

УДК 004.421:004.92

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПОБУДОВИ ТРИВИМІРНОЇ МОДЕЛІ ФАРБОДРУКАРСЬКОЇ СИСТЕМИ

Р. Р. Качур

Національний університет «Львівська політехніка»,
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна

Розроблено метод автоматичної побудови полігональної моделі фарбодрукарської системи для її тривимірної візуалізації. Реалізовано процедуру коригування позицій та розмірів валиків і циліндрів, параметри яких отримуються із двовимірного зображення фарбодрукарської системи для їх відображення у тривимірному просторі. Для визначення масивів даних, які відображають прямі та зворотні потоки фарби, запропоновано алгоритм класифікації граней полігонального циліндра. Генерацію полігональної тривимірної моделі системи проведено із застосуванням інструментарію Blender API, зокрема модулів bpy та bmesh. Описаний в роботі метод забезпечує можливість автоматичного формування полігональних моделей фарбодрукарських систем різних конфігурацій та може бути використаний як складова інтерактивного середовища 3D-візуалізації процесів офсетного друку.

Ключові слова: офсетний друк, фарбодрукарська система, візуалізація даних, 3D-візуалізація, полігональна модель, алгоритм, blender api.

Постановка проблеми. На сьогодні існує достатня кількість досліджень, присвячених аналізу процесів розподілу та передачі фарби у фарбодрукарських системах. У роботах [1, 2] застосовується імітаційне моделювання, яке дозволяє детально вивчати процес друкування відбитків. Через складність конструкцій фарбодрукарських систем офсетних машин, під час їх моделювання генерується великий обсяг даних, аналіз яких традиційними методами є складним для сприйняття. Для ефективної інтерпретації імітаційних результатів доцільно впроваджувати підходи, що забезпечують динаміку та інтерактивність відображення. Це, в свою чергу, потребує розробки спеціальних інструментальних і програмних засобів, що з урахуванням різноманітності конструкції офсетних машин є складним завданням. Одним із етапів розробки інтерактивного середовища 3D-візуалізації процесу друкування відбитків є генерація тривимірної моделі фарбодрукарської системи.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Візуалізація даних – це комплекс графічних методів для аналізу й представлення інформації в різних галузях. У міру зростання обчислювальної потужності комп'ютерів тривимірна візуалізація дедалі ширше застосовується в освітньому процесі, що дає змогу моделювати й досліджувати явища, які важко відтворити фізично [7].

На сьогоднішній час тривимірна візуалізація активно використовується у багатьох галузях науки, такі як: медицина, хімія, фізика та інших. У праці [5] автори аналізують вплив трьох типів тривимірної візуалізації: 3D-ілюстрації, 3D-анімації та інтерактивної 3D-анімації, поєднаних із супровідним текстом і озвученням, на навчальний процес. Дослідження проводилось з участю 212 учнів, які використовували одну з трьох версій мультимедійної навчальної програми, відмінних між собою типом візуалізації. Результати показали, що використання мультимедійних додатків із 3D-анімаціями та особливо з інтерактивною 3D-анімацією значно підвищує інтерес учнів і робить навчальний матеріал більш зрозумілим.

У статті [4] досліджують можливість використання тривимірних візуалізацій у програмах медичної та фізіотерапевтичної освіти, щоб покращити ефективність навчання анатомії та фізіології. Методика включала впровадження об'ємного 3D рендерингу (volume rendering) у форматі QuickTime VR, що дозволяв студентам взаємодіяти з моделями та досліджувати їх у просторі. Результати показали, що такі 3D-візуалізації допомагали студентам усвідомити просторові взаємозв'язки, варіації органів та їх розміщення.

У праці [6] автор розглядає використання тривимірної візуалізації даних як допоміжного засобу в освітніх та дослідницьких процесах. Автор представив результати двох опитувань студентів ІТ-спеціальностей і соціальних наук, згідно з якими студенти відкриті до застосування 3D-технологій в освіті. Зазначається, що 3D-візуалізація має потенціал для кращого сприйняття складних даних і підвищення мотивації студентів. У роботі [3] автори досліджують сприйняття студентами технологій доповненої реальності (AR) та тривимірної візуалізації у навчанні хімії, зокрема, як ці технології впливають на їхнє розуміння хімічних структур. Студенти загалом позитивно оцінили застосування 3D-візуалізації та зазначали, що такі технології допомагали краще уявити молекулярні структури та хімічні процеси, сприяють підвищенню зацікавленості.

Інформація про використання тривимірної візуалізації у сфері поліграфії, для дослідження й аналізу фарбодрукарських систем, на даний час відсутня, тому робота в цьому напрямку є актуальним завданням.

Мета статті. Розроблення методу побудови тривимірних полігональних моделей візуалізації фарбодрукарських систем різної архітектури.

Виклад основного матеріалу дослідження. Вважаємо, що параметри (геометричні розміри та позиції) елементів фарбодрукарської системи подаються у вигляді піксельних значень. Оскільки параметри валиків і циліндрів задані в пікселях, для їх відображення у тривимірному просторі необхідно виконати перетворення у міліметри. Приймаємо, що діаметр першого за номером (дукторного) циліндра є відомий. Тоді масштабний коефіцієнт для i -того елемента системи визначається так:

$$s_i = \begin{cases} k = \frac{d}{r_i \cdot 2} & \text{якщо } i = 0, \\ r_i \cdot 2 \cdot k & \text{інакше.} \end{cases} \quad (1)$$

де d – діаметр дукторного циліндра, у міліметрах; r_i – радіус i -того валика або циліндра, у пікселях.

Початок координат у двовимірному форматі зображення розміщений у верхньому лівому куті, тому координати «у» кожного із елементів системи необхідно інвертувати: $y'_i = h - y_i$, де y_i – координата осі ординат i -того елемента системи, px; h – висота зображення на якому зображені валики і циліндри системи, у пікселях.

Поверхня полігонального циліндра, складається з послідовно впорядкованих граней довжиною 1 мм, а загальна кількість граней об'єкта еквівалентна довжині відповідного елемента системи. Тоді кількості граней i -того кола визначається так:

$$v_i = \text{round}(d_i \cdot \pi), \quad (2)$$

де d_i – діаметр i -того кола, у міліметрах.

Для створення тривимірної моделі фарбодрукарської системи застосовується модуль «bpy», у якому за замовчуванням одиницями вимірювання є метри. Оскільки діаметри кіл подаються у міліметрах виконується масштабування: $d'_i = d_i \cdot 0,001$. Результати масштабування діаметрів зводимо в масив D^{mm} . Масив піксельних діаметрів позначимо, як D^{px} . Тоді коефіцієнт для коригування положень елементів фарбодрукарської системи визначається так:

$$k = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i^{mm}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i^{px}}, \quad (3)$$

де d_i^{mm} – значення i -того діаметру із масиву D^{mm} , у міліметрах; d_i^{px} – значення i -того діаметру, у пікселях.

Окрім цього визначаємо центр обмежувальної рамки, у якій розміщені всі елементи системи:

$$x_c = \frac{\min(X) + \max(X)}{2},$$

$$y_c = \frac{\min(Y) + \max(Y)}{2}, \quad (4)$$

де $X = (x_1, x_2, \dots, x_i)$, $Y = (y_1, y_2, \dots, y_i)$ – масиви із координатами центрів валиків і циліндрів.

Коригування розмірів та позиції i -того елемента фарбодрукарської системи проводиться наступним чином:

$$x_i = (x_{px} - x_c) \cdot k;$$

$$y_i = (y_{px} - y_c) \cdot k;$$

$$r_i = r_{px} \cdot \left(\left(\frac{d_i^{mm}}{2} \right) / r_{px} \right), \quad (5)$$

де x_{px} , y_{px} – координати центру i -того кола у пікселях; x_c , y_c – координати центру обмежувальної рамки; k – коефіцієнт для коригування позицій, за виразом (3); d_i^{mm} – діаметр i -того елемента системи, у міліметрах.

Генерацію тривимірної моделі фарбодрукарської системи розглянуто на прикладі i -того елемента, оскільки процес створення решти елементів є аналогічним.

Для створення циліндричної полігональної сітки використовуємо команду *primitive_cylinder_add()*. Задаємо наступні параметри: *vertices* – кількість вершин по колу (вираз (2)); *radius* – радіус циліндра, обчислений за формулою (5); *depth* – товщина циліндра, яка задається рівною ширині однієї зони фарбодрукарської системи; *location* = (x_p , 0, y_p) – координати розміщення циліндра, за формулою (5).

Для візуалізації прямих та зворотних потоків фарби поверхні елементів фарбодрукарської системи поділені на сегменти, які розмежовані у місцях контактів валиків і циліндрів. Приймаємо, що для *i*-того елемента системи інформація про кількість та позиції розташування на його поверхні сегментів прямих та зворотних потоків фарби подається так:

$$[[\theta_{s0}, \theta_{e0}, f_0], [\theta_{s1}, \theta_{e1}, f_1], \dots, [\theta_{sn}, \theta_{en}, f_n]], \quad (6)$$

де θ_s – початковий кут сегмента, у радіанах; θ_e – кінцевий кут сегмента; $f = 1$ – прямий, $f = 2$ – зворотний напрям потоку; n – кількість прямих і зворотних потоків.

Отже наступним кроком необхідно визначити, які грані циліндричної поверхні моделі елемента належать до сегментів прямих потоків фарби, а які до зворотних. Алгоритм вирішення такої задачі подано на рисунку 1.

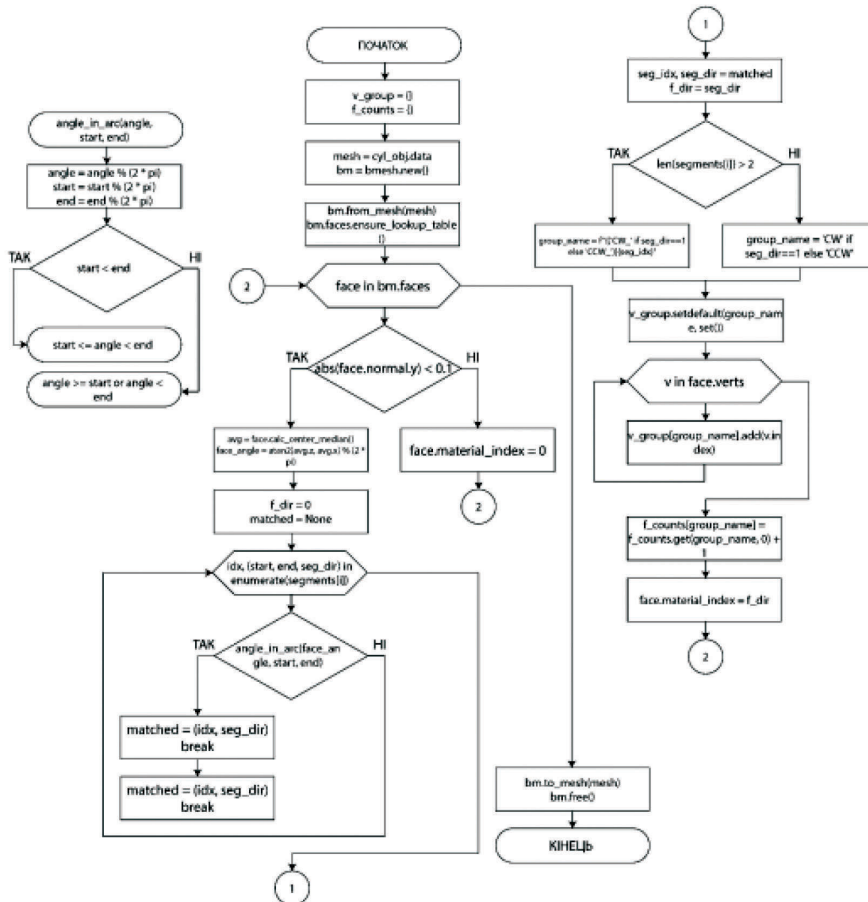


Рис. 1. Алгоритм класифікації граней 3D-циліндра за напрямками потоків фарби

Для доступу до інструментів обробки полігональної сітки застосовано *bmesh*. Новий об'єкт *BMesh* створюємо командою *bmesh.new()* і заповнюємо його геометрією циліндра через *from_mesh(bpy.context.object.data)*. Далі ітеруємо по гранях моделі елемента (*for face in bm.faces*). Для визначення граней, які розміщені по колу циліндра аналізуємо напрямки векторів їх нормалей: якщо у-компонента менша за 0.1 – це бічна грань (паралельна XZ). Для бічних граней обчислюємо координати їх центрів: *face.calc_center_median()* та використовуємо функцію *atan2*, відносно центру циліндра, визначаємо полярний кут грані.

Позначимо кут початку сегмента як s , кут кінця – як e , а кут грані – як a . Попередньо проводимо нормалізацію кутів: $f(\text{angle}) = \text{angle} \bmod 2\pi$. Якщо $s < e$, то грань належить до сегмента (із масиву (6)), коли виконується умова $s \leq a < e$. Якщо ж $s > e$, то грань вважається належною, коли $a \geq s$ або $a < e$.

Після визначення належності кута до певного сегмента фіксується його індекс та напрямок (прямий або зворотний). Опрацювавши усі грані елемента оновлюємо геометрію викликом *bm.to_mesh(mesh)* і звільняємо об'єкт *BMesh* через *bm.free()*. Повторюємо вище описану процедуру для усіх інших елементів системи, формуючи таким чином тривимірну полігональну модель фарбодрукарської системи.

Висновки. Розроблено метод автоматичної побудови тривимірної полігональної моделі фарбодрукарської системи офсетного типу, для її візуалізації у тривимірному просторі. На основі вхідних параметрів системи, поданих у вигляді зображення, здійснюється процедура коригування позицій та розмірів валиків і циліндрів у тривимірному просторі. Із застосування інструментів Blender API здійснюється генерація тривимірної моделі фарбодрукарської системи. Для визначення адрес масивів даних, що відображають напрями прямих і зворотних потоків фарби у фарбодрукарській системі розроблено алгоритм класифікації граней циліндричних поверхонь валиків і циліндрів. Цей метод забезпечує генерацію 3D-моделей для візуалізації фарбодрукарських систем різної архітектури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Верхола М. І., Гук І. Б., Калитка М. І. Моделювання та дослідження впливу розтиральних циліндрів на розподіл потоків фарби у фарбодрукарській системі розгалуженої структури. Поліграфія і видавнича справа. Українська академія друкарства, м. Львів: 2019/2(78), с. 16-26.
2. Верхола М. І., Калитка М. І. Моделювання та аналіз впливу технологічних параметрів на розподіл об'ємів потоків фарби у фарбодрукарській системі послідовно-паралельної структури. Моделювання та інформаційні технології. зб. наук. пр. ПІМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, 88, с. 225–242.
3. Abdinejad M., Talaie B., Qorbani H., Dalil S. Student Perceptions Using Augmented Reality and 3D Visualization Technologies in Chemistry Education. Journal of Science Education and Technology. 2020. C. 10. URL: <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09880-2>.
4. Dr. Charlotte Silén, Staffan Wirell, Joanna Kvist, Eva Nylander, Örjan Smedby. Advanced 3D visualization in student centred medical education. Medical Teacher. 2008. вип. 30 : 5. C. 115-124. URL: <https://doi.org/10.1080/01421590801932228>.

5. Korakakis G., Pavlatou E.A., Palyvos J.A., Spyrellis N. 3D visualization types in multimedia applications for science learning: A case study for 8th grade students in Greece. *Computers & Education*. 2009. вип. 52. С. 390–401. URL: doi:10.1016/j.compedu.2008.09.011.
6. Trenchev I. The Application of 3D Data Visualization in Education and Research. *New Perspectives in Science Education*. 2021. вип. 10. С. 5.
7. Wang L., Yin B., Zhu M. 3D Image Modeling and Visual Presentation Technologies for Education. *International Information and Engineering Technology Associatio*. 2024. вип. 2 : 41. С. 979–987. URL: <https://doi.org/10.18280/ts.410238>.

REFERENCES

1. Verkhola M. I., Ghuk I. B., Kalytko M. I. Modeljuvannja ta doslidzhennja vplyvu roztyraljnykh cylindriv na rozpodil potokiv farby u farbodrukarsjkij systemi rozghaluzhenoji struktury. *Polighrafija i vydavnychy sprava. Ukrajinsjka akademija drukarstva*, m. Ljviv: 2019/2(78), s. 16-26. (in Ukrainian).
2. Verkhola M. I., Kalytko M. I. Modeljuvannja ta analiz vplyvu tekhnologichnykh parametriv na rozpodil ob'jemiv potokiv farby u farbodrukarsjkij systemi poslidovno-paraleljnoji struktury. *Modeljuvannja ta informacijni tekhnologiji. zb. nauk. pr. IPME im. Gh.Je. Pukhova NAN Ukrainy*, 88, s. 225–242. (in Ukrainian).
3. Abdinejad M., Talaie B., Qorbani H., Dalil S. Student Perceptions Using Augmented Reality and 3D Visualization Technologies in Chemistry Education. *Journal of Science Education and Technology*. 2020. p. 10. URL: <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09880-2>.
4. Dr. Charlotte Silén, Staffan Wirell, Joanna Kvist, Eva Nylander, Örjan Smedby. Advanced 3D visualization in student centred medical education. *Medical Teacher*. 2008. Vol. 30 : 5. pp. 115-124. URL: <https://doi.org/10.1080/01421590801932228>.
5. Korakakis G., Pavlatou E.A., Palyvos J.A., Spyrellis N. 3D visualization types in multi-media applications for science learning: A case study for 8th grade students in Greece. *Computers & Education*. 2009. Vol. 52. pp. 390–401. URL: doi:10.1016/j.compedu.2008.09.011.
6. Trenchev I. The Application of 3D Data Visualization in Education and Research. *New Perspectives in Science Education*. 2021. Vol. 10. p. 5.
7. Wang L., Yin B., Zhu M. 3D Image Modeling and Visual Presentation Technologies for Education. *International Information and Engineering Technology Associatio*. 2024. Vol. 2 : 41. pp. 979–987. URL: <https://doi.org/10.18280/ts.410238>.

doi: 10.32403/1998-6912-2025-2-71-270-276

AUTOMATION OF THE PROCESS OF BUILDING A THREE-DIMENSIONAL MODEL OF A COLOR PRINTING SYSTEM

R. R. Kachur

*Lviv Polytechnic National University,
19, Pid Holoskom, St., Lviv, 79020, Ukraine
rostyslav.r.kachur@lpnu.ua*

Today, there are a sufficient number of studies devoted to the analysis of ink distribution and transfer processes in ink printing systems, where simulation modeling is used to study ink distribution and transfer processes in detail. Due to the complexity of the design of offset printing systems, a large amount of data is generated during modeling, which is difficult to analyze using traditional methods. For effective interpretation of simulation results, it is advisable to implement approaches that ensure dynamic and interactive display. This, in turn, requires the development of special software tools, which is a difficult task given the diversity of offset machine designs. One of the stages in the development of such tools is the generation of a three-dimensional model of the ink printing system. This work is devoted to the development of a method for the automatic construction of a polygonal model of an ink printing system for its three-dimensional visualization. A procedure has been implemented for adjusting the positions and sizes of rollers and cylinders, the parameters of which are obtained from a two-dimensional image of the ink printing system for their display in three-dimensional space. To determine the data arrays that reflect the forward and reverse ink flows, an algorithm for classifying the faces of a polygonal cylinder has been proposed. The generation of a polygonal three-dimensional model of the system was carried out using the Blender API tools, in particular the bpy and bmesh modules. The method described in the work provides the ability to automatically generate polygonal models of ink printing systems of various configurations and can be used as a component of an interactive environment for 3D visualization of offset printing processes.

Keywords: *offset printing, ink printing system, data visualization, 3D visualization, polygonal model, algorithm, blender api.*

Стаття надійшла до редакції 02.10.2025.

Received 02.10.2025.