

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ВЫБОРА ВАРИАНТА БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ ДЛЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМ АППАРАТОМ

Л.Н. Шалимов, В.В. Севастьянов

*АО «Научно-производственное объединение автоматики
им. академика Н.А. Семихатова», г. Екатеринбург*

Предложена методология и рассмотрен способ решения задачи выбора варианта беспроводного взаимодействия управляющей и управляемой аппаратуры системы управления космическим аппаратом по нескольким критериям с учетом неполноты требований технического задания. Задача обоснованного выбора варианта сети широкополосного доступа обусловлена необходимостью учитывать совокупность технических, экономических и нормативных требований их построения относительно заданных территориальных районов. Выполнение этих требований, в первую очередь, связано с сокращением сроков и затрат на проектирование и эксплуатацию сетей. Выбор оптимальных решений при проектировании и развертывании таких сетей с учетом совокупности технико-экономических показателей является актуальной проблемой при управлении космическим аппаратом. Предложенный подход к построению сетей широкополосного доступа позволяет существенно повысить обоснованность принимаемых решений при выборе наиболее подходящего варианта аппаратно-программных средств.

Ключевые слова: информационное взаимодействие системы управления, система управления, беспроводная линия связи, команды и сигналы, цепи взаимодействия, метод анализа иерархий, неполнота требований технического задания.

Введение

Между управляющей и управляемой подсистемами системы управления космическим аппаратом существуют самые разнообразные связи: релейные и цифровые (для передачи и приема сигналов управления), обеспечивающие питание управляемой подсистемы, основные и резервные. Через эти связи осуществляется действие механизма управления, то есть совокупности средств и методов воздействия на управляемый объект в целях его активации. При этом система управления должна быть эффективной, что подразумевает оперативность и надежность, качество, в том числе принимаемых решений, минимизацию затрат времени, улучшения технико-экономических показателей основной деятельности и условий труда обслуживающего персонала.

По результатам анализа существующих схем подключения, основными проблемами в части взаимодействия управляющей и управляемой аппаратуры системы управления являются:

1. Большое количество линий связи в кабелях релейного и аналогового взаимодействия, учитывая реализацию каждой цепи с резервированием, что приводит к увеличению ГМХ.
2. Трудоемкость полной автоматизированной проверки всех линий связи с учетом резерва, расчета электрических характеристик кабельной сети.
3. Необходимость проведения периодических проверок кабелей с большим количеством ручных операций (стыковка-расстыковка соединителей, ручная проверка отсутствия замыканий в кабелях и т. д.).
4. Влияние окружающей среды на характеристики кабелей (снижение сопротивления изоляции и т. д.).
5. Существуют ограничения на скорость обмена и расстояния между управляющей и управляемой аппаратуры с традиционными интерфейсами.

Разработчики новых, более эффективных, систем управления улучшают качество и оптимизируют количество связей, что уже сегодня приводит к существенному сокращению проводных линий связи. Однако разработчики полностью не отказываются от проводных линий связи, так как сталкиваются с парадигмой, указывающей на то, что требуемых техническим заданием пока-

зателей надежности взаимодействия подсистем управления, а значит и системы управления в целом, можно добиться, лишь используя традиционную, проводную связь.

Тем не менее, нельзя не учитывать закономерный процесс взаимодействия внешних и внутренних факторов науки и техники в области беспроводной связи (Wi-Fi, WiMAX, LTE), использование которой в промышленности и быту возрастает за счёт резко увеличивающейся доступности и растущей надёжности применяемых технических средств. И это уже сегодня подталкивает к научной революции в части применения для взаимодействия подсистем управления летательным аппаратом беспроводной связи.

Принимая во внимание многообразие технических средств беспроводной связи, а также требования технического задания, которые, в том числе, требуют учитывать возможности применения в конкретном территориальном районе, актуальным становится вопрос выбора варианта сети беспроводного доступа для взаимодействия системы управления космическим аппаратом с учетом неопределенности исходных данных.

Современные сети беспроводного широкополосного доступа представляют собой совокупность следующих основных компонентов:

- системотехнические решения (отражают специфику сети, её уникальность);
- нормативно-технические документы (регламентируют стандартные решения, условия и ограничения, определяемые действующими нормативно-правовыми и нормативно-техническими документами);
- аппаратные средства и базовые программные комплексы (материальная основа создаваемой сети).

Обоснованный выбор сети широкополосного доступа, удовлетворяющий требованиям технического задания (ТЗ), предъявляемым к конкретной системе, как правило, основан на применении значительного числа уже готовых аппаратно-программных средств различного назначения. Однако, на практике такой выбор зачастую усложняется невозможностью получить достоверную информацию о характеристиках отдельных компонентов, например, нежелание производителя проводить оценку продукции по требуемым в ТЗ показателям качества. Кроме того, специфичность требований к сети беспроводного широкополосного доступа, вопросы долговечности, надежности, условий эксплуатации усложняют процедуру выбора наиболее подходящего варианта из альтернативного допустимого множества. Таким образом, появляются условия неопределенности исходных данных.

Задача обоснованного выбора варианта сети широкополосного доступа также обусловлена необходимостью учитывать совокупность технических, экономических и нормативных требований их построения относительно заданных территориальных районов. Выполнение этих требований, в первую очередь, связано с сокращением сроков и затрат на проектирование и эксплуатацию сетей. Очевидно, что актуальным является выбор оптимальных решений при проектировании и развертывании таких сетей с учетом совокупности технико-экономических показателей.

Результатом выбора оптимальных решений будет определение наилучших (оптимальных) решений по сравнению с другими. На практике выбор наилучших решений осуществляется для достижения вполне конкретной цели, и каждое возможное решение характеризуется определенной степенью достижения цели. Таким образом, оптимальное решение – это решение, которое с точки зрения достижения цели предпочтительнее других альтернативных решений и такое предпочтение на практике, в его математической формализации, представляет собой непростую задачу. Сложность заключается в том, что на начальных этапах, под конкретную цель, как правило, не всегда можно ясно и четко сформулировать предпочтения с точки зрения математической формализации.

На первом этапе выбора оптимального варианта с учетом недостаточности информации о проектируемом объекте решается задача поиска альтернатив и вхождения в допустимую область, которые характеризуются целевой функцией, представляющей собой некоторую функцию от степени нарушения требований ТЗ по основным рабочим показателям для конкретного варианта проекта. Целью первой задачи этапа является минимизация указанной функции на конечном множестве альтернатив, включающих существующие аналоги среди ранее выполненных проектных работ. Целью второй задачи этапа является определение таких вариантов проекта, которые выполняют требования ТЗ по уровню основных показателей.

В основе разработки методологии порождения и выбора наиболее подходящего варианта построения сети в заданном территориальном районе лежит решение задач выбора технологии построения сети, порождение допустимых вариантов оборудования для построения сети, выбор наиболее подходящего из допустимых вариантов.

1. Математическая модель задачи выбора оптимального варианта

Технико-экономические требования, предъявляемые к сети широкополосного доступа, как правило, противоречивы и характеризуются совокупностью разнородных показателей качества, которые, в свою очередь, зависимы между собой и зачастую противоположны. Таким образом, при исследовании и проектировании таких сетей построение математической модели, оценка результатов моделирования и принятие решений на их основе довольно проблематично.

Существуют два случая достаточности информации для построения математической модели. Первый случай характеризуется наличием известной функциональной значимости каждой характеристики и ограничений от параметров сети. Второй случай формируется тогда, когда функциональная зависимость и ограничения от параметров сети определяются как моделирование в условиях полной или частичной неопределенности.

Представим задачу выбора оптимального варианта сети с позиции системного подхода следующей математической моделью:

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

где T – множество, характеризующее тип постановки задачи (пример, t_1 – выбрать наилучший вариант; t_2 – выбрать наиболее близкий; по свойствам к объекту вариант; t_3 – выбрать наиболее близкий; по степени сходства с заданным объектом вариант и т. п.);

X – множество альтернатив;

N – модель неопределенного фактора;

Q – векторный критерий;

C – множество векторных оценок;

P – модель предпочтения.

2. Множество альтернатив оборудования

При проектировании сложных технических систем (в данном случае построение сети широкополосного доступа) целесообразно использовать морфологическую модель с целью решения задачи порождения множества альтернатив вариантов оборудования.

Возьмем за основу сеть Wi-Fi и допустим, что на её основе выполнена функциональная декомпозиция сети на некоторое конечное множество компонентов.

$$\{A_j, j = 1, 2, \dots, L, \cup_{j=1}^L A_j = A\}. \quad (2)$$

На основании предположения, что для системы широкополосного доступа Wi-Fi существует некоторое множество альтернативных способов реализации каждой подсистемы $A_k, k = 1, 2, \dots, L$, может быть задана морфологическая таблица (табл. 1).

Таблица 1

Морфологическая таблица

Морфологические классы	Возможные способы реализации подсистем	Число способов реализации
1. Базовая станция	$A_{11}, A_{12}, \dots, A_{1K_1}$	K_1
2. Абонентская станция	$A_{21}, A_{22}, \dots, A_{2K_2}$	K_2
3. Антенная станция	$A_{31}, A_{32}, \dots, A_{3K_3}$	K_3
4. Оборудование для организации связи	$A_{41}, A_{42}, \dots, A_{4K_4}$	K_4

Общее число возможных альтернативных вариантов сетей определяется по формуле

$$K = \prod_{l=1}^L K_l, \quad (3)$$

где K_l – число способов для реализации l -й функции или обобщенной подсистемы; L – число всех функций. Генерируемый вариант системы представляет выборку способов по одному из каждой строки табл. 1 и в общем виде записывается следующим образом:

$$A_i = \{A_{1i}, A_{2j}, \dots, A_{Ln}\}, \quad (4)$$

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

При формировании на основе морфологического подхода множества допустимых вариантов сетей широкополосного доступа A_D должны учитываться ограничения на структуру, параметры и техническую реализацию компонентов и системы в целом. Если среди полученного множества способов имеются несовместимые варианты, то заполняется вспомогательная матрица, в которой отмечены совместимые друг с другом компоненты системы: для каждой пары элементарных альтернатив $(A_{l,m}, A_{p,r})$, где $p \in L$, определяется, совместимы ли они, и результат заносится в таблицу [2]. Если альтернативы совместимы, то функция совместимости $sv(A_{l,m}, A_{p,r}) = 1$, в противном случае $sv(A_{l,m}, A_{p,r}) = 0$. На основании вспомогательной матрицы общее множество вариантов усекается до подмножества вариантов построения системы, состоящих из совместимых между собой компонентов системы. Здесь существуют противоречивые требования. С одной стороны, желательно с максимальной полнотой представить все варианты системы. С другой стороны, существуют ограничения, определяемые допустимыми затратами (средств и времени) на проектируемые системы.

3. Выбор совокупности частных показателей

Для оценки эффективности альтернативных вариантов сетей широкополосного доступа должны быть формализованы показатели качества и стоимости, наиболее полно характеризующие систему с точки зрения целей, заданных в ТЗ. Выбранная номенклатура показателей должна быть одинаковой для оценки однотипных сетей широкополосного доступа. Трудоемкость решения задачи возрастает с увеличением количества принятых для оценки показателей, а объективность оценки практически не превышает определенного достигнутого порога. Таким образом, в состав оценочных показателей целесообразно включать только необходимые для оценки конкретной сети широкополосного доступа. Вместе с тем, если показателей окажется недостаточно, то при увеличении их числа интегральная оценка может измениться. Для сравнения системы по отдельным групповым признакам и определения коэффициентов весомости показателей, выбранные показатели целесообразно иерархически структурировать. Что также будет способствовать получению более достоверных результатов интегральной оценки объекта. В общем случае можно определить несколько десятков критериев, объединенных в группы: конструктивные, функциональные, эксплуатационные, экономические и специальные.

4. Решение задачи выбора в условиях неопределенности

Выбор наиболее приемлемого варианта необходимо совершать после порождения множества альтернативных вариантов сетей широкополосного доступа. Таким образом, необходимо усечь множество вариантов в соответствии с требованиями ТЗ. Информация о предпочтительности сформированных альтернатив по совокупности критериев достаточно специфична и не всегда может быть получена в результате прямых расчетов. В этом случае необходимо решать задачу выбора наиболее подходящего варианта в условиях неопределенности исходных данных. Для решения данной задачи целесообразно использовать метод анализа иерархий, состоящий из следующих этапов [3]:

- структурирование задачи в виде одной или двух иерархических структур (по одной для положительных и отрицательных последствий принимаемого решения) с несколькими уровнями, представляющими цель (верхний уровень), критерии (занимающие один или несколько промежуточных уровней) и варианты решения (расположенные на нижнем уровне);
- оценка приоритетов (коэффициентов важности, или весов) критериев каждого уровня относительно критериев предыдущего уровня или же цели при помощи количественных парных сравнений;
- расчет (на основе этих оценок) значений приоритетов критериев нижнего уровня относительно цели;
- оценка приоритетов вариантов по каждому из критериев нижнего уровня при помощи количественных парных сравнений;
- агрегирование всех полученных оценок в интегральные приоритеты – оценки вариантов относительно цели;

– выбор варианта, имеющего наибольший приоритет (в случае одной иерархии), или же наибольший удельный приоритет (в случае двух иерархий) в качестве наиболее подходящего, или же упорядочивание вариантов по предпочтительности согласно указанным приоритетам;

– проведение анализа чувствительности к изменению величин приоритетов критериев полученного решения.

Поскольку решать исходную задачу как единое целое с большим числом критериев довольно сложно, целесообразно представить её в виде системы взаимосвязанных простых «подзадач» с небольшим числом критериев. Тогда будет приемлемо следующее допущение – суждения о приоритетах элементов любого уровня иерархии не должны зависеть от элементов более низких ее уровней.

Расчет приоритетов критериев каждого уровня относительно критериев предыдущего уровня или же цели, а также приоритетов вариантов по каждому из критериев нижнего уровня осуществляется на основе результатов количественных парных сравнений. При каждом парном сравнении сопоставляются два критерия или же два варианта и оценивается степень важности или предпочтительности того или иного варианта.

Результаты парных сравнений вариантов можно представить в виде квадратной матрицы $A = (a_{ij})$ размерности n , где n – число попарно сравниваемых объектов, a_{ij} – степень превосходства объекта i над объектом j . Полагается, что полученные оценки соответствуют измерению степеней превосходства в абсолютной шкале.

Матрица A является положительной (все $a_{ij} > 0$) и обратно симметричной ($a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$ так, что $a_{ij} = 1$ для всех i и j). Показателем непротиворечивости полученных оценок является сверхтранзитивность матрицы A , т. е. выполняется равенство $a_{ik} \times a_{kj} = a_{ij}$ для всех i, j, k . Известно, что положительная обратно симметричная матрица A является сверхтранзитивной тогда и только тогда, когда существует положительный вектор v , такой, что $a_{ij} = \frac{v_i}{v_j}, i, j = 1 \dots n$. Он удовлетворяет равенству $Av = nv$ и единствен с точностью до положительного множителя (здесь n оказывается наибольшим характеристическим числом матрицы A , остальные $n-1$ её характеристических чисел её равны нулю). Поэтому приоритеты объектов представляются в виде нормализованного вектора v (т. е. такого, что $v_1 + \dots + v_n = 1$).

Если матрица A результатов парных сравнений не является сверхтранзитивной, то требуется оценить степень согласованности входящих в нее оценок, или согласованность матрицы A . Если несогласованность невелика, то можно переходить к расчету приоритетов. В противном случае необходимо проверить и скорректировать результаты парных сравнений.

Используем для оценки степени несогласованности матриц парных сравнений отношение согласованности (ОС).

$$ОС = \frac{ИС}{СИ}, \quad (5)$$

где ИС = $(\lambda_{\max} - n)/(n - 1)$ – индекс согласованности (λ_{\max} – наибольшее характеристическое число матрицы A (всегда $\lambda_{\max} \geq n$, причем равенство выполняется тогда и только тогда, когда матрица A сверхтранзитивна); СИ – случайный индекс, равный математическому ожиданию ОС случайной обратно симметричной матрицы, в которой элементы, стоящие выше главной диагонали, являются независимыми случайными величинами и могут принимать с равной вероятностью значения 1...9 или обратные им. В [2] приведена таблица значений СИ (представлен как индекс R.I.) для $n = 3 \dots 15$. Чем выше согласованность матрицы A , тем меньше значение ОС; для сверхтранзитивной матрицы оно равно нулю. Степень согласованности матрицы A рекомендуется считать приемлемой, если ОС не превосходит 0,1 (или 10 %).

Для расчета приоритетов целесообразно использовать метод главного характеристического вектора, согласно которому за вектор приоритетов принимается нормализованный правый характеристический вектор v матрицы A , соответствующей её наибольшему характеристическому числу λ_{\max} , т. е. являющийся решением уравнения $Av = \lambda_{\max}v$.

Интегральные приоритеты (относительно цели) $Q(x)$ вариантов x рассчитываются при помощи аддитивной функции ценности вида

$$Q(x) = \sum_{i=1}^m w_i q_i(x), \quad (6)$$

где m – число критериев нижнего уровня, w_i – приоритеты (веса) этих критериев относительно цели, $q_i(x)$ – приоритеты варианта x по этим критериям. Приоритеты w_i получаются путем перемножения локальных приоритетов всех критериев, которые лежат на пути от рассматриваемого критерия нижнего уровня по ветви иерархической структуры вверх до цели.

В классическом варианте метода анализа иерархий используется грубая оценка наибольшего собственного вектора матрицы – среднее геометрическое по строкам, а для оценки наибольшего собственного значения – сумма её диагональных элементов. Вследствие чего возникают погрешности вычисления, что может привести к неверному выбору наиболее подходящего решения. В реализованном варианте метода анализа иерархий, для уменьшения влияния ошибок из-за приближенных оценок, целесообразно применить прямое вычисление собственных векторов и собственных значений матрицы парных сравнений как обратно симметричной матрицы [1]. С этой целью она с помощью метода Хаусхолдера приводится к верхней почти треугольной форме Хессенберга. Затем методом QR-итераций со сдвигом вычисляются собственные значения и собственные векторы [1]. Проверка верности решения способом изменения элементов матрицы парных сравнений показала, что при применении рассмотренного способа ошибка в оценках экспертов на один ранг практически не значима.

5. Выбор технологии беспроводного широкополосного доступа

Разнообразие существующих технологий беспроводного широкополосного доступа и расширение области их практического использования обусловило необходимость обоснованного выбора наиболее подходящего варианта технологии.

Общий подход к выбору конкретной технологии беспроводного широкополосного доступа включает [4, 5]:

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

Задача выбора наиболее подходящего варианта технологии беспроводного широкополосного доступа в общем случае определяется следующим образом.

Пусть выбор технологии беспроводного широкополосного доступа производится из множества альтернатив $T = \{t_i, i = 1, 2, \dots, V\}$ по принятым требованиям или критериям $Q = \{q_i, i = 1, 2, \dots, m\}$. Необходимо из множества технологий выбрать такую альтернативу либо комбинацию альтернатив, которая наилучшим образом соответствует множеству требований Q [1].

Все существующие технологии беспроводного широкополосного доступа характеризуются целой совокупностью показателей, которые различным образом влияют на характеристики системы. Например, при выборе сетевой технологии целесообразно учитывать её следующие показатели:

1. Периодичность обслуживания. В настоящее время прослеживается тенденция к появлению новых возможностей оборудования и развитию программного обеспечения, предъявляющих очень жёсткие требования по обслуживанию ко всей сети.

2. Масштабируемость. Масштабируемость технологии предполагает её способность гибко реагировать на повышающиеся требования к сети (например, увеличение пропускной способности сети).

3. Стоимость. Следует учитывать соотношение цена/производительность. Трудно ожидать высокого уровня сервиса от дешёвых технологий; с другой стороны, бессмысленно использовать сложнейшие технологии для решения простых задач.

4. Номенклатура имеющегося на рынке оборудования.

Эти показатели могут быть количественными, качественными, а также могут быть заданы интервалами своих значений. Таким образом, в общем случае задача выбора технологии широкополосного доступа математически формализуется в виде задачи многокритериального выбора с количественными, качественными и интервальными критериями.

Инфокоммуникационные технологии и системы

Характерными особенностями районов, в которых предполагается использовать проектируемую аппаратуру, являются неравномерная нагрузка сети и ограниченность бюджета. С учетом этих особенностей наиболее влияющими на выбор варианта сети являются следующие показатели: скорость передачи, доступность частотного диапазона, доступность температурного режима работы, наличие элементной базы, стоимость, доступность стыковочного стандарта.

В качестве альтернативных вариантов могут использоваться сети, построенные на основе технологий Wi-Fi, WiMAX, LTE/Wi-Fi. Схема иерархии для выбора рационального варианта сети представлена на рис. 1.

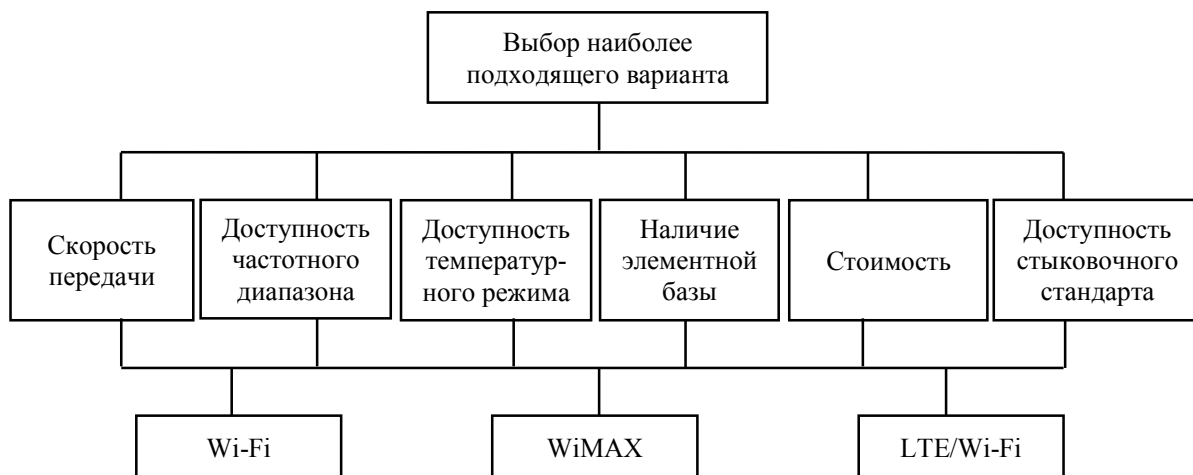


Рис. 1. Схема иерархии

Матрица парных сравнений относительной важности критериев выбора варианта сети для рассматриваемого варианта приведена в табл. 2. Из таблицы следует, что, наиболее важными критериями при выборе варианта сети в рассматриваемом случае являются скорость передачи данных, доступность частотного диапазона и стоимость.

Таблица 2

Относительная важность критериев

	Скорость передачи	Доступность частотного диапазона	Доступность температурного режима работы	Наличие элементной базы	Стоимость	Доступность стыковочного стандарта	Вектор приоритетов
Скорость передачи	1	4	6	3	2	5	0,4003186303
Доступность частотного диапазона	1/4	1	3	3	3	2	0,2063348947
Доступность температурного режима работы	1/6	1/3	1	1/3	1/2	1/2	0,0545893715
Наличие элементной базы	1/3	1/3	3	1	1/3	1/2	0,0825984001
Стоимость	1/2	1/3	2	3	1	3	0,1605846126
Доступность стыковочного стандарта	1/5	1/2	2	2	1/3	1	0,0955740908
$\lambda_{\max} = 6,57$; ИС = 0,11; ОС = 9,14 %							

Матрицы парных сравнений альтернатив по каждому критерию в отдельности приведены в табл. 3–8. На основе этих матриц вычисляются векторы приоритетов альтернатив. Для каждой

пары альтернатив выясняется, какая из альтернатив обладает лучшими характеристиками по этим критериям. Совокупный вектор приоритетности альтернатив вычисляется с помощью аддитивной свертки. Результаты выбора варианта сети приведены в табл. 9 и на рис. 2.

Таблица 3

Скорость передачи

	WiMAX	Wi-Fi	LTE/Wi-Fi	Вектор приоритетов
WiMAX	1	2	3	0,2098435231
Wi-Fi	3	1	2	0,5499456073
LTE/Wi-Fi	1	1/2	1	0,2402108696
$\lambda_{\max} = 3,02$; ИС = 0,01; ОС = 1,58 %				

Таблица 4

Доступность частотного диапазона

	WiMAX	Wi-Fi	LTE/Wi-Fi	Вектор приоритетов
WiMAX	1	1/3	1	0,5396145502
Wi-Fi	1/2	1	2	0,2969613312
LTE/Wi-Fi	1/3	1/2	1	0,1634241186
$\lambda_{\max} = 3,01$; ИС = 0,00; ОС = 0,79 %				

Таблица 5

Доступность температурного режима работы

	WiMAX	Wi-Fi	LTE/Wi-Fi	Вектор приоритетов
WiMAX	1	3	5	0,6483290138
Wi-Fi	1/3	1	2	0,2296507941
LTE/Wi-Fi	1/2	1/2	1	0,1220201921
$\lambda_{\max} = 3,00$; ИС = 0,00; ОС = 0,32 %				

Таблица 6

Наличие элементной базы

	WiMAX	Wi-Fi	LTE/Wi-Fi	Вектор приоритетов
WiMAX	1	3	5	0,6175042275
Wi-Fi	1/3	1	5	0,2968650689
LTE/Wi-Fi	1/5	1/5	1	0,0856307036
$\lambda_{\max} = 3,14$; ИС = 0,07; ОС = 11,69 %				

Таблица 7

Стоимость

	WiMAX	Wi-Fi	LTE/Wi-Fi	Вектор приоритетов
WiMAX	1	1/5	3	0,2021199869
Wi-Fi	5	1	5	0,7007108584
LTE/Wi-Fi	1/3	1/5	1	0,0971691547
$\lambda_{\max} = 3,14$; ИС = 0,07; ОС = 11,69 %				

Таблица 8

Доступность стыковочного стандарта

	WiMAX	Wi-Fi	LTE/Wi-Fi	Вектор приоритетов
WiMAX	1	5	5	0,7088557199
Wi-Fi	1/5	1	2	0,1786204486
LTE/Wi-Fi	1/5	1/2	1	0,1125238315
$\lambda_{\max} = 3,05$; ИС = 0,03; ОС = 4,62 %				

Результат выбора

	Скорость передачи	Доступность частотного диапазона	Доступность температурного режима работы	Наличие элементной базы	Стоимость	Доступность стыковочного стандарта	Вектор приоритетов
	0,4003186303	0,2063348947	0,0545893715	0,0825984001	0,1605846126	0,0955740908	
WiMAX	0,2098435231	0,5396145502	0,6483290138	0,6175042275	0,2021199869	0,7088557199	0,3819479185
Wi-Fi	0,5499456073	0,2969613312	0,2296507941	0,2968650689	0,7007108584	0,1786204486	0,8760956830
LTE/Wi-Fi	0,1220201921	0,1634241186	0,1220201921	0,0856307036	0,0971691547	0,1125238315	0,2572644503

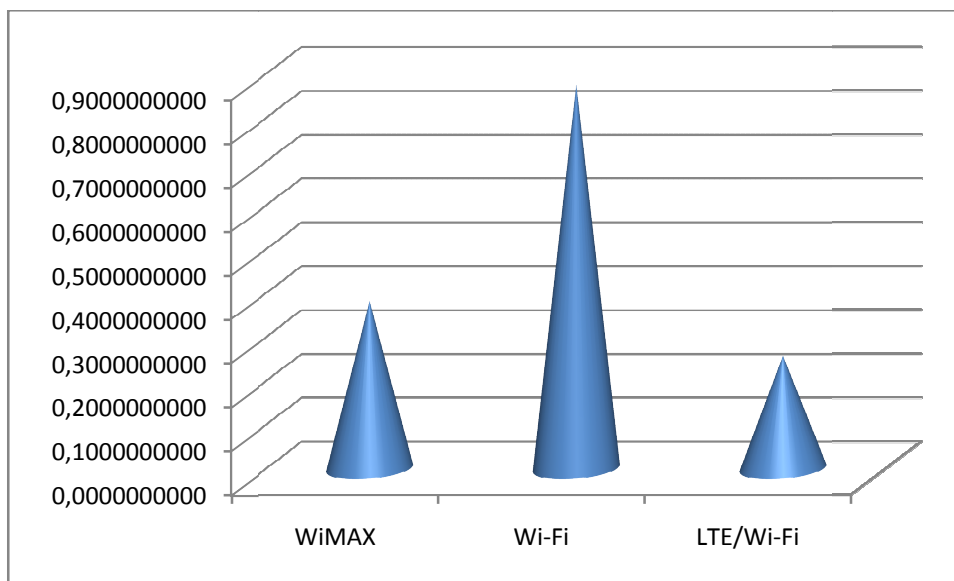


Рис. 2. Итоговая диаграмма

6. Выбор оборудования для построения сети широкополосного доступа

Одним из важных вопросов, решаемых в ходе проектирования сетей широкополосного доступа, является выбор телекоммуникационного оборудования, реализующего выбранные системно-технические решения, технологии и удовлетворяющего предъявляемым к сети требованиям.

Выбор оборудования может осуществляться следующим образом.

Вначале производится выбор возможных типов оборудования, характеристики которых удовлетворяют системным и техническим требованиям проектируемой сети. Как правило, оборудование должно обеспечивать передачу информации в режиме реального времени, высокую надежность функционирования, обладать хорошими эксплуатационными характеристиками.

Необходимо отметить, что сейчас на телекоммуникационном рынке представлено сетевое оборудование многих компаний. При этом желательно выбирать весь набор средств одного разработчика, что облегчает сопряжение оборудования и его дальнейшую эксплуатацию. К настоящему времени имеются типовые линейки телекоммуникационного оборудования для построения сетей широкополосного доступа технологии Wi-Fi значительного числа компаний-разработчиков. Исключение составляют средства криптографической защиты информации, круг разработчиков которых является более узким и выбор которых имеет ряд специфических особенностей.

В качестве показателей для выбора оборудования, например, могут использоваться:

– техническая характеристика (характеристики), наиболее важная для конкретной сети (производительность, число и типы портов, тип стыковочного стандарта (Манчестер2, Ethernet) и т. п.);

- надежность;
- энергопотребление;
- массогабаритные характеристики оборудования;
- соответствие специфическим требованиям (наличие сертификатов, опыт применения в различных проектах, особенности программного обеспечения и т. п.);
- стабильность технической поддержки производителя;
- наличие максимально полной технической документации;
- стоимостные характеристики и др.

Необходимо отметить, что конкретный набор показателей для выбора оборудования определяется спецификой создаваемой сети. При этом для различных типов сетей степень важности каждого из указанных показателей различна. Таким образом, для специализированных сетей широкополосного доступа при защищенном исполнении наиболее важными являются показатели, характеризующие их надежность и безопасность; если предполагается обмен большими объемами информации, также важной является производительность; при ограниченных финансовых возможностях не менее важными являются стоимостные показатели.

Результаты проведенной оценки показали, что по рассмотренным показателям может быть выбрано небольшое число типов оборудования, которое наиболее соответствует всем предъявляемым требованиям и сопоставимо друг с другом по эксплуатационным показателям. Из этих оставшихся вариантов необходимо выбрать наиболее приемлемый с точки зрения технических и эксплуатационных показателей вариант для данной сети. При этом, как правило, невозможно найти оборудование, которое являлось бы лучшим по всем приведенным выше показателям. В частности, отдельные типы оборудования, обладающие наиболее высокой производительностью или надежностью, уступают по другим характеристикам; оборудование, лучшее по надежности и безопасности, является более дорогим и т. п.

Для порождения множества альтернативных вариантов сетей широкополосного доступа используется модифицированный метод морфологического анализа, описание которого приведено в разделе 2. Для проведения сравнительной оценки и выбора лучшего варианта в предлагаемой методике используется метод анализа иерархий, описание которого приведено в разделе 4. Особенностью рассматриваемой задачи является то, что в настоящее время на рынок оборудования технологии Wi-Fi поставляется очень большое количество продукции большого числа фирм-производителей.

С учетом вышеизложенного предлагается методика порождения и выбора варианта оборудования, включающая следующие основные этапы:

- декомпозиция оборудования сети широкополосного доступа на основные компоненты (БС, АС и т. д.);
- ранжирование основных компонентов оборудования сети с использованием метода анализа иерархий по совокупности показателей качества в порядке убывания предпочтений;
- удаление в каждом классе компонентов оборудования тех из них, которые не удовлетворяют требованиям ТЗ, а также худших компонентов оборудования;
- формирование альтернативных вариантов оборудования сети широкополосного доступа из оставшихся компонентов оборудования модифицированным методом морфологического анализа;
- выбор из всего множества оставшихся альтернативных вариантов оборудования данного назначения образцов, наиболее удовлетворяющих требованиям конкретной сети, на основе системы основных показателей метода анализа иерархий.

Структурная схема алгоритма порождения и выбора наиболее подходящего варианта оборудования сети широкополосного доступа технологии Wi-Fi приведена на рис. 3.

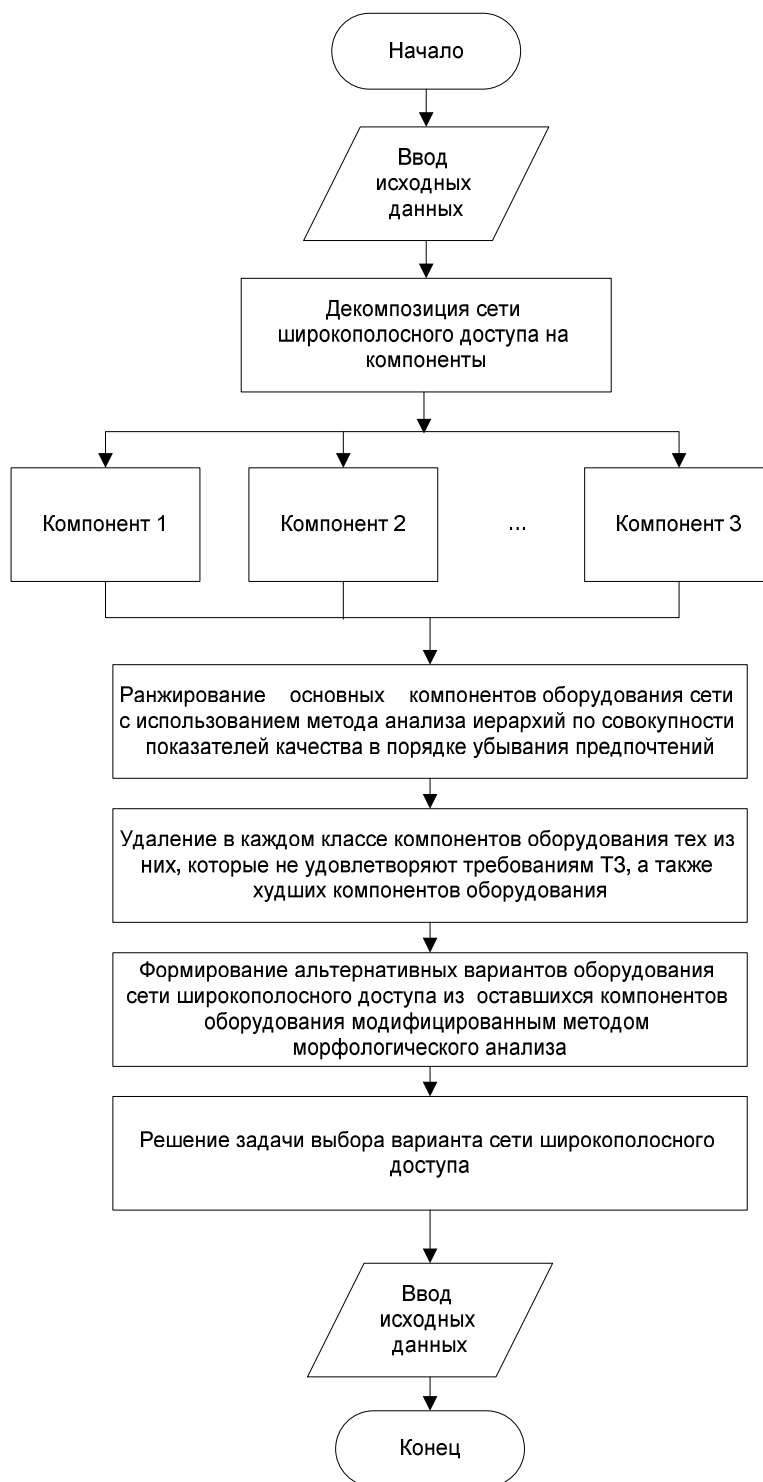


Рис. 3. Структурная схема алгоритма порождения и выбора наиболее подходящего варианта оборудования

Выводы

Задача выбора наиболее подходящего варианта оборудования для построения сети широкополосного доступа приобретает в настоящее время особую важность в связи с требованиями к передаваемой информации (надежность, безопасность, производительность). Учитывая, что время жизни сетей в целом и сетей широкополосного доступа в частности, как правило, превышает время жизни средств вычислительной техники, возникает задача выбора такого оборудования, которое обеспечивало бы возможности дальнейшего эволюционного развития сети и удовлетво-

ряло бы возрастающие потребности пользователей при ограничении затрат на закупку и модернизацию оборудования. Предложенный подход к построению сетей широкополосного доступа позволяет, на наш взгляд, существенно повысить обоснованность принимаемых решений при выборе наиболее подходящего варианта аппаратно-программных средств для построения таких сетей.

Рассмотрев технологии построения сетей широкополосного доступа (Wi-Fi, WiMAX, LTE/Wi-Fi) и принимая во внимание неопределенность требований технического задания, которые, в том числе, требуют учитывать возможности применения в конкретном территориальном районе, проведенные расчеты указанным методом позволяют решить вопрос выбора варианта сети беспроводного доступа для взаимодействия системы управления космическим аппаратом. И таким вариантом является широкополосная сеть, построенная на основе технологии Wi-Fi.

Литература

1. Одрин, В.М. *Морфологический анализ систем* / В.М. Одрин, В.В. Картавов. – Киев: Наукова думка, 1977. – 183 с.
2. Петровский, А.Б. *Теория принятия решений: учеб. для студентов высш. учеб. заведений* / А.Б. Петровский. – М.: Издат. центр «Академия», 2009. – 400 с.
3. Саати, Т. *Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети: пер. с англ.* / Т. Саати; науч. ред. А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 360 с.
4. Гармонов, А.В. *Методическое обеспечение для выбора варианта технологии широкополосного беспроводного доступа с учетом потребительских предпочтений* / А.В. Гармонов, А.В. Ловягин. – Воронеж: Научная книга, 2012. – С. 217–221.
5. Гармонов, А.В. *Системный подход к обоснованию выбора вариантов информационных технологий для информатизации малых городов* / А.В. Гармонов, А.В. Ловягин // *Теория и практика системного анализа: сб. тр. Всерос. молодеж. конф., Белгород.* – ИД «Белгород», 2012. – С. 455–459.

Шалимов Леонид Николаевич, канд. техн. наук, канд. экон. наук, генеральный директор, АО «Научно-производственное объединение автоматики им. академика Н.А. Семихатова», г. Екатеринбург.

Севастьянов Владимир Владимирович, главный специалист, АО «Научно-производственное объединение автоматики им. академика Н.А. Семихатова», г. Екатеринбург; vladimir.specialist@gmail.com.

Поступила в редакцию 5 апреля 2016 г.

DOI: 10.14529/ctcr160307

SOLUTION OF THE PROBLEM OF THE CHOICE OF VARIANT OF THE WIRELESS COMMUNICATION FOR INTERACTION OF THE CONTROL SYSTEM OF THE SPACECRAFT

L.N. Shalimov,

V.V. Sevast'yanov, vladimir.specialist@gmail.com

JSC "Scientific and Production Association of automatics named after academician N.A. Semikhatov", Ekaterinburg, Russian Federation

The method of a task solution of the choice of variant of wireless interaction of the controlling and operated control system equipment of the spacecraft by several criteria taking into account incompleteness of requirements of the specification is considered and the methodology is offered.

The task of the reasonable choice of a network variant of broadband access is caused by need to consider the set of technical, economic and standard requirements of their creation concerning the given territorial areas. Accomplishment of these requirements, first of all, is connected with reducing of periods and costs for design and operation of networks. The choice of optimal solutions during the designing and expansion of such networks taking into account set of technical and economic indicators is an actual problem in case of control of the spacecraft. The offered approach to creation of networks of broadband access allows to increase significantly justification of the made decisions in case of the choice of the most suitable option of hardware and software.

Keywords: information interaction of a control system, control system, wireless communication line, commands and signals, interaction chains, method of analysis of hierarchies, incompleteness of requirements of specification.

References

1. Odrin V.M., Kartavov V.V. *Morfologicheskii analiz system* [Morphological Analysis of Systems]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1977. 183 p.
2. Petrovskiy A.B. *Teoriya prinyatiya resheniy: uchebnik dlya stud. vysh.uch.zavedeniy* [Theory of Decision Making: Textbook for Students of Higher Educational Institutions]. Moscow, "Academy" Publ. Center, 2009, 400 p.
3. Saati T. *Prinyatie resheniy pri zavisimostyakh i obratnykh svyazyakh: Analiticheskie seti* [Decision Making in Case of Dependences and Feedback: Analytical Networks]. Moscow, LKI Publ., 2008, 360 p.
4. Garmonov A.V., Lovyagin A.V. [Methodical Support for a Choice of Variant of Technology of Broadband Wireless Access Taking into Account Consumer Preferences]. *Materialy mezhdunarodnoy molodezhnoy konferentsii "Matematicheskie problemy sovremennoy teorii upravleniya sistemami i protsessami v ramkakh festivalya nauki* [Proc. of the Intern. Youth Conf. "Mathematical Problems of the Modern Control Theory of Systems and Processes within a Science Festival]. Voronezh, 2012, pp. 217–221. (in Russ.)
5. Garmonov A.V., Lovyagin A.V. [System Approach to Justification of the Choice of Variants of Information Technologies for Informatization of the Small Cities]. *Teoriya i praktika sistemnogo analiza: sbornik trudov Vserossiyskoy molodezhnoy konferentsii* [Theory and Practice of the System Analysis: Proc. of Works of the All-Russian Youth Conference]. Belgorod, 2012, pp. 455–459. (in Russ.)

Received 5 April 2016

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Шалимов, Л.Н. Решение задачи выбора варианта беспроводной связи для взаимодействия системы управления космическим аппаратом / Л.Н. Шалимов, В.В. Севастьянов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2016. – Т. 16, № 3. – С. 62–74. DOI: 10.14529/ctcr160307

FOR CITATION

Shalimov L.N., Sevast'yanov V.V. Solution of the Problem of the Choice of Variant of the Wireless Communication for Interaction of the Control System of the Spacecraft. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2016, vol. 16, no. 3, pp. 62–74. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr160307