

Ситнік О.Г., к.т.н., Шишков О.Ф. (НАУ, Україна)

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ МОДУЛЯЦІЇ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ

Стаття містить результати досліджень експериментальних даних отриманих при моделюванні процесу модуляції лазерного випромінювання і вивчення його впливу, як фактора керування, на якість документації в інформаційних технологіях. Модуляція випромінювання розглядається з погляду растровання безупинних зображень у процесі електронно-цифрового репродукування. Запропоновано розрахунки критеріїв оцінки растровання зображень, зв'язаних з комфортністю сприйняття оком людини.

Відомо, що системи керування випромінюванням відносяться до найбільш проблемних наукових розділів [1] інформатики. Вони входять до складу багатьох автономних комплексів, що використовуються для керування випромінюванням у процесі розвитку техніки. У системах керування існує багато невирішених проблемних питань зв'язаних з методологією керування випромінюванням. Рішення проблемних питань керування світлом і особливо лазерним випромінюванням в інформаційних технологіях з метою одержання якісної документації в органах управління (ОУ) задача досить складна і не до кінця вивчена.

З історії питання відомо [2], що поява лазерів змусила фахівців інакше глянути на процеси модуляції і керування випромінюванням і більш глибоко досліджувати них при моделюванні цього явища. Дослідження першоджерел і вивчення результатів експериментів у різних країнах показують, що вони не повною мірою вирішують проблемні питання модуляції і керування лазерним випромінюванням при розробці методів і засобів аналізу обробки і синтезу зображень.

Широку популярність сьогодні в системах керування випромінюванням одержали, такі типи модуляторів [3], як електрооптичний модулятор, що заснований на використанні нелінійних кристалів. Розглянуте в процесі моделювання конструктивне оформлення модулятора застосовується при порівняно низьких частотах модуляції (до 100 мгц). Одна з найважливіших рис електрооптичного ефекту це його широкополосність.

Також широку популярність сьогодні в засобах керування випромінюванням одержали акустооптичні пластини, що у більшому або меншому ступені мають фотопружність [4], тобто швидкість поширення світла в них залежить від пружних напружень, викликаних, скажемо, зовнішнім тиском. Але на практиці частіше використовується інший метод деформації середовища, а саме за рахунок ультразвуку.

Меншою популярністю користується сьогодні в системах керування випромінюванням дискретний електрооптичний чотирьох позиційний перемикач. По суті справи, він складається з двох електрооптичних модуляторів, у яких поляризатор замінений двохлучипреломляючою пластиною, виготовленою з ісландського шпату, що має широке застосування в автономних комплексах обробки зображень.

В якості алгоритму дослідження пропонується використання порівнянного аналізу параметрів різних моделей процесів модулювання випромінювань, окремих параметрів систем керування й окремих критеріїв їхнього впливу на якість зображень в інформаційних технологіях. Вибір алгоритму дослідження дозволяє вирішувати такі проблемні питання, наскільки ефективно будуть побудовані інструментальні засоби керування світлом і лазерним випромінюванням, чи будуть вони робити мінімальний паразитний вплив на якість документації і вірогідність інформації. Запропонований алгоритм дослідження буде узагальнений при розробці одного з елементів теорії електронно-цифрового репродукування зображень (ЕЦРЗ) з метою його використання при

розробці систем аналізу, обробки і синтезу ілюстрацій. Розглянемо, але тільки у вузькому аспекті дослідження, алгоритм реалізації систем растрирування зображень. Оскільки модулювання безперервного зображення оригіналу, що зчитується відбитим світлом з циліндра ЛФА і наступний процес виводу репродукції модульованим лазерним випромінюванням, є, по суті, досліджуваний процес растрирування з метою формування даного зображення після його аналізу, обробки в ПЕОМ і синтезу на формном циліндрі. Це дозволить одночасно визначити ступенем впливу модуляції на якість документації і вірогідність інформації, а також запропонувати більш точні розрахунки деяких параметрів керування даним процесом.

У результаті наукового аналізу встановлено, що відповідно до теореми Котельникова будь-яке безперервне зображення може бути передане без перекручування кінцевою безліччю дискретних даних. Неспотворена передача при модулюванні випромінювання на ЛФА здійснюється за умови, що кількість отсчетов на одиниці площі зображення в чотири рази перевищує площа частотного спектра зображення. Якщо в крапках відліку дискретний сигнал по амплітуді дорівнює безперервному, то такий вид модуляції відповідає амплітудно імпульсній [1]. Якщо імпульси досить вузькі, то їхнім аналогом можна вважати просторову дельта-функцію, що з'являється періодично з періодом L або аперіодично за яким-небудь законом на площині зображення. Допустимо, що частота растрової структури обрана правильно, тоді при накладенні імпульсної періодичної функції на безперервне зображення, частотний спектр зображення розмножується без перекручування, концентруючи біля крапок на площині частот, що відповідають їх частотам отсчетов і кратним значенням. Якщо частота проходження отсчетов вище гранично необхідної в напрямках утворюючої растрової структури з'являються захисні зони на площині частот, що сприяють при наступному візуальному сприйнятті пред'явленню менш твердих вимог до апарата фільтрації частотних обмежень зорового аналізатора. Особливо важливу роль захисні зони грають при нестабільній по частоті роботі генератора отсчетов, а також:

- через деформацію матеріалів-носіїв на алюмінієвих пластинах типу ПЛ-2, або на безсеребряної плівці, що використовуються в ЛФА і на які проводилися експерименти;
- через деформацію растрової структури і растрируваного зображення;
- через розмірні варіації в процесі виготовлення оригінальних і контактних растрів, крапки отсчетов можуть варіювати біля свого середнього значення і викликати суперпозицію двох поруч розташованих частотних спектрів, викликаючи появи при візуальному сприйнятті значних якісних змін, що спотворюють зображення.

Найбільше яскраво це явище спостерігається при спіральному безперервному розгорненні зображень через нестабільність роботи механічних вузлів електронних кольорокоректорів типу "Hell" або ЛФА. Таке явище одержало назву – полошення в процесі обробки зображень. Таким чином, для характеристики растрової структури доцільно ввести поняття, що визначає величину припустимих відносних варіацій крапок отсчетов.

$$\varepsilon_1 = \frac{\omega_p - 2\omega_M}{\omega_M} \cdot 100\% \quad (1)$$

При точному виконанні умов теореми Котельникова $\varepsilon = 0$ [4], при наявності захисних зон $\varepsilon > 0$, а при перекритті частотних спектрів $\varepsilon < 0$. Аналогічно пропонується ввести поняття припустимих відносних варіацій максимальних частот зорових аналізаторів різних індивідуумів, для досягнення ефекту комфортності сприйняття оком людини.

$$\varepsilon_2 = \frac{\omega_p - 2\omega_{\text{чл}}}{\omega_{\text{чл}}} \cdot 100\% \quad (2)$$

Природно, що розвиток вище представленого допущення про вид частотного спектра у визначеній мері ідеалізовані, тому що ми не враховували реальну форму імпульсів. Передбачувани раніше нескінченні-тонкі відлікові імпульси у виді дельта функції мали нескінченний рівномірний частотний спектр і тому не впливали на форму розмноженого при дискретизації просторового частотного спектра зображення. Якщо ж реальна форма растрируючих імпульсів прямокутна або яка-небудь інша, що має частотний спектр $F_p(\omega_x, \omega_y)$, те частотний спектр амплітудно імпульсно-модульованого сигналу буде визначатися інтегралом згортки спектрів безперервного сигналу $F_c(\omega_x, \omega_y)$ і растрируючого елемента $F_p(\omega_x, \omega_y)$

$$F(\omega_x, \omega_y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F_c(\omega_x, \omega_y) \cdot F_p(\omega_x + \Delta\omega_x, \omega_y + \Delta\omega_y) d(\Delta\omega_x) d(\Delta\omega_y) \quad (3)$$

Якщо, наприклад, растрові елементи мають прямокутну форму, то в напрямку утворюючої прямокутної растрової структури одномірне представлення частотного спектра буде визначатися зі співвідношення

$$F(\omega) = \frac{ah}{L} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi h}{L}}{\frac{n\pi h}{L}} \cdot F_c(\omega - n\omega_p) \quad (4)$$

де a – максимальне значення амплітуди імпульсів; h – ширина імпульсів.

Геометричний зміст цієї формули пропонується визначити, як послідовність первинних спектрів безперервного зображення, максимальні значення яких у крапках отсчетів пропорційні значенню спектра реального імпульсу. Шпаруватість імпульсів у процесі модулювання, тобто відношення ширини імпульсів до періоду їхнього повторення в звичайній офсетній печатці визначається з [3] при шпаруватості $h/L = 2/3$. Аналогічні спектри утворюються, як відомо [2], і при іншій, відмінній від прямокутної, формі растрируючих імпульсів. Наприклад, при дзвінообразної Гауссової формі растрируючих імпульсів. З аналізу отриманих результатів очевидно, що параметри растрируючих імпульсів значно впливають на частотний спектр растрированого зображення і, відповідно, на якість модуляції. Таким чином, чим ширше імпульс, тобто чим більше його шпаруватість, тим меншу смугу частот займає спектр растрированого зображення.

Постановка задачі дослідження полягає в тому, щоб не тільки розібратися з явищем модуляції лазерного випромінювання і процесом керування, але і запропонувати більш точні розрахунки окремих параметрів при моделюванні для практичного використання в системах керування, так і виявити їхній вплив на якість документації в інформаційних технологіях ОУ. Для рішення поставленої задачі розглянемо при амплітудноімпульсній модуляції два роди можливих модуляцій, що відрізняються тим, що в одному з них форма імпульсу змінюється в залежності від змін сигналу (модуляція першого роду), а в іншому форма імпульсів незмінна (модуляція другого роду). І той, і інший рід модуляції має місце при репродукуванні чорно-білих і кольорових, графічних і напівтонових зображень на ЛФА або кольорокоректоре «Hell». Зображення на відбитках із пластин ПЛ-2, установлених на формних циліндрах ЛФА, після

обробки модулеваним лазерним променем для офсетної печатки варто вважати вже амплітудно імпульсно-модулеваним модуляцією другого роду. Аналітичний вираз для просторового частотного одномірного спектра такого зображення має вигляд

$$F(\omega) = \frac{1}{L} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} F_p(\omega) \cdot F_c(\omega - n\omega_p) \quad (5)$$

Особливої уваги при моделюванні процесів модуляції випромінювання заслуговує розгляд питання про ступінь відповідності розвинутих вище представлень амплітудноімпульсної модуляції і механізмів, що спостерігаються дійсно на практиці, формування зображення. Справа в тім, що навіть дуже високої інтенсивності випару поверхневого шару пластини ПЛ-2 або плівки під впливом випромінювання CO₂ лазери максимальне теоретично можливе значення інтегральної растрової оптичної щільності D_p амплітудно-модульної системи повинне бути значно нижче аналогічної характеристики в інших системах модулювання. У залежності від шпаруватості імпульсів в амплітудноімпульсній системі питома площа растрових елементів складає 0,4-0,7 (по оптичному кліні) у той час як в інших системах растрирування її максимальна величина близька до одиниці. Тому в рамках приведеної вище ідеалізації інтервал ΔD_p в офсетній печатці повинний був би бути досить незначним $\Delta D_p \approx 0,3 - 0,5$. Насправді інтервал оптичних щільностей й зображень, що репродукуються способом офсетної печатки, не менше, а більше, ніж при використанні інших систем растрирування і досягає 1,4 - 1,6 одиниць оптичної щільності. Незважаючи на те, що на друкованих формах ПЛ-2 розміри осередків досить мало змінюються (у межах 20% по площі) у залежності від глибини їхнього пропалювання лазерним променем і практично у всьому інтервалі втримується постійної на формі шпаруватість осередків. На друкованих відбитках явно спостерігається ефект паразитних перекручувань, тобто розширення растрових елементів, що позначається при тиражуванні аж до рівномірного заповнення фарбою всієї площі в тінях зображення. Для того щоб градаційна характеристика процесу офсетної печатки мала вигляд близький до ідеальної кривої, необхідне своєрідне балансування одночасного впливу на величину растрової оптичної щільності ефектів амплітудноімпульсної модуляції. З метою оцінки критеріїв для цих явищ перетворимо формулу В.І. Шеберстова [2] і після математичних перетворень представимо до виду, зручному для аналізу процесу модуляції в офсетній печатці

$$\left. \begin{aligned} D_p &= \lg \frac{1}{1 - s_{эфф}(D_s)(1 - 10^{D_s^3})} && \text{при } S_{эфф} < 1 \\ D_p &= D_s && \text{при } S_{эфф} = 1, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

де $s_{эфф}(D_s)$ – ефективна величина питомої площі растрових елементів, чисельно рівна питомої площі растрируваного зображення з заданими значеннями D_p і D_s .

У результаті експериментів встановлено, що мінімальне значення $S_{эфф}$ відповідає питомої площі растрових осередків друкованої форми, тобто визначається шпаруватістю растрової структури. Максимальне значення, близьке до 1, що досягається при рівномірному перекритті зон, що відповідають місцю розташування растрових елементів у виді фрагментів базової ланки. При рівномірному перекритті проміжків між імпульсами величина растрової оптичної щільності D_p дорівнює

оптичної щільності растрового елемента D_s . Рівномірний розподіл імпульсів може проходити раніш, ніж досягається максимальне значення оптичної щільності відбитка, тобто при якомусь значенні D_n . Цілком доречно припустити, що при лінійній низькочастотній фільтрації зміна ширини растрових елементів пропорційно величині їхніх амплітуд D_s , а зміна питомої площі растрових елементів пропорційно квадратові D_s , тобто

$$s_{\text{эфф}}(D_s) \approx s_0 + kD_s^2 \quad (7)$$

Чисельне значення коефіцієнта k пропонується визначати з умов

$$s_{\text{эфф}}(D_s) = 1 \quad k = (1 - s_0)D_n^2 \quad (8)$$

Величина k відбиває у визначеній мері властивості друкованого процесу як фільтра нижніх частот. Чим більше k , тим менше ефективна ширина смуги частот пропущення процесу, тобто тим більше частотні переключування перетерплюють растрова структура при друкуванні. Аналіз експериментальних даних, отриманих на пристроях ЛФА і "Hell", підтверджує припущення про те, що величина k значною мірою залежить від в'язкості друкованої фарби, зростаючи зі зменшенням в'язкості при рівних умовах. У принципі, величина k повинна залежати також від режимів проведення друкованого процесу і технічних властивостей папера. Представляється досить доцільним використання для контролю фільтруючого впливу процесу офсетної печатки на частотний спектр зображення спеціальної безперервної шкали півтонів і наступного візуального перебування зони перекриття растрових елементів на відбитку з об'єктним виміром оптичної щільності нижньої границі цієї зони – D_n . У зоні дії квадратичної залежності питомої площі растрових елементів від їхньої амплітуди, імовірно, повинне бути справедливе наступне співвідношення,

$$D_p = \lg \frac{1}{1 - \left[s_0 + (1 - s_0) \left(\frac{D_s}{D_n} \right)^2 \right] (1 - 10^{-D})} \quad (9)$$

яке носить емпіричний характер і отриманий у результаті математичних перетворень, що пропонується використовувати для оцінки критерію залежності растрової оптичної щільності від D_s , s_0 і D_n . у процесі модулювання випромінювання

Співвідношення (9) є іншою модифікацією формули В.І. Шеберстова [2] стосовно до випадку офсетної печатки. Було встановлено, що як вихідна формула, це співвідношення справедливе за умови зневаги величиною оптичної щільності папера й ефективності D . Юла і В. Цильсона [3].

Думаємо, що практичний інтерес при дослідженні результатів моделюванні процесу модулювання випромінювання представляють також явища розмірної нестійкості растрових елементів на друкованих відбитках. Через малу глибину растрових осередків у цій зоні явно спостерігаються значні варіації площі растрових елементів убік її зменшення аж до досить великої по імовірності повної не про печатки растрових елементів. Не зупиняючи на причинах цих явищ, що зв'язані з механічною сутністю і динамікою процесу офсетної печатки і залежать від багатьох технологічних факторів, відзначимо сам факт наявності зони нестійкості друкованого процесу. В інтегральному аспекті, тобто по характері впливу на величину D_p , ці явища еквівалентні, у деякому роді,

ефектові широтно-імпульсної модуляції. Як верхню границю зони нестійкості друкованого процесу думаємо доцільним прийняти таке значення D_p , при якому величина площі растрових елементів з достатнім ступенем імовірності відповідає площі растрових осередків на друкованій формі ПЛ-2 або на плівці. Таким чином, умовно, також весь інтервал процесу офсетної печатки можна розбити на три етапи: не про печатки растрових елементів, дії офсетних ефектів і етапу повного зникнення растрової структури, що є елементами процесу модулювання випромінювання.

Як висновки затверджується наступне, що відмінність інших типів систем, що амплітудно-модулюють сигнали зображення і розглянутих у інших авторів у виді принципів растрирування полягає в тому, що від розглянутих вище типів модулювання вони в значній мірі нічим не відрізняються. З іншого боку, не можна також говорити про повну подібність, або про явну відмінність принципів модулювання випромінювань технічного світла або лазерного випромінювання по наступних причинах.

Перша стадія дискретизації зображення за допомогою модулятора при різних типах растрирування ідентична амплітудно-імпульсної модуляції.

Друга стадія процесу модулювання, у якій амплітудно-модулеваний сигнал перетвориться в широтно-імпульсно-модулеваний, дійсно принципово відмінна від раніше розглянутого іншими авторами [3] і вимагає не тільки подальших досліджень, але і докладного обговорення її особливостей. Широтно-імпульсна модуляція сигналу зображення фактично завершується в електронно-цифровій частині репродукційних процесів. У ЕЦРЗ формні і друковані процеси, хоча і впливають на формування растрируваного зображення на відбитку, в основному вони сприяють передачі достовірності растрируваного зображення при модуляції.

Чисто формальною причиною розмірної нестійкості растрових елементів є занадто мала глибина осередків на друкованій формі. Тому можливість підвищення стійкості друкованого процесу зв'язана з навмисним збільшенням саме цього параметра при модулюванні лазерного випромінювання, що раніше фахівцями в увагу не приймалося. Для того щоб усе-таки загальна кількість фарби бути значно менше, ніж у середній зоні процесу, розумно було б здійснити керований ефект модуляції випромінювання, тобто регульована зміна площі растрових осередків на друкованій формі.

Список літератури

1. Глушков В.М. і ін. Енциклопедія кібернетики. У 2-х т., Головна редакція Української Радянської енциклопедії. – Київ, 1974. – 620 с.
2. Мачулка Г.А. Лазери в печаті. – М.: Машиностроение, 1989. – 222 с.
3. Ситник А.Г. Дослідження і розробка принципів побудови атласу градаційних перетворень при синтезі кольорових напівтонових зображень // Кібернетика і системний аналіз. 1998. – № 5. – С. 164-175.
4. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. – М.: Наука, 1985. – 847 с.