

УДК 004.725.4

А.Р. АРУТЮНЯН, А.В. ВИТЕР, Б.И. КОЛЬБИК

*Донецкий национальный технический университет, Украина***АЛГОРИТМ ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ**

*Приведен алгоритм обнаружения и локализации неисправностей в промышленной компьютерной сети. Алгоритм основан на свойстве отражения электромагнитного сигнала в длинных кабельных линиях и модифицированном алгоритме Дейкстры для взвешенных неориентированных графов. Приведены результаты исследования, подтверждающие возможность использования волнового метода для определения длины и целостности кабельной линии. Приведенный алгоритм позволяет проектировать сети сбора данных с автоматической диагностикой.*

**Ключевые слова:** промышленная компьютерная сеть, диагностика, волновой метод, алгоритм Дейкстры, кабельная линия, амплитуда волны.

**Введение**

Современные промышленные сети подвержены неполадкам, для выявления которых приходится применять визуальный контроль, который сводится к выявлению неисправных и некорректно работающих компонент сети [1, 2]. Данный контроль не предполагает выявления неисправности кабельных линий и узлов соединения. Для определения описанных неисправностей можно использовать метод, основанный на особенностях прохождения электромагнитных волн сквозь длинные кабельные линии [3, 4]. Несмотря на то, что данные методы широко известны, они предполагают выявление неисправности с использованием коротких волн, что ограничивает минимальную длину сегмента диагностики. Также известные методы не предполагают использования совместно с методами определения неисправных компонент сети. Еще один недостаток известных методов заключается в том, что они не адаптированы для автоматического поиска неисправности средствами входящими в состав тестируемой сети. Т.о. возникает необходимость создания способа анализа целостности кабельной линии, эффективно работающего в составе средств выявления неисправных сетевых компонент и алгоритма использующего описанные средства для поиска неисправностей сетевой структуры.

**1. Алгоритм автоматического тестирования**

Большинство существующих алгоритмов и методов тестирования промышленных сетей [4 – 10] основаны на ручном поиске неисправного узла или сетевого компонента с помощью специализированных средств. Мало описаны способы построения сетей, способных производить тестирование средства-

ми, входящими в состав сетевой структуры. В связи с этим возникает проблема построения алгоритма поиска неисправностей в элементах сетевой структуры, кабельных линиях, клеммных соединениях и линиях питания, посредством специализированных узлов тестируемой сети. Ниже приведен модифицированный алгоритм, позволяющий определять перечисленные неисправности. Тестирование выполняют узлы, которые будем называть ретрансляторы. Ретрансляторы имеют приоритет в соответствии с топологическим и уровневым расположением, инициализирует процесс тестирования ведущий сети.

Шаг 1. На графе активизируется путь по которому производится опрос узла от которого не получен ответ (рис. 1,б).

Шаг 2. Последовательно производится опрос ретрансляторов вдоль активизированного пути, первый ретранслятор от которого не получен ответ помечается. Номер найденного ретранслятора заносится в множество  $N$  (в примере  $N = \{6\}$ ), а номер ребра, по которому производится опрос в  $J$  (в примере  $J = \{5\}$ ).

Шаг 3. Из графа удаляется вершина  $n \in N$  (рис. 1,в) и при помощи модифицированного алгоритма Дейкстры, который описан ниже, определяются минимальные маршруты ко всем вершинам. Они отображены на рис. 1,г. Номера вершин, к которым найдены пути, запоминаем как множество  $D = \{1, 2, 3, 4, 7, 8\}$ .

Шаг 4. Вершина  $n$  возвращается на граф, но удаляется ребро  $j \in J$  (рис. 1,д) и продолжаем работу алгоритма Дейкстры. Результат отображен на рис. 1,е. Поиск маршрутов в два этапа обусловлен тем, ещё неизвестно, работает ли ретранслятор  $n$ , поэтому предпочтение стоит отдавать тем маршрутам, на которых не лежит ретранслятор  $n$ .

Шаг 5. Далее отправка пакетов ко всем вершинам осуществляется по маршрутам, найденным на предыдущих шагах.

Шаг 6. Определяется  $P$  – множество ребер, по которым можно обратиться к вершине  $n$ , по следующей формуле:

$$P = \left( R_n \cap \bigcup_{k \in (S_n \cap D \cap T)} R_k \right) \setminus \{j\}, \quad (1)$$

где  $R_i$  – множество ребер, инцидентных вершине  $i$ ;  $S_n$  – множество вершин, соседних к вершине  $n$ . В нашем примере  $S_n = \{2, 3, 5, 7\}$ ;  $T$  – множество вершин, которые не являются датчиками. В примере  $D = \{1, 2, 3, 6, 8\}$  В примере  $P = \{4, 6\}$ .

Шаг 7. По каждому ребру из множества  $P$  опрашивается вершина  $n \in N$ . Если хоть раз будет получен ответ — это значит, что ретранслятор  $n$  работает и проблема – в соединениях между ретрансляторами. Если ответа нет (или множество  $P$  пустое) – это значит что не работает ретранслятор  $n$  или все соединения с ним. Вероятность того, что не

работает ретранслятор прямо пропорциональна количеству элементов множества  $P$ .

Шаг 8. Проверяются все ребра, по которым была опрошена вершина  $n$  и не был получен ответ, следующим образом:

Отправляется запрос определения длины кабельной линии при помощи волнового метода, который описан ниже. Сравнивая эту длину со значением длины линии для данных узлов из базы, определяется максимально возможный тип неисправности. Если длина равна номинальной – вероятная причина обрыва линии – либо выпал кабель из порта ретранслятора  $n$ , либо не работает ретранслятор  $n$  (если на предыдущем шаге не подтверждено обратное). Если длина равна нулю — значит, выпал кабель из порта второго ретранслятора. В остальных случаях поврежден кабель.

Шаг 9. Оператор оповещается о вероятных причинах ошибки и способах исправления.

Шаг 10. После исправления ошибки стоит опять установить оптимальные маршруты следования пакетов.

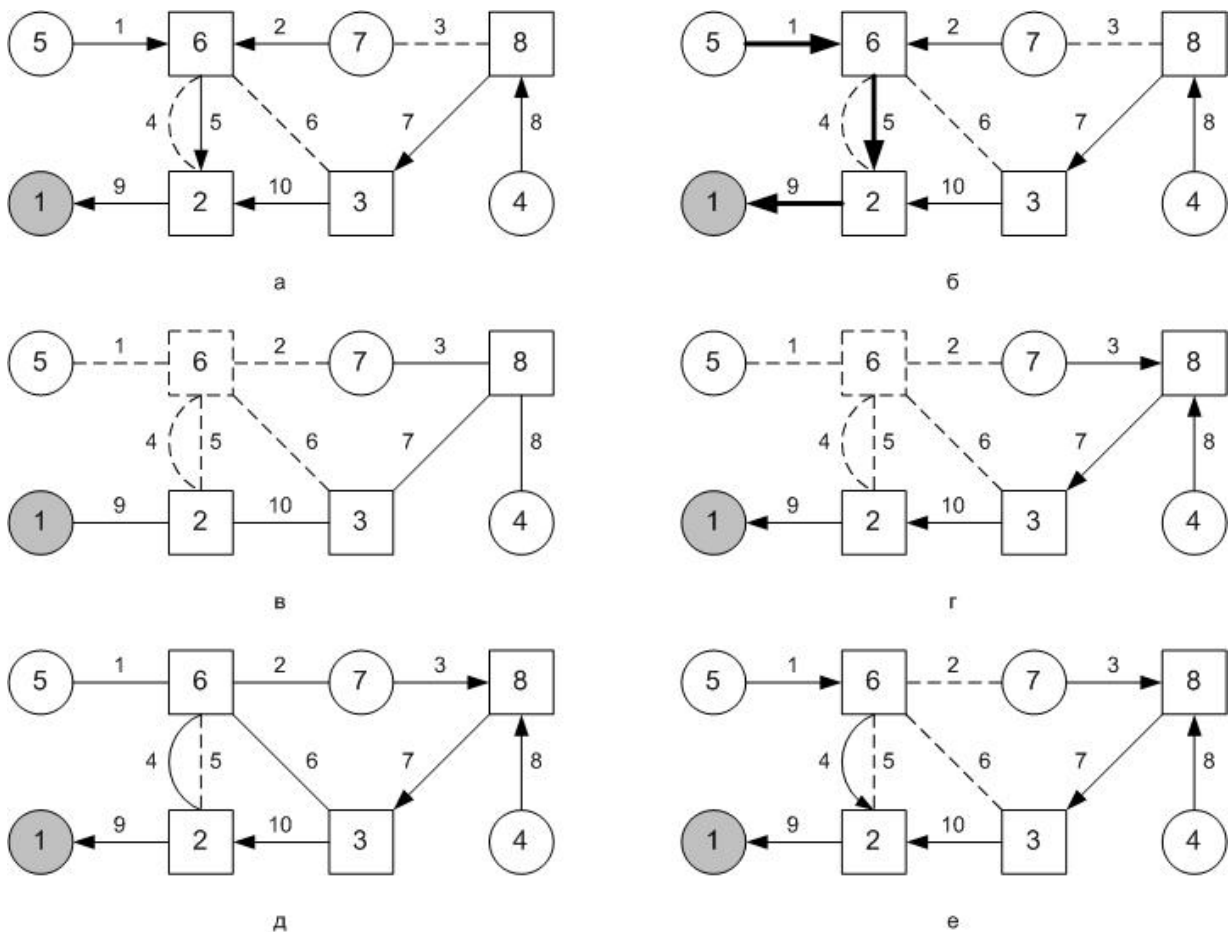


Рис. 1. Схемы примера производственной сети:

а – состояние до появления неисправности; б – маршрут, на котором обнаружена неисправность; в – граф перед первым запуском алгоритма Дейкстры; г – граф после первого запуска алгоритма Дейкстры; д – граф перед вторым запуском алгоритма Дейкстры; е – граф после второго запуска алгоритма Дейкстры

Ниже приведен модифицированный алгоритм Дейкстры для поиска маршрутов на графах. У каждой вершины есть свой вес. Изначально, вес каждой вершины равен  $+\infty$ , вес исходной вершины равен 0. Также мы оперируем множеством добавленных вершин  $H$ , в котором изначально только исходная вершина (в нашем случае – вершина 1).

Шаг 1. Определяется множество ребер  $G$  по следующей формуле:

$$G = \bigcup_{k \in H} R_k \cap \bigcup_{k \notin H} R_k. \quad (2)$$

Это множество содержит ребра, соединяющие уже добавленные вершины с ещё недобавленными.

Шаг 2. Если  $G = \emptyset$ , то выполнение алгоритма прекращается.

Шаг 3. Вес каждого ребра определяется как сумма веса вершины из множества  $H$ , инцидентной этому ребру и начального параметра сложности ребра (это может быть длина кабеля, время передачи по нему пакета или единица). Выполняется поиск из множества  $G$  ребра  $u$  с минимальным весом.

Шаг 4. Ребро  $u$  добавляется в дерево маршрутов и не добавленная вершина, инцидентная ребру  $u$ , добавляется в список добавленных, т.е.:

$$H' = H \cup \left( \bigcup_{y \in R_k} k \setminus \left( \bigcup_{y \in R_k} k \cap H \right) \right). \quad (3)$$

$$H' = H \cup \bigcup_{y \in R_k} k. \quad (4)$$

Шаг 5. Переход к шагу 1.

## 2. Волновой способ анализа целостности кабельной линии

На основе работ [7,8,9,10], разработан модифицированный способ диагностики кабельных линий. Суть способа заключается в посылке коротких импульсов с высоким спектром частот. С увеличением спектра частот длина волны будет уменьшаться. И эффект отражения уже будет проявляться на небольших сегментах 10-15м. Отраженные импульсы принимаются передатчиком, по количеству принятых импульсов передатчик может оценить количество неоднородных соединений на линии (в нашем случае количество узлов), а по времени прохождения импульса расстояние. Если при следующем сканировании шины получится другая диаграмма отражений, то передатчик может судить о том, что произошел обрыв или не санкционированное вмешательство в работу сети.

Уравнение распространения волны в кабельной линии связи можно записать в виде:

$$V(x) = Ae^{-\gamma x} + Be^{\gamma x}, \quad (5)$$

где  $\gamma$  – коэффициент затухания или распространения,  $A$  – значение амплитуды прямой волны,  $B$  – значение амплитуды отраженной волны,  $x$  – длина линии.

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}, \quad (6)$$

$$\gamma = \alpha + j\beta, \quad (7)$$

где  $R$  – погонное сопротивление,  $L$  – погонная индуктивность,  $G$  – активная проводимость,  $C$  – погонная емкость,  $\alpha$  – коэффициент затухания амплитуды сигнала,  $\beta$  – коэффициент сдвига фаз сигнала.

Зависимость величины амплитуды отраженного сигнала от волнового сопротивления и сопротивления нагрузки определяется по формуле:

$$\frac{B}{A} = \frac{Z_H - Z_B}{Z_H + Z_B} e^{-2\gamma l}, \quad (8)$$

где  $Z_H$  – сопротивление нагрузки,  $Z_B$  – волновое сопротивление кабеля.

Если коэффициент затухания  $\gamma$  достаточно мал, а сопротивление нагрузки велико  $Z_H$ , то:

$$\frac{B}{A} = \lim_{\substack{\gamma \rightarrow 0 \\ Z_H \rightarrow \infty}} \frac{Z_H - Z_B}{Z_H + Z_B} e^{-2\gamma l} = \frac{\infty - Z_B}{\infty + Z_B} e^0 = 1 \quad (9)$$

Из формулы (9) видно, что волна максимально отражается при использовании нагрузки с высокоимпедансным входом. По стандартам, передающим сигналы в дифференциальном виде (RS-485, RS-422, CAN), входные каскады передающих микросхем имеют высокое входное сопротивление (12кОм – 48кОм) [9, 10]. Следовательно, при использовании микросхем приведенных стандартов, линии будут находиться в режиме близкому к режиму полного отражения, соотношение амплитуд вычисленное по формуле (8) при единичной нагрузке по стандарту RS-485:

$$\frac{B}{A} = \frac{Z_H - Z_B}{Z_H + Z_B} e^{-2\gamma l} = \frac{12000 - 120}{12000 + 120} e^0 = 0,9801 \quad (10)$$

На свойстве полного отражения основывается метод диагностики сети. Осциллограмма переданного и отраженного сигнала приведена на рис. 2. В качестве эксперимента был взят кабель, состоящий из 4-х витых пар длиной 220м. На конце кабеля находился приемопередатчик, соответствующий спецификации стандарта RS-485. На вход кабеля был подан импульс длительностью 0,2 мкс и амплитудой 3,7В, на входе приемопередатчика был получен импульс амплитудой 3,1В, а в качестве отраженного был принят импульс амплитудой 1,5В, что соответствует коэффициенту отражения 0,9677.

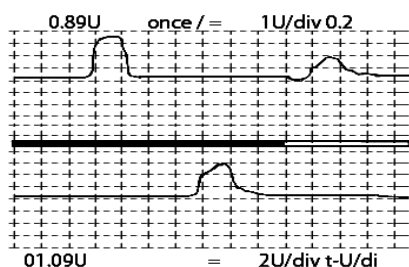


Рис. 2. Осциллограмма отраженного сигнала с одним приемником на конце линии передачи данных

### Выводы

В статье описан алгоритм поиска неисправностей в элементах сетевой структуры, кабельных линиях, клеммных соединениях и линиях питания, посредством специализированных узлов тестируемой сети. Так же предложен способ анализа целостности кабельной линии, эффективно работающий в составе средств выявления неисправных сетевых компонент.

Использование описанных средств и разработанного алгоритма позволяет создавать промышленные компьютерные сети со свойством автоматического тестирования и выявления неисправностей.

### Литература

1. Третьяков С.А. Локальные сети микроконтроллеров / С.А. Третьяков // *Электроника*. – 1999. – Вып. 10. – С. 45-49.

2. Финк Л.М. Сигналы, помехи, ошибки. Заметки о некоторых неожиданностях, парадоксах и заблуждениях в теории связи / Л.М. Финк – М.: Радио и связь, 1984. – 256 с.

3. Финк Л.М. Теория передачи дискретных сообщений / Л.М. Финк – М.: "Советское радио". 1970, 728 с.

4. Нессер Д.Дж. Оптимизация и поиск неисправностей в сетях / Д.Дж. Нессер — К.: Диалектика, 1996. – 376 с.

5. Кормен Т.К. Алгоритмы. Построение и анализ / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест., Штайн: Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2005. – 1296 с.

6. Нагибин П. Выбор топологии сети в реальных условиях / П. Нагибин // *Экспресс электроника* – 2003. – №5. – С. 48-53.

7. Громов Ю.Ю. Синтез и анализ живучести сетевых систем: монография // Ю.Ю. Громов, В.О. Драчев, К.А. Набатов, О.Г. Иванова. — М.: Машиностроение-1, 2007. – 152 с.

8. Фуско В. СВЧ цепи. Анализ и автоматизированное проектирование / В. Фуско. – М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.

9. Дементьев В.С. Определение места повреждения силовых кабельных линий / В.С. Дементьев, В.К. Спиридонов, Г.М. Шалыт. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962. – 234 с.

10. Шалыт Г.М. Определение мест повреждения в электрических сетях / Г.М. Шалыт. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 304 с.

Поступила в редакцию 21.02.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., проф. кафедры автоматизированных систем управления Ю.А. Скобцов, Донецкий национальный технический университет, Украина.

## АЛГОРИТМ ТЕСТУВАННЯ ПРОМИСЛОВОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ

*А.Р. Арутюнян, А.В. Вітер, Б.І. Кольбік*

Описано алгоритм пошуку та локалізації несправностей в промислової комп'ютерної мережі. Алгоритм базується на властивості відбиття електромагнітного сигналу у довгих кабельних лініях та модифікованому алгоритмі Дейкстри для зважених неорієнтованих графів. Наведено результати дослідження, що підтверджують можливість використання хвильового методу для визначення довжини та цілісності кабельної лінії. Наведений алгоритм дозволяє проектувати мережі збору даних з автоматичною діагностикою.

**Ключові слова:** промислова комп'ютерна мережа, діагностика, хвильовий метод, алгоритм Дейкстри, кабельна лінія, амплітуда хвилі.

## ALGORITHM OF TESTING INDUSTRIAL COMPUTER NETWORK

*A.R. Arutyunyan, A.V. Viter, B.I. Kolbik*

The article describes the algorithm for finding faults in the elements of a network structure, cable lines, terminal connections and power lines, through specialized units under test network – repeaters. Repeaters have priority in accordance with the topological level approach and the location, initializes the testing process leading network. The method is based on representation of mathematical model and the modified Dijkstra's algorithm for weighted undirected graphs. It is also proposed a method for the analysis of the integrity of the cable line, effectively serving with the means to identify faulty network components, based on the characteristics of electromagnetic waves passing through long cable lines.

**Keywords:** industrial computer network, diagnostics, wave method, Dijkstra's algorithm, cable line, amplitude of wave.

**Арутюнян Арсен Рафаелович** – ассистент кафедры компьютерной инженерии, Донецкий национальный технический университет, Украина, e-mail: 3816459@i.ua.

**Витер Артур Васильевич** – магистрант, Донецкий национальный технический университет, Украина.

**Кольбик Богдан Игоревич** – студент, Донецкий национальный технический университет, Украина.