

что микроконтроллер, обрабатывая один импульс, не реагирует на приход следующего импульса, пока не закончится обработка предыдущего. Задача повышения точности обработки выходного сигнала с датчика заключается в том, что необходимо разгрузить микроконтроллер и передать функцию счета и сортировки импульсов какому-либо периферийному устройству.

Представляется целесообразной разработка этих периферийных устройств на основе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС). ПЛИС фирмы ALTERA отличаются тем, что в них можно реализовать до 1500 логических элементов, что позволяет реализовать требуемое количество счетчиков, и существенно уменьшить линейные размеры печатной платы. Очень важной особенностью проектирования электронных устройств на базе ПЛИС является то, что разработчик может в дальнейшем и в короткие сроки провести модернизацию своего устройства, уже переданного заказчику, не работая на месте непосредственно с самим устройством, а выслав заказчику файл прошивки ПЛИС, определяющий порядок функционирования устройства. Одним из наиболее перспективных направлений в разработке электронных устройств на базе ПЛИС является использование шины PCI персонального компьютера. Такое устройство выглядит как обычная видео карточка, но выполняет функции заложенные в него разработчиком. ПЛИС фирмы XILINX уже имеют в своей структуре встроенный контроллер PCI, что упрощает процесс проектирования электронных устройств.

УДК 621.37/39

МОДЕЛЬ ПЗС-ДАТЧИКА СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЫЛЕВОЙ КОМПОНЕНТЫ ВНЕШНЕЙ АТМОСФЕРЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Барышев Е.Ю., Воронов К.Е., Богоявленский Н.Л.

Проблема влияния пылевых частиц размером несколько микронметров встает очень остро при проведении исследований дальнего космоса. Эти частицы создают реальную помеху для работы высокочувствительных оптических приборов, создавая световой поток, превышающий светимость дальних звезд. В связи с этим необходимо проводить исследования параметров частиц собственной внешней атмосферы (СВА) космических аппаратов (КА) с целью выяснения уровня помех, который они могут создать в том или ином эксперименте, и для снижения запыленности ответственных электронных и оптических приборов.

Функционально оптико-электронная система для регистрации и измерения параметров пылевой компоненты СВА КА состоит из трехканального оптико-электронного датчика и микропроцессорного блока обработ-

ки данных. Оптико-электронный датчик представляет собой три ПЗС матрицы с оптическими фокусирующими системами (рисунок 1).

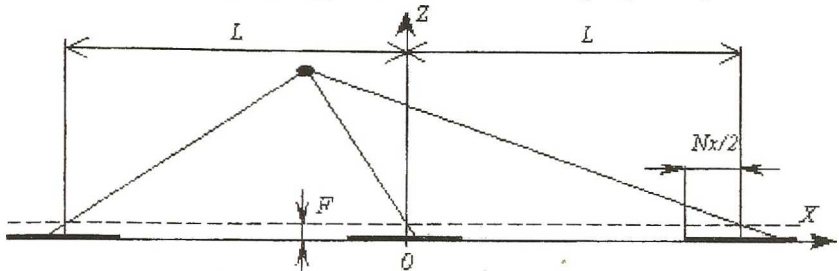


Рисунок 1 – Оптическая схема приемной части системы для одной строки.

Матрицы расположены на одной линии на некотором расстоянии друг от друга, которое определяет рабочую зону системы и точность получаемых параметров. В состав системы входит также осветитель в виде импульсной лампы с отражателями.

Принцип работы системы описан в [1]. Здесь же будет рассмотрена модель регистрации частиц с помощью ПЗС-матриц, т.е. будет получена зависимость напряжений на выходах ПЗС-матриц от положения пылевых частиц в исследуемом объеме.

Передающая система (осветитель), имеющая силу излучения источника I_{e0} , направляет поток лучей на объект (пылевую частицу), находящийся на расстоянии l_1 от нее. Часть потока, отраженная от частицы, попадает на входной зрачок приемной системы площадью $A_{вх}$, которая находится на расстоянии l_2 от частицы. В общем случае условия прохождения светом расстояний l_1 и l_2 могут быть не одинаковы, то коэффициенты пропускания среды на единицу длины по пути l_1 и l_2 обозначаются соответственно τ_{c1} и τ_{c2} .

Осветитель создает световой поток E_e в исследуемом объеме [2/

$$E_e = \tau_{c1} I_{e0} / l_1^2 \quad (1)$$

где $l_1 = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$, x, y, z – координаты частицы относительно точки пересечения плоскости изображений и оптической оси центральной матрицы.

После отражения света частицу можно рассматривать как излучатель для приемной системы. Его яркость будет равна

$$L_e = r_\alpha E_e / \pi \quad (2)$$

где r_α коэффициент яркости пылевой частицы. Для диффузного ламбертова отражателя он равен коэффициенту отражения поверхности.

Световой поток, поступающий на вход приемника

$$\Phi_e = \tau_{c2} L_e A_2 A_{вх} / l_2^2, \quad (3)$$

где A_2 – площадь отражающей поверхности частицы.

Подставляя в (3) выражения из (1) и (2), получим:

$$\Phi_e = \frac{\tau_{c1} \tau_{c2} r_\alpha A_2 A_{\text{вх}} I_{e0}}{\pi l_1^2 l_2^2} \quad (4)$$

Положение изображения частицы на плоскостях ПЗС-матрицы будет определяться из следующих выражений:

$$X_1 = (x-L) V_{об}; \quad X_2 = x V_{об}; \quad X_3 = (x+L) V_{об};$$

$$Y_{1,2,3} = y V_{об},$$

где $V_{об} = f/(z-f)$ - линейное увеличение объектива;

(X_1, Y_1) , (X_2, Y_2) , (X_3, Y_3) – координаты изображений частиц на ПЗС-матрицах 1, 2 и 3 соответственно; начало координат – центр матрицы.

Для дальнейших расчетов координаты частиц необходимо перевести в систему координат матрицы с началом в левом нижнем углу и провести пространственную дискретизацию изображения с шагами по осям dx и dy , равных размеру чувствительного элемента матрицы (пикселя). Т.е. необходимо образовать массив с числом элементов $N_x \times N_y$ (количество пикселей по осям), значения которого представляют собой световые потоки от частиц, вычисленные по формуле (4). При этом часть изображений частиц с координатами, не попадающими на чувствительную поверхность матрицы, т.е. в диапазон $(0 \dots dx \cdot N_x; 0 \dots dy \cdot N_y)$, будут потеряны.

При освещении ПЗС-матрицы световым потоком Φ_e в ячейках матрицы будет накапливаться заряд, пропорциональный этому потоку/3/:

$$Q = e \Phi_e \eta t \, dx \, dy, \quad (5)$$

где e – заряд электрона;

η - квантовый выход материала ПЗС-матрицы;

t – время облучения световым потоком.

Напряжение на выходном транзисторе матрицы:

$$U = Q/C_V \quad (6)$$

где C_V – емкость выходного транзистора.

По приведенным выше формулам был проведен расчет в системе Mathematica 3.0. Для исследования генерировалась область, в которой находилось 50 частиц размером 10-1000 мкм с равномерным распределением по размерам и трем координатам положения (рисунок 2).

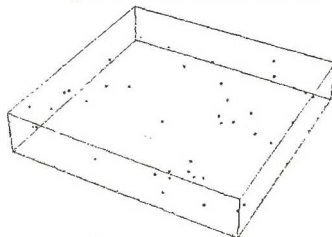


Рисунок 2 – Положение пылевых частиц в исследуемом объеме.

Затем производился расчет положения изображений частиц в плоскостях ПЗС-матриц (рисунок 3) совместно с расчетом светового потока от них.

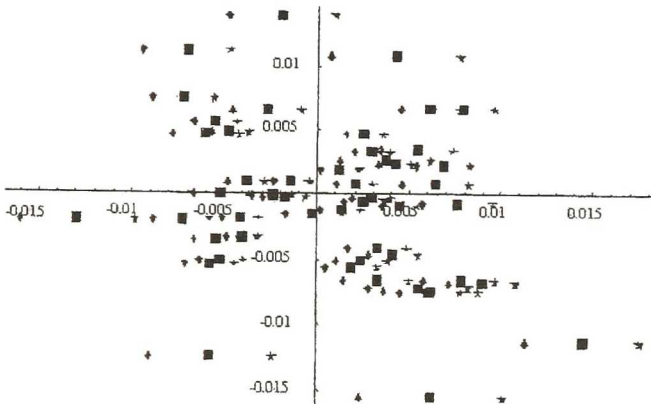


Рисунок 3 – Распределение изображений частиц по плоскостям изображений ПЗС-матриц (♦ - камера 1, ★ - камера 2, ■ - камера 3)

При дискретизации и ограничении изображений из 50 частиц на первой камере остались 36 изображений частиц, на второй – 37, на третьей – 38 (рисунок 4).

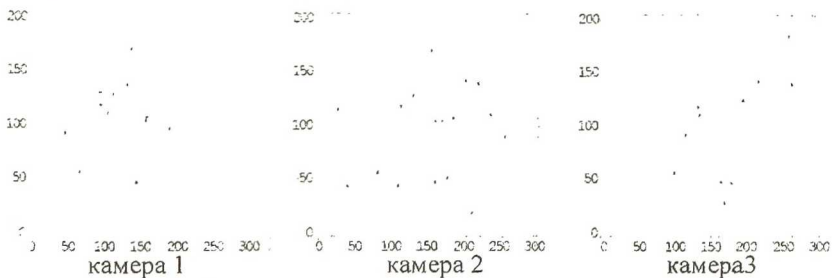


Рисунок 4 – Распределение изображений частиц по ячейкам ПЗС-матриц.

Считывание информации с матрицы ведется по строкам, начиная с нижней, при этом первый элемент строки находится справа. При этом получается одномерный массив значений напряжений в ячейках матриц. На рисунке 5 показана зависимость напряжения на выходе матриц 300x200 элементов от номера ячейки.

Наблюдаемый на графиках сдвиг изображения от камеры к камере объясняется геометрией измерительной системы. Также на графиках видна зависимость напряжения от дальности до частицы и ее размера. Путем восстановления трехмерных координат частицы по трем кадрам может быть рассчитан ее диаметр по известному напряжению в соответствующих ячейках.

Построенная здесь модель идеализирована и нуждается в уточнении, в частности необходимо учитывать шумы ПЗС (фоновый заряд, шум переноса, ловушки, термогенерацию и т.д.), aberrации приемной оптической системы, фоновую засветку и отстройку от нее (например, модуляцией излучателя в виде светодиода), спектральные свойства отражения от частицы, и т.д. Поэтому модель является лишь первым приближением к полноценному расчету датчика.

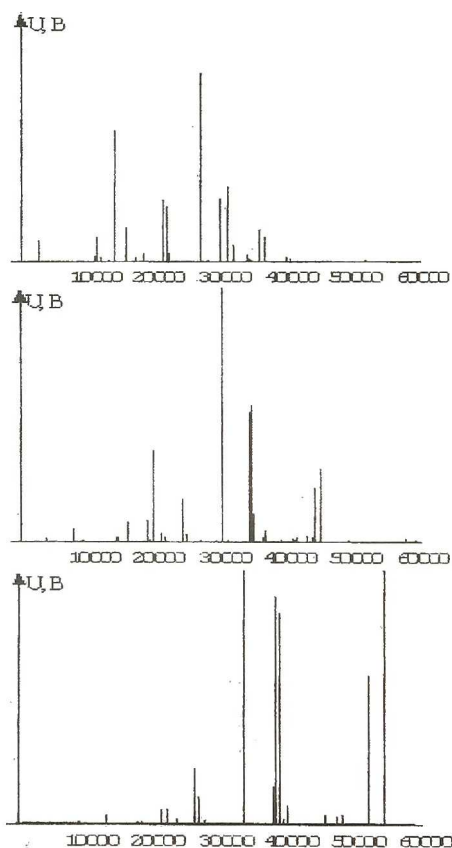


Рисунок 5 – Графики напряжений на выходах ПЗС-матриц.

Список использованных источников

1. Барышев Е.Ю., Семкин Н.Д. Система измерения параметров пылевой компоненты собственной внешней атмосферы космического аппарата. // Вестник СГАУ. Серия: Актуальные проблемы радиоэлектроники. Выпуск 5. – Самара, 2001.
2. Якушенков Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов – М.: Машиностроение, 1989.
3. Пресс Ф.П. Формирователи видеосигнала на приборах с зарядовой связью. – М.: Радио и связь, 1981.