

УДК 655.027

М. В. Шовгенюк, М. Р. Крик

Українська академія друкарства

АНАЛІТИЧНИЙ РОЗВ'ЯЗОК СИСТЕМ АВТОТИПНИХ РІВНЯНЬ

Запропоновано загальне векторне рівняння автотипного синтезу кольорів на друкарському відбитку з урахуванням базових векторів кольорів тріадних фарб. Обґрунтовано принципову можливість відтворення довільного кольору на кольоровому відбитку двома кольоровими та чорною фарбами, умови яких визначаються положенням кольору на CaS -діаграмі. Отримано аналітичні розв'язки трьох систем автотипних рівнянь. На основі одержаних аналітичних виразів наведено результати чисельних розрахунків тріадних фарб кольорів за даними RGB-координат.

Векторне рівняння, автотипний синтез кольорів, друкарський відбиток, базовий вектор кольорів, тріадні фарби, офсетний друк

Модель автотипного синтезу кольорів у трифарбовому растровому друці кольоровими фарбами вперше була описана в роботі Ньюберга [4]. Учений сформулював принцип просторового змішування кольорів різних фарб, згідно з яким вектор результуючого кольору дорівнює векторній сумі добутків усіх кольорів, що синтезуються даними фарбами, на їх відносну площу, яку вони займають на растровому відбитку. Водночас і незалежно Нейгебауер у роботах [13, 14] на основі Міжнародних координат кольорів $CIE XYZ$ записав аналітичні рівняння автотипного синтезу кольорів у багатофарбовому друці, загальновідомі як рівняння Ньюберга–Нейгебауера, які є теоретичною базою моделювання кольорів у растровому процесі. В основі побудови рівнянь Ньюберга–Нейгебауера використовуються рівняння Демішеля [11], які визначають відносні площі растрових елементів усіх базових кольорів.

Слід відмітити, що число базових кольорів зростає до 2^N , де N — кількість фарб, тому рівняння Ньюберга–Нейгебауера від 2^N -змінних суттєво ускладнюються. На цю обставину свого часу вказував Ньюберг [5], що аналітична модель автотипного синтезу кольорів проста у формулюванні, проте особливо цінних практичних результатів з такої моделі отримати не вдалося. Дослідження Селіванова [7], Ганієва [1] та інших авторів [6] підтвердили, що чисельними методами рівняння Ньюберга–Нейгебауера дозволяють одержати розв'язки для оцінки кольору на друкарському відбитку, однак використання їх для моделювання автотипного процесу залишається проблематичним.

Відомо ряд робіт [10, 12, 15–17], в яких досліджуються спектральні моделі рівнянь Демішеля–Нейгебауера з урахуванням показника нелінійності, запропонованого Юлом і Нільсоном [18], для опису реального процесу багатофарбового друку. Очевидно, що такі моделі не мають теоретичного розв'язку і можуть бути реалізовані виключно методами комп'ютерного експерименту.

Авторами [2, 9] запропоновано новий метод визначення показника нелінійності у друкарського процесу на основі експериментальних даних кольориметричних вимірювань координат X, Y, Z кольорів тріадних фарб на друкарському відбитку. Використання цього методу дозволило встановити числові значення координат базових векторів, які відповідають стандартизованим умовам офсетного друку на папері різних типів. Проведені дослідження показали, що з урахуванням показника нелінійності у автотипні рівняння синтезу кольорів виконуються з досить високою точністю. Це дозволило розробити й успішно реалізувати нову інформаційну модель кольороподілу зображення [3].

У даній роботі на основі використання нового колірному простору $ICaS$ [8] та принципу відтворення довільного кольору області кольорового покриття тріадних фарб двома кольоровими та чорною фарбами описано аналітичний метод розв'язку систем автотипних рівнянь.

Виберемо довільний колір оригіналу, представлений вектором $C_{gen} (R_{gen}, G_{gen}, B_{gen})$. Синтез цього кольору на відбитку чотирма тріадними фарбами записується загальним автотипним рівнянням

$$C_{gen} = S_K^0 (S_C^0 R_0 + S_M^0 G_0 + S_Y^0 B_0 + S_M^0 S_Y^0 C_0 + S_C^0 S_Y^0 M_0 + S_C^0 S_M^0 Y_0 + S_C^0 S_M^0 S_Y^0 K_0) \quad (1)$$

у вигляді векторної суми базових векторів тріадних фарб. У рівнянні (1) використано такі позначення для відносних площ S_C, S_M, S_Y, S_K тріадних фарб — голубої (C), пурпурної (M), жовтої (Y) і чорної (K):

$$S_C^0 = 1 - S_C; \quad S_M^0 = 1 - S_M; \quad S_Y^0 = 1 - S_Y; \quad S_K^0 = 1 - S_K. \quad (2)$$

Введені позначення (2) скалярних величин $S_C^0, S_M^0, S_Y^0, S_K^0$ згідно з рівняннями Демішеля [11] мають фізичний зміст відсутності на відбитку відповідних фарб. Тоді три вектори

$$R_0 = MY; \quad G_0 = CY; \quad B_0 = CM \quad (3)$$

відповідають базовим векторам попарного накладання двох кольорових тріадних фарб. Відповідно, наступні три узагальнені вектори

$$C_0 = C - (CY + CM); \quad M_0 = M - (MY + CM); \quad Y_0 = Y - (MY + CY); \quad (4)$$

задаються різницями базових векторів C, M, Y чистих кольорових тріадних фарб і векторами (3) їх попарних накладань з іншими двома фарбами.

Насамкінець сьомий вектор

$$K_0 = W - (C + M + Y) + (MY + CY + CM) \quad (5)$$

задається алгебраїчною сумою одиничного вектора $W(1,1,1)$ «білого» кольору паперу, векторів C, M, Y базових кольорів тріадних кольорових фарб та векторів (3) кольорів попарних накладань тріадних фарб.

Перейдемо до нової системи координат $C_{gen} (I0_{gen}, C0_{gen}, S0_{gen})$ вектора кольору оригіналу в колірному просторі $ICaS$. Тоді базові вектори (3)–(5) можна подати як

$$\begin{pmatrix} IO_{MY} \\ CO_{MY} \\ SO_{MY} \end{pmatrix} = \hat{H} \begin{pmatrix} MY_R \\ MY_G \\ MY_B \end{pmatrix}; \quad \begin{pmatrix} IO_{CY} \\ CO_{CY} \\ SO_{CY} \end{pmatrix} = \hat{H} \begin{pmatrix} CY_R \\ CY_G \\ CY_B \end{pmatrix}; \quad \begin{pmatrix} IO_{CM} \\ CO_{CM} \\ SO_{CM} \end{pmatrix} = \hat{H} \begin{pmatrix} CM_R \\ CM_G \\ CM_B \end{pmatrix}; \quad (6)$$

$$\begin{pmatrix} IO_C \\ CO_C \\ SO_C \end{pmatrix} = \hat{H} \begin{pmatrix} C_R \\ C_G \\ C_B \end{pmatrix}; \quad \begin{pmatrix} IO_M \\ CO_M \\ SO_M \end{pmatrix} = \hat{H} \begin{pmatrix} M_R \\ M_G \\ M_B \end{pmatrix}; \quad \begin{pmatrix} IO_Y \\ CO_Y \\ SO_Y \end{pmatrix} = \hat{H} \begin{pmatrix} Y_R \\ Y_G \\ Y_B \end{pmatrix}; \quad \begin{pmatrix} IO_W \\ CO_W \\ SO_W \end{pmatrix} = \hat{H} \begin{pmatrix} W_R \\ W_G \\ W_B \end{pmatrix}; \quad (7)$$

де \hat{H} — оператор унітарного перетворення, який описується матрицею Хартлі

$$H = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & H_1 & -H_2 \\ 1 & -H_2 & H_1 \end{bmatrix}, \quad H_1 = \frac{\sqrt{3}-1}{2}; \quad H_2 = \frac{\sqrt{3}+1}{2}. \quad (8)$$

Характерно, що матриця (8) описує як пряме, так і зворотнє перетворення RGB -координат кольорів оригіналу.

З урахуванням формул (6)–(7) векторне рівняння (1) у загальному вигляді можна записати як

$$\begin{aligned} C_{gen} = S_K^0 & \left(S_C^0 \hat{H} R_0 + S_M^0 \hat{H} G_0 + S_Y^0 \hat{H} B_0 + \right. \\ & \left. + S_M^0 S_Y^0 \hat{H} C_0 + S_C^0 S_Y^0 \hat{H} M_0 + S_C^0 S_M^0 \hat{H} Y_0 + S_C^0 S_M^0 S_Y^0 \hat{H} K_0 \right). \end{aligned} \quad (9)$$

Це векторне рівняння еквівалентне системі трьох нелінійних автотипних рівнянь відносно змінних S_C^0 , S_M^0 , S_Y^0 , які характеризують кольорові триадні фарби. Беручи до уваги четверту (чорну) фарбу S_K^0 , матимемо систему вже з чотирма невідомими і, відповідно, постановка задачі її розв'язання стає математично некоректною і неоднозначною щодо знаходження такого розв'язку. У цьому полягає основна проблема аналітичного розв'язання загального векторного рівняння (9), яка до цього часу не вирішена.

Принципова перевага використання простору $ICaS$ у тому, що на хроматичній CaS -діаграмі можна подати всі базові кольори растрового відбитка, які синтезуються вибраною системою триадних фарб. На рис. 1 наведена CaS -діаграма кольорових триадних фарб відповідно до стандарту ISO 12647-2. Як видно, положення кольорових триадних фарб не відповідає напрямку додаткових кольорів адитивної RGB -системи кольорів оригіналу.

Зважаючи, що довільний колір C_{gen} (R_{gen} , G_{gen} , B_{gen}) синтезований чотирма триадними фарбами, на CaS -діаграмі він завжди займатиме положення в одній з трьох областей, обмежених лініями кольорів чистих кольорових фарб.

На підставі використання колірною простору $ICaS$ сформулюємо загальний принцип кольоровідтворення в автотипному процесі: довільно вибраний колір, який описується ахроматичною координатою IO_{gen} і двома хроматичними координатами (CO_{gen} , SO_{gen}), однозначно відтворюється двома кольоровими фарбами, коли положення вибраного кольору на CaS -діаграмі збігається з областю

кольорового покриття цих фарб, і третьою чорною фарбою, яка відповідає ахроматичній координаті IO_{gen} .

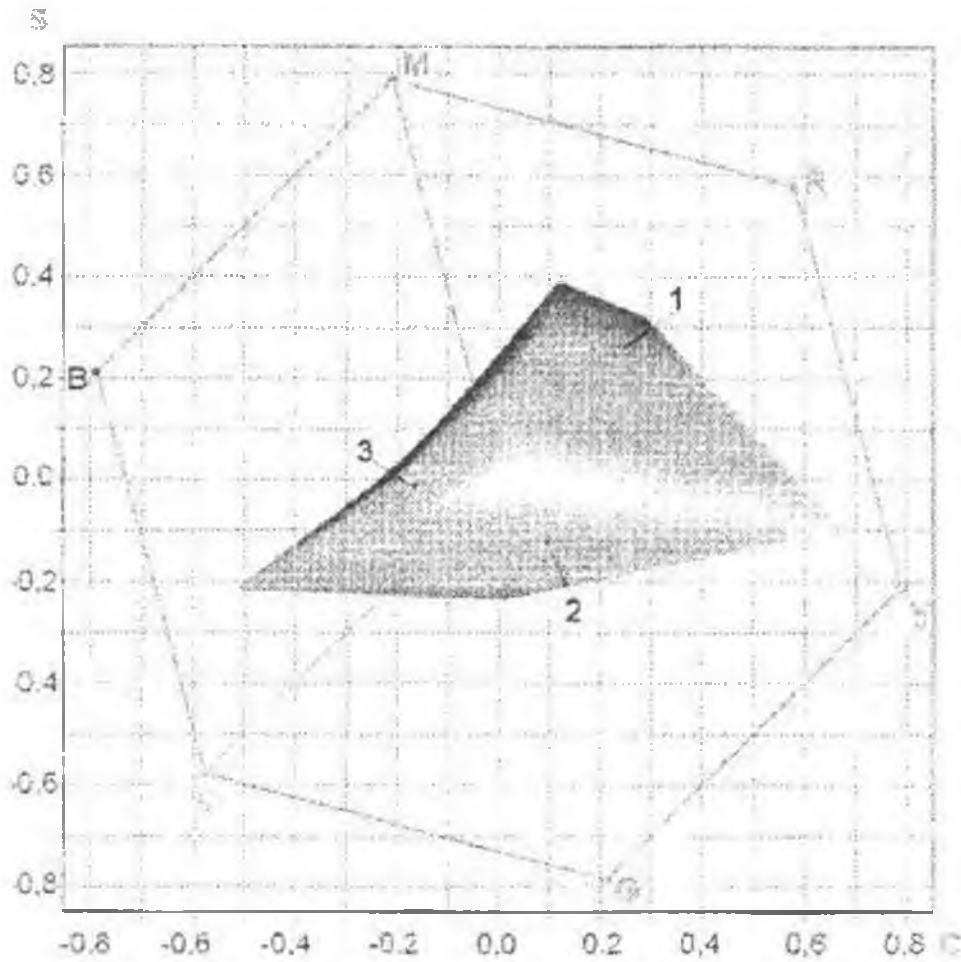


Рис. 1. Область кольорового покриття на CaS-діаграмі кольорових триадних фарб:

1 — $S_C = 0,1, S_M = 0,9, S_Y = 0,75, S_K = 0,05$ RGB (152, 44, 49); 2 — $S_C = 0,7, S_M = 0,1, S_Y = 0,85, S_K = 0,2$ RGB (73, 108, 52); 3 — $S_C = 0,9, S_M = 0,7, S_Y = 0,2, S_K = 0,1$ RGB (38, 58, 96)

Покажемо, що загальне векторне рівняння (9) у частинному випадку систем нелінійних рівнянь з трьома змінними має аналітичний розв'язок. Детально опишемо розв'язок трьох типових систем автотипних рівнянь.

Перший випадок: $S_C = 0$ — відсутня голуба фарба.

Тут загальне векторне рівняння (9) зводиться до вигляду

$$\left. \begin{aligned} IO_{gen} &= S_K^0 \left[IO_{MY} + (IO_Y - IO_{MY}) S_M^0 + (IO_M - IO_{MY}) S_Y^0 - IO_{K_{MY}} S_M^0 S_Y^0 \right] \\ CO_{gen} &= S_K^0 \left[CO_{MY} + (CO_Y - CO_{MY}) S_M^0 - (CO_M - CO_{MY}) S_Y^0 + CO_{K_{MY}} S_M^0 S_Y^0 \right] \\ SO_{gen} &= S_K^0 \left[SO_{MY} + (SO_Y - SO_{MY}) S_M^0 + (SO_M - SO_{MY}) S_Y^0 + SO_{K_{MY}} S_M^0 S_Y^0 \right] \end{aligned} \right\}, \quad (10)$$

де коефіцієнти: $IO_{MY} = (IO_w - IO_M - IO_Y + IO_{MY})$; $CO_{K_{MY}} = (CO_w - CO_M - CO_Y + CO_{MY})$; $SO_{K_{MY}} = (SO_w - SO_M - SO_Y + SO_{MY})$.

Для розв'язання цієї системи використаємо метод послідовного вилучення змінних. З першого рівняння системи (10) легко знайти розв'язок для чорної фарби:

$$S_K^0 = \frac{I0_{gen}}{I0_{MY} + (I0_Y - I0_{MY})S_M^0 + (I0_M - I0_{MY})S_Y^0 + I0K_{MY}S_M^0S_Y^0} \quad (11)$$

Цей розв'язок підставляємо в два наступні рівняння системи (10) для хроматичних координат кольору $(C0_{gen}, S0_{gen})$. У результаті отримуємо значно простішу систему двох нелінійних рівнянь стосовно кольорових фарб S_M^0, S_Y^0 :

$$\left. \begin{aligned} A_{IC}^{(1)} + B_{IC}^{(1)}S_M^0 + C_{IC}^{(1)}S_Y^0 + D_{IC}^{(1)}S_M^0S_Y^0 &= 0 \\ A_{IS}^{(1)} + B_{IS}^{(1)}S_M^0 + C_{IS}^{(1)}S_Y^0 + D_{IS}^{(1)}S_M^0S_Y^0 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} A_{IC}^{(1)} &= \begin{vmatrix} I0_{gen} & I0_{MY} \\ C0_{gen} & C0_{MY} \end{vmatrix}; & A_{IS}^{(1)} &= \begin{vmatrix} I0_{gen} & I0_{MY} \\ S0_{gen} & S0_{MY} \end{vmatrix}; \\ B_{IC}^{(1)} &= \begin{vmatrix} I0_{gen} & I0_Y - I0_{MY} \\ C0_{gen} & C0_Y - C0_{MY} \end{vmatrix}; & B_{IS}^{(1)} &= \begin{vmatrix} I0_{gen} & I0_Y - I0_{MY} \\ S0_{gen} & S0_Y - S0_{MY} \end{vmatrix}; \\ C_{IC}^{(1)} &= \begin{vmatrix} I0_{gen} & I0_M - I0_{MY} \\ C0_{gen} & C0_M - C0_{MY} \end{vmatrix}; & C_{IS}^{(1)} &= \begin{vmatrix} I0_{gen} & I0_M - I0_{MY} \\ S0_{gen} & S0_M - S0_{MY} \end{vmatrix}; \\ D_{IC}^{(1)} &= \begin{vmatrix} I0_{gen} & I0K_{MY} \\ C0_{gen} & C0K_{MY} \end{vmatrix}; & D_{IS}^{(1)} &= \begin{vmatrix} I0_{gen} & I0K_{MY} \\ S0_{gen} & S0K_{MY} \end{vmatrix}. \end{aligned} \quad (13)$$

Вони однозначно описують положення вибраного кольору на CaS -діаграмі в секторі «червоних» кольорів, які формуються пурпурною і жовтою фарбами.

Для аналітичного розв'язання системи (12) з першого рівняння знаходимо вираз для другої змінної, для прикладу пурпурної фарби:

$$S_M^0 = -\frac{A_{IC}^{(1)} + C_{IC}^{(1)}S_Y^0}{B_{IC}^{(1)} + D_{IC}^{(1)}S_Y^0} \quad (14)$$

Тоді, підставивши цей вираз у друге рівняння системи (12), отримаємо квадратне рівняння для жовтої фарби:

$$A_1 + B_1S_Y^0 + F_1(S_Y^0)^2 = 0, \quad (15)$$

яке має два аналітичні розв'язки:

$$S_Y^0 = -\frac{B_1}{2F_1} \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{4A_1F_1}{B_1^2}} \right) \quad (16)$$

Тут постійні коефіцієнти рівняння (15) і його розв'язків (16) легко записати у вигляді розкладу за $ICaS$ координатами $(I0_{gen}, C0_{gen}, S0_{gen})$ досліджуваного кольору:

$$A_1 = \begin{vmatrix} I0_{gen} & I0_Y & I0_{MY} \\ CO_{gen} & CO_Y & CO_{MY} \\ SO_{gen} & SO_Y & SO_{MY} \end{vmatrix}; \quad (17)$$

$$B_1 = \begin{vmatrix} I0_{gen} & I0_Y & I0_M - I0_{MY} \\ CO_{gen} & CO_Y & CO_M - CO_{MY} \\ SO_{gen} & SO_Y & SO_M - SO_{MY} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} I0_{gen} & I0_W - I0_Y & I0_{MY} \\ CO_{gen} & CO_W - CO_Y & CO_{MY} \\ SO_{gen} & SO_W - SO_Y & SO_{MY} \end{vmatrix}; \quad (18)$$

$$F_1 = \begin{vmatrix} I0_{gen} & I0_W - I0_Y & I0_M - I0_{MY} \\ CO_{gen} & CO_W - CO_Y & CO_M - CO_{MY} \\ SO_{gen} & SO_W - SO_Y & SO_M - SO_{MY} \end{vmatrix}. \quad (19)$$

У нових формулах (13), (17)–(19) визначники матриць 2×2 і 3×3 складено з координат у колірному просторі $ICaS$ базових векторів жовтої (Y), пурпурної (M) фарб і їх подвійного накладання ($R - MY$).

Підставивши розв'язок (16) у формулу (14), а відтак у формулу (11), одержимо розв'язки для пурпурної S_M^0 та чорної S_K^0 фарб. Таким чином, ми отримали аналітичний розв'язок системи (10) нелінійних автотипних рівнянь для всіх трьох фарб — S_Y^0 , S_M^0 , S_K^0 .

Описаний метод аналітичного розрахунку системи нелінійних автотипних рівнянь нестріадних фарб легко поширюється на два інші варіанти тріадних фарб.

Другий випадок: $S_M = 0$ — відсуття пурпурна фарба.

У даному разі загальне векторне рівняння (9) набуває такого вигляду:

$$\left. \begin{aligned} I0_{gen} &= S_K^0 \left[I0_{CY} + (I0_Y - I0_{CY})S_C^0 + (I0_C - I0_{CY})S_Y^0 + I0K_{CY}S_C^0S_Y^0 \right] \\ CO_{gen} &= S_K^0 \left[CO_{CY} - (CO_Y - CO_{CY})S_C^0 + (CO_C - CO_{CY})S_Y^0 + COK_{CY}S_C^0S_Y^0 \right] \\ SO_{gen} &= S_K^0 \left[SO_{CY} + (SO_Y - SO_{CY})S_C^0 + (SO_C - SO_{CY})S_Y^0 + SOK_{CY}S_C^0S_Y^0 \right] \end{aligned} \right\}, \quad (20)$$

де коефіцієнти: $I0K_{CY} = (I0_W - I0_C - I0_Y + I0_{CY})$; $COK_{CY} = (CO_W - CO_C - CO_Y + CO_{CY})$; $SOK_{CY} = (SO_W - SO_C - SO_Y + SO_{CY})$.

Аналогічним чином з першого рівняння системи (20) легко знайти розв'язок для чорної фарби:

$$S_K^0 = \frac{I0_{gen}}{I0_{CY} + (I0_Y - I0_{CY})S_C^0 + (I0_C - I0_{CY})S_Y^0 + I0K_{CY}S_C^0S_Y^0}. \quad (21)$$

Одержаний розв'язок підставляємо в наступні два рівняння системи (20) для хроматичних координат кольору (CO_{gen} , SO_{gen}). У результаті отримуємо значно простішу систему двох нелінійних рівнянь відносно кольорових фарб S_C^0 , S_Y^0 :

$$\left. \begin{aligned} A_{IC}^{(2)} + B_{IC}^{(2)} S_C^0 + C_{IC}^{(2)} S_Y^0 + D_{IC}^{(2)} S_C^0 S_Y^0 = 0 \\ A_{IS}^{(2)} - B_{IS}^{(2)} S_C^0 + C_{IS}^{(2)} S_Y^0 + D_{IS}^{(2)} S_C^0 S_Y^0 = 0 \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} A_{IC}^{(2)} &= \begin{vmatrix} I0_{gen} & I0_{CY} \\ C0_{gen} & C0_{CY} \end{vmatrix}; & A_{IS}^{(2)} &= \begin{vmatrix} I0_{gen} & I0_{CY} \\ S0_{gen} & S0_{CY} \end{vmatrix}; \\ B_{IC}^{(2)} &= \begin{vmatrix} I0_{gen} & I0_Y - I0_{CY} \\ C0_{gen} & C0_Y - C0_{CY} \end{vmatrix}; & B_{IS}^{(2)} &= \begin{vmatrix} I0_{gen} & I0_Y - I0_{CY} \\ S0_{gen} & S0_Y - S0_{CY} \end{vmatrix}; \\ C_{IC}^{(2)} &= \begin{vmatrix} I0_{gen} & I0_C - I0_{CY} \\ C0_{gen} & C0_C - C0_{CY} \end{vmatrix}; & C_{IS}^{(2)} &= \begin{vmatrix} I0_{gen} & I0_C - I0_{CY} \\ S0_{gen} & S0_C - S0_{CY} \end{vmatrix}; \\ D_{IC}^{(2)} &= \begin{vmatrix} I0_{gen} & I0K_{CY} \\ C0_{gen} & C0K_{CY} \end{vmatrix}; & D_{IS}^{(2)} &= \begin{vmatrix} I0_{gen} & I0K_{CY} \\ S0_{gen} & S0K_{CY} \end{vmatrix}. \end{aligned} \quad (23)$$

Вони однозначно описують положення вибраного кольору на CaS -діаграмі в секторі «зелених» кольорів, які формуються голубою і жовтою фарбами.

Для аналітичного розв'язання системи (22) з першого рівняння знаходимо вираз для другої змінної, для прикладу голубої фарби:

$$S_C^0 = -\frac{A_{IC}^{(2)} + C_{IC}^{(2)} S_Y^0}{B_{IC}^{(2)} + D_{IC}^{(2)} S_Y^0}. \quad (24)$$

Підставивши цей вираз у друге рівняння системи (22), одержимо аналогічно формулі (15) квадратне рівняння для жовтої фарби:

$$A_2 + B_2 S_Y^0 + F_2 (S_Y^0)^2 = 0, \quad (25)$$

якє має два інші аналітичні розв'язки:

$$S_Y^0 = -\frac{B_2}{2F_2} \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{4A_2 F_2}{B_2^2}} \right). \quad (26)$$

Тут постійні коефіцієнти рівняння (25) і його розв'язків (26) також легко записати у вигляді розкладу за $ICaS$ координатами ($I0_{gen}$, $C0_{gen}$, $S0_{gen}$) досліджуваного кольору:

$$A_2 = \begin{vmatrix} I0_{gen} & I0_Y & I0_{CY} \\ C0_{gen} & C0_Y & C0_{CY} \\ S0_{gen} & S0_Y & S0_{CY} \end{vmatrix}; \quad (27)$$

$$B_2 = \begin{vmatrix} I0_{gen} & I0_Y & I0_C - I0_{CY} \\ C0_{gen} & C0_Y & C0_C - C0_{CY} \\ S0_{gen} & S0_Y & S0_C - S0_{CY} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} I0_{gen} & I0_W - I0_Y & I0_{CY} \\ C0_{gen} & C0_W - C0_Y & C0_{CY} \\ S0_{gen} & S0_W - S0_Y & S0_{CY} \end{vmatrix}; \quad (28)$$

$$F_2 = \begin{vmatrix} I0_{gen} & I0_W - I0_Y & I0_C - I0_{CY} \\ C0_{gen} & C0_W - C0_Y & C0_C - C0_{CY} \\ S0_{gen} & S0_W - S0_Y & S0_C - S0_{CY} \end{vmatrix}. \quad (29)$$

У нових формулах (23), (27)–(29) визначники матриць 2×2 і 3×3 складено з координат у колірному просторі $ICaS$ базових векторів голубої (C), жовтої (Y) фарб та їх подвійного накладання ($G = CY$).

Підставивши розв'язок (26) у формулу (24), а далі у формулу (21), отримуємо розв'язки для голубої S_C^0 та чорної S_K^0 фарб. Таким чином, ми одержали аналітичний розв'язок системи (20) нелінійних автогенних рівнянь для трьох фарб — S_C^0 , S_Y^0 , S_K^0 .

Третій випадок: $S_Y = 0$ — відсутня жовта фарба.

Тут загальне векторне рівняння (9) зводиться до такого вигляду:

$$\left. \begin{aligned} I0_{gen} &= S_K^0 \left[I0_{CM} + (I0_M - I0_{CM})S_C^0 + (I0_C - I0_{CM})S_M^0 + I0K_{CM}S_C^0S_M^0 \right] \\ C0_{gen} &= S_K^0 \left[C0_{CM} + (C0_M - C0_{CM})S_C^0 + (C0_C - C0_{CM})S_M^0 + C0K_{CM}S_C^0S_M^0 \right] \\ S0_{gen} &= S_K^0 \left[S0_{CM} + (S0_M - S0_{CM})S_C^0 + (S0_C - S0_{CM})S_M^0 + S0K_{CM}S_C^0S_M^0 \right] \end{aligned} \right\}, \quad (30)$$

де коефіцієнти: $I0K_{CM} = (I0_W - I0_C - I0_M + I0_{CM})$; $C0K_{CM} = (C0_W - C0_C - C0_M + C0_{CM})$; $S0K_{CM} = (S0_W - S0_C - S0_M - S0_{CM})$.

Тепер з першого рівняння системи (30) легко знайти розв'язок для чорної фарби:

$$S_K^0 = \frac{I0_{gen}}{I0_{CM} + (I0_M - I0_{CM})S_C^0 + (I0_C - I0_{CM})S_M^0 + I0K_{CM}S_C^0S_M^0}. \quad (31)$$

Цей розв'язок підставляємо в наступні два рівняння системи (30) для хроматичних координат кольору ($C0_{gen}$, $S0_{gen}$). У результаті отримуємо значно простішу систему двох нелінійних рівнянь відносно кольорових фарб S_C^0 , S_M^0 :

$$\left. \begin{aligned} A_{IC}^{(3)} + B_{IC}^{(3)}S_C^0 + C_{IC}^{(3)}S_M^0 + D_{IC}^{(3)}S_C^0S_M^0 &= 0 \\ A_{IS}^{(3)} + B_{IS}^{(3)}S_C^0 + C_{IS}^{(3)}S_M^0 + D_{IS}^{(3)}S_C^0S_M^0 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (32)$$

$$\left. \begin{aligned} A_{IC}^{(3)} &= \begin{vmatrix} I0_{gen} & I0_{CM} \\ C0_{gen} & C0_{CM} \end{vmatrix}; & A_{IS}^{(3)} &= \begin{vmatrix} I0_{gen} & I0_{CM} \\ S0_{gen} & S0_{CM} \end{vmatrix}; \\ B_{IC}^{(3)} &= \begin{vmatrix} I0_{gen} & I0_M - I0_{CM} \\ C0_{gen} & C0_M - C0_{CM} \end{vmatrix}; & B_{IS}^{(3)} &= \begin{vmatrix} I0_{gen} & I0_M - I0_{CM} \\ S0_{gen} & S0_M - S0_{CM} \end{vmatrix}; \\ C_{IC}^{(3)} &= \begin{vmatrix} I0_{gen} & I0_C - I0_{CM} \\ C0_{gen} & C0_C - C0_{CM} \end{vmatrix}; & C_{IS}^{(3)} &= \begin{vmatrix} I0_{gen} & I0_C - I0_{CM} \\ S0_{gen} & S0_C - S0_{CM} \end{vmatrix}; \\ D_{IC}^{(3)} &= \begin{vmatrix} I0_{gen} & I0K_{CM} \\ C0_{gen} & C0K_{CM} \end{vmatrix}; & D_{IS}^{(3)} &= \begin{vmatrix} I0_{gen} & I0K_{CM} \\ S0_{gen} & S0K_{CM} \end{vmatrix}. \end{aligned} \right\} \quad (33)$$

Вони однозначно описують положення вибраного кольору на CaS -діаграмі в секторі «сиціх» кольорів, які формуються голубою і пурпурною фарбами.

Для аналітичного розв'язання системи (32) з першого рівняння знаходимо вираз для другої змінної, для прикладу голубої фарби:

$$S_C^0 = -\frac{A_{IC}^{(3)} + C_{IC}^{(3)} S_M^0}{B_{IC}^{(3)} + D_{IC}^{(3)} S_M^0} \quad (34)$$

Підставивши цей вираз у друге рівняння системи (32), одержимо квадратне рівняння для пурпурної фарби:

$$A_3 + B_3 S_M^0 + F_3 (S_M^0)^2 = 0. \quad (35)$$

$$B_3 = \begin{vmatrix} I_{0_{gen}} & I_{0_M} & I_{0_C} - I_{0_{CM}} \\ C_{0_{gen}} & C_{0_M} & C_{0_C} - C_{0_{CM}} \\ S_{0_{gen}} & S_{0_M} & S_{0_C} - S_{0_{CM}} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} I_{0_{gen}} & I_{0_W} - I_{0_M} & I_{0_{CM}} \\ C_{0_{gen}} & C_{0_W} - C_{0_M} & C_{0_{CM}} \\ S_{0_{gen}} & S_{0_W} - S_{0_M} & S_{0_{CM}} \end{vmatrix}; \quad (36)$$

$$F_3 = \begin{vmatrix} I_{0_{gen}} & I_{0_W} - I_{0_M} & I_{0_C} - I_{0_{CM}} \\ C_{0_{gen}} & C_{0_W} - C_{0_M} & C_{0_C} - C_{0_{CM}} \\ S_{0_{gen}} & S_{0_W} - S_{0_M} & S_{0_C} - S_{0_{CM}} \end{vmatrix}. \quad (37)$$

$$F_3 = \begin{vmatrix} I_{0_{gen}} & I_{0_W} - I_{0_M} & I_{0_C} - I_{0_{CM}} \\ C_{0_{gen}} & C_{0_W} - C_{0_M} & C_{0_C} - C_{0_{CM}} \\ S_{0_{gen}} & S_{0_W} - S_{0_M} & S_{0_C} - S_{0_{CM}} \end{vmatrix}. \quad (38)$$

Тут постійні коефіцієнти рівняння (34) записано у вигляді визначників, в яких перший стовпець задається координатами $(I_{0_{gen}}, C_{0_{gen}}, S_{0_{gen}})$ досліджуваного кольору. Це рівняння має два аналогічні аналітичні розв'язки:

$$S_M^0 = -\frac{B_3}{2F_3} \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{4A_3 F_3}{B_3^2}} \right). \quad (39)$$

У нових формулах (33), (36)–(38) визначники матриць 2×2 і 3×3 складено з координат у колірному просторі $ICaS$ базових векторів голубої (C), пурпурної (M) фарб та їх подвійного накладання ($B = CM$).

Підставивши розв'язок (39) у формулу (32), а після того у формулу (31), отримаємо розв'язки для пурпурної S_M^0 та чорної S_K^0 фарб. Таким чином, ми одержали аналітичний розв'язок системи (30) нелінійних автотипних рівнянь для трьох фарб — S_C^0, S_M^0, S_K^0 .

На основі отриманих аналітичних розв'язків проведемо аналіз чисельних результатів розрахунку тріадних фарб. Візьмемо координати базових векторів

$$\begin{pmatrix} C_R \\ C_G \\ C_B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,0189 \\ 0,4972 \\ 0,7917 \end{pmatrix}; \quad \begin{pmatrix} M_R \\ M_G \\ M_B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,6483 \\ 0,0777 \\ 0,3434 \end{pmatrix}; \quad \begin{pmatrix} Y_R \\ Y_G \\ Y_B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,9738 \\ 0,8633 \\ 0,1002 \end{pmatrix}; \quad (40)$$

$$\begin{pmatrix} MY_R \\ MY_G \\ MY_B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,6628 \\ 0,1265 \\ 0,1504 \end{pmatrix}; \quad \begin{pmatrix} CY_R \\ CY_G \\ CY_B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,1334 \\ 0,4464 \\ 0,1983 \end{pmatrix}; \quad \begin{pmatrix} CM_R \\ CM_G \\ CM_B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,1536 \\ 0,1709 \\ 0,3824 \end{pmatrix}.$$

які за експериментальними даними FOGRA відповідають стандартизованим умовам офсетного друку на крейдованому папері. Виберемо три характерні випадки кольорів, числові дані яких наведено в таблиці. На основі цих показників проведемо розрахунок відповідно до загального векторного рівняння (9). Як видно з *CaS*-діаграми на рис. 1, ці кольори знаходяться в трьох різних областях.

Чисельні результати розв'язання систем автотипних рівнянь (10), (20), (30) для даних базових векторів (40)

	Випадок 1	Випадок 2	Випадок 3
Скалярні величини триадних фарб	$S_C^0 = 0,9$ $S_M^0 = 0,1$ $S_Y^0 = 0,25$ $S_K^0 = 0,95$	$S_C^0 = 0,3$ $S_M^0 = 0,9$ $S_Y^0 = 0,15$ $S_K^0 = 0,8$	$S_C^0 = 0,1$ $S_M^0 = 0,3$ $S_Y^0 = 0,8$ $S_K^0 = 0,9$
Розрахункові <i>ICaS</i> -координати	$IO_{gen} = 0,5544$ $CO_{gen} = 0,2287$ $SO_{gen} = 0,2481$	$IO_{gen} = 0,5277$ $CO_{gen} = 0,095$ $SO_{gen} = -0,1259$	$IO_{gen} = 0,4351$ $CO_{gen} = -0,165$ $SO_{gen} = -0,0143$
Аналітичні розв'язки	$S_C^0 = 1,0$ $S_M^0 = 0,1130$ $S_Y^0 = 0,2917$ $S_K^0 = 0,8565$	$S_C^0 = 0,3404$ $S_M^0 = 1,0$ $S_Y^0 = 0,1773$ $S_K^0 = 0,7038$	$S_C^0 = 0,1848$ $S_M^0 = 0,4430$ $S_Y^0 = 1,0$ $S_K^0 = 0,6560$
Розрахунок систем автотипних рівнянь			
Нові <i>ICaS</i> -координати	$IO_{gen} = 0,5544$ $CO_{gen} = 0,2287$ $SO_{gen} = 0,2481$	$IO_{gen} = 0,5277$ $CO_{gen} = 0,095$ $SO_{gen} = -0,1259$	$IO_{gen} = 0,4351$ $CO_{gen} = -0,165$ $SO_{gen} = -0,0143$

Для першого випадку на основі отриманих аналітичних виразів (11), (14) і (16) знаходимо аналітичні розв'язки для двох кольорових і чорної фарб. Аналогічним чином, для другого випадку на підставі формул (21), (24) і (26) і, відповідно, для третього на основі формул (31), (34) і (39) отримуємо аналітичні розв'язки для інших пар кольорових і чорної фарб (див. таблицю).

Одержані числові значення аналітичних розв'язків дещо відрізняються від вхідних даних. Однак, коли підставити їх у системи автотипних рівнянь (10), (20) і (30), що є критерієм правильності теоретичних розв'язків, то отримуємо нові значення CaS -координат, які повністю збігаються з числовими значеннями CaS -координат на основі загального векторного рівняння (9).

Таким чином, ми показали, що всі кольори, синтезовані чотирма тріадними фарбами, однозначно відтворюються відповідними парами двох кольорових і чорної фарб. Це підтверджує чисельні результати правильності сформульованого принципу кольоровідтворення та отриманих аналітичних розв'язків систем автотипних рівнянь.

1. Ганиев Д. Х. Возможности автотипной колориметрии в высокой печати : автореф. дис. на здобуття ступеня канд. техн. наук: спец. 05.02.15 «Машины, агрегаты и процессы полиграфического производства» / Д. Х. Ганиев. — М., 1975. — 30 с.
2. Занько Н. В. Оцінка розтискування тріадних фарб на основі показника нелінійності / Н. В. Занько, Н. С. Писанчин, М. В. Шовгенюк : Комп'ютерні технології друкарства. — 2008. — № 20. — С. 247–259.
3. Занько Н. В. Створення інформаційної моделі кольороподілу на основі нових методів цифрової обробки зображень: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.13.06 «Інформаційні технології» / Н. В. Занько. — Львів, 2009. — 24 с.
4. Ньюберг Н. Д. Метод расчета цветodelения в автотипной трехцветке : тр. НИИ ОГИЗ / Ньюберг Н. Д. М., 1935. — Вып. II. — С. 173–183.
5. Ньюберг Н. Д. Теоретические основы цветной репродукции / Ньюберг Н. Д. — М.: Советская наука, 1947. — 176 с.
6. Писанчин Н. С. Моделювання синтезу кольорів у растровому процесі / Н. С. Писанчин, Н. В. Занько, М. В. Шовгенюк // Наукові записки УАД. — 2007. — № 1(11). — С. 23–40.
7. Селиванов Ю. П. Основы моделирования и оптимального программирования автотипного процесса / Селиванов Ю. П. — М.: Книга, 1979. — 238 с.
8. Шовгенюк М. В. Новий кольоровий простір $ICaS$ на основі перетворення Хартлі / Шовгенюк М. В. — Львів. ІФКС НАН України, 2009. — 24 с. — (Препринт / НАН України, ІФКС).
9. Шовгенюк М. В. Характеристики відбитків тріадних фарб у кольоровому просторі Adobe RGB / М. В. Шовгенюк, Н. В. Занько, Н. С. Писанчин // Комп'ютерні технології друкарства. — 2008. — № 19. — С. 203–222.
10. Amidror I. Neugebauer and Demichel: Dependence and Independence in n -Screen Superpositions for Colour Printing / I. Amidror, R.D. Hersch // J. Color Res. Appl. — 2000. — Vol. 25, No 4. — P. 267–277.
11. Demichel E. M. / Demichel E. M. // Le procédit. — 1924. — Vol. 26, P. 17–21, 26–27.
12. Hersch R. D. Improving the Yule-Nielsen modified spectral Neugebauer model by dot surface coverages depending on the ink superposition conditions / R. D. Hersch, F. Crittitt // IS&T/SPIE Electronic Imaging Symposium, Proc. SPIE. — 2005. — Vol. 5667. — P. 434–445.
13. Neugebauer H. E. J. Die theoretischen Grundlagen des Mehrfarbendrucks / H. E. J. Neugebauer // Zeitschrift für wissenschaftliche Photographie, Photophysik und Photochemie. — 1937. — Vol. 36, p. 36–73; reprinted in Neugebauer Memorial Seminar on Color Reproduction (14–15 Dec. 1989, Tokyo, Japan) // Proc. SPIE, Vol. 1184, P. 194–202 (1990).
14. Neugebauer H. E. J. The theoretical basis of multicolor letterpress printing. Translated [2] by D. Wyble and A. Kraushaar, commentary by M. Pearson / H. E. J. Neugebauer // Color Research and Application. — 2005. — Vol. 30 Issue 5, P. 322–331.
15. Ostromoukhov V. Chromaticity gamut enhancement by heptatone multi-color printing / V. Ostromoukhov // Proc. SPIE. — 1993. — Vol. 1909. — P. 139–151.
16. Rogers G. A. Generalized Clapper-Yule Model of Halftone Reflectance / Rogers G. A. // J. Color Res. Appl. — 2000. — Vol.

25, No. 6. — P. 402–407. 17. Rogers G. L. Neugebauer revisited: random dots in halftone screening / G. L. Rogers // J. Color. Res. Appl. — 1998. — Vol. 23. — P. 104–113. 18. Yule J.A.C. The penetration of light into paper and its effect on halftone reproductions / J.A.C. Yule, W. J. Nielsen // Proc. TAGA. — 1951. — Vol. 3. — P. 65–76.

АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ СИСТЕМ АВТОТИПНЫХ УРАВНЕНИЙ

Предложено общее векторное уравнение автотипного синтеза цветов на печатном оттиске с учётом базовых векторов цветов триадных красок. Обосновано принципиальную возможность воспроизведения произвольного цвета на цветном оттиске двумя цветными и чёрной красками, условия которых определяются положением цвета на CaS-диаграмме. Получены аналитические решения трёх систем автотипных уравнений. На основании полученных аналитических выражений приводятся результаты численных расчётов триадных красок цветов по данным RGB-координат.

ANALYTICAL SOLVE OF THE SYSTEMS OF AUTOTYPE EQUALIZATIONS

The general vector equation of autotype synthesis of colors on a printed impression was offered with taking into account the base vectors of color set. The principle possibility of the arbitrary color reproduction is based on a chromotype two coloured and black inks, the terms of which are determined by position of color on the CaS-diagram. There were got the analytical solves of three systems of autotype equations. There were resulted the numeral calculations of color set from data RGB-coordinates based on the got analytical expressions.

Стаття надійшла 11.03.10

УДК 004.056

Б. В. Дурняк, І. М. Лях

Українська академія друкарства

СПОСОБИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ В ЗАСОБАХ МАСОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Окреслено найпоширеніші методи захисту даних у засобах масової інформації.

Інформація, захист, засоби масової інформації, аутентифікація, конфіденційність, інтегральність, доступність

Залежно від можливостей систем масової інформації та алгоритму послуг, отримуваних за допомогою систем масової інформації, можна створити значний перелік різних небезпек, з якими стикаються як окремі користувачі, так і власники систем масової інформації. Для більш систематичного визначення їх пасамперед встановимо базові типи небезпек впливу на роботу системи масової інформації щодо захисту даних, передаваних її каналами. Основні небезпеки визначено в рамках систем, що використовують криптографію як