

УДК 002.6; 004.7; 004.722

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ

В. П. КОЧИН, начальник Центра информационных технологий БГУ, к. т. н., доцент

А. Н. КУРБАЦКИЙ, заведующий кафедрой технологий программирования БГУ, д. т. н., профессор

В статье описывается методика проектирования сложных интегрированных систем (далее – СИС). Предлагаемая методика проектирования СИС является двухуровневой и позволяет определить состав СИС, степень вхождения в нее отдельных элементов, выбрать наилучшие значения функций принадлежности. Методика проектирования включает в себя двухуровневый алгоритм проектирования СИС, способы задания и методы формирования функции принадлежности ее элементов. Предложен новый способ задания функции принадлежности СИС.

ВВЕДЕНИЕ

Методологии проектирования различных информационных систем развивались с 50-х годов XX века. На начальном этапе, как правило, они относились к локальным информационным системам. Быстрое развитие в конце 90-х – начале нулевых годов локальных и глобальных сетей, в первую очередь интернета, привело к резкому росту потребности в создании различных информационных систем. По сути, процесс их разработки стал носить массовый характер, а сложность возрастать. Это сопровождалось массовым внедрением средств вычислительной техники в различные сферы деятельности государства и общества.

На первоначальном этапе происходила оцифровка существующих документов, автоматизация отдельных процессов. Одним из первых направлений автоматизации деловых процессов стала разработка информационных систем управления отдельными процессами предприятий, таких как автоматизация бухгалтерии, кадрового учета, материальных ценностей и т. д. По мере внедрения информационных технологий в производственный и деловой процессы росла сложность информационных систем и сервисов. По этой причине менялись подходы к проектированию и разработке информационных систем. Классические подходы уже не позволяли эффективно разрабатывать и внедрять сложные системы. Требовались новые подходы к проектированию, которые могли учитывать сложность систем, возможность масштабирования, интеграцию с другими системами.

Рост сложности информационных систем и сервисов, изменение подходов к проектированию информационных систем были связаны и с эволюцией процессов управления. По этой причине актуальной

задачей является разработка новых подходов и методологий к проектированию СИС.

АЛГОРИТМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИС

Сложная интегрированная система – это система, состоящая из множества элементов, имеющая многослойную структуру как в программно-технической плоскости, так и в организационно-правовой [1, 2]. Многослойная структура имеет множество интегрированных связей между множеством элементов и в многослойной структуре. В результате СИС приобретает новые функции и возможности, которые не свойственны отдельным элементам системы. СИС может состоять как из независимых автономных систем, так и из подсистем и других составных элементов. Составные элементы СИС могут полностью либо частично включаться в нее.

В широком смысле в качестве СИС могут выступать различные процессы и объекты. Примерами могут служить процессы строительства электростанций, создание сложной системы управления транспортными потоками, проектирование и строительство новых микрорайонов города. Согласно определению, в качестве СИС может выступать любая социотехническая система, биологическая система и т. д. В рамках данной работы объектом исследования являются информационные системы и платформы различного уровня, а также процессы цифровой трансформации различного уровня [3–5]. По этой причине исследования проводились применительно к информационным системам и платформам.

Проектирование СИС – это многоэтапный процесс, который включает различные этапы для раз-

работки, интеграции и оптимизации системы. При проектировании СИС можно выделить два основных этапа: проектирование отдельных элементов СИС и проектирование всей структуры СИС.

Методика проектирования сложной СИС является двухуровневой:

1. Верхний уровень системы – это уровень, на котором задаются цели и задачи сложной интегрируемой системы, определяются составные элементы, как уже существующие, так и вновь создаваемые. Определяются множество связей между элементами СИС. Описываются функции принадлежности, метрики отдельных элементов СИС. На данном уровне выстраивается множество связей СИС с помощью графов, разрабатывается общая архитектура СИС.

2. Уровень элементов сложной интегрируемой системы является нижним уровнем проектирования сложной интегрируемой системы. Он необходим для проектирования ее отдельных элементов. На данном уровне целесообразно использовать существующие подходы к проектированию сложных систем, такие как классический подход, системный подход, подход на основе искусственного интеллекта. При этом наиболее перспективным подходом является последний.

В зависимости от размера СИС роль каждого этапа может меняться. Например, при проектировании СИС уровня отрасли наиболее важным этапом будет являться проектирование верхнего уровня системы. В таких системах, как правило, отсутствуют отдельные элементы, которые необходимо проектировать с нуля. Главным акцентом является выстраивание интеграционных связей между элементами СИС.

При проектировании небольших систем наиболее важным этапом будет уровень проектирования элементов сложной интегрируемой системы.

Как уже было отмечено, проектирование сложной СИС является двухуровневым процессом.

Алгоритм проектирования верхнего уровня состоит из следующих шагов:

1. Анализ требований:
 - определение целей и задач системы;
 - сбор и анализ требований от заинтересованных;
 - документирование функциональных и нефункциональных требований к системе.
2. Разработка концепции СИС.
3. Определение размера СИС.
4. Определение функций СИС.
5. Определение состава СИС:
 - определение уже существующих элементов;
 - определение элементов СИС, которые необходимо проектировать;
 - определение интегрированных связей.
6. Задание функций принадлежности элементов СИС.

7. Задание основных метрик: носителя и высоты.
8. Задание множества связей СИС.
9. Проектирование отдельных элементов СИС, определенных на этапе 5.
10. Уточнение функциональных возможностей СИС.
11. Оптимизация и масштабирование:

- оценка производительности и оптимизация работы системы;
- расширение функциональности и масштабирование системы для удовлетворения растущих потребностей.

Этапы проектирования СИС могут варьироваться в зависимости от размера системы, ее сложности и особенностей. Важно обеспечить систематичность, гибкость и соблюдение требований на каждом этапе проектирования, чтобы обеспечить успешное внедрение и работу системы.

СПОСОБЫ ЗАДАНИЯ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

Функции принадлежности являются ключевым понятием в теории нечетких множеств и нечеткой логики. Они определяют степень принадлежности элемента к СИС и используются для задания правил. В настоящее время существует множество способов задания функций принадлежности. В зависимости от сложности СИС, а также способа представления можно выделить следующие традиционные способы:

- треугольная функция принадлежности;
- трапецеидальная;
- гауссова;
- параболическая;
- сигмоидальная.

Функция принадлежности на основе интеграционных связей

Задание функции принадлежности является одним из значительных этапов проектирования СИС. Рассмотренные ранее способы задания функции принадлежности не учитывают в полной мере интеграционные связи СИС. По этой причине предлагается дополнительный способ задания функции принадлежности на основе интеграционных связей.

Функция принадлежности элемента СИС будет определяться количеством уровней элемента, которые имеют ненулевые интеграционные связи с другими элементами СИС. Таким образом функция принадлежности k -го элемента будет иметь вид:

$$\mu_k = \frac{\sum_{i=1}^n p_i^k}{\sum_{j=1}^m p_j^k}, \quad (1)$$

где n – количество уровней элемента k , который имеет ненулевые интеграционные связи, m – общее количество уровней элемента k .

Таким образом, если элемент k имеет функцию принадлежности, равную 1, то данный элемент полностью входит в СИС.

Совокупность функций принадлежности СИС определяет ее свойства и функциональные возможности. По этой причине задание функции принадлежности является одним из важных этапов проектирования СИС.

Существует несколько методов формирования функций принадлежности в нечеткой логике. Выбор конкретного метода зависит от природы данных, характеристик проблемы и экспертных знаний. Существуют различные методы формирования функции принадлежности. В зависимости от решаемой задачи можно выделить следующие:

- экспертное определение;
- использование статистических данных;
- алгоритмы кластеризации;
- оптимизация;
- использование предыдущих знаний;
- машинное обучение.

Важно подчеркнуть, что выбор метода формирования функций принадлежности зависит от специфики задачи и доступных данных. Иногда может потребоваться комбинирование нескольких методов для получения наилучших результатов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МНОЖЕСТВА СВЯЗЕЙ СИС

В контексте СИС, множество связей – это совокупность всех взаимосвязей, взаимодействий и коммуникаций между уровнями различных элементов. Эти связи могут представлять собой разнообразные виды взаимодействия, включая интеграцию на правовом, экономическом, техническом и иных уровнях элементов СИС.

Множество связей СИС является ключевым аспектом ее функционирования и анализа.

Множество связей СИС между ее элементами определяется с использованием теории графов. В этом контексте граф – математическая структура, представляющая собой набор узлов (вершин) и связей (ребер) между этими узлами. Каждый уровень элемента СИС представляет собой вершину графа, а связи между элементами представляют ребра графа. Это позволяет наглядно и формально описать структуру и взаимосвязи в сложной системе.

В случае описания СИС формируется 3-мерный граф. Уровни элементов выступают в роли вершин графа. Ребрами графа являются интеграционные связи. Третья плоскость представляет собой элементы, которые группируются из уровней.

Таким образом, каждый уровень будет иметь весовой коэффициент K , который равен количеству связей с другими уровнями, за исключением уровней элемента, в который она входит. Каждый элемент будет иметь интеграционный вес, который определяется следующим образом:

$$W^p = \sum_{i=1}^n k_i^p, \quad (2)$$

где n – количество уровней элемента p .

Определение множества связей СИС с использованием графов включает в себя следующие шаги:

- Идентификация элементов системы: Определение всех элементов системы, которые входят в сложную СИС. Эти элементы могут быть физическими объектами, процессами, подсистемами или другими составляющими системы.
- Определение связей: Определение уровней элементов системы, которые связаны друг с другом.
- Создание трехмерного графа: на основе полученных данных о элементах и связях создается трехмерный граф. Вершины графа представляют элементы системы, а ребра – связи между ними.
- Валидация и коррекция: при необходимости проводится валидация полученных результатов.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СИС

Данный этап представляет собой второй уровень проектирования СИС и не является обязательным. После определения архитектуры и состава СИС определяется необходимость проектирования отдельных элементов. Проектирование элементов СИС – сложный процесс, который включает несколько алгоритмов и этапов. При этом предлагается следующий универсальный алгоритм к проектированию отдельных элементов СИС:

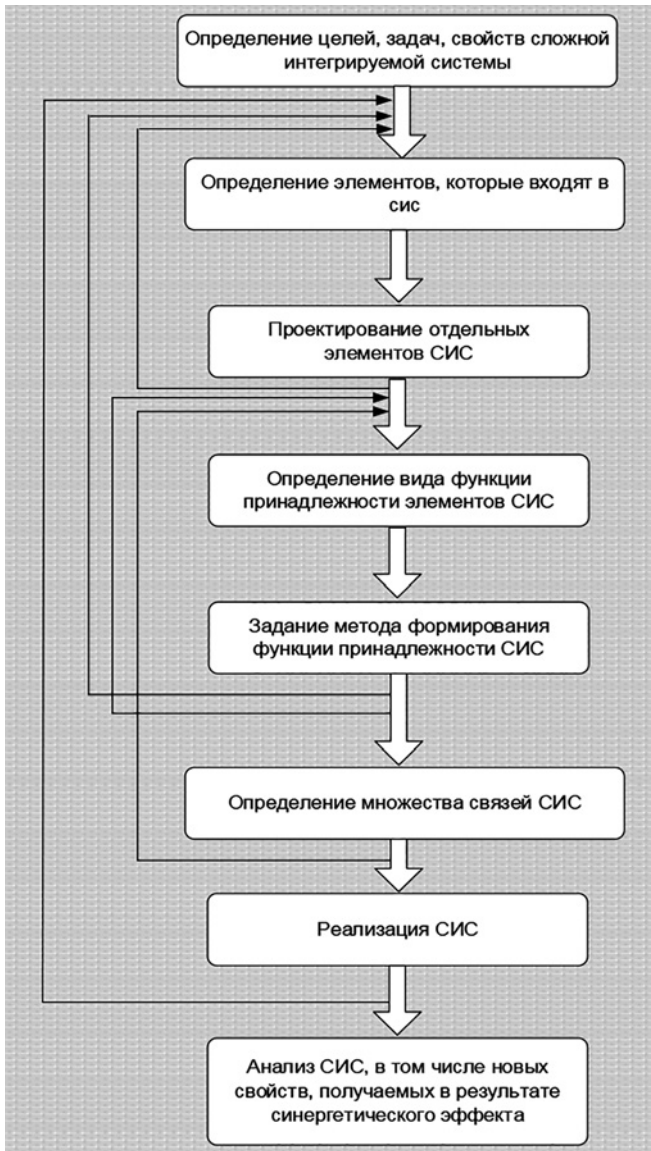
1. Анализ требований:
 - Определение целей и задач элементов.
 - Создание списка функциональных и нефункциональных требований.
2. Проектирование архитектуры:
 - Определение общей структуры системы и ее компонентов.
 - Выбор архитектурных шаблонов и стилей.
 - Определение взаимодействия между компонентами и слоями системы.
3. Внедрение и поддержка:
 - Внедрение системы в рабочую среду.
 - Подготовка пользователей и обучение.
 - Поддержка и обновление системы в процессе ее эксплуатации.

Важно отметить, что каждый элемент СИС имеет уникальные требования и особенности, поэтому процесс проектирования может различаться в зависимости от специфики СИС.

Проектирование отдельных элементов СИС может осуществляться в зависимости от размера и сложности на основе классического и системного подходов. При этом наиболее перспективным направлением проектирования отдельных элементов является использование искусственного интеллекта. Эти способы проектирования отдельных элементов сложной СИС имеют разные подходы и философии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые предложена методика проектирования СИС, которая является двухуровневой и позволяет проектировать СИС как с нуля, так и с учетом текущего состояния отдельных элементов.



Методика проектирования сложной интегрированной системы

Формализованы подходы к заданию интеграционных связей элементов СИС с помощью трехмерных графов.

Предложен новый способ формирования функции принадлежности, основанный на интеграционных свойствах СИС.

Задача проектирования СИС состоит из нескольких этапов и включает в себя описание целей, задание характеристик СИС, проектирование ее отдельных элементов, задание функций принадлежности, описание интеграционных связей. Основные этапы проектирования СИС показаны на рисунке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kochyn, V. Conceptual design of complex integrated systems / V. Kochyn, A. Kourbatski // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем: Сборник научных трудов, Минск, 2023 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники; ред-кол.: В. В. Голенков (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2023. – Вып. 7. – С. 33–38.
2. Kochyn, V. P. Design of complex integrated systems / V. P. Kochyn // Computer data analysis and modeling: stochastics and data science: Proceedings of the XII International Conference, Minsk, September 6–10, 2022. – P. 69–73.
3. Курбацкий, А. Н. Проектирование и автоматизация работы облачной кластерной системы с учетом интеграции с внешними информационными системами / А. Н. Курбацкий, В. П. Кочин, О. В. Слесаренко // Веснік сувязі. – 2021. – № 2. – С. 56–61.
4. Kochyn, V. P. Designing a secure fail-safe cloud repository of paperworks of students and employees of educational institutions / V. P. Kochyn, A. V. Zherelo // Journal of the Belarusian State University. Mathematics and Informatics. – 2021. – № 3. – P. 104–108.
5. Кочин, В. П. Разработка образовательного защищенного облачного хранилища данных, интегрированного в инфраструктуру Белорусского государственного университета / В. П. Кочин, А. В. Жерело // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2022. – № 6. – С. 21–28.

The article describes the methodology of designing complex integrated systems. The proposed methodology for designing complex integrated systems is two-level and allows you to determine the composition of the SIS, the degree of occurrence of individual elements in the SIS, and choose the best values of membership functions. The design methodology includes a two-level algorithm for designing a complex integrated system, methods for specifying and methods for forming the membership function of elements of a complex integrated system. A new way of defining the membership function of a complex integrated system is proposed.