

УДК 51.621.391

В. Аль Шариф

### МОДЕЛИ ТЕСТИРОВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ Wi-Fi

*Рассмотрены модели верификации и тестирования для реализаций протокольных механизмов при построении сетевых систем. В качестве исходных моделей приняты расширенные сети Петри, для которых исследованы свойства идентификации отношения инцидентности позиций и переходов. Предложено специальное дерево достижимости для построения идентифицирующих фрагментов поведения модели.*

*Ключевые слова:* модель, протокол, тест, сеть Петри, идентификация.

W. Al Sharif

### WI-fi MECHANISMS TESTING MODELS

*The models verification and testing are considered for implementations of protocol mechanisms for the construction of network systems. The initial models adopted an expanded Petri nets, which investigated the properties of relations incident to identify the places and transitions. Proposed special tree reachable identifying fragments to build a model of behavior.*

*Keywords:* model, protocol, test, Petri net, identification.

В. Аль Шаріф

### МОДЕЛІ ТЕСТУВАННЯ МЕХАНІЗМІВ Wi-Fi

*Розглянуто моделі верифікації та тестування для реалізацій протокольних механізмів при побудові мережевих систем. Як вихідні моделі прийняті о розширені мережі Петрі, для яких досліджені о властивості ідентифікації відношення інцидентності позицій і переходів. Запропоновано спеціальне дерево досяжності для побудови ідентифікуючих фрагментів поведінки моделі.*

*Ключові слова:* модель, протокол, тест, мережа Петрі, ідентифікація.

**Введение.** Полная верификация прикладного сервиса распределенных систем (РС) предполагает специальный анализ системного и компонентного поведения для подтверждения работоспособности, достоверности и надежности, когда проверке подлежит работа всех объектов РС и их интерфейсов как на прикладном, так и на транспортном, сетевом и канальном уровнях. Распространение беспроводных сетей требует исследования моделей тестирования их механизмов.

Сети Петри (СП) и их модификации [1] позволяют выполнить анализ основных функций моделируемого объекта в контексте асинхронных зависимостей условий и событий с учетом параллелизма сетевых процессов. Возможность предикатных и функциональных расширений, а также иерархической организации предоставляет декомпозиционные механизмы снижения размерности задач функционального анализа, для которого обычно свойственны экспоненциальные зависимости затрат времени и памяти на вычисления.

Целью работы является повышение эффективности тестового моделирования протокольных механизмов, в частности Wi-Fi, за счет повышения его точности и сокращения вычислительной сложности вследствие применения более адекватных моделей СП.

#### 1. Формальные модели тестирования

Для достижения поставленной цели необходимо решить задачу построения асинхронных моделей идентификации поведения протокольных механизмов Wi-Fi на основе специального анализа расширенных СП.

**Постановка задачи.** Задана расширенная СП  $S(f)$ , представляющая асинхронное поведение некоторого механизма Wi-Fi. Необходимо определить модели наблюдаемых и проверяемых свойств для  $S(f)$ , а также построить модели идентифицирующих фрагментов  $I$  для  $S(f)$ , на основе которых возможно установить соответствие эталонной  $S(f)$  и проверяемой  $S^*(f)$  моделей. Указанные модели в совокупности образуют основу входной модели тестирования СП, которая задает условия установления соответствия.

© Аль Шариф В., 2012

Принятая в работе расширенная СП  $S(f)$  определена как девятка вида:

$$S(f) = (P, T, X, Y, F, S, M_0, L, K), \quad (1)$$

где:  $P = \{p_j\}$  – конечное множество позиций  $p_j, j \in [1, n], P \neq \emptyset, |P| = n; T = \{t_i\}$  – конечное множество переходов  $t_i, i \in [1, m], T \neq \emptyset, |T| = m; X = \{x_{11}\}$  – конечный алфавит переменных условий СП;  $Y = \{y_{12}\}$  – конечный алфавит переменных событий СП;  $F:((P \times T) \cup (T \times P)) \rightarrow N$  – соответствие кратной инцидентности позиций  $P$  и переходов  $T$ ;  $S = S_P \cup S_T, \& S_P \cap S_T = \emptyset, S_P: P \rightarrow X$  и  $S_T: T \rightarrow Y$  – соответствия принадлежности переменных условий и событий соответственно позициям  $P$  и переходам  $T$ ;  $M_0 = \{M_0(p_j)\}$  – множество начального маркирования позиций  $P$  СП,  $M_0(p_j) \rightarrow N$  – начальное маркирование позиции  $p_j \in P, M = \{M(p_j)\}$  – множество текущего маркирования позиций  $P$  СП,  $M(p_j) \rightarrow N$  – текущее маркирование позиции  $p_j \in P; L$  – предикаты вида  $l_1 \in L_1$  от подмножества переменных условий  $\{x_{u1}\} \subseteq X$ , и  $l_2 \in L_2$  от подмножества переменных событий  $\{y_{u2}\} \subseteq Y$ , которые истинны в зависимости от соответственно а) подмножества переменных  $\{x_{u1}\}$  и  $\{y_{u2}\}$ , характеризующих позиции  $P$  и переходы  $T$ ; б) текущего маркирования позиций  $\{M(p_j)\}$ ;  $K$  – функции модификации значений вида  $k_1 \in K_1$  для подмножества переменных условий  $\{x_{u1}\} \subseteq X$ , и  $k_2 \in K_2$  для подмножества переменных событий  $\{y_{u2}\} \subseteq Y$ , которые зависят от соответственно: а) подмножества переменных  $\{x_{u1}\}$  и  $\{y_{u2}\}$ , характеризующих позиции  $P$  и переходы  $T$ ; б) текущего маркирования позиций  $\{M(p_j)\}$ .

В предложенной СП определяются  $X' \subseteq X$  – подмножество наблюдаемых переменных условий,  $Y' \subseteq Y$  – подмножество наблюдаемых переменных событий, которые, будучи каждое пополненным не наблюдаемым символом «\*», формируют внешние алфавиты условий  $X'' = X' \cup *$  и событий  $Y'' = Y' \cup *$  для СП. В этих алфавитах формируется внешнее поведение СП, по которому возможно делать выводы о соответствии выбранных для анализа свойств проверяемой и эталонной СП.

Выбранный класс проверяемых свойств эталонной СП, для которых определяются отклонения проверяемой СП и разрабатыва-

ется модель тестирования, ограничен частными статическими отклонениями (в дальнейшем – просто отклонениями) в поведении СП, представляемыми произвольными отклонениями соответствия инцидентности  $F'$  проверяемой СП  $S'(f) = (P', T', F', M'_0, L', K')$  от соответствия инцидентности  $F$  эталонной СП  $S(f) = (P, T, F, M_0, L, K)$  при условии, что  $|P'| \leq |P|$  и  $|T'| \leq |T|$ . Следовательно, класс возможных отклонений СП, представляемых в общем случае как статической частью (структурой СП) – ее соответствием инцидентности  $F$ , так и динамической частью (функциями СП) – ее функцией разметки  $M$ , предикатом  $L$ , функцией модификации переменных  $K$ , ограничен только статической частью. В работе предполагается, что  $M, L, K$  корректны. Таким образом, рассматривается задача частичной проверки СП.

Полная вход–выходная модель тестирования СП – это система из множества слов поведения  $W = \{w_1, w_2, \dots, w_k\}$  в алфавите  $U = (X'')^n \times Y'' \times (X'')^n$  – (множеств комплектов условий)  $\times$  (событий)  $\times$  (множеств комплектов условий), выбранных проверяемых свойств  $F:((P \times T) \cup (T \times P)) \rightarrow N$  – соответствий  $F$ , идентифицирующих фрагментов поведения  $I$  [2] позиций  $P$  эталонной  $S(f)$ , системы отношений  $\{\sigma, \eta, \tau\}$  на множестве  $I$ , где  $\sigma, \eta, \tau$  – соответственно отношения совместимости, несовместимости и неопределенности.

При построении идентифицирующих фрагментов поведения  $I$  используется дерево достижимости СП для функции инцидентности  $F$  СП в виде модифицированного автомата Рабина-Скотт, имеющего вид

$$H(F(f)) = (R, U, \Delta, r_0, F) \quad (2)$$

где –  $R = \{r_1, r_2, r_3, \dots, r_h\}$  – множество нумераций для простых и кратных векторов позиций  $CP'$ , присутствующих на входах и выходах переходов  $T$  из  $F(f)$ ,  $h \leq 2 * m, \forall r \in R (r: N' \rightarrow (CP'))$ ,  $\emptyset \neq CP' \subseteq CP$ ,  $CP$  – множество векторов позиций из  $P$ , входных и выходных для переходов из  $T$ , где  $\forall cp \in CP (|cp| \leq n), \emptyset \neq N' \subseteq \{1, \dots, h\}$ ;

$U \subseteq ((N')^k \times (X')^k) \times Y \times ((N')^k \times (X')^k)$  – алфавит векторов из кратных входных и выходных условий и простых внутренних событий для переходов  $T$  в  $F(f)$ , где  $k' \leq n, \emptyset \neq N'' \subseteq \{1, \dots, n''\}$ ,  $n''$  – максимальная кратность некоторого ус-

ловия и фишки;  $\Delta$  – функция переходов  $H(F(f))$ ;  $r_0 = ((1, cp_{01}), (2, cp_{01}), \dots, (m, cp_{0m})) \in R$  – начальная нумерация векторов позиций вида  $r_0(1, \dots, m) \rightarrow CP$ ;  $F \subset R$  – подмножество финальных нумераций позиций, принадлежащих к так называемым определяющим или категоричным [2].

Автомат  $H(F(f))$  с учетом совместимости нумераций позиций порождается по шагам процедуры из начальной нумерации  $r_0$ :

$$1. \Delta((r_0), (i, u)) = \begin{cases} (r_i) \text{ нпу } i = 1 \\ \text{иначе не определена} \end{cases}$$

Здесь

- $u = (((n'_{k1}, x_{k1}), (n'_{k1}, x_{k2}), \dots, (n'_{k1}, x_{kr})), y, ((n'_{k'1}, x'_{k'1}), (n'_{k'1}, x'_{k'2}), \dots, (n'_{k'1}, x'_{k'r})))$ ;
- $r_i = ((1, cp_{i1}), (2, cp_{i2}), \dots, (j, cp_{ij}), \dots, (m, cp_{im}))$ ;
- $\exists t \in T(S(t)=y) \& F(cp_{0j}, ((n'_{k1}, x_{k1}), (n'_{k1}, x_{k2}), \dots, (n'_{k1}, x_{kr}))) = t \& F(t, ((n'_{k'1}, x'_{k'1}), (n'_{k'1}, x'_{k'2}), \dots, (n'_{k'1}, x'_{k'r}))) = cp_{ij}$

2. Пусть нумерации вектора  $(r_1, \dots, r_g)$  достижимы из начальной  $r_0$ . Функция  $\Delta((r_1, \dots, r_g), (i, u))$  не определена, если

- $i > g + 1$ ;
- $r_j = \emptyset$  для некоторого  $j \leq g$ ;
- вектор  $(r_1, \dots, r_m)$  определяющий.

Иначе при  $i \leq g + 1$  и  $r_i = ((1, cp_{i1}), (2, cp_{i2}), \dots, (j, cp_{ij}), \dots, (g, cp_{ig}))$

$$\Delta((r_0, \dots, r_g), (i, u)) = \begin{cases} (r_1, \dots, r_{i-1}, r'_i, r_{i+1}, \dots, r_m) \\ \text{нпу } i \leq m \\ (r_1, \dots, r_m, r_{m+1}) \\ \text{нпу } i = g + 1 \end{cases}$$

здесь

$$(j, cp'_{ij}) \in r'_i \leftrightarrow \begin{cases} F(cp'_{ij}, ((n'_{k1}, x_{k1}), (n'_{k1}, x_{k2}), \dots, (n'_{kr}, x_{kr}))) = t \& F(t, ((n'_{k'1}, x'_{k'1}), (n'_{k'2}, x'_{k'2}), \dots, (n'_{k'r}, x'_{k'r}))) = cp'_{ij} \\ \text{нпу } i \leq g \\ F(cp_{0j}, ((n'_{k1}, x_{k1}), (n'_{k2}, x_{k2}), \dots, (n'_{kr}, x_{kr}))) = t \& F(t, ((n'_{k'1}, x'_{k'1}), (n'_{k'2}, x'_{k'2}), \dots, (n'_{k'r}, x'_{k'r}))) = cp'_{ij} \\ \text{нпу } i = g + 1 \end{cases}$$

Тестовый анализ поведения  $S(f)$  в кратком представлении – это поведение  $W = \{w_1, w_2, \dots, w_k\}$ , где для распознавания ин-

цидентности  $F$  в  $S(f)$  на основе априорной информации  $\{I, \sigma, \eta, \tau\}$  об  $S(f)$  после множественных операций, операций конкатенации и композиции выполняются преобразования [2]:

приписывание некоторого характеризующего символа вектору позиции;

отождествление одинаково отмеченных векторов позиций;

допустимая детерминизация поведения векторов позиций.

## 2. Реализация моделей Wi-Fi

К базовым механизмам Wi-Fi относятся передача, прием, регистрация и шифрование, внутренний роуминг, управление питанием, управление клиентом. Автоматные СП приема и внутреннего роуминга, для которых, в частности, выполнялся анализ (рисунки 1 и 2).

Исходные алфавиты переменных условий (префикс “ev”) и событий (префикс “ac”) для позиций и переходов представляются семантически воспринимаемыми в терминологии Wi-Fi множествами  $X$  и  $Y$ .

В СП приемника, в частности,

- $X = \{ \text{evIPRequestInQueue1, evRequestReceive, evWiFiMessageInQueue2, evTimeoutNAV, evCRCCorrect, ev(MesAddr=Me.Addr), evWiFiDefragmentation, ev(NAV<Mes.Duration), ev(Mes.Type=RTS), evIPPacketFull} \}$ ,
- $Y = \{ \text{avWaitIPRequest, acEmpty, acWaitWiFiMessage, acResult(failed)toIP, acCheckWiFiMessage(CRC), acDefragmentation&Store, acWaitSIFS, ac(NAV=Mes.Duration), acTransmit(Ack), acTrasmit(CTS), acResult(success)toIP} \}$ .



В этих алфавитах, имеющих очевидную семантическую нагрузку, возможные наблюдаемые и управляемые извне условия и события, – это подмножества  $X'$  и  $Y'$ , которые соответственно могут содержать следующие элементы:

- $X' = \{ \text{evRequestReceive}, \text{evCRCCorrect}, \text{evIPPacketFull} \}$ ,
- $Y' = \{ \text{avWaitIPRequest}, \text{acEmpty}, \text{acWaitWiFiMessage}, \text{acCheckWiFiMessage(CRC)}, \text{acWaitSIFS}, \text{ac(NAV=Mes.Duration)} \}$ .

Следует отметить, что наблюдаемые и управляемые извне условия и события приемника Wi-Fi могут быть представлены и другими подмножествами  $X'$  и  $Y'$  в зависимости от реализаций протокольных механизмов.

#### Заключение

Общий анализ распределенных компьютерных систем, а также их специальный анализ – верификация и тестирование – исследуя сетевые взаимодействия и функциональность протокольных реализаций, требует применения и развития эффективных формальных моделей. К таким моделям, в частности, относятся сети Петри и различные их расширения.

Рассматриваемые тестовые модели на основе расширенных СП дают возможность сократить комбинаторную сложность и повысить точность и гибкость анализа, вместе с тем, являются достаточно абстрактными и не тривиальными для восприятия и применения.

Предложенная модель тестирования предполагает неявное задание моделей проверяемых реализаций и единственное явное задание модели стандарта (эталона) для механизмов протокола при выполнении ограничений на мощность алфавитов реализаций. Эта особенность исключает необходимость перечисления всех реализаций, т. е. явный перебор вариантов отклонений от стандарта.

В работе исследована идентификация структурной составляющей расширенных СП (инцидентность СП), дающая частичную проверку механизмов СП. Полная верифика-

ция и тестирование СП предполагает также проверку всех ее функций автономно и в системе, что обуславливает необходимость продолжения отдельного анализа для функций СП и всей СП в целом в последующей работе.

#### Список использованной литературы

1. Питерсон, Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон. – М. : Мир, 1984. – 264 с.
2. Грунский, И. С., Синтез и идентификация автоматов. / И. С. Грунский, В. А. Козловский. – К. : Изд-во Наукова думка, 2004. – 246 с.

Получено 10.10.2012

#### References

1. Piterson, J. Theory of Petri nets and simulation systems / J. Peterson. – Moscow: Mir, 1984. – 264 p. [in Russian].
2. Grunsky, I. S. Synthesis and identification machines. / I. S. Grunsky, V. A. Kozlowski. – Kyiv: Publishing House Naukova Dumka, 2004. – 246 p. [in Russian].



Аль Шариф Васим,  
аспирант каф. Компьютерных интеллектуальных систем и сетей Ин-та компьютерных систем Одесского нац. политехн. ун-та,  
т. +380487348322,  
м/т +380930691705,  
E-mail:  
waseemua@yahoo.com