

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **036070**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2020.09.22**

(51) Int. Cl. **G06K 9/62 (2006.01)**  
**G08B 13/186 (2006.01)**

(21) Номер заявки  
**201792283**

(22) Дата подачи заявки  
**2016.08.26**

---

(54) **СПОСОБ РАСПОЗНАВАНИЯ СИГНАЛА О ВТОРЖЕНИИ В ПРЕДЕЛЫ  
ОПТОВОЛОКОННОГО ПЕРИМЕТРА, УСТРОЙСТВО РАСПОЗНАВАНИЯ И СИСТЕМА  
СИГНАЛИЗАЦИИ О ВТОРЖЕНИИ В ПРЕДЕЛЫ ОПТОВОЛОКОННОГО ПЕРИМЕТРА**

---

(31) **201510556766.2**

(56) CN-A-105184319

(32) **2015.09.02**

CN-A-104240455

(33) **CN**

CN-A-104751580

(43) **2018.06.29**

CN-A-103345808

(86) **PCT/CN2016/096951**

CN-A-103236127

(87) **WO 2017/036363 2017.03.09**

US-A1-2006156404

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**НЮКТЕК КОМПАНИ ЛИМИТЕД  
(CN)**

(72) Изобретатель:  
**Цун Юшу, Цзян Тин, Сюй Цзюнь, Ян  
Цзе, Гао Байсун, Сюй Хуэйкан, Тун  
Иань, Дун Кунь, Мао Сяньхуэй (CN)**

(74) Представитель:  
**Поликарпов А.В., Соколова М.В.,  
Путинцев А.И., Черкас Д.А., Игнатъев  
А.В. (RU)**

---

(57) Предложены способ (10) распознавания сигнала о вторжении в пределы оптоволоконного периметра, устройство (30) распознавания и система (40) сигнализации о вторжении в пределы оптоволоконного периметра. Способ (10) распознавания включает получение сигнала реального времени из контролируемого сигнала в системе контроля оптоволоконного периметра; предварительную обработку сигнала реального времени для понижения уровня шума; определение, является ли сигнал с пониженным уровнем шума сигналом о вторжении; если это так, сегментацию сигнала о вторжении, в результате чего получают сегменты сигнала о вторжении, и извлечение релевантных характеристических переменных сегментов сигнала; классификацию сигнала о вторжении согласно правилу классификации, которое определено заранее созданной моделью дерева решений, и релевантным характеристическим переменным для упомянутых сегментов сигнала. Предложенный способ является несложным, простым в реализации и обеспечивает высокую классификационную способность, а также высокую эффективность классификации сигналов о вторжении.

---

**036070**  
**B1**

**036070**  
**B1**

### **Область техники**

Настоящее изобретение относится в общем к обработке светозлектрических сигналов и технологиям распознавания, а именно к способу распознавания сигнала о вторжении в пределы оптоволоконного периметра, к устройству распознавания сигнала о вторжении в пределы оптоволоконного периметра и к системе сигнализации о вторжении в пределы оптоволоконного периметра.

### **Предпосылки создания изобретения**

С развитием общества все большее количество различных объектов требуют контроля периметра и обеспечения безопасности в целях предотвращения несанкционированного проникновения и порчи имущества. Технологии волоконных решеток благодаря их простой структуре, диэлектрическим изолирующим свойствам, устойчивости к высоким давлениям, неподверженности коррозии, стойкости к электромагнитным помехам и высокой чувствительности нашли широкое применение в интеллектуальных системах охраны периметра.

В системах охраны периметра, где применяют технологии волоконных решеток, основной проблемой является распознавание сигнала о вторжении и отсеивание сигналов помех из окружающей среды, таких как ветер, дождь, снег или автомобильное движение. В настоящее время для распознавания событий нарушения границы применяют нейронные сети, метод опорных векторов (SVM) и другие классические методы машинного обучения.

В данной области техники одним из основных направлений развития стало создание способа распознавания сигнала о вторжении, который был бы несложным и простым в реализации, обладал высокой классификационной способностью и обеспечивал высокую эффективность классификации.

### **Сущность изобретения**

С учетом сказанного выше в настоящем изобретении предложен способ распознавания сигнала о вторжении в пределы оптоволоконного периметра, устройство распознавания сигнала о вторжении в пределы оптоволоконного периметра и система сигнализации о вторжении в пределы оптоволоконного периметра, предназначенные для реализации распознавания событий о вторжении в системе охраны оптоволоконного периметра и сигнализации о таких событиях.

Некоторые дополнительные аспекты и преимущества настоящего изобретения будут рассмотрены в приведенном ниже описании, а другие из них могут быть найдены после прочтения настоящего описания или в ходе практического применения настоящего изобретения.

В одном из аспектов настоящего изобретения предложен способ распознавания сигнала о вторжении в пределы оптоволоконного периметра, включающий получение сигнала реального времени из контролируемого сигнала в системе контроля оптоволоконного периметра; предварительную обработку упомянутого сигнала реального времени с целью понижения уровня шума в сигнале реального времени; определение, является ли сигнал с пониженным уровнем шума сигналом о вторжении; когда сигнал реального времени с пониженным уровнем шума является сигналом о вторжении, сегментацию сигнала о вторжении с получением дискретных сегментов сигнала из сигнала о вторжении, извлечение соответственно релевантных признаков из сегментов сигнала; классификацию сигнала о вторжении согласно правилу классификации, которое определено заранее созданной моделью дерева решений, и релевантным признакам, извлеченным из сегментов сигнала; при этом модель дерева решений содержит по меньшей мере одно дерево решений.

В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения правило классификации, которое определено каждым деревом решений, включает правило классификации на каждом пути от корня дерева решений до листового узла дерева решений, при этом каждое правило классификации включает составное выражение из первой части правила классификации, образованной состояниями атрибутов на каждом пути, и последней части правила классификации, образованной листовым узлом на данном пути.

В еще одном из вариантов осуществления настоящего изобретения модель дерева решений содержит несколько деревьев решений, при этом классификация сигнала о вторжении согласно правилу классификации, которое определено заранее созданной моделью дерева решений, и релевантным признакам, извлеченным из сегментов сигнала, включает последовательную классификацию сигнала о вторжении согласно правилу классификации, заданному каждым деревом решений из множества деревьев решений, и релевантному признаку, извлеченному из сегментов сигнала, в результате чего получают множество соответствующих результатов классификации; помещение одинаковых результатов классификации из упомянутого множества результатов классификации в одну группу, в результате чего получают по меньшей мере одну группу результатов классификации, подсчет количества результатов классификации в каждой группе результатов классификации соответственно и выбор результатов классификации из группы, имеющей наибольшее количество результатов классификации, в качестве окончательного результата классификации сигнала о вторжении.

В еще одном из вариантов осуществления настоящего изобретения способ дополнительно включает: создание модели дерева решений, при этом создание модели дерева решений включает: предварительное получение соответственно множества групп сигналов о вторжении, относящихся к известным классам, из контролируемых сигналов в системе контроля оптоволоконного периметра; предварительную обработку соответственно множества групп сигналов о вторжении, относящихся к известным клас-

сам, с целью понижения уровня шума в упомянутом множестве групп сигналов о вторжении, относящихся к известным классам; сегментацию соответственно множества групп сигналов с пониженным уровнем шума, относящихся к известным классам, в результате чего получают множество групп дискретных сегментов сигналов о вторжении из множества групп сигналов о вторжении, относящихся к известным классам, и извлечение соответственно релевантных признаков для множества групп дискретных сегментов сигналов о вторжении; создание модели дерева решений в соответствии с первым обучающим набором данных, сформированных с использованием множества групп релевантных признаков для множества групп дискретных сегментов сигналов о вторжении, при этом одна группа релевантных признаков образует один входной вектор первого обучающего набора данных.

В еще одном из вариантов осуществления настоящего изобретения модель дерева решений содержит несколько деревьев решений, при этом создание модели дерева решений включает случайную выборку из первого обучающего набора данных с заменой, в результате чего получают множество вторых обучающих наборов данных, при этом каждый из вторых обучающих наборов данных имеет количество входных векторов, равное количеству входных векторов, содержащихся в первом обучающем наборе данных; создание соответственно множества соответствующих деревьев решений с помощью алгоритма построения дерева решений в соответствии с множеством вторых обучающих наборов данных.

В еще одном из вариантов осуществления настоящего изобретения в процессе создания каждого из деревьев решений для каждого входного вектора из второго набора обучающих данных, для каждого ветвления часть релевантных признаков или все релевантные признаки повторно случайным образом выбирают из всех релевантных признаков входного вектора.

В еще одном из вариантов осуществления настоящего изобретения создание модели дерева решений включает создание дерева решений с использованием алгоритма построения дерева решений в соответствии с первым обучающим набором данных и пост-обрезку дерева решений, в результате чего получают модель дерева решений.

В еще одном из вариантов осуществления настоящего изобретения создание модели дерева решений дополнительно включает многократное обучение модели дерева решений в соответствии с первым обучающим набором данных с целью получения наилучшей модели дерева решений.

В еще одном из вариантов осуществления настоящего изобретения алгоритм построения дерева решений включает алгоритм CART с применением показателя Джини в качестве меры атрибутов ветвления.

В еще одном из вариантов осуществления настоящего изобретения упомянутый релевантный признак включает по меньшей мере часть или все из следующего: пиковое стандартное отклонение, дисперсию, асимметрию, эксцесс, количество экстремальных точек и частотные признаки, полученные пакетным вейвлетным разложением.

В одном из аспектов настоящего изобретения предложено устройство распознавания сигнала о вторжении в пределы оптоволоконного периметра, включающее модуль получения сигнала, сконфигурированный для получения сигнала реального времени из контролируемого сигнала в системе контроля оптоволоконного периметра; модуль предварительной обработки сигнала, сконфигурированный для предварительной обработки сигнала с целью понижения уровня шума в сигнале реального времени и для определения, является ли сигнал реального времени с пониженным уровнем шума сигналом о вторжении; модуль извлечения признаков, сконфигурированный, когда сигнал реального времени с пониженным уровнем шума является сигналом о вторжении, для сегментации сигнала о вторжении с получением дискретных сегментов сигнала из сигнала о вторжении и для извлечения соответственно релевантных признаков из соответствующих сегментов сигнала; модуль классификации по дереву решений, сконфигурированный для классификации сигнала о вторжении согласно правилу классификации, которое определено заранее созданной моделью дерева решений, и релевантным признакам, извлеченным из сегментов сигнала; при этом модель дерева решений содержит по меньшей мере одно дерево решений.

В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения правило классификации, которое определено каждым деревом решений, включает правило классификации на каждом пути от корня дерева решений до листового узла дерева решений, при этом каждое правило классификации включает составное выражение из первой части правила классификации, образованной состояниями атрибутов на каждом пути, и последней части правила классификации, образованной листовым узлом на данном пути.

В еще одном из вариантов осуществления настоящего изобретения модель дерева решений содержит несколько деревьев решений, при этом классификация сигнала о вторжении согласно правилу классификации, которое определено заранее созданной моделью дерева решений, и релевантным признакам, извлеченным из сегментов сигнала, включает последовательную классификацию сигнала о вторжении согласно правилу классификации, заданному каждым деревом решений из множества деревьев решений, и релевантному признаку, извлеченному из сегментов сигнала, в результате чего получают множество соответствующих результатов классификации; помещение одинаковых результатов классификации из упомянутого множества результатов классификации в одну группу, в результате чего получают по меньшей мере одну группу результатов классификации, подсчет количества результатов классификации в каждой группе результатов классификации соответственно, и выбор результатов классификации из группы, имеющей наибольшее количество результатов классификации, в качестве окончательного ре-

зультата классификации сигнала о вторжении.

В еще одном из вариантов осуществления настоящего изобретения модуль получения сигнала сконфигурирован также для предварительного получения множества групп сигналов о вторжении, относящихся к известным классам соответственно из контролируемых сигналов в системе контроля оптоволоконного периметра; при этом модуль предварительной обработки сигнала сконфигурирован также для предварительной обработки соответственно множества групп сигналов о вторжении, относящихся к известным классам, с целью понижения уровня шума в упомянутом множестве групп сигналов о вторжении, относящихся к известным классам; модуль извлечения признаков сконфигурирован также для сегментации соответственно множества групп сигналов о вторжении с пониженным уровнем шума, относящихся к известным классам, в результате чего получают множество групп дискретных сегментов сигналов о вторжении из множества групп сигналов о вторжении, относящихся к известным классам, и для извлечения соответственно релевантных признаков для упомянутого множества групп дискретных сегментов сигналов о вторжении; при этом модуль классификации по дереву решений сконфигурирован также для создания модели дерева решений в соответствии с первым обучающим набором данных, сформированных с использованием множества групп релевантных признаков для множества групп дискретных сегментов сигналов о вторжении, при этом одна группа релевантных признаков образует один входной вектор первого обучающего набора данных.

В еще одном из вариантов осуществления настоящего изобретения модель дерева решений содержит несколько деревьев решений, при этом создание модели дерева решений включает случайную выборку из первого обучающего набора данных с заменой, в результате чего получают множество вторых обучающих наборов данных, при этом каждый из вторых обучающих наборов данных имеет количество входных векторов, равное количеству входных векторов, содержащихся в первом обучающем наборе данных; и создание соответственно множества соответствующих деревьев решений с помощью алгоритма построения дерева решений в соответствии со множеством вторых обучающих наборов данных.

В еще одном из вариантов осуществления настоящего изобретения в процессе создания каждого из деревьев решений для каждого входного вектора из второго набора обучающих данных, для каждого ветвления, часть релевантных признаков или все релевантные признаки повторно случайным образом выбирают из всех релевантных признаков входного вектора.

В еще одном из вариантов осуществления настоящего изобретения создание модели дерева решений включает создание дерева решений с использованием алгоритма построения дерева решений в соответствии с первым обучающим набором данных и пост-обрезку дерева решений, в результате чего получают модель дерева решений.

В еще одном из вариантов осуществления настоящего изобретения создание модели дерева решений дополнительно включает многократное обучение модели дерева решений в соответствии с первым обучающим набором данных с целью получения наилучшей модели дерева решений.

В еще одном из вариантов осуществления настоящего изобретения алгоритм построения дерева решений включает алгоритм CART с применением показателя Джини в качестве меры атрибутов ветвления.

В еще одном из вариантов осуществления настоящего изобретения упомянутый релевантный признак включает по меньшей мере часть или все из следующего: пиковое стандартное отклонение, дисперсию, асимметрию, эксцесс, количество экстремальных точек и частотные признаки, полученные пакетным вейвлетным разложением.

В еще одном из аспектов настоящего изобретения предложена система сигнализации о вторжении в пределы оптоволоконного периметра, включающая подсистему оптического канала, сконфигурированную для передачи контролируемого сигнала из оптоволоконного периметра; устройство распознавания сигнала о вторжении в пределы оптоволоконного периметра в соответствии с любым из описанных выше вариантов осуществления изобретения, сконфигурированное для распознавания сигнала о вторжении в контролируемом сигнале и для классификации сигнала о вторжении в контролируемом сигнале; подсистему сигнализации, сконфигурированную для формирования соответствующего сигнала тревоги согласно классу сигнала о вторжении, выданному устройством распознавания.

В устройстве распознавания сигнала о вторжении в пределы оптоволоконного периметра и в соответствующем способе распознавания, предложенных в настоящем изобретении, при помощи извлечения релевантных признаков из сигналов о вторжении, относящихся к известным классам, может быть получен обучающий набор данных для создания соответствующей модели дерева решений. На основе созданной модели дерева решений может быть определено правило классификации сигналов о вторжении в пределы оптоволоконного периметра, применяемое для распознавания и классификации сигналов о вторжении в пределы оптоволоконного периметра. Эти операции несложны, просты в реализации и обеспечивают высокую классификационную способность, а также повышенную эффективность классификации.

#### **Краткое описание чертежей**

Для более глубокого понимания описанных выше и других отличительных признаков, а также преимуществ настоящего изобретения, следует обратиться к подробному описанию конкретных примеров его осуществления со ссылками на приложенные чертежи.

Фиг. 1 представляет собой блок-схему алгоритма, которая иллюстрирует способ распознавания

сигнала о вторжении в пределы оптоволоконного периметра в соответствии с одним из примеров осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 2 представляет собой эскизную иллюстрацию дерева решений для распознавания сигнала о вторжении в пределы оптоволоконного периметра в соответствии с одним из примеров осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 3 представляет собой блок-схему алгоритма, которая иллюстрирует способ создания модели дерева решений для распознавания сигнала о вторжении в пределы оптоволоконного периметра в соответствии с одним из примеров осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 4 представляет собой блок-схему, которая иллюстрирует устройство распознавания сигнала о вторжении в пределы оптоволоконного периметра в соответствии с одним из примеров осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 5 представляет собой блок-схему, которая иллюстрирует систему сигнализации о вторжении в пределы оптоволоконного периметра в соответствии с одним из примеров осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 6 представляет собой эскизную блок-схему, которая иллюстрирует подсистему оптического канала, в которой применяют интерферометр Майкельсона.

Фиг. 7 представляет собой эскизную блок-схему, которая иллюстрирует комбинированную древообразную модель решений, сформированную с использованием исходного обучающего набора данных, в соответствии с одним из примеров осуществления настоящего изобретения.

### Подробное описание изобретения

Далее примеры осуществления настоящего изобретения будут рассмотрены более подробно со ссылками на приложенные чертежи. Однако примеры осуществления настоящего изобретения могут быть реализованы во множестве различных других форм, то есть их не следует считать ограниченными изложенными далее вариантами осуществления настоящего изобретения. Напротив, варианты осуществления настоящего изобретения описаны для обеспечения всестороннего и полного понимания настоящего изобретения и для исчерпывающего изложения специалистам в данной области техники, замысла настоящего изобретения на конкретных примерах его осуществления. Аналогичными числовыми обозначениям на чертежах обозначены аналогичные или идентичные структуры, и соответственно их описание в различных местах настоящего документа не будет повторяться.

При этом описанные элементы, структуры или характеристики допускают комбинирование в одном или более вариантах осуществления настоящего изобретения любым подходящим образом. В приведенном ниже описании рассмотрены множество частных деталей, призванных обеспечить исчерпывающее понимание различных вариантов осуществления настоящего изобретения. Однако специалисты в данной области техники должны понимать, что технические аспекты, предложенные в настоящем изобретении, могут применяться на практике без одной или более из этих частных деталей или могут применяться с другими способами, компонентами, материалами, устройствами, шагами и т.п. При этом также общеизвестные структуры и операции могут быть не проиллюстрированы или не описаны подробно, чтобы не заслонять собой описание аспектов настоящего изобретения.

Фиг. 1 представляет собой блок-схему алгоритма, которая иллюстрирует способ распознавания сигнала о вторжении в пределы оптоволоконного периметра в соответствии с одним из примеров осуществления настоящего изобретения. В соответствии с иллюстрацией фиг. 1 способ 10 включает шаги, описанные ниже.

На шаге S110 получают сигнал  $y(t)$  реального времени из контролируемого сигнала в системе контроля оптоволоконного периметра.

К примеру, контролируют некоторый сигнал из системы сигнализации о вторжении в пределы оптоволоконного периметра, и из этого контролируемого сигнала получают сигнал  $y(t)$  реального времени. В общем случае сигнал  $y(t)$  реального времени получают с некоторой частотой дискретизации.

На шаге S120 сигнал  $y(t)$  реального времени предварительно обрабатывают с целью понижения уровня шума в нем и получают сигнал  $y'(t)$  с пониженным уровнем шума.

К примеру, сигнал  $y(t)$  реального времени может быть предварительно обработан при помощи вейвлет-преобразования с целью понижения уровня шума, например фонового белого шума.

На шаге S130 определяют, является ли сигнал  $y'(t)$  с пониженным уровнем шума сигналом о вторжении.

В общем случае сигналы о вторжении в системе охраны оптоволоконного периметра могут быть приблизительно подразделены на следующие классы: влезание, сотрясение и сигналы окружающей среды (например, ветер, дождь, снег, дорожное движение и т.п.) В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения, например, определение, является ли сигнал сигналом о вторжении, выполняют при помощи сравнения сигнала  $y'(t)$  с пониженным уровнем шума с пороговым значением. Когда сигнал  $y'(t)$  с пониженным уровнем шума превышает пороговое значение, может быть сделан вывод о том, что сигнал  $y'(t)$  с пониженным уровнем шума является сигналом о вторжении.

На шаге S140, когда определено, что сигнал  $y'(t)$  с пониженным уровнем шума является сигналом о вторжении, из сигнала  $y'(t)$  с пониженным уровнем шума извлекают релевантный признак.

Сначала сигнал  $y'(t)$  с пониженным уровнем шума сегментируют и получают дискретные сегменты сигнала,  $\{x(t_i)\}$ ,  $i=1, \dots, N$

Затем из дискретных сегментов  $\{x(t_i)\}$ ,  $i=1, \dots, N$  сигнала извлекают релевантный признак. Релевантный признак может включать часть или все из следующего: например, пиковое стандартное отклонение (Diff), дисперсию (D), асимметрию (Skew), эксцесс (K), количество экстремальных точек (Num) и частотные признаки. При этом среди упомянутых признаков пиковое стандартное отклонение (Diff), дисперсия (D), асимметрия (Skew), эксцесс (K) и количество экстремальных точек (Num) относятся к признакам во временной области. Затем каждый из упомянутых выше признаков сегментов  $\{x(t_i)\}$ ,  $i=1, \dots, N$  сигнала может быть определен следующим образом.

Пиковое стандартное отклонение (Diff) определяют как значение (Diff) разности между максимальным значением  $\max(x(t))$  и средним значением  $\overline{x(t)}$  сегментов  $\{x(t_i)\}$ ,  $i=1, \dots, N$  сигнала. Расчетная формула имеет следующий вид:

$$Diff = \max(x(t)) - \overline{x(t)}$$

Дисперсию (D) вычисляют следующим образом:

$$D = \sum_{i=1}^N (x(t_i) - \overline{x(t)})^2 / N$$

Асимметрию (Skew) вычисляют следующим образом:

$$Skew = \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N (x(t_i) - \overline{x(t)})^3 \right) / \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x(t_i) - \overline{x(t)})^2 \right)^{3/2}$$

Эксцесс (K) вычисляют следующим образом:

$$K = \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N (x(t_i) - \overline{x(t)})^4 \right) / \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x(t_i) - \overline{x(t)})^2 \right)^2$$

Количество (Num) экстремальных точек - это целое число точек экстремума в сегментах  $\{x(t_i)\}$ ,  $i=1, \dots, N$  сигнала.

Частотный признак включает признак  $[T'_1, T'_2, \dots, T'_r]$ , получаемый при помощи пакетной вейвлет-декомпозиции. Соответствующая процедура вычислений описана ниже.

Сегмент  $\{x(t_i)\}$ ,  $i=1, \dots, N$  сигнала раскладывают с использованием вейвлетного пакета уровня  $j$ , при этом частота дискретизации равна  $2f$ . Затем могут быть сформированы  $2^j$  частотных полос одинаковой

ширины, при этом ширина каждой частотной полосы составляет  $\frac{f}{2^j}$ . После разложения могут быть получены коэффициенты  $C_{j,k}^m$  вейвлетного пакета уровня  $j$ , где  $k=1, 2, \dots, 2^j-1$ , а  $m$  - указатель позиции. Выбирают  $r$  частотных полос, наиболее чувствительных к энергии, и затем энергию вычисляют и нормализуют. Расчетная формула имеет следующий вид:

$$T_{j,k} = \sum_m |C_{j,k}^m|^2, \quad T_{j,k}' = \frac{T_{j,k}}{\sum T_{j,k}}.$$

На шаге S150 выполняют классификацию сигнала о вторжении согласно правилу классификации, которое определено заранее созданной моделью дерева решений, и релевантным признакам, извлеченным из сегментов сигнала.

Упомянутая выше заранее созданная модель дерева решений может включать модель с единственным деревом решений или модель с комбинацией из множества деревьев решений. Далее будет рассмотрена классификация сигнала о вторжении согласно правилу классификации, которое определено заранее созданной моделью дерева решений с одним деревом решений, а также релевантным признакам, извлеченным из сегментов сигнала.

После получения заранее созданной модели дерева решений формируют соответствующее правило классификации. А именно, правило классификации извлекают из дерева решений, которое определено моделью дерева решений. Фиг. 2 представляет собой эскизную иллюстрацию отдельного дерева решений для распознавания сигнала о вторжении в пределы оптоволоконного периметра в соответствии с одним из примеров осуществления настоящего изобретения. Ниже на примере одного дерева решений, показанного на фиг. 2, будет рассмотрено получение правила классификации, которое определено деревом решений, а также будет рассмотрено выполнение классификации.

В соответствии с иллюстрацией фиг. 2,  $A_1$ ,  $A_2$  и  $A_3$  - это три атрибута дерева решений, каждый из которых, например, является одним из описанных выше релевантных признаков. Атрибут  $A_1$  может иметь три различных состояния:  $a_{1,1}$ ,  $a_{1,2}$  и  $a_{1,3}$ . Атрибут  $A_2$  может иметь два различных состояния:  $a_{2,1}$  и  $a_{2,2}$ . Атрибут  $A_3$  может иметь два различных состояния:  $a_{3,1}$  и  $a_{3,2}$ .  $C_1$  и  $C_2$  - это два класса сигнала о вторжении, описанные выше, например перелезание, удар или сигналы окружающей среды (например, ветер, дождь, снег, дорожное движение и т.п.) Для каждого пути от корня ( $A_1$  на чертеже) до листового узла

создают правило классификации, которое соответствующим образом выражено в форме "ЕСЛИ-ТО". Все состояния атрибутов на данном пути образуют комбинированное выражение для первой части правила (т.е. части "ЕСЛИ"), а листовая узел, содержащий класс ( $C_n$ ), образует последнюю часть правила (т.е. часть "ТО"). К примеру, если ("ЕСЛИ") классифицируемый сигнал имеет атрибут  $A_1$ , удовлетворяющий условию  $a_{1,2}$ , то ("ТО") он относится к классу  $C_1$ ; если классифицируемый сигнал имеет атрибут  $A_1$ , удовлетворяющий условию  $a_{1,1}$ , и атрибут  $A_2$ , удовлетворяющий условию  $a_{2,2}$ , то он относится к классу  $C_2$ , и т.п. (нет необходимости продолжать это описание далее) Нужно отметить, что описанное выше является лишь одним из примеров получения правила классификации, которое определено моделью дерева решений, и не должно рассматриваться как ограничение настоящего изобретения.

После получения правила классификации извлеченные релевантные признаки применяют к правилу классификации с целью классификации сигнала о вторжении. К примеру, векторы  $A_1$  и  $A_2$  признаков, извлеченные из сигнала о вторжении, соответственно могут удовлетворять состояниям  $a_{1,1}$  и  $a_{2,1}$  атрибутов, и, следовательно, сигнал о вторжении может быть отнесен к классу  $C_1$ .

Как отмечалось выше, заранее созданная модель дерева решений может быть также комбинированной моделью дерева решений, включающей множество  $T_1, T_2, \dots, T_k$  деревьев решений. Ниже определение результата классификации на основе комбинированной модели  $T$  дерева решений будет рассмотрено более подробно. Входной сигнал о вторжении классифицируют методом простого "голосования". Для каждого входного сигнала о вторжении каждое из деревьев  $T_1, T_2, \dots, T_k$  решений в комбинированной модели дерева решений позволяет получить результат классификации, как это было описано выше. Таким образом, каждое дерево имеет свой "голос", т.е. один из классов  $C_i, i=1, 2, \dots, n$ . Вычисляют количество голосов за каждый класс  $C_i, i=1, 2, \dots, n$ , и класс с наибольшим количеством голосов,  $C_j, 1 \leq j \leq n$ , выбирают в качестве окончательного результата классификации о вторжении. Альтернативно результаты классификации для каждого из деревьев  $T_1, T_2, \dots, T_k$  группируют и получают по меньшей мере одну группу результатов классификации. Вычисляют количество результатов классификации в каждой группе. Выбирают группу, имеющую наибольшее количество результатов классификации, и класс из выбранной группы принимают в качестве окончательного.

Ниже более подробно рассмотрено создание модели дерева решений перед выполнением описанного выше способа распознавания. Модель дерева решений может быть моделью только с одним деревом решений, а также может быть моделью с комбинацией из множества соответствующих деревьев решений, участвующих в голосовании.

Фиг. 3 представляет собой блок-схему алгоритма, которая иллюстрирует способ создания модели дерева решений для распознавания сигнала о вторжении в пределы оптоволоконного периметра в соответствии с одним из примеров осуществления настоящего изобретения. В соответствии с фиг. 3 способ 20 включает шаги, описанные ниже.

На шаге S210, выполняемом заранее, получают множество групп сигналов  $Y(t)$  о вторжении, относящихся к известным классам, и соответствующие результаты классификации получают соответственно из контролируемых сигналов в системе контроля оптоволоконного периметра.

Чтобы создать модель дерева решений для классификации сигналов о вторжении множество групп сигналов  $Y(t)$  о вторжении, относящихся к известным классам, заранее получают соответственно из контролируемых сигналов в системе контроля оптоволоконного периметра. Известные классы могут включать, например, упомянутые выше взлезание, сотрясение и сигналы окружающей среды (например, ветер, дождь, снег, дорожное движение и т.п.) без ограничения настоящего изобретения в данном отношении.

На шаге S220 множество групп сигналов  $Y(t)$  о вторжении, относящихся к известным классам, предварительно обрабатывают соответственно для понижения уровня шума в них и получают соответствующее множество групп сигналов  $Y'(t)$  с пониженным уровнем шума.

Например, множество групп сигналов  $Y(t)$  о вторжении, относящихся к известным классам, могут быть обработаны при помощи вейвлет-преобразования для понижения уровня шума, например фонового белого шума.

На шаге S230 множество групп сигналов  $Y'(t)$  о вторжении с пониженным уровнем шума сегментируют соответственно, получают множество групп дискретных сегментов  $\{X(t_i)\}, i=1, \dots, N$  сигналов о вторжении и из множества групп дискретных сегментов  $\{X(t_i)\}, i=1, \dots, N$  сигналов о вторжении извлекают соответственно релевантные признаки.

В частности, релевантные признаки могут включать часть или все из следующего: например, пиковое стандартное отклонение (Diff), дисперсию (D), асимметрию (Skew), эксцесс (K), количество экстремальных точек (Num) и частотные признаки. Среди упомянутых признаков пиковое стандартное отклонение (Diff), дисперсия (D), асимметрия (Skew), эксцесс (K) и количество экстремальных точек (Num) относятся к признакам во временной области. Упомянутые выше векторы релевантных признаков определяют и вычисляют в соответствии с приведенным выше описанием, которое здесь не будет изложено повторно.

На шаге S240 создают обучающий набор данных на основе релевантных признаков из множества групп дискретных сегментов  $\{X(t_i)\}, i=1, \dots, N$  сигналов о вторжении и модели дерева решений.

А именно, допускается, что каждая группа сегментов  $\{X(t_i)\}, i=1, \dots, N$  сигналов о вторжении имеет релевантные признаки  $\{A_1, A_2, \dots, A_M\}$ . Подобный вектор признаков является входным, а множество

групп входных векторов образуют обучающий набор  $D$  данных для модели дерева решений.

Модель дерева решений создают на основе всего обучающего набора  $D$  данных. Для начала рассмотрим создание модели дерева решений, имеющей только одно дерево решений. Ниже в качестве примера будет рассмотрен алгоритм CART с применением показателя Джини в качестве меры атрибутов ветвления.

Сначала определяют показатель Джини при помощи следующей формулы:

$$Gini(D) = 1 - \sum_{i=1}^n p_i^2$$

где  $p_i$  - вероятность того, что класс  $C_i$  присутствует в обучающем наборе  $D$  данных.

Для некоторого атрибута  $A$  в обучающем наборе  $D$  данных, если обучающий набор данных  $D$  разделен на две части,  $D_1$  и  $D_2$ , то этот набор  $D$  может иметь следующий коэффициент Джини:

$$Gini_A(D) = \frac{|D_1|}{|D|} Gini(D_1) + \frac{|D_2|}{|D|} Gini(D_2)$$

Коэффициент Джини вычисляют для всех различных подмножеств атрибута, а подмножество с наименьшим коэффициентом Джини выбирают в качестве подмножества ветвления для упомянутого атрибута. Эту процедуру повторяют до тех пор, пока ветвление не прекращается. В этот момент построение модели дерева решений, содержащей единственное дерево решений, завершено.

После создания дерева решений, чтобы исключить чрезмерную аппроксимацию из-за шума в отсчетах обучающего набора данных или из-за недостатка отсчетов в обучающем наборе данных, выполняют обрезку построенного дерева решений. Обрезка может представлять собой в общем случае предварительную обрезку или пост-обрезку.

Предварительную обрезку выполняют за счет ранней остановки ветвления, например, уславливаясь о том, что ветвление, или деление, подмножеств обучающего набора данных останавливают после заданного узла, что ограничивает ветвление дерева. После окончания ветвления такой заданный узел становится листом дерева. Пост-обрезка представляет собой отсечение поддеревьев от полностью построенного дерева. Поддеревья заданного узла отсекают либо за счет удаления ветвей некоторого узла, либо за счет замены ветвей листьями. Листовые узлы помечают классами, имеющими наибольшую вероятность в соответствующих заменяемых поддеревьях. Метод пост-обрезки включает принцип минимальной длины описания и принцип минимальной ожидаемой вероятности ошибки. Недостаточно достоверные ветви согласно статистическим метрикам могут быть удалены, что повышает классификационную способность дерева независимо от тестовых данных.

В алгоритме CART, как правило, применяют стратегию пост-обрезки. К примеру, для отсечения может применяться способ оценки показателя затраты-сложность (cost-complexity, CCP). Сначала исходное дерево решений обрезают снизу вверх и получают серию деревьев  $\{T_0, T_1, \dots, T_k\}$ .  $T_0$  - исходное необрезанное дерево.  $T_k$  - дерево, имеющее только один узел.  $T_{i+1}$  получают заменой одного или более поддеревьев  $T_i$ . После обрезки наилучшее дерево, в соответствии с фактической вероятностью ошибки, выбирают в качестве окончательного дерева решений.

Выше было описано дерево решений, полученное после однократного обучения. Возможно также многократное обучение, которое позволяет, применяя различные обучающие наборы данных, выбрать наилучшее дерево решений и, таким образом, определить модель дерева решений.

При этом алгоритмы построения дерева решений, подходящие для применения, могут также включать: алгоритм ID3, в котором в качестве меры атрибутов ветвления используют прирост информации, или алгоритм C4.5, в котором в качестве атрибутов ветвления также используют прирост информации.

Ниже описано создание модели дерева решений с множеством деревьев решений. Фиг. 7 представляет собой эскизную блок-схему, которая иллюстрирует комбинированную древообразную модель решений, сформированную с использованием исходного обучающего набора данных, в соответствии с одним из примеров осуществления настоящего изобретения.

После определения полного обучающего набора  $D$  данных в соответствии с предшествующим описанием, как показано на фиг. 7, отсчеты в обучающем наборе  $D$  данных случайным образом заменяют и получают  $l$  обучающих наборов  $D_1, D_2, \dots, D_l$  данных. Каждый из обучающих наборов данных имеет такое же количество входных векторов, что и исходный обучающий набор  $D$  данных. Для всех  $l$  обучающих наборов  $D_1, D_2, \dots, D_l$  данных строят соответствующую модель дерева решений. Например, все деревья решений могут строиться при помощи алгоритма CART, без ограничения настоящего изобретения в данном отношении.

Допустим, что количество заранее извлеченных атрибутов равно  $M$ . После построения всех деревьев решений исходные данные становятся корневым узлом, от которого начинается ветвление. Назначают  $F$  атрибутов, где  $F \leq M$ . В процессе каждого ветвления из всех  $M$  атрибутов в качестве набора атрибутов ветвления случайным образом выбирают  $F$  атрибутов. Ветвление в узле с выборкой из  $F$  атрибутов выполняют наиболее подходящим способом. В процессе ветвления в качестве меры используют коэффициент Джини. В процессе построения дерева решений число  $F$  остается неизменным.

Ниже в качестве примера приведено описание алгоритма CART с применением коэффициента Джини в качестве меры атрибута ветвления. В данном примере допущено, что  $F=1$ .

Сначала определяют показатель Джини при помощи следующей формулы:

$$Gini(D) = 1 - \sum_{i=1}^n p_i^2$$

где  $p_i$  - вероятность того, что класс  $C_i$  присутствует в обучающем наборе  $D$  данных.

Для некоторого подмножества  $A$  заданного атрибута  $A_j$  ( $j=1, \dots, M$ ), извлеченного из обучающего набора  $D$  данных, если обучающий набор данных  $D$  может быть разделен на две части,  $D_1$  и  $D_2$ , то этот набор  $D$  может иметь следующий коэффициент Джини:

$$Gini_A(D) = \frac{|D_1|}{|D|} Gini(D_1) + \frac{|D_2|}{|D|} Gini(D_2)$$

Коэффициент Джини вычисляют для всех различных подмножеств атрибута, а подмножество, дающее наименьший коэффициент Джини, выбирают в качестве подмножества ветвления для упомянутого атрибута.

Для каждого ветвления из всех  $M$  атрибутов снова случайным образом выбирают  $F$  атрибутов (число  $F$  остается неизменным).

Описанную выше процедуру повторяют до тех пор, пока все узлы не станут листьями, после чего ветвление останавливают.

В этот момент получают отдельные необрезанные деревья решений.

Эту процедуру выполняют соответственно для всех обучающих наборов  $D_1, D_2, \dots, D_n$  и получают множество деревьев  $T_1, T_2, \dots, T_k$  решений. В результате получают комбинацию  $T$ , образованную множеством деревьев  $T_1, T_2, \dots, T_k$  (которое также называют "случайным лесом").

Точность классификации модели дерева решений в целом может быть оценена при помощи выбора в качестве входных для процедуры распознавания данных из исходного обучающего набора  $D$  данных, которые не присутствовали в случайной выборке, на основе результата классификации  $C_i$ ,  $i=1, 2, \dots, n$ , соответствующего каждой группе входных векторов, и окончательного результата классификации, полученного при помощи модели дерева решений.

В способе распознавания сигнала о вторжении в пределы оптоволоконного периметра, предложенном в настоящем изобретении, при помощи извлечения релевантных признаков из сигналов о вторжении, относящихся к известным классам, может быть получен обучающий набор данных для создания соответствующей модели дерева решений. На основе созданной модели дерева решений может быть определено правило классификации сигналов о вторжении в пределы оптоволоконного периметра, применяемое для распознавания и классификации сигналов о вторжении в пределы оптоволоконного периметра. Эти операции несложны, просты в реализации и обеспечивают высокую классификационную способность, а также повышенную эффективность классификации.

Фиг. 4 представляет собой блок-схему, которая иллюстрирует устройство распознавания сигнала о вторжении в пределы оптоволоконного периметра в соответствии с одним из примеров осуществления настоящего изобретения. В соответствии с фиг. 4 устройство 30 включает модуль 310 получения сигнала, модуль 320 предварительной обработки сигнала, модуль 330 извлечения признаков и модуль 340 классификации по дереву решений.

Модуль 310 получения сигнала сконфигурирован для получения сигнала  $y(t)$  реального времени из контролируемого сигнала в системе контроля оптоволоконного периметра.

В общем случае сигнал  $y(t)$  реального времени получают с некоторой частотой дискретизации.

Модуль 320 предварительной обработки сигнала сконфигурирован для предварительной обработки сигнала  $y(t)$  реального времени с целью понижения уровня шума в нем, в результате чего получают сигнал  $y'(t)$  с пониженным уровнем шума и определяют, является ли сигнал  $y'(t)$  с пониженным уровнем шума сигналом о вторжении.

К примеру, сигнал  $y(t)$  реального времени может быть предварительно обработан при помощи вейвлет-преобразования с целью понижения уровня шума, например фонового белого шума.

В общем случае сигналы о вторжении в системе охраны оптоволоконного периметра могут быть приблизительно подразделены на следующие классы: перелезание, удар и сигналы окружающей среды (например, ветер, дождь, снег, дорожное движение и т.п.) В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения, например, определение, является ли сигнал сигналом о вторжении, выполняют при помощи сравнения сигнала  $y'(t)$  с пониженным уровнем шума с пороговым значением. Когда уровень сигнала  $y'(t)$  с пониженным уровнем шума превышает пороговое значение, может быть сделан вывод о том, что сигнал  $y'(t)$  с пониженным уровнем шума является сигналом о вторжении.

Модуль 330 извлечения признаков сконфигурирован, когда определено, что сигнал  $y'(t)$  с пониженным уровнем шума является сигналом о вторжении, для извлечения релевантного признака из сигнала  $y'(t)$  с пониженным уровнем шума.

Сначала сигнал  $y'(t)$  с пониженным уровнем шума сегментируют и получают дискретные сегменты

сигнала,  $\{x(t_i)\}$ ,  $i=1, \dots, N$ .

Затем из дискретных сегментов  $\{x(t_i)\}$ ,  $i=1, \dots, N$  сигнала извлекают релевантный признак. Релевантный признак может включать часть или все из следующего: например, пиковое стандартное отклонение (Diff), дисперсию (D), асимметрию (Skew), эксцесс (K), количество экстремальных точек (Num) и частотные признаки. При этом среди упомянутых признаков пиковое стандартное отклонение (Diff), дисперсия (D), асимметрия (Skew), эксцесс (K) и количество экстремальных точек (Num) относятся к признакам во временной области. Упомянутые выше признаки определяют и вычисляют в соответствии с приведенным выше описанием, которое здесь не будет изложено повторно.

Модуль 340 классификации по дереву решений сконфигурирован для классификации сигнала о вторжении согласно правилу классификации, которое определено заранее созданной моделью дерева решений, и релевантным признакам, извлеченным из сегментов сигнала.

Упомянутая выше заранее созданная модель дерева решений может включать модель с единственным деревом решений или модель с комбинацией из множества деревьев решений. Далее будет рассмотрена классификация сигнала о вторжении согласно правилу классификации, которое определено заранее созданной моделью дерева решений с одним деревом решений, а также релевантным признакам, извлеченным из сегментов сигнала.

После получения ранее созданной модели дерева решений формируют соответствующее правило классификации. А именно, правило классификации извлекают из дерева решений, которое определено моделью дерева решений. Фиг. 2 представляет собой эскизную иллюстрацию единого дерева решений для распознавания сигнала о вторжении в пределы оптоволоконного периметра в соответствии с одним из примеров осуществления настоящего изобретения. Ниже на примере единого дерева решений, показанного на фиг. 2, будет рассмотрено получение правила классификации, которое определено деревом решений, а также будет рассмотрено выполнение классификации.

В соответствии с фиг. 2  $A_1$ ,  $A_2$  и  $A_3$  - это три атрибута дерева решений, каждый из которых, например, является одним из описанных выше релевантных признаков. Атрибут  $A_1$  может иметь три различных состояния:  $a_{1,1}$ ,  $a_{1,2}$  и  $a_{1,3}$ . Атрибут  $A_2$  может иметь два различных состояния:  $a_{2,1}$  и  $a_{2,2}$ .

Атрибут  $A_3$  может иметь два различных состояния:  $a_{3,1}$  и  $a_{3,2}$ .  $C_1$  и  $C_2$  - это два класса сигнала о вторжении, описанные выше, например перелезание, удар или сигналы окружающей среды (например, ветер, дождь, снег, дорожное движение и т.п.) Для каждого пути от корня ( $A_1$  на чертеже) до листового узла создают правило классификации, которое соответствующим образом выражено в форме "ЕСЛИ-ТО". Все состояния атрибутов на данном пути образуют комбинированное выражение для первой части правила (т.е. части "ЕСЛИ"), а листовый узел, содержащий класс ( $C_n$ ), образует последнюю часть правила (т.е. часть "ТО"). К примеру, если ("ЕСЛИ") состояние атрибута  $A_1$  удовлетворяет условию  $a_{1,2}$ , то ("ТО") он относится к классу  $C_1$ ; если состояние атрибута  $A_1$  удовлетворяет условию  $a_{1,1}$  и состояние атрибута  $A_2$ , удовлетворяет условию  $a_{2,2}$ , то он относится к классу  $C_2$ , и т.п. (нет необходимости продолжать это описание далее). Нужно отметить, что описанное выше является лишь одним из примеров получения правила классификации, которое определено моделью дерева решений, и не должно рассматриваться как ограничение настоящего изобретения.

После получения правила классификации извлеченные релевантные признаки применяют к правилу классификации с целью классификации сигнала о вторжении. К примеру, векторы  $A_1$  и  $A_2$  признаков, извлеченные из сигнала о вторжении, соответственно могут удовлетворять состояниям  $a_{1,1}$  и  $a_{2,1}$  атрибутов и, следовательно, сигнал о вторжении может быть отнесен к классу  $C_1$ .

Как отмечалось выше, заранее созданная модель дерева решений может быть также комбинированной моделью  $T$  дерева решений, включающей множество деревьев  $T_1, T_2, \dots, T_k$  решений. Ниже определение результата классификации на основе комбинированной модели  $T$  дерева решений будет рассмотрено более подробно. Входной сигнал о вторжении классифицируют методом простого "голосования". Для каждого входного сигнала о вторжении каждое из деревьев  $T_1, T_2, \dots, T_k$  решений в комбинированной модели  $T$  дерева решений позволяет получить результат классификации, как это было описано выше. Таким образом, каждое дерево имеет свой "голос", т.е. один из классов  $C_i$ ,  $i=1, 2, \dots, n$ . Вычисляют количество голосов за каждый класс  $C_i$ ,  $i=1, 2, \dots, n$ , и класс с наибольшим количеством голосов,  $C_j$ ,  $1 \leq j \leq n$ , выбирают в качестве окончательного результата классификации о вторжении. Альтернативно результаты классификации для каждого из деревьев  $T_1, T_2, \dots, T_k$  группируют и получают по меньшей мере одну группу результатов классификации. Вычисляют количество результатов классификации в каждой группе. Выбирают группу, имеющую наибольшее количество результатов классификации, и класс из выбранной группы принимают в качестве окончательного.

В дополнение, устройство 30 для распознавания сигнала о вторжении в пределы оптоволоконного периметра сконфигурировано для создания упомянутой выше модели дерева решений до распознавания сигнала о вторжении. Модель дерева решений может быть моделью только с одним деревом решений, а также может быть моделью с комбинацией из множества соответствующих деревьев решений, участвующих в голосовании.

Модуль 310 получения сигнала сконфигурирован также для предварительного получения множества групп сигналов  $Y(t)$  о вторжении, относящихся к известным классам, соответственно из контролируе-

мых сигналов в системе контроля оптоволоконного периметра.

Чтобы создать модель дерева решений для классификации сигналов о вторжении, множество групп сигналов  $Y(t)$  о вторжении, относящихся к известным классам, и соответствующие результаты классификации заранее получают соответственно из контролируемых сигналов в системе контроля оптоволоконного периметра. Известные классы могут включать, например, упомянутые выше перелезание, удар и сигналы окружающей среды (например, ветер, дождь, снег, дорожное движение и т.п.), без ограничения настоящего изобретения в данном отношении.

Модуль 320 предварительной обработки сигнала сконфигурирован также для предварительной обработки соответственно множества групп сигналов  $Y(t)$  о вторжении, относящихся к известным классам, для понижения уровня шума в них, в результате чего получают соответствующее множество групп сигналов  $Y'(t)$  с пониженным уровнем шума.

Модуль 330 извлечения признаков сконфигурирован также для сегментации соответственно множества групп сигналов  $Y'(t)$  о вторжении с пониженным уровнем шума, в результате чего получают множество групп дискретных сегментов  $\{X(t_i)\}$ ,  $i=1, \dots, N$  сигналов о вторжении, и для извлечения соответственно релевантных признаков для множества групп дискретных сегментов  $\{X(t_i)\}$ ,  $i=1, \dots, N$  сигналов о вторжении.

В частности, релевантные признаки могут включать часть или все из следующего: например, пиковое стандартное отклонение (Diff), дисперсию (D), асимметрию (Skew), эксцесс (K), количество экстремальных точек (Num) и частотные признаки. Среди упомянутых признаков пиковое стандартное отклонение (Diff), дисперсия (D), асимметрия (Skew), эксцесс (K) и количество экстремальных точек (Num) относятся к признакам во временной области. Затем упомянутые выше векторы релевантных признаков определяют и вычисляют в соответствии с приведенным выше описанием, которое здесь не будет изложено повторно.

Модуль 340 классификации по дереву решений сконфигурирован также для создания обучающего набора данных на основе релевантных признаков из множества групп дискретных сегментов  $\{X(t_i)\}$ ,  $i=1, \dots, N$  сигналов о вторжении, а также для создания модели дерева решений.

А именно, допускается, что каждая группа сегментов  $\{X(t_i)\}$ ,  $i=1, \dots, N$  сигналов о вторжении имеет релевантные признаки  $\{A_1, A_2, \dots, A_M\}$ . Подобный вектор признаков является входным, а множество групп входных векторов образуют обучающий набор D данных для модели дерева решений.

Модель дерева решений создают на основе всего обучающего набора D данных. Для начала рассмотрим создание модели дерева решений, имеющей только одно дерево решений. Ниже в качестве примера будет рассмотрен алгоритм CART с применением показателя Джини в качестве меры атрибутов ветвления.

Сначала определяют показатель Джини при помощи следующей формулы:

$$Gini(D) = 1 - \sum_{i=1}^n p_i^2$$

где  $p_i$  - вероятность того, что класс  $C_i$  присутствует в обучающем наборе D данных.

Для некоторого атрибута A в обучающем наборе D данных, если обучающий набор данных D разделен на две части,  $D_1$  и  $D_2$ , то это набор D может иметь следующий коэффициент Джини:

$$Gini_A(D) = \frac{|D_1|}{|D|} Gini(D_1) + \frac{|D_2|}{|D|} Gini(D_2)$$

Коэффициент Джини вычисляют для всех различных подмножеств атрибута, а подмножество с наименьшим коэффициентом Джини выбирают в качестве подмножества ветвления для упомянутого атрибута. Эту процедуру повторяют до тех пор, пока ветвление не прекращается. После этого построенное дерево решений обрезают методом постобрезки и получают модель дерева решений, являющуюся результатом однократного обучения. В результате многократного обучения может быть получена наилучшая модель дерева решений.

Ниже описано создание модели дерева решений с множеством деревьев решений. Обратимся снова к фиг. 7. После определения полного обучающего набора D данных в соответствии с предшествующим описанием отсчеты в обучающем наборе D данных случайным образом заменяют и получают l обучающих наборов  $D_1, D_2, \dots, D_l$  данных. Каждый из обучающих наборов данных имеет такое же количество входных векторов, что и исходный обучающий набор D данных. Для всех l обучающих наборов  $D_1, D_2, \dots, D_l$  данных строят соответствующую модель дерева решений. Все деревья решений могут строиться при помощи описанного выше алгоритма CART, без ограничения настоящего изобретения в данном отношении.

Допустим, что количество заранее извлеченных атрибутов равно M. Назначают F атрибутов, где  $F \leq M$ . В процессе построения дерева решений число F остается неизменным. В процессе каждого ветвления из всех M атрибутов в качестве набора атрибутов ветвления случайным образом выбирают F атрибутов. В качестве меры используют коэффициент Джини и применяют наиболее подходящий метод ветвления до тех пор, пока ветвление не прекратится.

Создание отдельных деревьев решений в модели с множеством деревьев решений подробно описа-

но для способа, предложенного в настоящем описании, и не будет приведено здесь повторно. После создания всех деревьев решений обрезка больше не требуется.

Эту процедуру выполняют соответственно для всех обучающих наборов  $D_1, D_2, \dots, D_l$  данных и получают множество деревьев  $T_1, T_2, \dots, T_k$  решений. В результате получают комбинацию  $T$ , образованную множеством деревьев  $T_1, T_2, \dots, T_k$  (которое также называют "случайным лесом").

Точность классификации модели дерева решений в целом может быть оценена при помощи выбора в качестве входных для процедуры распознавания данных из исходного обучающего набора  $D$  данных, которые не присутствовали в случайной выборке, на основе результата классификации  $C_i, i=1, 2, \dots, n$ , соответствующего каждой группе входных векторов, и окончательному результату классификации, полученному при помощи модели дерева решений.

В устройстве распознавания сигнала о вторжении в пределы оптоволоконного периметра, предложенном в настоящем изобретении, при помощи извлечения релевантных признаков из сигналов о вторжении, относящихся к известным классам, может быть получен обучающий набор данных для создания соответствующей модели дерева решений. На основе созданной модели дерева решений может быть определено правило классификации сигналов о вторжении в пределы оптоволоконного периметра, применяемое для распознавания и классификации сигналов о вторжении в пределы оптоволоконного периметра. Способ функционирования, применяемый в устройстве распознавания, несложен, прост в реализации и обеспечивает высокую классификационную способность, а также повышенную эффективность классификации.

Ниже будет рассмотрена система сигнализации о вторжении в пределы оптоволоконного периметра, включающая устройство распознавания сигнала о вторжении в пределы оптоволоконного периметра, предложенное в настоящем изобретении. Фиг. 5 представляет собой блок-схему, которая иллюстрирует систему сигнализации о вторжении в пределы оптоволоконного периметра в соответствии с одним из примеров осуществления настоящего изобретения. В соответствии с фиг. 5 система 40 сигнализации о вторжении в пределы оптоволоконного периметра включает подсистему 410 оптического канала, устройство 30 распознавания сигнала о вторжении в пределы оптоволоконного периметра и подсистему 420 сигнализации.

Подсистема 410 оптического канала сконфигурирована для передачи контролируемого сигнала оптоволоконного периметра. Ниже подсистема 410 оптического канала будет рассмотрена на примере интерферометра Майкельсона, однако настоящее изобретение в данном отношении им не ограничено. Фиг. 6 представляет собой эскизную блок-схему, которая иллюстрирует подсистему оптического канала, в которой применяют интерферометр Майкельсона. В соответствии с фиг. 6 подсистема 410 оптического канала включает лазерный излучатель 4110, ответвитель 4120, опорное плечо 4130, измерительное плечо 4140, отражающий торец 4150 и датчик 4160.

Лазерный излучатель 4110 излучает узкополосное лазерное излучение. Узкополосный лазерный луч отражается от отражающего торца 4150 и интерферирует со светом, отраженным опорным плечом 4130 на датчик 4160. Если происходит событие нарушения границы, измеряемый сигнал меняет фазу из-за изменений в сигнале возмущения в измерительном плече 4140, что дает изменение интерференционной полосы и, в свою очередь, изменение яркости, регистрируемой датчиком 4160. Датчик 4160 представляет собой, например, фотоэлемент, который сконфигурирован для преобразования регистрируемого оптического сигнала в выходной электрический сигнал, который используют в качестве контролируемого сигнала для оптоволоконного периметра.

Устройство 30 распознавания сигнала о вторжении в пределы оптоволоконного периметра сконфигурировано для распознавания сигнала о вторжении и для классификации сигнала о вторжении в соответствии с контролируемым сигналом. Метод, которым устройство 30 распознавания распознает сигнал о вторжении и классифицирует сигнал о вторжении, описан выше и не будет рассмотрен здесь повторно.

Подсистема 420 сигнализации сконфигурирована для формирования соответствующего сигнала тревоги в соответствии с классом сигнала о вторжении, выданным устройством 30 распознавания. Подсистема 420 сигнализации, например, может включать модуль вывода сигнала тревоги (не показан на чертеже) для выдачи управляющей инструкции в сигнализирующее периферийное устройство о необходимости формирования сигнала тревоги.

В приведенном выше описании были проиллюстрированы и рассмотрены конкретные примеры осуществления настоящего изобретения. При этом нужно понимать, что настоящее изобретение не ограничено рассмотренными вариантами его осуществления. Напротив, настоящее изобретение следует рассматривать как охватывающее множество различных модификаций и эквивалентных замен, которые попадают в объем приложенной формулы изобретения.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ распознавания сигнала о вторжении в пределы оптоволоконного периметра, выполняемый устройством распознавания сигнала о вторжении в пределы оптоволоконного периметра и включающий

предварительное получение соответственно множества групп сигналов о вторжении, относящихся к известным классам, из контролируемых сигналов системы контроля оптоволоконного периметра и соответствующих результатов классификации;

предварительную обработку соответственно множества групп сигналов о вторжении, относящихся к известным классам, для понижения уровня шума в упомянутом множестве групп сигналов о вторжении, относящихся к известным классам;

сегментацию соответственно множества групп сигналов о вторжении с пониженным уровнем шума, относящихся к известным классам, в результате чего получают множество групп дискретных сегментов сигналов о вторжении из множества групп сигналов о вторжении, относящихся к известным классам, и извлечение соответственно релевантных признаков для упомянутого множества групп дискретных сегментов сигналов о вторжении;

создание модели дерева решений, содержащей множество деревьев решений в соответствии с первым обучающим набором данных, сформированным с использованием множества групп релевантных признаков для множества групп дискретных сегментов сигналов о вторжении, при этом создание модели дерева решений включает

случайную выборку из первого обучающего набора данных с заменой, в результате чего получают множество вторых обучающих наборов данных, при этом каждый из вторых обучающих наборов данных имеет количество входных векторов, равное количеству входных векторов, содержащихся в первом обучающем наборе данных;

создание соответственно множества соответствующих деревьев решений с помощью алгоритма построения дерева решений в соответствии с множеством вторых обучающих наборов данных;

получение сигнала реального времени из контролируемого сигнала системы контроля оптоволоконного периметра;

предварительную обработку упомянутого сигнала реального времени для понижения уровня шума в сигнале реального времени;

определение, является ли сигнал с пониженным уровнем шума сигналом о вторжении;

когда сигнал реального времени с пониженным уровнем шума является сигналом о вторжении, сегментацию сигнала о вторжении с получением дискретных сегментов сигнала из сигнала о вторжении и извлечение соответственно релевантных признаков из сегментов сигнала;

классификацию сигнала о вторжении согласно правилу классификации, которое определено моделью дерева решений, и релевантным признакам, извлеченным из сегментов сигнала, при этом упомянутая классификация включает

последовательную классификацию сигнала о вторжении согласно правилу классификации, заданному каждым деревом решений из множества деревьев решений, и релевантному признаку, извлеченному из сегментов сигнала, в результате чего получают множество соответствующих результатов классификации;

помещение одинаковых результатов классификации из упомянутого множества результатов классификации в одну группу, в результате чего получают по меньшей мере одну группу результатов классификации, подсчет количества результатов классификации в каждой группе результатов классификации соответственно и выбор результатов классификации из группы, имеющей наибольшее количество результатов классификации, в качестве окончательного результата классификации сигнала о вторжении;

при этом одна группа релевантных признаков образует один входной вектор первого обучающего набора данных.

2. Способ по п.1, в котором упомянутое правило классификации, которое определено каждым деревом решений, включает правило классификации на каждом пути от корня дерева решений до листового узла дерева решений и каждое правило классификации включает составное выражение из первой части правила классификации, образованной состояниями атрибутов на каждом пути, и последней части правила классификации, образованной листовым узлом на данном пути.

3. Способ по п.1, в котором в процессе создания каждого из деревьев решений для каждого входного вектора из второго набора обучающих данных для каждого ветвления часть релевантных признаков или все релевантные признаки повторно случайным образом выбирают из всех релевантных признаков входного вектора.

4. Способ по п.1, в котором создание модели дерева решений включает создание дерева решений с использованием алгоритма построения дерева решений в соответствии с первым обучающим набором данных и постобрезку дерева решений, в результате чего получают модель дерева решений.

5. Способ по п.4, в котором создание модели дерева решений дополнительно включает многократное обучение модели дерева решений в соответствии с первым обучающим набором данных для получения наилучшей модели дерева решений.

6. Способ по п.1 или 4, в котором алгоритм построения дерева решений включает алгоритм CART с применением показателя Джини в качестве меры атрибутов ветвления.

7. Способ по п.1, в котором упомянутый релевантный признак включает часть или все из следующего: пиковое стандартное отклонение, дисперсию, асимметрию, эксцесс, количество экстремальных

точек и частотные признаки, полученные пакетным вейвлетным разложением.

8. Устройство распознавания сигнала о вторжении в пределы оптоволоконного периметра согласно способу по п.1, включающее

модуль получения сигнала для получения сигнала реального времени из контролируемого сигнала в системе контроля оптоволоконного периметра;

модуль предварительной обработки сигнала для понижения уровня шума в сигнале реального времени и для определения, является ли сигнал реального времени с пониженным уровнем шума сигналом о вторжении;

модуль извлечения признаков для сегментации сигнала о вторжении с получением дискретных сегментов сигнала из сигнала о вторжении, когда сигнал реального времени с пониженным уровнем шума является сигналом о вторжении, и для извлечения соответственно релевантных признаков из сегментов сигнала;

модуль классификации по дереву решений для классификации сигнала о вторжении согласно правилу классификации, которое определено заранее созданной моделью дерева решений, содержащей множество деревьев решений, и релевантным признакам, извлеченным из сегментов сигнала, при этом упомянутая классификация включает последовательную классификацию сигнала о вторжении согласно правилу классификации, заданному каждым деревом решений из множества деревьев решений, и релевантному признаку, извлеченному из сегментов сигнала, в результате чего получают множество соответствующих результатов классификации; и помещение одинаковых результатов классификации из упомянутого множества результатов классификации в одну группу, в результате чего получают по меньшей мере одну группу результатов классификации, подсчет количества результатов классификации в каждой группе результатов классификации соответственно и выбор результатов классификации из группы, имеющей наибольшее количество результатов классификации, в качестве окончательного результата классификации сигнала о вторжении;

причем модуль получения сигнала также выполнен с возможностью предварительного получения множества групп сигналов о вторжении, относящихся к известным классам соответственно из контролируемых сигналов в системе контроля оптоволоконного периметра и соответствующих результатов классификации;

модуль предварительной обработки сигнала также выполнен с возможностью предварительной обработки соответственно множества групп сигналов о вторжении, относящихся к известным классам, для понижения уровня шума в упомянутом множестве групп сигналов о вторжении, относящихся к известным классам;

модуль извлечения признаков также выполнен с возможностью сегментации соответственно множества групп сигналов о вторжении с пониженным уровнем шума, относящихся к известным классам, в результате чего получают множество групп дискретных сегментов сигналов о вторжении из множества групп сигналов о вторжении, относящихся к известным классам, и для извлечения соответственно релевантных признаков для упомянутого множества групп дискретных сегментов сигналов о вторжении; и

модуль классификации по дереву решений также выполнен с возможностью создания модели дерева решений, содержащей множество деревьев решений, в соответствии с первым обучающим набором данных, сформированным с использованием множества групп релевантных признаков для множества групп дискретных сегментов сигналов о вторжении, при этом создание модели дерева решений включает случайную выборку из первого обучающего набора данных с заменой, в результате чего получают множество вторых обучающих наборов данных, при этом каждый из вторых обучающих наборов данных имеет количество входных векторов, равное количеству входных векторов, содержащихся в первом обучающем наборе данных; и создание соответственно множества соответствующих деревьев решений с помощью алгоритма построения дерева решений в соответствии с множеством вторых обучающих наборов данных;

при этом одна группа релевантных признаков образует один входной вектор первого обучающего набора данных.

9. Устройство по п.8, в котором упомянутое правило классификации, которое определено каждым деревом решения, включает правило классификации на каждом пути от корня дерева решений до листового узла дерева решений и каждое правило классификации включает составное выражение из первой части правила классификации, образованной состояниями атрибутов на каждом пути, и последней части правила классификации, образованной листовым узлом на данном пути.

10. Устройство по п.8, в котором в процессе создания каждого из деревьев решений для каждого входного вектора из второго набора обучающих данных для каждого ветвления часть релевантных признаков или все релевантные признаки повторно случайным образом выбирают из всех релевантных признаков входного вектора.

11. Устройство по п.8, в котором создание модели дерева решений включает создание дерева решений с использованием алгоритма построения дерева решений в соответствии с первым обучающим набором данных и постобрезку дерева решений, в результате чего получают модель дерева решений.

12. Устройство по п.11, в котором создание модели дерева решений дополнительно включает мно-

поэтапное обучение модели дерева решений в соответствии с первым обучающим набором данных для получения наилучшей модели дерева решений.

13. Устройство по п.8 или 11, в котором алгоритм построения дерева решений включает алгоритм CART с применением показателя Джини в качестве меры атрибутов ветвления.

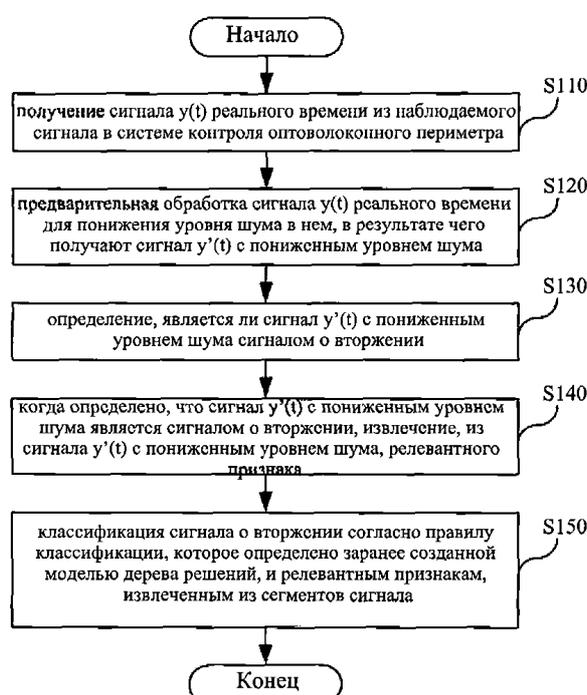
14. Устройство по п.9, в котором упомянутый релевантный признак включает часть или все из следующего: пиковое стандартное отклонение, дисперсию, асимметрию, эксцесс, количество экстремальных точек и частотные признаки, полученные пакетным вейвлетным разложением.

15. Система сигнализации о вторжении в пределы оптоволоконного периметра, включающая подсистему оптического канала для получения контролируемого сигнала оптоволоконного периметра;

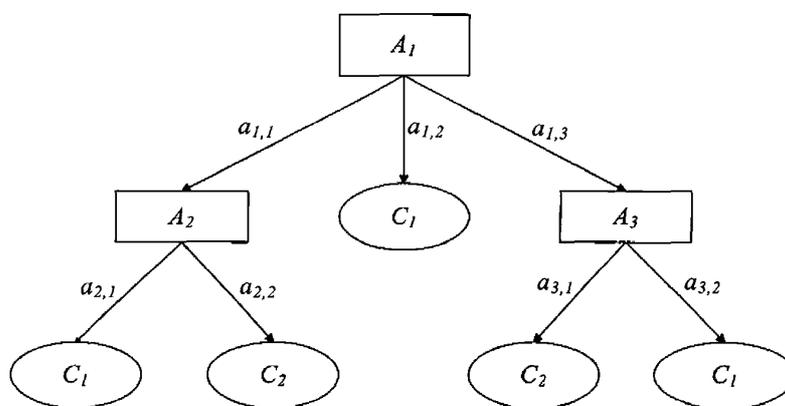
устройство распознавания сигнала о вторжении в пределы оптоволоконного периметра по любому из пп.8-14 для распознавания сигнала о вторжении в контролируемом сигнале и для классификации сигнала о вторжении в контролируемом сигнале;

подсистему сигнализации для формирования соответствующего сигнала тревоги согласно классу сигнала о вторжении, выданному устройством распознавания.

10



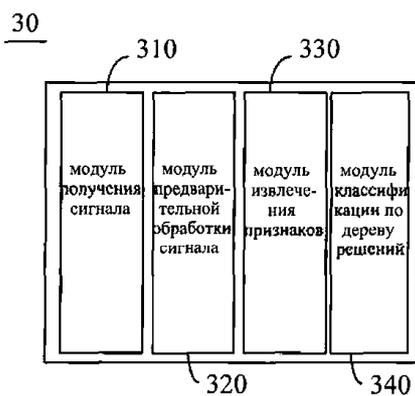
Фиг. 1



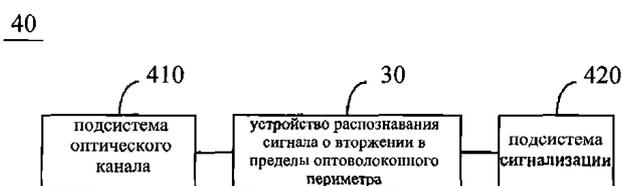
Фиг. 2



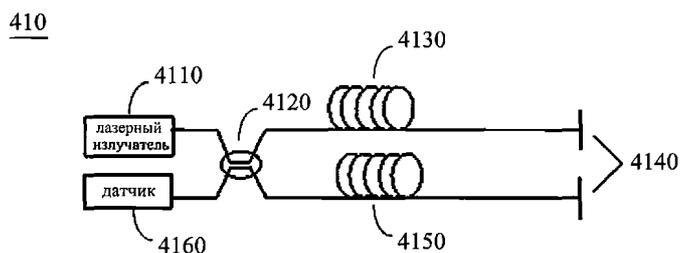
Фиг. 3



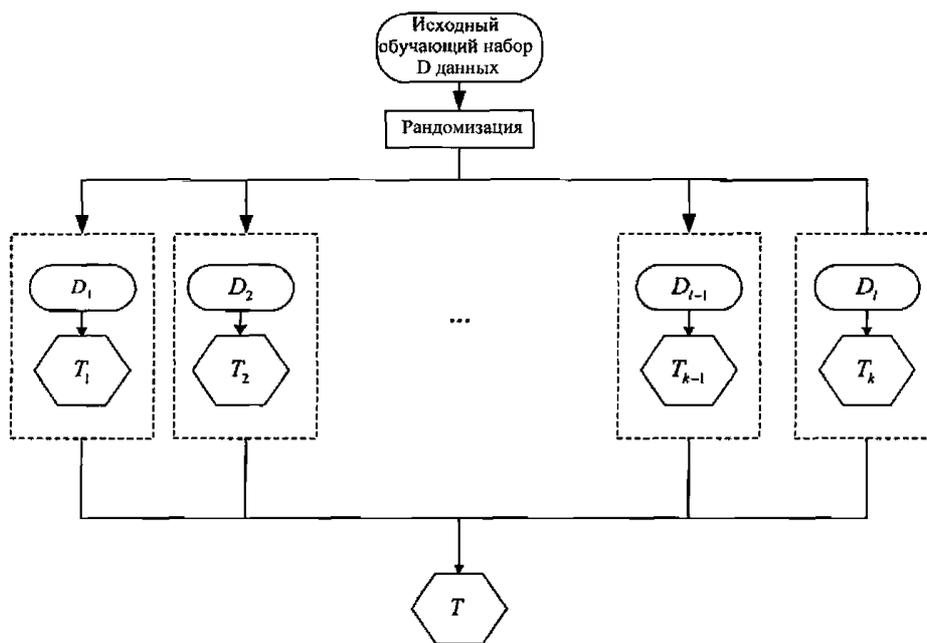
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7

