

РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ИЗМЕНЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Татьяна Юрьевна Бугакова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плехотного, 10, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой прикладной информатики и информационных систем, e-mail: bugakova-tu@yandex.ru

Иван Александрович Кноль

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плехотного, 10, аспирант, инженер кафедры прикладной информатики и информационных систем, e-mail: ivan_knol@mail.ru

Артем Андреевич Шаронов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плехотного, 10, аспирант, инженер кафедры прикладной информатики и информационных систем, e-mail: sharapov_artem@mail.ru

Общей проблемой современных сетей датчиков является то, что их данные представляются в разных форматах и через разные интерфейсы. Кроме того, алгоритмы обработки данных, заложенные в этих системах, не являются унифицированными, способными решать сложные задачи определения пространственно-временного состояния (ПВС) объектов. Каждый объект по-своему уникален, имеет свои конструктивные особенности, подвержен влиянию различных внешних факторов, зачастую с элементами неопределенности. Поэтому возникает задача создания такой системы, которая бы работала в условиях неопределенности.

В статье рассматривается разработка аппаратно-программного комплекса на базе Центра инжиниринга и робототехники СГУГиТ для определения и прогнозирования пространственно-временного состояния техногенных объектов и выбора оптимально «безопасной» стратегии его изменения. Основой программного комплекса являются математические алгоритмы корреляционного анализа и экспоненциального сглаживания.

Ключевые слова: сенсорный веб, сети датчиков, сбор информации, веб-приложение, корреляционный анализ, прогнозная функция, техногенный объект, пространственно-временное состояние

DEVELOPMENT OF THE HARDWARE-PROGRAM COMPLEX FOR FORECASTING AND DETERMINATION OF THE OPTIMAL VARIANT OF CHANGING THE SPATIAL-TIME CONDITION OF TECHNOGENIC OBJECTS

Tatyana Yu. Bugakova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, ul. Plakhotny, 10, Cand.Tech.Sci., Assistant Professor, Head. Department of Applied Informatics and Information Systems, e-mail: bugakova-tu@yandex.ru

Ivan A. Knol

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, ul.

Plakhotny, 10, post-graduate student, engineer of Applied Informatics and Information Systems Department, e-mail: ivan_knol@mail.ru

Artem A. Sharapov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, ul. Plakhotny, 10, post-graduate student, engineer of the Applied Informatics and Information Systems Department, e-mail: sharapov_artem@mail.ru

A common problem of today's networks of sensors is that their data are submitted in different formats and via different interfaces. In addition, data processing algorithms embedded in these systems are not unified, able to solve complex problem of determining the spatio-temporal state (PVS) of objects. Each object is unique, has its own design features, influenced by various external factors, often with elements of uncertainty. There is therefore the task of creating a system that would work in the face of uncertainty. The article discusses the development of a hardware-software complex on the basis of the engineering Center and robotics SSGA for determining and predicting the spatial-temporal condition of man-made objects and selection of optimal "safe" strategy changes. The basis of the software complex are the mathematical algorithms of correlation analysis and exponential smoothing.

Key words: touch web, sensor networks, information gathering, web application, correlation analysis, predictive function, a technological object, spatial-temporal condition

На сегодняшний день, разработка программно-аппаратных комплексов играет важную роль в решении задачи мониторинга техногенных объектов. Состояние объекта характеризуется множеством его свойств в фиксированный момент времени. Так, например, согласно ФЗ от 30.12.2009 N 384-ФЗ, инженерное сооружение (техногенный объект) должно быть спроектировано и построено таким образом, чтобы в процессе эксплуатации обеспечивались безопасные условия по многим показателям, таким как регулирование влажности на поверхности и внутри строительных конструкций, уровень технологической вибрации в рабочих зонах производственных зданий и сооружений, уровень напряженности электромагнитного поля, уровень ионизирующего излучения. [1]

Какие из вышеперечисленных факторов среды могут влиять на определение напряженно-деформированного состояния, геометрическую и физическую нелинейность, пластические и реологические свойства материалов и грунтов, возможность образования трещин, возможные отклонения геометрических параметров от их номинальных значений с полной уверенностью утверждать нельзя.

Для определения большого количества факторов, воздействующих на техногенный объект, требуется развертывание сети датчиков, работающих в режиме on-line, которые бы позволяли снимать показания среды и посылать данные на сервер для упорядочивания и анализа.

Общей проблемой современных сетей датчиков является то, что их данные представляются в разных форматах и через разные интерфейсы. Кроме того, алгоритмы обработки данных, заложенные в этих системах, не являются унифицированными, способными решать сложные задачи определения

пространственно-временного состояния (ПВС) объектов. Каждый объект по-своему уникален, имеет свои конструктивные особенности, подвержен влиянию различных внешних факторов, зачастую с элементами неопределенности. Поэтому возникает задача создания такой системы, которая бы работала в условиях неопределенности.

На базе Центра инжиниринга и робототехники СГУГиТ ведется разработка программно-аппаратного комплекса для определения и прогнозирования пространственно-временного состояния техногенных объектов и выбора оптимально «безопасной» стратегии его изменения. Аппаратная часть комплекса выполняет сбор данных о пространственно-временном состоянии объекта и состоит из следующих устройств: устройство Arduino UNO, ультразвуковые датчики определения расстояния до объекта (рисунок 1), датчик вибрации, мезонинная плата Ethernet-shield для передачи данных по локальной сети на ЭВМ, ЭВМ (ноутбук). Программное обеспечение, осуществляющее первичную обработку данных с датчиков, реализует следующие функции:

- хранение и передача данных с датчиков, установленных на наблюдаемый объект;
- проведение предварительной обработки получаемых с датчиков данных;
- предоставление результатов мониторинга в табличном или графическом виде.

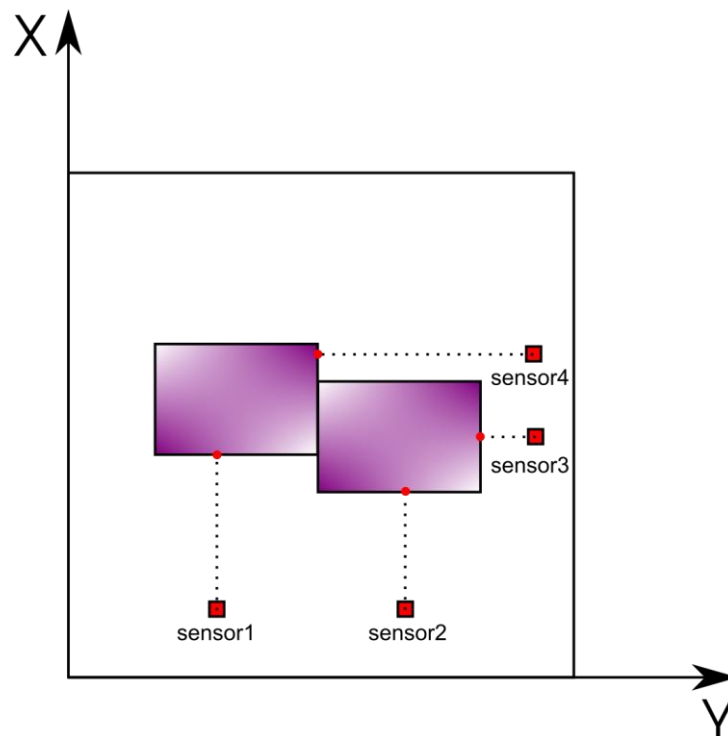


Рис. 1. Схема расположения датчиков на стенде

Сущность аппаратно-программного комплекса можно раскрыть через определение сенсорного веба. Сенсорный Веб – это система беспроводных общающихся между собой пространственно распределенных датчиков, которые развернуты для мониторинга и исследования их окружения.

Сенсорный Веб способен автоматически делать интеллектуальные выводы, поскольку он может реагировать на изменяющиеся условия среды, осуществлять автономные интеллектуальные операции в условиях неопределенности, выполнять автоматическую диагностику и восстановление. В этом сценарии датчики могут обмениваться сообщениями друг с другом, а собранная одним датчиком информация поступает в пользование и используется другими датчиками. [2]

На рисунке 2 приведен пример вывода информации с датчиков, расположенных на макете конструкции - условно принятой модели техногенного объекта. Поля dimension, orientation, sensor1_x1, sensor1_y1, sensor1_z1 характеризуют начальное положение и ориентацию датчика расстояния на стенде (dimension «X», orientation «+» – датчик ориентирован вдоль оси X от начала координат). Значения mark1_x1, mark1_y1, mark1_z1 являются координатами точки объекта на стенде, поле length_sensor1 вычисляемое и содержит значения расстояний от датчика до точки объекта в миллиметрах.

number	dimension	orientation	date	time	sensor1_x1	sensor1_y1	sensor1_z1	length_sensor1	mark1_x1	mark1_y1	mark1_z1
1	x	+	12_12_2017	13_01_00	5	250	10	100	150	250	10
2	x	+	12_12_2017	13_02_00	5	250	10	100	150	250	10
3	x	+	12_12_2017	13_03_00	5	250	10	102	150	252	10
.
58	x	+	12_12_2017	13_58_00	5	250	10	105	150	255	10
59	x	+	12_12_2017	13_59_00	5	250	10	105	150	255	10

Рис. 2. Таблица вывода информации по датчику расстояния sensor1 и соответствующей ему точке mark1 объекта

На данном этапе разработки программно-аппаратный комплекс не учитывает воздействие большого количества факторов. Реализовано только определение пространственно-временного состояния объекта в локальной декартовой системе координат XYZ и уровня вибрации (на рисунке 3 представлена таблица значений, выдаваемых датчиком вибрации за некоторый интервал времени, выраженных величиной, характеризующей энергию, выделившуюся при землетрясении в виде сейсмических волн, называемых магнитудой в условных единицах).

Table sensor_magnitude			
number	date	time	magnitude
1	12_12_2017	13_01_00	0
2	12_12_2017	13_02_00	1,1
3	12_12_2017	13_03_00	0,5
.	.	.	.
58	12_12_2017	13_58_00	0,1
59	12_12_2017	13_59_00	0

Рис. 3. Таблица вывода информации по датчику вибрации

Информация, полученная в результате функционирования системы датчиков, является первичной и требует применения математических алгоритмов для дальнейшей обработки и получения сведений о пространственно-временном состоянии объекта, а также для прогноза динамики его изменения.

Одной из задач, входящих в состав программного обеспечения разрабатываемого авторами аппаратно-программного комплекса является корреляционный анализ, который предполагает выявление причинно-следственных связей между изменением пространственно-временного состояния объекта и внешними факторами, влияющими на этот процесс.

Корреляционный анализ позволяет выявить факторы, которые оказывают наибольшее влияние на изменение пространственно-временного состояния, оценить значимость этих параметров.

Следующей задачей, реализованной в аппаратно-программном комплексе, является прогнозирование динамики изменения пространственно-временного состояния объекта с целью своевременного обеспечения оптимально «безопасного» развития событий.

Процесс изменения пространственно-временного состояния может быть детерминированным или стохастическим, т.е. иметь некоторую степень неопределенности. Поэтому в состав программного обеспечения для прогнозирования таких процессов включен алгоритм экспоненциального сглаживания.

Предположим, что на интервале прогнозирования процесс эволюции состояния системы имеет вид:

$$y = a + \eta,$$

(1)

где η - случайный стационарный некоррелированный процесс с нулевым математическим ожиданием. Пусть значение a время от времени изменяется. Величина изменения a и момент изменения - непредсказуемы, а интервал времени, в течение которого значение a остаётся неизменным, значительно превышает интервал между наблюдениями. При этих предположениях сглаженная функция наблюдений имеет вид [6]

$$S_t = A \cdot y_t + (1 - A) \cdot S_{t-1}.$$

(2)

Здесь $A \in [0,1]$ - постоянная сглаживания, S_t - сглаженное значение y , отнесённое к моменту t , y_t состояние объекта в момент t .

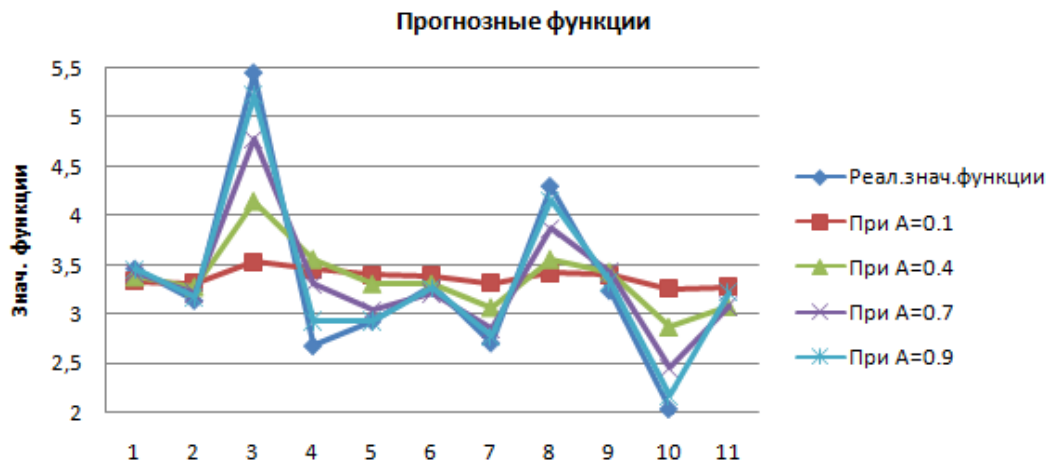


Рис. 4. Прогнозные функции, полученные методом экспоненциального сглаживания

Допустим, что «степень стохастичности» (энтропия процесса) известна и определяется значением вероятности $P \in [0,1]$ (рисунок 5)

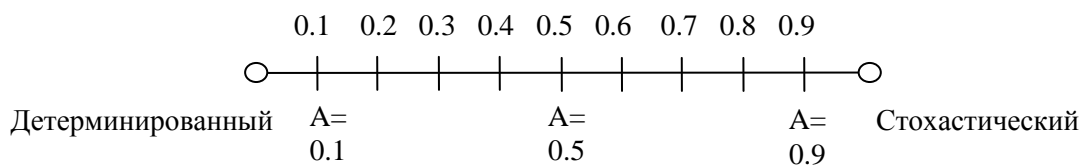


Рис. 5. Вероятность P происхождения случайных событий

Наиболее важной характеристикой в этой модели является постоянная сглаживания A , по величине которой практически и осуществляется прогноз. Чем значение этого параметра ближе к 1, тем больше вероятность происхождения случайных событий, и наоборот. [5-9]

Поэтому выбор значения A зависит от значения вероятности P . Изменение пространственно-временного состояния представляет собой процесс перехода объекта из состояния в состояние. На каждом временном отрезке $t=0..n$, значение P может меняться и тогда для прогнозирования нужно изменять значение A (рисунок б).

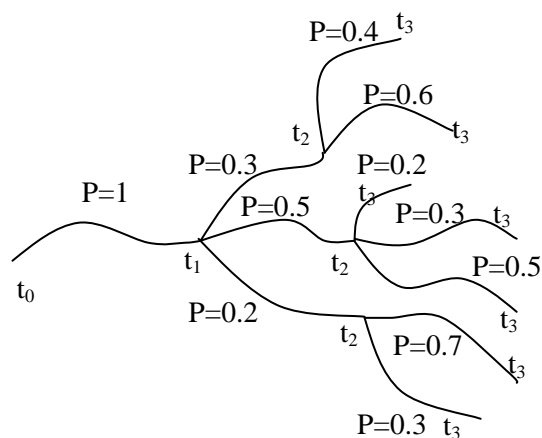


Рис. 6. Пример вариантов изменения пространственно-временного состояния объекта на основе метода экспоненциального сглаживания на интервале $t=0..3$

Таким образом, зная степень «стохастичности» процесса, можно сделать выбор оптимально «безопасной» стратегии изменения пространственно-временного состояния объекта.

Разработка аппаратно-программного комплекса, включающего систему датчиков, работающих в режиме on-line и программного обеспечения, основой которого являются представленные в работе математические алгоритмы, позволит не только своевременно предупредить об «опасном» состоянии объекта, но и выбрать оптимальную («безопасную») стратегию изменения его состояния. За счет изменения влияния того или иного фактора, влияющего на изменение пространственно-временного состояния объекта.[10-12]

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон от 30.12.2009 N 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013) "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений"
2. Web GIS. Principles and applications. Pinde Fu, Jiulin Sun, 2013
3. Методическая документация в строительстве «общество с ограниченной ответственностью «тектоплан», методика геодезического мониторинга технического состояния высотных и уникальных зданий и сооружений мдс 13-22.2009, Москва 2010.
4. Карпик А. П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий. - Новосибирск: СГГА, 2004. - 259 с.
5. Вовк И.Г., Бугакова Т.Ю. Математическое моделирование пространственно-временного состояния систем по геометрическим свойствам и оценка техногенного риска методом экспоненциального сглаживания // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 4 (20). – С. 47–58.
6. Бугакова Т. Ю., Вовк И. Г. Математическое моделирование пространственно-временного состояния систем [Текст] // Материалы V Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные вопросы строительства». – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2012. – Т.2. – С.100-105.
7. Бугакова Т. Ю., Вовк И. Г. Математическое моделирование пространственно-временного состояния систем по геометрическим свойствам [Текст]. VIII Междур. науч. конгр., 10-20 апреля 2012. Новосибирск: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия», сб. материалов в 3 т. Т.3. – Новосибирск: СГГА, 2012. - стр. 26-31.

8. Бугакова Т. Ю., Вовк И. Г. Математическое моделирование пространственно-временного состояния систем по геометрическим свойствам и оценка техногенного риска методом экспоненциального сглаживания [Текст] // Вестник СГГА (Сибирской государственной геодезической академии): 2012. Вып. 4. С. 47-58.

9. Бугакова Т.Ю., Вовк И.Г. Математическое моделирование пространственно-временного состояния систем по геометрическим свойствам. VIII Междур. науч. конгр., 10-20 апреля 2012. Новосибирск, Междун. научн. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия», сб. материалов в 3 т. Т.3. – Новосибирск: СГГА, 2012, стр. 26-31.

10. Бугакова Т. Ю., Борисов Д. А., Яковлев Д. А., «Программная реализация метода Делоне для определения формы и размеров техногенных объектов по геопространственным данным», «Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка», №4/С – 2014 – С. 15-19.

11. Бугакова Т. Ю., Борисов Д. А., «Модель определения пространственно-временного состояния техногенных систем методами по данным геодезических наблюдений», «Сборник материалов XI международной выставки и научного конгресса «Интерэкспо Гео-Сибирь-2015», секция «Раннее предупреждение и управление в кризисных ситуациях в эпоху «Больших данных» – 2015 – С. 56-62

12. Бугакова Т. Ю., Борисов Д. А., «Разработка методики определения пространственно-временного состояния техногенных объектов», «Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка», №5/С – 2015 – С. 246-250

13. Бугакова Т. Ю., Борисов Д. А., «Определение ориентации техногенных объектов в пространстве по геодезическим данным», «Сборник материалов XII международной выставки и научного конгресса «Интерэкспо Гео-Сибирь-2016», секция «Картография, геоинформатика и инфраструктура пространственных данных» – 2016 – Т.1.№1 С.159-163

14. Вовк И.Г. Моделирование в прикладной геоинформатике. Вестник СГГА (Сибирской государственной геодезической академии) [Текст]. Вып. 1 (14). Новосибирск: СГГА, 2011. С. 69 – 75. 168с.

© Т.Ю.Бугакова, И.А.Кноль, А.А.Шарапов, 2017