

УДК 004.324

К.В. КОЛЕСНИКОВ, К.С. РУДАКОВ

*Черкаський державний технологічний університет, Україна***МЕТОДЫ И СРЕДСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ И ТЕСТИРОВАНИЯ
ЛОКАЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ И ЕЕ КОМПОНЕНТОВ**

Работа посвящена методам и средствам моделирования и тестирования локальной вычислительной сети и ее компонентов. Рассмотрены модели и методы технической диагностики сетей, определены важнейшие направления исследования в данной области.

корпоративная сеть, локальная вычислительная сеть, диагностика, логические и математические модели, прогнозирование поведения, оценка эффективности, проектирование, методы тестирования, анализ сети, неисправности, оптимизация

Введение

Локальную вычислительную сеть для пользователя можно рассматривать как компьютер или вычислительное устройство с виртуальным представлением на экране монитора физически рассредоточенной информации, представленной на других носителях, и потому методы и средства технической диагностики цифровых объектов могут быть адаптированы к сетевым структурам. Поэтому проблема технической диагностики вычислительных сетей может быть сведена к модификации методов и алгоритмов моделирования, тестирования, поиска дефектов, ориентированных на организацию и проведение диагностического эксперимента для цифровой системы.

Как технический объект, компьютерная сеть нуждается в сервисном обслуживании. Рассредоточенность компонентов сети в пространстве создает определенные трудности диагностического обслуживания, заключающегося в тестировании работоспособности и поиске дефектов. Для решения упомянутых проблем актуальным представляется проектирование специализированных программно-аппаратных средств сервисного диагностического обслуживания корпоративных сетей, ориентированных на минимизацию временных и материальных затрат восстановления работоспособности. Задача синтеза

диагностических средств может быть решена путем построения структурно-логических моделей корпоративной сети и разработки программ логико-временного анализа и тестирования.

Актуальность постановки таких задач обусловлена высокой стоимостью лицензионных пакетов моделирования и диагностирования, соизмеримых со стоимостью технического обеспечения локальной вычислительной сети, предупреждением возникновения нештатных ситуаций, приводящих к нарушению работоспособности сети путем проведения регламентных работ; оперативным устранением возникающих в сети отказов, дефектов, коллизий, влияющих на выполнение функций приема, передачи и обработки информации.

Тестированием и диагностированием цифровых систем, которые можно применить к решению проблем сервисного обслуживания компьютерных сетей или их компонентов, занимались многие ученые: М. Abramovici, С. Shannon, Andrew S. Tanenbaum, Alvaro Retana, William Stallings, M. Tanner, Г. Хелд, К. Ги, М. Като, Э.А. Якубайтис, Д. Челлис, Д.Дж. Нессер, В.М. Вишнеvский, А.М. Гуржий, В.И. Хаханов, В.Г. Олифер, М. Кульгин.

Постановка задачи. *Объект исследования* – корпоративная компьютерная сеть и ее компоненты, представленные активным и пассивным оборудова-

нием в виде серверов, рабочих станций и средств их коммуникации.

Предмет исследования – модели сегментов и компонентов корпоративной компьютерной сети, представленные в виде уровня описания аппаратуры для решения задач логико-временного анализа.

Цель исследования – поиск и синтез моделей и методов, позволяющих уменьшить временные затраты восстановления работоспособности корпоративной компьютерной сети и ее компонентов на стадиях проектирования и эксплуатации, ориентированных на тестирование исправного поведения и диагностирование неисправностей, приводящих к отказам или возникновению коллизий.

Для достижения поставленной цели целесообразно иметь возможность прогнозирования поведения сети с учетом выбранных архитектурных решений на ранних стадиях ее разработки, а также при внесении изменений в архитектуру сети во время эксплуатации, на основании данных, полученных при проведении тестирования и упреждающей диагностики.

Обзор публикаций. Корпоративная сеть представляет собой распределенный в пространстве объект диагностирования. Поэтому многообразие моделей основывается на графо-теоретическом представлении структуры взаимосвязанных компонентов. Адекватность модели, как степень ее соответствия реальному объекту, должна удовлетворять достаточности наличия исходной информации для решения поставленных задач сервисного обслуживания и диагностирования. Ниже приведен обзор опубликованных работ, затрагивающих области проектирования, эксплуатации, сервисного обслуживания, моделирования, диагностики локальных вычислительных сетей и ее компонентов.

Работы [1 – 29] относятся к фундаментальным, которые классифицируют и обобщают исследования советских и зарубежных ученых, выполненные с начала 70-х годов прошлого столетия и связанные с теорией и практикой развития вычислительных се-

тей. Период, ограниченный началом 90-х годов, определяется развитием теории проектирования и оптимизации сетей. Период, определяемый последним десятилетием, характеризуется многообразием сетевых технологий и их применением во всех сферах человеческой деятельности. Монографии представляют основные характеристики сетей, их топологию, принципы и способы передачи данных, программно-аппаратное обеспечение, примеры использования локальных сетей без глубокого анализа топологических, функциональных или технических решений. Представляемая в них информация носит или учебный, или справочный характер [6, 13, 17, 24, 26 – 28]. Однако существуют разделы, касающиеся: эффективности функционирования (пропускная способность, типы ошибок, обеспечение надежности, контроль функционирования, модификация сети), обеспечения надежности и безотказности (программного обеспечения, операционных систем, технических средств), моделирования ЛВС (функциональные модели, критерии качества, модели структур уровней функциональных объектов, имитационные модели ЛВС и их программная реализация).

В монографии [19] предложен общий критерий качества (стремящийся к минимуму):

$$Q_c = C_1 \cdot T_n \cdot \frac{N_0}{C_2} \cdot L \cdot N_n, \quad (1)$$

где C_1 – стоимость разработки и эксплуатации сети; C_2 – стоимость разработки и эксплуатации абонентских станций; T_n – время передачи кадров; N_0 – объем памяти для размещения принимаемой и передаваемой информации; L – общая длина кабельных линий сети; N_n – число активных станций подключенных к сети. Показано, что вопросы моделирования больших сетей решаются в рамках общей теории систем, а также теорий оптимизации, массового обслуживания, графов, надежности, с использованием методов исследования операций и статистического моделирования. Однако более эффективными считаются специализированные симуляторы за счет упрощения модели и введения конкретного физиче-

ского содержания сети и ее компонентов. Недостаток данной монографии [19] заключается в ее ориентации на вышедшие из употребления программно-технические средства локальных вычислительных сетей.

В монографиях [9 – 11, 20] рассматриваются методы анализа и синтеза компьютерных сетей. Приводятся точные и приближенные математические методы исследования систем и сетей очередей, а также эффективные вычислительные алгоритмы расчета таких сетей. С позиций теории очередей описываются различные аспекты проектирования компьютерных сетей. Рассматриваются стохастические сетевые модели анализа задержек, управления потоками и расчета узлов коммутации пакетов. Систематизируются и исследуются алгоритмы выбора оптимальных маршрутов в сетях пакетной коммутации и динамической маршрутизации в АТМ-сетях. Дается описание комбинаторного алгоритма синтеза топологической структуры корпоративных компьютерных сетей. Приводятся новые результаты в области проектирования и оценки производительности беспроводных компьютерных сетей.

В группе работ [13, 26 – 28] основной акцент делается на эвристические решения, связанные с повышением эксплуатационных характеристик сети и ее компонентов, а также на методы оценивания упомянутых параметров. Например, рассматривается оценка вероятности полной связности локальных сетей с неполной доступностью отдельных магистралей для всех узлов, возникающей в случае, когда кратность резервированных магистралей превышает кратность резервирования средств подключения узлов. При этом практически отсутствуют оценки эффективности проектирования и функционирования сети, которые можно получить в результате выполнения моделирующих и диагностических экспериментов.

В [24] представлены основы проектирования, наладки, эксплуатации и диагностики компьютерных сетей. Большое внимание уделяется анализу сервер-

ных, гибридных и одноранговых сетей, применению сетевых топологий. Рассмотрены основные электромагнитные характеристики кабельных систем (затухание, импеданс, перекрестные наводки между витыми парами, активное сопротивление, емкость, электрический шум), которые оказывают существенное влияние на корректную работу сети на первом и втором уровнях модели OSI. Приведены технические средства, используемые для поиска дефектов в сети: терминаторы, кабельные тестеры, измерители отраженного сигнала, цифровые вольтметры, анализаторы протоколов. Следует отметить, что в работе отсутствует какое-либо планирование диагностического эксперимента, связанного с построением модели сети, формализацией моделей неисправностей, построением алгоритмов поиска дефектов на основе полученных результатов тестирования. Формализм диагностирования сводится к вербальным советам, которые не представляют интереса для опытного администратора, а также не могут быть использованы менее квалифицированным специалистом.

В [19] представлена информация о различных методах оптимизации и устранения неисправностей в сети, а также приведены примеры проектов оптимизации сети. Приведены варианты блок-схем поиска неисправностей в различных сетевых устройствах (сетевая плата, концентраторы, мосты, узлы-станции, маршрутизаторы, повторители, модемы, шлюзы, файл-серверы) и по отдельным неисправностям в сетях, что существенно упрощает процедуру поиска и устранения неисправности.

В монографии [29] представлены основы эксплуатации сетей Internet. Достаточно полно описаны принципы сетевого взаимодействия, основные протоколы, прикладное обеспечение сетей. Представлена информация по оценке пропускной способности, обнаружению коллизий и причин, их вызывающих. Большое внимание уделено прикладному аспекту использования программных пакетов, позволяющих повысить эффективность глобальных сетей для ко-

нечного пользователя. Широко представлена часть, касающаяся информационной безопасности. Однако здесь также отсутствует какая-либо информация о теоретических аспектах оптимального обслуживания клиентов, прогнозирования поведения локальной сети или ее моделирования.

В [2] рассматривается беспроводная сеть передачи данных. Предлагается эффективный приближенный метод оценки пропускной способности этой сети, достаточно полно учитывающий особенности протокола и применимый при любых параметрах нагрузки.

В [26] описана структура комплекса программно-технических средств, для исследования и оптимизации режимов управления информационными потоками в узлах сетей. Приведена информация о реализованных в комплексе результатах теоретического характера.

Представленная группа работ отражает многообразие эвристических подходов к инженерному решению задач, связанных с улучшением функционирования сети с позиции пользователя. В работах отсутствуют системные исследования проблем организации сервисного обслуживания и повышения эффективности работы локальных сетей.

В [8, 25] описаны методы тестирования коллизий в среде Ethernet. Другие ошибки в сети определяются как короткий кадр, длинный кадр, jabber, ошибка CRC, потеря информации, блики (ghosts), ошибки выравнивания, искажение информации в активном оборудовании, блокировка канала, “широковещательные штормы”, ошибки маршрутизации. Характерными для стадии проектирования локальной или корпоративной сети могут быть следующие просчеты или неточности, обусловленные неполнотой информации, связанной с будущей эволюцией: проектирование сегментов чрезмерной длины, проектирование прокладки кабеля без учета влияния на него внешних источников помех, большое число перегибов кабеля в сегменте, отсутствие в проекте или неверная топология заземления, выбор некачественно-

го активного оборудования, некорректная установка, конфигурирование и использование программного обеспечения. Представлены этапы сессии анализа сети (захват, просмотр и анализ данных, поиск ошибок, измерение усредненных характеристик и анализ отдельных элементов сети). В [8] приведена технология сетевого управления RMON, служащая для сбора и передачи информации о функционировании сети администратору. RMON позволяет обнаруживать ошибки в любом устройстве сети (маршрутизаторы, мосты, рабочие станции, серверы, концентраторы и др.) благодаря своим резидентным программным модулям, устанавливаемым в эти устройства

В [1, 3, 30] описаны модели, методы, алгоритмы и программы проектирования, наладки, диагностирования цифровых систем, сетей. Даны общие и специальные подходы к тестированию памяти, микропроцессоров и других устройств, входящих в состав вычислительной системы.

Модели и методы тестирования

С позиции разработки эффективных математических моделей методов и алгоритмов тестирования, моделирования, диагностики полезными могут быть работы, относящиеся к технической диагностике цифровых устройств и систем [5, 30]. Обоснованием такого подхода может служить тот факт, что локальная сеть логически является просто компьютером с расширенными функциональными возможностями. Поэтому то, что пригодно для анализа вычислительной системы, можно использовать для решения сетевых диагностических задач.

Логическое моделирование систем и сетей является средством для проектирования алгоритмов контроля и поиска дефектов. При этом модели должны иметь возможность перестраиваться в зависимости от требований к точности и адекватности. Возможность перестройки модели, обеспечивается ее иерархичностью, которая допускает возможность подключения в качестве примитива цифрового автома-

та, обладающего собственной структурой, что расширяет возможности программных средств анализа цифровых структур.

Альтернативные графы являются развитием математического аппарата двоичных решающих диаграмм. Изобразительность графов легко принимается исследователями в качестве удобной формы представления моделей устройств, систем и сетей, на которой технологично решаются задачи моделирования и генерации тестов для структурно и функционально сложных объектов. По сравнению с аналитическим видом модель альтернативных графов совмещает компактность скобочной формы и регулярность эквивалентных нормальных форм булевых функций.

Графические представления цифровых устройств связаны с граф-схемами алгоритмов [17], графами регистровых передач и сетями Петри. В первом случае функции компонентов автономного объекта сосредоточены по всей граф-схеме алгоритма, что затрудняет решение задачи анализа. Для графов регистровых передач недостатком является неоднородность модели и сложность задания неисправностей.

Аналитическое задание моделей представлено булевыми функциями [16] и скобочными формами [17, 30], аппаратом булевых производных, эквивалентными нормальными формами. При стремлении к минимальности записи выражений все упомянутые формы имеют общий недостаток – сложные и трудоемкие, как правило, итеративные процедуры их анализа для решения задач диагностирования.

В [30] систематизируются вопросы модельного представления для проектирования системы моделирования, которая не будет иметь ограничений на отдельные типы цифровых систем (синхронные, асинхронные, комбинационные последовательностные), и привязки к вентиляльному уровню описания сложных функциональных элементов.

В итоге [1] обзора форм описания дискретных систем следует заметить, что на сегодня имеет место многообразие моделей на концептуальном уровне, описываемых аналитическими, табличными, графиче-

скими формами. Среди них можно выделить наиболее распространенное автоматное представление синхронной функциональной модели, на которой можно решать все задачи моделирования и тестирования.

Методы моделирования неисправностей [1, 22, 23], как универсальные средства для решения задач генерации тестов, определения их качества, контроля и поиска дефектов, являются более сложными в реализации по отношению к алгоритмам анализа исправного поведения, которые рассматриваются как частные случаи первых. Решение проблемы моделирования дефектов предполагает уже существование алгоритмов анализа исправного поведения. Большинство практически реализуемых методов поиска дефектов использует для анализа неисправностей синхронные модели исправного поведения. На этой основе ниже предлагаются алгоритмы моделирования дефектов, которые могут быть использованы и для корпоративных сетей.

Одиночное моделирование неисправностей. В основу положена идея внесения одного дефекта для анализа его проявления на доступном терминале сети при подаче тестовых последовательностей. При реализации данный метод не требует больших затрат времени и ориентирован на обработку любых структур.

Дедуктивное моделирование неисправностей. Позволяет на одном входном наборе (тестовом сегменте) одновременно обрабатывать все дефекты изделия, выделяя при этом подмножество проверяемых. Анализ компонентов сводится к выполнению операций над списками неисправностей с помощью аналитических выражений, уникальных для каждого элемента. Рассмотренный метод требует больших затрат памяти для хранения списков, а его эффективность зависит от программной реализации операций над множествами.

Методы диагностирования. По виду воздействия техническое диагностирование дифференцируется на рабочее и тестовое. В первом случае речь идет о контроле и поиске дефектов в процессе

функционирования объекта на рабочих частотах и входных воздействиях. Во втором – использование объекта служит только цели определения его технического состояния с помощью теста относительно множества разрешенных состояний [30]. Большое внимание уделяется разработке алгоритмов дешифровки результатов диагностического эксперимента и средств минимизации диагностической информации с использованием сигнатурного анализа.

Структурные методы [1] основываются на идее обратного прослеживания неисправностей при использовании ведомого зонда логического или сигнатурного анализатора для снятия реакций с доступных контрольных точек – терминалов. Процедура вычисления очередной точки контроля определяет модификации алгоритмов анализа диагностической информации. Оптимизация поиска дефектов имеет цель – снижение стоимости выполнения диагностического эксперимента в пределах отведенного времени на восстановление работоспособности сети. В условиях ограничений на количество внешних выходов и число тестовых наборов, не составляющих тест диагностирования, следует минимизировать суммарное число зондирований. Поэтому реализация всех алгоритмов условного диагностирования ориентирована на предварительное вычисление очередной точки элементарной проверки, которая уменьшает возможную область существования дефектов. Дальнейшее совершенствование алгоритмов поиска дефектов связано с использованием методов комбинаторной оптимизации.

Выводы

На основании проведенного обзора публикаций, связанных с технической диагностикой компьютерных сетей и их компонентов, можно сделать вывод, что актуальными являются следующие проблемы:

- построение математических моделей корпоративных компьютерных сетей и их компонентов;
- моделирование локальных компьютерных сетей с целью оптимизации, моделирования исправного поведения и неисправностей;

- генерация проверяющих и диагностирующих тестов для локальной вычислительной сети и ее компонентов;

- проектирование условных и безусловных алгоритмов поиска дефектов, возникающих в сети;

- проведение диагностических экспериментов в корпоративной сети с целью выявления коллизий, локализации дефектов.

Что касается методов моделирования неисправностей, то все они используют моделирующее ядро исправного поведения. Тем не менее, считается, что любой алгоритм анализа дефектов на порядок сложнее упомянутого ядра. Применительно к сетям интерес представляют одиночное, дедуктивное и совместное моделирование дефектов. Первый алгоритм интересен тем, что его реализация достаточно проста в программировании, универсальна по отношению к объекту диагностирования, но имеет максимальные временные затраты. Второй минимизирует временные затраты, но требует для хранения списков неисправностей дополнительную память. Третий универсален по отношению к типам неисправностей, поэтому отличается от предыдущего требованием еще большей памяти для хранения не только списков дефектов, но и их функционального описания.

Несмотря на значительное число публикаций, посвященных проблемам, возникающим в локальных сетях, ощущается дефицит фундаментальных теоретических и прикладных исследований. Перспективные направления развития вычислительных сетей, по нашему мнению, могут быть связаны с вопросами оптимизации, сервисного и диагностического обслуживания.

Литература

1. Abramovici M., Breuer M., Friedman A. Digital System Testing and Testable Design // Computer Science Press, 1998. – 640 p.
2. Alkhatib H.S., Bailey C., Gerla M., McRae J. Wireless Data Networks: Reaching the Extra Mile //

Computer. – Dec. 1997. – Vol. 30. – P. 59-62.

3. Demers A., Keshav S., Shenker S. Analysis and Simulation of a Fair Queueing Algorithm // *Internet-work: Research and Experience*. – Sept. 1990. – Vol. 1. – P. 3-26.

4. Ford L.R.Jr., Fulkerson D.R. *Flows in Networks*. – Princeton, NJ: Princeton University Press, 1962.

5. Shannon C. A Mathematical Theory of Communication // *Bell System Tech. J.* – 1948. – Vol. 27/

6. Andrew S. Tanenbaum. *Computer Networks (Hardcover)*. – Prentice Hall PTR. – Edition: 4 st. – Published: August 9, 2002. – 912 p.

7. Alvaro Retana, Don Slice, Russ White. *Advanced IP Network Design (CCIE Professional Development)*. – Cisco Press. – Edition: 1st. – Published: Jun 17, 1999. – 368 p.

8. William Stallings. *Data and Computer Communications, Seventh Edition (Hardcover)*. – Prentice Hall, Published: May 8, 2003. – 864 p.

9. Tanner M. *Practical Queueing Analysis*. – New York: McGraw-Hill, 1995.

10. Gunther N. *The Practical Performance Analyst*. – New York: Author Choice Press, 2000.

11. Gross D., Harris C. *Fundamentals of Queueing Theory*. – New York: Wiley, 1998.

12. Stuck B., Arthurs E.A. *Computer Communications Network Performance Analysis Primer* Englewood Cliffs. – NJ: Prentice Hall, 1985.

13. Г. Хелд. *Технологии передачи данных* – СПб.: Питер, К.: BHV 2003. – 720 с.

14. Ги К. *Введение в локальные вычислительные сети*. – М.: Радио и связь, 1986. – 176 с.

15. Като М., Иимура Д., Токоро М., Тома Е. *Построение сетей ЭВМ*. – М.: Мир, 1988. – 307 с.

16. Якубайтис Э. А. *Локальные информационно-вычислительные сети*. – Рига: Зинатне, 1985. – 284 с.

17. Челлис Д., Перкинс Ч., Стриб М. *Основы построения сетей*. – М: Лори, 1997. – 326 с.

18. Чаппелл Л.А., Хейкс Д.Е. *Анализатор локальных сетей NetWare. Руководство Novell*. – М.: Лори. – 1997. – 596 с.

19. Нессер Д.Дж. *Оптимизация и поиск неисправностей в сетях*. – К.: Диалектика, 1996. – 372 с.

20. Вишневецкий В.М. *Теоретические основы проектирования компьютерных сетей*. – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.

21. *Контроль та керування корпоративними комп'ютерними мережами: інструментальні засоби та технології: Навчальний посібник / А.М. Гуржій, С.Ф. Коряк, В.В. Самсонов, О.Я. Скляров*. – Х.: Компанія СМІТ, 2004. – 544 с.

22. *Техническая диагностика цифровых и микро процессорных структур: Учебник / В.И. Хаханов*. – К.: ИСИО, 1995. – 242 с.

23. Хаханов В.И., Ханько В.В., Абу Занунех И.М. Халиль. *Модели неисправностей корпоративных сетей и формулировка задач их диагностирования // Радиозлектроника и информатика*. – 1999. – № 4. – С. 49-56.

24. Гук М.Ю. *Аппаратные средства локальных сетей. Энциклопедия*. – СПб.: Питер, 2002. – 576 с.

25. Олифер В.Г., Олифер Н.А. *Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. 3-е изд.* – СПб.: Питер, 2006. – 958 с.

26. Буров С. *Комп'ютерні мережі. 2 оновлене видання*. – Львів: БАК, 2003. – 563 с.

27. Кулаков Ю.А., Омелянский С.В. *Локальные сети. Выбор, установка, использование и администрирование*. – К.: Юниор, 1999. – 544 с.

28. Кульгин М. *Технологии корпоративных сетей. Энциклопедия*. – СПб.: Питер, 2000. – 704 с.

29. Зима В.М., Молдовян А.А., Молдовян Н.А. *Безопасность глобальных сетевых технологий*. – 2-е изд. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 368 с.

30. Пархоменко П.П., Согомонян Е.С. *Основы технической диагностики (Оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратные средства) / Под ред. П.П. Пархоменко*. – М.: Энергия, 1981. – 320 с.

Поступила в редакцию 5.07.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Г. Рябцев, Черкасский государственный технологический университет, Черкассы.