

МУЛЬТИПРОЦЕССОРНАЯ МИКРОСИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ВЗРЫВЧАТЫХ И НАРКОТИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ.

Колешко В.М., Карякин Ю.Д.

Multiprocessor system of a "electronic nose" type on a surface acoustic waves intend for a contactless detection of a explosive and narcotic substances at length to 50 meters. Increase of a system range is conditioned by utilization of a noise similar signals processing, that are entered from sensors to portable measuring block.

Повышение эффективности обнаружения взрывчатых веществ и наркотиков, является важнейшей социальной и научно-технической задачей. Наиболее эффективно обнаружение опасных веществ по запаху. Современные сенсоры способны обнаружить даже при наличии в камере прибора всего нескольких молекул вещества. Интуитивно понятно, что вероятность попадания в сенсор достаточного для обнаружения запаха количества молекул искомого вещества растёт пропорционально объёму измерительной камеры (площади активной поверхности сенсора), производительности микронасоса для прокачки воздуха через измерительную камеру и времени проведения измерений. В конечном счёте, повышение чувствительности сенсора связано с увеличением стоимости приборов и недопустимом увеличении времени измерений. Особую важность приобретают эффективные методы и приборы для обнаружения курьеров для перевозки искомого вещества. Обычно точки контроля располагаются на пограничных переходах, в залах ожидания транспортных узлов, в местах интенсивного движения людей. В этих контрольных точках, где линию контроля пересекают тысячи людей невозможно увеличить время измерений и вероятность обнаружения веществ, особенно при их хорошей упаковке, быстро падает. Наиболее эффективное решение проблемы повышения чувствительности сенсоров для обнаружения хорошо упакованных веществ с ничтожно малой концентрацией запаха в воздухе – многосенсорный интеллектуальный «электронный нос» с пассивными сенсорами на поверхностных акустических волнах (ПАВ) постоянного скрытого размещения [1– 3].

Идея такой системы состоит в следующем. В местах скопления людей, в салонах общественных транспортных средств, в залах ожидания транспортных узлов, в камерах хранения скрытно размещаются простейшие очень дешёвые сенсоры. Каждый сенсор представляет собой пассивную ПАВ структуру, подложка которой содержит встречно-штыревой преобразователь и множество отражающих полосок. Преобразователь подключен к антенне, согласованной в рабочем диапазоне частот. Акустические колебания возбуждаются преобразователем после облучения антенны электромагнитным сигналом в заданном диапазоне частот. В зависимости от состава газовой среды, в которой находится сенсор, существенно изменяются физические характеристики ПАВ структуры, приводящие к изменению скорости и времени распространения акустических волн. В результате, через некоторое время (5-20 мкс) в антенне появляется отраженный сигнал, который излучается в пространство и может быть успешно обнаружен приемным устройством. Приемное устройство принимает отраженный сигнал, проводит измерения его параметров и принимает решение о наличии или отсутствии в газовой среде искомого вещества. Структурная схема такой системы обнаружения веществ по запаху – приведена на рис. 1.

Низкая стоимость и одновременно высокая эффективность такой системы контроля обусловлена тем обстоятельством, что сенсоры располагаются вблизи возможных искомого веществ достаточно длительное время и вероятность попадания молекул на чувствительную поверхность сенсора приближается к единице независимо от количества веществ и качества их упаковки, несмотря на очень простую и дешёвую конструкцию сенсора. Переносной измерительный блок имеет высокую сложность и стоимость, однако один такой блок может

обслуживать большое количество сенсоров, расположенных в различных местах на большой площади и удельная стоимость всей системы быстро уменьшается. В процессе проведения контроля портативный измерительный блок переносит сотрудник службы контроля. Маршрут его передвижения разрабатывается так, что бы в его зону действия последовательно попали все сенсоры, расположенные в контролируемой зоне. Каждый сенсор имеет индивидуальные характеристики отражения сигнала, это позволяет в процессе перемещения измерительного блока проводить автоматическую идентификацию каждого сенсора и обеспечивает нормальную работу системы, даже если несколько сенсоров одновременно попадают в зону действия передатчика.

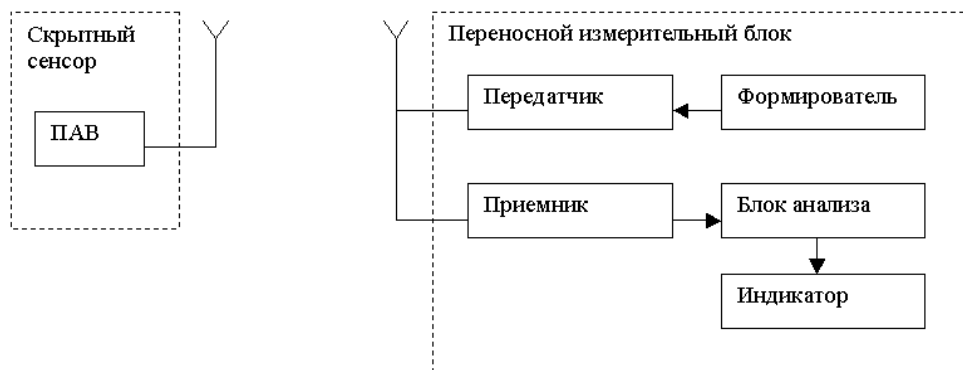


Рис.1. Структурная схема системы обнаружения взрывчатых и наркотических веществ.

Дальность действия системы. Система работает по принципу радиолокатора с пассивной целью. Мощность сигнала на входе приемника равна:

$$P_{Rx} = P_{Tx} - 2 * D_{Canal} + 2 * D_A - D_{ПАВ}, \quad (1)$$

где P_{Rx} - мощность сигнала на входе приемника, дВ/Вт; P_{Tx} - мощность на выходе передатчика, дВ/Ватт; D_{Canal} - затухание сигнала в канале связи; D_A - коэффициент усиления антенны; $D_{ПАВ}$ - коэффициент затухания сигнала в ПАВ.

Сенсор, например, работает в диапазоне 430 МГц в полосе частот 1 МГц. Хороший приемник этого диапазона имеет чувствительность $P_0 = 3 * 10^{-15}$ Ватт=-150дВ/Ватт при отношении сигнала к шуму 10 дВ в рабочей полосе частот. Коэффициент усиления антенн близок к единице. Коэффициент затухания сигнала в ПАВ достигает 60-80 дВ. Отсюда найдем максимально допустимое затухание сигнала в канале связи, если мощность передатчика будет 10 дВ/Вт:

$$D_{Canal} = (P_{Tx} - P_{Rx} + 2 * D_A - D_{ПАВ}) / 2 = (P_{Tx} + 150 - 80) / 2 = (10 + 70) / 2 = 40dB. \quad (2)$$

Известно, что напряженность поля при распространении сигнала на небольших расстояниях от передатчика (более 10 и менее 200 длин волны) описывается приближенной формулой:

$$E = \frac{10\sqrt{P}}{d}, \quad (3)$$

где E – напряженность поля в точке приема в В/м; P – мощность передатчика, Вт; d – расстояние между антеннами приемника и передатчика, м.

Подставив значение волнового импеданса среды для дипольной антенны получим приближенную зависимость затухания сигнала от расстояния без учета влияния окружающих предметов:

$$D_{Canal.} = -(20 \lg d + 4,4) \text{dB}. \quad (4)$$

В зависимости от условия конкретного расположения сенсора из-за влияния окружающих предметов появляется дополнительное затухание сигнала. Например, при распространении сигналов диапазона дециметровых волн в железобетонном здании дополнительное затухание может достигать 20-30 dB, в кирпичном – 10-15 dB.

Теперь найдем максимальное расстояние для наилучших и наихудших условий распространения радиоволн:

$$D_{Canal} = (20 \lg d + 34) \text{dB};$$

$$d_{\min} = 10^{\frac{D_{Canal} - 34}{20}} = 2 \text{метра};$$

$$d_{\max} = 10^{\frac{D_{Canal} - 20}{20}} = 10 \text{метров}; \quad (5)$$

Проведенные расчеты показали, что при использовании передатчика пиковой мощностью 10 Ватт и недорогого приемника возможен прием измерительных сигналов на расстояниях от 2 до 10 метров.

Увеличение дальности действия системы. Наиболее простой способ измерения импульсной характеристики ПАВ $h_i(\tau, \Psi)$, содержащей всю необходимую измерительную информацию - использовать измерительный сигнал $S(t)$ в виде короткого радиоимпульса. В этом случае выходной сигнал ПАВ полностью совпадает с импульсной реакцией ПАВ. Точность результатов измерений всецело зависит от отношения энергии полезного сигнала к дисперсии шума. Энергия полезного сигнала пропорциональна мощности и длительности полезного сигнала. С другой стороны, чем больше длительность импульса, тем меньше точность измерения его задержки.

Для решения проблемы увеличения длительности сигнала без уменьшения точности измерения его задержки применяются широкополосные шумовые сигналы с автокорреляционной функцией в виде короткого импульса. В этом случае импульсная характеристика вычисляется как результат свертки принимаемого сигнала с измерительным сигналом $S(t)$:

$$R(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S(\tau, \Psi) \bullet S(t - \tau) d\tau = \int_{-\infty}^{\infty} \{h(\tau, \Psi) \bullet S(t - \tau) + n(t)\} \bullet S(t - \tau) d\tau =$$

$$= h(\tau, \Psi) + n'(t). \quad (6)$$

Однако свертка двух высокочастотных широкополосных сигналов является трудоемкой вычислительной задачей. Для уменьшения количества необходимых операций широко используется алгоритм Быстрого Преобразования Фурье (БПФ). И все же, при полосе сигналов в несколько мегагерц, практическая реализация устройства для свертки сигналов является слишком дорогостоящей задачей даже при использовании БПФ. Гораздо более эффективен для свертки шумоподобных сигналов разработанный алгоритм БПК, который обеспечивает выигрыш более чем в 20 раз по сравнению с БПФ [4-6].

Для вычисления свертки с использованием БПК потребуется всего 22 операции сложения вещественных чисел. Реализация свертки через алгоритм БПФ потребует минимум 128 операций сложения и 14 операций умножения комплексных чисел. Выигрыш БПК перед БПФ быстро возрастает с увеличением длины сигнала.

Использование цифрового коррелятора основанного на алгоритме БПК позволяет практически реализовать оптимальный прием шумоподобных сигналов очень большой длины – до десятков миллионов элементов и реализовать энергетический выигрыш такой же величины.

Однако с ростом дальности работы системы погрешность приближенной формулы существенно возрастает, и в этом случае целесообразно использовать более точную формулу Остина для поверхностной радиоволны с учетом поправок Зоммерфельда на активную проводимость и диэлектрическую постоянную почвы, вдоль которой происходит распространение поверхностной волны:

$$E = \frac{10\sqrt{P}}{d} A; \quad A = \frac{2 + 0.3p}{2 + p + 0.6p^2} - \sqrt{\frac{p}{2}} e^{-\frac{5p}{8}}; \quad p = \frac{\pi d}{(\varepsilon + 1)\lambda}; \quad (7)$$

где, ε - диэлектрическая постоянная почвы, для средней полосы $\varepsilon \approx 10$; $\lambda = 0.7$ м - длина волны.

Затухание в канале связи будет равно:

$$\begin{aligned} D_{\text{canal}} &= -10 \lg \frac{E^2}{\rho P} = -10(2 \lg 10 + \lg P - 2 \lg d - \lg \rho - \lg P + 2 \lg A) = \\ &= -(20 - 2.3 - 20 \lg d + 20 \lg A) = -20(\lg A - \lg d + 0.88); \end{aligned} \quad (8)$$

Надежный контроль параметров ПАВ возможен только в том случае, если затухание в канале связи меньше максимально допустимого затухания, определяемого формулой (2). Заметим, что в случае использования шумоподобных сигналов длины N , формула (2) приобретает вид:

$$D_{\text{max}} = (P_{Tx} + 10 \lg N - P_{Rx} + 2 * D_A - D_{\text{ПАВ}} - D_{\text{затухание}}) / 2 = (51 \lg N + 40 - 15) \text{dB}; \quad (9)$$

Условие надежной связи запишем в виде:

$$\begin{aligned} -20(\lg A - \lg d + 0.88) &< 51 \lg N + 25; \\ 20 \lg d &< 51 \lg N + 40 + \lg A + 0.88. \end{aligned} \quad (10)$$

Для наиболее благоприятных условий распространения:

$$d < \exp_{10}(0.05(\lg A + 51 \lg N) + 2).$$

Для наименее благоприятных условий:

$$d < \exp_{10}(0.05(\lg A + 51 \lg N) + 1.25).$$

Решение двух последних уравнений относительно d приведено на рис.2.

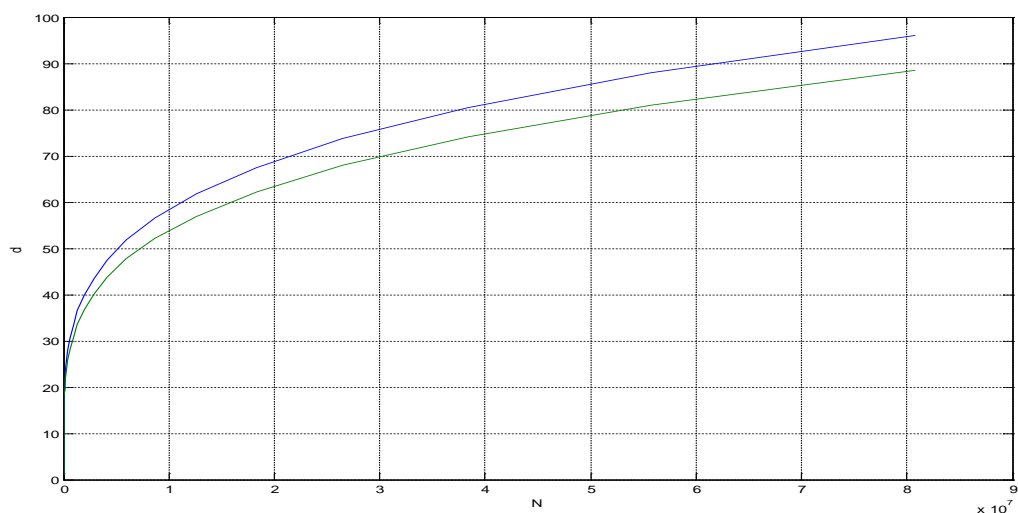


Рис. 2. Изменение надежной связи.

Для дистанционного восприятия взрывчатых и наркотических веществ можно использовать микросенсоры на ПАВ в режиме линии задержки и в режиме резонатора [1-3,7]. Их

свойства и требования к обработке сигналов аналогичны. На рис 3 представлены визуальные образы запаха бензина, марихуаны, кокаина и тринитротолуола при дистанционном зондировании “электронным носом” на поверхностных акустических волнах.

Таким образом, при использовании шумоподобных сигналов длины более миллиона, дальность надежной работы дистанционного скрытного пассивного «электронного носа» увеличивается до 50 метров даже при самых неблагоприятных условиях применения. В этом случае один приемник может обеспечивать нормальную работу нескольких десятков сенсоров и обеспечивать надежное обнаружение взрывчатых и наркотических веществ в транзитных пунктах большой пропускной способности.

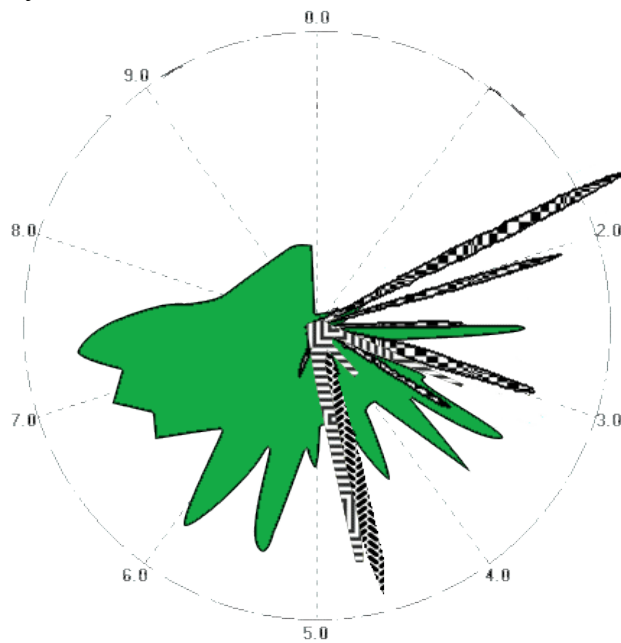


Рис. 3. Визуальные образы запаха взрывчатых и наркотических веществ.

 Марихуана;
  Кокаин;
  Бензин;
  Взрывчатка;

ЛИТЕРАТУРА

1. Колешко В.М., Мешков Ю.В. Микроэлектронные преобразователи информации на поверхностных акустических волнах, ЦНИИ «Электроника» М. 1985, № 9, 116с.
2. Колешко В.М. Патент СССР № 1501867, 24.02.1987. Дифференциальный пьезоэлектрический преобразователь на поверхностных акустических волнах.
3. Колешко В.М.. Патент СССР № 1262317 от 17.06.1983. Способ контроля параметров газовой среды и устройство для его осуществления.
4. Карякин Ю.Д. Обобщенный алгоритм факторизации двоичных матриц. Управление защитой информации. Т.3, №1, 1999, Мн., с.83-88
5. Карякин Ю.Д. Быстрое корреляционное декодирование кодов Рида-Маллера.// Проблемы передачи информации, 1987. Т.23. №2, с.40-49.
6. Колешко В.М., Карякин Ю.Д. Многомерные сенсорные микросистемы. // Теоретическая и прикладная механика, вып. 18, 2004, с.
7. Edwards J. Stoples The Electronic Nose – A New Law Enforcement Tool. 1999, Washington, ONDCP INTERNATIONAL TECHNOLOGY SYMPOSIUM.