

# СИСТЕМЫ РАДИОЧАСТОТНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

## МЕТОДОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ВЫБОРА ВАРИАНТОВ\*

А.Багдасарян<sup>1</sup>, д.т.н., проф., С.Багдасарян<sup>1</sup>, к.т.н. bagdassarian@mail.ru  
А.Кащенко<sup>2</sup>, к.т.н. alexeykg@yandex.ru, Г.Кащенко<sup>3</sup>, к.т.н., доц.  
Р.Семенов<sup>3</sup>, к.т.н. antora1@mail.ru

Технологии радиочастотной идентификации (РЧИ) относятся к ключевым технологиям XXI века. На их основе создаются системы идентификации, которые находят все большее применение во всех сферах жизни современного общества. Сегодня на практике задача выбора наилучшего варианта системы РЧИ из множества допустимых альтернативных ее вариантов зачастую решается на основе эмпирических рассуждений, без учета особенностей задачи и частных критериев, наиболее существенно влияющих на выбор. Поэтому разработка методологии решения задачи формирования и выбора наилучшего варианта системы РЧИ из набора альтернативных взаимозаменяемых, но различных по характеристикам компонентов, выпускаемых различными фирмами-производителями, является актуальной и востребованной на практике.

**К**ак правило, в современных системах РЧИ применяются уже готовые аппаратно-программные средства различного назначения (приемопередатчики, антенны приемопередатчиков, радиочастотные метки, антенны радиочастотных меток). В настоящее время существует большая номенклатура этого оборудования различных

фирм-производителей, которое реализует одни и те же функции, удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к конкретной системе. Насыщение рынка зарубежной и отечественной элементной базой, большое разнообразие условий, в которых работают системы РЧИ, специфичность предъявляемых к ним требований, вопросы надежности и долговечности, большое число конструктивных типов усложняют выбор наилучшего варианта системы для конкретных условий эксплуатации. Кроме того, на практике выбор часто усложняется, из-за отсутствия достоверной информации о характеристиках отдельных изделий, поскольку производители не

\* Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 11-07-13141-офи\_м-2011-РЖД, 13-07-12155-офи\_м.

<sup>1</sup> ООО "НПП ТРИС" (Москва)

<sup>2</sup> ЗАО "Воронежстальмост" (Воронеж)

<sup>3</sup> ОАО "Концерн "Созвездие" (Воронеж)

всегда оценивают свою продукцию по предлагаемым показателям качества или скрывают (возможно, умышленно искажают) реальные показатели. В этом случае проблему выбора РЧИ приходится решать в условиях неопределенности и неполноты исходных данных.

В общем случае задача формирования и выбора наилучшего варианта системы РЧИ сводится к решению задачи многокритериального выбора (МКВ) в условиях определенности и неопределенности.

## ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ РЧИ

Общий подход к выбору конкретной технологии РЧИ включает:

- формирование общего организационного и системного замысла построения системы РЧИ;
- обоснование перечня требований, предъявляемых к системе со стороны заказчиков и потребителей;
- выбор возможных альтернативных вариантов технологий, удовлетворяющих предъявленным требованиям;
- выбор показателей для сравнительной оценки технологий;
- проведение сравнительной оценки и выбор наилучшего варианта технологии.

Задача выбора наилучшего варианта технологии РЧИ из множества альтернатив  $T = \{T_i, i = 1, 2, \dots, V\}$  по заданным требованиям или критериям  $Q = \{q_i, i = 1, 2, \dots, m\}$  в общем случае формулируется следующим образом. Из множества технологий необходимо выбрать альтернативу, либо комбинацию альтернатив, которая наилучшим образом соответствует множеству требований  $Q$ . Все существующие технологии РЧИ характеризуются совокупностью показателей, которые по-разному влияют на характеристики системы. Эти показатели могут быть количественными, качественными с заданными интервалами своих значений.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ ФОРМИРОВАНИЯ И ВЫБОРА

Современные системы РЧИ становятся все более сложными, к ним предъявляются все более жесткие и противоречивые технико-экономические требования, которые характеризуются совокупностью разнородных показателей качества (ПК). Как правило, ПК зависят друг от друга и являются антагонистическими. Поэтому при исследовании и проектировании новых систем РЧИ возникают задачи построения математической модели, оценки результатов моделирования и принятия решения на их основе. Аналогичные проблемы

существуют и для уже функционирующих систем РЧИ, которые при эксплуатации необходимо постоянно модернизировать и заменять на более совершенные системы.

При построении математической модели возможны ситуации, когда известны функциональная зависимость каждой характеристики и зависимость ограничений от параметров системы РЧИ. Так как задача построения модели хорошо структурирована, ее принято называть моделью в условиях полной определенности. Случаи, когда нет достаточной информации о функциональной зависимости каждой характеристики и зависимости ограничений от параметров, определяются как моделирование в условиях полной или частичной неопределенности.

С позиций системного подхода задачу формирования и выбора наилучшего варианта системы РЧИ можно представить следующей математической моделью:

$$\langle T, X, N, Q, C, P \rangle, \quad (1)$$

где  $T$  – тип постановки задачи:  $t_1$  – сформировать допустимые варианты и выбрать наилучший;  $t_2$  – сформировать допустимые варианты и выбрать вариант, наиболее близкий по свойствам к заданному техническому заданию или прототипу (лидеру рынка);  $t_3$  – сформировать допустимые варианты и упорядочить весь набор вариантов по степени сходства к заданному объекту и др.;  $X$  – множество альтернатив;  $N$  – модель неопределенного фактора;  $Q$  – векторный критерий;  $C$  – множество векторных оценок;  $P$  – модель предпочтения.

Предлагаемая методология формирования и выбора варианта системы РЧИ включает следующие основные этапы:

- декомпозиция системы РЧИ на основные компоненты – считыватель, антенна считывателя, радиочастотная метка (РЧМ), антенна РЧМ;
- ранжирование вариантов каждого компонента в базе данных в порядке убывания предпочтений по совокупности количественных, качественных и интервальных критериев (требований технического задания);
- удаление худших компонентов в каждом классе компонентов;
- удаление несовместимых вариантов системы РЧИ;
- формирование допустимого множества альтернативных вариантов системы из нехудших, совместимых компонентов методом морфологического анализа (ММА);

- решение задачи многокритериального выбора наилучшего варианта системы РЧИ в условиях определенности или неопределенности.

### ФОРМИРОВАНИЕ МНОЖЕСТВА ДОПУСТИМЫХ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВАРИАНТОВ СИСТЕМЫ РЧИ

При формировании альтернативных вариантов системы РЧИ, когда задана ее декомпозиция на подсистемы (компоненты), часто целесообразно применить морфологическую модель, широко используемую при проектировании сложных технических систем [1]. Пусть выполнена функциональная декомпозиция системы РЧИ на некоторое конечное множество подсистем (компонентов)

$$\left\{ A_j, j=1,2,\dots,L, \bigcup_{j=1}^L A_j = A \right\}.$$

Предполагая, что существует некоторое множество альтернативных способов реализации каждого компонента системы РЧИ -  $A_{jk}$ ,  $k=1,2,K,\dots,K$ ,  $l=1,2,\dots,L$ , - можно задать морфологическую таблицу (см. таблицу).

Общее число всевозможных альтернативных вариантов систем РЧИ определяется по формуле:

$$K = \prod_{l=1}^L K_l, \quad (2)$$

где  $K_l$  - число способов (альтернатив) реализации  $l$ -го компонента системы;  $L$  - число всех компонентов. Генерируемый вариант системы РЧИ представляет собой выборку альтернатив по одной из каждой строки морфологической таблицы. В общем виде он записывается следующим образом:

$$A_i = \{A_{1i}, A_{2j}, \dots, A_{ln}\}, \quad (3)$$

где  $i=1,2,\dots,K_1$ ;  $j=1,2,\dots,K_2,\dots, n=1,2,\dots,K_l$ .

При формировании на основе морфологического подхода множества допустимых вариантов  $A_p$  системы РЧИ следует учитывать ограничения на структуру и параметры, а также техническую реализацию компонентов и системы в целом. Если среди сформированного множества альтернатив имеются варианты с несовместимыми компонентами, они удаляются из таблицы.

### ВЫБОР СОВОКУПНОСТИ ЧАСТНЫХ КРИТЕРИЕВ

Для оценки эффективности альтернативных вариантов систем РЧИ должны быть формализованы ПК, наиболее полно характеризующие систему с точки зрения лица, принимающего

решения (заказчика). Выбранные номенклатуры ПК для оценки эффективности однотипных систем РЧИ должны быть одинаковыми. Необходимо отметить, что с увеличением числа принятых для оценки ПК трудоемкость работ возрастает, а объективность оценки при превышении некоторого порога практически не повышается, поэтому в состав оценочных показателей целесообразно включать только те показатели, которые наиболее значимы для оценки эффективности конкретной системы РЧИ. В работах [2-5] приведен достаточно полный набор ПК для оценки эффективности систем радиочастотной идентификации [2], аутентификации [3] и контроля и управления доступа к критически важным объектам [4, 5] с РЧМ на ПАВ [6-8]. Выбранные ПК целесообразно иерархически структурировать, что позволяет сравнивать системы по отдельным групповым признакам (составным критериям) и облегчить процедуру определения коэффициентов весомости показателей [9]. Группировка ПК по признакам способствует получению более достоверных результатов интегральной оценки объекта. В общем случае все множество ПК включает несколько десятков критериев, сгруппированных по видовым группам, например, конструктивные, функциональные, эксплуатационные, экономические и специальные.

### РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА В УСЛОВИЯХ ОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Функционирование любой системы РЧИ зависит от  $N$  конструктивных параметров  $X = (x_1, x_2, \dots, x_N)^T$ ,

Морфологическое множество возможных способов реализации компонентов системы РЧИ

Морфологические классы	Возможные способы реализации подсистем	Число способов реализации
Приемопередатчик	$[A_{11}], A_{12}, \dots, A_{1K_1}$	$K_1$
Антенна приемопередатчика	$A_{21}, [A_{22}], \dots, A_{2K_2}$	$K_2$
Радиочастотная метка	$A_{31}, A_{32}, \dots, [A_{3K_3}]$	$K_3$
Антенна радиочастотной метки	$[A_{41}], A_{42}, \dots, A_{4K_4}$	$K_4$

каждый из которых лежит в некоторых пределах:  $x_{hj} \leq x_j \leq x_{bj}$ ,  $j=1,2,\dots,N$ . Результат ее функционирования можно представить некоторым набором характеристик (критериев), которые функционально зависят от параметров

$$Q(X) = (q_1(X), q_2(X), \dots, q_M(X))^T. \quad (4)$$

При этом в общем случае одну часть этих критериев необходимо максимизировать  $q_k(X) \rightarrow \max$ ,  $k=1,2,\dots,M_1$ , а другую - минимизировать  $q_k(X) \rightarrow \min$ ,  $k=M_1+1, M_1$ . Если требуется минимизировать все критерии, то каждый максимизируемый критерий умножается на -1.

Математическую модель системы РЧИ, позволяющую в целом решить проблему выбора оптимального проектного решения (выбора оптимальных параметров), можно представить в виде следующей задачи многокритериальной оптимизации (МКО):

$$Q(x) \rightarrow \text{extr}_{x \in D}, \quad (5)$$

$$G(X) \leq 0, \quad (6)$$

$$X^{\min} \leq X \leq X^{\max}, \quad (7)$$

где  $G(X) = (g_1(X), g_2(X), \dots, g_k(X))^T$  - вектор-функция ограничений, накладываемых на функционирование системы РЧИ;  $D = \{X \in E^N | G(X) \leq 0, X^{\min} \leq X \leq X^{\max}\}$ .

Требуется найти такой вектор параметров  $X^* \in D$ , при котором целевая функция (5) принимает экстремальное значение. Для решения задач (5)-(7) предлагается использовать метод вектора спада и метод  $LP_\tau$  поиска [10, 11].

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Для решения задачи выбора вариантов систем РЧИ в условиях неопределенности разработаны алгоритмы следующих методов:

- метода анализа иерархий (МАИ) [12] для решения задачи типа  $t_1$ ;
- метода на основе теории нечетких множеств (НМ) для решения задачи большой размерности типа  $t_1$  [13];
- модифицированного метода упорядочения предпочтений через сходство с идеальным решением (ММУП) для решения задачи типа  $t_2$  [14, 15];
- метода на основе оценок необходимого и возможного уровней соответствия (ОНВУС) вариантов заданным требованиям для решения задачи  $t_3$  [16, 17].

В классическом варианте МАИ выполняется грубая оценка наибольшего собственного вектора матрицы (среднее геометрическое по строкам), а для оценки наибольшего собственного значения - функция следа матрицы. Вследствие этого возникают погрешности вычисления собственных значений и собственных векторов, что может привести к неверному выбору наилучшего решения. Чтобы ослабить влияние ошибок из-за приближенных оценок, в реализуемом варианте МАИ применяется прямое вычисление собственных векторов и собственных значений матрицы парных сравнений (МПС) как обратно-симметричной матрицы. Для этого она с помощью метода Хаусхолдера приводится к верхней почти треугольной форме Хессенберга. Затем методом QR-итераций со сдвигом вычисляются собственные значения и собственные векторы. Проверка устойчивости решения путем изменения элементов МПС показала, что в случае применения рассмотренного способа ошибка в оценках экспертов на один ранг практически незначима.

Алгоритм решения задачи МКВ вариантов систем РЧИ на основе теории НМ включает следующие основные последовательные шаги:

- представление критериев как нечетких множеств, заданных на универсальных множествах вариантов с помощью функций принадлежности;
- определение функций принадлежности нечетких множеств на основе экспертной информации о парных сравнениях вариантов с помощью девятибалльной шкалы Т.Саати [12];
- ранжирование вариантов на основе пересечения нечетких множеств-критериев, которые отвечают известной в теории принятия решений схеме Беллмана-Заде [18];
- ранжирование критериев методом парных сравнений и учет полученных рангов как степеней концентраций соответствующих функций принадлежности.

Для решения задачи  $t_2$ , содержащей множество целевых функций, которые не могут быть оптимизированы одновременно из-за присущей им несоразмерности и конфликта между целями, применяется ММУП. Этот метод обеспечивает реализацию принципа компромисса, при котором выбранная альтернатива имеет наикратчайшее расстояние до позитивного идеального решения (Positive Ideal Solution, PIS) - лидера рынка - и наибольшее расстояние до негативного идеального решения (Negative Ideal Solution, NIS) - аутсайдера рынка [14, 15].

В процессе выбора варианта системы РЧИ при решении задачи  $t_3$  могут возникнуть ситуации, когда в одних системах имеется избыточность отдельных или нескольких ПК, а в других системах наоборот – некоторые требования реализованы недостаточно. Обе ситуации могут привести к нерациональному выбору варианта системы. В этом случае выбор целесообразно осуществлять на основе метода оценок необходимого и возможного уровней соответствия вариантов заданным требованиям [12, 13].

Рассмотренная методология использована при решении целого ряда конкретных задач формирования и выбора вариантов систем РЧИ. Она позволила существенно сократить сроки разработки систем РЧИ и привлечь квалифицированных экспертов для принятия решений на начальных этапах проектирования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Одрин В.М., Картавов В.В.** Морфологический анализ систем. – Киев: Наукова думка, 1977.
2. **Гуляев Ю.В., Багдасарян А.С., Кащенко Г.А., Семенов Р.В.** Автоматизация процессов обработки и защиты информации в информационно-телекоммуникационных системах. – Воронеж: Информация и безопасность, 2008, т.11, №1, с.31–38.
3. **Гуляев Ю.В., Багдасарян А.С., Кащенко Г.А., Багдасарян С.А., Семенов Р.В.** Аутентификация в беспроводных локальных сетях на основе радиочастотной идентификации. – Воронеж: Информация и безопасность, 2007, т.10, №3, с.395–402.
4. **Гуляев Ю.В., Багдасарян А.С., Кащенко Г.А., Кащенко Г.А., Семенов Р.В.** Системный подход к проектированию комплекса средств радиочастотной идентификации для защиты критически важных объектов от санкционированного доступа. – Воронеж: Теория и техника радиосвязи, 2011, №2, с. 5–14.
5. **Багдасарян А.С., Бутенко В.В., Кащенко Г.А., Семенов Р.В.** Применение радиочастотной идентификации в системах контроля и управления доступом к критически важным объектам. – Труды Научно-исследовательского института радио, 2010, №3, с. 53–59.
6. **Багдасарян А.С., Багдасарян С.А., Карапетьян Г.Я., Нефедова Н.А.** Устройство идентификации на поверхностных акустических волнах. Патент на изобретение RUS 2326405 28.09.2006.
7. **Багдасарян А.С., Багдасарян С.А., Гуляев Ю.В., Карапетьян Г.Я.** Датчик дистанционного контроля физической величины на поверхностных акустических волнах. Патент на изобретение RUS 2296950 03.09.2004.
8. **Багдасарян А.С., Багдасарян С.А., Карапетьян Г.Я., Нефедова Н.А.** Система радиочастотной идентификации на поверхностных акустических волнах. Патент на изобретение RUS 2344437 28.09.2006.
9. **Черноруцкий И.Г.** Методы принятия решений. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005, 416 с.
10. **Соболь И.М., Статников Р.Б.** Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. – М.: Наука, 1981.
11. **Сергиенко И.В., Лебедева Т.Т., Рощин В.А.** Приближенные методы решения дискретных задач оптимизации. – Киев : Наукова думка, 1980.
12. **Бутенко В.В., Багдасарян С.А., Кащенко А.Г., Кащенко Г.А., Семенов Р.В.** Выбор варианта системы радиочастотной идентификации на основе модифицированного метода анализа иерархий. – Труды Научно-исследовательского института радио, 2012, №4, с.4–9.
13. **Бутенко В.В., Багдасарян С.А., Кащенко А.Г., Кащенко Г.А., Семенов Р.В.** – Проектирование систем радиочастотной идентификации на основе теории нечетких множеств Труды Научно-исследовательского института радио, 2012, №4, с.10–15.
14. **Царев Р.Ю.** Модификация метода упорядоченного предпочтения через сходство с идеальным решением для задач многоцелевого принятия решений. – Информационные технологии, 2007, №7, с.19–23.
15. **Tarja S.G., Murtaň V.A.** Interactive fuzzy programming with preference criteria in multiobjective decision-making. – Computers Ops. Res., 1991, v.18, №3, p. 307–316.
16. **Кащенко А.Г., Кащенко Г.А., Семенов Р.В.** Альтернативный выбор варианта средств защиты информации в распределенных сетях беспроводного доступа. – Радиолокация, навигация, связь: XVII Межд. НТК. Воронеж: ВГУ, 2011, т.2, с.812–816.
17. **Кащенко А.Г., Чернов В.Г., Солнцев А.Н.** Нечеткие модели на основе проекции нечетких множеств в задачах оценки и управления рисками информационной безопасности. – Воронеж: Информация и безопасность, 2006, вып.2, с.113–121.
18. **Беллман Р., Заде Л.** Принятие решений в расплывчатых условиях. Вопросы анализа и процедуры принятия решений. – М.: Мир, 1976, с.172–215.