

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМ SENSOR WEB

В данной статье рассматривается задача структурно-функционального анализа компонентов систем Sensor Web. Приведена структурная модель системы Sensor Web, а также рассмотрены вопросы интеграции Sensor Web и Grid систем. Описана система прогнозирования и мониторинга наводнений, построенная на основе технологии Sensor Web.

The paper is devoted to the structural and functional analysis of Sensor Web systems. We described a structural model of the Sensor Web, and investigated different approaches to integration of Sensor Web and Grids. We presented a Sensor Web system for flood forecasting and monitoring.

Введение

Современный уровень информатизации общества характеризуется бурным развитием сложных распределенных систем экологического мониторинга, предполагающих активное взаимодействие с внешней средой путем получения и обработки разнородной измерительной информации. Технология построения таких систем получила название Sensor Web [31, 32, 33]. Sensor Web представляет собой координированную инфраструктуру наблюдений, включающую распределенные источники данных (сенсоры, модели, коммуникации) и предоставляющую доступ к исходным и обработанным данным, метаданным посредством использования стандартизированных сервис-ориентированных интерфейсов. Причем такая система является автономной, адаптивной, перенастраиваемой и управляемой [34].

тельных устройств, а также данных моделирования. Иллюстрация структуры такой системы, приведенная в отчете NASA [34], приводится на рис. 1.

Наблюдаются тенденции интеграции отдельных систем в еще более сложные структуры, включающие высокопроизводительную вычислительную технику и хранилища данных больших объемов на базе Grid-технологии, обеспечивающей для пользователя легкий («прозрачный») доступ к ресурсам виртуальной организации [35]. При этом возникает множество плохо формализуемых задач оптимизации затрат и производительности. Поэтому сегодня актуальной является не просто задача построения очередной Sensor Web системы, а создания эффективной инфраструктуры, объединяющей несколько работающих или вновь создаваемых региональных или специализированных сенсорных сетей и Grid-систем. Особый интерес исследователей вызывают системы, связанные с использованием наблюдений Земли из космоса, поскольку они представляют собой не просто высокопроизводительные вычислительные системы, а требуют использования измерительной информации разного типа (спутниковых наблюдений, наземных заверочных данных и данных моделирования, восполняющих пробелы в реальных измерениях). Проблемами создания таких систем занимаются международные рабочие группы и комитеты WGISS [36] и GEO [37], а также посвящены большие международные проекты, например “Sensor Web for Namibian Pilot project on integrated flood management and water related vector borne disease modelling”. Данный проект является совместной инициативой UN-SPIDER, NASA, NOAA, DLR и

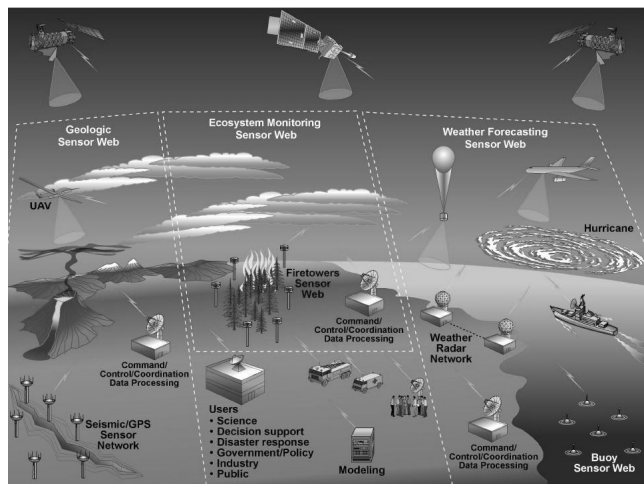


Рис. 1. Архитектура Sensor Web [34]

На современном этапе такие системы, как правило, подразумевают получение информации с наземных, дистанционных измери-

ИКИ НАН-НКАУ и направлен на интегрированное использование спутниковых данных, наземных измерений и данных моделирования для мониторинга и прогнозирования наводнений для Африки. Кроме того, в рамках проекта решаются задачи, связанные с моделированием и прогнозированием распространения заболеваний, связанных с водой.

В данной работе предложенный в [38] метод структурно-функционального анализа (СФА) применяется к предметной области систем Sensor Web. Этот подход был ранее использован для анализа системы Earth observation Grid (EO Grid) [39, 40].

Постановка задачи структурно-функционального анализа сложных иерархических систем

Учитывая высокую стоимость создания распределенных систем, в которых используются гетерогенные данные и высокопроизводительная техника, к их разработке требуется подходить с позиций системного анализа, в частности метода структурно-функционального анализа (СФА). Согласно [38, с. 432], содержательная формулировка задачи структурно-функционального анализа сводится к следующему. Известны назначение, общие характеристики и свойства системы Sensor Web, а также требования к структурным, функциональным, эксплуатационным и экономическим показателям.

Конкретнее, система Sensor Web предназначена для решения задач экологического мониторинга, оценки рисков и прогнозирования последствий экологических и техногенных чрезвычайных ситуаций, поддержки принятия решений в интересах устойчивого развития на основе интеграции данных наземных и аэрокосмических наблюдений, а также данных моделирования. В зависимости от перечня задач, решаемых в конкретной системе, можно определить конкретные требования или уже реализованные свойства перечисленных выше категорий.

Требуется определить структуру Sensor Web как сложной иерархической системы, обосновать требования к каждому сегменту, узлу и функциональному элементу (ФЭ) всех иерархических уровней.

Заметим, что структурно-функциональный анализ может выполняться на разных стадиях жизненного цикла системы: как на этапе ее проектирования, так и в

процессе ее эксплуатации. В первом случае формулируется перечень требований к системе, а во втором – набор свойств (существующих или желаемых в зависимости от постановки задачи). Поэтому без ограничения общности термины «требования» и «свойства» будем рассматривать как синонимы.

Формализация задачи структурно-функционального анализа.

Перейдем к формализации задачи структурно-функционального анализа системы EO Grid. Согласно выражению (7.1) из [38, с. 433] множество требований (свойств) рассматриваемой системы представляется в виде упорядоченной по значимости структуры классов (категорий):

$$B_0 = \{B_i \mid i = \overline{1, m_1}\}, \quad (1)$$

где B_0 – множество свойств системы, B_i – i -й класс (категория) свойств ($m_1=5$).

Для систем Sensor Web выделим следующее множество классов:

B_1 – класс структурных свойств (требований), характеризующих структуру системы и ее элементов;

B_2 – класс функциональных свойств, определяющих перечень функций системы и количественные показатели их выполнения;

B_3 – класс эксплуатационных свойств, определяющих удобство эксплуатации системы и требования к внешним условиям;

B_4 – класс свойств безопасности;

B_5 – класс экономических свойств, определяющих требования к стоимости построения и эксплуатации системы.

Каждая категория B_i определяется набором свойств b_{ij} :

$$B_i = \{b_{ij} \mid j = \overline{1, m_i}\}. \quad (2)$$

Рассмотрим каждую категорию в отдельности. Если множество B_1 представляет класс структурных свойств

$$B_1 = \{b_{1j} \mid j = \overline{1, m_1}\},$$

то $m_1=9$ и к данному классу относятся следующие количественные свойства: b_{11} – число узлов в системе, b_{12} – число процессоров, b_{13} – пропускная способность каналов связи, b_{14} – объем памяти для хранения данных, b_{15} – объем оперативной памяти.

К качественным (неколичественным) свойствам (требованиям к структуре системы) относятся: b_{16} – гетерогенность (гомогенность), b_{17} – межузловая топология, b_{18} – требования к интерфейсам, b_{19} – сервисная

ориентированность, или соответствие стандартам WSRF (Web Service Resource Framework).

Множество B_2 функциональных свойств

$$B_2 = \{b_{2j} \mid j = \overline{1, m_2}\}$$

характеризуется следующим набором параметров:

b_{21} – поддержка запросов пользователей на выполнения задач в заданном виде;

b_{22} – поддержка запросов пользователей на высокоуровневый доступ, передачу и репликацию данных;

b_{23} – поддержка единой регистрации;

b_{24} – балансировка нагрузки;

b_{25} – сбор статистики;

b_{26} – наблюдаемость (наличие информации о состоянии системы и ее элементов);

b_{27} – управляемость (возможность целенаправленно изменять состояние ФЭ (узлов) для достижения заданного критерия);

b_{28} – адаптируемость (возможность перенастройки системы в соответствии с изменением внешней среды, например, появлением новых задач или узлов системы).

Множество B_3 эксплуатационных свойств

$$B_3 = \{b_{3j} \mid j = \overline{1, m_3}\}$$

характеризуется следующим набором параметров

b_{31} – наличие определенного программного обеспечения;

b_{32} – дружественный интерфейс;

b_{33} – Quality of Service (QoS). К метрикам качества обслуживания Sensor Web относятся: доступность, надежность (отказоустойчивость и постепенное сокращение возможностей), оперативность (многомерная величина, характеризующая задержки и пропускные характеристики), качество данных и т.д.;

b_{34} – должна поддерживать расширяемость без остановки работы.

Множество B_4 свойств безопасности

$$B_4 = \{b_{4j} \mid j = \overline{1, m_4}\}$$

содержит следующие элементы (согласно [41]):

b_{41} – конфиденциальность (доверительная конфиденциальность, административная конфиденциальность, повторное использование объектов, анализ скрытых каналов, конфиденциальность при обмене);

b_{42} – целостность (доверительная целостность, административная целостность, откат, целостность при обмене);

b_{43} – доступность (использование ресурсов, устойчивость к отказам, горячая замена, восстановление после сбоев);

b_{44} – наблюдаемость (регистрация, достоверный канал, идентификация и аутентификация, целостность системы безопасности, распределение полномочий, самотестирование, аутентификация при обмене, аутентификация отправителя, аутентификация получателя);

b_{45} – уровни гарантий (Г1-Г7).

Множество B_5 экономических свойств

$$B_5 = \{b_{5j} \mid j = \overline{1, m_5}\}$$

содержит следующие элементы: b_{51} – стоимость оборудования; b_{52} – стоимость эксплуатации (TCO – total cost ownership); b_{53} – стоимость услуг, предоставляемых системой.

Каждое свойство b_{ij} класса B_i характеризуется набором показателей

$$Y_{ij} = \{y_{ijk} \mid k = \overline{1, m_{ij}}\}, \quad (3)$$

где m_{ij} – количество показателей для свойства b_{ij} , которые могут иметь как количественное, так и качественное представление.

Так, для параметра b_{21} из множества функциональных свойств B_2 будем иметь следующий набор показателей:

y_{211} – число запросов в минуту;

y_{212} – задержка на выполнения запроса (не более чем);

y_{213} – если число запросов больше заданного (y_{213}), часть запросов отклоняется.

Требования к количественным показателям задаются с помощью интервальных оценок вида

$$\underline{y}_{ijk} < y_{ijk} < \overline{y}_{ijk}, \quad (4)$$

а требования к качественным показателям удобно задать с помощью нечетких термов [42].

Структурная модель Sensor Web

Формализуем описание иерархической системы Sensor Web. Результат структурной декомпозиции системы показан на рис. 2.

Основными компонентами Sensor Web являются:

– *сенсорные узлы*, которые -

ответственны за получение данных. В общем случае, такие сенсоры могут быть *наземными*, выполняющие непосредственные контактные измерения; *дистанционными*, например, приборы дистанционного зондирования Земли, установленные на спутниках; или *моделями*, которые подразделяются на

модели сенсоров и окружающей среды. Модели сенсоров используются для описания работы сенсора для корректной интерпретации и обработки данных и обеспечения необходимого уровня качества данных. Модели окружающей среды в основном используются для прогнозирования явлений или значений параметров. Примерами могут служить, модели численного предсказания погоды [35];



Рис. 2. Структурная модель системы Sensor Web

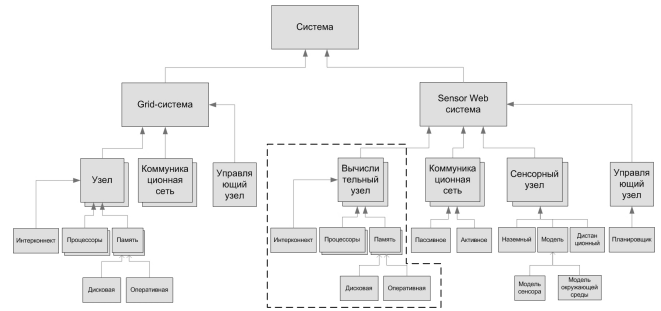
– *вычислительные узлы* используются для обработки данных. Стоит отметить, что данные, получаемые сенсорными узлами в системе Sensor Web, могут обрабатываться как этими узлами, так и использовать внешние системы, например Grid;

– *коммуникационная сеть* предоставляет средства для взаимодействия между различными сенсорами и узлами Sensor Web;

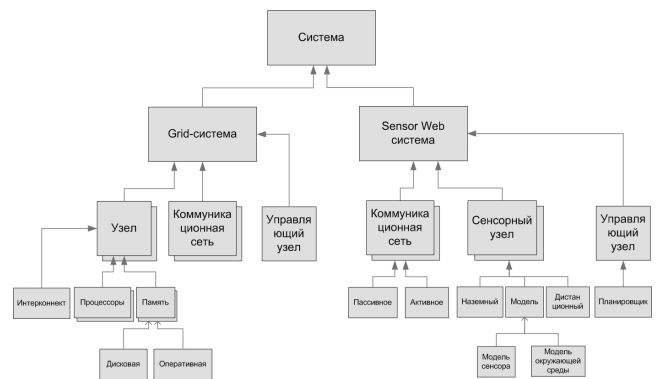
– *управляющий узел* ответственен за управление и контролем состоянием Sensor Web, а также за взаимодействие с внешними системами. В качестве основы взаимодействия может использоваться сервис-ориентированная архитектура SOA (Service-Oriented Architecture).

Стоит отметить, что Sensor Web редко используется как отдельная система, а интегрируется в более масштабные системы. Если основной задачей Sensor Web является сбор, получение и предоставление данных, то для их обработки необходимы соответствующие вычислительные ресурсы. Кроме того, во многих прикладных задачах требуется эффективное управление потоком выполнения заданий, что особенно актуально для Sensor Web, где данные интегрируются из разных источников. Для решения этих задач целесообразно использовать Grid-технологии [35, 39]. Таким образом, возникает задача интеграции систем Sensor Web и Grid.

Рассмотрим более детально следующие два способа интеграции таких систем:



(а)



(б)

Рис. 3. Способы интеграции Sensor Web и Grid

1. Система Sensor Web является независимым сегментом Grid (рис. 3а). Обработка данных, получаемых сенсорными узлами, и генерация информационных продуктов в основном осуществляется непосредственно вычислительными узлами Sensor Web. Однако в реальных системах требуется обработка больших объемов данных и использование для этих целей исключительно собственных вычислительных ресурсов Sensor Web маловероятно.

2. Гибридная Sensor Grid система (рис. 3б). В этом случае для обработки и хранения данных, получаемых узлами Sensor Web, используются ресурсы Grid. Именно в Grid реализуются сервисы, отвечающие за обработку исходных данных и создание информационных продуктов, передаваемых конечным пользователям.

Каждый q -й уровень иерархии состоит из P_q функциональных элементов. Тогда множество всех ФЭ системы можно описать следующим образом:

$$V = \{V_{qp} \mid q = \overline{1, N}, p = \overline{1, P_q}\}, \quad (5)$$

где N — общее число уровней иерархии; V_{qp} — p -й ФЭ q -ого иерархического уровня.

Каждый ФЭ V_{qp} системы характеризуется следующим вектором показателей:

$$\mathbf{x}_{qp} = (x_{qprj} \mid j = \overline{1, n_{qp}}), \quad (6)$$

где n_{qp} — количество показателей ФЭ V_{qp} , выполняющего набор функций

$$\Phi_{qp} = (f_{qprk} \mid j = \overline{1, m_{qp}}), \quad (7)$$

Каждая из функций f_{qprk} в (7) зависит от значений показателей вектора \mathbf{x}_{qp}

$$f_{qprk} = f_{qprk}(\mathbf{x}_{qp}). \quad (8)$$

и влияет на реализацию требований, предъявляемых к ФЭ и системе в целом.

Согласно [38, с. 435] состав и вид функций (7-8) определяется в процессе системного анализа.

Пусть

$$X = \{\mathbf{x}_{qp}, p = \overline{1, P_q}, q = \overline{1, N}\} \quad (9)$$

обобщенное множество показателей. Для простоты изложения откажемся от тройной индексации. Будем считать, что общее число показателей всех ФЭ всех иерархических уровней системы равно N_0 . Тогда обобщенный вектор показателей можно представить в виде

$$\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_{N_0})^T, \mathbf{x} \in \mathbf{R}^{N_0}. \quad (10)$$

Одной из главных задач структурно-функционального анализа является определению преобразования

$$F: X \rightarrow Y \quad (11)$$

из множества X допустимых показателей системы в пространство Y требуемых свойств по набору количественных требований, заданных в виде (4), и качественных требований, заданных в виде нечетких термов.

При этом требуется решить задачу структурно-параметрической идентификации, позволяющей одновременно определить структуру иерархической системы в целом, структуру ФЭ всех иерархических уровней, а также вид преобразования (11).

Система Sensor Web для прогнозирования и мониторинга наводнений

На основе технологии Sensor Web Институтом космических исследований НАНУ-НКАУ (ИКИ НАНУ-НКАУ) разрабатывается система прогнозирования и мониторинга наводнений, архитектура которой представлена на рис. 4.

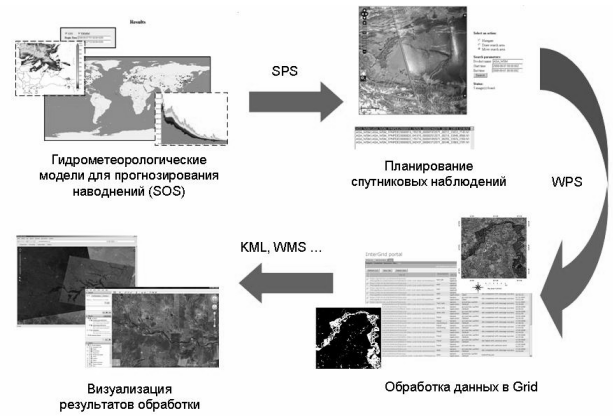


Рис. 4. Система прогнозирования и мониторинга наводнений

Для реализации системы используются стандарты консорциума Open Geospatial Consortium (OGC) Sensor Web Enablement (SWE):

- OGC Observations & Measurements – общие термины и определения области Sensor Web;

- Sensor Model Language (SensorML) – язык на основе XML для описания различных видов сенсоров;

- Transducer Model Language – язык на основе XML для описания преобразований;

- Sensor Observations Service (SOS) – интерфейс для удаленного доступа к данным сенсора;

- Sensor Planning Service (SPS) – интерфейс для отправки заданий сенсорам.

Кроме того, для обработки используется стандарт Web Processing Service (WPS).

На сегодняшний день в рамках системы для прогнозирования и мониторинга осадков используются глобальная система прогнозирования погоды GFS и спутниковые измерения TRMM, для которых разработаны соответствующие интерфейсы SOS. Прогнозы осадков используются для идентификации потенциальных регионов, где возможны наводнения. На основе этих измерений осуществляется заказ и планирование спутниковых данных через интерфейс SPS. Такой интерфейс уже разработан специалистами NASA для спутника Earth Observing (EO-1). Для получения радиолокационных данных спутника Envisat используются оперативные архивы Европейского космического агентства (ЕКА). Полученные спутниковые данные передаются на ресурсы Grid-системы ИКИ НАНУ-НКАУ, где автоматически генерируются потоки выполнения заданий для их обработки. В настоящее время реализованы

сервисы картографирования наводнений на основе использования радиолокационных спутниковых данных [43]. Полученные карты предоставляются в форматах KML и WMS консорциума OGC.

Выводы

В данной статье реализован системный подход к построению и анализу функционирования систем Sensor Web. Построена иерархическая структурная модель Sensor Web, в рамках которой данные поступают с гетерогенных сенсорных узлов: наземных (контактных), дистанционных и модельных. Важным преимуществом развиваемого подхода по сравнению с другими работами, посвященными моделированию и оценке производительности распределенных систем, является системность, базирующаяся на методе СФА [38] и позволяющая рассматривать сложные иерархические системы на разных уровнях детализации одновременно.

В статье также рассмотрены вопросы интеграции Sensor Web и Grid. Преимущество интеграции таких систем состоит в том, что

Sensor Web предоставляет доступ к разнородным источникам данных, обеспечивая такие свойства автономность, управляемость, настраиваемость и т.д., в то время как Grid представляет ресурсы для обработки данных и создания информационных сервисов для конечных пользователей.

Развиваемый подход апробирован при построении системы Sensor Web для прогнозирования и мониторинга наводнений с использованием данных моделирования (глобальная модель прогнозирования погоды GFS) и дистанционных наблюдений (TRMM для мониторинга за уровнем осадков и Envisat/ASAR для картографирования наводнений).

Работа выполнена при поддержке проектов НАНУ-УНТЦ №4928 «Разработка Grid-технологий интеграции данных разной природы» и гранта Президента Украины «Разработка каскада гидрометеорологических моделей для прогнозирования наводнений».

Литература

1. Мое К., Smith S., Prescott G., Sherwood R. Sensor Web Technologies for NASA Earth Science // Proc. of 2008 IEEE Aerospace Conference. – 2008. – P. 1-7.
2. Мое К. NASA Technology for the Earth Observation Sensor Web // IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2008. IGARSS 2008. – 2008. – 5. – P. 128-131.
3. Mandl D., Frye S.W., Goldberg M.D., Habib S., Talabac S. Sensor Webs: Where They are Today and What are the Future Needs? // Proc. Second IEEE Workshop on Dependability and Security in Sensor Networks and Systems (DSSNS 2006). – 2006. – P. 65-70.
4. Report from the Earth Science Technology Office (ESTO) Advanced Information Systems Technology (AIST) Sensor Web Technology Meeting. – San Diego, USA. – February 13-14, 2007. – http://esto.nasa.gov/sensorwebmeeting/files/AIST_Sensor_Web_Meeting_Report_2007.pdf.
5. Kussul N., Shelestov A., Skakun S. Grid and sensor web technologies for environmental monitoring // Earth Science Informatics. – 2009. – Volume 2, Numbers 1-2. – P. 37-51.
6. CEOS Working Group on Information Systems and Services (WGISS). — <http://www.ceos.org/wgiss>.
7. GEO - Group on Earth Observations. — www.earthobservations.org.
8. Згуровский М.З., Панкратова Н.Д. Системный анализ: проблемы, методология, приложения. – К.: Наукова думка, 2005. – 744 с.
9. Куссуль Н.Н., Шелестов А.Ю. Grid-системы для задач исследования Земли. Архитектура, модели и технологии. – К.: “Наукова думка”, 2008. – 452 с.
10. Шелестов А.Ю. Структурно-функциональный анализ компонентов Grid-систем // Проблемы управления и информатики. – 2007. – №5. – С. 119-132.
11. НД ТЗІ 2.5-004-99 «Критерії оцінки захищеності інформації в комп'ютерних системах від несанкціонованого доступу», ДСТЗІ, Київ, 1999.
12. Zadeh L. Fuzzy sets // Information and Control. – 1965. – V.8. – 338 p.
13. Kussul N., Shelestov A., Skakun S. Grid System for Flood Extent Extraction from Satellite Images // Earth Science Informatics. - 2008. - 1(3-4). - P. 105-117.

Поступила в редакцию 17.12.2009