

УДК 519.816

# МЕТОД ПОИСКА ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОМПОНЕНТОВ РТС

К.т.н. Р.Ю. Аллахверанов, Харьковский национальный университет радиоэлектроники

*В работе рассмотрена последовательность операций, требуемых для принятия решения относительно оптимальности конструкции разъемного оптического соединителя с минимальным уровнем вносимых потерь. Разработана методика выбора физико-технических параметров при проектировании оптимальной конструкции РОС.*

*В роботі розглянуто послідовність операцій, необхідних для прийняття рішення щодо оптимальності конструкції роз'ємного оптичного з'єднувача з мінімальним рівнем внесених втрат. Розроблена методика вибору фізико-технічних параметрів при проектуванні оптимальної конструкції РОЗ.*

*The sequence of operations, required for a decision-making in relation to an optimality construction of sectional optical connector with the minimum level of insertion losses is in-process considered. The method of choice of fiziko-technical parameters is developed at planning of optimum construction of sectional optical connectors.*

**Ключевые слова:** компоненты, оптимальная конструкция, радиотехническая система, разъемный оптический соединитель, проектные решения

## Введение

Цель поиска оптимального конструкторско-технологического решения при проектировании компонентов радиотехнических систем (РТС), в частности при разработке конструкции разъемного оптического соединителя (РОС) с минимальным уровнем вносимых потерь, состоит в получении технического решения, которое было бы пригодно для практического применения в реальных условиях. Процесс поиска такого решения осуществляется в виде последовательности операций (экспериментов), в которых приобретает информация о природе возможных решений. Такая информация может быть получена путем фактической разработки конкретного решения и определения его критерия качества [1-2].

При решении такой задачи необходимо обеспечить рациональную последовательность выбора наиболее подходящих из возможных экспериментов, которые должны быть выполнены при решении конкретной задачи – поиска оптимального варианта конструктивно-технологического исполнения РОС с минимальными потерями мощности. Для этого необходимо из существующих методов принятия решений выбрать метод поиска оптимального технического решения, учитывая конкретную специфику проектирования РОС.

## Особенности использования байесовского подхода для поиска оптимальных технических решений

Проектирование конструкции РОС – это задача выбора наилучшего сочетания различных технических решений для всех элементов, входящих в состав соединителя. Первая группа из данных решений – это технические решения, полученные с использованием математических моделей соответствующих элементов, а вторая группа – типовые проектные решения, полученные на основе ранее проведенных конструкторских разработок, либо с использованием каких-либо эвристических приемов. Следовательно, зависимости критериев качества РОС от параметров первой группы технических решений определяются по вполне конкретным математическим соотношениям с использованием математических моделей соответствующих элементов РОС. Зависимости критериев качества РОС от параметров второй группы технических решений изначально являются статистическими, так как они определяются либо по результатам экспериментальных исследований типовых проектных решений, либо по некоторым экспертным оценкам этих решений. Таким образом, задачу поиска оптимального технического решения РОС можно отнести к задачам принятия решений в условиях неопределенности. Для решения таких задач в настоящее время широко используется математический аппарат теории байесовских статистических решений.

К достоинствам поиска с использованием теоремы Байеса относятся [3-5]:

- простота математического аппарата теоремы Байеса. Большой объем расчетов в наше время легко выполняется с помощью ЭВМ;
- компенсация некомпетентности, субъективности и недостаточной информированности экспертов;
- уточнение экспертной оценки при помощи экспериментальных данных;
- высокая скорость пересчета вероятности в случае появления новой информации;
- наглядность модели за счет применения дерева решений.

Рассмотрим особенности байесовского подхода для проектирования конструкции РОС.

Предполагается, что существует множество переменных (технических решений для элементов РОС), достаточно полное для того, чтобы любое возможное решение задачи могло быть описано с помощью членов этого множества. Это множество переменных определяет пространство всех возможных решений задачи. Оно может быть представлено в виде  $n$ -мерного пространства, в котором каждая координата соответствует одной из  $n$  переменных, необходимых для описания некоторого решения.

Операцией называется любая точка или множество точек в этом пространстве, т.е. операцией является решение или множество решений.

Одноуровневый оператор (ОУО) представляет собой множество процедур, применяемых к какой-либо операции, чтобы произвести другую операцию и оценить значение критерия качества, связанное с такой операцией. Процедуры, охватываемые оператором, содержат следующие этапы.

Поиск – процесс, в результате которого вырабатывается и устанавливается новая операция.

Выбор – процесс, в ходе которого новая операция сравнивается с другими, ранее выработанными операциями, и оценивается относительная стоимость этих операций.

В операции выбора могут быть выделены три процесса.

Предсказание – процесс, при котором оценивается эффект новой операции.

Оценивание – состоит в определении численных оценок для различных следствий.

Принятие решения – завершающая стадия выбора, в которой на основе оценок для следствий определяется относительное достоинство каждой операции по сравнению с ранее предложенными операциями.

Первым элементом, необходимым для анализа процесса проектирования на основе байесовской теории решений, является дерево решений (рис. 1). Оно по существу представляет собой список всех возможных альтернатив выбора, имеющихся у разработчика.

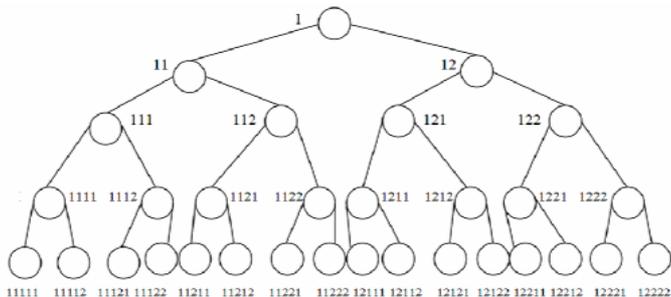


Рис. 1. Дерево решений

Конечными конструктивно-технологическими характеристиками (КТХ), которыми располагает проектировщик в какой-либо момент поиска наилучшего варианта конструкции РОС, будут основные технические характеристики, которые уже были генерированы к этому моменту (если таковые имеются). К ним относится и нулевая альтернатива, т.е. отказ от проектирования. Конечным техническим решением выбирается техническое решение, обеспечивающее минимальные потери в оптическом тракте.

Чтобы полностью определить эксперимент, необходимо точно охарактеризовать ОУО, который должен быть использован, и неосновной физико-технологический параметр (ФТП), к которому этот оператор должен быть приложен.

Разумеется, не все комбинации ФТП и операторов образуют возможные эксперименты. В частности, применение какого-либо ОУО к ФТП, который уже

получен с помощью ОУО того же или более низкого уровня, не определено.

Эксперимент дает некоторый ФТП и связанный с ним уровень вносимых оптических потерь. Можно считать, что ФТП характеризуется его уровнем потерь  $u$  и тем, является ли он основным или нет. Следовательно,  $u$  характеризует возможный уровень потерь предложенного ФТП.

При обычном применении теории решений Байеса значение каждой конечной физико-технологической характеристики (ФТХ) зависит от неизвестного состояния среды  $\theta$ . В модели значение конечной ФТХ  $a$  точно известно, так же, как и обуславливаемый ею уровень вносимых оптических потерь. Показатель  $\theta$  характеризует будущий поток результатов эксперимента. Ранее этот показатель толковался как функция множества уровней оптических потерь основных ФТХ, генерируемых в будущих экспериментах.

Из-за этого различия в смысле  $\theta$  используемое дерево решений имеет более простую форму, чем в обычной теории Байеса [3-4].

### Метод поиска оптимальной конструкции РОС

Основными элементами байесовской теории решений можно считать: множество конечных ФТХ  $A\{a\}$ , множество возможных экспериментов  $E\{e\}$ , множество результатов экспериментов  $Z\{z\}$ , состояния  $\theta$ , выгоды  $u(e, z, a, \theta)$  и распределения вероятностей  $P(\theta)$  и  $P(z|e, \theta)$ .

Основная задача лица, принимающего решение (ЛПР), состоит в выборе некоторой конечной оптимальной конструкции РОС  $a$ , которая будет максимизировать его выгоду (минимизировать вносимые оптические потери). Это трудная задача, поскольку выгода, соответствующая  $a$ , зависит от значения переменной состояния  $\theta$ . При данном распределении вероятностей  $P(\theta)$  ЛПР должен использовать принцип ожидаемого значения: он должен выбрать такое конечное действие  $a$ , для которого ожидаемое значение выгоды при распределении  $P(\theta)$  является наибольшим.

Когда  $P(\theta)$  представляет суждение ЛПР об относительном правдоподобии значения  $\theta$ , мы называем это субъективной вероятностью. Вместо того чтобы немедленно выбрать операцию  $a$ , ЛПР может выполнить один или более экспериментов, чтобы получить добавочную информацию относительно значения  $\theta$ . Когда он выполняет эксперимент  $e$  и наблюдает некоторый результат  $z$ , его прежнее суждение изменяется, что выражается в соответствующем изменении распределения  $P(\theta)$ .

Априорное распределение, обозначаемое через  $P'(\theta)$ , представляет собой решение ЛПР до выполнения эксперимента. Апостериорное распределение  $P''(z|e, \theta)$  выражает его суждение после выполнения эксперимента  $e$  и получения результата  $z$ . Байесовское распределение состоит в том, что каждый эксперимент  $e$  может быть охарактеризован распределением условных вероятностей  $P(z|e, \theta)$  и соотношением между априорным и

апостериорным распределением определяется теоремой Байеса:

$$P''(\theta|z, e) = \frac{P'(\theta)P(z|\theta, e)}{\sum_0 P'(\theta)P(z|\theta, e)}. \quad (1)$$

Цель метода – помочь ЛПР принять разумное решение путем подробного рассмотрения всех возможных последовательностей экспериментов, их результатов, конечных ФТХ и состояний. Каждая такая комбинация содержит какую-то выгоду (полезность)  $u(e, z, a, \theta)$ . Чтобы найти наилучшую последовательность, нужно вычислить ожидаемое значение выгоды для каждой такой комбинации. Для этого необходимо знать распределение вероятностей: субъективные распределения вероятностей как раз и обеспечивают это. Для предсказания субъективных распределений, представляющих будущие суждения на основе проведения экспериментов и наблюдения их результатов, используется теорема Байеса. Эти будущие распределения можно было бы оценить и непосредственно (априори) на основании выявленных последовательностей экспериментов и их результатов, но использование теоремы Байеса более экономично: вместо оценивания различных возможных апостериорных распределений инженеру достаточно оценить лишь соответствующие условные распределения для каждого эксперимента.

Таким образом, метод поиска оптимальной конструкции РОС, в основе которого лежит математический аппарат байесовской теории статистических решений, характеризуется использованием субъективных вероятностей, применением теоремы Байеса для предсказания будущих субъективных вероятностей и вычислением ожидаемой выгоды для большого числа последовательностей экспериментов, их результатов, операций и состояний.

Рассмотрим последовательность операций, требуемых для принятия решения относительно оптимальности конструкции РОС:

- составляется список всех возможных операций  $a$ ;
  - составляется список всех возможных состояний  $\theta$ ;
  - составляется список всех возможных экспериментов  $e$ , включая нулевой  $e_0$ ;
  - для каждого эксперимента составляется список всех возможных результатов  $z$ ;
  - определяется для каждой комбинации «эксперимент, результат, операция, состояние» ее относительная желательность, т.е.  $u(e, z, a, \theta)$ ;
  - предварительное (априорное) суждение ЛПР об относительной вероятности различных состояний  $\theta$  выражается в виде распределения вероятностей  $P'(\theta)$ ;
  - для каждого эксперимента определяется его вероятностная характеристика в виде  $P'(\theta)$ .
- Шаги 6 и 7 дают совместное распределение

вероятностей  $P(z|\theta, e)$ . Их можно заменить какими-либо другими действиями, дающими тот же результат, т.е. совместное распределение вероятностей  $P(\theta|z, e)$ , безусловное распределение  $P'(\theta)$  и условное распределение  $P(z|\theta, e)$ ;

- для каждой комбинации «эксперимент, результат» вычисляется апостериорное распределение  $P''(\theta|z, e)$  по формуле Байеса (1);

- определяется ожидаемая выгода от каждого принятого технического решения для каждой комбинации «эксперимент, результат» по формуле:

$$u^*(a, e, z) = \sum_{\theta} u(e, z, a, \theta) \cdot P''(\theta|z, e), \quad (2)$$

- для каждой комбинации «эксперимент, результат» определяется оптимальная конструкция и оптимальная выгода:

$$u^*(z, e) = \max u^*(a, z, e), \quad (3)$$

- для каждого эксперимента вычисляется вероятность каждого частного результата  $z$ , задаваемого безусловным распределением  $P(z|e)$ .

Для каждого эксперимента определяется ожидаемая выгода  $u^*(e)$ :

$$u^* = \sum_z P(z|e) \cdot u^*(z, e), \quad (4)$$

- оптимальным считается тот эксперимент  $e$ , для которого выгода  $u^*(e)$  максимальна. Поскольку здесь рассматривается также и нулевой эксперимент, может оказаться, что именно он и является оптимальным; это будет означать, что операция должна выбираться без всякого эксперимента:

$$u^*(e^*) = \max u^*(e). \quad (5)$$

Применяя предложенный подход удалось разработать и реализовать конструкцию РОС, которая имеет вносимые потери 0,2116 дБ (наименьшие среди других конструктивных исполнений РОС подобного типа) (рис. 2).



Рис. 2. Конструкция разъёмного оптического соединителя

**Выводы**

Разработанная методика выбора физико-технических параметров при проектировании оптимальной конструкции РОС позволяет снизить уровень вносимых потерь в оптические линии связи до значения 0,2116 дБ. Этот факт позволяет сделать вывод о возможности и целесообразности применения предложенного подхода в практике проектирования РОС.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. Вербовецкий А.А. Основы проектирования цифровых оптоэлектронных систем связи. / А.А. Вербовецкий – М.:

Радио и связь, 2000. – 159 с.

2. Скляров О.К. Волоконнооптические сети и системы связи / О.К. Скляров – СПб.: Лань, 2010. – 272 с.

3. Невлюдов И. Ш. Метод поиска наилучшей конструкции оптического соединительного устройства с использованием байесовской теории статистических решений / И. Ш. Невлюдов, Р. Ю. Аллахверанов, И. С. Хатнюк // Научно-технічний журнал «Технологія приладобудування». – Харків, 2011. – Вип. № 1.– С. 27-33.

4. Мангейм М. Л. Иерархические структуры. Модель процессов проектирования и планирования : пер. с англ. / М. Л. Мангейм. – Cambridge-Massachusetts, 1966, – 195 с.

5. Бирюков С. И. Оптимизация. Элементы теории. Численные методы: учебное пособие / С. И. Бирюков. – М.: МЗ-Пресс, 2003. – 248 с.