

УДК:621.383.7

ТОПОЛОГИЯ И РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ КМОП- И ПЗС-СЕНСОРОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Старинская А.И., Терлецкий А. В.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
Киев, Украина

В последнее время в качестве датчиков видео информации в системах технического зрения (СТЗ) широкое распространение получили КМОП- и ПЗС-сенсоры изображения. Достоинством таких интегральных сенсоров изображения является создание на фоточувствительной поверхности упорядоченного множества оптоэлектронных элементов с параллельно-последовательной обработкой входной оптической информации. Важным этапом проектирования СТЗ является выбор сенсора изображения, который бы удовлетворял требования конкретной области применения. Однако это усложнено еще и тем что, КМОП- и ПЗС- сенсоры изображения имеют возможность достаточно гибко изменять режимы и форматы преобразования оптического изображения, что существенно сказывается на параметрах преобразования оптического изображения в выходной электрический сигнал. При выборе сенсора изображения одним из определяющих параметров является разрешающая способность СТЗ, которая определяется по ее контрастно-частотной характеристике (КЧХ) количеством пар линий на миллиметр при заданной глубине модуляции видеосигнала.

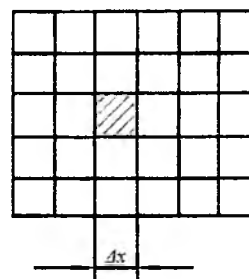
Структура КМОП- и ПЗС-сенсоров изображения и их физико-топологические параметры удовлетворяют условиям линейности и инвариантности, что дает возможность определить КЧХ сенсора изображения с помощью преобразования Фурье по отклику фоточувствительного пикселя на точечный источник света. Оптическая фильтрация входного оптического изображения обусловлена конечные размеры пикселя Δx и параметрами функции распределения интенсивности в изображении точечного источника света, прошедшего через оптическую систему на фоточувствительную поверхность сенсора изображения [2]. Функция отклика пикселя на точечный источник света $K(x)$ является импульсной характеристикой сенсора изображения, и может быть рассчитана как результат свертки функции чувствительности пикселя сенсора изображения $S(x)$ и функции рассеяния точечного источника света $P(x)$ в плоскости сенсора изображения.

Наименьшим элементом разложения оптического изображения является пиксель фоточувствительной матрицы сенсора изображения (рис.1). Световой поток, который приходится на пиксель, усредняется по его поверхности и чув-

ствительность поверхности пикселя можно задать прямоугольной функцией:

$$S(x) = \begin{cases} 1, & |x| \leq \frac{\Delta x}{2}, \\ 0, & |x| > \frac{\Delta x}{2}. \end{cases} \quad (1)$$

где Δx – размер пикселя.



ширина пикселя сенсора изображения

Рисунок 1 – Фрагмент фоточувствительной матрицы сенсора изображения

ункцию рассеяния точки (ФРТ) или функцию распределения интенсивности точечного источника света $P(x)$ можно задать аппроксимирующей функцией [1]:

$$P(x) = \left(\frac{\sin(\pi x)}{\pi x} \right)^2, \quad (2)$$

Для перевода изображения точечного источника света в плоскость сенсора изображения нужно учесть параметры объектива. Диаметр первого максимума ФРТ, который называется диском Эйри, является функцией длины волны излучения, фокусного расстояния и апертуры диафрагмы объектива. Имея эти данные можно определить размер радиуса фокусного пятна в плоскости сенсора изображения по формуле [4]:

$$r = 1,22 \frac{\lambda f}{d} \text{ [мм]},$$

где λ - длина волны излучения; $\frac{f}{d}$ - диафрагменное число, f и d фокальное расстояние и диаметр апертуры объектива соответственно. Поскольку радиус первого максимума ФРТ по формуле (2) принимают равным 1 мм [1], то для перевода ФРТ в плоскость сенсора изображения с учетом параметров объектива необходимо ввести коэффициент $\frac{1}{r}$ в аргумент ФРТ. Тогда функция

рассеяния точечного источника света в плоскости сенсора изображения будет иметь вид:

$$P(x) = \left(\frac{\sin((\pi x)/r)}{(\pi x)/r} \right)^2 \quad (3)$$

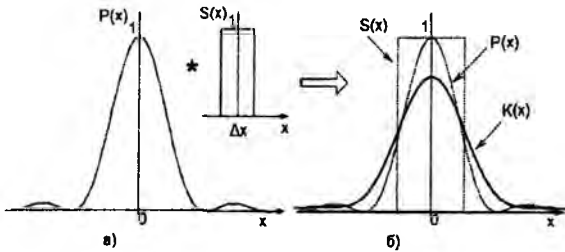


Рисунок 2 – Определение импульсной характеристики сенсора изображения K(x)

С учетом геометрических размеров пикселя Δx и функции распределения интенсивности точечного источника света $P(x)$ импульсный отклик сенсора изображения на точечный источник света будет иметь вид:

$$K(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} S(x-y) \left(\frac{\sin((y\pi)/r)}{(y\pi)/r} \right)^2 dy \quad (4)$$

Физический смысл операции свёртки (рис.2.) заключается в сопоставлении функции чувствительности пикселя сенсора изображения с функцией рассеяния точки, в результате чего получаем отклик пикселя сенсора изображения на точечный источник света. Рассматривая отклик сенсора изображения на точечный источник света как импульсную характеристику сенсора изображения, через преобразование Фурье переходим к его частотно-контрастной характеристике.

Нормированная КЧХ сенсора изображения имеет вид:

$$KCH(\omega_x) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} K(x)e^{-i\omega_x x} dx}{\int_{-\infty}^{\infty} K(x) dx} \quad (5)$$

где ω_x - пространственная частота;

Поскольку при проектировании СТЗ интерес представляет разрешающая способность в области объекта, то необходимо перейти от пространственной частоты в плоскости сенсора изображения к пространственной частоте в области объекта. Это осуществляется с помощью масштабного коэффициента β , который определяется отношением размера поля зрения в плоскости объекта к размеру активного окна сенсора изображения[3]:

$$\beta = \frac{\text{поле зрения}}{\text{размер сенсора}} \quad (6)$$

С учетом масштабного коэффициента β получаем КЧХ СТЗ в плоскости объекта в виде:

$$KCH(\omega_x) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} K(x)e^{-i\omega_x \beta x} dx}{\int_{-\infty}^{\infty} K(x) dx} \quad (7)$$

В соответствии с данной методикой в программе Matlab была определена КЧХ (рис.3) СТЗ на основе сенсора изображения КАС-9638 и объектива, паспортные параметры которых приведены в табл. 1:

Таблица 1 –Параметры для расчета КЧХ СТЗ

Наименование сенсора изображения	КАС-9638
Размер пикселя	6 мк
Размер матрицы	6,2x7,7мм
Размер поля зрения	22x16,5 см
Диафрагменное число объектива	1,4
Длина волны	550нм
Диаметр диска Эйри	$9,4 \cdot 10^{-6}$ мм

Полученная КЧХ (рис.3) позволяет оценить разрешающую способность СТЗ в плоскости объекта в количестве пар линий на миллиметр с учетом топологии выбранного сенсора изображения, формата оптико-электрического преобразования информации, а также с учетом параметров объектива.

Рассмотренная в статье методика определения КЧХ СТЗ на основе КМОП- и ПЗС-сенсоров изображения позволяет в среде Matlab предварительно без физического макетирования оценить разрешающую способность проектируемой СТЗ, на основании чего можно выбрать сенсор изображения, параметры преобразования оптического сигнала в котором с учетом режима преобразования и параметров оптической системы удовлетворяли бы требованиям конкретной области применения СТЗ. Это позволяет существенно сократить время и затраты на проектирование и разработку систем технического зрения на основе КМОП- и ПЗС- сенсоров изображения.

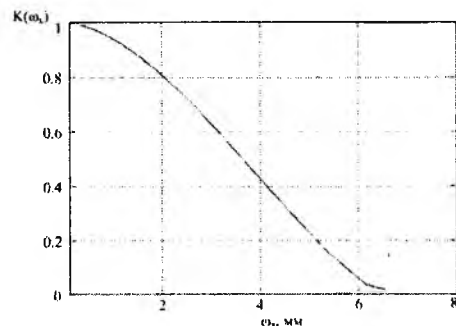


Рисунок 3 – КЧХ характеристика СТЗ на основе КМОП-сенсора изображения КАС-9638

1. Handbook of Machine [Text]/ edited by Hornberg, Alexander. - VisionWiley-VCH.-2010. - 798 p.
2. Терлецкий А.В. Формирование уравнений математических моделей запоминающих ЭЛТ./Терлецкий А.В.//Автоматизация проектирования в электронике. - 1984. - выпуск 30. - с. 124-131.
3. Никитин В. В. Телевидение в системах физической защиты [Текст]: учеб.-метод. пособие/ Никитин В. В, Цицулин А. К. - СПб: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2001. – 132 с.
4. Modulation Transfer Function in Optical and Electro-Optical System [Text]/ Boreman Glenn. D. - SPIE PRESS.-2001. – 423 p.

УДК 537.634.2

ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Степаненко Д.А.¹, Богданчук К.А.¹, Минченя В.Т.¹, Луговский С.Н.²

¹Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

²ГНУ «Институт порошковой металлургии», Минск, Республика Беларусь

Измерение магнитострикционных свойств материалов является актуальной прикладной проблемой в связи с широким использованием эффектов прямой и обратной магнитострикции в технике и научных исследованиях. В частности, эффект прямой магнитострикции применяется в прецизионных приводах для создания микро- и наноперемещений, а эффект обратной магнитострикции – в датчиках различных физических величин, например, механических сил и напряжений. В обоих случаях при проектировании и расчете характеристик привода или датчика требуется информация о магнитострикционных свойствах используемых в них материалов. Основной сложностью при измерении магнитострикционных свойств материалов является необходимость регистрации очень малых деформаций (в случае эффекта прямой магнитострикции) или изменений намагниченности (в случае эффекта обратной магнитострикции). Наибольшие технические сложности возникают при необходимости исследования характеристик материалов со слабо выраженными магнитострикционными свойствами. Авторами ранее были предложены способ применения эффекта обратной магнитострикции для измерения пространственного распределения параметров колебаний в ультразвуковых волноводных системах, изготавливаемых из нержавеющей стали со слабыми магнитострикционными свойствами, [1] и способ измерения магнитострикционных свойств материалов, основанный на возбуждении в исследуемом образце стоячей ультразвуковой волны и регистрации возникающего при колебаниях образца магнитного поля [2]. Для подтверждения достоверности результатов, полученных с помощью вышеупомянутых методов измерений, могут быть использованы различные прямые методы измерения магнитострикционных деформаций, в частности, метод атомно-силовой микроскопии (АСМ), особенности применения которого рассматриваются в данной работе.

Преимущество использования АСМ для измерения малых деформаций состоит в высокой разрешающей способности метода: у современных атомно-силовых микроскопов она достигает 0,1 нм. В частности, в работе [3] описана возможность применения АСМ для измерения магнитострикционных свойств технически чистой меди, относящейся к классу парамагнитных материалов, для которых не характерно наличие магнитострикционных эффектов.

Исследования проводились с использованием атомно-силового микроскопа NT-206 ОДО «Микротестмашины» (Республика Беларусь) на образцах из никеля с чистотой 99,7 % (химический анализ выполнен в Центре исследования и испытания материалов (ЦИИМ) ГНУ «Институт порошковой металлургии»). Никель был выбран в качестве тестового материала для проведения исследований, так как обладает сильно выраженными магнитострикционными свойствами. Из никелевой проволоки диаметром 2,15 мм вырезали образец длиной около 10 мм. Для обеспечения плоскопараллельности торцовых поверхностей образца его фиксировали с помощью воска в отверстии, выполненном в стальной пластине, после чего пластина подвергалась двустороннему шлифованию на плоскошлифовальном станке с использованием смазочно-охлаждающей жидкости. После шлифования пластина подвергалась двусторонней обработке с помощью шлифовальных шкур с зернистостью до Р2000 и полировке пастой ГОИ на войлочном полировальнике. После полировки образец извлекали из отверстия в пластине путем нагрева и очищали от воска бензином. Образец фиксировали на плоскопараллельной кремниевой подложке размером около 20×30 мм с помощью шеллака, после чего на этой же подложке фиксировали с помощью пластилина катушку для создания магнитного поля. В центре катушки было выполнено отверстие диаметром около 3 мм, в котором располагался исследуемый образец. В