

07;12

## Метод цветового кодирования двумерных координат событий для позиционно-чувствительных детекторов излучения

© Б.Г. Подласкин, Е.Г. Гук, Г.Ю. Сотникова

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург  
E-mail: bgp@holo.ioffe.ru

Поступило в Редакцию 27 ноября 2008 г.

Предлагается новый подход к методам определения координат событий, позволяющий определять координаты точки на плоскости в реальном времени с помощью фактически одноканальной системы считывания. В предлагаемом способе цветового кодирования в качестве признака каждого элемента площади приемной мишени используется его цвет как соотношение длин волн излучения его составляющих, который в каждой  $i$ -той точке плоскости находится во взаимно однозначном соответствии с координатами  $x_i, y_i$  этой точки на мишени.

PACS: 42.30.Sy

Проблема регистрации координат квантов света, ионизирующего излучения или заряженных частиц остается важной метрологической задачей. Необходимость создания и совершенствования двумерных позиционно-чувствительных датчиков актуальна для проведения прецизионных измерений как в научных исследованиях, так и в промышленности. Такие датчики широко используются в астрофизике, спектроскопии ядерных частиц, машиностроении, строительной индустрии, медицине (рентгеновской и позитронной томографии), а также в пороговых однофотонных системах обнаружения специального назначения.

Конструирование и применение позиционно-чувствительных двумерных датчиков сталкивается с необходимостью решения таких технических проблем, как возможность работы в реальном времени, высокая разрешающая способность, минимизация необходимого числа каналов вывода и обработки сигнала. Однако реализация этих требований в их совокупности наталкивается на существующие между ними про-

творечия. Так, требование работы в реальном времени предполагает использование системы параллельного считывания информации по множеству каналов, что при высоком разрешении (большом количестве пикселей) порождает значительные технические трудности, а в целом ряде случаев вообще невыполнимо.

В данной работе предлагается новый подход к методам определения координат событий, позволяющий считывать координаты точки на плоскости в реальном времени с помощью фактически одноканальной системы считывания.

С информационной точки зрения можно выделить следующие основные подходы к методам определения координат событий. Первый метод основывается на определении декартовых координат по проекциям сигнала на ортогональные оси  $X$  и  $Y$ . Примером такого подхода является использование двумерной регистрирующей мишени, составленной из дискретных приемных элементов так, что каждый из них подсоединен к выходным электронным устройствам с помощью шин, параллельных координатным осям  $X$  и  $Y$ . При этом требуется многоканальная система шин для вывода информации и многоканальное регистрирующее устройство [1].

Другим методом определения координат событий является последовательное считывание информации с массива элементов регистрирующей мишени таким образом, что каждый элемент приобретает признак в виде номера импульса во временной последовательности сигналов. Обычно такой метод осуществляется с помощью ПЗС-матриц, запоминающих сигнал и сканирующих все поле регистрирующей мишени. Такая процедура требует значительного времени и по определению является избыточной [2].

В настоящее время развитие оптоэлектронных систем считывания информации позволяет определять координаты событий на плоскости путем введения индивидуальных признаков единичного элемента регистрирующей мишени и тем самым установить взаимно однозначное соответствие между координатами событий и выходным сигналом. Основными требованиями, которые предъявляются к таким признакам, являются инвариантность к временным и энергетическим параметрам возбуждающего сигнала, хорошая расходимость признаков по полю (координатам) регистрирующей мишени, возможная простота алгоритма распознавания признака по параметрам выходного сигнала. Возможны различные способы формирования признаков в виде элементных штрих-кодов, обеспечивающих необходимую информационную полноту [3].

Известно использование штрихкодов в виде сочетания двух параметров изображения, таких как расположение реперных точек внутри единичного элемента и их размер или их расположение и цвет и др. [4]. В этом случае изображения всех элементов плоскости может быть сведено на одну ПЗС-матрицу с количеством считывающих элементов, соответствующим размерности единичных элементов. При этом размерность единичного элемента определяется необходимой информационной полнотой кодирования при заданной размерности регистрирующей мишени. Таким образом, эффективная размерность регистрирующей матрицы снижается в  $n^2$  раз, где  $n$  — необходимая для кодирования размерность единичного элемента. Использование последовательного считывания кодов требует не только дополнительного времени, но и достаточно сложного алгоритма распознавания координат единичных элементов при их большом количестве.

В предлагаемом нами способе определения координат событий на плоскости в качестве признака каждого элемента площади регистрирующей мишени используется его цвет как соотношение длин волн излучения его составляющих. Это соотношение длин волн может быть задано путем нанесения на мишень люминофоров различных типов, максимум излучения каждого из которых имеет различную длину волны. Эти материалы нанесены на плоскость так, что соотношения их концентраций в каждой  $i$ -той точке плоскости, а следовательно и „цвет“, находятся в однозначном соответствии с координатами  $x_i, y_i$  этой точки на мишени.

Попадание в некоторую точку мишени с координатами  $x_i, y_i$  кванта излучения вызывает люминесценцию, причем каждый из люминофоров излучает свет в своей спектральной области с интенсивностью, пропорциональной его концентрации в этой точке  $a_i, b_i, c_i, \dots, k_i$  соответственно. Если световой поток с мишени свести на фотоприемники с  $n$  селективными спектральными диапазонами чувствительности, согласованными со спектром излучения каждого люминофора, то в результате попадания излучения в любую точку плоскости формируются выходные сигналы  $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ . Эти сигналы по каналу связи вводятся в регистрирующее устройство, где они суммируются, так что  $S = \sum S_n$  и сигналы  $S_n$  нормируются на значение этой суммы. Величины  $S_n/S$  соответствуют концентрациям люминофоров в точке попадания частицы в мишень и тем самым содержат однозначную информацию о координатах события.

Возникает вопрос о необходимом и достаточном количестве используемых люминофоров для получения однозначной информации о координатах события инвариантно к энергии падающего излучения. Действительно, если бы эта энергия была постоянной, задача определения координат могла бы решаться с использованием 2 параметров, абсолютное значение которых достаточно для определения координат. Однако при неопределенности энергии падающего излучения использование абсолютных значений не обеспечивает взаимно однозначного соответствия между величиной выходных сигналов и координатами события на плоскости.

Можно показать, что введение третьего, определенным способом заданного параметра при нормировке сигналов на энергию излучения, пропорциональную  $S$ , снимает неопределенность в определении координат. При этом возникает задача нахождения законов взаимного распределения люминофоров, обеспечивающих однозначное определение координаты события инвариантно к его энергии, которая относится к общим вопросам кодирования информации [5].

Предположим, что концентрации всех трех люминофоров пропорциональны линейной комбинации координат. То есть концентрация  $a$  пропорциональна координате  $x$ , концентрация  $b$  пропорциональна координате  $y$ , а концентрация  $c$  пропорциональна проекции радиус-вектора мишени на ее главную диагональ  $c = r = Px + Qy$ . Тогда  $S_1 = Sx$ ;  $S_2 = Sy$ ;  $S_3 = SxP + SyQ$ , что приводит к нарушению взаимной однозначности между наборами  $(S_1, S_2, S_3)$  и  $(x, y, S)$ . Действительно, в таком случае выходные сигналы не меняются при любом согласованном изменении координат точки мишени и энергии  $S$ , когда остаются неизменными значения  $A = Sx = S_1$  и  $B = Sy = S_2$  и автоматически —  $S_3 = AP + BQ = \text{const}$ . При разных величинах энергии  $S$  в случае закрепленных значений  $S_1, S_2, S_3$  в определении координат появляется многозначность, поскольку равноправно возможны различные точки прямой  $y/x = \text{const} = B/A$ .

Для устранения этой неоднозначности необходимо использовать нелинейный закон изменения концентрации третьего люминофора. Так, например, при линейных распределениях концентраций  $a = x$ ,  $b = y$  и изменении концентрации третьего люминофора по закону  $c = r^2 = x^2 + y^2$  значения выходных сигналов равны соответственно  $S_1 = Sx$ ,  $S_2 = Sy$ ,  $S_3 = S(x^2 + y^2)$ , что эквивалентно  $x = S_1S_3/(S_1^2 + S_2^2)$ ,  $y = S_2S_3/(S_1^2 + S_2^2)$ ,  $S = (S_1^2 + S_2^2)/S_3$ . В результате каждому набору

выходных сигналов  $S_1, S_2, S_3$  соответствует единственная точка мишени  $x_i, y_i$  и единственная величина энергии  $S$ .

Приведенный пример является не единственным решением задачи однозначного соответствия между координатой на плоскости и выходными сигналами для трех различных люминофоров. Окончательный выбор оптимальных градиентов распределения люминофоров  $a, b$  и  $c$  должен проводиться в соответствии с технологическими возможностями нанесения люминофоров с различной концентрацией на поверхность регистрирующей мишени.

Наиболее перспективными материалами для реализации предложенного способа представляются быстродействующие люминофоры. Быстродействие современных люминофоров может составлять величину порядка  $10^{-9}$  секунды при световой отдаче до  $10^5$  photon/MeV, что должно обеспечивать высокое быстродействие метода при его высокой чувствительности как в области частиц высокой энергии, так и при регистрации однофотонных событий. Эти материалы обладают чувствительностью к излучениям различной природы и уже сегодня применяются в качестве фотолюминофоров, катодлюминофоров и сцинтилляторов с широким диапазоном длин волн переизлучения и разработанными технологическими методами создания слоев на их основе. Это позволяет рассматривать как непрерывную, так и дискретную модели цветового кодирования.

Следует заметить, что в отличие от предлагаемых ранее методов на основе элементарных штрихкодов, в нашем случае распознавание признака производится на основе интегрального сигнала без поэлементного считывания распределения информации в каждом элементе. Распознавание сигнала по соотношениям нормированных интенсивностей излучения трех люминофоров производится с помощью трех фотоприемников, обладающих узкими спектральными диапазонами чувствительности, согласованными со спектрами излучения люминофоров. В нашем случае отсутствует необходимость синтезировать цветное изображение, воспринимаемое человеческим глазом. Это позволяет использовать люминофоры, спектр излучения которых лежит не только в видимой, но и в УФ- и ИК-областях, т.е. широко разнести спектры излучения и тем самым снизить требования к спектральным фильтрам фотоприемников без перекрестных помех в трех каналах регистрации информации.

Предложенный метод не имеет принципиальных ограничений по регистрируемым энергиям, скорости и разрешению по сравнению

с известными способами регистрации координат излучения. Анализ энергетических потерь, неизбежно возникающих на пути преобразования энергии падающих частиц в световое излучение, в оптических (оптоволоконных) устройствах сведения светового излучения на регистрирующие фотоприемники, в устройствах фильтрации и в фотоприемниках позволит в дальнейшем более точно определить пороговые возможности и разумные пределы применимости предлагаемого метода.

Авторы выражают благодарность Б.А. Лифшицу за полезные рекомендации.

## Список литературы

- [1] *Li Z.* // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 2004. V. A518. P. 738–753.
- [2] *Пресс Ф.П.* Фоточувствительные приборы с зарядовой связью. М.: Радио и связь, 1991. 261 с.
- [3] *Schaffel C., Glat U.* Absolutes Zweikoordinatenmesssystem mit Drehwinkelerfassung DE4212990A1 18.04.1992.
- [4] *Pattersson, Ericson.* Coding pattern. United States Patent 7.175.095 13.09.2007.
- [5] *Золотарев В.В., Овечкин Г.В.* Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы. 2004.