

ДВУМЕРНАЯ ЛОКАЛИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИБОРАМИ С КОДИРУЮЩЕЙ АПЕРТУРОЙ

В статье описаны методы отделения координат пересечения от общего вектора координат пересечения, которые представляют собой дефект и вносят ошибочные данные в последующую процедуру кластеризации координат для построения карты распределения ИИИ. Приведено два метода фильтрации координат.

Ключевые слова: гамма сканер, кодирующая апертура, радионуклид, двумерная локализация.

У статті описані методи відокремлення координат перехрещення від загального вектора координат перехрещення, що являють собою дефект і вносять хибні данні у подальшу процедуру кластеризації координат для побудування карти розподілу ДІВ. Приведено два метода фільтрації координат.

Ключові слова: гамма сканер, кодуєча апертура, радіонуклід, двовимірна локалізація.

The article describes methods of separation of coordinates of intersection from a single vector of coordinates of intersection, which are a fault and add false data to a further procedure of clustering of the coordinates, which is necessary to create a map of ionizing radiation source distribution. Two methods of filtration of coordinates of intersection are given.

Key words: gamma-ray scanner, coded aperture, radionuclide, two-dimensional localization

Введение. В наше время, широкое распространение получило такое направление радиационного мониторинга как дистанционный поиск и локализация источников ионизирующего излучения (ИИИ) [1], одной из целей которого является создание карт распределения ИИИ, а именно двумерная локализация ИИИ на местности. Также эти виды мониторинга позволяют контролировать и анализировать радиационную обстановку непосредственно на местности, в режиме реального времени и содержат множество способов по исследованию характеристик распределения ИИИ [2]. В предлагаемой статье исследуются некоторые особенности использования гамма – сканера кругового обзора (далее гамма – сканер) с кодирующей маской, для решения задачи двумерной локализация ИИИ на местности [3] применительно к суперпозиции точечных источников.

Постановка задачи. В работе [4] было обосновано использование гамма-сканера, для восстановления распределения ИИИ на местности. При этом также было обосновано использование метода обратного проецирования для задачи восстановления карты распределения ИИИ на местности с использованием приборов с кодирующей апертурой.

Следует отметить, что результатом работы гамма-сканера в единичном эксперименте является веерная проекция данных от ИИИ, в виде функции распределения угловой плотности потоков γ -квантов,

полученная из зависимости:

$$R_j = \sum_{j=0}^{k-m-1} \sum_{i=0}^{m-1} P_{(i-k+k \cdot m-j) \bmod (k \cdot m)} \cdot G_i \quad (1)$$

Где: G – массив, описывающий кодирующую маску, P_j – матрица счетности событий, зарегистрированных в j положении маски, m – размер кодирующей маски, k – степень дискретизации [3]. Для формирования двумерной картины распределения ИИИ нужны не менее двух веерных проекций, снятых с разных точек.

R_j в численном виде – это массив чисел, каждое из которых описывает сумму событий зафиксированных в диапазоне угла $360/n \cdot p \approx 1.6589$. Следовательно, при определении направления на точечный источник необходимо провести аппроксимацию по значению данного локального диапазона углов $R_{n1...n2}$ по максимуму $\max(R_{n1...n2})$ или найти центр тяжести локального участка вектора и следовательно определить углы векторов направлений на ИИИ. Тогда, имея в конце каждого опыта функцию R_j и, как следствие, зная угол вектора направлений на ИИИ, зная координаты опыта, определим точки пересечения (X_i) векторов направлений на ИИИ от каждого опыта с каждым (рис. 1).

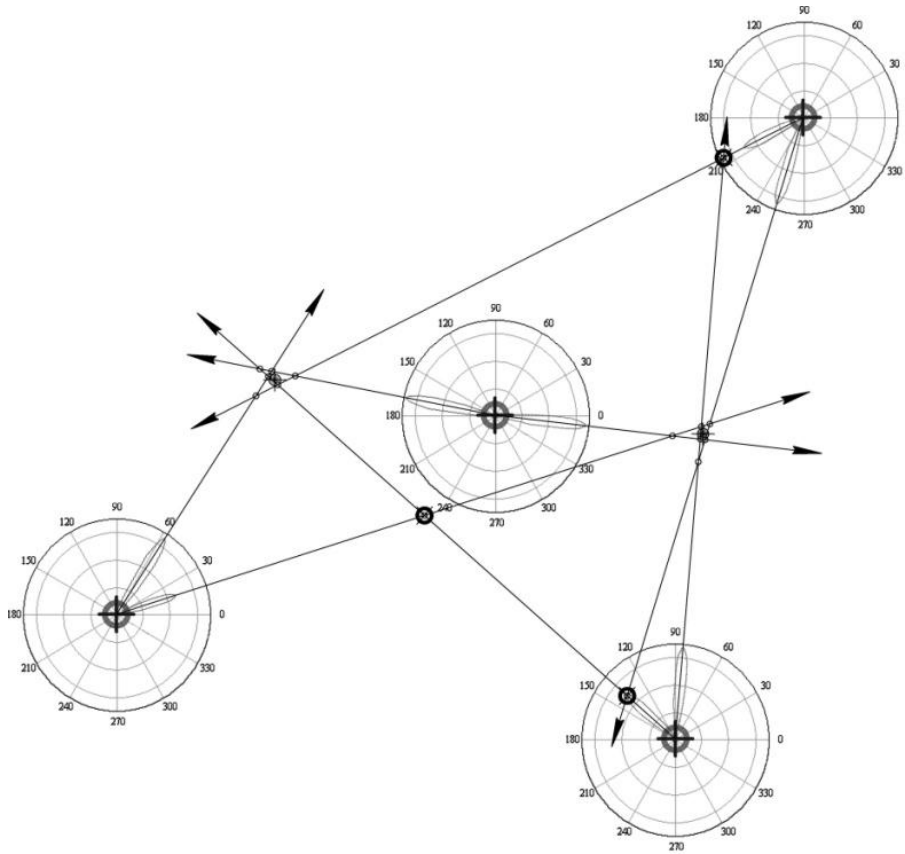


Рис. 1. Карта распределения ИИИ для двух источников по четырем проекциям

Очевидно, что источники находятся в районе пересечения лучей, но также очевидно, что некоторые пересечения будут указывать на «ложные» источники.

В этой статье описываются некоторые методы отсеивания тех точек пересечения от общего вектора точек пересечения, которые являются ложными (далее артефактами) и вносят погрешность в дальнейшую процедуру кластеризации координат, что приводит к ложному определению координат ИИИ на местности. Как следствие это позволит более точно определить распределения ИИИ.

Оценка параметров вектора точек пересечения.

Из вектора точек пересечения $X_i(x_i, y_i)$, найдем все расстояния от данной точки до каждой, которые можно представить в виде симметричной матрицы расстояний R (2). Это необходимо для определения так называемой меры сходства при использовании метода кластерного анализа полных связей (complete linkage) [5]. Мерой расстояния взято евклидово расстояние (3).

$$R = \begin{pmatrix} 0 & r_{2,1} & \dots & \dots & r_{n,1} \\ r_{1,2} & 0 & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & 0 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & 0 & r_{n-1,n-1} \\ r_{1,n} & \dots & \dots & r_{n-1,n-1} & 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$r_{i,j} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (3)$$

Где $i, j = 1 \dots n$, а количество точек пресечения

равно n .

Имея матрицу расстояний далее по формулам (4,5) находим вектор для мат. ожидания и СКО.

$$\bar{r}_j = \frac{\sum_{i=1}^n r_{i,j}}{n} \quad (4)$$

$$s_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (r_{i,j} - \bar{r}_j)^2}{n}}$$

Соответственно предлагается, что для построения кластеров координат все данные рассчитаны, и необходимо выбрать лишь метод кластеризации. Но при детальном рассмотрении поля точек пересечения, очевидно, что на поле присутствуют точки, которые необходимо отсечь от общего множества (рис. 1). При применении любого (в данной статье был применен метод полных связей) метода кластерного анализ, целью, безусловно, является выделить в исходных многомерных данных такие однородные подмножества, чтобы объекты внутри групп были похожи в известном смысле друг на друга. Под «похожестью» понимается близость объектов в многомерном пространстве признаков, в данной статье признаком является евклидово расстояние [5]. Следовательно, как видно из краткого описания принципов кластерного анализа, данный подход не содержит дополнительной фильтрации исходных данных, что как ранее было указано, приведет к определению ошибочного местоположения ИИИ.

Методика удаления артефактов предложенного минимума. Для отсеечения данных артефактов целесообразно представить (разбить) данное пространство точек пересечения в виде весовой матрицы (nxm), которая составляется по следующему принципу: имея вектор \vec{r}_j и s_j рассчитанные по (4,5), найдем точки $(\min(x_i)-\min(s_j)/2, \min(y_i)-\min(s_j)/2)$ и $(\max(x_i)+\min(s_j)/2, \max(y_i)+\min(s_j)/2)$, которые являются верхними правыми и нижними левыми точками для построения проекции весовой матрицы на плоскость вектора $X_i(x_i, y_i)$ (рис. 2). Рассчитав из этого:

$$n = \text{abs} \left[\frac{\max(x_i) - \min(x_i)}{\min(\vec{r}_i) / 2} \right] + 1,$$

$$m = \text{abs} \left[\frac{\max(y_i) - \min(y_i)}{\min(\vec{r}_i) / 2} \right] + 1$$

представим данное множество точек пересечения в виде весовой матрицы A(nxm), которая описана зависимостью (6) и представлена (табл. 1):

$$a_{i',j'} = (a_{i,j} + 1), \text{ если } X_i(x_i, y_i): \begin{cases} \min(\vec{r}_j) \cdot (j' - 1) + \min(x_i) \leq x_i < \min(\vec{r}_j) \cdot j' + \min(x_i) \\ \min(\vec{r}_j) \cdot (j' - 1) + \min(y_i) \leq y_i < \min(\vec{r}_j) \cdot j' + \min(y_i) \end{cases} \quad (6)$$

Где X_i -множество точек пересечения с координатами (x_i, y_i) , $i' = 1 \dots n$, $j' = 1 \dots m$ – описывают размерность весовой матрицы.

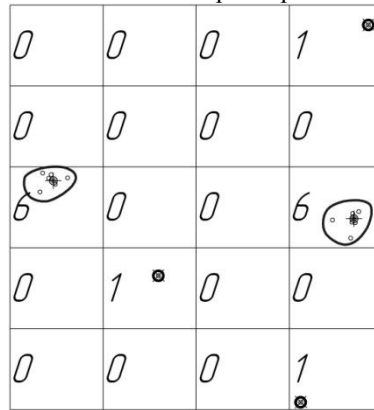


Рис. 2. Проекция весовой матрицы на группу точек вероятного местонахождения ИИИ.

Таблица 1

Весовая матрица A

Далее из весовой матрицы A (nxm) необходимо составить также весовую матрицу A'(nxm) по «ближайшим» соседям. Принцип «ближайшего» соседа описан формулой (8), а результат представлен в табл. 2.

$$a'_{i',j'} = \left(\sum_{i=i'-k}^{i'+k} \sum_{j=j'-k}^{j'+k} a_{ij} \right) \wedge (a_{ij} > 1) \wedge (i = 1 \dots n) \wedge (j = 1 \dots n) \quad (8)$$

Где k- это коэффициент описывающий размер маски исследования.

Таблица 2

Весовая матрица A'(nxm).

Следовательно целесообразно задаться исходным минимумом для матрицы A', предполагая то чтобы найти координаты ИИИ на местности, погрешность позиционирования и т.п. информацию, необходимо провести не менее 3-х замеров и как следствие получить не менее трех точек пересечения [6]. Следовательно можно отсеять артефакты, преобразованные из весовой матрицы A в весовую матрицу A', как элементы со значением меньше 3. Обнуление элементов матрицы A' соответствующим артефактам

произведем по формуле (9).

$$a'_{i',j'} = 0, \text{ е если } a'_{i',j'} < 3 \quad (9)$$

Соответственно, имея весовой матрицу A' и зная отношение её размерности, к полю точек пересечения или вектору X_i , целесообразно убрать из вектора точки, которые соответствуют нулевому значению весовой матрицы. В результате получим новый вектор X'_i без артефактов, что и было необходимо для обработки исходных данных от гамма - сканера.

Метод удалению «бахромы». При представлении вектора точек пересечения X_i в виде весовой матрицы A' , целесообразно упомянуть такой метод очистки от артефактов бинарного изображения, как способ устранения шумов в виде стирания «бахромы». Он состоит в стирании не больших изолированных групп точек образующих фон. Проведя манипуляцию над центральной точкой α в матрице размером (3×3) , производится обнуление точки α , свойства которой описанные [7]. Для того чтобы над элементом из матрицы A' (табл.2) провести стирание «бахромы», необходимо чтобы элементы матрицы соответствовали требованиям точки α . Также, т.к. A' не являет собой подобие бинарного изображения, элемент матрицы соответствующие α не обнуляется, а декретирован (от него вычитается единица) (10):

$$a'_{i,j} = a'_{i,j} - (a'_{i,j+1} \wedge a'_{i-1,j+1} \wedge a'_{i-1,j} \wedge a'_{i,j-1}) \cdot (a'_{i+1,j-1} \vee a'_{i+1,j}) \quad (10)$$

Следовательно проведя над весовой матрицей манипуляцию по удалению «бахромы», получим подобный результат, как и в методе описанном выше, но также и со снижением веса элементов матрицы A' , соответствующим локальным скоплениям точек вероятного местонахождения ИИИ и свойству центральной точки α . Результат удаления «бахромы» проведенный над матрицы A' совпадает с результатом способа описанного выше. Данная методика не сложна в численной интерпретации для не бинарного изображения и проста для понимания, поэтому в

местах локального скопления (т. е. $a'_{ij} > 2$) где произошло декретирование, целесообразным является провести процедуру инкрементирования (увеличения на единицу элемента матрицы соответствующему скоплению точек вероятного местоположения ИИИ и соответствующие центральной точке α). Данная методика подходит для удаления артефактов при обработке исходных данных от гамма-сканера.

Следовательно применив методику удаления «бахромы» к весовой матрице A' , а как следствие и к вектору X_i , получим вышеупомянутый вектор X'_i без артефактов.

Выводы. Данные методики по удалению артефактов из исходного вектора данных X_i при экспериментальной проверке показали себя в достаточной степени стабильно. При детальном исследовании, также выяснилось что для точного и достаточного избавления матрицы A от элементов соответствующих артефактам, также целесообразно проводить сравнение преобразованной матрицы A' по формулам (6-9) с матрицей A' преобразованной по формуле (10), что даст более надежное удаление артефактов. Для более стабильной работы метода, было предпринято брать $\min(\bar{r}_i)/2$, как предельное расстояние для процедуры сходимости при кластеризации [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по ядерной медицине / [Сиваченко Т. П., Мечев Д. С., Романенко В. А. и др.]; под ред. Т. П. Сиваченко. – К. : Вища школа, 1991. – 535 с.
2. Геофизические методы исследований / [В. К. Хмелевской и др.] Петропавловск-Камчатский : Изд-во КГПУ, 2004. – 232 с.
3. Плахотник В. Ю., Кочергин А. В. «ГОНИОМЕТР» – гамма-сканер кругового обзора с кодирующей маской / В. Ю. Плахотник, А. В. Кочергин // Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції «Приладобудування: стан і перспективи», 22-23 квітня 2008 р., м. Київ. ПБФ, НТУУ «КПІ». – 2008. – 264 с., С. 166–167.
4. Шевченко А. К. Задача локализации ИИИ на местности с помощью приборов с кодированной апертурой / А. К. Шевченко // «Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету». – Кременчук. – № 4. – 2009. – С. 31–36.
5. Дюран Б. Кластерный анализ / Б. Дюран, П. Оделл. – М. : «Статистика», 1977, С. 15–30.
6. Маркузе Ю. И. Алгоритм уравнивания комбинированных геодезических сетей / Ю. И. Маркузе. – М. : «Недра», 1972. – 152 с.
7. Обработка изображений на ЭВМ / Е. А. Бутаков, В. И. Островский, И. Л. Фадеев. – М. : Радио и связь, 1987. – С. 65–69.

Рецензенти: д.т.н., зав. каф. СНУ ім. В. Даля Малахов О. В.,
к.т.н., директор НДПКІ «Іскра» Шаповалов В. Д.

© Шевченко А. К., 2011

Стаття надійшла до редколегії 01.03.11.