

УДК 004

DOI: 10.46548/21vek-2021-1056-0033

СПОСОБ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА СИГНАЛА В СИСТЕМАХ ДИНАМИЧЕСКОГО РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ НА ТРАНСПОРТЕ

©2021

Юданов Петр Максимович, кандидат технических наук,
старший преподаватель кафедры Механики и инженерной графики

Академия гражданской защиты МЧС России

(141435, Московская обл., г. Химки, мкр. Новогорск, Академия гражданской защиты МЧС России,

e-mail: reno128@yandex.ru)

Аннотация. Данная работа относится к области разработки и совершенствования алгоритмов обработки сигналов высокочувствительных средств и систем динамического дозиметрического контроля для предотвращения ЧС радиационного характера в целях защиты населения и территорий от поражающих факторов ионизирующего излучения. Целью данной работы является создание сопряжённой методики учёта сигналов высокочувствительных дозиметрических систем и кадров с установленной камеры, для лучшего контроля и локализации источника ионизирующих излучений без ущерба и замедления потока автомобилей. Результатами данной статьи можно считать построенный алгоритм работы системы синхронной обработки данных от съёмки в диапазоне видимого света и гамма излучения с последующей обработкой и фильтрацией сигналов, с учётом векторных корректировок и преобразований Махаланобиса для улучшения учёта фона и теневого экранирования при появлении сигнала. Результаты данной работы будут полезны подразделениям МЧС России и контролирующим органам предприятий атомной промышленности и дорожной инфраструктуры для контроля и быстрого обнаружения источников ионизирующих излучений в автомобильном транспорте на высоких скоростях. Важнейшими методами, использовавшимися в данной работе, являлись методы векторной алгебры, теории вероятностей и деревьев построения решений. Для визуализации было использовано программное обеспечение и пакет программ MathLab. Использование совмещённого алгоритма оценки транспортного потока позволяет с одной стороны отслеживать транспортное средство с замеченным сигналом-меткой ионизирующего излучения достаточно долго для идентификации источника излучения с достаточной вероятностью, в пределах трёх «сигма». С другой стороны совмещённые снимки с видеокамеры позволяют локализовать указанный автомобиль с последующей его изоляцией без остановки и дополнительной проверки всего транспортного потока.

Ключевые слова: системы дозиметрического контроля, радиационная авария, источник излучения, динамический радиационный контроль, способы обработки сигналов.

A FAST METHOD FOR SIMULATING RADIATION MAP BY INTERPOLATION IN A VIRTUAL ENVIRONMENT

©2021

Yudanov Petr Maksimovich, candidate of technical sciences,
senior lecturer of the Department of Mechanics and Engineering drawing

Academy of Civil Defense of the Emergency Ministry of Russia

(141435, Moscow region, Khimki, Novogorsk microdistrict, Academy of Civil Protection EMERCOM of Russia,

e-mail: reno128@yandex.ru)

Abstract. This work relates to the development and improvement of algorithms for processing signals of highly sensitive means and systems of dynamic dosimetric control to prevent radiation emergencies in order to protect the population and territories from the damaging factors of ionizing radiation. The purpose of this work is to create a coupled methodology for recording signals from highly sensitive dosimetric systems and frames from an installed camera, for better control and localization of the source of ionizing radiation without damaging and slowing down the traffic flow. The results of this article can be considered the constructed algorithm for the operation of the system for synchronous processing of data from shooting in the range of visible light and gamma radiation with subsequent processing and filtering of signals, taking into account vector adjustments and Mahalanobis transformations to improve background accounting and shadow shielding when a signal appears. The results of this work will be useful to the EMERCOM subdivisions of Russia and the regulatory authorities of the nuclear industry and road infrastructure for monitoring and quickly detecting sources of ionizing radiation in road transport at high speeds. The most important methods used in this work were the methods of vector algebra, probability theory, and decision trees. The software and the MathLab software package were used for visualization. The use of a combined traffic flow estimation algorithm allows, on the one hand, to track a vehicle with a detected ionizing radiation tag signal long enough to identify a radiation source with a sufficient probability, within three "sigma". On the other hand, combined images from a video camera allow you to localize the specified vehicle with its subsequent isolation without stopping and additional checking of the entire traffic flow.

Keywords: radiation monitoring systems, radiation accident, radiation source, dynamic radiation monitoring, signal processing methods.

Введение. В последнее время большую актуальность имеет проблема радиационной безопасности населения и территорий, в особенности при масштабных грузоперевозках и слабом контроле грузов. До 200 инцидентов происходит ежегодно, в результате которых происходит облучение населения или загрязнение территорий, что связано, в том числе, с отсутствием должного радиационного контроля грузоперевозок [1, 2]. Одним из способов повышения эффективности радиационного контроля автотранспорта является применение высокочувствительных стационарных дозиметрических систем.

В работах [1, 2, 8, 10] были представлены технические воплощения детекторных систем и усовершенствованные алгоритмы обесчёта сигналов для обнаружения источников ионизирующего излучения с превышением мощности дозы над фоном в 4 нЗв/ч при расположении детекторов с двух сторон однополосной дороги и скорости движения транспорта не более 10-15 км/ч. Однако в реальных условиях, помимо надёжности обнаружения превышения фона, детекторная система не должна создавать помехи дорожному движению и точно определять место (конкретный автомобиль), в котором наблюдается превышение фона [12-14].

Исходя из вышеизложенного, при реальном контроле грузоперевозок мощность дозы источника значительно превышает фон, а скорость транспорта по нескольким полосам составляет от 40 до 60 км/ч. Большинство современных алгоритмов и детекторных систем β и γ излучения, основанных на сцинтилляционном принципе, показывают высокую частоту ложных срабатываний в таких условиях [6-9]. Это связано с тем, что при расположении детектора около каждой полосы движения, вероятность ложного срабатывания всей системы увеличивается многократно, к тому же сильно замедляя движение по всем полосам в случае срабатывания, из-за невозможности определить в каком автомобиле находится источник.

Материалы и результаты исследования. Для решения данной проблемы нами были взяты алгоритмы построения радиационной «карты» интенсивности радиационных сигналов, используемые в передвижных дозиметрах, для высокочувствительных систем дозиметрического контроля типа «СИММЕТ», с последующим дополнением их системами видеонаблюдения. При проезде находящегося в транспорте источника излучения в радиус обнаружения системы контроля, происходит увеличение её показаний, которые растут по мере приближения источника и затем уменьшаются при его отдалении, образуя одномерное (зависящее только от расстояния до источника) распределение мощности дозы излучения, попавшего в детектор [15-20], как это показано на рисунке 1. Однако этого мало для точного определения, в каком именно автомобиле находится источник, поэтому для пространственного уточнения положения источника были добавлены показания видеокамеры, которые учитываются одновременно с детектором.

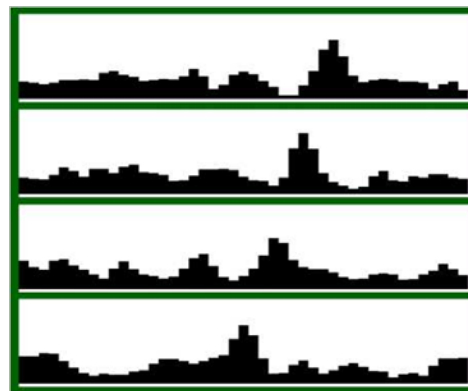


Рисунок 1 – Гистограмма сигнала детектора

Данные камеры: видеокамера была установлена на высоте 5 метров над уровнем дороги так, чтобы захватывать 70 метров до и после расположения детектора и синхронизирована с обрабатывающим устройством детектора, считывая показания раз в 0,25 секунды. Выбор времени был обусловлен скоростью реагирования сцинтиллятора на излучение. Данные сохраняются в файл и далее доступны для ручной обработки. Далее автоматический алгоритм анализа изображений проводил поиск транспорта, определяя его длину, ширину и местоположение, как это показано на рисунке 2.

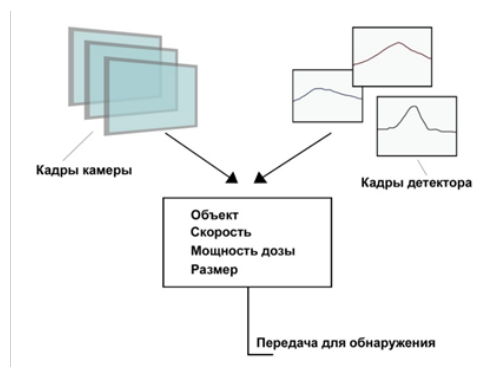


Рисунок 2 – Логическая схема детекторной системы

Отдельные кадры, снятые камерой анализируются и при появлении новой единицы транспорта в радиусе действия системы, транспорту присваивается имя и физические координаты, которые рассчитываются исходя из динамики совместных показаний камеры и детектора. Результатом является программное создание объекта «автомобиль» со следующими свойствами: размер, скорость движения, время появления и исчезновения, распределение мощности дозы. Далее этот объект может быть обработан любым другим программным обеспечением для определения номера и дальнейшего перехвата данного транспорта. Схематично это показано на рисунке 3.



Рисунок 3 – Схематичный захват изображений камерой и сравнительное расположение детектора

Данные детектора: сигнал детектора может различаться для разных изотопов, поэтому для каждого изотопа количество частиц, пройденных сквозь сцинтиллятор, рассчитывается на основе телесного угла вектора, ведущего к источнику к вектору нормали к плоскости сцинтиллятора, генерируемого путем моделирования детектора и источника с помощью распределения Монте-Карло, как показано в работах [5, 11]. «Кадр» детектора представляет собой одномерную мощность дозы от всех источников в данный момент времени.

Однако построив зависимость мощности дозы от времени, ограниченного проездом одного автомобиля через зону действия детектора, мы увидим типичную форму сигнала «колокол» [4], что связано с тем, что сам автомобиль экранирует фон от детектора до определенного предела сильнее, чем источник внутри его производит. Функция, описывающая эту зависимость, написана ниже.

$$\psi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma^3} \left(1 - \frac{t^2}{\sigma^2} \right) \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

где ψ – функция мощности дозы,

σ – среднеквадратичное отклонение мощности дозы,

t – время с момента поступления сигнала с источника на детектор.

Чтобы снизить влияние упомянутого частичного экранирования на показания, необходимо учитывать корреляцию показаний во времени двух соседних детекторов [10–14], стоящих по двум сторонам от дорожной полосы, что было использовано для общей корректировки, как показано на рисунке 4.

Для того, чтобы снизить влияние флуктуаций мощности дозы, было применено так называемое расстояние Махаланобиса [3, 5] для определения вероятности того, что текущее измерение содержит аномальный изотопный источник путём оценки отношения мощности дозы каждого измерения (раз в 0.25 секунды) (i) к общей мощности дозы.

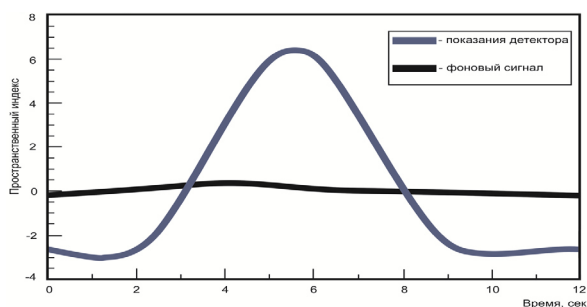


Рисунок 4 – Типовая форма сигнала «колокол»

На каждом временном шаге фоновое значение мощности дозы (B) сравнивается с текущим спектром мощности от источника (C), чтобы построить «спектральное расстояние» между этими векторами.

$$SD = \sqrt{\sum_i (B_i - C_i)^2}, \quad (2)$$

где SD (spectral distance) – спектральное расстояние между векторами,

B_i – вектор мощности фоновой дозы,

C_i – вектор мощности дозы от источника.

Затем сумма расстояний между этими векторами при каждом измерении и даёт величину, на которую можно будет корректировать порог обнаружения для повышения надёжности определения используемого способа, как это показано на рисунке 5.

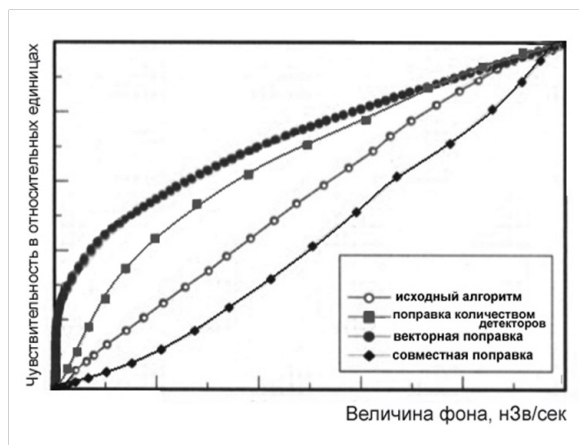


Рисунок 5 – Графики фона с различной корректировкой

Как видно из графика, векторная поправка обеспечивает большее нарастание чувствительности при низких значениях фона, что увеличивает вероятность обнаружения источника ионизирующего излучения низкой мощности в движущемся транспортном средстве.

Отдельного упоминания стоит ситуация, когда два автомобиля движутся с одинаковой скоростью, одновременно входя в радиус действия детектора, их сигналы на детекторе обрабатываются одинаково, однако координата на камере различна. Для определения точного расположения источника в таком случае необходим дополнительный детектор, расположенный в стороне от детекторной линии. В случае с автомобилями, движущимися рядом в одном потоке, система может воспринимать их как один объект, однако при передаче сигнала для их задержания, это не создаёт больших помех для трафика.

Закключение. Показана эффективность работы системы синхронной обработки данных съёмки в диапазоне видимого света и гамма излучения с последующей обработкой и фильтрацией сигналов.

Применено расстояние Махаланобиса и векторные преобразования для корректировки целесообразного уровня фона и улучшения способов обработки сигнала.

Разработана форма сигнала «колокол», учитывающая теневое экранирование сигнала транспортным средством с последующей корректировкой способа обнаружения источника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Валуев Н.П., Пушкин И.А., Лысова О.В. Аппаратура для высокопроизводительного контроля радиационной обстановки // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2010. – №2. – С. 21–24
2. Валуев Н.П., Лысова О.В., Никоненков Н.В., Пушкин И.А. Радиационный контроль движущихся транспортных

средств с помощью высокочувствительных дозиметрических систем // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2011. – №4. – С. 36-40.

3. David Michael Pfund, Robert C. Runkle, Kevin K. Anderson, and Kenneth D. Jarman, Examination of Count-Starved Gamma Spectra Using the Method of Spectral Comparison Ratios, IEEE Transact. Nucl. Sci., Vol. 54/4/2007

4. W. R. Leo, "Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments", New York: Springer-Verlag, 1987, pp. 157–163.

5. MCNP X-5 Monte Carlo Team, MCNP - A General Purpose Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5, LA UR 03 1987, Los Alamos National Laboratory, April 2003. The MCNP5 code can be obtained from the Radiation Safety Information Computational Center (RSICC), P. O. Box 2008, Oak Ridge, TN, 37831-6362.

6. Валуев Н.П., Никоненков Н.В., Сергеев И.Ю., Сташин Л.А. Радиационный контроль транспортных средств с помощью переносных приборов и стационарных систем. Грузовик: транспортный комплекс, спецтехника. – 2015. – С.35-39.

7. Валуев Н.П., Лысова О.В., Сергеев И.Ю. Оценка рисков радиационных инцидентов при динамическом контроле движущихся объектов // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2015. – №3. – С. 47-50.

8. Валуев Н.П., Пушкин И.А., Сташин Л.А. Повышение эффективности контроля наземных транспортных средств высокочувствительных дозиметрических систем // ГРУЗО-ВИК. – 2013. – №8. – С. 44-48.

9. Валуев Н.П., Никоненков Н.В., Сергеев И.Ю., Сташин Л.А. Радиационный контроль транспортных средств с помощью переносных приборов и стационарных систем // Ежемесячный научно-технический и производственный журнал «Грузовик». – 2015. – №9. – Москва: ООО «Издательство Машиностроение». – С. 35-39.

10. Сергеев И.Ю., Гарелина С.А., Латышенко К.П., Валуев Н.П. Математическое моделирование дозиметрических систем контроля // Научно-аналитический журнал: «Сибирский пожарно-спасательный вестник». – 2020. – № 1 (16). – Железногорск: Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. – С. 64-68.

11. Валуев Н.П., Сергеев И.Ю. Способ определения местоположения источника радиации в транспортном средстве при динамическом контроле // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2016. – №2. – Химки: Академия гражданской защиты МЧС России. – С. 70-75.

12. Сергеев И.Ю., Валуев Н.П. Способ определения местоположения источника радиации в транспортном средстве при динамическом контроле. Научный журнал «Научные и образовательные проблемы гражданской защиты». – 2016, – № 2, – С.70-75.

13. Сергеев И.Ю. Предложения по способам контроля радиационной обстановки для системы комплексной безопасности закрытого административного территориального образования с объектами атомной промышленности // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2016. – №1. – Химки: Академия гражданской защиты МЧС России. – С.63–71.

14. Валуев Н.П., Лысова О.В., Сергеев И.Ю. Оценка рисков радиационных инцидентов при динамическом контроле движущихся объектов. // Сборник докладов XX Международной научно-практической Конференции по проблемам защиты населения и территории от чрезвычайных ситуаций «Глобальная и национальные стратегии управления рисками катастроф и стихийных бедствий». Москва, 2015 года. – С. 169-171.

15. Сергеев И.Ю., Пашинин В.А., Валуев Н.П., Косырев П.Н. Способ аэродинамического контроля радиационной обстановки. Технологии гражданской безопасности. ВНИИ-ГОЧС МЧС России (ФИЦ) Том 15 – 2018 – № 4 (58). – С. 84-87.

16. Сергеев И.Ю. Выбор методики определения вероятности обнаружения радиационной аномалии при динамическом контроле радиационной обстановки // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2019. – № 1 (12). – С. 8-11.

17. Валуев Н.П., Никоненков Н.В., Сташин Л.А. Автомобильная система динамического радиационного мониторинга территорий. «Грузовик» – 2017, №2, С. 37-41.

18. Марков Г.С., Онищенко Ю.А., Щеголькова В.В., Макарова М.Ю. Особенности жизненного цикла аварийно-спасательной техники // Технологии гражданской безопасности – 2014. – №2. – Том: 11 – С.76-80.

19. Виноградов А.Ю., Баканов С.В., Потапенко Ю.П. Анализ современных и перспективных аварийно-спасательных машин, инструментов и приборов для оснащения формирований РСЧС и подготовки спасателей // Технологии гражданской безопасности – 2007. – №2. – Том: 4 – С.103-107.

20. Марков Г.С. Актуальные направления в развитии аварийно-спасательной техники и технологий. // Технологии гражданской безопасности – 2009. – №3-4. – Том: 6 – С.187-190.

Статья поступила в редакцию 24.09.2021

Статья принята к публикации 07.12.2021