

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПІДХОДІВ ДО ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ КОНВЕРТАЦІЇ ДВОВИМІРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ В ТРИВИМІРНУ МОДЕЛЬ

Карина Хорольська

асистент кафедри інженерії програмного забезпечення та кібербезпеки

Державний торговельно-економічний університет, вул. Кіото, 19, Київ, Україна, 02156, k.khorolska@knu.edu.ua

ORCID: 0000-0003-3270-4494

У статті розглядається одна з найбільш актуальних проблем розвитку IT-рішень в задачах моделювання виробів, а саме завдання переходу від 2D-моделювання виробу до 3D моделей. Основною метою даної статті є аналіз існуючих підходів та рішень із перетворення двовимірних креслень у 3D-модель. Проведено узагальнення найбільш затребуваних методів, моделей та алгоритмів, що використовуються в задачі розпізнавання креслень та трансформації 2D-креслень у тривимірну модель.

Враховуючи розвиток інформаційних технологій (IT), в розрізі «нейромережевої системи» та їх інтеграції у виробництво (незалежно від цільової спрямованості – авіа-, судно-, машинобудування, архітектура, легка промисловість, виготовлення меблів, медицина та ін.) можна обґрунтовано говорити про глобальний тренд щодо відмови від традиційних паперових носіїв конструкторської документації. Перехід на електронні носії не тільки сприяє зручнішим процедурам, пов'язаним з редагуванням, тиражуванням, зберіганням, передачею та інших оцифрованих даних, але й дозволяє оперативніше переходити на нові технології. Це повною мірою стосується і завдання переходу від 2D-моделювання виробу (наприклад креслень) до 3D-моделей.

Двовимірні креслення (далі 2D) найчастіше складні для розуміння. Конструкторам не завжди зручно вносити корективи до таких двовимірних моделей. Відповідно, створення систем на основі IT, для автоматичної реконструкції (розпізнавання) або конвертування 2D моделей в 3D моделі, 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 двовимірних моделей.

Ключові слова: інформаційна система, двовимірні зображення, тривимірна модель, 2D модель, креслення, 3D модель, нейронна мережа.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Ідея автоматизації процедур трансформації 2D моделей в 3D не є новою. На початку 60-х років минулого сторіччя з розвитком програмного забезпечення (ПЗ) для машинобудування стали з'являтися наукові роботи, присвячені даній проблематиці. Піонером у цьому питанні вважатимуться розробники фірми «SketchPad» [1, 2]. Саме вони запропонували на ринку перший програмний продукт (ПП) для інтерактивного проектування виробів, які використовуються у літальних апаратах. По суті, «SketchPad» стали одними з перших розробників систем автоматизованого проектування – САПР. Сьогодні аналогічних програмних продуктів налічується кілька сотень.

Мета статті. Аналіз основних підходів до вирішення задачі конвертації двовимірних зображень в тривимірну модель.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Аналізуючи роботи дослідників Котлика С., Соколова О., Корнієнко Ю., Пузь Д.О. [3, 4], Брайтенбергера М., Кадхема Р., [5, 6] і враховуючи той факт, що підприємства та організації накопичили

величезні масиви креслярсько-конструкторської документації, розвиток та вдосконалення методів, моделей та IT, що сприяють автоматизації розпізнавання та подальшої конвертації 2D у 3D моделі (далі 2D→3D) є актуальним науково-технічним завданням. Не варто також забувати, що сама по собі процедура оцифрування, наявної традиційної паперової документації не тільки трудомісткий процес, що займає сотні, а часом і тисячі людино-годин, але він також пов'язаний з необхідністю вирішення і паралельних завдань. До подібних завдань належить і, наприклад, необхідність захисту отриманих 3D моделей, якщо йдеться про моделі виробів, що стосуються оборонної сфери, або просто є інтелектуальною власністю власника.

Слід зазначити, що без сучасних технологій та систем штучного інтелекту (ШІ) вирішити подібне завдання складно, що саме собою породжує нове завдання. А саме розвиток математичних моделей для ШІ в задачах розпізнавання 2D зображень для їх подальшої конвертації в 3D модель.

До середини 90-х років минулого сторіччя особливих інновацій в даній сфері не спостерігалось. Сплеск у розвитку (САПР) бере початок у середині 90-х років минулого сторіччя. Саме з середини 90-х років на ринку стали з'являтися системи, власне, 3D моделювання та конвертування 2D→3D [7-9].

Але перші наукові основи конвертування 2D→3D закладалися ще у 70-80-х роках минулого століття [10, 11]. Як було показано в даних дослідженнях, візуалізацію 3D об'єктів можна починати за умови наявності геометричної моделі. Такою моделлю, власне, і є креслення відповідного виробу. Однак при цьому виникають такі технологічні проблеми:

- 1) введення даних щодо геометричних параметрів об'єкта;
- 2) відокремлення даних від «шуму»;
- 3) формування за даними відповідної 3D моделі.

Якщо узагальнити наукові та технологічні підходи у контексті розв'язання задачі трансформації 2D→3D, то можна виділити дві групи [12]:

- 1) Підхід CSG (constructive solid geometry);
- 2) Підхід та В-гер (bounding representation).

При першому підході (CSG) в основу трансформації 2D→3D ставиться припущення, що тривимірні об'єкти можуть будуватися з двовимірних примітивів на основі ієрархічного способу [13]. У цьому безпосередньо креслення 2D моделей є як певний набір даних (DataSet), що виступають базою даних (БД). Таким чином, ця БД містить шаблони для перекладу моделі у формат 3D. У процесі трансформації або конвертації 2D→3D примітиви (прямі, кола, прямокутники, трапеції та ін.) збирають у 3D модель. Математичною основою такого синтезу виступають Булеві операції. Однак цей підхід не позбавлений недоліків. Головними з них є те, що підхід CSG не дає задовільних результатів при розпізнаванні складних креслень. А крім того, якщо поверхня на 3D моделі буде складною, то базові примітиви не дозволяють відобразити всі особливості виробу.

Розглянемо другий підхід (В-гер (bounding representation)). Тут є власні алгоритми, які забезпечують поетапну генерацію тривимірних вершин з урахуванням креслення з наступним синтезом ребер з урахуванням координат раніше згенерованих вершин. При В-гер підході забезпечується вища точність 3D моделювання об'єкта. Проте В-гер підхід спочатку передбачає використання великих обчислювальних ресурсів,

і навіть великих обсягів машинної пам'яті. Крім того, як зазначають дослідники Брайтенберг, Жу та Мен в роботах [14, 15] 3D-модель, створювана при В-гер підході, може давати неоднозначні конструкції та хибні елементи.

У 1973 р. М. Ідесава [16, 17] запропонував алгоритм та низку критеріїв для видалення хибних елементів при трансформації 2D→3D. Так, наприклад, як помилкові трактуються тривимірні вершини, які належать до єдиної поверхні.

У 1976 р. Дж. Лафус у роботі [18] наводить опис евристичної процедури, яка дозволяла видаляти хибні елементи з 3D моделі та знаходити справжні елементи. Однак і цей підхід не позбавлений недоліків. Найсуттєвішим з яких можна вважати неможливість видалення всіх хибних елементів із 3D моделі. А другим, але не менш значним недоліком вважатимуться необхідність чіткого дотримання формату вхідних даних. Оскільки ці дані описують лінії об'єкта, або його координати, будь-яка помилка введення автоматично тягне за собою наступні помилки в процесі трансформації 2D→3D.

На початку 80-х років минулого століття К. Прайс у своїх роботах [19, 20] запропонував не прив'язувати вхідні дані, що використовуються в ході трансформації 2D→3D до задалегідь заданого формату. У цих роботах [19, 20] описується алгоритм, відповідно до якого при трансформації 2D→3D з ортогональних проєкцій об'єкта формуються видимі поверхні. Ці поверхні складаються із багатокутників. Особливістю запропонованого автором алгоритму стало те, що 2D вершини сортувалися зі збільшенням їх координат у тривимірному просторі, тобто, відповідно за координатами. Таке сортування забезпечувало скорочення часу пошуку координат ребер під час складання 3D моделі.

Приблизно в цей же період (1984 р.) інші автори Р.М. Харалік та Д. Квіні [21] запропонували свій алгоритм трансформації 2D→3D. Алгоритм дозволяє формувати поверхні 3D об'єкта на основі безлічі 3D точок, що виступають як вершини об'єкта. Паралельно у своїй формувалися і безлічі поверхонь у тому числі власне і був об'єкт. Однак, як зазначають самі автори, алгоритм не пристосований для трансформації 2D→3D складних об'єктів.

У той же час вийшли кілька робіт співробітників Гарвардського університету Дж. Марковський та М.А. Веслі [22-24], які підійшли до вирішення задачі трансформації 2D→3D з погляду математичної формалізації цього завдання. В результаті

з'явилися роботи [23-24], в яких трансформація $2D \rightarrow 3D$ розглядається як математична операція з такими сутностями – підпростір та нескінченний простір, а також їх комбінації. Реалізація описаних авторами алгоритмів вимагала досить великих обчислювальних ресурсів і була цікава швидше, як математичне дослідження, ніж як прикладна робота, яку можна використовувати на практиці.

Розвитком робіт [22-24] стала публікація Х. Сакураї та Д. Гроссарда [25]. У своєму дослідженні автори скоротили кількість сутностей, що використовуються під час трансформації $2D \rightarrow 3D$. Їхній алгоритм містив лише звичні сутності, наприклад, плоскі проекції циліндрів, сфер, конусів і торів. У запропонованому авторами алгоритмі були відсутні обмеження на порядок розміщення ліній та зв'язуючих поверхні дуг, що дозволило зробити вихідний алгоритм Дж. Марковського та М.А. Веслі більш пристосованим до реальних умов виробництва.

В міру зростання складності вихідних моделей для трансформації $2D \rightarrow 3D$ використання традиційних формалізованих математичних підходів вже не забезпечувало прийнятної якості і швидкості трансформації. Ці складності призвели до того, що починаючи з середини 90-х років минулого століття, низка дослідників у своїх роботах стали пропонувати методи та моделі трансформації $2D \rightarrow 3D$, засновані на імплементації в даний процес систем штучного інтелекту.

Так, наприклад, у праці [26] Ванга, Цумура та Сятоа представили результати своїх досліджень із застосування штучної нейронної мережі (ШНМ) у ході аналізу креслень на паперових носіях. Дана комп'ютерна система була здатна виконувати векторизацію вихідних даних. Автори, однак, обмежилися лише такими сутностями як лінії контурів об'єктів на кресленнях та перетину ліній. Крім того, описувана система не орієнтувалася на реальне виробництво, а швидше додавала рішення суто математичного завдання.

У подібному ключі виконані дослідження Іяна, Джеймсона та Алі-Гомбі авторів публікації [27]. Вони продовжили дослідження щодо виявлення перспективності застосування ШНМ у завданнях розпізнавання креслярської документації. Однак порівняно з попередньою роботою [26] у [27] описані результати застосування ШНМ для розпізнавання символів на кресленнях. Практичні дослідження авторів були виконані лише стосовно креслень труб, що істотно знижує

релевантність даного дослідження, наприклад, коли мова заходить про складні об'єкти з безліччю граней і поверхонь.

В [26, 28] автори описали приклад застосування багаторівневої ШНМ для трансформації $2D \rightarrow 3D$. Згідно з описом [26] перша нейронна мережа призначалася для отримання прямих і похилих ліній з об'єкта на кресленні. А друга нейронна мережа служила для розпізнавання інших елементів, що є на початковому зображенні, наприклад, символів.

В [29] Зехтабан, Ілажарий та Роллер пропонують алгоритм, відповідно до якого вихідне креслення об'єкта трансформації $2D \rightarrow 3D$ замінюється графом. Кожна проекція дає компонент зв'язаності об'єкта. Якщо об'єкта на кресленні є кілька проекцій, кожна з них відповідає компоненту зв'язності графа. Відповідно, кожному лінійному на кресленні (графі) чи то криві чи відрізки можна розподілити по компонентам зв'язності. Цей алгоритм чудово показав себе в завданнях розпізнавання на полі креслення проекційних видів, якщо їх якість і складність проекції були відповідно високими і не складними.

Якщо говорити про методи та моделі штучного інтелекту, що застосовуються в задачі розпізнавання креслень та трансформації $2D \rightarrow 3D$, то зрозуміло дослідники не обмежувалися лише застосуванням ШНМ. Відомі й інші напрями досліджень, наприклад, застосування методів нечіткої логіки, нечітких множин та ін.

Так було в роботі [30] під час аналізу ортогональних проекцій об'єктів Вангом та Латіфом було запропоновано задіяти методи нечіткої логіки. До переваг даного підходу слід віднести можливість отримання рішення прийнятної якості для багатьох тіл, утворених компонентами призматичної форми або сформованих в результаті обертання навколо єдиної осі.

У [31, 32] розглядається метод евристичного моделювання, а також задіяння апарату нечітких множин вирішення задач з розпізнавання креслень та трансформації $2D \rightarrow 3D$.

У роботі [33] авторами проаналізовано особливості процедури розпізнавання об'єкта на основі його ортогональних проекцій та врахування специфіки застосування В-гер підходу. Автори даного дослідження наводять лише приклади синтезу тривимірного об'єкта за наслідками розпізнавання ортогональних проекцій об'єкта з плоскими гранями. Це суттєво звужує сферу застосування, запропонованої моделі.

Удосконаленню існуючих та розробці нових методів та інформаційних технологій для вирішення завдання розпізнавання креслярської документації та трансформації моделей 2D→3D присвячено достатню велику кількість наукових публікацій і в останні роки. Однак, не всі ці наукові дослідження завершуються розробкою відповідного комерційного програмного продукту. Це пов'язано як з нетривіальністю самої задачі, з точки зору математичної формалізації, так і особливостями її програмної алгоритмічних мов.

Як показує аналіз попередніх досліджень та виконаний короткий огляд функціональних можливостей ПП для вирішення завдання розпізнавання креслень та трансформації 2D→3D процес розпізнавання проєкційних зображень недостатньо детермінований. Це перш за все тим, що існує нескінченне різноманіття об'єктів моделювання, що відрізняються своєю специфікою, і, відповідно, наявними особливостями трансформації 2D→3D.

Резюмуючи оглядову частину попередніх досліджень, можна констатувати, що синтез тривимірних моделей (3D) з урахуванням проєкцій тобто. Власне 2D моделей об'єкта містить деякий підсумовуючий аналіз множин графічних об'єктів. І цей аналіз може виконуватися з урахуванням різних математичних методів і моделей.

ВИСНОВКИ. Виконано 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 ПЗ для САПР, зокрема, орієнтованих на використання 3D моделей у ході вирішення прикладних технічних, технологічних, наукових та інших завдань.

ЛІТЕРАТУРА

1. Sutherland, I. E. (1964). Sketchpad a man-machine graphical communication system. *Simulation*, 2(5), R-3.
2. De Villiers, M. (1999). The role and function of proof with Sketchpad. *Rethinking proof with Sketchpad*, 3-10.
3. Котлик, С., Соколова, О., & Корнієнко, Ю. ОНАХТ (Україна) Огляд застосування програмного забезпечення для 3D моделювання. XII Міжнародна науково-практична конференція інформаційні технології і автоматизація – 2019. 58-60.
4. Пузь Д.О. Застосування 3D моделювання в сферах людської діяльності. *Новітні інформаційні системи та технології*. Полтава : ПолтНТУ, 2018. Вип. 9.
5. Philipp, Markus. (2020). Grundlagen - 2D und 3D. DOI: 10.3139/9783446464216.003
6. Kadhemi, Rasha. (2017). Convert 2D shapes in to 3D images. DOI: 10.13140/RG.2.2.33781.06882.
7. Okino, T., Murata, H., Taima, K., Iinuma, T., & Oketani, K. (1996, April). New television with 2D/3D image conversion technologies. In *Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems III* (Vol. 2653, pp. 96-103). SPIE.
8. Sisi, L., Fei, W., & Wei, L. (2010, November). The overview of 2D to 3D conversion system. In *2010 IEEE 11th International Conference on Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design 1* (Vol. 2, pp. 1388-1392). IEEE.
9. Fan, Y. C., Chiu, Y. C., & Chang, L. C. (2022, June). 2D/3D Image Converter Based on Overlapping Line. In *2022 IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques (IST)* (pp. 1-4). IEEE.
10. Tarjan, R. An Efficient Planarity Algorithm / R. Tarjan // *Computer Science Department. Report № CS 244 71: Stanford University*, November, 1971.
11. Cobb, E.C. On the Extraction of Solid Geometry from a Wire Frame Geometric Data Base. *M.S. Thesis: University of Wisconsin-Madison*. 1978.
12. Lequette, R. Automatic construction of curvilinear solids from wire frame views. France. 1988. Vol.20, №4. P.171–178.
13. Requicha, Aristides AG, and Herbert B. Voelcker. "Constructive solid geometry." (1977).
14. Breitenberger, M., et al. "Analysis in computer aided design: Nonlinear isogeometric B-Rep analysis of shell structures. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 284 (2015): 401-457.
15. Zhu, H., & Menq, C. H. (2002). B-rep model simplification by automatic fillet/round suppressing for efficient automatic feature recognition. *Computer-Aided Design*, 34(2), 109-123.
16. Idesawa, M. A Automatic Input of Line Drawing and Generation of Solid Figure from Three-View Data / M.A. Idesawa, T. Soma, E. Goto, S. Shibata / *Proceedings of the International Joint Computer Symposium*, 1975. P. 304–311.
17. Idesawa, M. A System to Generate a Solid Figure from a Three View / M.A. Idesawa, *Bull. JSME* 16. February, 1973. P. 216 – 225.
18. Lafue, G. Recognition of Three Dimensional Objects from Views / G. Lafue // *Computer Graphics*. 1976. Vol. 10, № 2.
19. Preiss, K. Constructing the 3-D Representation of a Plane-Faced Object from a Digitized Engineering Drawings. *Fifth International Conference and Exhibition on Computer in Engineering and Building Design*, 1980.
20. Preiss, K. Constructing the Solid representation from engineering projections. *Computer & Graphics*. 1984. Vol. 8, № 4. P. 381 –389.
21. Haralick, R.M. Understanding engineering drawings / R.M. Haralick, D. Queeney. *Comp. Graphics and Image Processing*. 1982. Vol.20, № 3. P. 244 – 258.

22. Markowsky G. Fleshing out projections / G. Markowsky, M.A. Wesley // *IBM J. Res & Develop.* November, 1981. Vol. 25, № 6. P. 934–954.
23. Markowsky G., Wesley M.A. Fleshing out wire frames. *IBM J. Res. & Develop.* sept. 1980. Vol. 24, № 5. P. 582 – 587.
24. Markowsky G., Wesley M.A. 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*, 1986. P. 23 – 51.
25. Sakurai H., Gossard D.C. Solid Model Input Through Orthographic Views. *Computer Graphics.* 1983. Vol.17, №3. P. 243 – 252.
26. Wang Z., Tsumuraa K., Saito Y. Recognition of hand-written mechanical drawing by multilevel neural network (MLNN) // *Seventh International Conference on Production/Precision Engineering, 4th International Conference on High Technology.* Chiba Japan: 1994, pp. 1-6.
27. Elyan E., Jamieson L., Ali-Gombe A. Deep learning for symbols detection and classification in engineering drawings // *Neural Networks.* September 2020, no. 129, pp. 91-102.
28. Кубик, Олександр Олександрович, Олександр Вікторович Мазурець та Сергій Станіславович Ковальчук. "Декомпозитивне розпізнавання символічної інформації з креслень із використанням технологій штучного інтелекту." *Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Технічні науки (2008):* 109-119.
29. Zehtaban L., Elazhary O., Roller D. A framework for similarity recognition of CAD models // *Journal of Computational Design and Engineering*, 2016, no. 3, pp. 274-285.
30. Wang Z., Latif M. Reconstruction of 3D Solid Models Using Fuzzy Logic Recognition // *Proceedings of the World Congress on Engineering.* 2007. V. 1. pp. 37-42.
31. Governi L., Furferi R., Palai M., Volpe Y. 3D Geometry Reconstruction from Orthographic Views: a Method Based on 3D Image Processing and Data Fit-ting // *Computers in Industry.* 2013. № 64. P. 1290-1300.
32. Nagendra, I.V. 3D Objects from 2D orthographic views – A Survey / I.V. Nagendra, U.G. Gujar. *Computer & Graphics.* 1988. Vol.12, №1. P. 111 – 114.
33. Governi L., Furferi R., Palai M., Volpe Y. 3D Geometry Reconstruction from Orthographic Views: a Method Based on 3D Image Processing and Data Fit-ting // *Computers in Industry.* 2013. № 64. P. 1290-1300.

ANALYSIS OF THE MAIN APPROACHES TO SOLVING THE PROBLEM OF CONVERTING TWO-DIMENSIONAL IMAGES INTO A THREE-DIMENSIONAL MODEL

Karyna Khorolska

Assistant at the Department of Software Engineering and Cybersecurity

State University of Trade and Economics, 19, Kyoto str, 02156, Kyiv, Ukraine 02156, k.khorolska@knute.edu.ua

ORCID: 0000-0003-3270-4494

The article deals with one of the most urgent problems in the development of IT solutions in product modeling tasks, namely the task of transitioning from 2D product modeling to 3D models. **Purpose.** The main goal of this article is the analysis of existing approaches and solutions for converting two-dimensional drawings into a 3D model. The most popular methods, models and algorithms used in the task of recognizing drawings and transforming 2D drawings into a three-dimensional model have been summarized. **Originality.** The novelty of this study is that for the first time from a scientific point of view described the analysis of the main approaches to solving the problem of converting two-dimensional images into a three-dimensional model. **Practical value.** Two-dimensional drawings (hereinafter 2D) are often difficult to understand. It is not always convenient for designers to make adjustments to such two-dimensional models. Accordingly, the creation of IT-based systems for automatic reconstruction (recognition) or conversion of 2D models into 3D models will allow many times to reduce not only the labor intensity and time of designing new products or the modernization of existing ones, but will also allow visualizing the appearance of the product of a potential customer or buyer, which is not has deep knowledge in the field of spatial interpretation of two-dimensional models. **Conclusions.** A reviewed and analyzed previous studies and approaches in the recognition of graphic information from drawing and technical documentation and for further transformation of 2D models into 3D was performed. At the same time, it was established that the problem of drawing recognition and 2D→3D transformation is very relevant in the context of the development of various IT and applied software for CAD, in particular, oriented to the use of 3D models in the course of solving applied technical, technological, scientific and other tasks.

Key words: information system, two-dimensional images, three-dimensional model, 2D model, drawing, 3D model, neural network.

REFERENCES

1. Sutherland, I. E. (1964). Sketchpad a man-machine graphical communication system. *Simulation*, 2(5), R-3.
2. De Villiers, M. (1999). The role and function of proof with Sketchpad. *Rethinking proof with Sketchpad*, 3-10.
3. Kotlyk, S., Sokolova, O., & Kornienko, Y. ONAKHT (Ukraine) *Ohlyad zastosovuvannya prohramnoho zabezpechennya dlya 3D modelyuvannya*. [Review of 3D modeling software applications.] XII International scientific and practical conference information technologies and automation [*XII Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiya informatsiyi i avtomatyzatsiya*] - 2019. 58-60.
4. Puz D.O. *Zastosuvannya 3D modelyuvannya v sferakh lyuds'koyi diyal'nosti [Elektronnyy resurs]* [Application of 3D modeling in the spheres of human activity [Electronic resource]] / D.O. Puz, S.V. Somov // *Novitni informatsiyi systemy ta tekhnolohiyi - Modern information system and technologies*. [Modern informationsystemandtechnologies.] - Poltava: PoltNTU, 2018. - Issue 9.
5. Philipp, Markus. (2020). *Grundlagen - 2D und 3D*. DOI: 10.3139/9783446464216.003
6. Kadhemi, Rasha. (2017). Convert 2D shapes in to 3D images. DOI: 10.13140/RG.2.2.33781.06882.
7. Okino, T., Murata, H., Taima, K., Inuma, T., & Oketani, K. (1996, April). New television with 2D/3D image conversion technologies. In *Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems III* (Vol. 2653, pp. 96-103). SPIE.
8. Sisi, L., Fei, W., & Wei, L. (2010, November). The overview of 2D to 3D conversion system. In *2010 IEEE 11th International Conference on Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design 1* (Vol. 2, pp. 1388-1392). IEEE.
9. Fan, Y. C., Chiu, Y. C., & Chang, L. C. (2022, June). 2D/3D Image Converter Based on Overlapping Line. In *2022 IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques (IST)* (pp. 1-4). IEEE.
10. Tarjan, R. An Efficient Planarity Algorithm / R. Tarjan // *Computer Science Department*. - Report № CS - 244 - 71: Stanford University, November, 1971.
11. Cobb, E.C. On the Extraction of Solid Geometry from a Wire Frame Geometric Data Base / E.C. Cobb // *M.S. Thesis: University of Wisconsin-Madison*. - 1978.
12. Lequette, R. Automatic construction of curvilinear solids from wire frame views / R. Lequette // *France*. - 1988. - Vol.20, №4. - P.171-178.
13. Requicha, Aristides AG, and Herbert B. Voelcker. "Constructive solid geometry." (1977).
14. Breitenberger, M., et al. "Analysis in computer aided design: Nonlinear isogeometric B-Rep analysis of shell structures. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 284 (2015): 401-457.
15. Zhu, H., & Menq, C. H. (2002). B-rep model simplification by automatic fillet/round suppressing for efficient automatic feature recognition. *Computer-Aided Design*, 34(2), 109-123.
16. Idesawa, M. A Automatic Input of Line Drawing and Generation of Solid Figure from Three-View Data / M.A. Idesawa, T. Soma, E. Goto, S. Shibata // *Proceedings of the International Joint Computer Symposium*, 1975. - P. 304 - 311.
17. Idesawa, M. A System to Generate a Solid Figure from a Three View / M.A. Idesawa, *Bull. JSME* 16. - February, 1973. - P. 216 - 225.
18. Lafue, G. Recognition of Three Dimensional Objects from Views / G. Lafue // *Computer Graphics*. - 1976. - Vol. 10, № 2.
19. Preiss, K. Constructing the 3-D Representation of a Plane-Faced Object from a Digitized Engineering Drawings / K. Preiss // *Fifth International Conference and Exhibition on Computer in Engineering and Building Design*, 1980.
20. Preiss, K. Constructing the Solid representation from engineering projections / K. Preiss // *Computer & Graphics*. - 1984. - Vol. 8, № 4. - P. 381 - 389.
21. Haralick, R.M. Understanding engineering drawings / R.M. Haralick, D. Queeney // *Comp. Graphics and Image Processing*. - 1982. - Vol.20, № 3. - P. 244 - 258.
22. Markowsky G. Fleshing out projections / G. Markowsky, M.A. Wesley // *IBM J. Res & Develop*. November, 1981. - Vol. 25, № 6. - P. 934 - 954.
23. Markowsky, G. Fleshing out wire frames / G. Markowsky, M.A. Wesley // *IBM J. Res. & Develop*. - sept. 1980. - Vol. 24, № 5. - P. 582 - 587.
24. Markowsky, G. Generation of solid models from two-dimensional and three-dimensional data / G. Markowsky, M.A. Wesley // in Pickett, MS and Boyse, J M (eds). *Solid modelling by computer: from theory to application*: Plenum, 1986. - P. 23 - 51.
25. Sakurai, H. Solid Model Input Through Orthographic Views / H. Sakurai, D.C. Gossard // *Computer Graphics*. - 1983. - Vol.17, №3. - P. 243 - 252.
26. Wanga Z., Tsumuraa K., Saitoa Y. Recognition of hand-written mechanical drawing by multilevel neural network (MLNN) // *Seventh International Conference on Production/Precision Engineering*, 4th International Conference on High Technology. Chiba Japan: 1994, pp. 1-6.
27. Elyan E., Jamieson L., Ali-Gombe A. Deep learning for symbols detection and classification in engineering drawings // *Neural Networks*. September 2020, no. 129, pp. 91-102.
28. Kubyk, Oleksandr Oleksiyovych, Oleksandr Viktorovych Mazurets, and Serhii Stanislavovych Kovalchuk. *Dekompozitivne rozpoznavannya symvol'noyi informatsiyi z kreslen' iz vykorystanniam tekhnolohiy shtuchnoho intelektu*. [Decompositional recognition of symbolic information from drawings using artificial intelligence technologies.] *Matematychni ta komp'yuterne modelyuvannya. Seriya: Tekhnichni nauky (2008)* [Mathematical and computer modeling. Series: Technical Sciences (2008)]: 109-119.
29. Zehtaban L., Elazhary O., Roller D. A framework for similarity recognition of CAD models // *Journal of Computational Design and Engineering*, 2016, no. 3, pp. 274-285.

30. Wang Z., Latif M. Reconstruction of 3D Solid Models Using Fuzzy Logic Recognition//Proceedings of the World Congress on Engineering. 2007. V. 1. pp. 37-42.

31. Governi L., Furferi R., Palai M., Volpe Y. 3D Geometry Reconstruction from Orthographic Views: a Method Based on 3D Image Processing and Data Fit-ting // Computers in Industry. 2013. № 64. P. 1290-1300.

32. Nagendra, I.V. 3D Objects from 2D orthographic views – A Survey / I.V. Nagendra, U.G. Gujar // Computer & Graphics. – 1988. – Vol.12, №1. – P. 111 – 114.

33. Governi L., Furferi R., Palai M., Volpe Y. 3D Geometry Reconstruction from Orthographic Views: a Method Based on 3D Image Processing and Data Fit-ting // Computers in Industry. 2013. № 64. P. 1290-1300.

Стаття надійшла 23.05.2022