

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ КОЛЛИЗИЙ В ПОЛНОСТЬЮ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Полностью оптические сети AON (All-optical Networks) представляют класс сетей, в функционировании которых главную роль при коммутации, мультиплексировании, ретрансляции выполняют не электронные (оптоэлектронные), а чисто оптические устройства [1]. Появление плотного оптического мультиплексирования позволило увеличить пропускную способность одного оптического волокна до 10 Тбит/с и более. Основная цель использования AON – предоставление большой информационной емкости. В таких сетях информация передается по оптической среде (волоконному световоду) на протяжении всего пути за исключением конечных пунктов. Сеть состоит из оптических коммутаторов, образующих узлы сети, соединенных волоконными световодами (звеньями сети), в сети поддерживается некоторое количество длин волн. Для перегруппировки трафика транспортной сети в оптической области используется маршрутизация по длине волны оптической несущей. Конечные пользователи связаны полностью оптическими каналами, сообщения передаются на одной и той же длине волны. Такой путь следования сообщений называется световым путем, и в этом случае нет необходимости в обработке и буферизации и в оптоэлектронных преобразованиях в узлах сети. Каждый световой путь использует только одну длину волны на всех оптических волокнах на протяжении всего маршрута, два и более световых пути не могут использовать одну и ту же длину волны на любом звене (волокне, соединяющем узлы). Световой путь обеспечивает коммутируемое соединение (соединительную линию) между двумя узлами, которые в физической топологии реальной сети расположены на значительных расстояниях, он содержит многочисленные линии связи. Таким образом, при маршрутизации информационных потоков в AON возникает задача установления световых путей и назначения длин волн с учетом ограничений, присущих этим сетям.

В идеальном случае между каждой парой узлов должен быть установлен световой путь. Однако при большом числе оптических каналов уменьшается полоса каждого канала, что приводит к дисперсионным искажениям. В линиях с оптическими усилителями при большом числе оптических каналов возникают нелинейные эффекты. Существенным ограничением является возможность перестройки длины волны излучателей. Уменьшение количества оптических несущих в разветвленной сети может привести к появлению в каких-либо звеньях несущих с равными длинами волн. При поступлении пакетов от разных ветвей AON на одинаковых оптических несущих возникает коллизия, что существенно влияет на такие важные характеристики сети, как пропускная способность, временные задержки и т.п. Поэтому исследование процессов перегруппировки трафика в оптической области и вероятности возникающих при этом коллизий является актуальной задачей при проектировании AON. Эффективность маршрутизации определяется числом требуемых длин волн и вероятностью блокировки соединения (коллизией), которая определяется отношением числа заблокированных соединений к общему числу соединений.

Возможно несколько подходов к моделированию маршрутизации по длине волны оптической несущей в AON. В [2] предложен подход, в основу которого положен алгоритм декомпозиции, позволяющий разбивать многозвоньевого участок сети на несколько коротких фрагментов и анализировать их по отдельности. Основным недостатком предложенного подхода является то, что при числе оптических несущих больше четырех анализ модели значительно усложняется или даже становится невозможным.

В настоящей работе с целью исследования вероятности возникновения коллизий при маршрутизации по длине волны оптической несущей была разработана модель AON с использованием математического аппарата раскрашенных сетей Петри [3]. Математический аппарат сетей Петри в рамках единого формализма не только дает возможность моделиро-

вать сложные распределенные иерархические системы, но и предоставляет развитые методы анализа полученных моделей. В настоящее время сети Петри широко применяются во всем мире для анализа сетей передачи данных, верификации и синтеза сетевых протоколов, анализа качества обслуживания в пакетных сетях передачи данных и т.п. К преимуществам данного математического аппарата можно отнести

- СП-модель отражает не только структурные, но и функциональные свойства моделируемой системы, динамику ее работы, что не свойственно другим популярным моделям,
- возможность моделирования асинхронности и стохастического характера параллельных процессов, конфликтных взаимодействий между ними, тупиковых состояний (во многих других подходах действия могут происходить только последовательно, в произвольном порядке),
- сходство модели системы в виде СП с неформальным описанием моделируемого объекта и интуитивным представлением о нем, т.к. понятия состояния, события и потока являются базовыми для многих видов систем,
- небольшое количество базисных элементов, которые, тем не менее, являются мощными средствами завершеного описания системы – это упрощает разработку эффективных методов анализа сетей Петри,
- наличие графического представления модели, что подключает аппарат зрительного ее восприятия и делает модель более наглядной,
- наличие четкой семантики, которая однозначно определяет поведение любой СП, что лежит в основе методов формального анализа СП и позволяет применение программ моделирования,
- наличие ряда методов формального анализа, с помощью которых могут быть доказаны свойства СП,
- для СП, которые являются двудольным ориентированным динамическим помеченным мультиграфом, справедливы все положения теории графов,
- наличие множества расширений базовых СП, которые позволяют моделирование систем с учетом таких факторов, как приоритетность процессов, временные параметры событий, совместное отображение потоков данных и структуры управления, иерархическое построение моделируемых систем,
- наличие множества программных пакетов, позволяющих создание, редактирование, имитационное моделирование и формальный анализ СП, это значительно упрощает и ускоряет процесс моделирования, а также исключает мелкие и тривиальные ошибки при расчетах, что чрезвычайно важно для практического применения данного аппарата,
- общий, универсальный характер сетей Петри, вследствие чего они могут применяться для описания множества различных систем

Разработанная модель AON представляет собой иерархическую временную раскрашенную сеть Петри (Colored Petri Net, CPN), состоящую из моделей терминальных подсетей, в которых генерируется входящий трафик (рис 1), и модели транспортного участка сети, которая представляет собой AON с определенным количеством оптических несущих (рис 2)

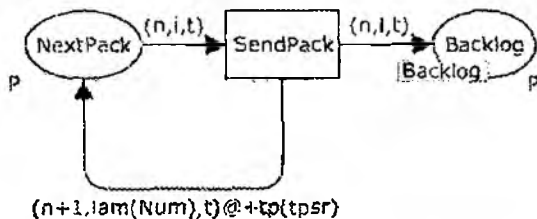


Рис 1

Модель терминальной подсети состоит из позиций *NextPack* и *Backlog*, а также перехода *SendPack*, которые обеспечивают генерирование входного трафика. Интервал времени между двумя пакетами задается функцией $tp(tpsr)$, которая представляет собой функцию генерации случайных чисел. В настоящей работе интервалы времени между пакетами были приняты экспоненциально распределенными со средним значением $tpsr$, т.е. рассматривался пуассон-

новский входной поток. Путем изменения значения $ipstr$ можно увеличивать или уменьшать интенсивность поступления пакетов от каждой терминальной подсети. Сгенерированный пакет представляет собой совокупность параметров (i, l, n) , где l – размер пакета, n – порядковый номер пакета (нумерация сквозная для источника), i – номер оптической несущей, на которой будет осуществляться передача пакета. Выбор несущей осуществляется случайным образом из числа существующих с помощью функции $lam(Num)$, где параметр Num представляет собой количество оптических несущих. Сгенерированные пакеты поступают в очередь (позиция *Backlog*). Количество терминальных подсетей можно увеличивать путем клонирования описанных позиций и перехода и их объединения в единую модель путем совмещения позиций *Backlog*. Таким образом, сгенерированный поток поступает в общую очередь пакетов от различных терминальных подсетей. Позиция *Backlog* является общей для моделей терминальных подсетей и модели транспортной сети и объединяет данные модели в единую иерархическую модель сети AON.

В модели транспортной сети AON осуществляется передача пакетов на одной из свободных оптических несущих. Информацию о свободных и занятых несущих в любой момент можно получить из разметки позиций *FreeCarrier* и *BusyCarrier* соответственно. При начальной разметке CPN модели сети AON в позиции *FreeCarrier* размещаются фишки, представляющие собой номера всех имеющихся в AON оптических несущих.

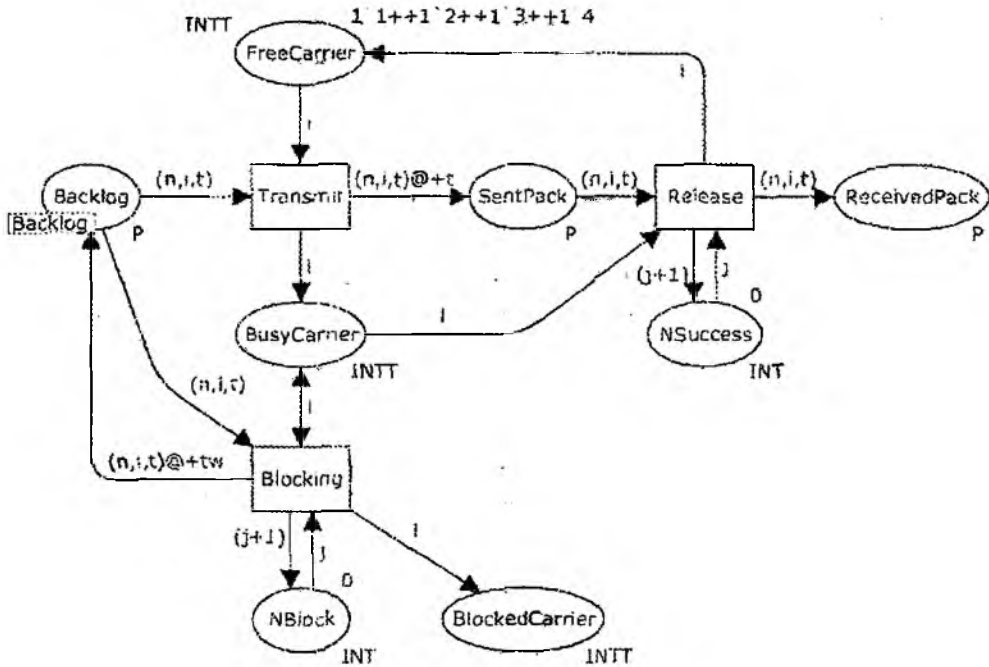


Рис. 2

Передача пакета в транспортной сети моделируется срабатыванием перехода *Transmit*. При этом передаваемый пакет изымается из позиции *Backlog* и помещается в позицию *SentPack*, а занимаемая им несущая переносится из позиции *FreeCarrier* в позицию *BusyCarrier*. Время занятия несущей передачей пакета моделируется временной задержкой перехода *Transmit*. Переход *Release* моделирует освобождение оптической несущей по окончании передачи пакета. При этом фишка с номером освободившейся несущей перемещается из позиции *BusyCarrier* обратно в позицию *FreeCarrier*, а успешно переданный пакет помещается в позицию *ReceivedPack*. Срабатывание перехода *Release* также увеличивает на единицу текущее значение счетчика успешно переданных пакетов, хранящегося в позиции *NSuccess*, которая используется для сбора статистики.

Если в момент поступления пакета назначенная ему оптическая несущая уже занята, переход *Transmit* оказывается запрещенным и сработать не может. В этом случае в сети происходит так называемая коллизия. Данная ситуация моделируется переходом *Blocking*, кото-

рый срабатывает, если номер несущей, назначенной пакету, находящемуся в очереди на передачу, совпадает с одним из номеров занятых несущих, хранящихся в позиции *BusyCarrier*. При срабатывании перехода *Blocking* пакет возвращается обратно в очередь на передачу, но попытка его повторной передачи откладывается на интервал времени μ . Количество произошедших в сети коллизий блокировок пакетов подсчитывается счетчиком, значение которого хранится в позиции *NBlock* и увеличивается на единицу каждый раз при срабатывании перехода *Blocking*. Статистические данные о том, на каких именно оптических несущих произошли коллизии, хранятся в позиции *BlockedCarrier*.

В ходе проведения имитационного моделирования была исследована вероятность возникновения коллизий в однозвеневой AON при реализации в ней маршрутизации по длине волны оптической несущей при различном количестве оптических несущих и различной интенсивности входного трафика. На рис. 3 представлены графики зависимости вероятности P возникновения коллизий в исследуемой AON от числа оптических несущих N_c при различном количестве N терминальных подсетей.

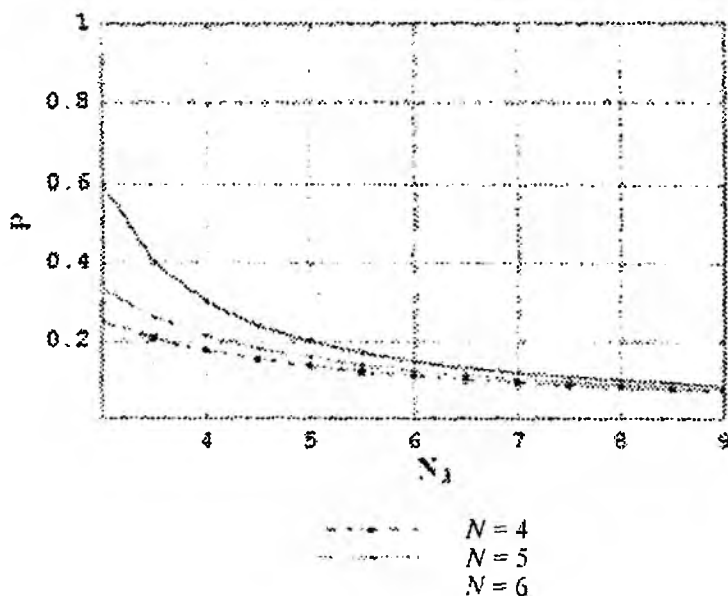


Рис 3

Из полученных графиков видно, что при количестве оптических несущих меньше четырех вероятности возникновения коллизий в сети резко возрастает, причем чем больше количество терминальных подсетей в AON, тем большее количество несущих требуется для уменьшения вероятности коллизий в сети.

На рис. 4 представлены графики зависимости вероятности P возникновения коллизий в AON от длины T передаваемых в сети пакетов при различном количестве терминальных подсетей. Из данных графиков можно сделать вывод о том, что если длина передаваемых пакетов превышает 20–25 мкс, вероятность возникновения коллизий в сети резко возрастает, что связано с увеличением нагрузки на сеть. Чем большее количество терминальных подсетей в AON, тем резче возрастает вероятность коллизии в сети с уменьшением количества оптических несущих или увеличением длины передаваемых пакетов.

Таким образом, в данной работе была предложена модель AON, позволяющая провести анализ вероятности возникновения коллизий при маршрутизации по длине волны оптической несущей. Данная модель была разработана с использованием математического аппарата раскрашенных сетей Петри, который является эффективным средством моделирования, анализа и синтеза сложных телекоммуникационных систем. В отличие от существующих подходов к моделированию процессов маршрутизации в AON представленная модель позволяет исследовать зависимость вероятности возникновения коллизий в сети от интенсивности входного трафика с учетом длины пакета, количества терминальных сетей и интенсивности

поступления пакетов, в то время как модель с применением алгоритма декомпозиции учитывает только интенсивность поступления пакетов. При этом возможен анализ AON не только при пуассоновском, но и при любом другом типе входного потока, а количество оптических несущих моделируемой сети не ограничено.

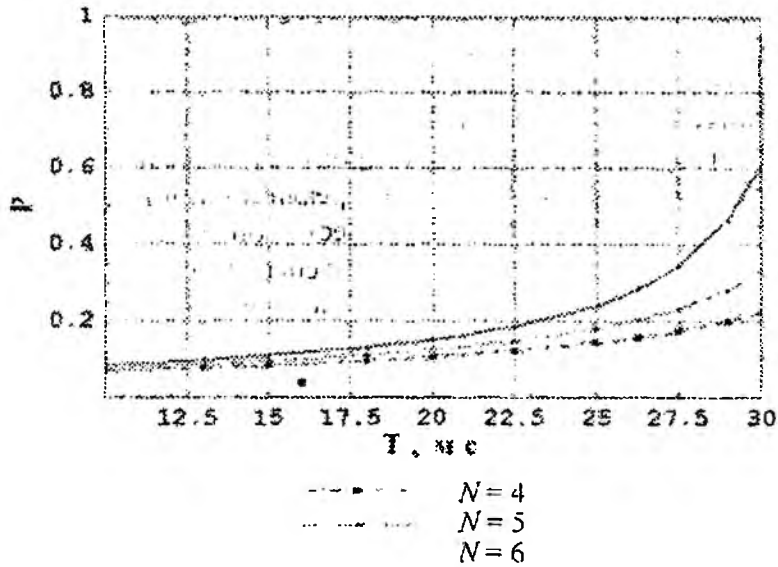


Рис. 4

По результатам проведенного имитационного моделирования были получены графики зависимости вероятности возникновения коллизии в сети от количества оптических несущих AON и длины передаваемых в сети пакетов при различном количестве терминальных подсетей. Полученные результаты позволяют обосновать выбор количества оптических несущих и пропускной способности каналов при проектировании AON.

Дальнейшим применением предложенной модели может стать исследование многосвязных AON, в которых входной поток не является пуассоновским, а при возникновении коллизии осуществляется смена светового пути.

Список литературы: 1. Убайдуллаев Р. Р. Волоконно-оптические сети. М.: Эко-Трендз, 2001. 267 с. 2. Башарин Г. П., Савочкин К. А. Анализ пропускной способности линейного фрагмента оптической сети с маршрутизацией по длине волны // Электросвязь. 2005. №5. С. 48-52. 3. Jensen K. Colored Petri Nets: basic concepts, analysis methods and practical use. Berlin: Springer, 1996. 234 p.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 02.11.2008