

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Килячков К.П.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166, Харьков, пр. Ленина, каф. Телекоммуникационных систем, тел. (057)702-13-20
E-mail: kilja@meta.ua

The work discussed the relevance of the use of accessible assessments in telecommunications networks. To receive them calculated the most well-known estimates, and given the comparative data.

Общая характеристика

Современные телекоммуникационные системы характеризуются огромным количеством входящих в них компонент и сложностью математического и программного обеспечения. Повышать эффективность таких систем, можно не только изменяя качество компонент, но и повышая надежность самих систем путем подбора наилучшей структуры. Одной из главных задач исследований в области надежности телекоммуникационных систем - дать процедуру инженерного синтеза этих систем, чтобы повысить возможность проектировать системы, для которых надежность есть наиболее важный аспект. Для разработки сети под определенные задачи актуально получить оценочные характеристики сети. При проектировании телекоммуникационных сетей, желательно разработать методы проектирования, которые имея на входе различные характеристики компонентов сети (в том числе и характеристики надежности) и критерии синтеза сети, на выходе дают оптимальную топологию сети. Теория надежности основана на некоторых фактах комбинаторики и теории вероятности. При подробном рассмотрении обнаруживается тесная связь с такими разделами математики, как дискретная оптимизация, теория перколяции, теория случайных графов, теория гиперграфов (семейств конечных множеств), теория матроидов, и т.д. При анализе надежности систем обычно применяются дискретные вероятностные модели надежности из-за неспособности как моделирования механизма ошибок компонент системы (параметры повреждения компонент оцениваются на опытных данных), так и трудности вычисления надежности систем.

Существует два общих основных аспекта теории оценок надежности систем:

1. *Аспект эффективности* - вычисления оценок должно требовать меньших усилий, чем вычисление самой надежности;
2. *Аспект точности* - оценки должны обеспечивать "достаточно хорошее" приближение.

Эти аспекты находятся в известном противопоставлении, поэтому желания быстро вычисления и высокой точности привели к большому количеству методов оценки характеристик надежности различных монотонных систем.

Необходимость использования оценок

Определение надежности сложных систем, т. е. для которых не существует ограниченного набора математических моделей.

В большинстве моделей компоненты системы могут принимать одно из двух состояний: работоспособное состояние или состояние отказа. Любое из этих состояний данной компоненты есть случайное событие, которое не зависит от состояния других компонент. Проблема анализа надежности системы состоит в следующем: при заданных вероятностях того, что каждая компонента системы работает, вычислить меру надежности системы.

Простейшая модель с двумя состояниями достаточна для рассмотрения мер связности телекоммуникационной сети. В этой модели вероятность $p(e)$ исправного состояния компоненты e имеет одну из нескольких возможных интерпретаций. В этом случае состояние компоненты чередуется между работоспособным и отказавшим (и подвергаю-

щимся ремонту). Определение надежности компоненты не влечет за собой рассмотрения ремонта.

Ключевая роль достижимых(предельно возможных) оценок в классе всевозможных оценок характеристик надежности сети состоит в том, что на основе их обобщения возможно построение новых, вообще говоря, уже не достижимых оценок (т.е. достижимые оценки являются порождающими, материнскими оценками).

В контексте достижимых оценок становится понятным и подчиненная роль

- Преобразований, не меняющих значение надежности;
- Преобразований, увеличивающих (уменьшающих) надежность;
- Эффективной вычислимости надежности для некоторых классов рассматриваемых дискретных структур (упаковок, последовательно-параллельных структур, прямых сумм матроидов, полных графов, полных двудольных графов, ациклических орграфов и т.д.).

Конструкция структур с экстремальным значением надежности, обычно, связана с преобразованиями, так как последовательность таких преобразований может приводить к экстремальной конструкции. Кроме того, возможна “своевременная” остановка процесса преобразований, когда рассматриваемая структура преобразовалась в структуру, надежность которой может быть вычислена эффективно.

Случайная монотонная система - одна из простейших моделей надежности составных технических систем, в частности, телекоммуникационных сетей. В этой модели предполагается, что работоспособность системы определяется исключительно знанием того, какие компоненты работают (отказали). Надежность системы есть вероятность того, что функционируют все элементы какого-либо набора компонент из указанного семейства таких наборов (математически такое семейство есть семейство попарно не вложимых множеств (клаттер)). Клаттером является совершенная бинальная иерархическая сеть более низкого ранга. Существует целый ряд оценок. Особое место среди них занимают оценки надежности монотонной системы общего вида (с произвольным клаттером и произвольной надежностью компонент).

В свою очередь среди оценок общей монотонной системы ключевое место занимают оценки, которые представляют собой аналитические функции от каких-либо параметров монотонной системы и точные на некоторых классах монотонных систем. Иными словами это достижимые - наилучшие возможные (в терминах используемых параметров) оценки.

Основные виды оценок

Вычисление всех основных характеристик надежности телекоммуникационных сетей - трудная алгоритмическая проблема, что свидетельствует о целесообразности применения их оценок вместо точного вычисления. Существует большое количество различных оценок, изучим их эффективность и пригодность для использования в телекоммуникационной сети. Основные перечислим:

Оценки включения-исключения или оценки Бонферрони получаются из формулы включения-исключения. Отсечением суммы после $J < k$ членов мы получаем верхнюю оценку, когда J - нечетно, и нижнюю оценку, когда J - четно. Весьма положительна простота оценок, которые могут быть рассчитаны в кратчайшее время при сравнительно небольшом количестве членов. Отметим, что оценки Бонферрони требуют знания всех членов клаттера, это вносит значительные коррективы в сферу их применения. Примем что S сумма членов системы, тогда, как A член системы, а p его достижимая надежность.

$$\dots, S_1 - S_2 + S_3 - S_4, S_1 - S_2 \leq R(\mu; p) \leq S_1, S_1 - S_2 + S_3, \dots$$

$$S_t = \sum_{i_1 < \dots < i_t} P(A_{i_1} \dots A_{i_t}; p).$$

Упаковочные оценки, основаны на монотонности меры P , статистической независимости монотонных событий и соотношении двойственности. Обе оценки, достижимы. С помощью подстановки в различные части равенства, мы можем вычислить нижнюю и верхнюю границы надежности монотонной системы в терминах упаковки членов двойственного клаттера. Достижимость нижней оценки соответствует случаю, когда клаттер μ - упаковка. Достижимость верхней оценки соответствует случаю, когда двойственный клаттер упаковка.

$$R(\mu; p) = 1 - \prod_{j=1}^t (1 - p^{A_j}),$$

Недостаточная точность оценок вызывает значительные нарекания. Более подробно остановимся на представителях класса развязочных оценок: развязочные оценки основаны на преобразовании развязывания и том факте, что оно не уменьшает надежность монотонной системы.

Оценки Эзари - Прошана естественно назвать *развязочно-упаковочными* оценками. Это наихудшие развязочные оценки по показателю точности. Поскольку оценки Эзари - Прошана достижимые, то для построения более точных развязочных оценок привлекаются дополнительные понятия. Внимательное рассмотрение оценок Оксли - Уэлша привело к новым, разностно-развязочным оценкам, но они применимы только для изотропного случая и представляют больше математический, нежели практический интерес. Единственной альтернативой разностно-развязочным оценкам до настоящего времени были упаковочные оценки.

Разностно-развязочные оценки являются передовым методом для эффективного оценивания надежности, как монотонных систем общего вида, так и систем с сетевой структурой для $\{s, t\}$ -надежности и K -терминальной надежности в случае малого $|K|$. Известно, что для всех известных оценок сравнивая "хорошую" (по точности) и "плохую" оценки, всегда можно построить пример, когда "хорошая" оценка будет хуже "плохой". Поэтому сравнивая работающие кластеры сетей, не оптимизированные для использования сколь угодно эффективных оценок, можно определить слабые места на основании данных работающей топологии. Высокая точность оценок относительно уже известных, перевешивает значительную сложность при исследовании сложных систем с большим количеством членов.

Рассмотрим выбранные оценки на модели сети которая является случайной монотонной системой и представляет собой универсальную модель для расчета параметров надежности системы.

Литература

1. Кривулец В.Г. Об оценке оценок Эзари - Прошана в задачах анализа структурной надёжности сетей связи. *LV научная сессия, посвященная дню радио "Радиотехника, электроника и связь на рубеже тысячелетия". Сб. трудов*. Москва: РНТОРЭС им. А.С. Попова, 2000, стр. 272-275.
2. Кривулец В.Г. Разностно-развязочные оценки надежности монотонной структуры. *XLIV научная конференция МФТИ, посвященная 50-летию создания МФТИ, Сб. трудов, часть I*. Москва-Долгопрудный, 2001, стр. 17.
3. Полесский В.П. Оценки вероятности связности случайного графа. *Проблемы Передачи Информации*, 1990, том 26.
4. Филин Б.П. Методы анализа структурной надёжности сетей связи. М.: Радио и связь, 1988.