

ПРИМЕНЕНИЕ ФОРМАЛЬНЫХ ГРАММАТИК КАК МЕТОДА АНАЛИЗА МОДЕЛЕЙ ТКС, ПОСТРОЕННЫХ НА ОСНОВЕ Е-СЕТЕЙ

Введение

Анализ свойств и характеристик системы информационного обмена, как правило, проводится на основе математической модели [1]. Одним из методов моделирования телекоммуникационных систем является аппарат Е-сетей. Одним из достоинств Е-сетей является возможность анализа системы без проведения имитационного моделирования. В результате такого анализа имеется возможность оценить структурные характеристики системы (взаимодействие между блоками системы, перечень реализуемых функций).

Постановка задачи

Разработать модель, позволяющую исследовать процесс взаимоблокировки на этапе установления TCP соединения. На основе формальных грамматик исследовать последовательность событий системы, приводящих к взаимоблокировке. Рассмотреть возможности контекстно-зависимых регулярных языков по решению данной задачи.

Основная часть

Протокол TCP является протоколом, ориентированным на соединение. Перед тем как какой-либо узел (клиент) может послать данные другому узлу (серверу), между ними должно быть установлено соединение [2].

Для моделирования поведения узлов при установлении соединения применяются маркированные графы Е-сетей [3].

Е-сеть задается как двудольный ориентированный граф, описываемый множеством

$$E = \{P, H, L, D, A, M_0\}, \quad (1)$$

где P – конечное множество мест; H – конечное множество переходов; L – прямая функция инцидентности; D – обратная функция инцидентности; A – конечное множество характеристик переходов; M_0 – начальная разметка сети.

Множества P, H удовлетворяют следующим условиям: $P \neq \emptyset, H \neq \emptyset, P \cap H = \emptyset$ (граф Е-сети должен содержать хотя бы один переход и одно место, причем вершина графа не может быть одновременно элементом множеств P и H).

Переходы Е-сети моделируют события не только на уровне выполнения всех требуемых условий, но и отражают также ряд операций, связанных с осуществлением события. Реализация событий зависит от вектора атрибутов меток. Набор операций и условия их выполнения задаются процедурой перехода ρ . В общем виде операция Ξ над i -м описателем метки на переходе t_k при истинности j -го предиката, задающего набор требуемых условий, может быть представлена как:

$$l_{Rij} = \{ M(t_R(i)) := \Xi(M(t_R(i))) \}; \quad (2)$$

Е-сеть задает конкретные детерминированные структуру модели и алгоритм ее функционирования, отображая динамику поведения системы.

При совместном функционировании двух динамических систем существует вероятность попытки одновременного установления соединения. Данная ситуация характеризуется тем, что одновременно осуществляется отсылка сигнала SYN первым и вторым узлами.

В результате такой последовательности действий в системе возникает коллизия [2]. Модель системы, построенная на основе аппарата Е-сетей, позволяет установить факт возникновения коллизий, достижение меткой «тупиковых» позиций, пассивность сети. Граф Е-сети

Условия выполнения перехода MX_1 можно задать следующим образом. Вектор метки содержит имеет два атрибута $A(k, P_{nep})$:

Если $A(k) = 3$, то позиция p_1 ;

Если $A(k) < 3, f(A(P_n))$, то позиция p_2 ;

Либо $A(k) < 3, 1 - f(A(P_n))$, то позиция p_3 ;

Процедура перехода MX_1 представлена следующим образом:

$$\rho(MX_1) = \left\{ \begin{array}{l} M(p_0(A(k) = 3) | := M(p_1); M(p_0(A(k) < 3 \wedge P_n) | := M(p_2(A(k) = A(k) + 1)); \\ M(p_0(A(k) < 3 \wedge (1 - P_n)) | := M(p_3)). \end{array} \right\}. \quad (3)$$

Аналогично задается управляющий переход MX'_1 . Вектор метки для данного перехода имеет два атрибута $A'(k, P_{nep})$.

Условия выполнения перехода MX'_1 :

если $A(k) = 3$, то позиция p_1 ;

если $A(k) < 3, f(A'(P_n))$, то позиция p_2 ;

либо $A(k) < 3, 1 - f(A'(P_n))$, то позиция p_3 ;

где a – численное значение, указывающее на процесс генерации сообщения SYN, $a \in [0,1]$

Процедура перехода имеет следующий вид:

$$\rho(MX'_1) = \left\{ \begin{array}{l} M(p'_0(A'(k) = 3) | := M(p'_1); M(p'_0(A'(k) < 3 \wedge P_n) | := M(p'_2(A'(k) = A'(k) + 1)); \\ M(p'_0(A'(k) < 3 \wedge (1 - P_n)) | := M(p'_3)). \end{array} \right\}. \quad (4)$$

Если сообщение SYN сгенерировано (что соответствует позиции p_2 и p'_2) и оба узла отправляют сообщение SYN, в зависимости от состояния сети и при условии, что в выходных позициях p_4 и p'_4 меток нет, возможны три ситуации, которые определяются переходом MXY .

Условия выполнения перехода MXY :

Если $M(p_3) = M(p'_3) = 1$, то позиция p_b ;

Если $M(p_3) \neq M(p'_3)$, при $M(p_3) = 1$ и $f(A(P_n))$ – позиция $p_{\bar{no}}$ или $M(p_3) \neq M(p'_3)$ и при $M(p_3) = 1$ и $(1 - f(A(P_n)))$ по позиция p_4 ;

Либо $M(p_3) \neq M(p'_3)$, $M(p_3) = 1$ и $f(A(P_n))$ – позиция $p_{\bar{no}}$ или $M(p_3) \neq M(p'_3)$ и при $M(p_3) = 1$ и $(1 - f(A(P_n)))$ – позиция p_4 .

Процедура выполнения перехода MXY может быть представлена следующим образом:

$$\rho(MXY) = \left\{ \begin{array}{l} M(p_3, p'_3) | := M(p_b); M(p_3, p'_3) \wedge M(p_3) = 1 \wedge P_n | := M(p_n); \\ M(p_3, p'_3) \wedge M(p_3) = 1 \wedge (1 - P_n) | := M(p_4); \\ M(p_3, p'_3) \wedge M(p_3) = 1 \wedge (1 - P_n) | := M(p_4); M(p_3, p'_3) \wedge M(p_3) = 1 \wedge P_n | := M(p_t); \end{array} \right\}. \quad (5)$$

При получении сообщения SYN от первого узла второй узел генерирует сообщение АСК, позиция p_5 – представлено управляющим переходом MX'_2 .

MX_2' возможен при следующих условиях: $M(p_5') = 1$ и $M(p_5') = M(p_6') = M(p_7') = 0$. Вектор метки данного перехода содержит два атрибута $A'(k, P_{пер})$.

Условия выполнения перехода MX_2' :

если $A(k) = 3$, то позиция p_6' ;

если $A(k) < 3$, $f(A'(P_n))$, то позиция p_7' ;

либо $A(k) < 3$, $1 - f(A'(P_n))$, то позиция p_8' ;

Процедура перехода MX_2' :

$$\rho(MX_2') = \left\{ \begin{array}{l} M(p_5'(A(k) = 3)) := M(p_6'); M(p_5'(A(k) < 3 \wedge P_n)) := M(p_7'(A(k) = A(k) + 1)); \\ M(p_5'(A(k) < 3 \wedge (1 - P_n))) := M(p_8'). \end{array} \right\} \quad (6)$$

Условия выполнения перехода MX_3' заданы следующим образом. Вектор метки данного перехода также имеет два атрибута $A'(k, P_{пер})$:

если $A(k) = 3$, то позиция p_{10}' ;

если $A(k) < 3$, $f(A'(P_n))$, то позиция p_{11}' ;

либо $A(k) < 3$, $1 - f(A'(P_n))$, то позиция p_{12}' ,

где a – значение, указывающее на вероятность генерации сообщения АСК, $a \in [0,1]$

Процедура перехода MX_3' :

$$\rho(MX_3') = \left\{ \begin{array}{l} M(p_9'(A(k) = 3)) := M(p_{10}'); M(p_9'(A(k) < 3 \wedge P_n)) := M(p_{11}'(A(k) = A(k) + 1)); \\ M(p_9'(A(k) < 3 \wedge (1 - P_n))) := M(p_{12}'). \end{array} \right\} \quad (7)$$

Предположим, что сообщение АСК отправлено, метка находится в позиции p_{12}' .

Переходы MT_c и MT_c' соответствуют установлению соединения.

Одним из этапов моделирования является анализ основных свойств модели и определение степени ее соответствия реальному объекту, процессу или системе. На данном этапе определяются качественные и количественные характеристики моделируемой системы. Качественные характеристики системы зависят от ее структуры и взаимодействия элементов [1]. По результатам анализа качественных характеристик создаются рекомендации по построению окончательной структурной базы модели согласно основным требованиям к реальной системе.

Теория Е-сетей и методы анализа моделей, построенных с помощью аппарата Е-сетей, является малоизученной областью. Так как Е-сети представляют расширение сетей Петри, в основу анализа Е-сетей положен метод анализа сетей Петри. Языки сетей Петри и Е-сетей, исходя из общей теории формальных грамматик, могут быть бесконечными, поэтому на их формирование накладывается ряд ограничений. Обобщенный вид языка сети Петри можно представить следующим образом [4, 5]:

$$L(C) = \{\alpha \in \Sigma^* \mid \delta(s, \alpha) \in F\}, \quad (8)$$

где α – последовательность запускаемых переходов; Σ^* – множество всех строк из алфавита Σ , включая пустую строку, $\delta(s, \alpha)$ – функция срабатывания переходов; S – начальное состояние системы; F – множество заключительных состояний.

Для определения классов языков сетей Петри необходимо определить начальное состояние, алфавит и множество заключительных состояний сети. Определение заключительных

состояний сети оказывает наибольшее влияние на формирование языка сетей Петри и Е-сетей.

Язык L -класса является наиболее мощным из всего класса языков, но свойственное ему требование о том, что для порождения языка необходимо прийти точно к заключительному состоянию, не всегда выполнимо [4, 6].

Формальное представления языка L -класса:

$$L(C) = \{ \alpha(\beta) \in \Sigma^* \mid \beta \in T^* \wedge \delta(\mu, \beta) \in F \}, \quad (9)$$

где β - последовательность срабатываемых переходов.

Формальное представления языка P -класса следующее:

$$L(C) = \{ \alpha(\beta) \in \Sigma^* \mid \beta \in T^* \text{ и определены все множества } \delta(\mu, \beta) \}; \quad (10)$$

Языки Е-сетей являются производными языков сетей Петри, относящихся к классу регулярных языков. Грамматики, порождающие языки сетей Петри и языки Е-сетей, имеют сходные свойства, но при построении языка Е-сети необходимо учитывать правила запуска отдельных переходов, функция $\delta(s, \alpha)$ зависит от атрибутов меток.

При анализе системы с помощью метода формальных грамматик, трудноразрешимыми являются такие задачи, как ограниченность и сохранение количества меток в системе. При достижении заключительного состояния системы возможен неоднократный запуск некоторых переходов, степень перехода в последовательности α указывает на количество его запусков.

При построении языка L - , P - типа Е-сетей возможно произвести анализ таких свойств системы как активность, возникновение коллизий, покрываемость и достижимость определенной маркировки в системе.

Языком L -типа для представленного графа модели является последовательность:

$$L(C) = \{ p_0^m p_2^3 p_3^n p_4^l p_5^l p_7^k p_8^k p_9^3 p_{11}^x p_{12}^m p_0^m p_1^n p_2^3 c^x \cup p_0^m p_2^3 p_1^n p_4^l p_5^l p_7^k p_8^k p_9^3 p_{11}^x p_{12}^m p_0^m p_1^n p_2^3 c^x \mid m \geq n \geq l \geq k \geq x \geq 0 \},$$

Следует отметить, что при построении языка L -класса для приведенного выше графа модели учитывалось свойство замкнутости языка L -класса к объединения двух моделей систем [4]. Указана возможность открытия соединения как первым, так и вторым узлом. Язык P -класса, представляющий все возможные последовательности запусков переходов, является более громоздким, но включает в себя все потенциально достижимые позиции графа.

$$P(C) = \left\{ \begin{aligned} & (p_0^m p_2^3 p_1^n \mid m \geq g \geq 0) \cup (p_0^m p_3^n p_0^m p_3^n p_4^l \mid m \geq n \geq l \geq 0) \cup (p_0^m p_2^3 p_1^n \mid m \geq g \geq 0) \cup (p_0^m p_2^3 p_3^n p_{pn}^l \mid m \geq n \geq l \geq 0) \\ & \cup (p_0^m p_2^3 p_3^n p_{pn}^l \mid m \geq n \geq l \geq 0) \cup (p_0^m p_2^3 p_3^n p_4^l p_5^l p_7^k p_8^k p_9^3 \mid m \geq n \geq l \geq k \geq x \geq 0) \\ & \cup (p_0^m p_2^3 p_3^n p_4^l p_5^l p_7^k p_8^k p_9^3 p_{11}^x \mid m \geq n \geq l \geq k \geq x \geq 0) \\ & \cup (p_0^m p_2^3 p_3^n p_4^l p_5^l p_7^k p_8^k p_9^3 p_{11}^x p_{10}^b \mid m \geq n \geq l \geq k \geq b \geq 0) \\ & \cup (p_0^m p_2^3 p_3^n p_4^l p_5^l p_7^k p_8^k p_9^3 p_{11}^x p_{10}^b \mid m \geq n \geq l \geq k \geq b \geq 0) \\ & \cup (p_0^m p_2^3 p_3^n p_4^l p_5^l p_7^k p_8^k p_9^3 p_{11}^x p_{12}^m p_0^m p_1^n p_2^3 c^x \cup p_0^m p_2^3 p_1^n p_4^l p_5^l p_7^k p_8^k p_9^3 p_{11}^x p_{12}^m p_0^m p_1^n p_2^3 c^x \mid m \geq n \geq l \geq k \geq x \geq 0) \end{aligned} \right\},$$

Язык L -класса содержит последовательность, приводящую строго к заключительному состоянию системы, факт возникновения коллизии не отображается, язык P -класса содержит все возможные последовательности запусков переходов для графа Е-сети. Грамматика, построенная для языка P -класса, позволяет определить последовательность событий, приво-

дующую к возникновению коллизий и «тупиков» в системе (коллизия в сети условно определяется попаданием метки в позицию p_n).

Выводы

Применение формальных грамматик и разработанных контекстно-зависимых языков дает возможность описать последовательность изменений состояний в системе без применения имитационного моделирования. Основными классами языков, которые могут быть сформулированы для систем, построенных на основе E-сетей, являются языки L- и P- класса. Отображение динамики запусков переходов в сформулированных предложениях языков L- и P- класса позволяет установить последовательность переходов, необходимых для достижения заданной вершины, определить вероятность возникновения того или иного события в системе. Язык L-класса является наиболее мощным множеством, однако по определению он не позволяет рассмотреть все возможные достижимые позиции в системе.

Существенную роль при качественном анализе модели системы выполняет язык P-класса, который содержит наиболее полную информацию о динамике поведения системы и множестве ее достижимости, позволяет описать последовательность запусков переходов, которые приводят к возникновению коллизии или возникновению «тупика».

Список литературы: 1. *Советов Б. Я., Яковлев С. А.* Моделирование систем: Учеб. для вузов. 3-е изд. М.: Высш. шк., 2001. 343 с. 2. *Олифер В.Г., Олифер Н.А.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. СПб.: Питер, 2000. 672 с. 3. *Лосев Ю.И., Шматков С.И., Дуравкин Е. В.* Применение методов анализа E-сетей к моделям СОД // Радиотехника. 2002. №132. 4. *Питерсон Дж.* Теория сетей Петри и моделирование систем. М. Мир, 1984. 264 с. 5. *Захаров Н. Г., Рогов В. Н.* Синтез цифровых автоматов: Учеб. пособие. Ульяновск: УлГТУ, 2003. 139с. 6. *Котов В. Е.* Сети Петри. М.: Наука, 1984. 160с.

*Харьковский национальный
университет радиоэлектроники*

Поступила в редколлегию 27.09.2009