

УДК 621.391

КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ В СЕЙСМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ОХРАНЫ*Костенко К.В., Шевцов В.Ф.***Введение**

Системы охранной сигнализации, предназначенные для обнаружения нарушителей на открытом пространстве, являются важнейшей частью комплексов автоматизированной физической защиты важных и особо важных объектов (граница, ядерно-опасные производства и т.д.). Без таких систем на современном этапе усиления глобальных угроз (терроризм, религиозный экстремизм, сепаратизм) невозможно обеспечить безопасность государства, населения и личности в конечном итоге [1].

Системы периметровой охранной сигнализации и соответствующие средства обнаружения можно подразделить на две большие категории: стационарные и быстро развертываемые. Первые гораздо шире распространены и известны, доступно множество изданий отечественного и зарубежного производства, имеется техническая литература, их описывающая и классифицирующая, «закрытость» этой тематики (в недалеком прошлом), по сути, отброшена. Вторые известны и распространены гораздо меньше в силу специфичности решаемых задач, реальный рынок в нашей стране только складывается.

Классификация объектов

Рассмотрим вопрос классификации движущихся объектов в сейсмических системах, который является актуальным в «военных» и «гражданских», стационарных и быстро развертываемых охранных системах. Исходя из аналитических данных, задача классификации является недостаточно изученной, а потому представляет научный интерес. Как будет показано далее, сигнал одиночного сейсмического датчика содержит в себе классификационную информацию об объектах различных типов. Рассматриваемые алгоритмы позволяют производить классификацию объектов, относя каждый из них к одному из трех классов, которые являются типичными для данных систем охраны, – человек, группа людей и транспортное средство (ТС).

Классификация объектов уместна только тогда, когда произошло их обнаружение. Для устранения воздействия случайных помех и, соответственно, ложных срабатываний обычно применяется следующий принцип. Устройство первичной обработки сигнала (обнаружитель) следит за состоянием сигнально-помеховой ситуации и рассчитывает среднее значение шумности, которое изменяется в зависимости от времени суток, погодных условий и других источников помех. Если данный накопленный порог будет превышен на определенный процент в течение некоторого времени, про-

Рассматриваются вопросы классификации движущихся объектов в сейсмических системах. Показано, что сигнал единичного сейсмического датчика содержит в себе классификационную информацию об объектах различных типов. Рассматриваемые алгоритмы позволяют производить классификацию объектов, относя каждый из них к одному из трех классов, которые являются типичными для данных систем охраны: человек, группа людей и транспортное средство.

исходит событие обнаружения цели. В этот момент накопление данных о средней шумности прекращается, и начинает работу алгоритм классификации по рассматриваемым далее признакам.

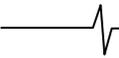
Классификационные признаки***Коэффициент заполнения выборки полезным сигналом***

Сигнал от человека, получаемый с сейсмического датчика, имеет импульсный характер. Основными характеристиками импульсного сигнала являются: длительность импульса, скважность (отношение периода следования импульсов к длительности) и амплитуда импульсов. Эти параметры зависят от индивидуальных особенностей человека (таких как скорость его движения, длина шагов, масса), а также от рельефа местности. Данный классификационный признак опирается на характеристики длительности и скважности.

Коэффициент заполнения выборки полезным сигналом показывает, какую долю времени во взятой выборке занимает полезный сигнал. Сигнал от помехи отделяется по пороговому значению. Рассмотрим алгоритм расчета данного коэффициента. Описываемая последовательность преобразований применяется к каждой отдельной реализации (выборке) временного сигнала.

Шаг 1. Сигнал, получаемый с датчика (рис. 1), необходимо отцентрировать. Дело в том, что уровень сигнала при отсутствии возмущений может не быть равным нулю, а иметь какое-то положительное или отрицательное значение. Это может быть связано как с исполнением электронной части датчика, так и с воздействием на датчик каких-либо постоянных источников излучений. Для правильной работы алгоритма нужно отцентрировать сигнал, для этого вычислим среднее значение сигнала в выборке, а затем вычтем это значение из каждого отсчета (измерения).

Далее в формулах используется двойная индексация переменных. Нижний индекс обозначает номер отсчета, верхний служит для обозначения номера преобразования, которому подвергается сигнал.



Таким образом, значение i -го отсчета определяется по формуле

$$S_i^1 = S_i^0 - \sum_{i=1}^N S_i^0 / N. \quad (1)$$

где S_i^0 – значение отсчета, полученное с датчика, N – число отсчетов в выборке.

Шаг 2. Затем переводим сигнал в область положительных значений, взяв модуль каждого отсчета:

$$S_i^2 = |S_i^1|. \quad (2)$$

Шаг 3. Вычисляем значение шумового порога сигнала данной реализации как среднее квадратичное его отсчетов:

$$P = \sqrt{\sum_{i=1}^N (S_i^2)^2 / N}. \quad (3)$$

Шаг 4. Производим сглаживание колебаний сигнала, путем разбиения реализации на короткие отрезки и усреднения сигнала на этих отрезках.

Шаг 5. Обнуляем те отсчеты, которые не проходят шумовой порог, т.е. оставляем только полезный сигнал.

Шаг 6. Рассчитываем значение коэффициента заполнения как отношение количества отсчетов больших нуля к длине реализации:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^N (S_i^2 > 0)}{N}. \quad (4)$$

По данному алгоритму были рассчитаны зависимости коэффициента заполнения от реализации для сигналов, создаваемых одним человеком, группами лиц численностью от 2 до 13 человек и трактором. В анализе использовались сигналы людей, полученные с помощью программы моделирования, и сигнал трактора, записанный в ходе натурального эксперимента. Возможные различия в масштабах амплитуд сигналов, полученных из разных источников, не оказывают влияния на полученный результат так как данный классификационный признак не восприимчив к амплитуде сигнала. Под различием в масштабах амплитуд понимается то, что амплитуда сигнала от одного и того же объекта в модельной и реальной записях может значительно различаться.

Результаты представлены в графическом виде на рис.2, каждая кривая рассчитывалась по 10 записям сигнала с последующим усреднением.

Из данной картины можно сделать вывод, что значение коэффициента заполнения выборки является уверенным классификационным признаком, позволяющим разделить сигналы объектов всех рассматриваемых типов по пороговому значению.

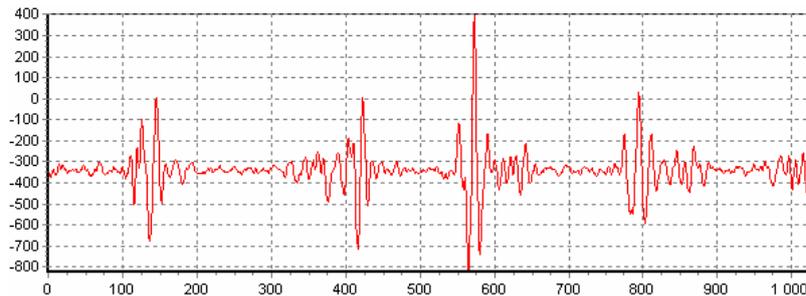


Рис.1. Реализация сигнала человека.

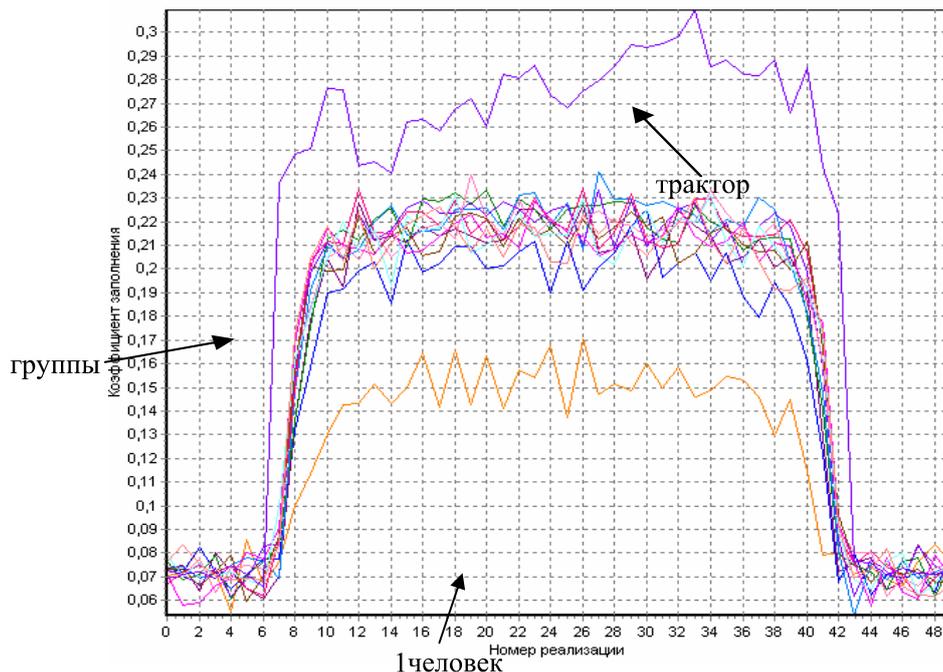


Рис.2. Коэффициенты заполнения выборки для различных классов целей.

Энергия сигнала в выборке

Существенными характеристиками сигнала для данного классификационного признака являются амплитуда и скважность импульсов. Под энергией сигнала в выборке будем понимать сумму квадратов отсчетов в реализации. Данный признак не использует понятия шума, рассчитывается общая энергия сигнала. Рассмотрим алгоритм расчета энергии.

Шаг 1. Центрируем сигнал в соответствии с алгоритмом, рассмотренном в шаге 1 предыдущего раздела.

Шаг 2. Рассчитываем значение энергии, взяв сумму квадратов отсчетов:

$$E = \sum_{i=1}^N (S_i^1)^2 \tag{5}$$

По данному алгоритму были рассчитаны зависимости энергии от реализации для сигналов, создаваемых одним человеком и группами лиц численностью от 2 до 14 человек. В анализе использовались сигналы людей, полученные с помощью программы моделирования, и не были использованы записи сигналов транспортных средств. Это связано с тем, что амплитуды сигналов в модельных и реальных записях могут значительно различаться, а т.к. амплитуда является основным понятием для данного признака, сравнивать сигналы из разных источников бессмысленно. Несмотря на это, можно говорить о том, что энергия сигнала от ТС будет выше энергии одного человека.

Каждая кривая рассчитывалась по 10 записям сигнала с последующим усреднением. На рис. 3 приведены все кривые, соответствующие группам различной численности, а на рис. 4 – только для одного и двух человек.

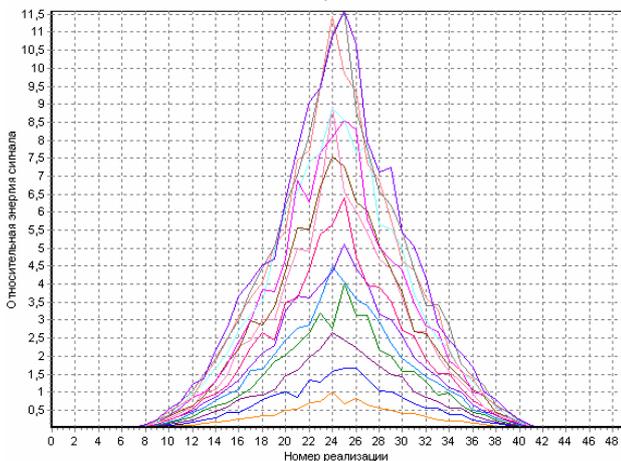


Рис.3. Относительные энергии сигналов для групп людей различной численности.

Ось ординат имеет масштаб, нормированный на максимальную энергию одного человека. Уровень энергии сигнала малых групп при увеличении численности членов возрастает практически линейно, с дальнейшим увеличением численности членов группы рост энергии замедляется.

Уровень энергии сигнала двух человек (т.е. группы) превышает энергию одного человека более чем в 1.5 раза. Это позволяет говорить о том, что по данному классификационному признаку можно уверенно различать одного человека и группу. Как отмечалось ранее, энергия сигнала ТС также значительно превышает энергию одного человека, а поэтому эти два типа объектов тоже различимы. Однако с помощью данного признака невозможно различить такие классы, как группа людей и ТС.

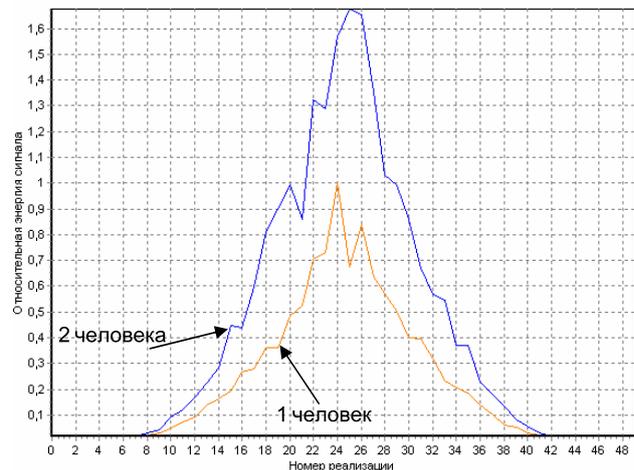


Рис.4. Относительные энергии сигналов одного и двух человек.

Спектр огибающей сигнала

Под огибающей сигнала понимается модуль N последовательных временных реализаций сигнала (N = 5 – 10). Под спектром огибающей сигнала будем понимать разложение выборки сигнала на гармоники с помощью процедуры быстрого преобразования Фурье (БПФ). Нужно отметить, что подвергать анализу следует довольно продолжительные по времени выборки сигнала (длительностью несколько секунд, отсюда N = 5 – 10). Это связано с низкой частотой шагов человека, который за одну секунду делает не более трех шагов.

Рассмотрим алгоритм получения спектра сигнала с помощью процедуры БПФ.

Шаг 1. Аналогичен соответствующему шагу предшествующих разделов.

Шаг 2. Переводим сигнал в область положительных значений, взяв модуль каждого отсчета:

$$S_i^2 = |S_i^1| \tag{1}$$

Шаг 3. К сигналу S^2 применяем процедуру БПФ.

В анализе были использованы записи модельных сигналов, создаваемых одним человеком и группами лиц, а также записи одного, двух человек и ТС, полученные в ходе натуральных испытаний.

Характер спектра у механических транспортных средств и людей различен. В спектре сигнала человека основной дискретной составляющей является частота шагов. Помимо нее также наблюдаются гармоники, кратные основной частоте, но с убывающей амплитудой (рис. 5). Набор данных гармоник составляет «звукоряд» человека.

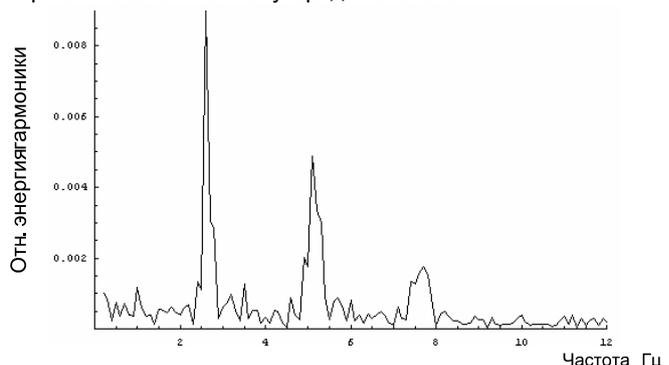


Рис.5. Спектр сигнала одного человека.

Спектр человека является довольно «низкочастотным», т.е. за пределами ~10..12 Гц какая-либо полезная информация отсутствует. Поэтому на приведенных здесь графиках верхней частотой является 12 Гц.

В случае рассмотрения группы ее результирующий спектр будет состоять из набора «звукорядов» ее отдельных членов. Так в спектре сигнала группы из двух человек хорошо различимы два звукоряда (рис.6).

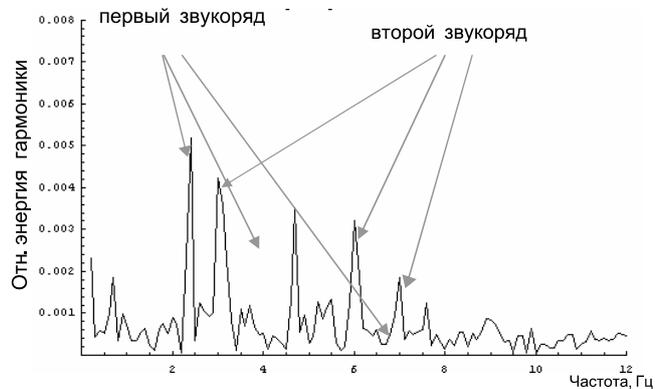


Рис.6. Спектр сигнала группы из двух человек.

Если частота шагов членов группы различается существенно, это будет приводить к тому, что звукоряды отдельных членов будут «сливаться», образуя более «широкие» дискретные составляющие. При увеличении численности членов группы выраженность, т.е. амплитуда, их звукорядов будет уменьшаться.

Характерной особенностью сигнала от ТС является наличие в его спектре мощных дискретных составляющих, в какие-то моменты времени значительно превышающих уровень сплошной (шумовой) части спектра. Их появление носит случайный характер во времени и обусловлено режимами работы механизмов и дорожными условиями (рис. 7).

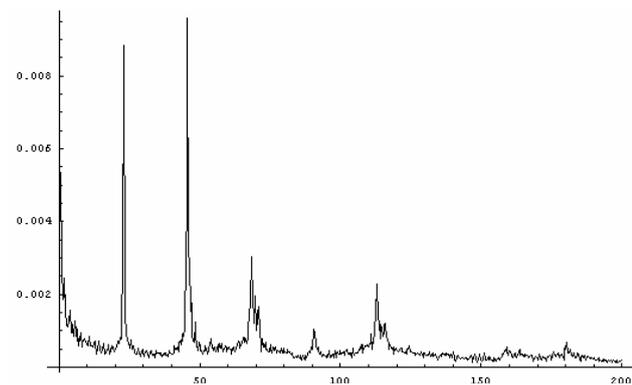


Рис. 7. Спектр сигнала транспортного средства.

Важным обстоятельством является то, что частоты дискретных составляющих значительно превышают максимальную частоту в спектре людей.

В дополнение к изложенным характеристикам спектров рассмотрим величину отношения наиболее выраженной гармоники спектра к нулевой гармонике БПФ. Как показало проведенное исследование, эта величина различна для рассматриваемых классов целей. На рис. 8 приведены значения данного отношения для различных объектов.

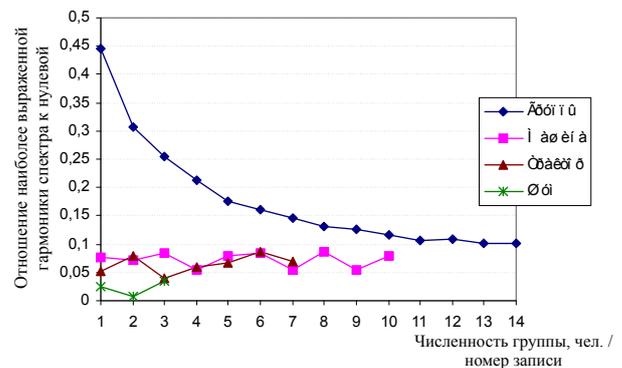


Рис.8. Отношение наиболее выраженной гармоники спектра к нулевой для различных объектов.

На графике верхняя кривая соответствует человеку и группам лиц, численность которых отложена по оси абсцисс. Она построена по средним данным, полученным при анализе модельных записей. Также на графике для сравнения приведены еще несколько кривых, построенных по нескольким натурным записям каждая. Они иллюстрируют возможный разброс значений в пределах класса, по оси абсцисс отложен номер записи.

При анализе графика можно заметить, что рассматриваемое отношение для одного человека превышает подобное для группы из двух человек в полтора раза, что позволяет различать данные классы. Для групп небольшой численности данное отношение превышает подобное для транспортных средств, и эти классы различимы по пороговому значению.

Основываясь на выше изложенном, можно сделать следующие выводы по данному признаку:

- сигнал ТС отличается от сигнала людей по наличию в его спектре выраженных дискретных составляющих в области частот выше 20 Гц;
- спектр сигнала одного человека содержит один звукоряд из дискретных составляющих, кратных основной частоте (частоте шагов);
- при достаточном различии в частотах следования шагов у разных членов группы в спектре будут наблюдаться дискретные составляющие из разных звукорядов, а, следовательно, не кратные какой-то одной частоте. По этому признаку различаются сигналы одного человека и группы людей;
- величина отношения наиболее выраженной гармоники спектра к нулевой гармонике БПФ для человека больше, чем для группы и ТС;
- величина отношения наиболее выраженной гармоники спектра к нулевой для групп небольшой численности больше, чем для ТС.

Заключение

Было показано, что сигнал единичного сейсмического датчика содержит в себе классификационную информацию об объектах различных типов. Разработанные алгоритмы позволяют производить классификацию объектов, относя каждый из них к одному из трех классов, которые являются типичными для данных средств охраны, – человек, группа людей и транспортное средство.

Во временном сигнале были выявлены и рассмотрены три классификационных признака, каждый из которых позволяет разделять объекты разных типов (табл. 1).

Таблица 1.

Возможность разделения объектов по классификационным признакам.

Сравнив. классы \ Классификац. признак	коэффициент заполнения выборки	энергия сигнала в выборке	спектр огибающей сигнала
Человек – Группа	★	★	★
Человек – ТС	★	★	★
Группа – ТС	★		★

Звездочками отмечены классификационные признаки, которые позволяют разделить соответствующие типы объектов. Рассмотренные алгоритмы классификации показывают теоретическую возможность разделения объектов этих трех типов. Для их использования в программе реального датчика они нуждаются в некотором дополнении. Так, при наблюдении движущегося объекта, отдельный классификационный алгоритм может отнести его к разным классам с течением времени. Это связано с неравномерностью движения объекта, изменением рельефа в зоне ответственности датчика, неоднородностью почвы и другими факторами. Поэтому необходимо обрабатывать сигнал одновременно по всем трем алгоритмам, причем с выдачей по каждому из них количественной оценки, а затем, на основе этих количественных оценок, принимать окончательное решение об отнесении объекта к тому или иному типу.

Подводя итог, можно отметить, что задача классификации движущихся объектов по сигналу единичного

сейсмического датчика является решаемой. Предлагаемые алгоритмы классификации могут являться основой алгоритмов, реализованных в реальных датчиках.

Авторы благодарны НИИ Прикладной Акустики и НИИ "Атолл" за предоставление записей натуральных экспериментов.

Литература

1. Звездинский С.С. Быстроразвертываемые средства обнаружения и охранные системы – <http://www.dedal.ru/publication/texts/zvezhinsky-bystroSO&OS-1.doc>, 25.04.2007.
2. Звездинский С.С. Быстроразвертываемые средства обнаружения и охранные системы. Часть 2. – <http://www.dedal.ru/publication/texts/zvezhinsky-bystroSO&OS-2.doc>, 25.04.2007.
3. Дудкин В.А., Дудкин С.В. Синтез выходного сигнала сейсмоприемника при движении человека и группы людей. – <http://www.pniei.penza.ru/conf/tom1/034/t3.htm>, 11.03.2006.

ПРЕЗЕНТАЦИЯ УНИВЕРСИТЕТСКОЙ ПРОГРАММЫ TEXAS INSTRUMENTS

В рамках прошедшей 11-й Международной научно-технической конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применение – DSPA '2009» состоялась презентация Университетской программы фирмы Texas Instruments. Докладчики: Роберт Оуэн – менеджер программы в странах Европы – и Алексей Петровский – координатор программы в России и странах СНГ.

Университетская программа Texas Instruments призвана обеспечить поддержку образовательных курсов и научно-исследовательских работ учебных заведений, посвященных передовым методам цифровой обработки сигналов и информационным технологиям реального времени. Программа предоставляет образовательным учреждениям средства разработки от фирмы TI на льготных условиях; оказывается техническую помощь специалистов; предоставляет 50% скидки на участие в семинарах и конференциях TI; бесплатно предоставляет инструментальные средства для подготовки диссертаций и дипломных работ.

Подробнее об Университетской программе TI можно узнать на сайтах www.dspsa.ru/cosvuz и www.ti.com/ru/universities.htm.

