

УДК 004.62
ББК 73.6

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ РЕШЕТОК ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

Котельников А. В.¹, Лебедев В. Б.²

(Пензенский государственный университет, Пенза)

Рассмотрены вопросы создания системы охраны территорий и объектов стратегического назначения. Предложены структура и способ построения такой системы, использующие методы теории решеток. Для обработки и анализа информации с датчиков физических величин и последующего принятия решений применяются решетки, построенные с помощью оператора замыкания.

Ключевые слова: обработка и анализ информации, датчик, решетка, диаграмма Хассе, оператор замыкания.

1. Введение

Для охраны территорий, объектов стратегического назначения, в том числе государственных границ, применяются различные системы, включающие в себя разнообразный набор компонентов и реализующие широкий перечень методов обработки данных. Для обнаружения различных типов нарушителей и повышения качества обнаружения используют специальные алгоритмы обработки поступающей информации и специальную аппаратуру для приема (сбора), обработки и анализа дан-

¹ Александр Валерьевич Котельников, аспирант кафедры «Информационное обеспечение управления и производства» (kotelnikov88@gmail.com).

² Виктор Борисович Лебедев, доктор технических наук, профессор кафедры «Информационное обеспечение управления и производства» (lvvbb@mail.ru).

ных [10]. В качестве средств сбора информации чаще всего используются датчики, преобразующие различные физические величины. Датчики и группы датчиков могут объединяться в сенсорную сеть, которая представляет собой распределённую, самоорганизующуюся сеть множества датчиков (сенсоров) и исполнительных устройств, объединённых между собой посредством радиоканалов. В настоящее время наблюдается тенденция перехода к высокоинформативным многосенсорным системам с множеством датчиков, объединённых в единую информационную систему – «паутину датчиков». Такое объединение датчиков в единую информационную систему приводит к возникновению синергетических эффектов, благодаря которым существенно улучшается качество и доступность измерительной информации, повышается надёжность и помехоустойчивость системы [2].

Наибольшую популярность в настоящее время приобретают многосенсорные системы на базе автономных сетевых датчиков. Такие датчики отличаются малой стоимостью, высокой надёжностью и простотой установки [12]. Беспроводные сети имеют существенные преимущества по сравнению с традиционными сетями датчиков. Во-первых, беспроводная сеть может быть развернута очень близко к объекту наблюдения, что повышает точность его идентификации; во-вторых, она охватывает большую площадь, что играет важную роль при определении координат и траектории движения объекта наблюдения.

2. Построение системы

Предлагаемая к разработке система обнаружения объектов состоит из сети датчиков, измеряющих такие параметры как:

- колебания земной коры (для измерения используются сейсмодатчики);
- акустическую нагрузку (для измерения используются акустические датчики);
- акустические колебания, распространяющиеся в водной среде (для измерения используются гидроакустические датчики);

– прочие (для измерения используются магнитометрические, инфракрасные датчики и др.).

В состав системы обнаружения входят ретрансляторы, необходимые для приема сигналов от датчиков и передачи их на пункты приема, а также подсистема автоматизированного сбора, передачи и обработки информации. Обобщенная схема построения многосенсорной системы обнаружения объектов представлена на рис. 1.



Рис. 1. Обобщенная схема многосенсорной системы обнаружения объектов

Большинство из перечисленных выше датчиков являются либо телеметрическими (имеющими специальный встроенный модуль связи), либо подсоединяются к устройствам связи, необходимым для беспроводной передачи информации. Такой принцип обеспечивает возможность удаленного измерения и сбора

информации с последующим ее предоставлением оператору или пользователю.

3. Постановка задачи обработки информации

Для обработки сигналов, поступающих с множества типов датчиков, необходимо разработать алгоритм объединения данных, позволяющий произвести анализ получаемой информации, повысить вероятность обнаружения, точность идентификации объектов обнаружения, уменьшить количество ложных срабатываний.

При объединении данных от множества датчиков необходимо учитывать взаимное влияние и пересечение зон чувствительности датчиков, а также влияние внешних дестабилизирующих факторов. Для этого проверяется реакция множества датчиков разного физического принципа действия на типовые воздействия и, в зависимости от этой реакции, определяются комбинация датчиков и вариант алгоритма объединения данных. Это дает возможность проведения точных измерений, несмотря на недостатки отдельных датчиков.

Основным алгоритмом такого типа является многомасштабный частотно-временной анализ, который позволяет выделить тонкую структуру сейсмоакустических сигналов [11]. Идентификация объекта обнаружения осуществляется путем сравнения с уже существующими в памяти беспроводной сети датчиков (БСД) классами объектов. Для сравнения могут использоваться алгоритмы кластерного анализа, при котором осуществляется разбиение совокупности объектов по характерным признакам на однородные группы [9].

Вероятность идентификации объекта повышается при условии наличия в алгоритмах способности к самообучению и возможности сохранять при этом свойство функционирования в автономном режиме в случае потери связи с другими датчиками БСД(распределенная обработка информации).

Для комплексного анализа информации предлагается использовать алгоритм комбинаторно-упорядоченного моделирования (КУМ), основанный на методах теории решеток [3] и позволяющий реализовать возможность самообучения и клас-

сификации обнаруживаемых объектов. В методе КУМ качестве модели данных применяется решетка L_ψ которая образуется с помощью оператора замыкания $\hat{A} = \bigcap R_A$, заданного на исходном порождающем семействе множеств $\{R\} \subseteq 2^P$ (например, семействе множеств сигналов разных типов датчиков), где $A \subseteq \bigcup R, A \subseteq R_A, R_A \in \{R\}, P = \bigcup_{R \in \{R\}} R$ – носитель модели L_ψ [3].

Таким образом, замыкание множества $\hat{A} = \bigcap R_A$ равно пересечению всех таких элементов порождающего семейства множеств $\{R\}$, которые содержат множество A . Элементами решетки являются все замкнутые множества, удовлетворяющие условию $A = \hat{A}$. Семейство замкнутых подмножеств $A \subseteq P$, удовлетворяющих условию $A = \hat{A}$, образует относительно включения полную решётку L_ψ с теоретико-решетчатыми операциями $A \vee B = A \hat{\cup} B$ и $A \wedge B = A \cap B$, где $A, B \in L_\psi$ и $\hat{\cup}$ – обозначает операцию замыкания объединения множеств. Таким образом, модель данных в виде решетки обладает алгебраическими свойствами, что позволяет повысить эффективность анализа данных. Структурные нуль 0 и единица 1 решётки L_ψ задаются выражениями $0 = \hat{\emptyset} = \bigcap R_\emptyset = \bigcap_{R \in \{R\}} R, 1 = P = \bigcup R = \bigcup_{R \in \{R\}} R$. Решётка L_ψ характеризуется как частное булевой решётки $B(P)$ относительно оператора замыкания $\hat{A} = \bigcap R_A$, причём нижние грани в L_ψ совпадают с нижними гранями в $B(P)$ [1]. Практически во всех случаях рассмотренный метод обладает высокой эффективностью представления данных (точность и полнота представления). Визуализация решетки в виде диаграммы Хассе позволяет повысить эффективность интерпретации свойств моделируемых данных при анализе.

4. Область применения метода КУМ

Метод КУМ основан на теории решеток, построенных с помощью оператора замыкания, и является универсальным

инструментом решения задач, связанных с обработкой информации. Установлено, что данный метод может быть эффективно использован в различных областях: в технологии добычи данных, для классификации объектов при распознавании образов, при структурном анализе систем управления, анализе и синтезе электронных схем и др. [3–7].

Особенностью метода КУМ является высокая адекватность представления структуры данных в виде решетки, образованной оператором замыкания. В частности, структура исходных данных в виде семейства порождающих множеств может быть адекватно представлена полной решеткой, упорядоченной включением [1]. Как правило, использование метода КУМ позволяет повысить эффективность анализа данных за счет адекватного представления их структуры в виде решетки.

Применение метода КУМ для решения задачи обработки и анализа информации, поступающей с датчиков физических величин, и последующего принятия решения (об обнаруживаемом объекте и проводимым над ним действиям) позволяет выявить взаимосвязи и взаимозависимости сигналов датчиков, влияющих на реакцию системы.

5. Реализация метода КУМ. Формулирование критериев анализа данных

Основной алгоритм построения решётки L_{ψ} с помощью оператора замыкания $\hat{A} = \bigcap R_A$ в качестве исходных данных использует семейство порождающих множеств $\{R\}$ решётки L_{ψ} и ещё, может быть, множество $P = \bigcup_{R \in \{R\}} R$, расширяющее (доопределяющее) семейство $\{R\}$. Алгоритм строит последовательность таблиц, в которых элементы определяются как пересечения подмножеств элементов предшествующих таблиц. Исходные и результирующие данные алгоритма удовлетворяют условиям $\{R\} \subseteq 2^P$, $|\{R\}| = m \leq 2^{|P|}$, $(A \in L_{\psi}) \Leftrightarrow (A = \bigcap R_A)$. Обоснование алгоритма и оценка его трудоемкости приводится в работе [3]. Трудоемкость алгоритма определяется в основном числом элементов решетки L_{ψ} . Алгоритм является сходящимся и

строит решетку, общее число элементов в которой не превышает величины

$$\min \left\{ 2^m, 1 + \sum_{i=0}^n \binom{|P|}{i} \right\}$$

при $n < |P|$, или величины $\min\{2^m, 2^n\}$ при $n = |P|$, где $m = |\{R\}|$, $n = \max_{R \in \{R\}} |R|$; $\{R\}$ – семейство порождающих множеств решётки L_ψ

и $P = \cup R$ [3]. В практических задачах анализа данных обычно выполняются условия $m \gg n$ и $n < |P|$, тогда трудоемкость алгоритма построения решетки L_ψ определяется величиной

$$O \left(\sum_{i=0}^n \binom{|P|}{i} \right),$$

которая может быть существенно уменьшена в случае задания ограничений на мощность получаемых элементов решетки.

В работе [7] показано, что, согласно теореме Э. Шпильрайна [1], обработка данных на решетке L_ψ может быть сведена к анализу данных на линейной векторной решетке \vec{L}_ε , и это значительно увеличивает быстродействие алгоритма.

Рассмотрим пример. Для выполнения анализа информации методом КУМ необходимо сформировать исходное порождающее семейство множеств $\{R\}$ сигналов, поступающих с датчиков. Введем понятие признака сигнала, в соответствии с которым происходит идентификация объекта. Каждому типу датчика соответствует свое множество признаков сигнала. Предположим, что множества признаков сигнала для каждого из типов датчиков равноможны и однородны, т.е. характеризуют одинаковые признаки идентификации объектов распознавания (при этом, конечно, физические особенности сигналов для разных типов датчиков могут различаться).

Предположим, что анализ объектов проводится по сигналам трех типов датчиков: 1) акустических, 2) сейсмических и 3) магнитометрических.

Для каждого из трех типов датчиков определено следующее множество признаков сигналов: 1 – объект типа «человек»; 2 – объект типа «группа людей»; 3 – объект типа «животное»;

4 – объект типа «группа животных»; 5 – объект типа «транспортные средства»; 6 – объект типа «низколетящие вертолеты и БПЛА».

Пусть при анализе информации в течение первого промежутка времени измерений получено следующее порождающее семейство множеств сигналов:

$$(1) \quad \{R^{(1)}\} = \{\{1,2\}, \{2\}, \{1,2,3\}\}.$$

Здесь множествапорождающего семейства соответствуют множествам признаков сигналов в течение первого промежутка времени измерений для акустического, сейсмического и магнитометрического типов датчиков соответственно.

Для второго промежутка времени измерений получено следующее порождающее семейство множеств:

$$(2) \quad \{R^{(2)}\} = \{\{2,4,6\}, \{2,6\}\}.$$

Здесь множествапорождающего семейства соответствуют множествам признаков сигналов в течение второго промежутка времени измерений для акустического и сейсмического типов датчиков соответственно.

Для третьего промежутка времени измерений аналогично получено следующее порождающее семейство множеств:

$$(3) \quad \{R^{(3)}\} = \{\{1,2,4\}, \{2,3,4\}, \{2\}\}.$$

Для окончательного анализа объединим результаты измерений в каждом из трех промежутков времени в одно порождающее семейство множеств. Таким образом, объединенное порождающее семейство множеств будет иметь вид:

$$(4) \quad \{R\} = \{R^{(1)}\} \cup \{R^{(2)}\} \cup \{R^{(3)}\} = \\ = \{\{1,2\}, \{2,4,6\}, \{1,2,4\}, \{2\}, \{2,6\}, \{2,3,4\}, \{1,2,3\}, \{2\}\}$$

Решетка L_ψ строится с помощью алгоритма изложенного в [3]. Диаграмма Хассе решетки L_ψ , представлена на рис. 2.

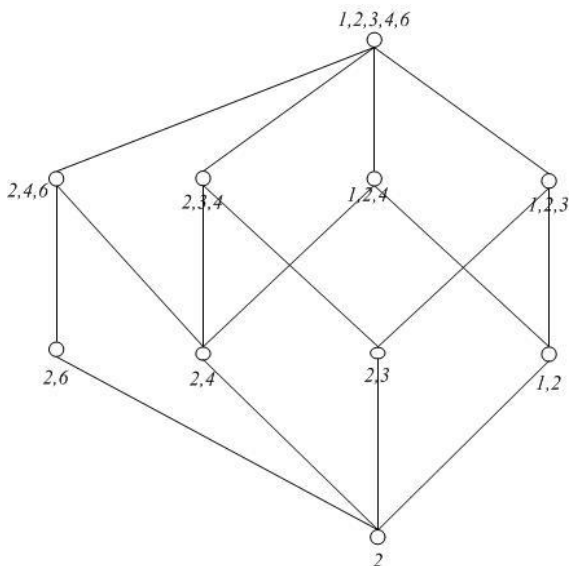


Рис. 2. Диаграмма Хассе решетки L_ψ показателей сигналов датчиков

Данная решетка имеет петлю 2 что означает, что признак сигнала 2 входит в показатели одновременно всех типов датчиков. Признаки сигналов 1, 3, 4 и 6 входят в атомы решетки. Анализ показывает, что решетка L_ψ содержит булевы подрешетки 2-го порядка (на элементах {4, 6}) и 3-го порядка (на элементах {1, 3, 4}). Информация для принятия решения получается из анализа структуры решетки.

Данный алгоритм целесообразно применять в случае регистрации датчиками в единицу времени большого количества различных параметров.

6. Обучение и классификация

При построении представленной выше системы должна быть заложена возможность самообучения в процессе распознавания различных типов объектов. Схема системы распознавания с возможностью обучения представлена на рис. 3.

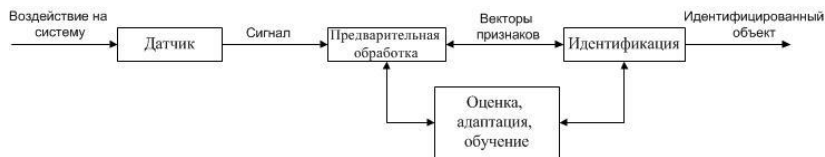


Рис. 3. Схема системы распознавания

Блок «Оценка, адаптация, обучение» аккумулирует в себе результаты прошлых вариаций сигналов, снимаемых с датчиков. Сигналы записываются и хранятся в базе данных. Здесь же происходит процедура обучения, которая представляет собой формирование элементарных классификаторов, т.е. выделения определенных характеристик, например, модели сигналов в виде решетки.

В качестве элементарных классификаторов в методе КУМ используются замкнутые множества решетки L_{ij} . Эти характеристики далее позволяют классифицировать оставшуюся часть выборки. Такой вид обучения следует отнести индуктивным [8].

7. Заключение

В результате рассмотрен способ построения систем охраны территорий и объектов стратегического значения, основанный на применении теории решеток. Обозначена структура системы и типы датчиков регистрации различных физических величин (акустические колебания, сейсмические колебания, магнитные поля и др.). Предложен способ обработки и анализа сигналов датчиков с целью получения наиболее точной и адекватной информации для идентификации объектов обнаружения и принятия решений по их обезвреживанию. Рассмотрена возможность построения системы с использованием принципов самообучения на основе формирования элементарных классификаторов.

Литература

1. АЙГНЕР М. *Комбинаторная теория*. – М.: Мир, 1982. – 558 с.
2. ДМИТРИЕНКО А.Г., БЛИНОВ А.В., ИСАКОВ С.А., НОВИКОВ В.Н., ТУЖИЛКИН О.В. *Интеграция беспровод-*

- ных датчиков в измерительную сеть // Датчики и системы. – 2012. – №9. – С. 44–46.*
3. ЛЕБЕДЕВ В.Б. *Анализ ассоциаций данных методом комбинаторно-упорядоченного моделирования // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. – 2005. – №5(20). – С. 99–106.*
 4. ЛЕБЕДЕВ В.Б. *Моделирование структуры данных методами теории решеток // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике: сборник статей X Международной научно-технической конференции. – Пенза: Изд-во ПДЗ, 2010. – С. 41–45.*
 5. ЛЕБЕДЕВ В.Б., КОТЕЛЬНИКОВ А.В. *Исследование причин отказов датчиков и датчико-преобразующей аппаратуры на основе теории решеток // Математические методы и информационные технологии в экономике, социологии и образовании. Сборник статей XXVIII международной научно-технической конференции. – Пенза: Изд-во ПДЗ, 2011. – С. 79–81.*
 6. ЛЕБЕДЕВ В.Б., МИНАЕВ В.Е. *Построение изоморфных решёток в задаче дискретной классификации // Университетское образование: сборник статей XII Международной научно-методической конференции. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2008. – С. 247–249.*
 7. ЛЕБЕДЕВ В.Б., ПАРШИНА Е.В., ПЕСОШИН В.А. *Эффективная модель анализа данных на основе линейных векторных решеток // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Сер. «Технические науки». – 2011. – №4(20). – С. 19–25.*
 8. ЛЮГЕР ДЖОРДЖ Ф. *Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем: 4-е издание. Пер. с англ. – М.: «Вильямс», 2003. – 864 с.*
 9. МАНДЕЛЬ И.Д. *Кластерный анализ. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 176 с.*
 10. ПАРК ДЖ., МАККЕЙ С. *Сбор данных в системах контроля и управления: практическое руководство. – М.: ООО «Группа ИДТ», 2006. – 504 с.*
 11. ПОСТНИКОВ Е.Б. *Частотно-временной анализ нестационарных сигналов при помощи интегрального вейвлет-*

преобразования, основанного на решении дифференциальных уравнений в частных производных // Акустические измерения и стандартизация. Электроакустика. Ультразвук и ультразвуковые технологии. Атмосферная акустика. Акустикаокеана. Сборник трудов XVIII сессии Российского акустического общества. – Т.2. – М.: ГЕОС, 2006. – С. 46–48.

12. УРМАНОВ Д., ПОЛЯКОВА О., ШУЛЬЦЕВА Е. *Применение беспроводных сенсорных систем для обеспечения безопасности различных подвижных и неподвижных объектов // Беспроводные технологии. – 2012. – №27(2). – С. 48–51.*

USING LATTICE THEORY FOR INFORMATION PROCESSING IN DETECTION SYSTEMS

Alexander Kotelnikov, Penza State University, Penza, post graduate student (kotelnikov88@gmail.com).

Viktor Lebedev, Penza State University, Moscow, Doctor of Technology, professor (lvvbb@mail.ru).

Abstract: We consider the problem of security systems development for land areas and strategic facilities. The results of lattice theory are used to justify the system structure and the approach to its design. We employ closure operator-based lattices to process and analyze data from sensors.

Keywords: processing and analysis, sensor, lattice, Hasse diagram, closure operator.

Статья представлена к публикации членом редакционной коллегии М.В. Губко

*Поступила в редакцию 23.02.2013.
Опубликована 31.01.2014.*