будівля Shed проєкту Diller Scofidio + Renfro у Нью-Йорку, натомість у ній присутня механіка для зміщення на рейках телескопічної оболонки з ETFE мембрани. У розгорнутому стані Shed створює простір для різних заходів на 17,200 квадратних футів, що може вмістити до 3,000 осіб. Коли оболонка зібрана, утворюється площа на 19,500 квадратних футів для відкритих подій. Система натхненна індустріальним минулим, зокрема естакад Гайлайну, реновацією яких займалася майстерня, і використовує технологію козових кранів. Архітектурне рішення базується на концепції Fun Palace Седрика Прайса, дозволяючи простору бути гнучким і адаптивним до майбутніх потреб: "Архітектурно Shed натхнений Fun Palace, впливовою, але нереалізованою будівлею-машиною, розробленою британським архітектором Седриком Прайсом та театральним режисером Джоан Літлвуд у 1960-х роках. Як і його попередник, Shed є відкритою інфраструктурою, що залишається постійно гнучкою для непередбачуваного майбутнього та реагує на змінні масштаби, медіа, технології та потреби художників." [16]. Хоча справедливості заради варто зазначити, що вона не є розумною чи взаємодіючою, а сама трансформація є лише лінійною й детермінованою.

У випадку трансформації структури об'єми можуть вкрай гнучко у просторі адаптуватися під людину економлячи ресурси у зв'язку з добовою/сезонною (не)заповненістю та переміщенням мешканців як у проєкті noMad (Рис. 6, 7) [13][14][15]. До того ж адаптуватися можуть не лише структури, але й "другорядні елементи". Так у проєктах студії Патрика Шумахера в AA DRL [17] студенти генерують адаптивні офісні простори, в яких офісне приладдя таке як столи чи комунікації (до прикладу сходи) можуть реконфігуруватися у просторі для адаптації під нагальні потреби людей в робочому місці чи переміщенні.

Багато з цих експериментів потрапляє в практику ЗНА, хоча і в заздалегідь адаптованому статичному оптимізованому вигляді. Подібним чином згенеровано псевдооптимальні (близькі до оптимальних) шляхи (рис. 4) у проєкті реновації вагонного депо Київ пасажирський [18][19]. Проте, перетворення статичного оптимального варіанту, який обирається на основі багатьох варіацій комп'ютерної симуляції - лише справа часу.

Не забуваймо також про місто як єдиний "свідомий" функціонуючий алгоритм. Урбанізм та містопланування мають потенціал розвитку з інтеграцією систем взаємодії. Очевидно, що сучасні міста все більше автоматизуються, вимірюються і керуються машинами. Для дедалі глибшої взаємодії з людиною ми маємо створити системи, які розвиватимуть здатність розуміти потреби натовпу та індивіду (у проєкті команди Мультикомфорт, КНУБА, 2016, під керівництвом Д.О.Аранчія та А.А.Фролова студенти розробили адаптивний простір, адаптація елементів якого дозволяла до прикладу безперешкодний пішохідний перехід, адаптивні вуличні меблі чи навігацію). Або ж впоратися оптимальним чином з натовпом, що "витікає" після івенту з подієвої арені активізуючи шляхи і напрямки чи, приміром, підлаштувати громадську площу під фізичні і ментальні потреби людей упродовж доби не лише пропонуючи функцію, а й задовольняючи "пошук новизни". Можливо, самонавчальні машини будуть здатні також допомогти нам переосмислити підходи сталості реагуючи і взаємозбагачувально комунікуючи з природою і роблячи наші осередки проживання та діяльності (а це наразі більша частина земної поверхні) більш комфортними й для флори та фауни, аби людина не втратила більшість біорізноманіття з того, яке ще лишається навколо. Реакція, спілкування та взаємодія знаходять різну пропорцію для задоволення поточних вимог.

Висновки. Становлення архітектури, що реагує, спілкується та взаємодіє з людиною актуальне не лише для забезпечення змінних потреб людини у комфорті, функції, ергономіці, але й ментальних - потреби людини в спілкуванні, пошуку нового, діяльності, що спрямована втамувати нудьгу та задовольнити "ген безумства". Встановлений історичний ланцюжок еволюції систем взаємодії та їх архітектурну релевантність. Прикладами доведена можливість утворення складних систем з відносно простих компонентів та логіки. Вибудований зв'язок між "розумними" системами та "конвенційною" архітектурою з пропозиціями інтеграції матерії з алгоритмічною поведінкою та варіантами глибини цієї інтеграції в рівень оболонки, структурної зміни чи адаптивного наповнення. Насамкінець підтверджена можливість розвитку таких систем в Україні прикладами авторських реалізованих проєктів, що реагують, спілкуються та взаємодіють.



Рис. 5. Проєкт ubIQuitous, 2018-2020. Масив елементів зчитує образи людей під собою утворюючи світінням вокселізовані відображення, які починають взаємодіяти між собою (машина-машина) отримавши вхідні параметри від людей. Aranchii Architects.

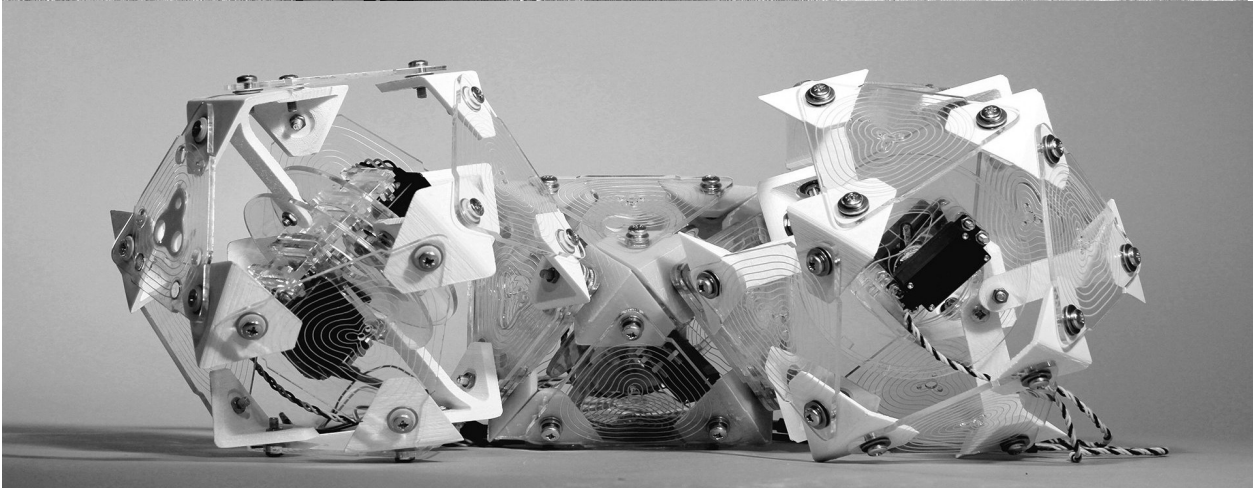


Рис. 6, 7. Проєкт noMad, 2013-2015. Архітектурна система поведінкової збірки. Візуалізація агрегацій мобільних роботів, які адаптуються в реальному часі та таксономій, що прямують на розбудову існуючих конструкцій. А також фото фізичного прототипу. AA DRL. Дмитро Аранчій, Пол Барт, Флавія Сантос, Айріс Юц'ю. Студія Теодора Спайропулоса.

Список література:

1. Pask Gordon. A Comment, a case history, a plan. *Cybernetics, Art and Ideas*, Studio Vista (London), 1971, p. 76-99.
2. Haque Usman. The architectural relevance of Gordon Pask, in *4d Social - Interactive Design Environments*, Wiley & Sons, 2007, p. 54-61.
3. Колберт Е. Шосте вимирання; пер. з англ. В. Плискін. Київ : Наш формат, 2017. 280 с.
4. Johnston John. Cybernetics and the New Complexity of Machines. *The Allure of the Machinic Life: Cybernetics, Artificial Life, and the New A.I.*, The MIT Press, 2008. P. 27-62
5. Walter Grey Walter. An imitation of life, *Scientific American* (1950) 182(5): 42-45
6. ArchDaily.. *AD Classics: Montreal Biosphere / Buckminster Fuller*. ArchDaily. (2014, November 10). URL: <https://www.archdaily.com/572135/ad-classics-montreal-biosphere-buckminster-fuller>.
7. Аранчій, Д.О. Алгоритмічні методи архітектурного формотворення: монографія. Київ: Aranchii Publishing, 2016. 152 с.
8. Minimaforms. Petting Zoo [Електронний ресурс] // Minimaforms. URL: <https://minimaforms.com/project/petting-zoo>.
9. Аранчій Д.О. Точковий атрактор та лінійні афінні перетворення. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. Київ: КНУБА, 2011. Вип. 87. С. 53-55
10. ArchDaily. Dmytro Aranchii Architects constructs interactive park on top of shopping center [Електронний ресурс] // ArchDaily. 2017. URL: <https://www.archdaily.com/877062/dmytro-aranchii-architects-constructs-interactive-park-on-top-of-shopping-center>.
11. Aranchii Architects. Ubiquitous. Інтерактивна інсталяція [Електронний ресурс]. URL: <http://aranchii.com/ua/blog/ubiquitous/>.
12. Aranchii Architects. Чорне співіснування [Електронний ресурс]. URL: <http://aranchii.com/ua/blog/chorne-mizhspivisnuvannia/>.
13. Design Research Lab. Nomad [Електронний ресурс] // AA School of Architecture. URL: <https://drl.aaschool.ac.uk/nomad>.
14. ArchDaily. Nomad: The self-aware heir to Buckminster Fuller [Електронний ресурс]. 2015. URL: <https://www.archdaily.com/771884/nomad-designs-the-self-aware-heir-to-buckminster-fuller>.
15. Aranchii Architects. NoMad. Архітектурна система поведінкової збірки [Електронний ресурс] // AADRL. URL: <http://aranchii.com/ua/blog/nomad/>.
16. Design Research Lab. Schumacher studio [Електронний ресурс] // AA School of Architecture. URL: <https://drl.aaschool.ac.uk/schumacher-studio>.

17. DS+R (Diller Scofidio + Renfro). The Shed [Електронний ресурс] // DS+R. – URL: <https://dsrny.com/project/the-shed>.

18. Кирпач В.І., Аранчій М.О., Аранчій Д.О., Реновація вагонного депо Київ-Пасажирський: параметрична архітектура. *Вагонний парк: Реалії і перспективи*, Київ, 2013. Вип. 11 (80). С. 45-48.

19. Aranchii Architects. Реновація вагонного депо Київ-Пасажирський [Електронний ресурс]. URL: <http://aranchii.com/ua/blog/depo/>.

References

1. Pask, G. (1971). A comment, a case history, a plan. In J. Reichardt (Ed.), *Cybernetics, art and ideas* (pp. 76–99). London: Studio Vista. (in English).

2. Haque, U. (2007). The architectural relevance of Gordon Pask. In L. Schneider (Ed.), *4D social: Interactive design environments* (pp. 54–61). London: Wiley & Sons. (in English).

3. Colbert, E. (2017). *Shoste vymyrannia* [The sixth extinction]. (V. Plyskin, Trans.). Nash Format. (in Ukrainian)

4. Johnston, J. (2008). Cybernetics and the new complexity of machines. In *The allure of the machinic life: Cybernetics, artificial life, and the new A.I.* (pp. 27–62). Cambridge: The MIT Press. (in English).

5. Walter, W. G. (1950). An imitation of life. *Scientific American*, 182(5), 42–45. (in English).

6. ArchDaily. (2014, November 10). *AD Classics: Montreal Biosphere / Buckminster Fuller*. ArchDaily. URL: <https://www.archdaily.com/572135/ad-classics-montreal-biosphere-buckminster-fuller> (in English)

7. Aranchii, D. O. (2016). *Alhorytmichni Metody Arkhitekturnoho Formotvorennia* [Algorithmic Methods of Architectural Morphogenesis] (Monograph). Aranchii Publishing. (in Ukrainian)

8. Minimaforms. (n.d.). Petting Zoo. URL: <https://minimaforms.com/project/petting-zoo> (in English)

9. Aranchii, D.O. (2011). Tochkovyi atraktor ta liniini afinni peretvorennia [*Point attractor and linear affine transformations*]. *Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika* [Applied Geometry and Engineering Graphics], (87), 53–55. (in Ukrainian)

10. ArchDaily. (2017, July 24). Dmytro Aranchii Architects constructs interactive park on top of shopping center. ArchDaily. URL: <https://www.archdaily.com/877062/dmytro-aranchii-architects-constructs-interactive-park-on-top-of-shopping-center> (in English)

11. Aranchii Architects. (n.d.). Ubiquitous. Aranchii Architects. URL: <https://aranchii.com/blog/ubiquitous/> (in English)

12. Aranchii Architects. (n.d.). Black coexistence. Aranchii Architects. URL: <https://aranchii.com/blog/black-coexistence/> (in English)
13. Design Research Lab. (n.d.). Nomad. AA School of Architecture. URL: <https://drl.aaschool.ac.uk/nomad> (in English)
14. ArchDaily. (2015, August 21). Nomad: The self-aware heir to Buckminster Fuller. ArchDaily. URL: <https://www.archdaily.com/771884/nomad-designs-the-self-aware-heir-to-buckminster-fuller> (in English)
15. Aranchii Architects. Nomad. Architectural Behavioural Modular System. AADRL. Aranchii Architects. URL: <http://aranchii.com/blog/nomad/> (in English)
16. Design Research Lab. (n.d.). Schumacher studio. AA School of Architecture. URL: <https://drl.aaschool.ac.uk/schumacher-studio> (in English)
17. DS+R (Diller Scofidio + Renfro). (n.d.). The Shed. DS+R. URL: <https://dsrny.com/project/the-shed> (in English)
18. Kyrpach, V.I., Aranchii, M.O., & Aranchii, D.O. (2013). Renovatsiia vahonnoho depo Kyiv-Pasazhyrskyi: Parametrychna arkhitektura [*Renovation of Kyiv-Pasazhyrskyi Wagon Depot: Parametric Architecture*]. Vahonnyi park: Realii i perspektyvy [*Wagon Park: Realities and Prospects*], (11) (80), 45–48. (in Ukrainian)
19. Aranchii Architects. (n.d.). Renovation of Kyiv-Pasazhyrskyi Wagon Depot. Aranchii Architects. URL: <https://aranchii.com/blog/depot/> (in English)

Abstract

Dmytro Aranchii, PhD student, Assistant Lecturer at the Department of Information Technologies in Architecture, Kyiv National University of Construction and Architecture

Behavioural Architecture: Reaction, Conversation, Interaction

This article examines behavioural architecture capable of response, conversation, and two-way interaction, particularly through self-learning mechanisms. Such systems include adaptive systems that can exhibit complex behaviour. As architecture becomes more like a machine and gains “intelligence,” it often demonstrates non-trivial and unpredictable emergent behaviour, based on relatively simple mechanical (body structure) and electronic designs, as well as interaction instructions/algorithms (mind structure). The evolution from early attempts at creating communicative systems in the 20th century within the realm of early cybernetics is traced, focusing on works such as Gordon Pask’s projects, including MusiColour and Colloquy of Mobiles (which are discussed in the article with regard to their relevance to architecture), and Walter Grey Walter’s mechanical “intelligent” creatures, to modern applications, including projects by NOX, Minimaforms, and Aranchii Architects. The primary focus is on the method (algorithm) of interaction, typically grounded in the scientific and technological advancements of its time, particularly in the field of machine learning, as well as on

the value this interaction brings – a value that is largely humanistic (aimed at meeting mental needs: engaging individuals, creating new experiences, and managing uncertainty, or optimising the physical properties of the environment to improve the quality of life) and, more recently, sustainable in nature. Examples of both experimental and practical implementations around the world are analysed, and pathways for the development of interaction in architecture are proposed, involving the engagement of space (adaptation of the skin/envelope, reconfiguration of structures, and the evolution of interior elements) for the benefit of both people and the environment, including urban and city planning contexts.

Keywords: behavioural architecture; interactive system; conversation theory, stochastic processes, bilateral interaction; adaptation; two-way interaction.