

Методи і системи оптично-електронної та цифрової обробки сигналів

33. Вифанский Ю.К., Мироненко И.А. Об опознавательных признаках объектов // Труды ГОИ им. С.И.Вавилова. – 1984. – Т. 57, вып. 191. – С. 153–158.
34. Завалишин Н.В., Мучник И.Б. Модели зрительного восприятия и алгоритмы анализа изображений. – М.: Наука, 1974. – 344 с.
35. Миракян А.И., Панов В.И. Восприятие скорости движения в процессе отражения формы объекта // Вопросы психологии. – 1985. - № 1. – С. 148–154.

| | |
|--|--|
| <p>Микитенко В.И. Исследование релевантных признаков изображений в ОЕП телевизионного типа. Рассмотрены основные характеристики изображений, которые влияют на эффективность визуального поиска и распознавания оператором объектов на экране обзорных оптико-электронных систем (ООЭС). Сформулированы задачи, решение которых позволит оптимизировать алгоритмы комплексирования информации и технические требования к ОЕП, входящим в состав ООЭС, исходя из критерия максимальной эффективности функционирования системы «ООЭС – оператор».</p> | <p>Mykytenko V.I. Relevant features of TV-type optoelectronic images. Basic image features which affect the efficiency of visual search and recognition of objects in the screen of the survey optoelectronic systems are considered (SOES). The ways to optimize the algorithms of complexation information and technical requirements to SOES optoelectronic devices are formulated according to the criterion of maximal efficiency of the system «OOES – operator».</p> |
|--|--|

Надійшло до редакції
8 грудня 2005 року

УДК 681.7.013.8

ТОЧНІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ МПФ ОБ'ЄКТИВІВ ФОТОПРИЙМАЛЬНИМ ПРИБРОЄМ З ЛППЗ

Кучеренко О.К., Кучеров Є.В., Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна

Розглядається вплив дискретності фоточутливих елементів ЛППЗ на точність визначення МПФ об'єктивів. Запропонований засіб підвищення точності вимірювань шляхом мікро сканувань лінійним фотоприймачем в площині зображення

Вступ

Одним з найповніших критеріїв оцінки якості зображень, створюваних об'єктивами, є *оптична передатна функція* (ОПФ), котра наочно відображає спотворення, що створює об'єктив на різних просторових частотах. ОПФ є комплексною функцією і її можна представити двома дійсними функціями – модулем ОПФ, *модуляційною передатною функцією* (МПФ) та фазою, *функцією передачі фази* (ФПФ).

Для вимірювання МПФ на виробництві використовують стенд з неперіодичним тест-об'єктом та лінійним пристроєм з переносом заряду (ЛППЗ) [1]. Принцип дії такого стенду оснований на тому, що ЛППЗ вимірює функцію розсіювання (ФР) як імпульсний відгук об'єктиву, що досліджується, з наступним визначенням МПФ, як нормованого Фур'є перетворення від ФР.

Однак внаслідок кінцевих розмірів чутливих елементів ЛППЗ та їх кінцевої

кількості виникають певні спотворення при вимірюванні ФР. Метою цієї роботи є дослідження таких спотворень та запропонування методів їх усунення.

Постановка завдання

Основна проблема полягає в тому, що при вимірюванні розподілу освітленості в ФР за допомогою ЛППЗ можна отримати лише дискретні значення розподілу освітленості, інтегровані по площі чутливого елементу. Як відомо [2], дискретизація у просторовій області спричиняє періодичність в області просторового спектру з періодом рівним частоті дискретизації. Внаслідок цього максимальна просторова частота, яка може бути присутня в спектрі (МПФ) об'єктиву, що досліджується, повинна бути меншою за частоту Найквіста, що визначається формулою: $\nu_n = \frac{1}{2p}$, де p – розмір чутливих елементів ЛППЗ. При наявності частот, більших за вказану частоту, виникає явище накладення спектрів, при якому неможливо однозначно визначити реальну МПФ. Приклад такого випадку показаний на рис. 1, де значення просторової частоти, що більші за частоту Найквіста, додаються до вихідної МПФ та викликають завищення кінцевих результатів.

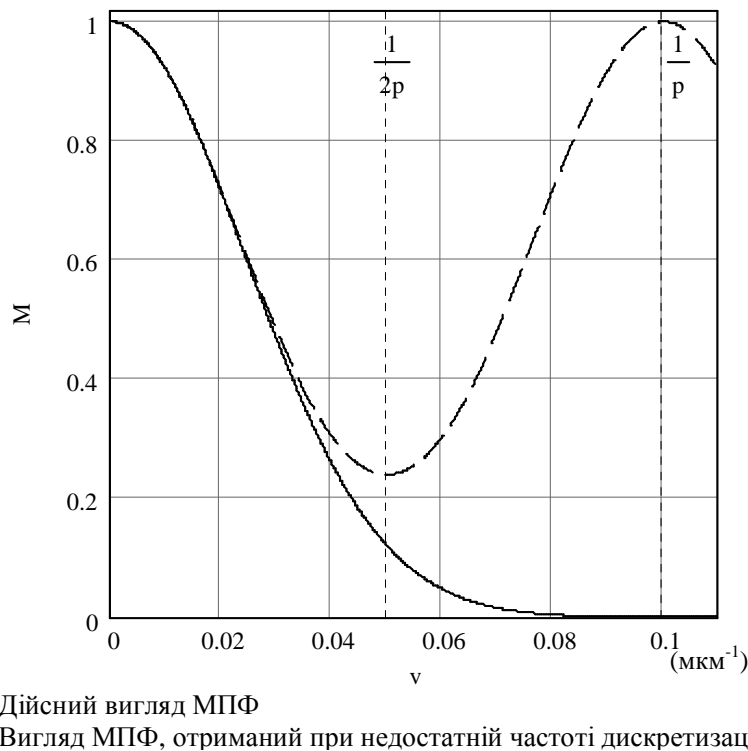


Рисунок 1 – Явище накладення просторового спектру при вимірюванні модуляційної передавальної функції

Одним з засобів зменшення впливу цього фактору на точність вимірювання стенду є використання мікрооб'єктиву, що “розтягує” зображення тест-об'єкту по більшій кількості чутливих елементів, і за певних умов не вносить власних похибок у вимірювану МПФ.

При збільшенні зображення мікрооб'єктивом частота дискретизації відповідно зростає в β разів, де β – збільшення мікрооб'єктиву. Тоді максимальна частота, яка може бути присутня в спектрі, становитиме [3]: $\nu_n = \frac{\beta}{2p}$. Але у деяких

випадках використання мікрооб'єктиву необхідного збільшення неможливе, наприклад у ближній інфрачервоній ділянці спектру, де номенклатура об'єктів або обмежена, або вони мають центральне екранування, що неприпустимо. Авторами запропоновано вирішення цієї проблеми методом мікросканування. Поставлена у статті задача розв'язується шляхом комп'ютерного моделювання.

Основні теоретичні положення

Згідно запропонованого методу під час вимірювань ЛППЗ покроково зсувається на частину розміру чутливого елемента. Цей метод дозволяє збільшити частоту дискретизації у декілька разів. Тоді максимальна частота, яка може бути присутня в МПФ об'єктиву, що досліджується, така, котра не вносить похибок у вимірювання визначається формулою:

$$\nu_{\max} = \nu_n = \frac{\beta S}{2p}, \quad (1)$$

де S – кількість зсувів.

Покажемо, що це дійсно так. Дискретну вибірку значень освітленості в зображенні, котрі знімаються за допомогою ЛППЗ можна представити у вигляді ґратки δ -функцій, вузли якої розташовані у центрах чутливих елементів і мають величину знятого з чутливого елемента сигналу q_n . Тоді послідовність, що описує сигнал ЛППЗ, запишеться як сума добутків значень сигналу та зсунутої δ -функції. А для покрокового мікросканування ми будемо мати декілька таких сум:

$$Q(x) = \sum_{n=0}^{N-1} q_n \delta(x - np) + \sum_{n=0}^{N-1} q_n \delta(x - np - \frac{p}{S}) + \sum_{n=0}^{N-1} q_n \delta(x - np - 2\frac{p}{S}) + \dots + \sum_{n=0}^{N-1} q_n \delta(x - np - (S-1)\frac{p}{S}) = \sum_{n=0}^{NS-1} q_n \delta(x - n\frac{p}{S}).$$

Тобто крок слідування δ -функцій у ґратці зменшується і відповідно збільшується частота дискретизації.

Над такою вибіркою можна здійснити дискретне перетворення Фур'є, що описується виразом [4]:

$$\hat{F}[m] = \sum_{n=-N/2}^{N/2-1} Q[n] \exp\left(-\frac{2\pi i n m}{N}\right), \quad m = -\frac{N}{2}, -\frac{N}{2} + 1, \dots, \frac{N}{2} - 1.$$

і, нормуючи таку послідовність відносно значення $\hat{F}[0]$, отримати значення шуканої МПФ.

Однак, слід зазначити, що значення сигналу q_n для кожного чутливого елемента є інтегрованим по площі цього елемента. Це спричиняє додаткову похибку в результуючому виразі нормованого Фур'є перетворення окрім похибки дискретизації. Таке інтегрування можна описати за допомогою згортки функції

розподілу чутливості всередині одного елемента $h(x)$ з функцією розсіювання лінії $A(x)$. Тоді значення сигналу в центрі чутливого елемента з номером n буде дорівнювати:

$$q_n = h(np) \otimes A(np).$$

Таким чином дискретне перетворення Фур'є цієї послідовності дорівнюватиме добутку Фур'є перетворень цих двох функцій:

$$\mathfrak{Z}\{q_n\} = \mathfrak{Z}\{h(x)\} \cdot \mathfrak{Z}\{A(x)\}.$$

Фур'є перетворення функції $A(x)$ є шуканою МПФ об'єктиву, що досліджується, за яку можна прийняти отримані значення $\mathfrak{Z}\{q_n\}$, якщо вплив функції $h(x)$ незначний, або ввести корегуючий коефіцієнт, що дорівнює

$$K = \frac{1}{\mathfrak{Z}\{h(x)\}}. \text{ Тоді добуток } \mathfrak{Z}\{q_n\} \cdot K \text{ і буде шуканою МПФ.}$$

Функція розподілу чутливості в середині одного елемента в найпростішому випадку з точністю до постійного коефіцієнту може бути представлена прямокутною функцією. А її Фур'є перетворення визначається *sinc*-функцією. Графік цієї функції приведено на рис. 2. Як видно з графіка в точках $\nu = \frac{\beta}{p} \cdot k, k \in Z$

функція *sinc*(ν) набуває нульового значення, що призводить до різкого наростання коефіцієнту $K(\nu) = \frac{1}{\text{sinc}(\nu \cdot p / \beta)}$ в околі цих точок і, якщо вводиться корегуючий коефіцієнт, то слід виключити такі точки з корекції.

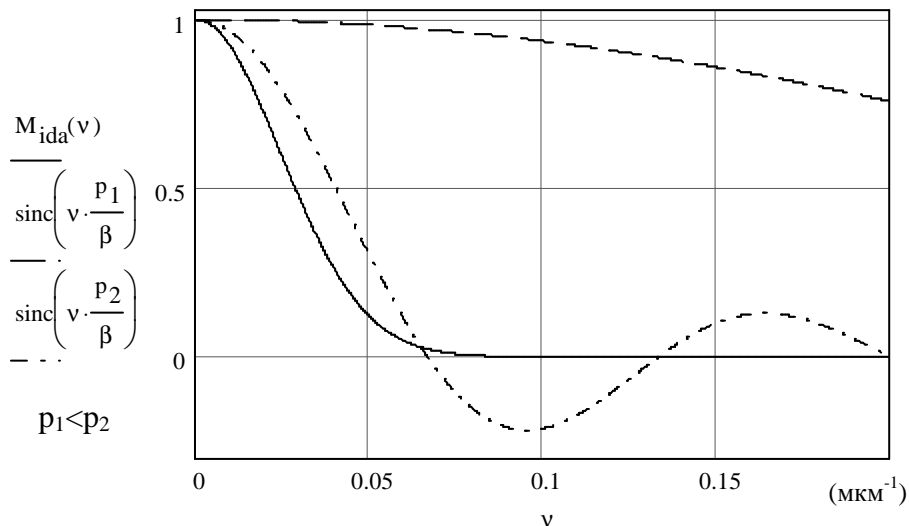


Рисунок 2 – Спектри функції чутливості одного елемента для двох різних розмірів чутливих елементів у порівнянні з МПФ об'єктиву, що досліджується

З формули (1) можна знайти кількість зсувів, котрі необхідно здійснити для того, щоб стэнд розділяв частоту ν_{\max} :

$$S = \text{round}\left(\frac{\nu_{\max} \cdot 2p}{\beta}\right), \quad (2)$$

де $round(x)$ – функція, що відкидає дробову частину x .

Як відомо МПФ абераційного об'єктиву не перевищує МПФ дифракційно-обмеженого. Для дифракційно-обмеженого об'єктиву ФР можна апроксимувати функцією Гауса з врахуванням радіусу кружка Ері, що можна врахувати і при одномірному моделюванні. Відповідно можна знайти й МПФ цієї апроксимації у аналітичному вигляді. Таким чином, врахувавши вирази для апроксимацій ФР та МПФ дифракційно-обмеженого об'єктиву, можна записати остаточний вираз для максимальної частоти, що може бути присутня в спектрі ФР:

$$\nu_{\max} = 1,1 \frac{D/f'}{\lambda}.$$

Підставляючи отримане значення у формулу (2) для визначення мінімально необхідної кількості кроків отримаємо:

$$S = round\left(1,1 \frac{D/f'}{\lambda} \cdot \frac{2p}{\beta}\right). \quad (3)$$

Обмеження по кількості елементів спричиняє дискретність відліків ОПФ з періодом $1/Np$. Однак при недостатньо великій виборці легко збільшити кількість елементів, доповнивши вибірку елементами з нульовими відліками, що дозволяє звести нанівець цей тип похибки.

Методика та обговорення результатів комп'ютерного моделювання

Моделювання проводилось при наступних числових даних:

- робоча довжина хвилі: $\lambda = 1,2$ мкм;
- відносний отвір об'єктиву, що досліджується: $D/f' = 1:4$;
- радіус кружка розсіювання Ері: $r_{er} = 5,856$ мкм;
- збільшення мікрооб'єктиву: $\beta = 1$;
- параметри ЛППЗ:
- відстань між елементами: $p = 20$ мкм;
- кількість елементів: $N = 512$;
- розподіл чутливості всередині елемента: $h(x) = rect(x/p)$;
- кількість кроків мікросканування: $S = 4$;
- розмір кроку: $sdv = p/S = 4$ мкм.

Значення сигналу, що знімається з ЛППЗ, з точністю до постійного множника приведені на рис. 3 у співвідношенні з апроксимованою ФР у площині ЛППЗ. У зв'язку з цим $f(x)$ відображає апроксимовану функцію розсіювання, FRL – значення на виході ЛППЗ без здійснення мікросканування та FRLz – значення на виході ЛППЗ при здійсненні чотирьох крокового мікросканування.

Під час моделювання було досліджено можливість підвищення точності визначення МПФ при здійсненні мікросканування. Тобто, змінюючи кількість кроків мікросканування при сталих вихідних параметрах, були визначені відповідні МПФ. Таким чином внаслідок числового моделювання отримані чотири послідовності МПФ: $M_{ida}(\nu)$ – значення МПФ, що отримані згідно з аналітичним виразом Фур'є перетворення апроксимації ФР; $M(\nu)$ – значення МПФ без здійснення мікросканування; $Mz(\nu)$ – значення МПФ при

мікроскануванні з відповідною кількістю кроків; $M_{cor}(v)$ – значення МПФ при мікроскануванні та з введенням корегуючого коефіцієнту.

На рис. 4 приведені співвідношення цих МПФ при двокроковому мікроскануванні. При цьому видно, що така кількість кроків не забезпечує достатнього підвищення точності вимірювання МПФ.

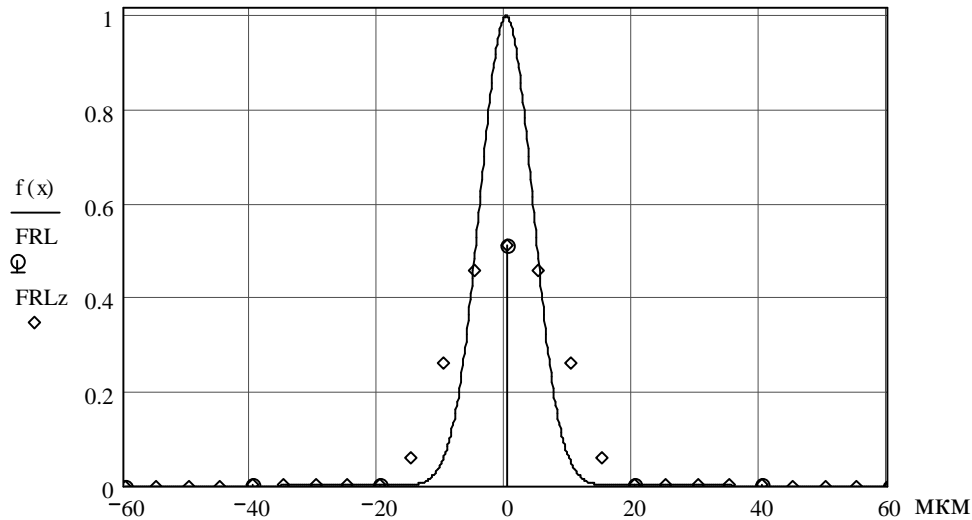


Рисунок 3 – ФР в площині ЛППЗ та значення на виході ЛППЗ без мікросканування та з мікроскануванням

На рис. 5 приведені результати, отримані при чотирьохкроковому мікроскануванні. Така кількість кроків розрахована за формулою (3) при числових даних прийнятих для моделювання і відповідає мінімально необхідній кількості кроків для даного випадку. На рис. 6 приведена похибка визначення МПФ відносно аналітичного виразу. З цих рисунків видно, що дана кількість кроків мікросканування є достатньою та значно підвищує точність визначення МПФ.

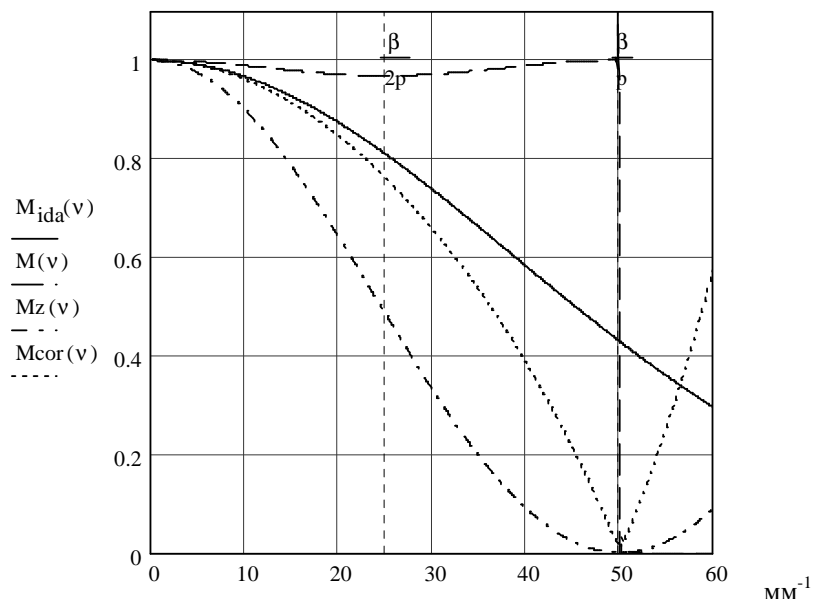


Рисунок 4 – Вигляд МПФ при двокроковому мікроскануванні у порівнянні з аналітичною МПФ

Аналіз залежностей, приведених на рис. 5,6, свідчить про те, що збільшення кількості кроків мікросканування до числа мінімально необхідної кількості зводить похибку визначення МПФ до нехтовно малої величини. Для порівняння слід відзначити, що похибка визначення МПФ при двокроковому мікроскануванні

складає, наприклад, 0,2 відн. од. на частоті $\nu = 40 \text{ мм}^{-1}$ (див. рис. 4), а взагалі при відсутності мікросканування на тій самій частоті вона складає 0,45 відн. од.

Таким чином комп'ютерне моделювання підтвердило ефективність використання мікросканування для підвищення точності визначення МПФ. Визначення мінімально необхідної кількості кроків за формулою (3) дозволить зменшити час вимірювання, а в деяких випадках й спростити конструкцію пристрою високоточного позиціонування з використанням крокових або п'єзодвигунів.

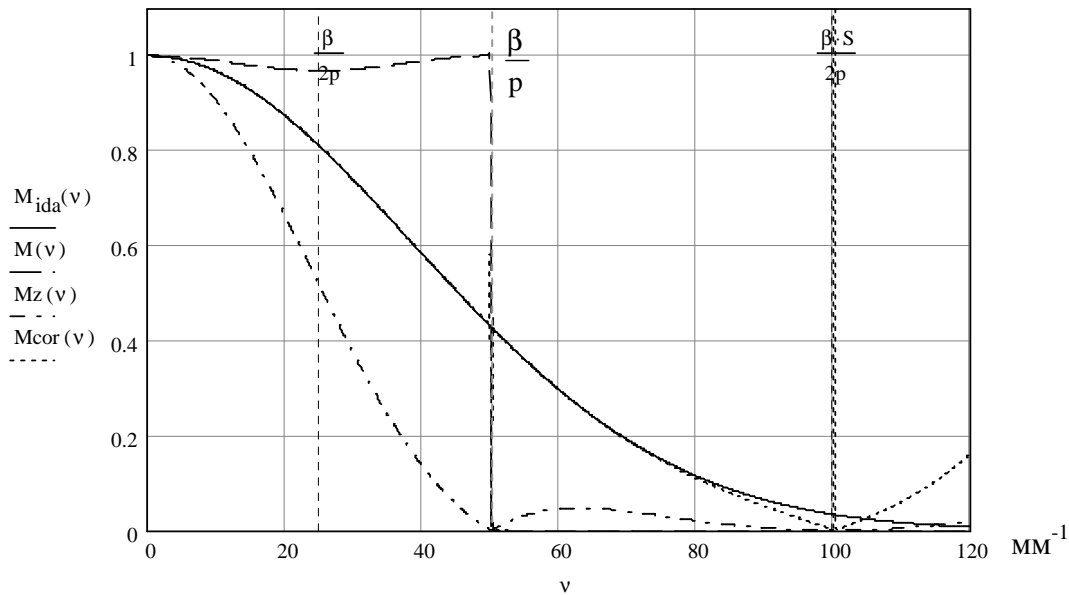


Рисунок 5 – Вигляд МПФ при чотирьох кроковому мікроскануванні у порівнянні з аналітичною МПФ

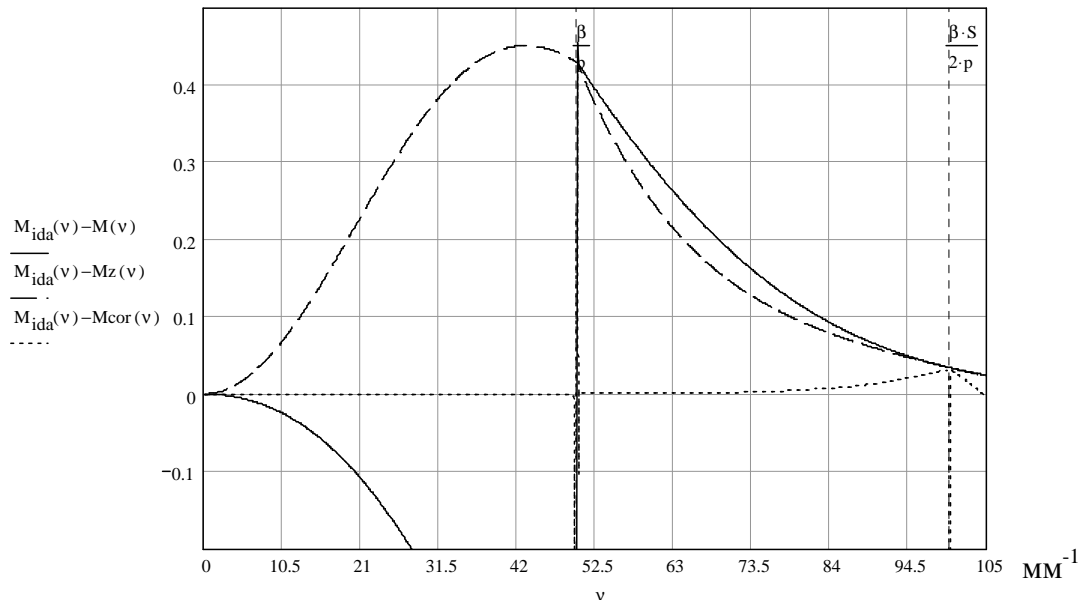


Рисунок 6 – Похибка визначення МПФ при чотирьох кроковому мікроскануванні

Висновки

Проведені авторами дослідження підтвердили можливість використання мікросканування фотоприймальним пристроєм з ЛППЗ зображення ФР з метою підвищення точності вимірювання розподілу освітленості у її межах. Це, в свою чергу, сприятиме підвищенню точності обчислення МПФ об'єктів, що досліджуються. Запропонована методика дозволить розв'язати проблему визначення МПФ інфрачервоних об'єктів, роздільна здатність яких суттєво більша, ніж роздільна здатність багатоелементних фотоприймачів запропонованих на світовому ринку. Подальші дослідження в цьому напрямку будуть напрямлені на оцінку можливості використання крокових та п'єзодвигунів для здійснення прицензійного покрокового мікросканування фотоприймальним пристроєм з ЛППЗ.

Література

1. Кучеренко О.К. та ін. Вимірювально-обчислювальний комплекс для контролю якості об'єктів // Вісник НТУУ "КПІ". Приладобудування. – 2003. – № 25. – С. 38 – 45.
2. Мирошников М. М., Теоритические основы оптико-электронных приборов. – М.: Машиностроение, 1977. – 600 с.
3. Кучеренко О.К., Савекін А.В. Визначення параметрів вузла фотометрування в стенді вимірювання ОПФ об'єктів // Вісник НТУУ "КПІ". Приладобудування. – 2003. – № 26. – С. 5 – 11.
4. Великотный М.А., Петрас С.В. Принципиальные аспекты измерения ОПФ с помощью дискретного самосканирующего фотоприемника // Опт. журнал – 1994. – № 9. – С. 50 – 55.

| | |
|--|---|
| Кучеренко О.К., Кучеров Е.В. Точность определения МПФ объективов фотоприемным устройством с ЛППЗ Рассматривается влияние дискретности фоточувствительных элементов ЛППЗ на точность определения МПФ объективов. Предложен метод повышения точности измерений путем микросканирования линейным фотоприемником в плоскости изображения | Kucherenko O.K. KucheroV E.V. Accuracy of determination MTF of lens with optical detector based on linear CCD Examining the influence of linear CCD's photosensitive elements discreteness on accuracy of determination lens MTF. Suggested the method of increasing measuring accuracy by the way of microscanning with linear optical detector in image plain |
|--|---|

Надійшло до редакції
23 червня 2005 року

УДК 621.384.326

ПІДВИЩЕННЯ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ТЕПЛОВІЗІЙНИХ І ТЕЛЕВІЗІЙНИХ СИСТЕМ

¹⁾Демченко Л.І., ²⁾Колобродов В.Г., ¹⁾ Стефанович В.Т., ¹⁾Трандаш М.М. ¹⁾ Науково-дослідний інститут «Квант», ²⁾ Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна

Запропоновано визначати просторову роздільну здатність оптико-електронних систем спостереження новим параметром – геометричною шумовою смугою пропускання. Підвищення роздільної здатності тепловізійних і телевізійних систем досягається шляхом узгод-