

## **ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ РОЗМИТИХ МНОЖИН ДЛЯ ПОБУДОВИ МОДЕЛЕЙ КОЛЬОРОВОГО ДРУКУ**

Друкарська технологія кольорового друку, в цілому, та окремі технологічні фрагменти, кожний окремо, представляються досить складними і потребують участі фахівців, практично на кожному етапі їх реалізації. Рівень автоматизації таких технологічних процесів, на сьогоднішній день, не є ще достатнім, незалежно від того, що для цих цілей використовуються сучасні комп'ютерні системи. Такий стан справ пояснюється досить складними фізико – хімічними та технологічними процесами, що відбуваються при реалізації відповідних технологій. Формалізувати такі процеси досить складно, оскільки їх природа різноманітна і загальної теорії протікання таких процесів, яка відповідає би вимогам виробництва, немає. Тому реалізація таких технологічних процесів потребує досить глибокого практичного досвіду від працівників, що працюють в цій галузі. Це приводить до суттєвої залежності якості продукції та, відповідного технологічного процесу від суб'єктивних факторів, яких не вдається уникнути, при необхідності використання в технологічному процесі експертів з відповідних областей. Ця обставина приводить до значних труднощів, при необхідності модернізувати виробництво в цілому, чи окремі технологічні фрагменти. Такі труднощі пов'язані, в першу чергу, з великою вартістю друкарського обладнання, яким можна було би оновити існуючі технологічні засоби. Крім того, через складність самого технологічного обладнання, його модернізація в рамках можливостей друкарських виробництв є, практично, не можливою.

Важливим недоліком існуючого стану справ на більшості друкарських виробництв є те, що через високу вартість друкарського обладнання та необхідного допоміжного обладнання, використовується обладнання, технічні параметри якого не дозволяють досить легко конкурувати з організаціями, які мають достатньо коштів, щоб оновлювати своє виробництво новим сучасним обладнанням. Це приводить до необхідності затрачувати багато часу та коштів на проведення цілого ряду допоміжних робіт, які є обов'язковою передумовою можливості виконання замовлень на друкування продукції необхідного рівня якості. Це стосується, також, і виробництв, на яких використовується сучасне друкарське обладнання, та які мають можливість, при появі нових сучасних машин, їх замовляти та впроваджувати їх у себе на виробництві. Така ситуація обумовлюється тим, що сучасний рівень друкарських технологій, що ґрунтується на використанні друкарських машин, потребує проведення певних етапів до друкарської підготовки виробництва.

У зв'язку з викладеним, представляється доцільним розв'язувати та досліджувати не тільки моделі управління окремими технологічними процесами, наприклад, кольороподілом, управлінням точками растру, управлінням процесом друку в друкарській машині, і т.д., а й дослідити задачі створення моделей цілих технологічних фрагментів. Це дозволить на кожному з технологічних етапів, особливо на етапі додрукарської підготовки, проводити експерименти по підбору необхідних технологічних параметрів і, в першу чергу їх значень, не використовуючи реальні технологічні засоби, а моделюючи їх функціонування в рамках моделі. Що стосується кольороподілу, то цей фрагмент технологічного процесу до друкарської підготовки в найбільш повній мірі використовує цей підхід [1]. Але засоби, що використовуються при цьому не забезпечують достатньо високого рівня автоматизації відповідних процесів і вимагають активної участі фахівців з цієї галузі. Це обумовлюється тим, що алгоритми, які реалізовані в засобах комп'ютерних систем, здійснюють традиційний аналіз та контроль відповідних параметрів, який передбачений методикою, наприклад, визначення профілю друкарської машини, чи іншого пристрою, якщо мова йде про управління кольороподілом.

Розв'яжемо технологічний фрагмент до друкарської підготовки, в якому здійснюється виготовлення друкарської форми. При проведенні фізичного експерименту, на друкарській формі формується, переважно, негативне зображення сюжету, який передбачається друкувати. Друкуюча часина представляє собою поверхню, що формується з точок растру у відповідності з алгоритмом розміщення цих точок. Як уже зазначалось, таке розміщення може формуватися у відповідності з лінеатурою, у відповідності з статистичним способом формування растру, або з розміщенням точок растру, що реалізується у відповідності з алгоритмом функціонування розмитої моделі, яка розглядається в даній роботі. При проведенні експерименту на фізичній моделі ми отримуємо реальну форму, масштаби якої відповідають розмірам елементів віддрукованого образу. В рамках такого маленького масштабу, проводити аналіз взаємодії друкарської форми, наприклад, з дукторним валом через передаточний вал, досить важко.

В рамках моделі процесу формування друкарської форми, можна отримати поверхню елемента негативу образу у збільшеному масштабі, що дозволяє розширити відповідну модель моделлю розтікання фарби на роздрукованому матеріалі. В рамках такої моделі можна вводити параметри надрукованого матеріалу, наприклад, дисперсійність його поверхні, жорсткість матеріалу і т.д. та параметри фарби, що використовується, наприклад її густина, міра в'язкості та інші. Лазерні установки для виготовлення формних циліндрів для глибокого друку дозволяють безпосередню підготовку формного циліндру, вимальовуючи променем лазера зображення друкованого образу чи тексту з роздільністю 100ліній /см. Такий параметр забезпечується використанням твердотільних лазерів потужністю 100вт в неперервному режимі генерації. Лазерні гравіювальні

автомати забезпечують 1422 точки на дюйм, при цьому фокусування лазерного променя дозволяє отримати оптичну пляму розміром 25-30мкм. Завдяки цьому, можна формувати друкарські елементи розміром 70-90 мкм. Крім того, лазерні автомати дозволяють керувати глибиною чарунки та кутом нахилу растру, що реалізується певною кількістю проходів лазера по формному циліндру. Але перш ніж можна встановити циліндр на друкарську машину треба провести певну підготовку. Для моделювання всього процесу можна використовувати аналітичні залежності, наприклад, між масою  $W$ , що переноситься та площею  $S$ , через яку переноситься речовина, що описується рівнянням Фука:

$$W = D \cdot \frac{dc}{dn} \cdot St$$

де  $D$  – коефіцієнт дифузії;

$dc/dn$  – градієнт концентрації;

$t$  – час переносу.

Можна, в рамках моделювання процесів виготовлення формних циліндрів, прийняти, що промивка не впливає на зміну геометричних параметрів гравіювальної поверхні. Тоді процес моделювання додрукарської підготовки скорочується. Незважаючи на можливість використання аналітичних виразів, для розрахунку фізичних процесів на етапах додрукарської підготовки, доцільно відповідні моделі розширити нечіткими моделями. Це обумовлюється факторами, нижче. Значення параметрів фізичних моделей, в частині, що стосується матеріалу друкарської форми, на якій гравіюється образ, не можуть бути визначені достатньо точно, що приводить до неточності в роботі відповідної моделі.

Окремі співвідношення, що описують фізичні процеси у відповідних фрагментах технології додрукарської підготовки є емпіричними, або представляють собою певні версії розв'язку загальних математичних моделей. Наприклад, рівняння конвективної дифузії, яка має місце в процесі вимивання, представляється у вигляді досить загальної системи, що задається в координатній формі.

$$\frac{dc}{dt} + V_x \frac{dc}{dx} + V_y \frac{dc}{dy} = D \left( \frac{d^2c}{dx^2} + \frac{d^2c}{dy^2} + \frac{d^2c}{dz^2} \right)$$

де  $c$  – концентрація реагуючої речовини,

$t$  – тривалість дифузії,

$V_x, V_y$  – складові швидкості течії рідини,

$D$  – коефіцієнт дифузії.

Розв'язок такого рівняння можна отримати лише у випадку, коли концентрація розчину на межі дифузійної області не залежить від часу, а потік, що розтікається, розглядається як тонка ламінарна рідина з початком координат у точці перерізу струменя та обтічної поверхні. В такому випадку рівняння конвективної дифузії спрощується. Рівняння Нав'є-Стокса в

циліндричній системі координат дозволяє дістати вираз для визначення радіальної швидкості рідини, що розтікається.

$$Vr = \left[ (3Vt) / (4\pi rH^2) \right] (2hH - H^2),$$

де  $Vt$  – витрата рідини,

$h$  – товщина шару рідини, що розтікається.

З приведенного опису можна зробити висновок, що реальні значення параметрів, які характеризують відповідні процеси у реальному фізичному середовищі, можуть суттєво відрізнятися від тих значень, які можна отримати на основі відповідних математичних моделей. Тому при побудові моделі, для забезпечення їх адекватності, необхідно вводити розмиті моделі. Останні дозволяють вибирати окремі точки, в яких є можливими визначити точні значення системи параметрів. Особливістю розмитих моделей є те, що в такій моделі можна вибирати тільки ті параметри, та тільки в тих точках фізичної дійсності, які є суттєвими для дослідження процесів. Наприклад, якщо рідина, що реалізує промивку гідромеханічним засобом, може не розглядатися в рамках всіх своїх просторових координат, а може розглядатися лише в тих точках, в яких її дія на інших учасниках фізичного процесу, яким є формний матеріал, є суттєвою тільки для процесу промивання. В залежності від точності, що вимагається, таких точок можна вибрати більше або менше. Одним з суттєвих недоліків такого підходу є те, що в точках, які вибираються для опису розмитої множини відповідного параметру, необхідно проводити вимірювання реальних значень таких параметрів. Через те, що фізичне середовище, в цьому випадку, має досить малі розміри, оскільки мова йде про рельєф зображення, яке передбачається надрукувати, виміряти відповідні параметри в потрібних точках досить складно. Для розв'язку цієї проблеми пропонується здійснити процедуру збільшення масштабів віддрукованих фрагментів просторових компонент.

В цьому випадку необхідно провести ряд установочних експериментів по реалізації відповідного технологічного процесу. Отримані в результаті кожного експерименту зразки аналізуються, вибираються ті що відповідають найбільш високим технологічним вимогам до відповідних процесів, в яких останні будуть використовуватися. Для експерименту, в якому отримано вибрані зразки, визначається ряд параметрів та їх значення, які приймаються в якості опорних параметрів та опорних значень для відповідного режиму протікання технологічного процесу. На наступному етапі проводиться геометрично адаптована апроксимація вибраних значень параметрів. Якщо мова йде про потоки рідини, що на нерівностях рельєфу піддається завихренню, в цих місцях апроксимація полягає у збільшенні або зменшенні значення параметра, яке обумовлюється геометрією профіля повздовжнього перетину загального напрямку потоку рідини. Таким образом реалізується геометрична інтерполяція значень параметру, який в даному випадку представляє собою величину тиску в точці об'єму рідини, який діє на

відповідну поверхню рельєфного углублення. Параметр тиску елемента рідини на різні частини рельєфної поверхні не є єдиним.

Відомо [2], що важливим параметром для технології вимивки являються теплотехнічні параметри, оскільки промивочна рідина нагрівається, що обумовлюється потребами технологічного процесу. При використанні підходу, що ґрунтується на використанні розмитих множин, не має необхідності досліджувати зв'язки між окремими параметрами, оскільки останні потрібні тільки для того, щоб можна було, при необхідності, визначати текучі значення параметрів в просторі і часі які фізично є взаємозалежними. У випадку підходу, що ґрунтується на розмитих множинах, відповідні значення задаються. Як такі, що відомі з експериментальних даних. Сукупність таких множин описує сукупність даних, що характеризують фізичний об'єкт. Точність представлення таких даних визначається параметрами розмитої множини. Таким чином, теорія розмитих множин і, відповідно, розмиті моделі описують простір, та процеси, що в ньому відбуваються у вигляді сукупності певним чином структурованих даних. Очевидно, що такий образ, являється певним статичним в часі відображенням фізичної дійсності, що має місце у відповідному технологічному устаткуванні. Технологічний процес займає певний час і тому можна говорити, що він відбувається в часі та, відповідно, параметри, що його характеризують, повинні змінюватися в часі. В протилежному випадку, говорити, що процес протікає на протязі певного часу, не має сенсу. Таким чином, динаміка процесу потребує зміну значень відповідних параметрів. І в цьому випадку, один компонент розмитих множин, що описують текучий стан технологічного процесу в окремий момент часу  $t_i$ , повинен повторюватися для кожного наступного етапу, в якому може знаходитися процес, тому необхідно формувати нову структуру даних. Така структура даних може змінюватися різними способами, до яких можна віднести:

- зміна значень параметрів, при збереженні структури відповідного образу даних;
- зміна окремих параметрів  $i$ , відповідна, зміна параметрів, що залишилася;
- зміна структури без зміни параметрів, але зі зміною певних значень параметрів
- зміна структури із зміною параметрів та зміною значень частини попередніх параметрів;
- зміна структури без зміни параметрів та із зміною значень всіх, або частини параметрів.

Перш ніж перейти до формального опису моделей, що являються розширенням розмитих моделей, слід відмітити наступне. Розмиті множини, на яких визначаються параметри в класичній розмитій моделі (RM), можна інтерпретувати як множину, яка описує неперервність зміни значення параметру, який може мати місце в процесі функціонування на інтервалі  $\delta t_i$ . З

іншого боку, у відповідності з класичними визначеннями, що використовуються в теорії розмитих множин [3], розмиту множину з виділеним ключовим значенням змінної можна розглядати як спосіб точності представлення відповідної змінної. Це означає, що діапазон значень розмитої величини описує можливу точність визначення останньої в момент часу  $t_i$ . В динамічних системах, зміна значень параметрів  $x_i$ , якщо вони задаються в розмитій формі, в рамках попередньої інтерпретації, може означати, що в інтервалі часу  $\delta t_i$ , який приймається меншим ніж інтервал часу  $\Delta t_i$ , що визначається як інтервал, в якому реєструється зміна стану динамічної частки, відбувається зміна параметра  $x_i$  в межі, що визначена заданною розмитою множиною. Для зручності, будемо вважати, що одиницею часу, який використовується для реалізації визначення фактору (что это) динамічної зміни в системі в цілому є інтервал  $\Delta t$ . В межах  $\Delta t$  визначаємо інтервал часу  $\delta t$  такий, що  $\delta t < \Delta t$  і в цьому інтервалі можливі зміни параметрів  $x_i$  в межах значень, що визначені відповідними розмитими множинами  $a_i$ , що будемо записувати у вигляді  $x_i = a_i(\delta t_i)$ . З викладеного витікає, що зміна  $x_i$  в межах  $[\Delta t_i; \Delta t_{i+1}]$  відбувається таким чином, що коли  $y(x_i)$ , де  $y$  – означає значення змінної  $x_i$ , переходить від  $\Delta t_i$  до  $\Delta t_{i+1}$ , то при цьому  $y(x_i)$  переходить через всі значення тої частини розмитої множини, яка лежить в напрямку текучої зміни  $y(x_i)$ . Це означає, період  $\Delta t_i$  значення  $x_i$  і сама величина параметра не є розривною функцією, це можна записати у вигляді:

$$[y(x_i, \Delta t_i) \rightarrow y(x_i, \Delta t_{i+1})] \rightarrow \{[y(x_i, \Delta t_i) \rightarrow y(x_i, \delta t)] \rightarrow y(x_i, \Delta t_{i+1})\}.$$

Можна вважати, що умовою неперервності  $x_i$  є існування  $[[x_i(a_i)], \delta t_i]$ , що означає існування у  $x_i$  розмитої множини  $a_i$ .

Звичайно, що обернене твердження, про те, що існування властивості неперервності  $x_i$  є достатньою умовою представлення  $x_i$ , не є вірним. Це означає, що таке твердження може не виконуватися.

Допустимо, що розширена розмита модель (RRM) представляє собою деяку структуру даних D, елементами якої є фрагменти розмитої моделі  $d_i$ . Фрагмент розмитої моделі  $d_i$  може представляти собою розмиту змінну, або  $d_i = x_i(a_i)$ . Якщо  $d_i$  представляє собою деяку структуру з розмитих змінних, або має місце  $d_i = y_i[x_i(a_i), x_j(a_j), \dots, x_k(a_k)]$ , то будемо говорити, що такий елемент  $d_i$  представляє собою окрему розмиту модель RM.

Базовою складовою такої моделі є розмита імплікація, яка визначає причиною – наслідкові зміни в RM. Достатність такої форми перетворень для відображення всіх аспектів процесу функціонування RM<sub>i</sub>, обумовлюється тим, що в даному способі опису окремої RM<sub>i</sub> існують дані лише про ті чи інші значення параметрів, а всі зміни, що відбуваються, чи можуть

відбуватися, полягають у переході від одних значень параметрів до других, що записується у вигляді:

$$\left[ x_i(a_i) \& \dots \& x_j(a_j) \right] \Rightarrow \left[ x_r(a_r) \& \dots \& x_m(a_m) \right] \quad (1)$$

Очевидно, що способів реалізації такої імплікації може бути досить багато, і всі ці способи можуть відрізнитися між собою наступним:

- кількість змінних в посилках і наслідках може бути різною й останні між собою можуть знаходитися в різних комбінаціях,
- розмита імплікація може описувати зміни значень змінних  $y(x_i(\alpha_i))$ , що формально описується наступним співвідношенням:

$$\left\{ y \left[ x_i(a_i) \right] \& \dots \& y \left[ x_j(a_j) \right] \right\} \Rightarrow \left\{ y \left[ x_g(a_g) \right] \& \dots \& y \left[ x_m(a_m) \right] \right\} \quad (2)$$

Спільною для (1) і (2) є можливість того, що в посилці і наслідку зміни, чи їх значення, можуть бути зв'язані між собою не тільки кон'юнкцією, а й диз'юнкцією, чи внутрішньою імплікацією ( $V, \rightarrow$ ). В цьому випадку проводиться обчислювання значення логічних розмитих формул, якими є  $A_i$ ,  $B_i$ , якщо розмиті імплікації представити у вигляді  $A \rightarrow B$ . Обчислення їх значень виконується у відповідності з правилами перетворень логічних формул в диз'юнктивну нормальну, або кон'юнктивну нормальну форму [4].

Оскільки в реальній системі, що моделюється, існує взаємозв'язок між різними параметрами, то зміна значення одного параметра, яка відбувається в момент вибору чергового правила, приводить до зміни залежних від одного, або кількох параметрів. Оскільки модель повинна випереджувати об'єкт, щоб можна було визначити в моделі необхідні управляючі дії, що можуть формуватися в посилці, то необхідно в множині правил вибрати те правило, яке буде відповідати зміні, що настане в реальному об'єкті.

В рамках окремих  $d_i = RM_i$  обґрунтовувати вибір правил підбору чергових імплікацій складно і тому, в більшості випадках воно зводиться до перебору і аналізу кожного чергового правила на його узгодженість з реальними даними, що використовується в посилці. Це означає, що імплікація  $R_i$ , яку передбачається використовувати, має для змінних узгоджені розмиті множини.

Узгодженість розмитих множин означає, що їх діапазони значень не повинен розриватися, якщо

$$\left[ R_i = y \left[ x_i(a_i) \rightarrow x_j(a_j) \right] \right] \rightarrow \left[ a_i(R_i) \approx a_i^*(RM_i) \right]$$

де  $RM_i$  розмита модель, що представляє собою в рамках RRM елемент  $d_i$ ,  $\alpha_i^*$  - розмита множина змінної  $x_i$ , Ож на момент  $\Delta t_i$  перетворення  $R_i$  приводить до розриву. Розрив між розмитими змінними з'являється тоді, коли має місце

$$\left[ a_i \setminus a_j \right] \Delta \alpha_i$$

де  $\Delta\alpha_i$  – певний поріг. Що визначає допустиму величину різниці між  $\alpha_i$  та  $\alpha_i^*$ . Умова узгодженості  $x_i(\alpha_i)$  та  $x_i(\alpha_i^*)$  забезпечує рівномірні перетворення в  $R_i$

1. *Panak I., Ceppan V., Dvonka V., Karpinsky L., Mikula M., Jakucewich S.* Poligrafia: Procesy i technika. W.: COBRPP, 2003
2. *Ярема С.М.* Флексографія: проблеми і перспективи розвитку. Політра друку.1995 №1
3. *Борисов В.В., Федулов А.С.* Нечёткие продукционные модели и сети. Смоленск: ВА ВПВО ВС РФ, 2005.
4. *Успенский В.А., Верещагин Н.К., Плиско В.Е.* Вводний курс математической логики. М.: Наука, 2006