Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации

Спецификация модели управления доступом на языке темпоральной логики действий Лэмпорта

кандидат технических наук
Козачок Александр Васильевич

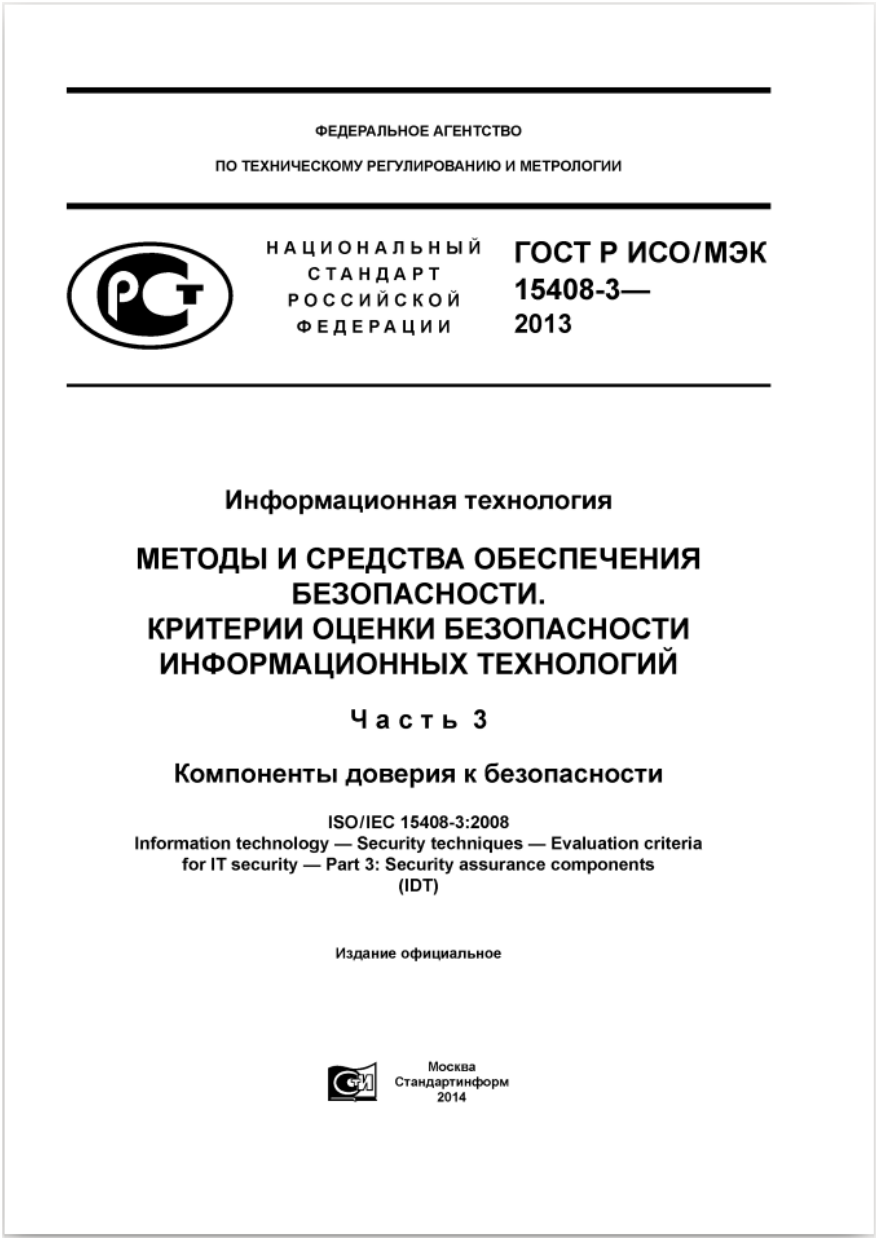
22 ноября 2018 г.

Структура доклада

1. Задача формального представления моделей управления доступом
2. Темпоральная логика действий Лэмпорта TLA$^+$
3. Спецификация модели управления доступом на TLA$^+$

Структура доклада

Актуальность задачи формального представления моделей управления доступом



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-3— 2013

Информационная технология

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ.
КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Часть 3

Компоненты доверия к безопасности

ISO/IEC 15408-3:2008
Information technology — Security techniques — Evaluation criteria for IT security — Part 3: Security assurance components (IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2014

- ADV_SPM.1 "**Формальная** модель политики безопасности"
- Оценочный уровень доверия 5, предусматривает **полуформальное** проектирование и тестирование
- Оценочный уровень доверия 6, предусматривает **полуформальную верификацию** и тестирование проекта
- Оценочный уровень доверия 7, предусматривает **формальную верификацию** проекта и тестирование [1]

Структура доклада

Темпоральная логика действий Лэмпорта TLA$^+$ I

Темпоральные операторы логики Лэмпорта:

- $\Box$ – оператор "всегда в будущем";
- $\blacksquare$ – оператор "всегда в прошлом";
- $\bigcirc$ – оператор "в следующий момент времени";
- $\ominus$ – оператор "в предыдущий момент времени";
- $\Diamond$ – оператор "однажды в будущем";
- $\blacklozenge$ – оператор "однажды в прошлом";
- $\mathcal{U}$ – бинарный оператор "до тех пор пока";
- $\mathcal{S}$ – бинарный оператор "с тех пор как".

Формулы в темпоральной логике Лэмпорта

Логические формулы в рамках предлагаемой модели управления доступа задаются следующим образом (в форме Бэкуса-Наура):

$$\begin{aligned} \langle \phi \rangle \quad \models \quad & PredAction \mid p(t_1, \ldots, t_n) \mid \neg\phi \\ & \mid \phi \vee \phi \mid \phi \wedge \phi \mid \phi \rightarrow \phi \mid \forall x : \phi \\ & \mid \exists x : \phi \mid \Box\phi \mid \Diamond\phi \mid \bigcirc\phi \mid \phi\mathcal{U}\phi \\ & \mid \blacksquare\phi \mid \blacklozenge\phi \mid \ominus\phi \mid \phi\mathcal{S}\phi, \end{aligned} \tag{1}$$

где $PredAction$ – действия, p – предикат, $t_1, \ldots, t_n$ – термы, x – переменная.

Темпоральная логика действий Лэмпорта TLA$^+$ II

Соотношения между операторами TLA$^+$

$$\Diamond F \equiv \neg\Box\neg F \qquad \blacklozenge F \equiv \neg\blacksquare\neg F$$

$$\Diamond F \equiv (F \vee \neg F)\mathcal{U}F \qquad \blacklozenge F \equiv F\mathcal{S}(F \vee \neg F)$$

Пример спецификации на языке TLA$^+$ [2]:

MODULE *HourClock*

EXTENDS *Naturals*

VARIABLE *hr*

$$\begin{aligned} \mathit{Init} &\triangleq \mathit{hr} \in (1 \,..\, 12) \\ \mathit{Next} &\triangleq \mathit{hr}' = \text{IF } \mathit{hr} \neq 12 \text{ THEN } \mathit{hr} + 1 \text{ ELSE } 1 \\ \mathit{Spec} &\triangleq \mathit{Init} \wedge \Box[\mathit{Next}]_{\mathit{hr}} \end{aligned} \tag{2}$$

THEOREM $\mathit{Spec} \Rightarrow \Box\mathit{Init}$

Структура доклада

Спецификация модели на TLA$^+$ I

Общая спецификация и предикаты действий модели

Спецификация модели управления доступом на языке TLA+:

$$Spec \triangleq Init \wedge \Box[Next]_{vars}, \tag{3}$$

$Init$ – процедура инициализация переменных модели,
$Next$ – предикат действия, изменяющий состояние модели,
$vars$ – переменные модели, $\triangleq$ – символ "равно по определению".

$$\begin{aligned} Next \triangleq \quad & \vee CreateSubjectD \vee DeleteSubjectD \\ & \vee ReadD \quad \vee WriteD \\ & \vee AppendWD \quad \vee CreateObjectD \\ & \vee DeleteObjectD \quad \vee GrantRightsD \\ & \vee RemoveRightsD \vee IncludeObjectD \\ & \vee ExcludeObjectD \vee ApproveObjectD \\ & \vee ArchiveObjectD \vee CancelObjectD \\ & \vee CopyObjectD \quad \vee AssociateCopyD \end{aligned} \tag{4}$$

Спецификация модели на TLA$^+$ II

Определение переменных модели и типов данных, описывающих объекты и субъекты модели

$$\begin{aligned} &\text{VARIABLES } A,\ O,\ S, \\ &vars \triangleq \langle A,\ O,\ S \rangle, \end{aligned} \tag{5}$$

A – множество текущих (произошедших) доступов,

O – множество объектов,

S – множество субъектов.

$$\begin{aligned} Objects \triangleq [&oid : ObjectIDs,\ meta : ObjectMeta,\ body : ObjectBody, \\ &owner : SubjectIDs,\ grantm : GrantedRights, \\ &grantb : GrantedRights,\ incl : ObjectIDs, \\ &st : ObjectStates]. \end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned} Subjects \triangleq [&sid : SubjectIDs,\ cnfl : ConfidLevels, \\ &intl : IntegrLevels,\ cat : \text{SUBSET } Categories, \\ &owner : SubjectIDs]. \end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned} &Rights \triangleq \{\text{“read”}, \text{“write”}\}, \\ &GrantedRights \triangleq \langle sid : SubjectIDs,\ r : Rights \rangle. \end{aligned} \tag{8}$$

Спецификация модели на TLA$^+$ III

Инициализация начальных значений переменных модели

$$
\begin{array}{lcl}
s0 & \triangleq & [sid \mapsto 0,\ cnfl \mapsto 1,\ intl \mapsto 1, \\
 & & cat \mapsto \{\text{“c1”}, \text{“c2”}\},\ owner \mapsto 0], \\
s1 & \triangleq & [sid \mapsto 1,\ cnfl \mapsto 1,\ intl \mapsto 0, \\
 & & cat \mapsto \{\text{“c2”}, \text{“c3”}\},\ owner \mapsto 1], \\
o0 & \triangleq & [oid \mapsto 0, \\
 & & meta \mapsto [cnfl \mapsto 0,\ intl \mapsto 0], \\
 & & body \mapsto [cnfl \mapsto 0,\ intl \mapsto 0], \\
 & & cat \mapsto \{\text{“c1”}, \text{“c2”}\}, \\
 & & owner \mapsto 1, \\
 & & grantm \mapsto \{\langle 0, \text{“write”}\rangle, \langle 0, \text{“read”}\rangle\}, \\
 & & grantb \mapsto \{\langle 0, \text{“read”}\rangle\}, \\
 & & incl \mapsto \{\}, \\
 & & copy \mapsto \{\}, \\
 & & st \mapsto \text{“work”}], \\
Init & \triangleq & \wedge A = \{\} \\
 & & \wedge S = \{s0,\ s1\} \\
 & & \wedge O = \{o0\}.
\end{array}
\tag{9}
$$

Спецификация модели на TLA$^+$ IV

Предикат действия Read

$$
\begin{aligned}
&Read(s,\ o,\ r,\ op) \triangleq \\
&\qquad \land\ A' = A \cup \{\langle s.sid,\ o.oid,\ r,\ op\rangle\} \\
&\qquad \land\ \text{UNCHANGED}\ \langle S,\ O\rangle \\
&\\
&ReadD \triangleq \exists\, r \in Rights : \\
&\qquad \exists\, s \in S : \\
&\qquad \exists\, o \in O : \\
&\qquad \exists\, op \in ObjectParts : \\
&\qquad\qquad \land\ r = \text{“read”} \\
&\qquad\qquad \land\ o.cat \subseteq s.cat \\
&\qquad\qquad \land\ \lor\ \land\ op = \text{“meta”} \\
&\qquad\qquad\qquad\ \ \land\ s.cnfl \geq o.meta.cnfl \\
&\qquad\qquad\qquad\ \ \land\ \lor \{\langle s.sid,\ r\rangle\} \subseteq o.grantm \\
&\qquad\qquad\qquad\qquad\ \lor\ o.owner = s.sid \\
&\qquad\qquad\qquad \lor\ \land\ op = \text{“body”} \\
&\qquad\qquad\qquad\ \ \land\ s.cnfl \geq o.body.cnfl \\
&\qquad\qquad\qquad\ \ \land\ \lor \{\langle s.sid,\ r\rangle\} \subseteq o.grantb \\
&\qquad\qquad\qquad\qquad\ \lor\ o.owner = s.sid \\
&\qquad\qquad \land\ Read(s,\ o,\ r,\ op).
\end{aligned}
\tag{10}
$$

Спецификация модели на TLA$^+$ V

Предикат действия CreateSubject

$$
\begin{aligned}
&CreateSubject(sp,\ sid,\ cnf,\ int) \triangleq \\
&\quad \land S' = S \cup \{[sid \mapsto sid, \\
&\qquad\qquad intl \mapsto int, \\
&\qquad\qquad cnfl \mapsto cnf, \\
&\qquad\qquad cat \mapsto sp.cat, \\
&\qquad\qquad owner \mapsto sp.sid]\} \\
&\quad \land A' = A \cup \{\langle sp.sid,\ sid,\ \text{“screate”}\rangle\} \\
&\quad \land PrintT(\langle sp.sid,\ sid,\ \text{“screate”}\rangle) \\
&\quad \land \text{UNCHANGED } \langle O\rangle
\end{aligned}
\tag{11}
$$

$$
\begin{aligned}
&CreateSubjectD \triangleq \exists\, sp \in S : \\
&\quad \exists\, sid \in SubjectIDs : \\
&\qquad \land \forall\, ss \in S : sid \neq ss.sid \\
&\qquad \land \exists\, cnf \in ConfidLevels : \\
&\qquad\quad \exists\, int \in IntegrLevels : \\
&\qquad\quad \land sp.cnfl = cnf \\
&\qquad\quad \land sp.intl = int \\
&\qquad\quad \land CreateSubject(sp,\ sid,\ cnf,\ int)
\end{aligned}
$$

Спецификация модели на TLA$^+$ V

Предикат действия CopyObject

$$
\begin{aligned}
CopyObject(s,\ o,\ x) \triangleq\ & \land O' = O \cup \{[oid \mapsto x, \\
& \quad meta \mapsto [cnfl \mapsto o.meta.cnfl, \\
& \quad intl \ \mapsto o.meta.intl], \\
& \quad body \mapsto [cnfl \mapsto o.body.cnfl, \\
& \quad intl \ \mapsto o.body.intl], \\
& \quad owner \mapsto s.sid, \\
& \quad grantm \mapsto o.grantm, \\
& \quad grantb \mapsto o.grantb, \\
& \quad cat \ \mapsto o.cat, \\
& \quad incl \mapsto o.incl, \\
& \quad st \mapsto \text{“approved”}, \\
& \quad copy \mapsto \{o.oid\}]\} \\
& \land A' = A \cup \{\langle s.sid,\ o.oid,\ \text{“copy”},\ x\rangle\} \\
& \land \text{UNCHANGED } \langle S\rangle
\end{aligned}
\tag{12}
$$

$$
\begin{aligned}
CopyObjectD \triangleq\ & \exists\, s \in S : \\
& \land O \neq \{\} \\
& \land \exists\, o \in O : \land o.owner = s.sid \\
& \qquad \land o.incl = \{\} \\
& \qquad \land o.st = \text{“approved”} \\
& \qquad \land s.cat \subseteq o.cat \\
& \qquad \land s.cnfl = o.meta.cnfl \\
& \qquad \land s.intl \geq o.meta.intl \\
& \qquad \land s.cnfl = o.body.cnfl \\
& \qquad \land s.intl \geq o.body.intl \\
& \qquad \land Cardinality(scp(o)) < 2 \\
& \qquad \land \exists\, x \in ObjectIDs : \forall\, oo \in O : \\
& \qquad\quad \land x \neq oo.oid \\
& \qquad\quad \land CopyObject(s,\ o,\ x)
\end{aligned}
$$

Спецификация модели на TLA$^+$ VI

Задание инвариантов модели: инвариант типов (инвариант консистентности)

$$
\begin{aligned}
&ObjTypeInv \triangleq \\
&\quad \land \forall\, o \in O : \land\, o.oid \in ObjectIDs \\
&\qquad\qquad \land\, o.meta \in ObjectMeta \\
&\qquad\qquad \land\, o.body \in ObjectBody \\
&\qquad\qquad \land\, o.owner \in SubjectIDs \\
&\qquad\qquad \land\, \{o.incl\} \subseteq \text{SUBSET } ObjectIDs \\
&\qquad\qquad \land\, \{o.copy\} \subseteq \text{SUBSET } ObjectIDs \\
&\qquad\qquad \land\, o.st \in ObjectStates \\
&\qquad\qquad \land\, o.cat \in \text{SUBSET } Categories \\
&TypeInv \triangleq \land\, S \subseteq Subjects \\
&\qquad \land\, ObjTypeInv \\
&\qquad \land \forall\, sn \in S : \text{IF } \exists\, sm \in S : \land\, sm \neq sn \\
&\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad \land\, sn.sid = sm.sid \\
&\qquad\qquad\qquad \text{THEN FALSE} \\
&\qquad\qquad\qquad \text{ELSE TRUE} \\
&\qquad \land \forall\, on \in O : \text{IF } \exists\, om \in O : \land\, om \neq on \\
&\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad \land\, on.oid = om.oid \\
&\qquad\qquad\qquad \text{THEN FALSE} \\
&\qquad\qquad\qquad \text{ELSE TRUE}
\end{aligned}
\tag{13}
$$

Спецификация модели на TLA$^+$ VII

Задание инвариантов модели: инвариант безопасности

$$
\begin{array}{l}
Safety \triangleq \ \land \forall\, o \in O : \ \land\ o.meta.cnfl \leq o.body.cnfl \\
\qquad\qquad\qquad\qquad\ \land\ o.meta.intl = o.body.intl \\
\qquad\qquad\qquad\qquad\ \land \text{IF } o.incl \neq \{\} \\
\qquad\qquad\qquad\qquad\quad \text{THEN } \forall\, i \in o.incl : \\
\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad \land \exists\, oi \in O : \\
\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\quad \land\ oi.oid \neq o.oid \\
\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\quad \land\ oi.oid = i \\
\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\quad \land\ o.grantm \subseteq oi.grantm \\
\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\quad \land\ o.grantb \subseteq oi.grantb \\
\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\quad \land\ o.st = oi.st \\
\qquad\qquad\qquad\qquad\quad \text{ELSE } \text{TRUE} \\
\qquad\qquad\qquad\qquad\ \land\ Cardinality(scs(o)) \leq 1 \\
\qquad\qquad\qquad\qquad\ \land\ Cardinality(scp(o)) \leq 2 \\
\qquad\qquad\qquad\qquad\ \land \exists\, s \in S : \\
\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\ \land\ o.owner = s.sid \\
\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\ \land \text{IF } o.grantm \neq \{\} \\
\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\quad \text{THEN } \neg o.grantm \subseteq (\{s.sid\} \times Rights) \\
\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\quad \text{ELSE } \text{TRUE} \\
\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\ \land \text{IF } o.grantb \neq \{\} \\
\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\quad \text{THEN } \neg o.grantb \subseteq (\{s.sid\} \times Rights) \\
\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\quad \text{ELSE } \text{TRUE} \\
\land \neg\exists\, o \in O : \ \land\ \lor\ o.st = \text{“archived”} \\
\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\ \lor\ o.st = \text{“cancelled”} \\
\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\quad \land\ \lor\ o.grantm \cap (SubjectIDs \times \{\text{“write”}\}) \neq \{\} \\
\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\ \lor\ o.grantb \cap (SubjectIDs \times \{\text{“write”}\}) \neq \{\}
\end{array}
\tag{14}
$$

Спецификация модели на TLA$^+$ VIII

Верификация модели методом "Model Checking"

- Верификация разработанной модели производилась с помощью инструментального средства TLC2 версии 2.13.
- Время, затраченное на верификацию, составило порядка 2835 минут (более 47 часов) на сервере с операционной системой Ubuntu 16.04, 24 ядра Intel Xeon E5-2620 v2 2,10 Ггц и 32 Гб оперативной памяти.
- Было проверено 16 284 800 554 состояний при средней производительности системы 5 743 616 состояний в минуту.

Теорема (О выполнении инвариантов для спецификации модели)

$$Spec \implies \Box(TypeInv \wedge Safety)$$

Библиография:

1. Моделирование и верификация политик безопасности управления доступом в операционных системах. /. — П. Н. Девянин, Д. В. Ефремов, В. В. Кулямин, А. К. Петренко, А. В. Хорошилов, И. В. Щепетков. — Институт системного программирования им. В.П. Иванникова РАН, 2018. — 181 с. — URL: http://www.ispras.ru/publications/2018/security_policy_modeling_and_verification/.
2. *Lamport Leslie*. — Specifying Systems, The TLA+ Language and Tools for Hardware and Software Engineers. — Addison-Wesley, 2002. — ISBN 0-3211-4306-X.

Спасибо за внимание!

Вопросы?

ИСП РАН

a.kozachok@academ.msk.rsnet.ru