

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОПАСНЫХ ВЛОЖЕНИЙ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ОБРАБОТКИ РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Щавелев И.А.

ООО «Интроскан», ivan_sch@mtu-net.ru

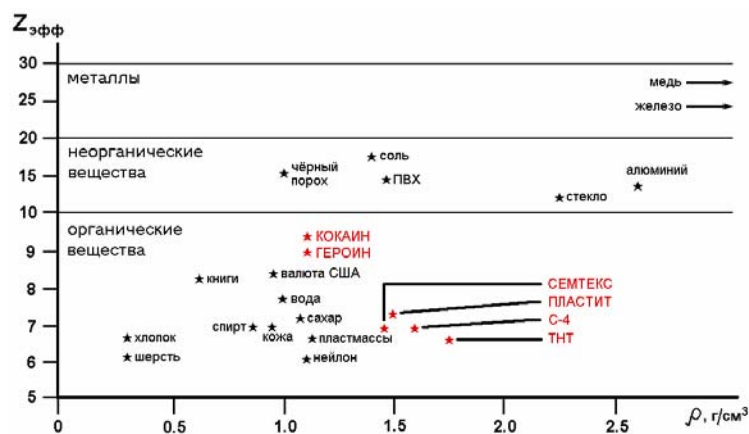


Рис. 1. Идентификация веществ по плотности и эффективному атомному номеру

Рентгенографические установки широко используются для контроля багажа пассажиров и их ручной клади в службах таможенного контроля и для обеспечения безопасности перевозок. Для анализа материалов вложений багажа в большинстве современных установок имеется функция определения эффективного атомного номера веществ, так называемого $Z_{эфф}$. Результаты обработки рентгенографических данных Z -функцией представляются, как правило, в виде цветного изображения, называемого Z -изображением. Основная часть известных систем автоматизированного анализа характеристик вложений основана только на анализе $Z_{эфф}$ материала вложений.

Такой метод не позволяет достоверно определить вид вещества. Наиболее перспективным направлением исследований, позволяющим повысить вероятность обнаружения и существенно снизить вероятность ложной тревоги, представляется разработка методов определения плотности материалов вложений. У большинства самых распространенных взрывчатых веществ плотность превышает $1,4 \text{ г/см}^3$, что больше, чем у обычных материалов, таких как полиэтилен, пластмассы, кожа и т.д.

В работе предложен новый метод определения плотности вложений в багаже на основе оценки их массы и формы по рентгенографическим данным, полученным в двух ортогональных проекциях. Предложенный метод позволяет проводить идентификацию вложений по комбинации двух параметров: $Z_{эфф}$ и плотности (рис.1).

Для вычисления параметров $Z_{эфф}$ и массовой толщины вложения X разработан алгоритм автоматического поиска однородных по параметрам \bar{g} , $Z_{эфф}$ и X областей по матрицам рентгенографических данных. Принадлежность элемента изображения к однородной области определяется критерием $G_{Lo} \leq g_{i,j} \leq G_{Hi}$, где $g_{i,j}$ – элемент матрицы теневого рентгенографического изображения.

Нижняя граница интервала:

$$G_{Lo} = \bar{g} \cdot (1 - ObjLoEx)$$

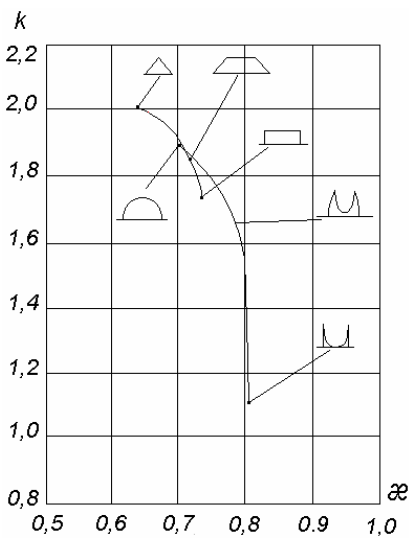
$$ObjLoEx = WaveObjLo + WaveSqrParm \cdot (0.3 \cdot \bar{g}^{-0.85} \cdot e^{0.52\bar{g}}) + WaveStdParm \cdot Err$$

Верхняя граница интервала:

$$G_{Hi} = \bar{g} \cdot (1 + ObjHiEx)$$

$$ObjHiEx = WaveObjHi + WaveSqrParm \cdot (0.3 \cdot \bar{g}^{-0.85} \cdot e^{0.52\bar{g}}) + WaveStdParm \cdot Err$$

Здесь:



$$Err = \frac{\sqrt{D_g}}{\bar{g}}$$

где \bar{g} и D – соответственно математическое ожидание и дисперсия параметра g по распределению известных точек внутренней области вложения,

$WaveObjLo$, $WaveObjHi$, $WaveSqrParm$, $WaveStdParm$ – постоянные параметры.

Для определения формы и размеров вложений, необходимо определять форму сечения предмета в направлении каждого из рентгеновских пучков двухпроекционной рентгенографической установки. Для этого выбран метод топографической классификации распределений случайных величин. В качестве признаков в нем используются величины контрэксцесса $\mathcal{J} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon}}$, которое для любых распределений заключено в пределах от 0 до 1, и энтропийного коэффициента $k = \frac{\Delta_2}{\sigma}$, которое для любых законов распределения изменяется в пределах от θ до $\sqrt{\pi \cdot e/2} \approx 2.066$. Область признаков изображена на рис.2. На ней представлены распределения рассматриваемых в работе классов.

Рис. 2. Топографическая классификация распределений

Для применения аппарата теории вероятностей и математической статистики к анализу формы поперечного сечения вложения данные изображения необходимо преобразовать в вид, для которого законы теории вероятностей будут справедливы. Все значения в экспериментальной выборке должны быть:

а) неотрицательными $g'_{h_{i,j}} \geq 0$;

б) выборка мощностью n должна подчиняться условию нормирования для дискретной случайной величины в виде:

$$\sum_{i=1}^n g'_{h_{i,j}} = 1$$

Для выполнения условия нормирования введем коэффициент нормирования c , универсальный для любого закона распределения:

$$c = \frac{1}{G_{\Sigma}}, \text{ где } G_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n g_{h_{i,j}}$$

Так как $g_{h_{i,j}} \in [0; 2^n]$ (для установки с n -разрядным аналого-цифровым преобразованием), то $G_{\Sigma} \neq 1$.

Таким образом, элементы экспериментальной выборки преобразуются следующим образом:

$$g'_{h_{i,j}} = g_{h_{i,j}} \cdot c = \frac{g_{h_{i,j}}}{G_{\Sigma}}$$

Для нормированной дискретной случайной величины момент порядка k будет равен:

$$\mu_k = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^k \cdot p(x_i)$$

При описании линии столбца теневого изображения

$$p(x_i) = g'_{h_{i,j}}, \text{ где } x_i \text{ - абсцисса точки с ординатой } g'_{h_{i,j}} \text{ на графике.}$$

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i \cdot g'_{h_{i,j}} \text{ - математическое ожидание случайной величины.}$$

Значение контрэксцесса определяется по формуле:

$$\mathcal{J} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon}}, \text{ где } \varepsilon = \frac{\mu_4}{\sigma^4} = \frac{\mu_4}{D^2}$$

Для дискретной случайной величины $g'_{h_{i,j}}$:

$$\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4 \cdot g'_{h_{i,j}}}{\left(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot g'_{h_{i,j}} \right)^2}$$

Значение энтропийного коэффициента будет равно:

$k = \frac{e^H}{2\sigma}$, где $H = -\sum_{i=1}^n g'_{h_{i,j}} \cdot \ln(g'_{h_{i,j}})$ - Шенноновская энтропия для дискретной случайной величины $g'_{h_{i,j}}$.

Разработанные методы, алгоритмы и программные средства внедрены в состав развитой рентгенографической системы «Sentinel» для автоматизированного обнаружения опасных вложений. В настоящее время права собственности на все описанные разработки принадлежат компании ScanTech Sciences, LLC., США.

Проведенные экспериментальные работы на базе существующей рентгенографической установки с применением реальных взрывчатых веществ показали высокую эффективность предложенных подходов для автоматизации досмотра багажа. Достигнутые уровни вероятности обнаружения и ложных тревог говорят о перспективности предложенного подхода. Разработанные методы с успехом могут быть применены и для анализа изображений как более крупных объектов, таких, как транспортные средства, контейнеры, вагоны, так и более мелких – различных почтовых отправлений.

Кроме того, экспериментальные данные показывают, что разработанные методы алгоритмы и программные средства могут быть применены для автоматического поиска вложений из практически любых материалов, что делает применение автоматизированных средств возможным и эффективным для поиска не только взрывчатых веществ и взрывных устройств, но и другой контрабанды.

Разработанная установка со средствами автоматического определения характеристик вложений в багаже пассажиров, по результатам испытаний, рассматривается Федеральной Авиационной Администрацией США как одна из наиболее перспективных.

