

УДК 621.391

ФОРМИРОВАНИЕ ЭТАЛОНОВ В УСТРОЙСТВЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ДВИЖУЩИХСЯ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ

В.В. СИВЦЕВИЧ, А.Е. ВИНОГРАДОВ

ГУО «Институт пограничной службы Республики Беларусь»
Калиновского 4, Минск, 220103, Беларусь

Поступила в редакцию 30 июня 2015

Для решения задач обнаружения и распознавания движущихся наземных объектов сейсмическими средствами охраны требуется формирование эталонов, соответствующих классам объектов. Неопределенность момента прихода сейсмической волны в точку приема и параметров сейсмического сигнала требует построения многоканальной схемы формирователя опорных (эталонных) сигналов.

Ключевые слова: корреляционная обработка, сейсмический сигнал, эталон.

Введение

Одним из направлений развития технических средств охраны границы является применение сложных алгоритмов обработки сигналов, позволяющих повысить информативность средств охранной сигнализации. Такая возможность обусловлена бурным развитием микропроцессорной техники [1]. В настоящее время особый интерес представляет разработка устройств распознавания движущихся наземных объектов по их сейсмическим портретам, на основе корреляционной обработки.

Определенную сложность вызывает вопрос создания эталонов, используемых в качестве опорных сигналов в корреляционных схемах каналов устройства распознавания движущихся наземных объектов.

Постановка задачи

Рассмотрим устройство распознавания [2] движущихся наземных объектов с корреляционной обработкой сейсмического сигнала (рис. 1).

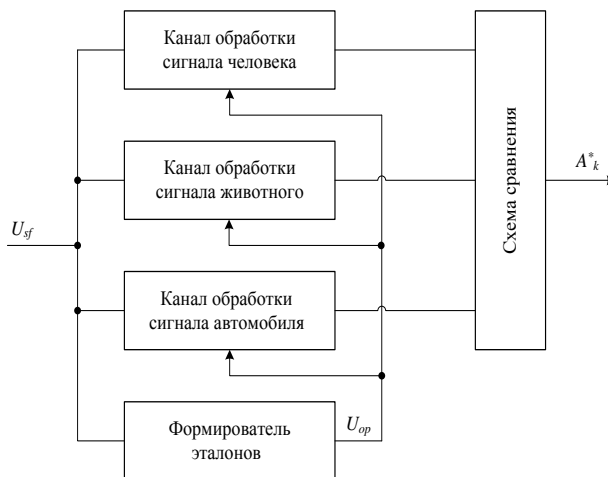


Рис. 1. Структурная схема устройства распознавания

На вход устройства поступает сигнал U_{sf} , состоящий из смеси полезных и фоновых компонент, в процессе обработки формируется решение о классе объекта A^*_k . Могут быть приняты решения $A^*_1=1$, если входной сигнал в наибольшей степени соответствует эталонному сигналу шагов человека, $A^*_2=1$, при соответствии эталонному сигналу шагов крупного животного и $A^*_3=1$ для сигнала, вызванного движением автомобиля. При недостаточном соответствии сигнала эталону принимается решение $A^*_k=0$.

Для оценки степени соответствия N -элементной дискретной выборки слабых сейсмических сигналов на фоне помех U_{sf} эталону полезного сигнала U_{op} может применяться корреляционная обработка [2]. Тогда в качестве опорного сигнала коррелятора используется выборка эталонного сигнала длиной N элементов, а для принятия решения выбирается наибольшее значение коэффициента корреляции [3].

Полезная составляющая принятого сейсмического сигнала [4] может быть описана выражением:

$$u_{sf_n} = E\varepsilon_{g_n} \sin(\omega_v nT_d + \varphi_{v0}), \quad (1)$$

где E – амплитуда полезной составляющей принятого сейсмического сигнала; ε_{g_n} – уровень текущего отсчета огибающей сейсмического волнового пакета; $\omega_v = 2\pi f_v$ – преобладающая циклическая частота полезной составляющей принятого сейсмического сигнала; φ_{v0} – начальная фаза полезной составляющей принятого сейсмического сигнала на преобладающей частоте; $T_d = \frac{1}{f_d}$ – период дискретизации.

Опорный сигнал коррелятора описывается выражением:

$$u_{op_n} = \varepsilon_{g_n} \sin(\omega_{op} nT_d + \varphi_{op0}), \quad (2)$$

где $\omega_{op} = 2\pi f_{op}$ – циклическая частота опорного сигнала; φ_{op0} – начальная фаза опорного сигнала.

По результатам экспериментальных и теоретических исследований [5, 6] будем полагать известными функции ε_{g_n} , описывающие законы изменения огибающих принятых и опорных сигналов во временной области для различных классов наземных объектов. Неизвестными параметрами будем считать задержку начала волновых пакетов относительно начала выборки Δt_d и временной интервал между волновыми пакетами Δt_p (рис. 2).

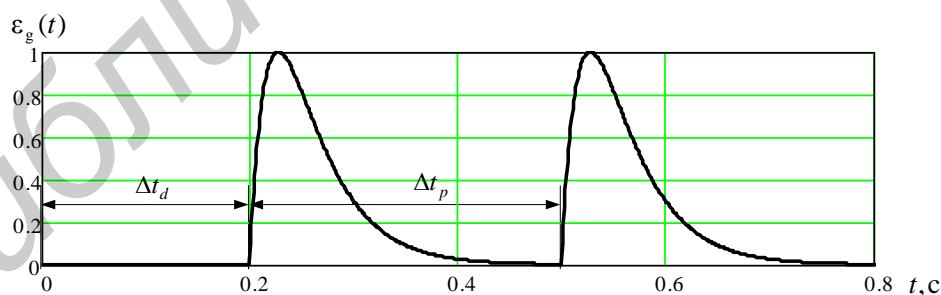


Рис. 2. Временные параметры опорного сигнала

Необходимо синтезировать структуру многоканального устройства корреляционной обработки принятого сейсмического сигнала, обосновать выбор опорных (эталонных) сигналов в каналах обработки устройства распознавания.

Одноканальная корреляционная обработка

В одноканальном корреляторе обработка принятого сейсмического сигнала осуществляется согласно выражению

$$\begin{aligned}
u_n &= E\varepsilon_{g_n} \sin(2\pi f_v nT_d + \varphi_{v0}) \varepsilon_{g_n} \sin(2\pi f_{op} nT_d + \varphi_{op0}) = \\
&= \frac{E\varepsilon_{g_n}^2}{2} \left(\cos(2\pi nT_d (f_v - f_{op}) + \varphi_{v0} - \varphi_{op0}) - \cos(2\pi nT_d (f_v + f_{op}) + \varphi_{v0} + \varphi_{op0}) \right). \quad (3)
\end{aligned}$$

В работе [2] приведены схемы одноканального и двухканального квадратурного корреляционных обнаружителей, реализующих выражение (3). В качестве опорного сигнала в [4] предложено использовать экспоненциальную огибающую с заполнением колебаниями преобладающей частоты и без заполнения (рис. 3).

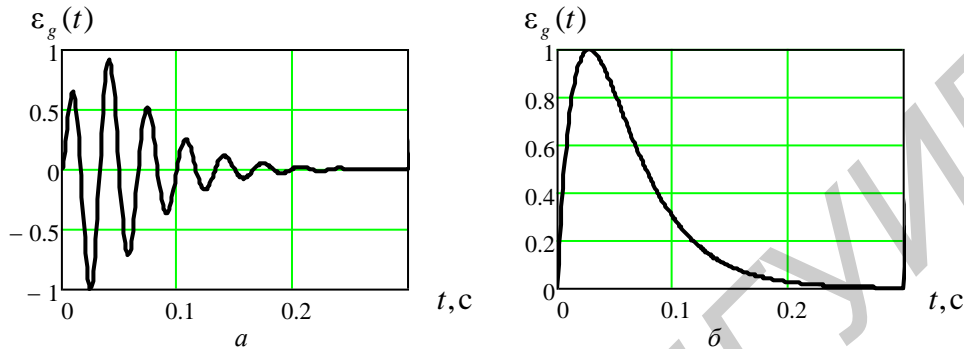


Рис. 3. Опорный сигнал: *a* – с заполнением; *б* – без заполнения

При совпадении частот и фаз принятого и опорного сигналов с заполнением отношение сигнал/фон увеличивается на 6–7 дБ, в том числе и за счет совпадения огибающих сигналов по временному положению. Рассогласование по частоте до $\Delta f_v = \pm 5$ Гц или по фазе до $\Delta \varphi_v = \pm \pi/4$ приводит к снижению выигрыша в отношении сигнал/шум до 3 дБ. Причем потери в отношении сигнал/фон возрастают с увеличением рассогласования.

Многоканальная корреляционная обработка

При распространении сейсмических сигналов в грунте происходит изменение преобладающей частоты в зависимости от пройденного пути и условий распространения волны [5], что затрудняет использование опорного сигнала с известными и постоянными частотой заполнения и фазой. Реализация корреляционной схемы в условиях априорной неопределенности частоты и фазы принятого сигнала требует многоканальности структуры коррелятора по этим параметрам.

При использовании в качестве опорного сигнала огибающей волнового пакета человека или копытного животного без заполнения гармоническим колебанием в виде

$$\varepsilon_{g_n} = e^{-nT_d \tau} (1 - e^{-nT_d \tau}), \quad (4)$$

где ε_{g_n} – отсчет опорного сигнала в *n*-й момент времени из интервала наблюдения (0; *N*-1); *N* – длина выборки входного и опорного сигналов; T_d – период дискретизации; τ – параметр длительности сигнала.

Отношение сигнал/фон увеличивается на 3–4 дБ, как показано в [4], за счет совпадения огибающих принятого и опорного сигналов по временному положению. Проигрыш в отношении сигнал/фон при использовании опорного сигнала без заполнения составляет 2–3 дБ. Снижение отношения сигнал/фон на эту величину приводит к незначительному уменьшению дальности обнаружения (распознавания) наземных объектов. Вместе с тем, существенно упрощается реализация алгоритма обработки в устройстве распознавания, так как требуется обеспечить многоканальность только по параметрам огибающей волнового пакета.

Алгоритм формирования опорного сигнала канала человека в виде последовательности из двух одинаковых экспоненциальных сигналов [6] и перебор с шагом Δ смещения начального момента пары волновых пакетов от начала выборки, а также с шагом δ допустимых значений интервала между одиночными сигналами описывается выражением:

$$\varepsilon_{g_{p,q,n}} = e^{-nT_{\Delta}p\delta\tau} \left(1 - e^{-nT_{\Delta}p\delta\tau} \right) + \varepsilon_{g_{p,q,(n+q\Delta)}}, \quad (5)$$

где p, q – положительные целочисленные индексы, ограниченные длиной выборки и величиной шага Δ и δ .

Для сейсмического сигнала человека по данным экспериментальных исследований длительность τ одного волнового пакета в среднем составляет 0,1–0,15 с, интервал между волновыми пакетами $\Delta t_p = (0,3–0,6)$ с (рис. 4).

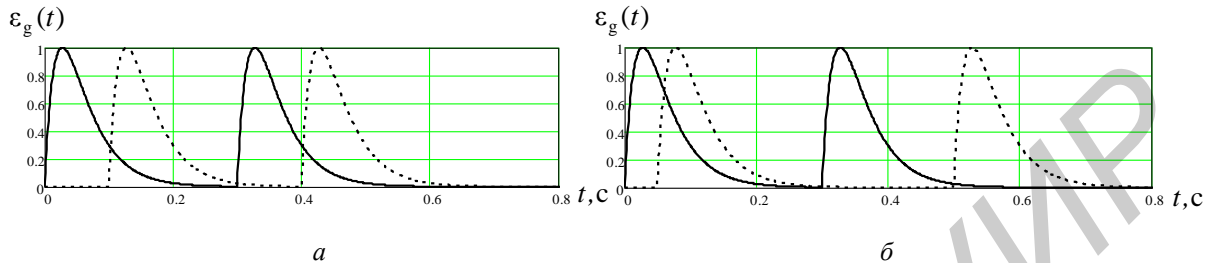


Рис. 4. Опорный сигнал канала распознавания человека с отличающимися параметрами смещения и интервала между волновыми пакетами: *a* – смещение 0,1 с, интервал 0,3 с; *б* – смещение 0,05 с, интервал 0,45 с

Для сигнала крупного копытного животного характерны длительность одиночного пакета $\tau = (0,1–0,25)$ с, для мелкого копытного животного $\tau = (0,05–0,15)$ с и интервал между пакетами $\Delta t_p = (0,2–0,5)$ с, а также наличие пакетов от сдвоенных шагов передних и задних конечностей (рис. 5, 6).

$$\varepsilon_{g_{p,q,n}} = e^{-nT_{\Delta}p\delta\tau} \left(1 - e^{-nT_{\Delta}p\delta\tau} \right) + \varepsilon_{g_{p,q,(n+q\Delta)}} + \varepsilon_{g_{p,q,(n+2q\Delta)}}. \quad (6)$$

При спокойном равномерном движении сигнал животного периодичен, как и человека. Однако, дикие животные часто движутся настороженно, делая несколько шагов и останавливаясь, поэтому при анализе целесообразно ограничиваться выборками длительностью 1–2 с.

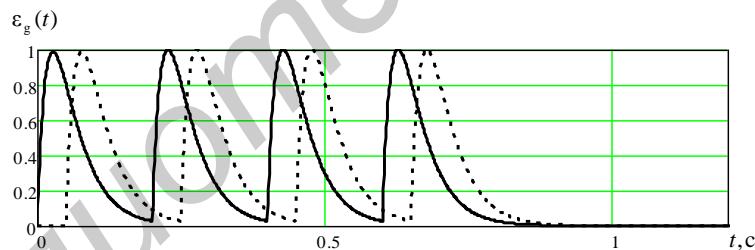


Рис. 5. Опорный сигнал канала распознавания животного со смещением 0,05 с и интервалом 0,2 с

Поскольку интервал между пакетами сигнала животного в среднем меньше, чем в сигнале человека, интервал в опорном сигнале канала животного выбирается примерно равным длительности волнового пакета.

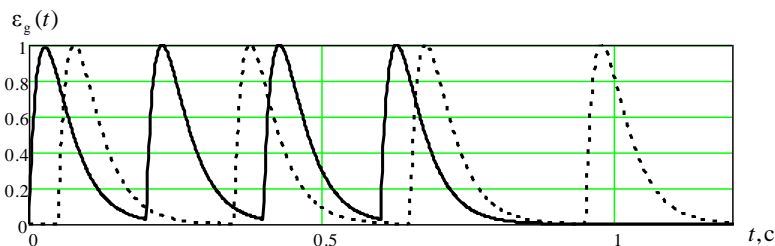


Рис. 6. Опорный сигнал канала распознавания животного со смещением 0,05 с и интервалом 0,3 с

Сейсмические сигналы транспортных средств характеризуются плавным нарастанием и спадом большого количества компонент различных частот. При движении транспортного средства по неровностям дороги сейсмический сигнал имеет существенно неравномерную

структуру, длительность нарастания и спада огибающей имеет порядок нескольких десятых секунды–единиц секунд. Для формирования опорного сигнала может быть применен единичный прямоугольный импульс вида

$$\varepsilon_{g_n}(\tau) = \begin{cases} 0, & n < \tau \\ 1, & n \geq \tau \end{cases} \quad (7)$$

однако при этом уровень первого бокового лепестка составляет -13 дБ, поэтому целесообразно использовать косинусно-квадратичное взвешивающее окно вида

$$\varepsilon_{g_n}(\tau) = \begin{cases} 0, & n < \tau \\ 1 - \cos^2 \frac{\pi(n-\tau)}{\tau}, & n \geq \tau \end{cases} \quad (8)$$

Длительность огибающей τ выбирается существенно меньше интервала наблюдения и составляет 0,3–0,6 с (рис. 7).

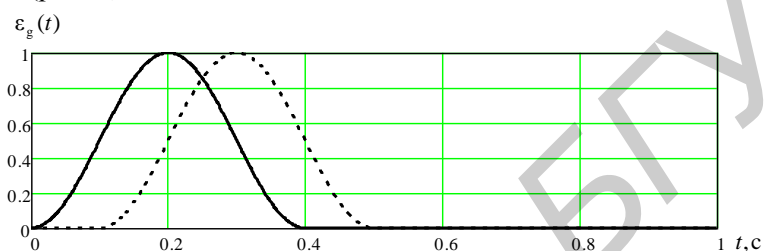


Рис. 7. Опорный сигнал транспортного средства с отличающимся параметром смещения

Эталонные сигналы в каналах распознавания рассчитываются в виде трехмерных матриц, содержащих векторы огибающих, отличающихся по строкам на величину шага смещения и по столбцам на величину шага интервала между волновыми пакетами (рис. 8).

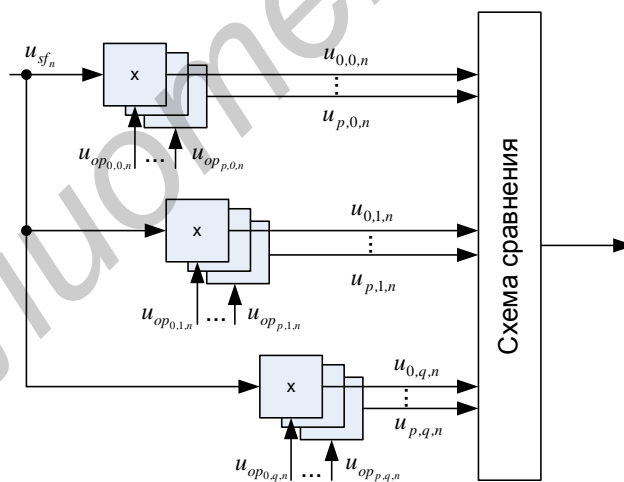


Рис. 8. Схема формирователя эталона в канале распознавания

Определение наиболее подходящего в интервале наблюдения эталона выполняется по максимальному значению его произведения на выборку входного сигнала путем последовательного перебора матрицы опорных сигналов по строкам и столбцам:

$$\text{opt}(u_{op}(p, q)) = \max \left(\sum_{n=1}^N |u_{sf_n} u_{op_n}(p, q)| \right), \quad (9)$$

где $u_{op_n}(p, q) = \varepsilon_{g_{p,q,n}}$.

Зафиксированные по условию (9) для каждого из классов векторы опорного сигнала используются в каналах устройства распознавания в качестве эталонов для текущей выборки принятого сигнала.

Заключение

Таким образом, осуществлен синтез корреляционного устройства формирования эталонов для распознавания движущихся наземных объектов в классах человек, копытное животное, транспортное средство, на основе априорной, экспериментально полученной информации о формах и параметрах огибающих сейсмических сигналов. Устранение неопределенности времени задержки волновых пакетов относительно начала выборки Δt_d и интервала между волновыми пакетами Δt_p достигается многоканальностью схемы устройства распознавания по указанным параметрам.

FORMING OF THE MODEL SIGNAL IN DEVICE USED TO RECOGNITION OF GROUND MOVING OBJECTS

V.V. SIUTSEVICH, A.E. VINOGRADOV

Abstract

For detection and recognition of ground moving objects with seismic devices it's necessary to form the model of seismic signals, corresponding of each object class. Unknown moment of seismic wave incoming and it's time parameters demand to building of multichannel scheme etalon signals generator.

Keywords: correlation processing, seismic signal, model.

Список литературы

1. *Звежинский С.С.* // Специальная техника. 2002. № 4. С. 36–41.
2. *Охрименко А.Е.* Основы радиолокации и радиоэлектронная борьба. Часть 1. Основы радиолокации. М., 1983.
3. *Ширман Я.Д.* Радиоэлектронные системы: основы построения и теория. Справочник. М., 1998.
4. *Кухальский Н.Е., Козека П.И.* // Докл. БГУИР. 2011. № 4 (58). С. 30–35.
5. *Варнавских В.А., Виноградов А.Е., Козека П.И. и др.* // Матер. III всеросс. научн. конф. ученых, специалистов и профессорско-преподавательского состава «Территориально распределенные системы охраны». Калининград, 2010. С. 58–66.
6. *Кухальский Н.Г., Виноградов А.Е.* Математическая модель движения человека // Докл. БГУИР. 2008. № 6. С. 25–31.