

ВОЗМОЖНЫЕ МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ БЛА ПРИ ФИКСИРОВАННОМ КАЧЕСТВЕ СВЯЗИ

© 2016 г. О.Г. ЧЕРТОВА

Московский технический университет связи и информатики
e-mail: Olya-932007@yandex.ru

Беспилотные летательные аппараты (БЛА) уже влились в жизнь современного общества: они мониторят пробки в городе, обнаруживают и обезвреживают источники возгорания в лесах, ведут фото и видеосъемку, используются при поиске пропавших и так далее. Существует множество возможных областей применения БЛА. Одной из них является ретрансляция и передача данных.

Преимуществами применения БЛА в качестве сети связи являются:

- быстрое разворачивание сети;
- поддержания непрерывного соединения за счет запуска новых БЛА на место вышедших из строя;
- возможность запуска дополнительных БЛА без потери соединения абонентов;
- возможность БЛА «вести» подвижного абонента;
- увеличение зоны обслуживания за счёт взлёта БЛА на большую высоту;
- более низкая стоимость по сравнению с развертыванием наземной инфраструктуры.

В данной статье рассматривается опорная сеть связи из 2 и более БЛА, использующих архитектуру Ad-hoc для организации связи. Схематичное изображение сети представлено на рис. 1.

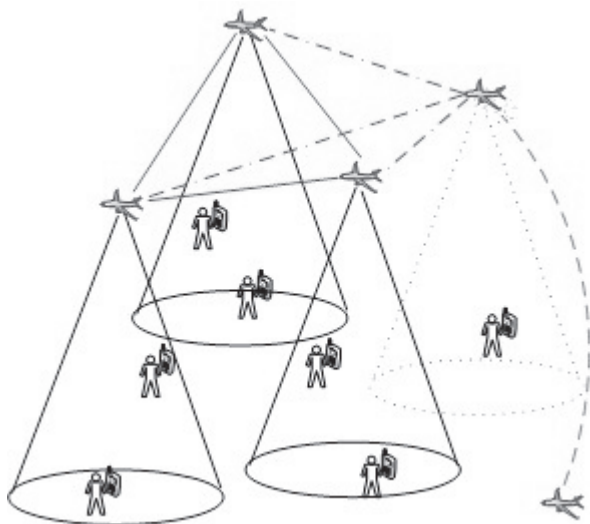


Рис. 1. Схема организации связи на базе малоразмерных БЛА.

Выбор стандарта Ad-hoc аргументирован следующими преимуществами:

- адаптивность к быстроменяющейся обстановке;
- два терминала могут соединяться друг с другом в сколь угодно длинные цепочки из таких терминалов;
- отсутствие жестко прописанных маршрутов, передачи информации на основе связности узлов.

Сейчас существует тенденция к переходу на полностью автономные системы управления, да и управлять передвижением более трех БЛА в условиях детерминированной среды оператору тяжело.

Для принятия решений о наборе (сбросе) высоты, переключения модуляции, скорости и других характеристик тре-

буется анализ ряда условий: количество абонентов, отношение сигнал/шум, пропускная способность и так далее. Некоторые характеристики нелинейно связаны между собой, а некоторые являются независимыми от других. Постоянный пересчет всех ха-

рактических оператором занимает длительное время, поэтому требуется переход к автоматизации управления, в результате которого будут выбраны оптимальные значения.

Оптимизация (от латинского слова «optimus» – наилучший) – поиск наилучшего варианта, при наличии множества альтернативных [10]. Грубо можно разделить методы оптимизации на однокритериальные и многокритериальные методы оптимизации.

Однокритериальная оптимизация – процесс оптимизации, позволяющий через один параметр выразить остальные и исключить их из целевой функции.

Многокритериальная оптимизация или программирование (англ. Multi-objective optimization) - это процесс одновременной оптимизации двух или более конфликтующих целевых функций в заданной области определения [4]. Для решения задачи управления опорной сети связи на базе БЛА целесообразно использовать метод многокритериальной оптимизации.

Допустим, что в данной задаче необходимо найти оптимальное решение, при котором пропускная способность C , отношение сигнал/шум (ОСШ) и вероятность ошибки $P_{ош}$, где C должно быть максимальным, а ОСШ и $P_{ош}$ минимальным. При этом скорость передачи данных предполагается константой, а остальные параметры сети переменными: количество БЛА, высоту барражирования БЛА, расстояние между ними, способ модуляции, частоту и так далее.

Такую задачу можно представить в следующем виде. Пусть X обозначает множество допустимых решений в некоторой задаче, $\vec{x} \in X$ – допустимое решение. Предположим, что каждое решение $\vec{x} \in X$ оценивается по m критериям ($m = 3$).

$H_i(\vec{x})$, $\vec{x} \in X$ – вещественная функция, значения которой являются оценки решения $\vec{x} \in X$ по критерию i , $i = \overline{1, m}$.

Тогда вектор $H(\vec{x}) = (H_1(\vec{x}), \dots, H_i(\vec{x}), \dots, H_n(\vec{x}))$, $x \in X$ – набор оценок решения $\vec{x} \in X$ по всем критериям. Предположим, что степень предпочтительности решения $\vec{x} \in X$ возрастает с возрастанием компонент вектора H , т. е. чем больше значение $H_i(\vec{x})$, тем лучше решение x по критерию i , $i = \overline{1, m}$.

Задача многокритериальной оптимизации рассматривается как задача одновременной оптимизации всех частных критериев, т.е. требуется найти максимум $x \in X$:

$$H(\vec{x}) \rightarrow \max, i = \overline{1, m}, \quad (1)$$

при этом критерии $H(x)$ называют частными критериями.

Существует большое множество методов решения задач многокритериальной оптимизации. Рассмотрим методы решения, классифицируемые основываясь на содержании и форме использования дополнительной информации о предпочтениях лица, принимающего решения (ЛПР). В соответствии с этой классификацией выделяются следующие классы методов решения задачи многокритериальной оптимизации:

- методы, не учитывающие предпочтения ЛПР;
- апостериорные методы;
- априорные методы;
- интерактивные методы.

Рассмотрим каждый метод отдельно и выберем наилучший для решения поставленной задачи.

Методы, не учитывающие предпочтения ЛПР. Задача состоит в поиске некоторого компромиссного решения, обычно в «центральной части» фронта Парето. В качестве примеров приведем метод глобального критерия и метод нейтрального компромиссного решения [9].

Апостериорные методы предполагают внесение ЛПР в многокритериальную систему информации о своих предпочтениях после того, как получено некоторое множество недоминирующих решений [10]. Все методы данного класса строят аппроксимацию множества Парето.

Недостатками являются:

- необходимость в больших вычислительных мощностях;
- увеличение трудоемкости для ЛПР с повышением точности аппроксимации;

- проблема визуализации фронта Парето для задач с числом критериев большим двух.

Априорные методы предполагают внесение ЛПР в многокритериальную систему информации о своих предпочтениях до начала решение задачи, причём информацию вводят таким образом, чтобы свести многокритериальную задачу к однокритериальной [2].

Интерактивные методы состоят из совокупности итераций, каждая из которых включает в себя этап анализа, выполняемый ЛПР, и этап расчета, выполняемый многокритериальной оптимизацией [5]. По характеру информации, получаемой от ЛПР на этапе анализа, можно выделить классы интерактивных методов, в которых ЛПР:

- непосредственно назначает весовые коэффициенты (коэффициенты важности α_i) частных критериев оптимальности;
- накладывает ограничения на значения частных критериев оптимальности;
- выполняет оценку предлагаемых многокритериальной системой оптимальности альтернатив.

Существуют различные способы выбора коэффициента α_i . Один из которых выбирается в зависимости от относительной важности критериев, пример представлен в табл. 1.

Таблица 1

Шкала относительной важности

Интенсивность относительной важности	Определение
1	Равная важность сравниваемых требований
3	Умеренное (слабое) превосходство одного над другим
5	Сильное (существенное) превосходство
7	Очевидное превосходство
9	Абсолютное (подавляющее) превосходство
2,4,6,8	Промежуточные решения между двумя соседними оценками

Недостаток этого способа обусловлен трудностью с правильным подбором весовых коэффициентов.

Для пользователя наиболее удобны методы, основанные на непосредственном использовании множества Парето (а, тем самым, и фронта Парето). В этом случае ЛПР выбирает компромиссное решение на фронте Парето неформальными методами, исходя только из своих предпочтений.

Решение $\vec{x}^* \in X$ называется парето-оптимальным (оптимальным по Парето, эффективным), если не существует другого решения $\vec{x} \in X$, для которого

$$H_i(\vec{x}) \geq H_i(\vec{x}^*), i = \overline{1, m},$$

$$\exists i_0 : H_{i_0}(\vec{x}) > H_{i_0}(\vec{x}^*) \quad (2)$$

Иными словами, если $\vec{x}^* \in X$ – Парето-оптимальное решение, то не существует другого решения $\vec{x} \in X$, которое превосходит \vec{x}^* хотя бы по одному критерию, а по остальным критериям не хуже.

Стоит отметить, что ЛПР может иметь свой собственный опыт, собственное отношение к потерям в рамках частных критериев, различные ЛПР могут выбирать в качестве альтернатив совершенно разные решения, поэтому в каждом процессе принятия решений присутствует человеческий фактор.

Любой алгоритм оптимизации, в котором хоть часть решения принадлежит ЛПР, имеет риск быть недостаточно точным и обоснованным. Таким образом, для решения поставленной задачи наиболее целесообразно выбрать метод интерактивной много-

критериальной оптимизации. Он позволяет оператором корректировать процесс оптимизации практически в любой момент времени, что является важным критерием в условиях недетерминированной среды.

Заключение

В работе рассмотрены методы многокритериальной оптимизации процесса управления БЛА с целью автоматизации их движения для поддержания требуемого качества связи между абонентами.

В дальнейшем планируется написать программный алгоритм управления на основе интерактивных методов многокритериальной оптимизации, используя современные языки программирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аджемов А.А., Чиров Д.С.* Обоснование требований к системе связи беспилотных летательных аппаратов средней и большой дальности // «Т – Сомм – Телекоммуникации и Транспорт», Том 9, № 12, 2015 г. 12-16 с.
2. *Бродецкий Г.Л.* Методы оптимизации многокритериальных решений в логистике. – М.: 2009. – 230 с.
3. *Мухлисуллина Д.Т.* Адаптивный метод многокритериальной задачи оптимизации на основе аппроксимации функции предпочтения лица, принимающего решения // Электронный журнал Молодежный научно-технический вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, 09, сентябрь 2012, С. 4.
4. *Подиновский В.В. Ногин В.Д.* Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. – М.: 1982.
5. *Исаев С.А.* Решение многокритериальных задач. Интернет-ресурс <http://bspu.ab.ru/Docs/~saisa/ga/idea1.html>.
6. *Чертова О.Г., Чиров Д.С.* Возможности построения опорной Ad-hoc сети связи на базе малоразмерных БЛА для обеспечения функционирования разнесенной мультиагентной робототехнической системы / Труды первой военно-научной конференции. Роботизация Вооруженных Сил Российской Федерации. – М.: 2016, 453-457 с.
7. *Чертова О.Г., Чиров Д.С.* Разработка программного модуля для обеспечения эффективной работы сети связи на базе малоразмерный беспилотных летательных аппаратов / XXXV Всероссийская научно-техническая конференция. Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных системы, часть 7. Серпухов, 2016. 202 – 207 с.
8. *Шварц Д.Т.* Интерактивные методы решения задачи многокритериальной оптимизации. Обзор // Наука и Образование. Электронный научно-технический журнал. – М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, № 04, апрель 2013,
9. *Штойер Р.* Многокритериальная оптимизация. Теория, вычисления и приложения: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1992. – 502 с.: ил.
10. www.wikipedia.org [электронный ресурс].