



DOI 10.28925/2663-4023.2022.16.185193

УДК 519.876.5

Хорольська Карина Вікторівна

асистент кафедри інженерії програмного забезпечення та кібербезпеки

Київський національний торговельно-економічний університет, м.Київ, Україна

ORCID ID: 0000-0003-3270-4494

k.khorolska@knute.edu.ua**АНАЛІЗ ОСНОВНИХ МЕТОДІВ РОЗПІЗНАВАННЯ КРЕСЛЕНЬ ТА
МОЖЛИВОСТЕЙ ТРАНСФОРМАЦІЇ З 2D У 3D**

Анотація. У статті викладено аналіз основних методів для розпізнавання креслень та можливостей трансформації двовимірних моделей (2D) у тривимірні моделі (3D). Незважаючи на швидкий розвиток ІТ все ж питання точності та швидкості перетворення двовимірних моделей у тривимірні залишається відкритим. В міру розвитку технологій машинного проектування та відповідних систем автоматизованого прийняття рішень (САПР) кількість методів і моделей, які можуть бути потенційно використані в задачі розпізнавання креслень та трансформації $2D \rightarrow 3D$ стрімко зростає. На сьогоднішній день існує достатньо велика кількість методів розпізнавання креслень та їх перетворення у тривимірну модель, проте кожен із них має певну кількість недоліків. Тому є потреба проведення комплексного аналізу даних методів, які потенційно можуть бути застосовані у контексті вирішення завдань розпізнавання креслень та трансформації $2D \rightarrow 3D$.

Слід зазначити, що існує суперечність між традиційною процедурою підготовки креслярської документації на паперових носіях до 80-90-х років 20-го століття та новими методами 3D моделювання, що отримали розвиток із середини 90-х років. Це дає дійсно безмежні можливості конструкторам готувати проектно-технічну документацію, не заціклюючись на проблемі підготовки креслярсько-конструкторської документації та особливостях введення вихідних даних. Істотно полегшує цей процес застосування прикладного програмного забезпечення. Зауважимо, що в більшості систем 3D (наприклад, програмні продукти Autodesk TinkerCAD, DesignSpark Mechanical, FreeCAD, Autodesk AutoCAD, ZBrush, Blender та ін.) застосовуються підходи, які дозволяють синтезувати каркасне або граничне уявлення об'єкта, що моделюється в просторі. У професійних системах (наприклад Autodesk 3ds Max, Autodesk Maya) використовують узагальнені моделі просторових об'єктів. Таке уявлення передбачає наявність у проектувальників відповідних інформаційних масивів, які апіорі повинні відповідати всім проекціям об'єкта у трьох основних площинах.

Ключові слова: 2D; 3D; розпізнавання; штучні нейронні мережі; креслення; двовимірні моделі; тривимірні моделі.

ВСТУП

Двовимірні креслення (далі по тексту 2D) найчастіше складні для розуміння. Конструкторам не завжди зручно вносити корективи до таких 2D моделей. Відповідно, створення систем на основі ІТ, для автоматичної реконструкції (розпізнавання) або конвертування 2D моделей в 3D (моделі або $2D \rightarrow 3D$), дозволить багаторазово скоротити не тільки трудомісткість і час проектування нових виробів або модернізацію існуючих, але дозволить візуалізувати зовнішній вигляд виробу потенційного замовника або покупця, що не має глибоких знань у сфері просторової інтерпретації 2D моделей.

Синтез тривимірних моделей (3D) з урахуванням проекцій тобто, фактично, 2D модель об'єкту містить деякий підсумовуючий аналіз множин графічних об'єктів.



Причому даний аналіз може виконуватися з урахуванням різних математичних методів і моделей.

Постановка проблеми.

Зі зростанням автоматизації виробництва виникла необхідність забезпечити роботу багатьох технологічних процесів без участі людини. Головним чином це процеси, пов'язані з рутинною, одноманітною роботою чи небезпечні для людини. У таких процесах доцільним постає питання автоматизації процесів, що реагують на різні відхилення параметрів технологічного процесу від номінальних. Створення таких автоматизованих систем було першим кроком на шляху до побудови систем, що розпізнають. Згодом, такі системи ставали дедалі складніше, і з появою комп'ютерів, відкрилися найширші можливості застосування більш новітніх методів розпізнавання зображень робота яких полягає в цифровій обробці даних. Незважаючи на популярність даного напряму на сьогоднішній день не має ефективного методу розпізнавання креслень із подальшою можливістю трансформації з 2D у 3D. Тому актуальним постає питання проведення комплексного аналізу та виявлення переваг та недоліків основних методів для розпізнавання креслень та можливостей трансформації з 2D у 3D.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В контексті виконуваного огляду та аналізу досліджень та підходів у питаннях розпізнавання графічної інформації для трансформації $2D \rightarrow 3D$ слід згадати спроби вирішувати дане завдання використовуючи альтернативні підходи. Наприклад, у роботах Сазерленда та Торнтона [1, 2] описані моделі та методи, які на думку авторів надають можливість вирішувати завдання, пов'язані з отриманням 3D моделей альтернативними шляхами, при цьому не застосовуючи спочатку як джерело вихідних даних або посередника модель 2D зображення.

Так у роботі Сазерленда [1] викладено метод, відповідно до якого проектувальник може генерувати вершини об'єкта моделювання за допомогою так званої операції «сколювання» 2-х проекцій.

В праці Торнтона [2] описаний схожий метод. При цьому застосовується інтерактивна техніка для отримання тривимірного введення, якщо є двовимірні проекції об'єкта.

Проте, зауважимо, що роботи [1, 2] спрямовані рішення іншого завдання, саме синтез 3D якщо відсутні дані для 2D моделі чи його якість не задовольняє проектувальника.

Мета статті. Огляд та аналіз підходів у питаннях розпізнавання графічної інформації для трансформації $2D \rightarrow 3D$ та використовуюваного програмного забезпечення (наприклад, програмні продукти Autodesk TinkerCAD, DesignSpark Mechanical, FreeCAD, Autodesk AutoCAD, ZBrush, Blender та ін.).

ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Існує суперечність між традиційною процедурою підготовки креслярської документації на паперових носіях до 80-90-х років 20-го століття та новими методами 3D моделювання, що отримали розвиток із середини 90-х років. Це дає дійсно безмежні можливості конструкторам готувати проектно-технічну документацію, не зациклюючись на проблемі підготовки креслярсько-конструкторської документації та особливостях введення вихідних даних. Істотно полегшує цей процес застосування прикладного програмного забезпечення.



Виконуючи узагальнення для найбільш затребуваних методів, моделей та алгоритмів зробимо вибірку найбільш затребуваних методів, моделей та алгоритмів, що використовуються в задачі розпізнавання креслень та трансформації $2D \rightarrow 3D$ на основі використання джерел [1-21]:

- 1) Ідесава М., 1973 р. [3] (дослідження: площини). Вхідними вимогами є наявність ліній та інших примітивів. Переваги – простота. Недоліки - не дозволяє розпізнавати креслення та трансформувати $2D \rightarrow 3D$ для об'єктів зі складними формами.
- 2) Лафує Дж., 1976 р. [3] (дослідження: площини). Вхідними вимогами є наявність ліній та інших примітивів за умови вказівок отворів на об'єкті. Переваги – простота, гарна здатність до алгоритмізування. Недоліки - не дозволяє розпізнавати креслення та трансформувати $2D \rightarrow 3D$ для об'єктів зі складними формами.
- 3) Ву Т., Хаммер Дж. М., 1977 р., [4] (дослідження: площини та циліндри). Вхідними вимогами є наявність ліній та інших примітивів. Переваги – гарна здатність до алгоритмізування. Недоліки - не дозволяє розпізнавати креслення та трансформувати $2D \rightarrow 3D$ для об'єктів зі складними формами, обмежений набір примітивів для $2D$ моделі.
- 4) Прайс К., 1981 р., [5, 6] (дослідження: площини). Вхідними вимогами є наявність ліній та інших примітивів. Переваги – відносно невеликі витрати часу на пошук координат ребер під час збору $3D$ моделі. Недоліки - не дозволяє розпізнавати креслення та трансформувати $2D \rightarrow 3D$ для об'єктів зі складними формами, потрібні великі обчислювальні ресурси.
- 5) Харалік Р.М. та Квіні Д., 1984 г. [7] (дослідження: площини). Вхідними вимогами є наявність ліній та інших примітивів. Переваги – алгоритм дозволяє формувати поверхні $3D$ об'єкта на основі безлічі $3D$ точок, що виступають як вершини об'єкта. Недоліки - алгоритм не підходить для трансформації $2D \rightarrow 3D$ складних об'єктів.
- 6) Марковський Дж. та Веслі М.А., 1981 р., [8-19]. (дослідження: площини). Вхідними вимогами є наявність ліній та інших примітивів. Переваги – трансформація $2D \rightarrow 3D$ розглядається як математична операція з такими сутностями – підпростір та нескінченний простір, а також їх комбінації. Недоліки - потрібні великі обчислювальні ресурси.
- 7) Сакураї Х, Гроссард Д., 1982 р., [11] (дослідження: площини). Вхідними вимогами є наявність ліній та інших примітивів (плоскі проекції циліндрів, сфер, конусів і торів). Переваги – невелика кількість сутностей, що використовуються під час трансформації $2D \rightarrow 3D$. Недоліки - не пристосований до реальних умов виробництва.
- 8) Ванга З., Цумура К. та Сятоа Ю., 1994 г. [12] (дослідження: площини). Вхідними вимогами є наявність ліній та інших примітивів (плоскі проекції циліндрів, сфер, конусів і торів). Переваги – задіяння потенціалу штучного інтелекту (ШІ) (або штучних нейронних мереж (ШНМ)) для трансформації $2D \rightarrow 3D$. Недоліки - описана система не орієнтувалася на реальне виробництво, а скоріше додавала вирішення суто математичного завдання.
- 9) Ванга З., Цумура К. та Сятоа Ю., 1994 г. [12] (дослідження: площини). Вхідними вимогами є наявність ліній та інших примітивів (плоскі проекції циліндрів, сфер, конусів і торів). Переваги – задіяння потенціалу ШІ (ШНМ) для трансформації



- $2D \rightarrow 3D$. Недоліки - описана система не орієнтувалася на реальне виробництво, а скоріше додавала вирішення суто математичного завдання.
- 10) Еліан Е., Джеймсон Л., Алі-Гомбе А., 2020 г., [13] (дослідження: площини). Вхідними вимогами є наявність ліній та інших примітивів. Переваги – задіяння потенціалу ШІ (ШНМ) для трансформації $2D \rightarrow 3D$. Недоліки - практичні дослідження авторів були виконані лише стосовно креслень труб.
 - 11) Зехтабан Л., Елажари О., Роллер Д., 2016, [14] (дослідження: площини). Вхідними вимогами є Граф. Переваги – вихідне креслення об'єкта трансформації $2D \rightarrow 3D$ замінюється графом, алгоритм чудово показав себе в завданнях розпізнавання на полі креслення проєкційних видів, якщо їх якість і складність проєкції були відповідно високими і не складними. Недоліки - алгоритм не підходить для трансформації $2D \rightarrow 3D$ складних об'єктів.
 - 12) Ванг З., Латіф М., 2007 г., [15]. (дослідження: площини). Вхідними вимогами є наявність ліній та інших примітивів. Переваги – застосування апарату нечіткої логіки, що забезпечує гнучкість алгоритму трансформації $2D \rightarrow 3D$. Недоліки - не завжди висока якість виконаної трансформації $2D \rightarrow 3D$.
 - 13) Каргас А., Кулі П., Річардс Т.Х.Е., 1988 г. [16]. (дослідження: призматичні тіла) Вхідними вимогами є наявність ліній та інших примітивів. Переваги – алгоритми дозволяють виконувати перетворення даних, отриманих внаслідок розпізнавання ортогональних проєкцій. Недоліки - досліджувалися лише об'єкти призматичної форми.

Слід зазначити, що для багатьох підприємств традиційні 2D системи, як і раніше, мають велике поширення і продовжують використовуватися на різних стадіях виробництва. І хоча 3D моделювання об'єктів завойовує все більшу кількість прихильників серед проєктувальників та виробників, 2D системи залишаються затребуваними через такі фактори:

- 1) широкі можливості введення як у ручному режимі (класична креслярська документація на паперових носіях) так і з застосуванням прикладного програмного забезпечення двовимірної геометричної, графічної, пояснювальної, алфавітно-цифрової та іншої інформації;
- 2) широкі можливості для редагування наявної документації включаючи розробки, створені кілька десятиліть тому. Не вдаючись до використання ІТ для розпізнавання та/або оцифрування наявної документації;
- 3) наявність у підприємств особливо у сфері машинобудування великих масивів креслярської документації на паперових носіях. Причому, як це не парадоксально, у деяких випадках це більш захищений варіант зберігання, ніж креслярська документація, оцифрована та збережена на електронних носіях, до яких може бути отриманий несанкціонований доступ з боку зловмисників, конкурентів або ворожих держав;
- 4) при редагуванні інформації, поданої у 2D моделях або 2D системах, розробнику достатньо для внесення змін до проєкту використовувати відносно не складний аналітичний апарат. Наприклад, більшість таких змін передбачає лише необхідність знання основ геометричних побудов на площинах двовимірної системи координат. А якщо така документація виконана досить якісно, то й наступна процедура трансформації $2D \rightarrow 3D$ не становитиме складності;



- 5) системи 2D надають користувачам багато можливостей та засобів із вилучення інформації, яка характеризує геометрію як об'єкта в цілому (наприклад, габаритні розміри) так і його проєкцій (наприклад, їх площі). А така інформація може бути потрібна при плануванні виробництва та розміщення на відповідних площах технологічного обладнання;
- 6) сучасні системи 2D з можливостями автоматичної або автоматизованої процедури трансформації $2D \rightarrow 3D$ вже самі по собі, як правило, містять мінімальний набір даних для отримання 3D моделей. До таких даних можна, наприклад, віднести координати точок, що відповідають вершин проєкцій сторін 3D об'єкта моделювання. Саме ці дані найчастіше затребувані існуючими САПР.

Однак, не дивлячись на перелічені вище фактори 3D моделі поступово завойовують свої позиції, володіючи великою кількістю переваг.

Зауважимо, що в більшості систем 3D (наприклад, програмні продукти Autodesk TinkerCAD, DesignSpark Mechanical, FreeCAD, Autodesk AutoCAD, ZBrush, Blender та ін.) застосовуються підходи, які дозволяють синтезувати каркасне або граничне уявлення об'єкта, що моделюється в просторі. У професійних системах (наприклад Autodesk 3ds Max, Autodesk Maya) використовують узагальнені моделі просторових об'єктів. Таке уявлення передбачає наявність у проєктувальників відповідних інформаційних масивів, які априорі повинні відповідати всім проєкціям об'єкта у трьох основних площинах. Однак ці професійні програмні продукти для 3D не можуть обійтися без початкового синтезу каркасної моделі. І вже після того, як така модель синтезована або отримана в результаті розпізнавання за наявними кресленнями 3D моделі, можна переходити до побудови узагальненої моделі та операціями з такою моделлю. Власне, таке міркування і диктує різноманітність шляхів залучення інструментарію штучного інтелекту для вирішення низки завдань, що виникають на етапі розпізнавання креслярської документації та трансформації моделей $2D \rightarrow 3D$.

Наведемо порівняльну характеристику популярних програмних продуктів з функціоналом для розпізнавання креслень та можливостей трансформації $2D \rightarrow 3D$ (Табл. 1)

Таблиця 1

Популярні програмні продукти з функціоналом для розпізнавання креслень та можливостей трансформації $2D \rightarrow 3D$ *

Пакет прикладного програмного забезпечення (ПЗ)	Доступний функціонал у контексті теми дослідження	Переваги	Недоліки
AutoCAD Raster Design Tool	Розпізнавання креслення із растрових зображень. Імпорт зображень із файлів у форматі PDF. Перетворення зображень у векторний формат.	Багатий функціонал.	Висока вартість пакету. Від 70 до 170 000 грн. Немає задовільного рівня розпізнавання тексту в креслярській документації.
Scan2CAD	Відмінні можливості для перетворення растрових елементів на вектори. Хороше розпізнавання	Багатий функціонал.	Складний інтерфейс. Відсутність документації



	текстової інформації на кресленнях. Роботи з багатьма форматами вихідної документації (наприклад, BMP, JPE, JPEG, JPG, TIFF та ін.).		українською мовою. Висока вартість пакету. Від 2000 до 10 000 грн. в місяць.
AutoDWG	ПЗ для конвертації сканованої креслярської документації у різні формати. Насамперед робочий формат DWG.	Багатий функціонал. Дозволяє розпізнавати текстову інформацію та рукописні креслення. Імпортувати креслення формати DWG та DXF для подальшої роботи або наступної векторизації. Відносно низька вартість.	Немає документації українською мовою.
Inkscape	ПЗ для роботи з векторною графікою	Можливості редагування зображень у популярних форматах SVG, PDF, PNG та ін. Розповсюджується безкоштовно.	Досить простий інтерфейс. Досить обмежені можливості для вирішення завдань, пов'язаних із розпізнаванням креслень та можливостями трансформації 2D → 3D. Для цього може знадобитися додаткове комерційне програмне забезпечення.
Bentley Descartess	ПЗ для розширеної обробки 3D-зображень	Можливості візуалізації відображенням об'єкта в 3D. А також поєднання об'єкта з даними CAD, BIM та GIS систем. Дозволяє конвертувати растрові документи у векторні креслення. Робота з популярними форматами PDF, IMG, JPEG, TIFF та ін.	Висока вартість. В Україні практично не використовується.

*(Побудовано автором на основі використання джерел [17-20])

В міру зростання кількості та складності завдань, що виникають при оцифруванні існуючої на паперових носіях креслярсько-технічної документації, та паралельної необхідності трансформації 2D → 3D для візуалізації у 3D складних об'єктів, дослідники звернули увагу на можливості застосування технологій та систем штучного інтелекту у процесах розпізнавання креслень та трансформації 2D → 3D.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Виконаний огляд та аналіз попередніх досліджень та підходів у питаннях розпізнавання графічної інформації з креслярсько-технічної документації та для подальшої трансформації моделей 2D у 3D. При цьому встановлено, що проблематика розпізнавання креслень та трансформації 2D → 3D є дуже актуальною в умовах розвитку



різних ІТ та прикладного програмного забезпечення для САПР, зокрема, орієнтованих на використання 3D моделей у ході вирішення прикладних технічних, технологічних, наукових та інших завдань.

Варто відмітити, що проблематика трансформації $2D \rightarrow 3D$ може бути ефективно вирішена на основі застосування систем штучного інтелекту, зокрема на основі застосування штучних нейронних мереж, що дозволить значно знизити трудомісткість вирішення окремих підзавдань як в алгоритмічному, так і в практичному аспектах.

На підставі вище сказаного в наступних дослідженнях планується провести аналіз переваг та недоліків різних методів штучного інтелекту, які потенційно можуть бути застосовані у контексті вирішення завдань даного дослідження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Sutherland, I.E. (1963). *SCETCHPAD: A Man-Machine Graphical Communication System*. Proc. SJCC 23.
- 2 Thornton, R.W. (1978). Interactive Modelling in Three Dimensions through Two-Dimensional Windows. *Third International Conference and Exhibition on Computer in Engineering and Building Design*.
- 3 Idesawa, M. (1973). A system to generate a solid figure from three view. *Bulletin of JSME*, 16(92), 216–225. <https://doi.org/10.1299/jsme1958.16.216>.
- 4 Woo, T.C., Hammer, J.M. (1977) Recognition of Three Dimensional designs from orthographic projections. In *Proc. 9th CIRP Conference: Cranfield Institute of Technology*, (pp. 247 – 255)
- 5 Preiss, K. (1980). Constructing the 3D representation of a plane-faced object from a digitized engineering drawing. *Computer-Aided Design*, 12(2), 83. [https://doi.org/10.1016/0010-4485\(80\)90481-9](https://doi.org/10.1016/0010-4485(80)90481-9).
- 6 Preiss, K. (1984) Constructing the Solid representation from engineering projections. *Computer & Graphics*, 8(4), 381 –389.
- 7 Haralick, R.M., Queeney, D. (1982) Understanding engineering drawings. *Comp. Graphics and Image Processing*, 20(3), 244 – 258.
- 8 Markowsky, G., Wesley, M.A. (1981). Fleshing out projections. *IBM J. Res& Develop*, 25(6), 934 – 954.
- 9 G Markowsky, G., Wesley, M.A. (1980). Fleshing out wire frames. *IBM J. Res.& Develop*, 24(5), 582 – 587.
- 10 Markowsky, G., Wesley, M.A. (1986). Generation of solid models from two-dimensional and three-dimensional data. In Pickett, MS and Boyse, J M (eds). *Solid modelling by computer: from theory to application: Plenum*, 23 – 51.
- 11 Sakurai, H., Gossard, D.C. (1983) Solid Model Input Through Orthographic Views. *Computer Graphics*, 17(3), 243 – 252.
- 12 Wang, Z., Tsumura, K., Saito, Y. (1994). Recognition of hand-written mechanical drawing by multi-level neural network (MLNN). In *Advancement of intelligent production* (pp. 1–6). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-81901-7.50015-3>
- 13 Elyan, E., Jamieson, L., Ali-Gombe, A. (2020). Deep learning for symbols detection and classification in engineering drawings. *Neural Networks*, 129, 91-102. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2020.05.025>.
- 14 Zehtaban, L., Elazhary, O., Roller, D. (2016). A framework for similarity recognition of CAD models. *Journal of Computational Design and Engineering*, 3, 274-285. <https://doi.org/10.1016/j.jcde.2016.04.002>.
- 15 Wang, Z., Latif, M. (2007). Reconstruction of 3D Solid Models Using Fuzzy Logic Recognition. *Proceedings of the World Congress on Engineering*, 1, 37-42.
- 16 Kargas, A., Cooley, P., Richards, T. H. E. (1988). Interpretation of engineering drawings as solid models. *Computer-Aided Engineering Journal*, 5(2), 67. <https://doi.org/10.1049/cae.1988.0016>.
- 17 (1988). EUCLID. Technical Report. *MATRA Datavision*.
- 18 Omura, G. (2012). *Mastering AutoCAD 2013 and AutoCAD LT 2013*. John Wiley & Sons.
- 19 Avetisyan, A., Dahnert, M., Dai, A., Savva, M., Chang, A. X., Nießner, M. (2019). Scan2cad: Learning cad model alignment in rgb-d scans. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 2614-2623). <https://doi.org/10.48550/arXiv.1811.11187>
- 20 Yuan, S., Chan, H. C. S., Filipek, S., Vogel, H. (2016). PyMOL and inkscape bridge the data and the data visualization. *Structure*, 24(12), 2041–2042. <https://doi.org/10.1016/j.str.2016.11.012>.

**Karyna Khorolska**

Assistant of Department of Software Engineering and Cyber Security State University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine

ORCID ID: 0000-0003-3270-4494

k.khorolska@knute.edu.ua

ANALYSIS OF THE MAIN METHODS OF DRAWINGS RECOGNITION AND THE POSSIBILITIES OF TRANSFORMATION 2D IN 3D

Abstract. The article presents an analysis of the main methods for recognizing drawings and the possibilities of transforming two-dimensional models (2D) into three-dimensional models (3D). Despite the rapid development of IT, the question of accuracy and speed of transformation of two-dimensional models into three-dimensional ones remains open. As machine design technologies and corresponding automated decision-making systems (CAD) develop, the number of methods and models that can potentially be used in the task of drawing recognition and 2D to 3D transformation is rapidly increasing. Today, there are quite a large number of methods for recognizing drawings and converting them into a three-dimensional model, but each of them has a certain number of shortcomings. Therefore, there is a need to carry out a comprehensive analysis of these methods, which can potentially be applied in the context of solving problems of drawing recognition and 2D to 3D transformation.

It should be noted that there is a contradiction between the traditional procedure for preparing drawing documentation on paper media until the 80s and 90s of the 20th century and the new methods of 3D modelling that have been developed since the mid-90s. This gives designers truly unlimited opportunities to prepare design and technical documentation, without focusing on the problem of preparing design and drawing documentation and the features of entering input data. Application software significantly facilitates this process. Note that most 3D systems (for example, software products Autodesk TinkerCAD, DesignSpark Mechanical, FreeCAD, Autodesk AutoCAD, ZBrush, Blender, etc.) use approaches that allow synthesizing a frame or boundary representation of an object modelled in space. Professional systems (for example Autodesk 3ds Max, Autodesk Maya) use generalized models of spatial objects. This idea assumes that the designers have appropriate information arrays, which a priori should correspond to all projections of the object in the three main planes.

Keywords: 2D; 3D; recognition; artificial neural networks; drawing; two-dimensional models; three-dimensional models.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

- 1 Sutherland, I.E. (1963). *SCETCHPAD: A Man-Machine Graphical Communication System*. Proc. SJCC 23.
- 2 Thornton, R.W. (1978). Interactive Modelling in Three Dimensions through Two-Dimensional Windows. *Third International Conference and Exhibition on Computer in Engineering and Building Design*.
- 3 Idesawa, M. (1973). A system to generate a solid figure from three view. *Bulletin of JSME*, 16(92), 216–225. <https://doi.org/10.1299/jsme1958.16.216>.
- 4 Woo, T.C., Hammer, J.M. (1977) Recognition of Three Dimensional designs from orthographic projections. *In Proc. 9th CIRP Conference: Cranfield Institute of Technology*, (pp. 247 – 255)
- 5 Preiss, K. (1980). Constructing the 3D representation of a plane-faced object from a digitized engineering drawing. *Computer-Aided Design*, 12(2), 83. [https://doi.org/10.1016/0010-4485\(80\)90481-9](https://doi.org/10.1016/0010-4485(80)90481-9).
- 6 Preiss, K. (1984) Constructing the Solid representation from engineering projections. *Computer & Graphics*, 8(4), 381–389.
- 7 Haralick, R.M., Queeney, D. (1982) Understanding engineering drawings. *Comp. Graphics and Image Processing*, 20(3), 244 – 258.
- 8 Markowsky, G., Wesley, M.A. (1981). Fleshing out projections. *IBM J. Res& Develop*, 25(6), 934 – 954.
- 9 G Markowsky, G., Wesley, M.A. (1980). Fleshing out wire frames. *IBM J. Res.& Develop*, 24(5), 582 – 587.



- 10 Markowsky, G., Wesley, M.A. (1986). Generation of solid models from two-dimensional and three-dimensional data. In Pickett, MS and Boyse, J M (eds). *Solid modelling by computer: from theory to application: Plenum*, 23 – 51.
- 11 Sakurai, H., Gossard, D.C. (1983) Solid Model Input Through Orthographic Views. *Computer Graphics*, 17(3), 243 – 252.
- 12 Wang, Z., Tsumura, K., Saito, Y. (1994). Recognition of hand-written mechanical drawing by multi-level neural network (MLNN). In *Advancement of intelligent production* (pp. 1–6). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-81901-7.50015-3>
- 13 Elyan, E., Jamieson, L., Ali-Gombe, A. (2020). Deep learning for symbols detection and classification in engineering drawings. *Neural Networks*, 129, 91-102. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2020.05.025>.
- 14 Zehtaban, L., Elazhary, O., Roller, D. (2016). A framework for similarity recognition of CAD models. *Journal of Computational Design and Engineering*, 3, 274-285. <https://doi.org/10.1016/j.jcde.2016.04.002>.
- 15 Wang, Z., Latif, M. (2007). Reconstruction of 3D Solid Models Using Fuzzy Logic Recognition. *Proceedings of the World Congress on Engineering*, 1, 37-42.
- 16 Kargas, A., Cooley, P., Richards, T. H. E. (1988). Interpretation of engineering drawings as solid models. *Computer-Aided Engineering Journal*, 5(2), 67. <https://doi.org/10.1049/cae.1988.0016>.
- 17 (1988). EUCLID. Technical Report. *MATRA Datavision*.
- 18 Omura, G. (2012). *Mastering AutoCAD 2013 and AutoCAD LT 2013*. John Wiley & Sons.
- 19 Avetisyan, A., Dahnert, M., Dai, A., Savva, M., Chang, A. X., Nießner, M. (2019). Scan2cad: Learning cad model alignment in rgb-d scans. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 2614-2623). <https://doi.org/10.48550/arXiv.1811.11187>
- 20 Yuan, S., Chan, H. C. S., Filipek, S., Vogel, H. (2016). PyMOL and inkscape bridge the data and the data visualization. *Structure*, 24(12), 2041–2042. <https://doi.org/10.1016/j.str.2016.11.012>

