

С. А. Багдасарян, М. А. Багдасарян, В. И. Николаев, Е. Р. Павлюкова

**ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ РАДИОЧАСТОТНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ
И УПРАВЛЕНИЯ ЛЕЧЕБНО-ДИАГНОСТИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ
В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ***

Рассматривается проблема создания фундаментальных основ построения интеллектуальной системы управления лечебно-диагностическим процессом (ЛДП), основанной на применении технологии радиочастотной идентификации (РЧИ) на поверхностных акустических волнах (ПАВ). Подробно рассмотрено решение задач по формированию совокупности частных показателей качества и конкурентоспособности систем РЧИ, формированию и выбору эффективного варианта на основе морфологического и иерархического подходов. Приведена оригинальная методика построения интеллектуальной системы автоматической идентификации и управления ЛДП на основе модифицированных методов анализа иерархий (МАИ) с применением нечетких экспертных оценок и морфологического анализа.

Ключевые слова: радиочастотная идентификация, интеллектуальные системы, проектирование, управление лечебно-диагностическим процессом.

S.A. Bagdasaryan, M.L. Bagdasaryan, V.I. Nikolaev, E.P. Pavlyukova

**CONSTRUCTION OF A SYSTEM FOR RADIO-FREQUENCY
IDENTIFICATION AND CONTROL OF THE TREATMENT
AND DIAGNOSTIC PROCESS UNDER PANDEMIC CONDITIONS**

The problem on development of the scientific foundations for building an intelligent control system for the treatment and diagnostic process (TDP), based on the application of radio frequency identification (RFID) technology on surface acoustic waves (SAW). The solution of problems on the formation of a set of particular indicators of the quality and competitiveness of RFID systems, the formation and selection of an effective option based on morphological and hierarchical approaches is considered in detail. An original methodology for constructing an intelligent system for automatic identification and control of TDP based on a modified method for analysis of hierarchies (MAH) with the application of fuzzy expert estimates and morphological analysis is presented.

Keywords: radio frequency identification, intelligent systems, design, treatment and diagnostic process control.

Введение

Наблюдаемый рост объемов заболеваний (особенно в условиях пандемии) и ожидаемый дефицит лечащих врачей наряду с большим количеством проблем, ограничивающих пропускную способность медицинских учреждений, стимулируют повышение эффективности управления лечебно-диагностическим процессом (ЛДП). Одна из важнейших задач управления ЛДП – строгий контроль состояния и перемещения пациентов. Решение данной задачи напрямую зависит от степени интеллектуализации процессов управления ЛДП. Целью данного исследования является разработка методики построения интеллек-

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, гранты 18-07-00282-а, 18-29-02076-мк.

Багдасарян С.А. и др. Построение системы радиочастотной идентификации и управления...

туальной системы автоматической радиочастотной идентификации и управления ЛДП в условиях пандемии.

Оценка качества и конкурентоспособности систем радиочастотной идентификации

Выбор и обоснование технических требований к системе радиочастотной идентификации в составе АСУ ЛДП пациентов в условиях пандемии. На основе технологии РЧИ возможна эффективная организация отслеживания перемещения отдельных пациентов и контроля их состояния, что становится все более важным с учетом возрастающей сложности систем логистики и важности их эффективного управления. При этом отслеживание перемещения с помощью технологии РЧИ основано на принципе определения прохождения пациентом контрольных участков критически важных объектов (КВО), оснащенных оборудованием системы автоматической радиочастотной идентификации.

Техническое задание на разработку системы РЧИ содержит разнообразные требования, основными из которых являются количественно определенные ограничения по уровню основных рабочих показателей качества системы и ограничения ресурсов, представленных разработчику для достижения заданного уровня показателей.

Эксплуатация систем РЧИ и необходимость их интеграции с единой АСУ сети КВО обуславливают следующие требования, предъявляемые к разрабатываемым системам:

- осуществление оперативного получения данных о местонахождении в любой момент с определением в реальном масштабе времени не только местонахождения, но и направления их движения, а также их состояния;
- достоверная передача информации (до 0,99999) в реальной помеховой обстановке;
- использование единой системы кодирования, обладающей свойствами долговременности и универсальности. Реализация данного требования необходима для обеспечения бесконфликтного обмена данными между медицинскими учреждениями и представляет собой один из важнейших аспектов стандартизации информационно-управляющих систем;
- возможность одновременной идентификации большого количества потенциальных пациентов за счет разработки антиколлизионных алгоритмов и специального программного обеспечения.

Основные технические требования, предъявляемые к системе автоматической радиочастотной идентификации и управления, приведены в таблице 1.

Обеспечение данных требований достигается за счет следующих условий: системной интеграции современных инфокоммуникационных технологий и потенциальных возможностей техники ПАВ в плане создания новой качествообразующей элементной базы, разработки новых конструктивно-технологических решений, обеспечивающих достижение предельных характеристик по разрядности, полосе рабочих частот, уровню вносимого затухания радиосигнала, динамическому диапазону и других для современных систем автоматической идентификации в области управления ЛДП пациентов и их нахождением (перемещением) на критически важных объектах (КВО).

Важнейшим качествообразующим аппаратурным элементом в предлагаемой системе радиочастотной идентификации и управления ЛДП является радиочастотная метка на поверхностных акустических волнах (ПАВ) [1].

Таблица 1

Основные технические требования

Параметр	Значение параметра
Рабочий диапазон частот, МГц	866... 868
Мощность излучаемого сигнала, Вт, не более	1
Скорость объекта идентификации, км/ч	0... 250
Дальность считывания, м, не менее	7
Достоверность идентификации, не менее	0,99999
Разрядность информации, бит, не менее	128
Объем памяти считывателя, объектов, не менее	1024
Поддерживаемые интерфейсы связи	RS-232, Ethernet
Потребляемая мощность, Вт, не более	50
Поддерживаемые стандарты	ISO-180006C
Одновременное считывание	не менее 5 меток
Диапазон рабочих температур, °С	-50...+50
Габаритные размеры, мм, не более:	
– метка	60×20×5
– считыватель	180×240×70

Она определяет такие важнейшие параметры назначения системы, как помехозащищенность, множественный доступ, большая зона покрытия, дальность действия, достоверность и надежность идентификации, массогабаритные показатели и др. [2].

Радиочастотная метка на ПАВ обладает следующими техническими преимуществами: является полностью пассивным устройством и не требует источника питания для своей работы; обработка сигнала происходит в реальном масштабе времени; большая зона покрытия (десятки метров); практически неограниченное количество вариантов кода; высокая криптостойкость; помехозащищенность; множественный доступ [3]. Технологическими преимуществами радиочастотной метки на ПАВ являются: совместимость с микроэлектронной технологией изготовления; высокая стабильность, технологичность и воспроизводимость; малые массогабаритные показатели; низкая стоимость при массовом производстве.

Применение системы радиочастотной идентификации и управления ЛДП на основе технологии РЧИ на ПАВ подразумевает закрепление пассивных радиочастотных меток ПАВ на пациентах, а также лечащих врачах и считывателей на контрольных точках КВО. В данном случае каждый участник ЛДП маркируется радиочастотным идентификатором с уникальным кодом, действующим как минимум на всей сети (сетях) КВО (например, лечебного учреждения) и несущим информацию о пациенте и другие необходимые данные.

При этом отслеживание перемещения с помощью разрабатываемой системы основано на принципе определения прохождения контрольных участков КВО, оснащенных оборудованием системы радиочастотной идентификации.

Показатели качества и конкурентоспособности систем радиочастотной идентификации. Современный рынок систем РЧИ предлагает множество разнообразных систем и их компонентов, поэтому заказчик вынужден принимать непростые решения, связанные с проектированием или выбором системы, поставщика, требуемой функциональности системы и пр.

Для оценки эффективности любых систем РЧИ, в том числе на ПАВ, должны быть формализованы показатели, наиболее полно характеризующие систему с точки зрения лица, принимающего решения (ЛПР) (в том числе проектировщика и/или заказчика). Необходимо отметить, что какой-либо единой номенклатуры показателей качества различных видов РЧИ нет и, по-видимому, быть не может. В каждом конкретном случае ЛПР приходится формировать номенклатуру показателей качества рассматриваемых объектов с учетом целей оценки, этапа жизненного цикла и специфики объекта, наличия достоверных данных и др. Выбранная номенклатура показателей оценки эффективности различных систем РЧИ должна быть одинаковой. Необходимо отметить, что с увеличением количества принятых для оценки показателей трудоемкость работ возрастает, а объективность оценки при превышении некоторого порога практически не повышается. Поэтому в состав оценочных показателей целесообразно вводить только те показатели, которые наиболее значимы с точки зрения ЛПР. Однако если показателей для оценки эффективности окажется недостаточно, то при увеличении числа этих показателей интегральная оценка может измениться. Таким образом, в каждом конкретном случае необходимо определить, сколько и какие показатели необходимо использовать для достоверной интегральной оценки качества систем РЧИ.

Анализ опыта оценки качества различных систем РЧИ показывает, что на практике найти количественные значения некоторых показателей качества затруднительно. Ситуация усложняется, когда информация о системе носит конфиденциальный характер. В связи с этим на практике при оценке эффективности систем принимают весьма скромную номенклатуру показателей, что очень часто является причиной неправильного выбора варианта системы РЧИ. Выбранные показатели целесообразно иерархически структурировать, что позволяет, во-первых, сравнивать системы по отдельным групповым признакам, во-вторых, облегчается процедура определения коэффициентов весомости показателей. Группировка показателей качества по каким-либо признакам способствует получению более достоверных результатов интегральной оценки объекта. Таким образом, множество показателей качества целесообразно разбить на несколько групп.

В общем случае все множество показателей качества эффективности систем РЧИ включает несколько десятков критериев, сгруппированных по видовым группам. Выборки этих критериев условно разобьем на четыре группы: конструктивные, функциональные, экономические и специальные.

К конструктивным показателям относятся: габаритные размеры считывателя, габаритные размеры метки, габаритные размеры антенны считывателя, масса считывателя, масса метки, вид крепления метки, среднее время наработки на отказ считывателя, среднее время наработки на отказ метки, поддерживаемые стандартные интерфейсы связи.

Функциональные показатели – это рабочий диапазон частот, мощность излучаемого сигнала, скорость объекта идентификации, дальность считывания, достоверность идентификации, разрядность информации, потребляемая мощность, питание, диапазон рабочих температур.

Экономические показатели: стоимость изготовления комплекта системы, затраты на внедрение системы на железнодорожном транспорте, затраты на эксплуатацию системы, сроки изготовления системы, продолжительность гарантии, сроки освоения в серийном производстве.

Специальные показатели: устойчивость к электромагнитным помехам, надежность чтения информации при неблагоприятных условиях эксплуатации, устойчивость к синусоидальной вибрации в диапазоне частот 5... 100 Гц с амплитудой ускорения 10 м/с², соответствие стандарту ISO 18000-6С, количество антенных входов, наличие возможности управления диаграммой направленности антенны, интегрируемость в систему более высокого уровня. Помимо критериев системы существуют технические требования к основным компонентам системы.

Очень часто при сравнении двух различных систем показатели одной группы характеристик первой системы имеют преимущество перед аналогичными характеристиками второй системы, в то время как по параметрам второй группы характеристик вторая система превосходит первую. В этих условиях ЛПР очень трудно сделать правильный выбор и принять решение в пользу той или иной системы. В связи с этим на практике возникает задача построения обобщенных компромиссных критериев и схем принятия решений, которые могут найти применение как для субъективной оценки качества системы РЧИ потенциальным заказчиком, так и при определении конкурентоспособности системы на внешнем и внутреннем рынках. Последнее является чрезвычайно важным при планировании и распределении затрат на конструирование, производство, организацию гарантийного и сервисного обслуживания и продажи новых систем РЧИ.

Вопросы формирования комплексных критериев качества (КПК) и конкурентоспособности в процессе разработки любых сложных технических систем, в том числе и систем РЧИ, составляют на сегодня направление, значимость которого постоянно возрастает. На этапе разработки систем РЧИ трудности при построении КПК обусловлены большим числом частных показателей качества, коррелированных между собой. Выбранный КПК или система частных показателей являются основой для принятия решения о предпочтении варианта системы из некоторого множества [4].

Пусть $X = \{x\}$ – множество всех систем РЧИ, предлагаемых ЛПР для количественной оценки их конкурентоспособности. Здесь x означает конкретную систему. Основной составляющей многокритериальной модели оценки конкурентоспособности является векторная целевая функция [5]

$$Q(x) = (q_1(x), q_2(x), \dots, q_m(x)), \quad (1)$$

состоящая из минимизируемых критериев $q_i(x) \rightarrow \min, i = 1, 2, \dots, m_1, m_1 < m$, и, возможно, максимизируемых критериев $q_i(x) \rightarrow \max, i = m_1 + 1, \dots, m$.

Заметим, что путем несложных преобразований максимизируемый частный критерий можно преобразовать в минимизируемый, и наоборот.

Основные подходы к оценке качества систем заключаются в следующем.

1. Если один из показателей качества $q_i(x)$ принимается в качестве доминирующего, а все остальные учитываются в виде ограничений, определяющих область допустимых альтернатив:

$$q_i(x), \quad (2)$$

$$q_j(x) \geq q_j^{(0)}, j = 1, 2, \dots, k, \quad (3)$$

$$q_j(x) \leq q_j^{(0)}, j = k + 1, \dots, m, j \neq i, \quad (4)$$

где $q^{(0)} = (q_1^{(0)}, q_2^{(0)}, \dots, q_m^{(0)})$ – вектор, определяющий допустимые значения по всем показателям, оценка альтернатив по векторному показателю сводится к задаче принятия

Багдасарян С.А. и др. Построение системы радиочастотной идентификации и управления...

решения со скалярным показателем, а все остальные показатели переводятся в разряд ограничений. Альтернативные решения, не укладывающиеся в заданные границы, сразу же отбрасываются как неконкурентоспособные.

Тогда задача принятия оптимального решения формализуется следующим образом:

$$\text{найти } \max_{x \in X} q_i(x),$$

или

$$\min_{x \in X} q_i(x)$$

при ограничениях (3), (4).

В зависимости от вида функций $q_i(x) \rightarrow \min, i = 1, 2, \dots, m$, и множества альтернатив для решения задачи выбора оптимальной альтернативы используются различные методы математического программирования.

Основным недостатком рассмотренного подхода является то, что альтернативы оцениваются только по одному показателю, а преимущество заключается в сравнительной простоте метода.

2. В некоторых случаях построение КПК может основываться на том, что качество альтернатив оценивается расстоянием между идеальной и рассматриваемой альтернативами. При этом чем ближе качество рассматриваемой альтернативы к идеальной, тем она лучше. В качестве идеальной (эталонной) обычно принимается альтернатива, которой соответствует вектор $q^{(0)} = (q_1^{(0)}, q_2^{(0)}, \dots, q_m^{(0)})$, где компонентами являются максимальные значения для максимизируемых и минимальные значения для минимизируемых показателей, достижимые на множестве альтернатив. В этом случае обобщенные комплексные показатели могут быть сформированы в следующем виде:

- суммы абсолютных отклонений от идеальной альтернативы для частных показателей одной размерности

$$Q = \sum_{i=1}^p (q_i^{(0)} - q_i) + \sum_{i=p+1}^n (q_i - q_i^{(0)}), \quad (5)$$

где q_i – частные показатели, подлежащие максимизации, $i = 1, 2, \dots, p$; q_i – частные показатели, подлежащие минимизации, $i = p + 1, \dots, m$;

- суммы относительных отклонений от частных показателей различной размерности

$$Q = \sum_{i=1}^p [(q_i^{(0)} - q_i) / (q_i^{(0)} - q_i^{\min})] + \sum_{i=p+1}^n [(q_i - q_i^{(0)}) / (q_i^{\max} - q_i^{(0)})], \quad (6)$$

где q_i^{\min}, q_i^{\max} – соответственно, наименьшие для максимизируемых и наибольшие для минимизируемых значения показателей по всему множеству альтернатив;

- наибольшего абсолютного отклонения от идеального значения для частных показателей одной размерности

$$Q = \max_i |q_i^{(0)} - q_i|; \quad (7)$$

- наибольшего относительного отклонения от идеального значения для частных показателей различной размерности

$$Q = \max_{ij} [(q_i^{(0)} - q_i) / (q_i^{(0)} - q_i^{\min})], [(q_j - q_j^{(0)}) / (q_j^{\max} - q_j^{(0)})], \quad (8)$$

где $i = 1, 2, \dots, k; j = 1, 2, \dots, m$.

Рассмотренные способы построения КПК не учитывают относительной важности частных показателей $q_i(x)$, $i = 1, 2, \dots, m$. Для устранения этого недостатка в ряде случаев пользуются одним из следующих способов:

1) умножением частных показателей или отношений частных показателей оцениваемой системы и базовой (эталонной) системы на весовые коэффициенты и суммированием произведений

$$Q = \sum_{i=1}^m w_i q_i; \quad (9)$$

2) произведением показателей, возведенных в степень весомости показателя

$$Q = \prod_{i=1}^m q_i^{w_i}. \quad (10)$$

Основным недостатком аддитивных КПК является компенсация низких показателей высокими. Таким образом, по величине КПК производится ранжирование исследуемых систем, и разрабатываются управленческие решения по оцениваемой системе.

Методика формирования и выбора вариантов конкурентоспособных систем автоматической радиочастотной идентификации ЛДП

Постановка задачи. Задачи формирования и выбора вариантов сложных систем, в частности систем РЧИ, из отдельных составляющих, когда для каждого компонента существует несколько взаимозаменяемых, но различающихся по своим характеристикам вариантов, широко распространены на практике [6, 7]. Большинство сложных технических систем строятся по модульному принципу – из отдельных блоков, причем блоки часто выпускаются различными производителями. Для обеспечения взаимодействия блоков принимаются определенные стандарты. По этому принципу в настоящее время строятся не только системы РЧИ, но и многие другие сложные технические системы. Для выбора альтернативных вариантов узлов сложной конструкции ЛДП формирует множество допустимых альтернатив и формулирует свои требования к альтернативам по некоторому набору критериев. При этом требования элементов конструкции друг к другу обычно заменяют дополнительными требованиями ЛДП к выбираемым альтернативам, а набор критериев и множество допустимых альтернатив существенно ограничивают, стремясь к снижению размерности решаемой задачи. Однако на этом этапе легко ошибиться и исключить из рассмотрения альтернативы, дающие в отдельных комбинациях оптимальный результат.

Решение задач формирования и выбора вариантов сложных систем даже из относительно небольшого числа составляющих компонентов, как правило, представляет значительные трудности из-за многообразия вариантов и большого числа плохо формализуемых факторов. Решение таких задач сопряжено со значительными временными и материальными затратами, требует нескольких циклов корректировки и во многих случаях не может быть эффективно реализовано с помощью традиционных подходов.

Насыщение рынка зарубежной и отечественной элементной базой, большое разнообразие условий, в которых работают компоненты сложных технических объектов, в частности систем РЧИ и управления ЛДП, специфичность требований, предъявляемых к ним, вопросы надежности и долговечности, наличие большого числа конструктивных

типов – все это усложняет выбор варианта сложного технического объекта для конкретных условий эксплуатации.

В этой связи разработка методики решения задач построения систем РЧИ из набора взаимозаменяемых, но различных по своим характеристикам составляющих является актуальной проблемой.

Пусть на рынке комплектующих имеется определенная номенклатура компонентов для формирования вариантов систем РЧИ: считывающие устройства, радиочастотные метки, антенны для приемопередатчиков считывающих устройств, антенны для радиочастотных меток, программное обеспечение. Из этих комплектующих необходимо сформировать варианты систем РЧИ, удовлетворяющие требованиям конкретных заказчиков. При этом в единую конфигурацию могут входить компоненты, совместимые по техническим параметрам и обеспечивающие определенные показатели эффективности системы в целом.

В ряде случаев требования, которые должны выполняться для успешной работы отдельных компонентов, достаточно просты и указаны в документации на оборудование. Однако на практике часто возникают ситуации, когда отдельные компоненты оказываются несовместимыми или плохо совместимыми друг с другом по причинам, не указанным в документации. Эти ситуации, как правило, выявляются экспериментально.

В наиболее общем случае решение задачи выбора системы РЧИ состоит в выборе варианта построения системы, который может оцениваться количественными, качественными и интервальными критериями. Это приводит к следующей постановке задачи.

Пусть $S = \{s_i \mid i = 1, 2, \dots, N\}$ – сформированное множество возможных вариантов системы РЧИ, которые подлежат многокритериальному анализу, а $q = \{q_1, q_2, \dots, q_m\}$ – множество количественных, качественных и интервальных частных критериев, которыми оцениваются варианты. Задача состоит в том, чтобы из имеющегося множества возможных вариантов системы РЧИ S выбрать наилучший по заданным критериям $q_j, j = 1, \dots, M$. Критерии q_j характеризуют степень соответствия требованиям технического задания (ТЗ) на разработку системы. В частном случае такими критериями могут быть: дальность действия системы, достоверность идентификации, стоимость, массогабаритные показатели системы, надежность, производительность, технологичность, программно-аппаратная сложность и др.

Формирование альтернативных вариантов систем методом морфологического анализа. Одним из основных этапов в процессе решения рассматриваемой задачи является формирование множества возможных вариантов. Существует несколько способов формирования возможных вариантов: переборные алгоритмы; последовательные алгоритмы (наращивание, выделение, на основе морфологической таблицы, на основе дерева И – ИЛИ и др.); трансформация описаний. Множество возможных вариантов взаимозаменяемых компонентов может быть заранее известно, если выбор варианта осуществляется среди имеющихся на рынке вариантов компонентов. Если возникает необходимость формирования множества возможных вариантов системы РЧИ, то в этом случае наиболее целесообразно использовать метод морфологического анализа, называемый также методом морфологического ящика. Основная идея метода состоит в генерировании всех возможных вариантов системы путем комбинирования компонентов из заранее заданного множества возможных. Основной недостаток данного метода – резкое возрастание количества

вариантов по мере увеличения количества вариантов взаимозаменяемых компонентов. На основании сформированной морфологической матрицы формируется множество всех возможных вариантов построения системы РЧИ V , число которых определяется по формуле

$$V = \prod_{i=1}^L n_i, \quad (11)$$

где n_i – число возможных способов реализации компонента; L – число всех компонентов в системе.

Пример морфологической матрицы вариантов для формирования варианта конфигурации системы РЧИ с акустоэлектронными компонентами приведен в таблице 2.

Таблица 2

Морфологическая матрица

Компоненты системы	Возможные способы реализаций компонентов системы	$A_{l,i}$	Число способов
Считывающее устройство	1.1. На основе архитектуры импульсной РАС. 1.2. Супергетеродинного типа. 1.3. На радарном принципе ступенчато-частотной незатухающей волны. 1.4. На основе использования шумоподобного фазоманипулированного сигнала. 1.5. На основе схемы оптимального приема с квадратурной обработкой	A_{11} A_{12} A_{13} A_{14} A_{15}	5
Радиочастотная метка	2.1. На основе отражающей линии задержки (ЛЗ). 2.2. На основе ЛЗ с невзаимным устройством. 2.3. На основе генераторного принципа. 2.4. На основе частотного разделения	A_{21} A_{22} A_{23} A_{24}	4
Антенна приемо-передатчика считывающего устройства	3.1. Спиральная. 3.2. Многовибраторная. 3.3. С отражателем. 3.4. Щелевая. 3.5. Волновой канал	A_{31} A_{32} A_{33} A_{34} A_{35}	5
Антенна метки	4.1. Полуволновой вибратор. 4.2. Микрополосковая. 4.3. Щелевая. 4.4. Спиральная	A_{41} A_{42} A_{43} A_{44}	4
Программное обеспечение	5.1. На основе архитектуры клиент – сервер. 5.2. На основе сервис ориентированной архитектуры. 5.3. На основе трехуровневой архитектуры	A_{51} A_{52} A_{53}	3

Указанные в таблице компоненты определяют $5 \times 4 \times 5 \times 4 \times 3 = 1200$ различных вариантов построения системы, т. е. альтернатив. С целью удаления из полученного множества альтернатив несовместимых вариантов, заполняется вспомогательная матрица совместимости, на основании которой общее множество возможных вариантов усекается до подмножества вариантов построения системы, состоящих из совместимых между собой компонентов.

Однако на практике и после такого усечения множество альтернатив остается достаточно большим. Эта проблема можно решить методом последовательного перебора с ис-

ключением. На первом шаге строятся комбинации из двух компонентов, и из полученных комбинаций отбрасываются наихудшие. Затем строятся комбинации из оставшихся компонентов, и снова из полученных вариантов отбрасываются худшие, и т.д. Однако как осуществлять оценивание компонентов и отбрасывание наихудших из них определено недостаточно четко. Неясно также, сколько комбинаций следует оставить после отбрасывания на каждом шаге, чтобы избежать комбинаторного взрыва.

Еще одна трудность морфологического подхода заключается в выборе последовательности комбинируемых компонент. Компоненты отличаются по важности, по степени связности друг с другом. Поэтому качество результирующей выборки вариантов в значительной степени зависит от того, в какой последовательности выбирались компоненты для комбинирования. Произвольный выбор не гарантирует нахождение наилучшего решения.

Для устранения этих недостатков предлагается модифицированный метод морфологического выбора с ранжированием компонентов для определения последовательности их комбинирования и оцениванием комбинаций по некоторой совокупности критериев. Так как главная задача морфологического анализа - не выбор оптимального варианта, а формирование и отбор приемлемых вариантов, то для каждого критерия устанавливаются пороги, то есть, например, верхние границы для критерия затрат или нижние границы для критерия эффективности.

Рассмотрим достоинства рассматриваемого подхода. Предварительное ранжирование комбинируемых компонент по важности обеспечивает более логичную последовательность формирования вариантов. Комбинирование несовместимых компонент при этом должно быть исключено.

Введение оценок максимального количества рассматриваемых вариантов и максимального количества вариантов после отбрасывания гарантирует рассмотрение обозримого количества вариантов. Введение ограничения на количество комбинаций допускает рассмотрение не всех возможных комбинаций. Однако расположение компонентов в порядке предпочтения обеспечивает рассмотрение комбинаций с наилучшими значениями критериев.

В предлагаемом подходе более четко по сравнению с традиционным методом морфологического анализа определена процедура исключения вариантов. На этапе формирования комбинаций отбрасываются несовместимые комбинации. Оставшиеся варианты оцениваются по совокупности критериев. Отбрасываются комбинации с наихудшими значениями критериев.

При этом полагается, что любой вариант системы обладает определенной структурой, то есть состоит из конечного числа компонентов (подсистем) и распределение системных функций между ними может осуществляться конечным числом способов. В этом случае возникают задачи формирования некоторого допустимого множества альтернативных вариантов системы и выделения среди них Парето оптимальных вариантов с последующим выбором среди них единственного варианта на основе, например, использования дополнительной информации о предпочтениях заказчика [8].

При морфологическом подходе особое значение имеет локализация формируемых вариантов системы в окрестности Парето оптимальных вариантов системы в целом либо отдельных ее компонентов.

С этой целью вводится метрика морфологического расстояния между морфологическими вариантами системы

$$\rho(A', A'') = \sum_{i=1}^L (1 - \delta_{A_i, A_i''}), \quad (12)$$

где L – число морфологических классов; $\delta_{A_i, A_i''} = \{1, \text{ при } A_i' = A_i''; 0 - \text{ в противном случае}\}$.

Из выражения (12) видно, что морфологическое расстояние – это число элементов системы, по которым отличаются морфологические варианты A' и A'' . Формирование вариантов, близких в смысле этого расстояния к некоторым базовым вариантам, производится в сферической поверхности радиуса ρ с центром в точке A :

$$U_\rho(A) = \{A' : \rho(A, A') = \rho\}.$$

Таким образом, в соответствии с морфологическим подходом для формирования морфологических вариантов системы необходимо выбирать варианты, которые находятся в морфологической окрестности некоторых базовых вариантов.

После задания указанным способом множества допустимых вариантов системы необходимо оценить значения показателей качества и выделить множество Парето оптимальных вариантов. Затем в этом множестве выбрать наиболее приемлемый вариант системы. Однако в рассматриваемом случае это возможно только для количественных значений частных критериев.

При решении рассматриваемых задач целесообразно использовать подход, в основе которого лежит объектно ориентированное проектирование (ООП). ООП хорошо подходит для описания процесса проектирования сложных технических систем, в частности систем РЧИ. Объектами являются функциональные блоки и их конструктивные исполнения, реализующие функциональный модуль или его часть. При этом сам процесс разработки сводится к выбору необходимых объектов из набора объектов базовых классов и установке ассоциаций между ними – компоновке. В терминах ООП параметры объекта, например, рабочий диапазон частот, выходная мощность и др., называются свойствами. Определение оптимального набора объектов, входящих в конкретное устройство, производится на основе свойств объектов и требований к проектируемому устройству. Заметим, что часть свойств и требований имеют количественную характеристику, а часть – качественную. Свойства, характеризующие объекты, могут выражаться количественными оценками, текстовыми описаниями и лингвистическими переменными, значения которых представлены нечеткими множествами (нечеткими оценками). Кроме того, свойства могут быть представлены формальными алгоритмами их вычисления.

Система РЧИ в целом характеризуется дальностью действия, функциональностью, надежностью и стоимостью. Надежность этой системы в целом можно получить как минимальную из надежностей всех его составляющих. Кроме того, можно использовать традиционную мультипликативную свертку. Для оценки надежности в ряде случаев удобно использовать лингвистическую переменную, имеющую, например, значения «низкая», «средняя», «высокая». Стоимость системы РЧИ упрощенно оценивается как сумма стоимостей всех входящих в нее компонентов и стоимость их монтажа. Дальность действия системы РЧИ можно оценить, используя значения параметров считывающего

устройства, меток и их антенн. Получить достаточно точную оценку можно экспериментальным способом только для конкретной области применения. Эксперименты заключаются в составлении различных вариантов построений системы и замера дальности действия в конкретных условиях работы системой данной конфигурации. Для каждого варианта построения системы РЧИ вычисляется отношение дальность – стоимость, величина которого учитывается при окончательном выборе.

Выбор варианта системы на основе комбинации модифицированных методов анализа иерархий и морфологического анализа. Одним из основных методов, применяемых при определении состава сложных технических систем, в частности систем РЧИ, состоящих из большого числа взаимозаменяемых объектов, является метод анализа иерархий (МАИ) [4]. Классический МАИ, предложенный Т. Саати, сводит исследование сложных систем к последовательности попарных сравнений их отдельных составляющих. Один из наиболее существенных недостатков классического МАИ – возможность обработки лишь точечных экспертных оценок, что в большинстве случаев неприемлемо при решении практических задач, которые характеризуются наличием концептуальной неопределенности и многофакторных рисков. Поэтому наряду с классическим вариантом МАИ на практике широко используются его различные модификации.

Рассматриваемый в данной работе модифицированный МАИ на основе нечетких экспертных оценок представляет собой синтез классического МАИ и методов нечетких множеств. Это обусловлено тем, что субъективные и качественные знания ЛПР можно формализовать при привлечении аппарата теории нечетких множеств.

Модифицированный МАИ на основе нечетких экспертных оценок отличается от классического МАИ способом формирования нечетких матриц попарных сравнений (МПС) и методом получения вектора приоритетов.

Для решения задачи синтеза систем РЧИ, возникающей в ходе их проектирования, предлагается подход, основанный на использовании модифицированного МАИ, позволяющий определить оптимальный компоновочный состав системы. Исходными данными для модифицированного МАИ, применяемого при компоновке варианта системы, являются:

- технические требования к проектируемой системе;
- библиотека альтернативных вариантов взаимозаменяемых компонентов, входящих

в состав системы.

Методика построения системы РЧИ в общем случае включает следующие основные шаги.

Шаг 1. В каждом классе компонентов с помощью модифицированного МАИ ранжируются компоненты одного класса в порядке убывания предпочтения.

Шаг 2. В компонентный состав синтезируемой системы ЛПР включает не менее определенного количества объектов, имеющих максимальный в своем классе рейтинг, причем это количество может изменяться в зависимости от окончательных результатов синтеза.

Шаг 3. С помощью матрицы проверяется совместимость различных вариантов синтезируемой системы. Кроме того, на этом шаге учитывается возможность срыва поставок необходимых комплектующих.

Шаг 4. Различные альтернативные варианты синтезируемой системы ранжируются по некоторому дополнительному критерию, например, эффективность – стоимость.

В свою очередь, компоненты системы РЧИ могут быть разложены на свои подкомпоненты. Для получения оценок качественных критериев используется метод парных сравнений. Альтернативы попарно сравниваются по специальной 9-балльной шкале, предложенной Т. Саати.

Ключевая роль в предлагаемом подходе принадлежит модифицированному МАИ, который осуществляет отбор конкурентоспособных решений. Особенность подхода состоит в том, что генерация альтернатив осуществляется морфологическим методом, а отбор лучших решений проводится с помощью модифицированного МАИ. Генерируемые решения проверяются на совместимость, а окончательные решения наилучшим образом удовлетворяют основным требованиям ТЗ. Подход инвариантен к объекту синтеза, а его применение наиболее актуально на начальных этапах проектирования систем РЧИ.

Заключение

Рассмотренный подход и предложенная методика построения интеллектуальной системы автоматической радиочастотной идентификации и управления ЛДП позволяет из множества альтернативных взаимозаменяемых, но различных по своим характеристикам компонентов, имеющихся на отечественном и зарубежном рынках, синтезировать вариант системы, наилучший по совокупности частных критериев. Предложенный подход также позволяет оценивать меру близости конкретной системы РЧИ к лучшим образцам аналогичной отечественной, мировой и потенциальной достижимой техники. Кроме того, применение рассмотренного подхода к проектированию систем РЧИ позволяет оценить не только уровень развития конкретного образца системы, но и в дальнейшем определить пути его совершенствования.

Авторы выражают благодарность академику Ю.В. Гуляеву и профессору А.С. Багдасаряну за интерес к работе и ценные замечания.

Публикуется с разрешения «Журнала радиоэлектроники»

Библиографические ссылки

1. Bagdasaryan S.A., Nikolaev V.I., Pavlyukova E.R., Nikolaeva S.O. Radio frequency identification and authentication in control system for diagnostic and treatment process. J. of Radio Electronics. 2020, no. 5. DOI: 10.30898/1684-1719.2020.5.7.
2. Применение радиочастотной идентификации в системах контроля и управления доступом к критически важным объектам / А.С. Багдасарян, В.В. Бутенко, Г.А. Кашенко, Р.В. Семенов // Труды Научно-исследовательского института радио. 2010. № 3. С. 53–59.
3. Современное состояние проблем проектирования систем радиочастотной идентификации с акустоэлектронными компонентами / Ю.В. Гуляев, А.С. Багдасарян, Г.А. Кашенко, Р.В. Семенов, С.А. Багдасарян, А.Г. Кашенко // Известия Академии инженерных наук им. А.Н. Прохорова: Юбилейный сборник, посвященный 20-летию Академии инженерных наук РФ. М.; Нижний Новгород, 2011. С. 64–84.
4. Саати Т.Л. Принятие решений при уязвимостях и обратных связях: Аналитические сети: пер. с англ. М.: Изд-во АКИ, 2008. 360 с.
5. Bagdasaryan A.S., Bagdasaryan S.A., Butenko V.V., Kashenko A.G., Kashenko G.A., Semenov R.V. Estimation of quality and competitiveness of radio-frequency identification systems of objects and subjects on a rail transport. Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science. Proceedings of the XIth International Conference TCSET'2012. Dedicated to the 60th anniversary of the Radio Department at the Lviv Polytechnic National University. Ukraine, Lviv-Slavske. Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2012, vol. 1, pp. 137.

Багдасарян С.А. и др. Построение системы радиочастотной идентификации и управления...

6. Применение радиочастотной идентификации в системах контроля и управления доступом к критически важным объектам / А.С. Багдасарян, В.В. Бутенко, Г.А. Кащенко, Р.В. Семенов // Труды Научно-исследовательского института радио. 2010. № 3. С. 53–59.
7. Системный подход к проектированию комплекса средств радиочастотной идентификации для защиты критически важных объектов от несанкционированного доступа / Ю.В. Гуляев, А.С. Багдасарян, А.Г. Кащенко, Г.А. Кащенко, Р.В. Семенов // Теория и техника радиосвязи. 2011. Вып. 2. С. 5–14.
8. *Bagdasaryan A.S., Bagdasaryan S.A., Butenko V.V., Kashenko A.G., Kashenko G.A., Semenov R.V.* The formalized approach to a choice of a variant of radio-frequency identification system of equipment on a rail transport. Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science: Proc. of the XIth International Conference TCSET'2012. Dedicated to the 60th anniversary of the Radio Department at the Lviv Polytechnic National University. Lviv, Publishing House of Lviv Polytechnic, 2012, vol. 1, pp. 141.

References

1. *Bagdasaryan S.A., Nikolaev V.I., Pavlyukova E.R., Nikolaeva S.O.* Radio frequency identification and authentication in control system for diagnostic and treatment process. J. of Radio Electronics. 2020, no. 5. DOI: 10.30898/1684-1719.2020.5.7.
2. *Bagdasaryan A.S., Butenko V.V., Kashchenko G.A., Semenov R.V.* [Application of radio frequency identification in control systems and access control to critical objects]. Trudy Nauchno-issledovatel'skogo instituta radio, 2010, no. 3, pp. 53–59 (in Russ.).
3. *Gulyaev Yu.V., Bagdasaryan A.S., Kashchenko G.A., Semenov R.V., Bagdasaryan S.A., Kashchenko A.G.* [The current state of the design problems of radio frequency identification systems with acoustoelectronic components]. Izvestiya Akademii inzhenernyh nauk im. A.N. Prohorova. Moscow; Nizhny Novgorod, 2011, pp. 64–84 (in Russ.).
4. *Saati T.L.* Prinyatie reshenij pri uyazvimostyah i obratnyh svyazyah: Analiticheskie seti [Deciding on Vulnerabilities and Feedback Loops: Analytical Networks]. Moscow, LKI Publ., 2008, 360 p.
5. *Bagdasaryan A.S., Bagdasaryan S.A., Butenko V.V., Kashenko A.G., Kashenko G.A., Semenov R.V.* Estimation of quality and competitiveness of radio-frequency identification systems of objects and subjects on a rail transport. Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science. Proceedings of the XIth International Conference TCSET'2012. Dedicated to the 60th anniversary of the Radio Department at the Lviv Polytechnic National University. Ukraine, Lviv-Slavske. Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2012, vol. 1, pp. 137.
6. *Bagdasaryan A.S., Butenko V.V., Kashchenko G.A., Semenov R.V.* [Application of radio frequency identification in control systems and access control to critical objects]. Trudy Nauchno-issledovatel'skogo instituta radio, 2010, no. 3, pp. 53–59 (in Russ.).
7. *Gulyaev Yu.V., Bagdasaryan A.S., Kashchenko A.G., Kashchenko G.A., Semenov R.V.* [A systematic approach to the design of a complex of radio frequency identification tools to protect critical facilities from unauthorized access]. Teoriya i tekhnika radiosvyazi, 2011, iss. 2, pp. 5–14 (in Russ.).
8. *Bagdasaryan A.S., Bagdasaryan S.A., Butenko V.V., Kashenko A.G., Kashenko G.A., Semenov R.V.* The formalized approach to a choice of a variant of radio-frequency identification system of equipment on a rail transport. Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science: Proc. of the XIth International Conference TCSET'2012. Dedicated to the 60th anniversary of the Radio Department at the Lviv Polytechnic National University. Lviv, Publishing House of Lviv Polytechnic, 2012, vol. 1, pp. 141.