

УДК 681.7

Підвищення ефективності оптоелектронного сенсора кута

Пузь Б.Ю., д.т.н., проф. Писаренко Л.Д.

При створенні великогабаритних антенних систем супутникового зв'язку, необхідні сенсори кута високої роздільної здатності, придатні для експлуатації в жорстких кліматичних умовах. Сенсори кута також використовуються в станках з ЧПК, промислових роботах, системах наведення телескопів тощо. Сенсор кута в сучасних умовах використання, окрім високої точності та надійності, повинен мати високі динамічні характеристики відліку, простоту взаємодії з вимірювально-інформаційною системою, зручність початкового встановлення, функції самодіагностики та автоматичного виявлення метрологічних відмов.

Розвиток електроніки уможливив реалізацію складних алгоритмів опрацювання вимірювальної інформації безпосередньо в сенсорі. Це дає змогу зменшити похибку, підвищити надійність вимірювання та послабити вимоги до точності механічних вузлів шляхом застосування досконаліших схемних рішень та методів опрацювання сигналів, що і обумовлює актуальність обраної теми.

Основні фактори, що впливають на точність визначення кутового

положення та запропоновану математичну модель, що відтворює механічну та оптичну схему сенсора кута і дозволяє оцінити вплив дестабілізуючих факторів на результуючу похибку вимірювання. Схемою сенсора кута є удосконалення шляхом використання двох ОБФП, що дозволило зменшити вплив ексцентриситету та випадкових зміщень диска.

Ексцентриситет кодової послідовності моделюватимемо

шляхом зміщення центру кодової послідовності (точки C) вздовж осі u на відстань C_u від осі обертання. В системі координат D_{uvw} координати точки $C=(C_u, 0, 0)^T$ (верхній індекс T позначає операцію транспонування).

Систему координат D_{uvw} можна отримати з системи O_{xyz} шляхом паралельного переносу OD , повороту на кут ω_1 навколо осі n , на кут ω_2 навколо осі m та на кут ω_3 навколо осі w .

$$C_{xz} = R_{\omega_1, n} \cdot R_{\omega_2, m} \cdot R_{\omega_3, w} \cdot R_{uv\omega} + D_{xyz}$$

де C_{xyz} вектор-стовбець координати точки C в системі O_{xyz} ; $R_{\omega_1, n}$ матриця повороту на кут ω_1

навколо осі n ; $R_{\omega_2, m}$ матриця повороту на кут ω_2 навколо осі m ;

$R_{\omega_3, w}$ матриця повороту на кут ω_3 навколо осі w ; C_{uvw} вектор-стовбець координат точки C в системі D_{uvw} ; D_{xyz} вектор-стовбець координати точки D в системі O_{xyz} .

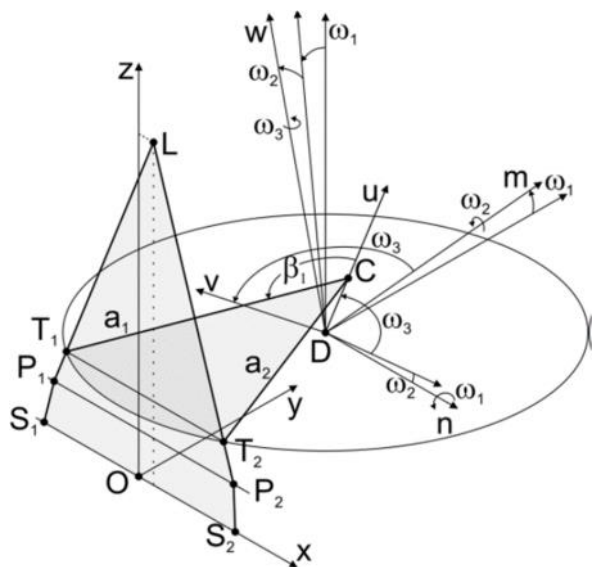


Рис. 1. Схема розрахунку координат меж тіней секторів

Одним із шляхів до підвищення точності є застосування методів субпіксельної локалізації перепадів інтенсивності. Для аналізу та обґрунтованого вибору таких методів слід встановити розподіл освітленості в зоні напівтіні секторів диска.

Для моделювання процесу формування тіні сектора кодового диска скористаємося методами теоретичної фотометрії [39]. Прийемо такі припущення:

Світлодіод буде моделюватися рівнояскравим чотирикутником $0,3 \times 0,3$ мм, що випромінює потік за законом Ламберта (яскравість не

залежить від напрямку спостереження);

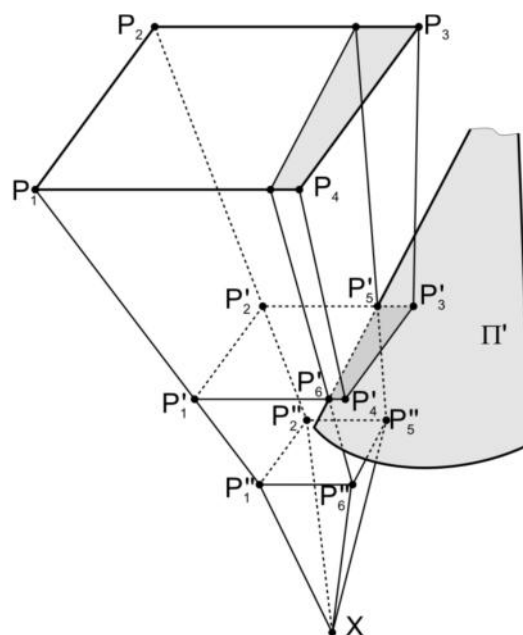


Рис. 2. Схема розрахунку світлового потоку в площині фотоматриці (а) та модель освітлювача (б)

Освітленість в довільній точці X фотоматриці можна розрахувати таким чином.

1. Використовуючи закони прямолінійного поширення та заломлення, побудувати хід пучка променів від поверхні світлодіода $P_1..P_4$ яскравістю B в точку X (Рис. 3.1 а).
2. Знайти точки $P'_1..P'_4$ перетину пучка променів з площиною диска Π' .
3. Із чотирикутника $P'_1..P'_4$ прозорими секторами вирізати n -кутники $P'_{i,1}..P'_{i,n}$, які відповідають ділянкам світлодіода, що видимі з точки X .

4. В площині поверхні корпусу Π'' побудувати заломлене зображення знайдених n -кутників $P''_{i,1}..P''_{i,n}$.

5. Освітленість в точці X можна визначити, просумувавши елементарні освітленості dE , створювані частинами

світлового пучка обмеженими елементарними тілесними кутами $d\omega$ по всьому тілесному куту світлового пучка ω .

$$E = \int_{\omega} dE = n \int_{\omega} B \cdot d\omega = \int_{\omega} B \cdot \cos(\theta) \cdot d\omega \quad (1)$$

де B – яскравість пучка; $d\omega$ – вектор тілесного кута, що напрямлений з точки S в точку X і рівний по абсолютній величині тілесному куту $d\omega$; n – вектор нормалі до освітленої поверхні в точці X ; θ – кут між вектором n та $d\omega$.

Для рівно яскравого освітлювача інтеграл по тілесному куті ω (1) можна замінити на інтеграл по контуру L :

$$E = \frac{B}{2} n \oint_L da$$

де L – контур, що обмежує поверхню освітлювача S ; da – елементарні вектори які напрямлені вздовж зовнішньої нормалі бічної поверхні конуса світлового пучка і мають довжину a ; $d\alpha$ – кута при вершині елементарного рівнобедреного трикутника з основою dL і вершиною в точці X (Рис. 3).

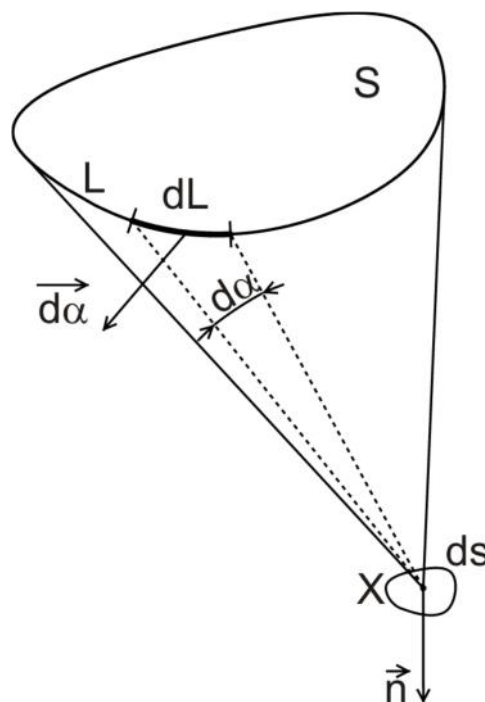


Рис. 3. Розрахунок світлового потоку від протяжного освітлювача

а) – інтегрування по контуру

Оскільки освітлювач має форму багатокутника, то конус променів вироджується в піраміду, а інтегрування по контуру можна замінити на суму

$$E = \frac{B}{2} n \sum_i \alpha_i$$

де α_i – вектори рівні по абсолютній величині кутам при вершині піраміди і напрямлені вздовж зовнішніх нормалей її граней.

Висновки

Після проведення проведення всіх запланованих методів щодо підвищення ефективності роботи сенсора необхідно практично перевірити запропоновані методики, проаналізувати їх ефективність та точність роботи самого сенсору.

Для налаштування та діагностики сенсора розроблене технологічне програмне забезпечення для ЕОМ. Програма ANSYS взаємодіє з сенсором кута через системний послідовний інтерфейс та надає оператору доступ до вимірювальних та діагностичних функцій сенсора. ANSYS додатково реалізує ряд технологічних функцій як от оновлення мікропрограми контролера, контроль різниці показів каналів чи розрахунок калібрувальних коефіцієнтів. Технологічне програмне забезпечення для ЕОМ уможливило налаштування, тестування та юстування сенсора кута під час його виготовлення.

Література

1. А.с. SU641484 СССР : МПК2 G08 C9/06.Фотоэлектрический преобразователь угла поворота вала в код / В.Б. Богданович,

П.В. Здрилюк, С.В. Свечников, И.Н. Хмелевский; заявитель и патентообладатель. Институт полупроводников АН УССР. – заяв. 10.07.77 2506404/18-24 ; опубл. 05.01.79 Бюл. №1.

2. Білінський Й. Й. Методи обробки зображень в комп'ютеризованих оптико-електронних системах: монографія / Й. Й. Білінський. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 272 с.
3. Кухарчук В. В. Оптико-електронний засіб вимірювань кута повороту і кутової швидкості / Кухарчук В. В., Білінська М. Й. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – №5. – С. 16–19.