



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ «Информатика и системы управления»

КАФЕДРА «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»

РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

По «Научно-исследовательская работа»

*Тема: «Моделирование программного обеспечения на
основе сетей Петри»*

Студент

ИУ7И-76Б

(Группа)

(Подпись, дата)

Нгуен Ф. С.

(И.О. Фамилия)

Руководитель

(Подпись, дата)

Рудаков И.В.

(И.О. Фамилия)

Москва, 2021 г.

Оглавление

<i>Введение</i>	4
1. Аналитическая часть	5
1.1. Классические сети Петри	5
1.1.1. Понятие сети Петри	5
1.1.2. Графы Сети Петри	5
1.1.3. Маркировка	6
1.1.4. Правила выполнения сетей Петри	7
1.1.5. Пространство состояний сети Петри	8
1.1.6. Некоторые свойства сетей Петри	8
1.2. Параллельные процессы	10
1.3. Расширения сетей Петри	11
1.3.1. Сети с приоритетом	11
1.3.2. Ингибиторные сети	11
1.3.3. Цветные сети Петри	12
1.3.4. Временные сети Петри	13
1.4. Сети Петри и параллельные вычисления	13
1.5. Вложенные сети Петри	15
1.5.1. Элементарные сети Петри	15
1.5.2. Сети Петри высокого уровня	16
1.5.3. Вложенные сети Петри	17
1.5.4. Вложенные сети Петри с охранами на переходах:	21
1.6. Анализ систем умного дома	21
1.6.1. Подсистема климат-контроля	22
1.6.2. Подсистема освещения	22
1.6.3. Подсистемы безопасности и охраны	23
1.7. Выводы из аналитического раздела	24
2. Конструкторский раздел	25
2.1. Требования к моделированию	25
2.2. Описание компонентов системы	25
2.2.1. Описание системы освещения:	26
2.2.2. Описание системы климат-контроля	28
2.2.3. Описание системы безопасности и охраны	30
2.3. Проектирование взаимосвязь между компонентами	32
2.4. Некоторые предустановленные контексты	Error! Bookmark not defined.
3. Технологический раздел	35
4. Исследовательский раздел	35
<i>Список литературы</i>	36

Введение

Разработка инструментов моделирования и анализа поведения распределенных систем является актуальной задачей, особенно в связи с постоянным увеличением сложности проектируемых и исследуемых систем.

Сети Петри - один из наиболее распространенных современных формализмов моделирования и анализа параллельных распределенных систем.

В настоящее время проводится большое количество как теоретических исследований в этой области, так и реализации практических инструментов для разработки распределенных алгоритмов на основе сетей Петри.

Также разрабатывается ряд программных комплексов на основе сетей Петри, дополненных конструкциями объектно-ориентированного программирования.

В то же время добавление определенных языковых конструкций часто производится на основе требований приложений без определения их формальной семантики.

Цель работы: Моделирование на основе сети Петри программного обеспечения управления умного дома (включая умные устройства, датчики и устройства управления).

Требуется решить следующие задачи:

1. Изучение сетей Петри;
2. Изучение классификации сетей Петри;
3. Изучение сетей Петри высокого уровня и Вложенных сетей Петри;
4. Разработка объектов программного обеспечения.

1. Аналитическая часть

1.1. Классические сети Петри

Сети Петри — аппарат для моделирования динамических дискретных систем (преимущественно асинхронных параллельных процессов).

1.1.1. Понятие сети Петри

Сеть Петри определяется как четверка $\langle P, T, I, O \rangle$

где $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ — конечные множества позиций,

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ — конечные множества переходов,

I и O — множества входных и выходных функций (отображение из переходов в комплекты позиций).

Пример 1: сети Петри

$C = (P, T, I, O)$

$P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5\}$

$T = \{t_1, t_2, t_3, t_4\}$

X	T1	T2	T3	T4
I(x)	{p1}	{p2, p3, p5}	{p3}	{p4}
O(x)	{p2, p3, p5}	{p5}	{p4}	{p2, p3}

1.1.2. Графы Сети Петри

Сеть Петри представляет собой двудольный ориентированный граф, в котором позициям соответствуют вершины, изображаемые кружками, а переходам — вершины, изображаемые утолщенными черточками; функциям I соответствуют дуги, направленные от позиций к переходам, а функциям O — от переходов к позициям.

На рисунке 1 показана сеть Петри, соответствует пример 1.

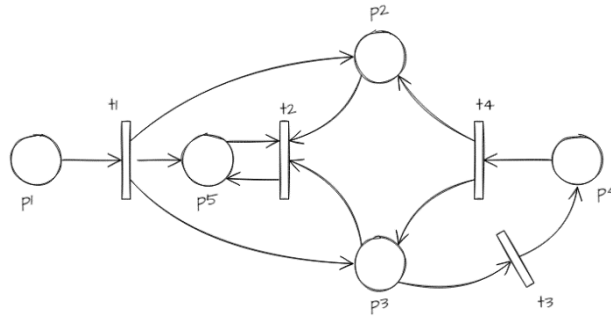


Рисунок 1 сеть Петри

Позиция, у которых нет входящих дуг, называются входными.

Позиция, у которых нет исходящих дуг, называются выходными.

1.1.3. Маркировка

Каждая позиция сети Петри может содержать ноль или более маркеров. Все маркеры считаются одинаковыми и неотличимыми друг от друга. Распределение маркеров по позициям называют маркировкой (μ). Маркировка и может быть также определена как n -вектор $\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)$, $n = |P|$.

На рисунке 2 показан пример сеть Петри с маркировкой $\mu = (0, 2, 0, 5, 1)$.

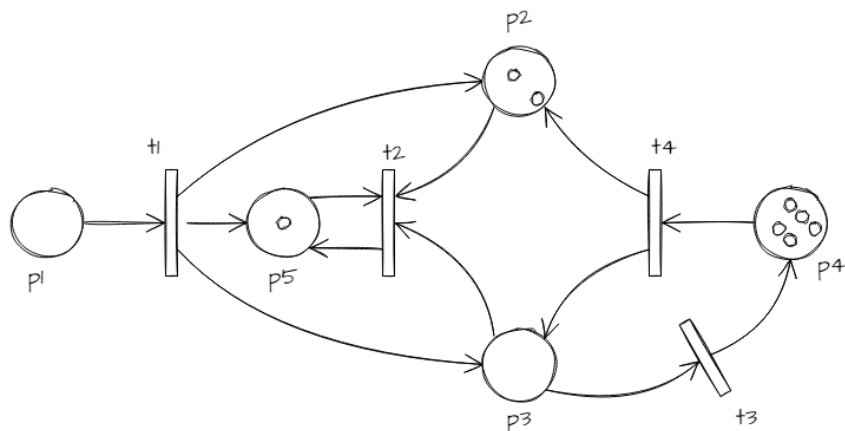


Рисунок 2 сеть Петри с маркировкой $\mu = (0, 2, 0, 5, 1)$

1.1.4. Правила выполнения сетей Петри

Выполнением сети Петри управляют количество и распределение маркеров в сети.

Переход запускается удалением маркеров из его входных позиций и образованием новых маркеров, помещаемых в его выходные позиции.

Перенос маркеров выполняется по следующей схеме.

- Переход t является **активным**, если каждая его входная позиция содержит по крайней мере одну метку (более точно — по одной метке на каждую входящую в этот переход дугу).
- Активный переход может сработать, при срабатывании переход поглощает по одной метке с каждой своей входной позиции и размещает по одной метке на каждой своей выходной позиции (по одной метке на каждую исходящую дугу).
- В каждый момент времени для срабатывания из всех активных переходов недетерминированным образом выбирается один. Если активных переходов нет, то работа сети на этом завершается.

Последовательность переходов σ , в которой i -ый переход - сработавший на i -ом шаге работы сети, называется последовательностью срабатываний сети Петри.

Последовательность срабатываний однозначно определяет последовательность маркировки μ_i , где μ_0 является начальной маркировкой после срабатывания t -го перехода, маркировка μ преобразуется в маркировку μ' , будем обозначать кратко: $\mu \xrightarrow{t} \mu'$.

На рисунке 3 показан пример работы сети Петри для последовательности срабатываний $\sigma = [t_1, t_3]$.

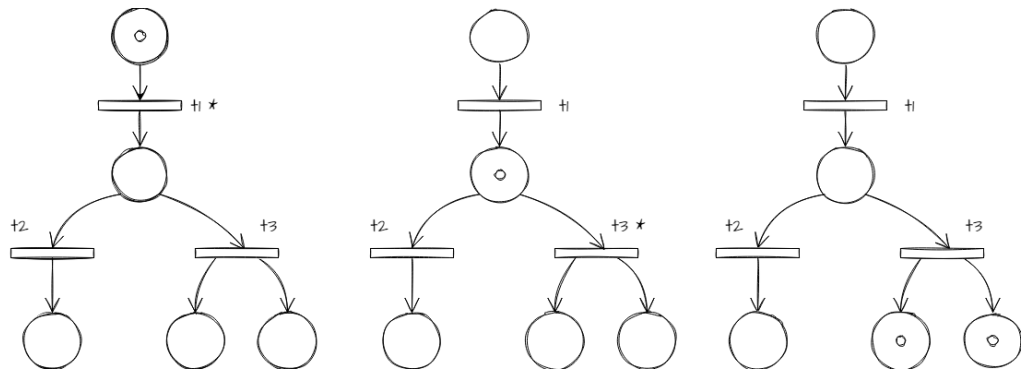


Рисунок 3. работы сети Петри для $\sigma = [t1, t3]$.

1.1.5. Пространство состояний сети Петри

Состояние сети Петри определяется ее маркировкой. Запуск перехода изменяет состояние сети Петри посредством изменения маркировки сети.

Пространство состояний сети Петри, обладающей i позициями, есть множество всех маркировок. Изменение в состоянии, вызвано запуском перехода, определяется функцией изменения, которую мы назовем функцией следующего состояния. Когда эта функция применяется к маркировке p (состоянию) и переходу t_i она образует новую маркировку (состояние), которая получается при запуске перехода i , в маркировке p . Так как i , может быть запущен только в том случае, когда он разрешен, то функция не определена, если t не разрешен в маркировке p . Если же t разрешен, то $b(p, t, u)$, где u есть маркировка, полученная в результате удаления фишек из входов t ; и добавления фишек в выходы t .

Множество достижимых Маркировка R : наименьшее множество маркировок, удовлетворяет двум условиям:

$$1. \mu \in R(\mu)$$

$$2. \text{Если } \mu' \in R(\mu), \text{ для некоторого перехода } t: \mu' \xrightarrow{t} \mu'' \text{ То } \mu'' \in R(\mu)$$

1.1.6. Некоторые свойства сетей Петри

Безопасность: СП называется безопасной если все позиции сети в безопасности. позиция в сети безопасна, если количество фишек в ней никогда не превышает 1.

К-ограниченность: СП называется k-ограниченным если все его позиции k-ограничены. Позиция является k-ограниченной, если количество фишек в нем не может превышать целое число k. СП безопасная - 1-ограниченная.

$$\forall \mu \in M, \forall p \in P: \mu(p) \leq k \quad (1)$$

СП называется **строго сохраняющим**, если общее количество фишек в сети остается постоянным.

$$\forall \mu_1, \mu_2 \in M, \sum_{i=1}^n \mu_1(p_i) = \sum_{i=1}^n \mu_2(p_i) \quad (2)$$

Живая сеть петри: если все его переходы живы.

Переход называется живым, если из любого состояния, достижимого из начального, возможен переход в любое другое достижимое состояние. Достижимость СП заключается в возможности достижения заданных маркировок.

$$\forall \mu \in M, \exists \mu' \in M, \mu \xrightarrow{t} \mu' \quad (3)$$

Перегруженность: маркировка μ , достигаемая из маркировки μ_0 , считается мертвым, если нет перехода, который можно запустить, начиная с μ .

$$\forall \mu \in M, \nexists t \in T, \mu \xrightarrow{t} \mu', \mu' \in M \quad (4)$$

Обратимость: СП называется обратимой если каждая маркировка μ получается из μ_0 , то μ_0 также получается из μ .

$$\forall \mu \in R(\mu_0), \exists t \in T: \mu \xrightarrow{t} \mu_0 \text{ (или } \mu_0 \in R(\mu) \text{)} \quad (5)$$

1.2. Параллельные процессы

Более адекватной во многих случаях являются интерпретации сетей Петри, в которых процессы могут обрабатываться одновременно. В стандартной модели такой сети предполагается, что время срабатывания всех переходов является одинаковым.

Конфликтом в сети Петри называется ситуация, когда сразу несколько активных переходов претендуют на одну метку некоторого места. При последовательном срабатывании переходов конфликты никак не учитываются, однако при параллельной интерпретации требуется некоторый способ их разрешения.

Пример конфликта показан на рисунке 0.4, на котором переходы t_1 и t_2 конфликтуют из-за общей метки в месте p .

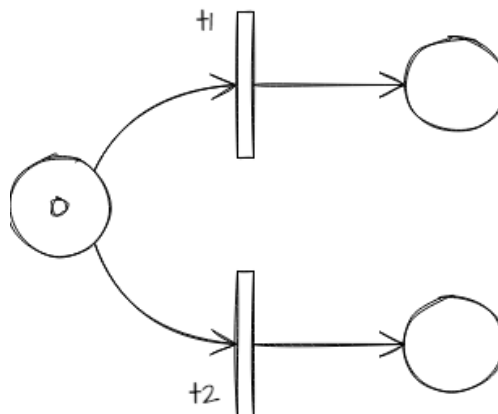


Рисунок 4. Пример конфликта

Стандартная схема параллельной обработки переходов в сетях Петри выглядит следующим образом: из всех активных в данный момент времени переходов выбирается некоторое их бесконфликтное подмножество (никакие два из выбранных переходов не имеют взаимного конфликта); все эти переходы срабатывают одновременно. Как и выше, если активных переходов нет, то сеть завершает свою работу.

1.3. Расширения сетей Петри

В настоящее время имеется большое количество различных вариаций сетей Петри, мы рассмотрим несколько наиболее стандартных расширений — сети с приоритетами, ингибиторные, цветные и временные сети Петри.

1.3.1. Сети с приоритетом

Сеть Петри с приоритетами — это стандартная сеть Петри, каждому переходу t которой поставлено в соответствие некоторое число Prt , называемое приоритетом этого перехода. Приоритеты используются для более полного управления разрешением конфликтных ситуаций. Если два перехода t_1 и t_2 конфликтуют из-за некоторого общего ресурса, то преимущество получит тот, который имеет больший приоритет. В частности, если все переходы данной сети имеют разные приоритеты, то конфликтов в такой сети вообще не будет. На практике, однако, достаточно определить только несколько приоритетов для потенциально конфликтных переходов.

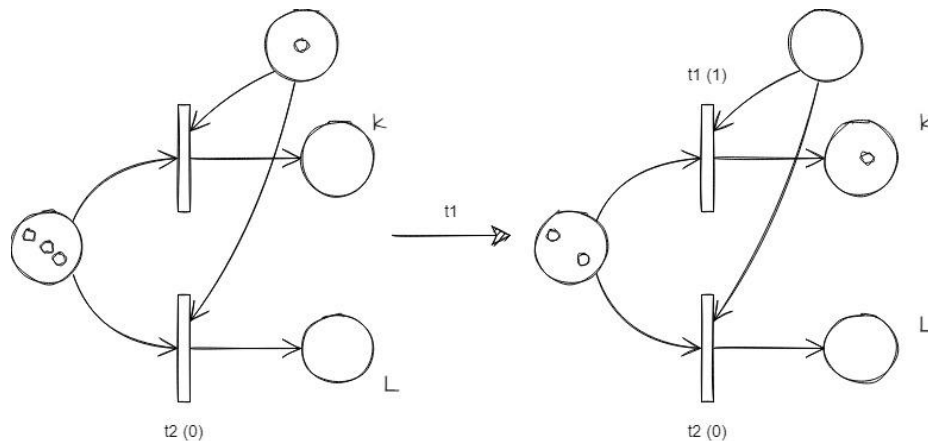


Рисунок 5 Представление сети Петри с приоритетом

1.3.2. Ингибиторные сети

В ингибиторных сетях Петри к стандартным дугам, ведущим из мест в переходы, добавляется специальный вид ингибиторных (тормозящих) дуг. Такая дуга, при наличии в соответствующем месте хотя бы одной

метки, препятствует активации соответствующего перехода. Поэтому, такой переход будет активизирован только тогда, когда в данном месте закончатся все метки. Таким образом, тормозящие дуги позволяют явным образом выполнять проверку на отсутствие меток в заданном месте.

На рисунке 6 показана реализация логических операций с использованием (пустое место соответствует логическому нулю, а место с одной меткой — логической единице).

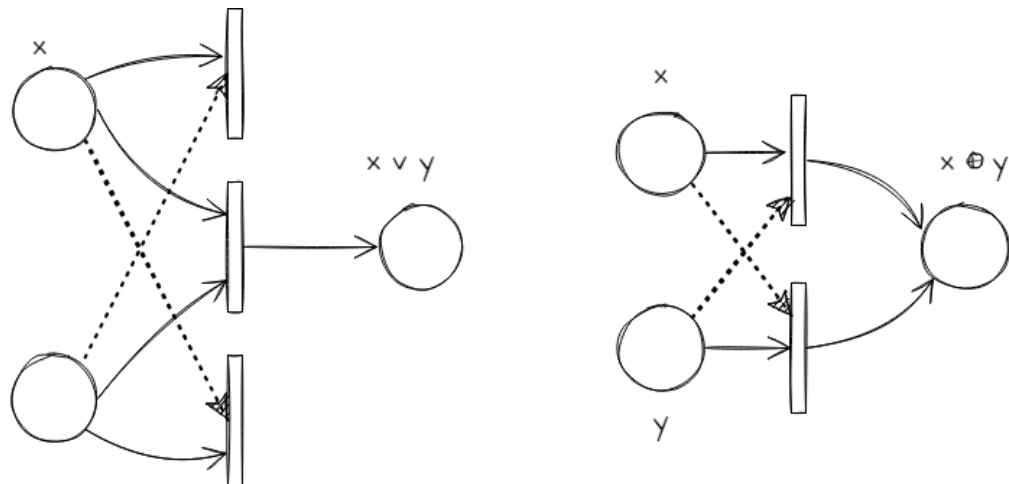


Рисунок 6 Реализация логических операций с использованием

1.3.3. Цветные сети Петри

В традиционных сетях Петри все метки по определению являются одинаковыми, следовательно, неразличимыми. Однако в тех системах, которые моделируются сетями Петри, метки часто представляют собой различные объекты. В цветных сетях Петри каждая метка имеет свое значение (цвет), что дает возможность отличать одни метки от других. Значение метки может быть простым, или любого сколь угодно сложного типа.

Переходы в цветных сетях Петри определяют отношения между значениями входных меток и выходных меток. Для этого входным дугам каждого перехода приписываются предусловия, которые определяют, метки с какими значениями поглощаются данным переходом. Выходные

дуги перехода определяют (с помощью выражений) значения меток, которые будут помещены в соответствующие места.

1.3.4. Временные сети Петри

Для моделирования систем, в которых отдельные подпроцессы имеют различную продолжительность, можно использовать временные сети Петри. В таких сетях каждая метка получает дополнительный атрибут - время задержки.

Задержки, которые назначаются меткам, приписываются дугам, ведущим от переходов. Соответственно, все метки, поставляемые по какой-либо дуге, будут получать одну и ту же задержку, которая приписана этой дуге.

1.4. Сети Петри и параллельные вычисления

Сети Петри по своему определению обладают встроенным параллелизмом, поэтому они традиционно используются для моделирования разнообразных параллельных процессов.

Стандартная интерпретация сетей Петри с точки зрения параллельных вычислительных процессов заключается в том, что метки представляют собой данные, места - память, в которых хранятся данные, а переходы - подпрограммы, которые обрабатывают эти данные. Каждая подпрограмма ожидает, когда будут готовы все ее входные данные, после чего производит необходимые вычисления и помещает результаты на свои выходные места. Если какие-либо два перехода не конфликтуют из-за данных, то при некоторых условиях соответствующие им подпрограммы могут быть выполнены одновременно, т. е. параллельно.

На рисунке 7 показана сеть Петри, моделирующая две стандартные операции fork и join для управления параллельными процессами.

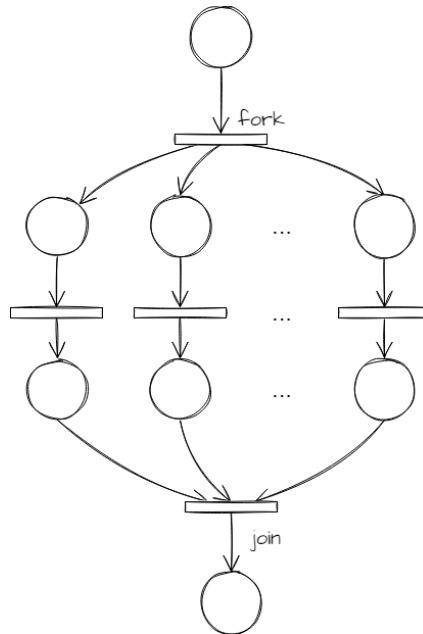


Рисунок 7 Моделирование операций fork и join сетью Петри

Так же легко сети Петри позволяют моделировать и конвейерную обработку данных.

Для организации взаимодействия параллельных процессов применяются различные схемы и механизмы синхронизации, критические секции, семафоры, операции обмена и т. д., которые относительно просто и наглядно моделируются с помощью сетей Петри.

На рисунке 8 показан фрагмент сети Петри, который реализует механизм взаимного исключения, применяемый для обеспечения корректного доступа нескольких процессов к одному разделяемому ресурсу. В качестве такого ресурса может выступать какая-нибудь структура данных (например, файл) или устройство (принтер). Часть процесса, которая используется для доступа и модификации разделяемого объекта, называется критической секцией. Выполнение процессом критической секции должно блокировать выполнение другими

процессами своих критических секций, связанных с тем же разделяемым объектом.

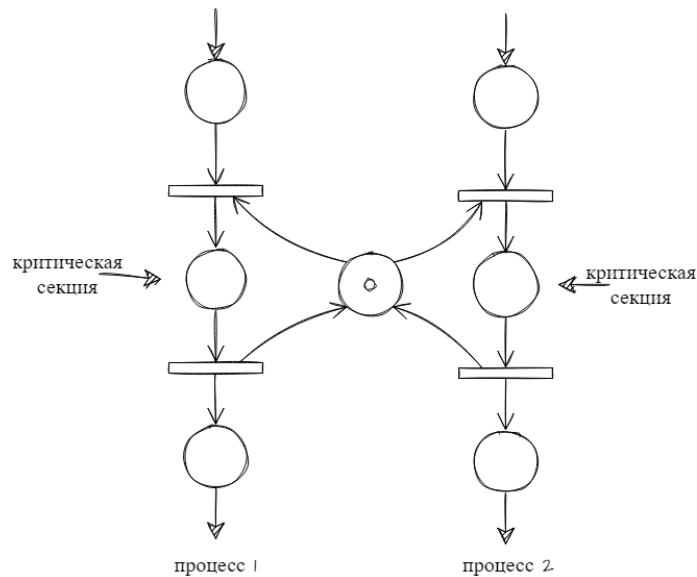


Рисунок 8. Моделирование процесса взаимного исключения

1.5. Вложенные сети Петри

Во вложенных сетях, фишки в позициях сети сами могут быть сетями Петри.

Вложенная сеть состоит из системной сети и элементных сетей, представляющих сетевые фишки.

1.5.1. Элементарные сети Петри.

В элементарных сетях Петри разрешаются только разметки, в которых каждая позиция содержит не более одной фишки. Соответственно, срабатывание перехода может перемещать из некоторой позиции или добавлять в некоторую позицию не более одной фишки. Поэтому веса всех дуг в элементарной сети одинаковы и равны 1.

В позиции p может быть маркер, а может и не быть. Следовательно, позиция p можно рассматривать как некоторое условие. Условие может быть истинным (позиция p содержит фишку) или ложно (позиция p пуста).

Элементарные сети Петри обладают свойствами Безопасности.

1.5.2. Сети Петри высокого уровня.

Сети Петри высокого уровня характеризуются следующими особенностями:

- разметка сети задается с помощью индивидуальных, т. е. Различимых между собой фишек;
- позиции могут содержать corteжи (n-ки) индивидуальных фишек; размер corteжа определяется арностью позиции;
- переходы могут срабатывать в различных режимах, удаляя фишки из одних позиций и добавляя их в другие, при этом единственным априорным ограничением является требование локальности, т. Е. В любом режиме переход может удалять фишки только из своих входных позиций и добавлять только в выходные позиции.

В сетях Петри высокого уровня дугам приписываются выражения, содержащие переменные. Различные режимы срабатывания переходов задаются различными означиваниями переменных в этих выражениях. При этом переменной в качестве значения приписывается фишка некоторого типа, а значением выражения является мультимножество фишек.

Сетью Петри высокого уровня называется набор

$$\mathbf{BNL} = (\mathbf{P}, \mathbf{T}, \mathbf{I}, \mathbf{O}, \mathbf{D}, \Phi, \mathbf{W}, \mathbf{K}, \mathbf{M}_0),$$

Где:

\mathbf{P} - множество позиций (при каждой позиции $p \in \mathbf{P}$ сопоставлено натуральное число $n \geq 1$, называемое арностью позиции p);

\mathbf{T} - множество переходов;

\mathbf{I} и \mathbf{O} - множества входных и выходных функций (отображение из переходов в комплекты позиций);

\mathbf{D} - функция, сопоставляющая каждой позиции $p \in \mathbf{P}$ некоторый непустой домен $\mathbf{D}(p)$;

$M : P \rightarrow M(D(p))$ – маркировка;

$K : P \rightarrow M(D(p))$ — функция емкости позиций;

Φ — функция, сопоставляющая каждому переходу t некоторое непустое множество режимов срабатывания $\Phi(t)$;

$W(p,t) \in M(D(p) \times \Phi(t))$ - мультимножество фишек, удаляемых из позиции p ;

$W(t,p) \in M(\Phi(t) \times D(p))$ - мультимножество фишек, добавляемых в позицию p ;

M_0 - начальная разметка.

На рисунке 9 показана сеть Петри высокого уровня, с 3 типами фишек А,

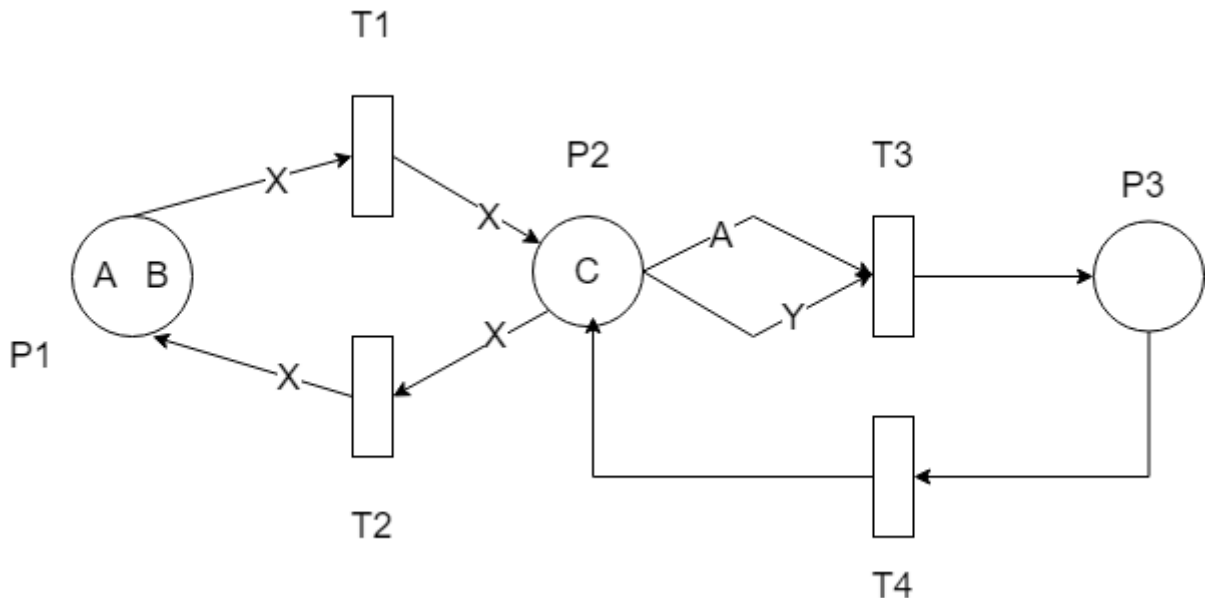


Рисунок 9. сеть Петри высокого уровня

В,С.

Переменная x может принимать любое из значений А, В и С. Три возможных означивания переменной x задают три режима срабатывания для каждого из переходов t_1 и t_2 . выражение на дуге от P_2 к T_3 заменено на выражение А. Это означает, что T_3 не будет активирован, пока в P_2 не будет фишки А.

1.5.3. Вложенные сети Петри

Вложенная сеть Петри - это сеть Петри высокого уровня (системная сеть), где каждая фишка представляет собой маркированную элементную сеть Петри (сетевая фишка).

Во вложенных сетях предусмотрен механизм синхронизации срабатывания переходов в системной и элементных сетях.

Два вида синхронизации:

- Вертикальная, когда переход в системной сети срабатывает одновременно с некоторыми переходами в элементных сетях;
- Горизонтальная, когда одновременно срабатывают два перехода в элементных сетях (находящихся в одной и той же позиции системной Сети).

Для этого некоторые переходы системной сети помечены специальными метками. Переходы в элементной сети, которые должны срабатывать одновременно с переходом с меткой M в системной сети, помечены дополнительной к M меткой \bar{M} ;

$Var = \{v, \dots\}$ — множество имен переменных.

Con_{atom} - множество атомарных констант.

Con_{net} — множество сетевых констант.

$Con = Con_{atom} \cap Con_{net}$ - множество имен констант.

A_{net} - множество атомарных фишек.

Язык выражений $L(Atom)$ над множеством атомов $Atom$ определим следующим образом:

- $atom \in Atom$ является выражением в $L(Atom)$;
- Если $atom_1, \dots, atom_n \in Atom$, то кортеж $(atom_1, \dots, atom_n)$ является выражением размерности n в $L(Atom)$;
- Если $e_1, e_2 \in Expr(Atom)$ — выражения одинаковой размерности n , то $(e_1 + e_2)$ является выражением размерности n в $Expr(Atom)$.

❖ *Двухуровневой вложенной сетью Петри (NPN)* называется набор:

$$NPN = (Atom, Lab, SN, (EN1, \dots, ENk), \Lambda),$$

Где

$Atom = Var \cup Con$ — множество атомов;

$Lab = Lab_v \cup Lab_h$ — множество меток (Lab_v для вертикальной, Lab_h - для горизонтальной);

$EN1, \dots, ENk$ - элементные сети вложенной сети NPN;

$SN = (N, L, U, W, M0)$ - сеть Петри высокого уровня;

L - язык выражений;

$U = (A, I)$ - модель языка L ;

$A = A_{net} \cup A_{atom}$;

Функция $I: Con \rightarrow A$ - задает некоторую интерпретацию констант языка;

Λ - частичная функция пометки переходов, помечающая некоторые переходы системной сети метками из Lab_v и некоторые переходы в элементных сетях метками из множества Lab .

Разметка вложенной сети определяется как разметка ее системной сети.

Переход t сети SN является активным при некоторой разметке M и означивании b в том и только том случае если всякая входная для t позиция p содержит мультимножество, являющееся значением приписанного соответствующей входной дуге выражения $W(p, t)$.

На рисунке 10-11 показана вложенная сеть петри с системными (SN) и элементными сетями (EN).

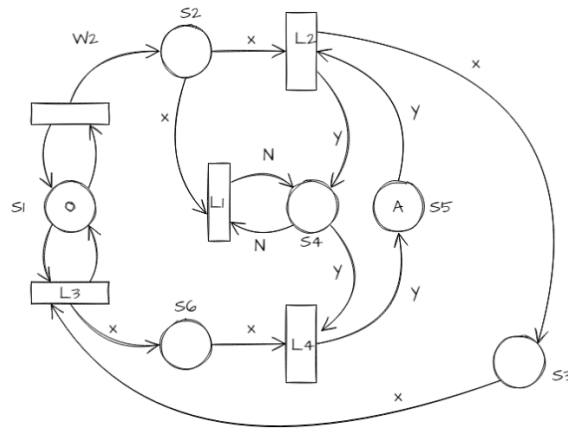


Рисунок 10. Системная сеть (SN)

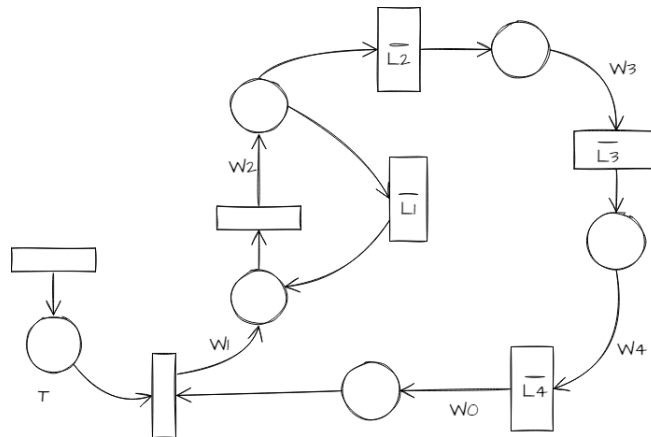


Рисунок 11. Элементная сеть EN

Для вложенной сети петри определяются следующие четыре вида шагов срабатывания:

1. Системно-автономный шаг:

Если t — непомеченный переход системной сети и является активным при разметке M и означивании b , то срабатывание перехода t в сети SN называется системно-автономным шагом.

2. Элементно-автономный шаг:

Пусть $(\alpha_1, \dots, \alpha_n) \in M(p)$ — кортеж фишек, находящийся в позиции p системной сети при разметке M , $\alpha_i = (EN, m)$ — сетевая фишка в этом кортеже, тогда локальное срабатывание непомеченного активного перехода t в сетевой

фишке α_i , при этом сеть EN остается в той же позиции системной сети SN, называется элементарно-автономным шагом.

3. Шаг горизонтальной синхронизации:

Пусть t_1, t_2 - дополнительные активные переходы в сетевых фишках α_i и α_j соответственно. Одновременное локальное срабатывание двух переходов t_1 и t_2 , при этом сети EN1 и EN2 остаются в той же позиции системной сети SN, называется шагом горизонтальной синхронизации.

4. Шаг вертикальной синхронизации

Одновременное срабатывание перехода t в системной сети SN и дополнительных к нему переходов в элементарной сети $\alpha_1, \dots, \alpha_k$, называется шагом вертикальной синхронизации.

1.5.4. Вложенные сети Петри с охранами на переходах:

Во вложенной сети Петри с охраной, наложить на переход соответствующее условие – охрану.

$G : T \rightarrow L$ — функция охраны, приписывающая каждому переходу $t \in T$ некоторое выражение булевского типа.

Переход t может сработать только при истинном функции охраны. С помощью охраны можно накладывать условие как на структуру сетевой фишки, так и на ее разметку.

1.6. Анализ систем умного дома

Система умного дома должна включать следующие основные подсистемы:

- ✓ Подсистема климат-контроля;
- ✓ Подсистема освещения;
- ✓ Подсистема бытовой техники;
- ✓ Подсистемы безопасности и охраны.

Каждая из подсистем отвечает за мгновенную реакцию на срабатывание датчиков, сигнализирующую об изменении соответствующего входного параметра системы Умный Дом, с целью дальнейшей коррекции системы в заданной области (областях).

Система Умного дома также должна включать

- ✓ Удаленное управление умным домом;
- ✓ Внутренний модуль управления умным домом;
- ✓ Модуль центрального управления;
- ✓ Контроллеры подсистем Умного дома.

1.6.1. Подсистема климат-контроля

Подсистема климат-контроля управляет устройствами, предназначенными для обогрева, вентиляции, кондиционирования воздуха в помещениях, а также подогревом пола, в зависимости от времени суток и года.

Когда пользователя нет дома, система работает на минимальной мощности для поддержания климата в доме.

Когда пользователь приходит домой, система автоматически регулирует температуру, влажность и качество воздуха в соответствии с предпочтениями пользователя (по заданным параметрам).

1.6.2. Подсистема освещения

Система управления освещением позволяет регулировать яркость и яркость всех типов источников света, включая лампы накаливания, компактные люминесцентные, галогенные и светодиоды, до заданных уровней для достижения большей

экономии энергии, обеспечения визуального интереса, повышения безопасности и создания настроения для определенных случаев. При управлении системой домашней автоматизации работа домашнего освещения может быть синхронизирована с другими подсистемами. Это дает еще большие преимущества; например, свет может включаться и выключаться в соответствии с настройками системы безопасности.

Лампа работает в режимах: “Вкл”, “Выкл”. ее яркость может варьироваться на разных уровнях (например, очень низкая, низкая, нормальная, высокая, очень высокая).

В подсистеме освещения имеются светоизмерительные датчики. Когда датчик показывает, что уровень освещенности низкий, система посылает сигнал включения на лампы.

1.6.3. Подсистемы безопасности и охраны

Подсистема безопасности непрерывно контролирует и реагирует на все тревоги и сработки в доме, обеспечивает удаленный контроль за событиями в доме, контролирует пожарную безопасность и безопасность в сфере коммунальных домовых систем.

В систему безопасности входят охранные датчики и громкоговорители. Когда эти датчики обнаруживают злоумышленника, он отправит сигнал системе освещения и громкоговорителям для предупреждения, в дополнение к отправке уведомлений пользователям, которые были настроены заранее.

Кроме того, в системе также есть датчики пожарной сигнализации и спринклеры, когда датчик пожарной сигнализации

обнаруживает возгорание (из-за повреждения электрооборудования, забыв выключить газовую плиту,...), система автоматически активирует спринклеры, при этом также отправка сообщений predetermined пользователям.

1.7. Выводы из аналитического раздела

В данном разделе было рассмотрено типов сетей Петри а также их характеристики. Проанализированы характеристики компонентов системы умного дома.

2. Конструкторский раздел

В данном разделе будут рассмотрены требования к моделированию , описание компоненты системы умного дома и спроектирование взаимосвязь между ими

2.1.Требования к моделированию

Моделирование должно соответствовать следующим требованиям:

- Должен быть обеспечен комфорт пользователя;
- Свести к минимуму действия пользователя, или другими словами, максимально увеличить степень автоматизации умного дома;
- Максимально сократить потребляемую энергию.

2.2.Проектирование взаимосвязь между компонентами

Для представления взаимосвязи (синхронизации) между компонентами было предложено присваивать каждому переходу метку. На основе присвоенных меток можно узнать, какие переходы синхронизированы друг с другом.

По соглашению вертикальные синхронные переходы помечаются буквами «I» и «-I» (дополнительно). Эти типы меток означают, что они должны быть активированы одновременно.

Для некоторых переходов не требуется, чтобы все они были активны одновременно, но связь между ними представляет собой «если, то». Должен использовать другой метод присвоения меток для представления этой связи. Я предлагаю использовать следующий метод:

Переход T2 активен, если активен переход T1 (или если T1 то T2), то мы присваиваем переходу T2 метку со значением «*», добавляя метку перехода T1.

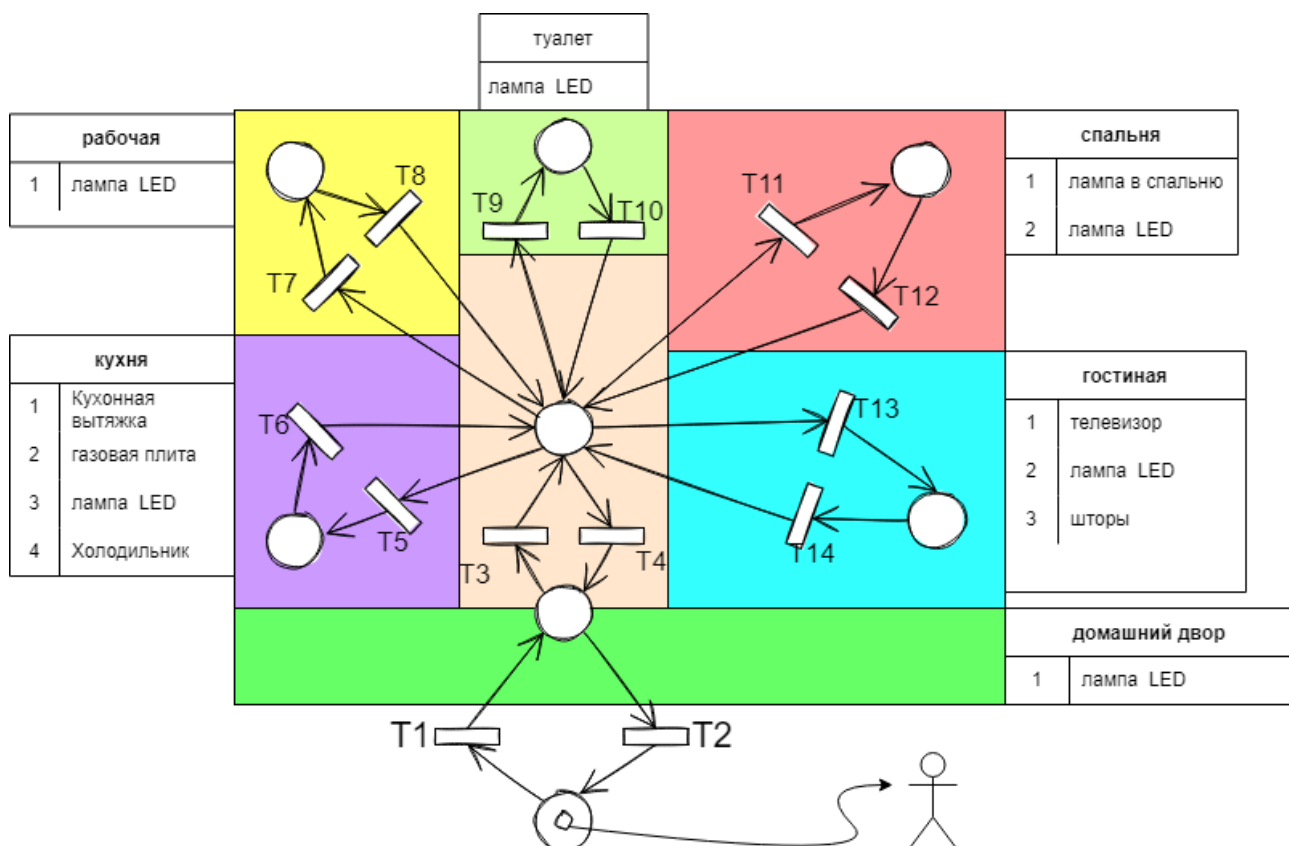


Рисунок 12. Сеть Петри, представляющая местоположение пользователя

В сеть Петри на рисунке 17 каждый жетон представляет одного человека. В начале пользователь отсутствует. Сценарий этой сети заключается в том, что пользователь вводит пароль (или сканирует магнитную карту), происходит аутентификация (как описано в сетке Петри для двери), а затем пользователь войдет в дом (в центральной позиции). Пользователь может перемещаться между комнатами (через центральную позицию)

2.3. Описание компонентов системы

2.3.1. Описание системы освещения:

Система освещения включает лампы и шторы.

Простая лампа обладают двумя состояниями “включено” и “выключено”. Есть два перехода между ними.

На рисунке 12 сеть Петри для описания простой лампы.

P1 – “включено”, P2- “выключено”

T1 – включить, T2 - выключить

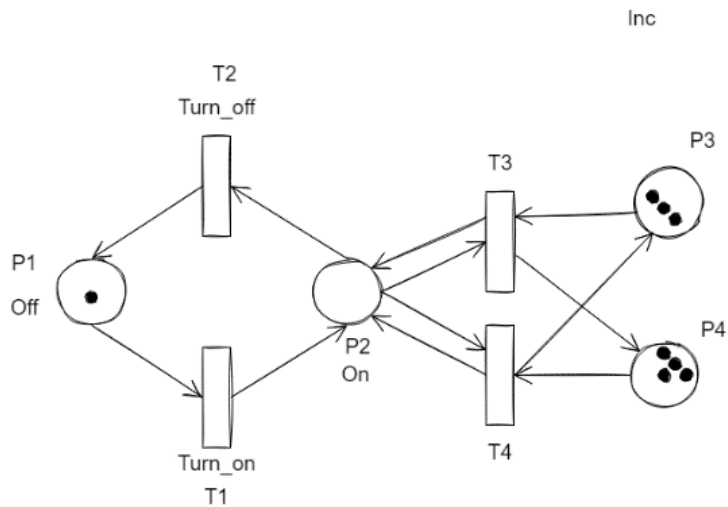
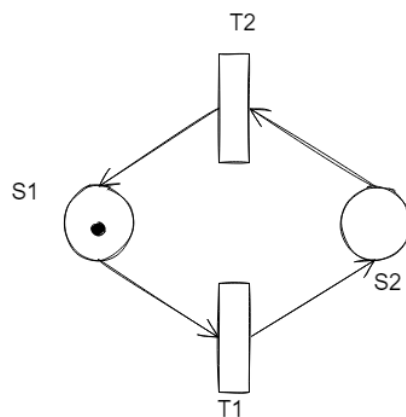


Рисунок 13. сеть Петри для описания простой лампы

Количество точек в местах P3 и P4 указывает количество уровней интенсивности света, которые можно увеличить (для P3) и уменьшить (для P4). Переходы T3 и T4 представляют действие увеличения и уменьшения соответственно, яркости лампочки. Увеличение (уменьшение) яркости выполняется только при включенной лампе и имеет возможность увеличения (уменьшения) яркости.

Шторы имеют два состояния: закрытые или открытые.

На рисунке 13 сеть Петри для шторы. S1 соответствует закрытому состоянию штор. S2 - открытое состояние.



2.3.2. Описание системы климат-контроля

На рисунке 14 сеть Петри для кондиционеров

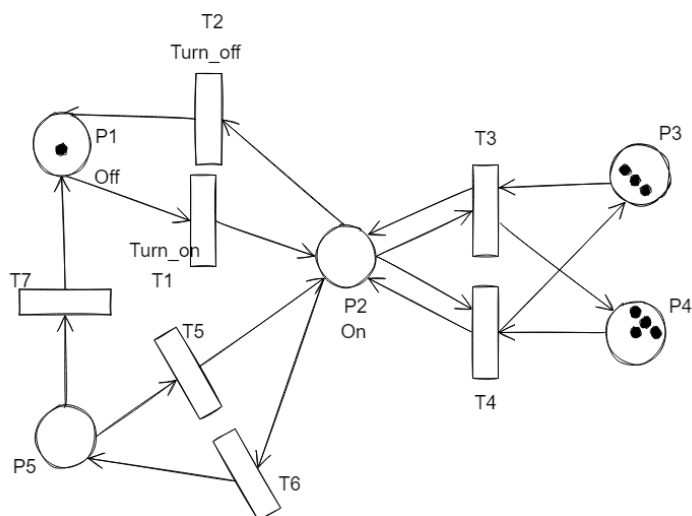


Рисунок 14. Сеть Петри для кондиционеров

Кондиционер может находиться в одном из трех состояний: “выключен”, “включен”, “ожидания”, соответствующие положениям P1, P2 и P5. Аналогично лампе, две позиции P3 и P4 имеют функцию управления увеличением или уменьшением мощности кондиционера.

Очиститель воздуха описывается простой сетью Петри, показанной на рисунке 15. Он находится в “выключенном” или “включенном” состоянии.

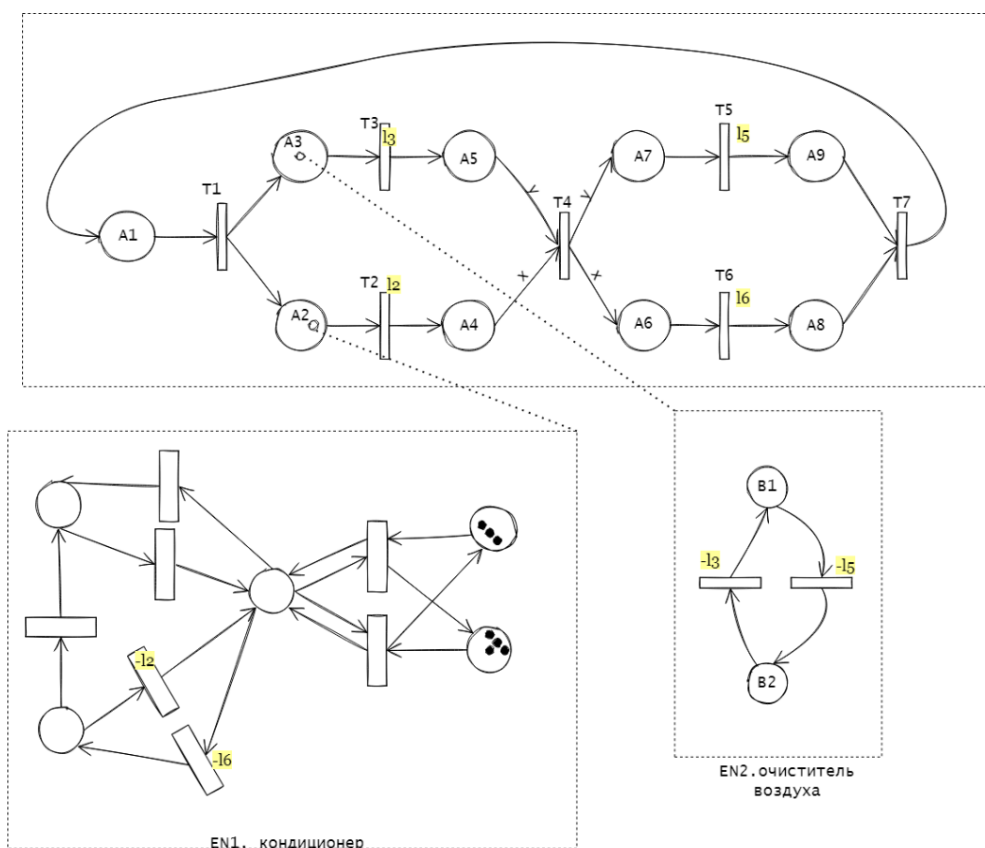


Рисунок 15. Сеть Петри для системы климат-контроля

Позиция	Переходы
A2 - содержит кондиционер	T1 - пользователь приходит
A3 - содержит очиститель воздуха	T2 - включить кондиционер
A4 - кондиционер включен	T3 - включить очиститель воздуха
A5 - очиститель воздуха включен	T4 - пользователь уходит
A6 - содержит кондиционер	
A7 - содержит очиститель воздуха	
A8 - кондиционер в режиме ожидания	
A9 - очиститель воздуха выключен	
B1 - очиститель воздуха включен	
B2 - очиститель воздуха выключен	

В этой сети Петри, когда пользователь приходит домой, активируется переход T1, что приводит к появлению токена сети в P2 и другого токена сети в P3. За этим следует активация переходов T2 и T3, где переходы помечены как l2 и l3 в сетевых токенах, активируются, в результате включается кондиционер и очиститель

воздуха. На некоторых ребрах помечены x и y: x обозначает кондиционер, y обозначает очиститель воздуха

2.3.3. Описание системы безопасности и охраны

Для описания двери, она может иметь следующие четыре состояния: заблокирована, разблокирована, открыта и закрыта.

На рисунке 15 показана сеть Петри для двери.

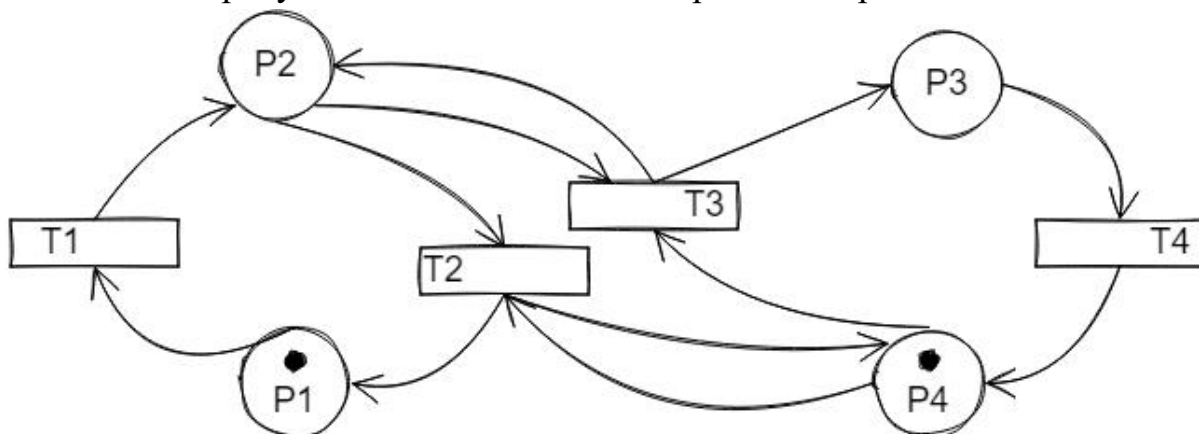


Рисунок 16. Сеть Петри для двери

Позиция	Переходы
P1 - дверь в заблокированном состоянии;	T1 - разблокировать дверь
P2 - дверь в разблокированном состоянии;	T2 - блокировать дверь
P3 - дверь открыта;	T4 - открыть дверь
P4 - дверь закрыта	T5 - закрыть дверь

Таблица 1. описание позиций/переходов сети Петри для двери

Когда разблокировать дверь (T1), точка из позиции P1 будет переведена в позицию P2, дверь будет разблокирована. Дверь разблокирована, его можно открыть или закрыть (с помощью перехода T3 или T4). Дверь блокируется только тогда, когда она закрыта, то есть ее нельзя заблокировать, пока она открыта.

Описание процесса аутентификации пользователя.

От пользователя требуется ввод пароля (либо сканирование магнитной карты, распознавание лица). Затем проверяем пароль, если пароль правильный, то посылаем сигнал на дверь (описано выше, соответствует переходу t1 на картинке), дверь открывается, пользователь

помечается как действительный. И наоборот, если пароль неверный, пользователь может повторно ввести пароль. Если ввести неверный ввод больше указанного количества раз (по умолчанию 3 раза), то сигнал о взломе постороннего.

На рисунке 16 и таблице 2 показана сеть Петри для процесса аутентификации пользователя.

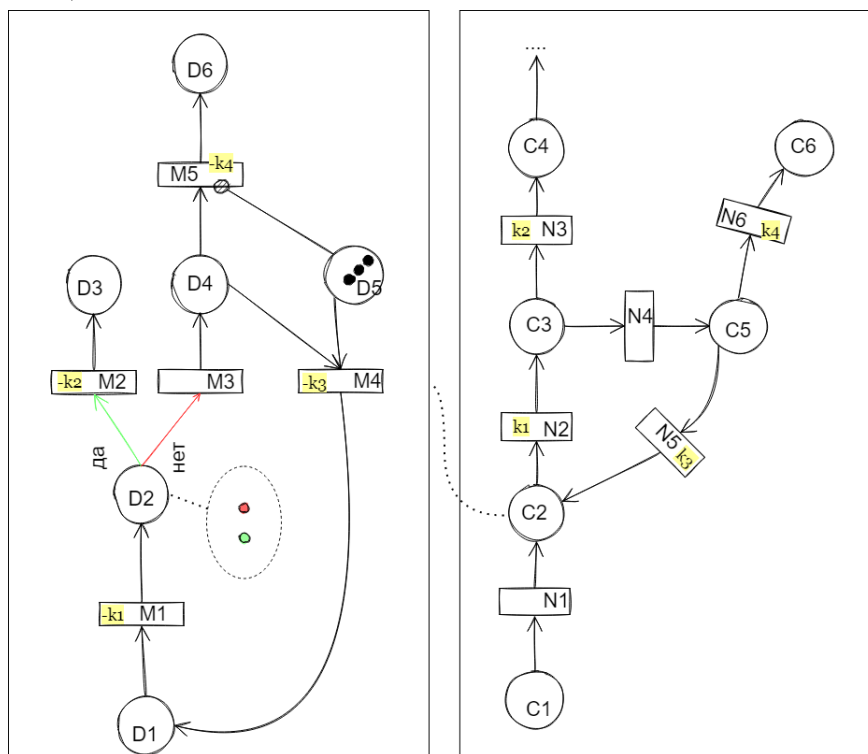


Рисунок 17. сеть Петри для процесса аутентификации пользователя

Позиция	Переходы
D1 - пароль	T1 - проверка пароля
D2 - результат проверки пассворка	T2 - пометить пользователя как действительного
D3 - пользователь ввел неправильный пароль	T4 - пометить пользователя как недействительного
D4 - пользователь недействителен	T5 - повторный ввод пароля
D5 - количество попыток	T6 - отправить уведомление
D7 - уведомление	N1 - пользователь приходит
C1 - неизвестный пользователь	N2 - процесс аутентификации
C2 - начинает аутентификацию	N3 - успешная аутентификация
C3 - завершает аутентификацию	N4 - аутентификация не удалась
C4- аутентифицированный пользователь	N5 - пользователь хочет повторить

С5 — пользователь не прошел аутентификацию	
С6 - нарушитель	

Таблица 2. описание позиций/переходов сети Петри для процесса аутентификации пользователя

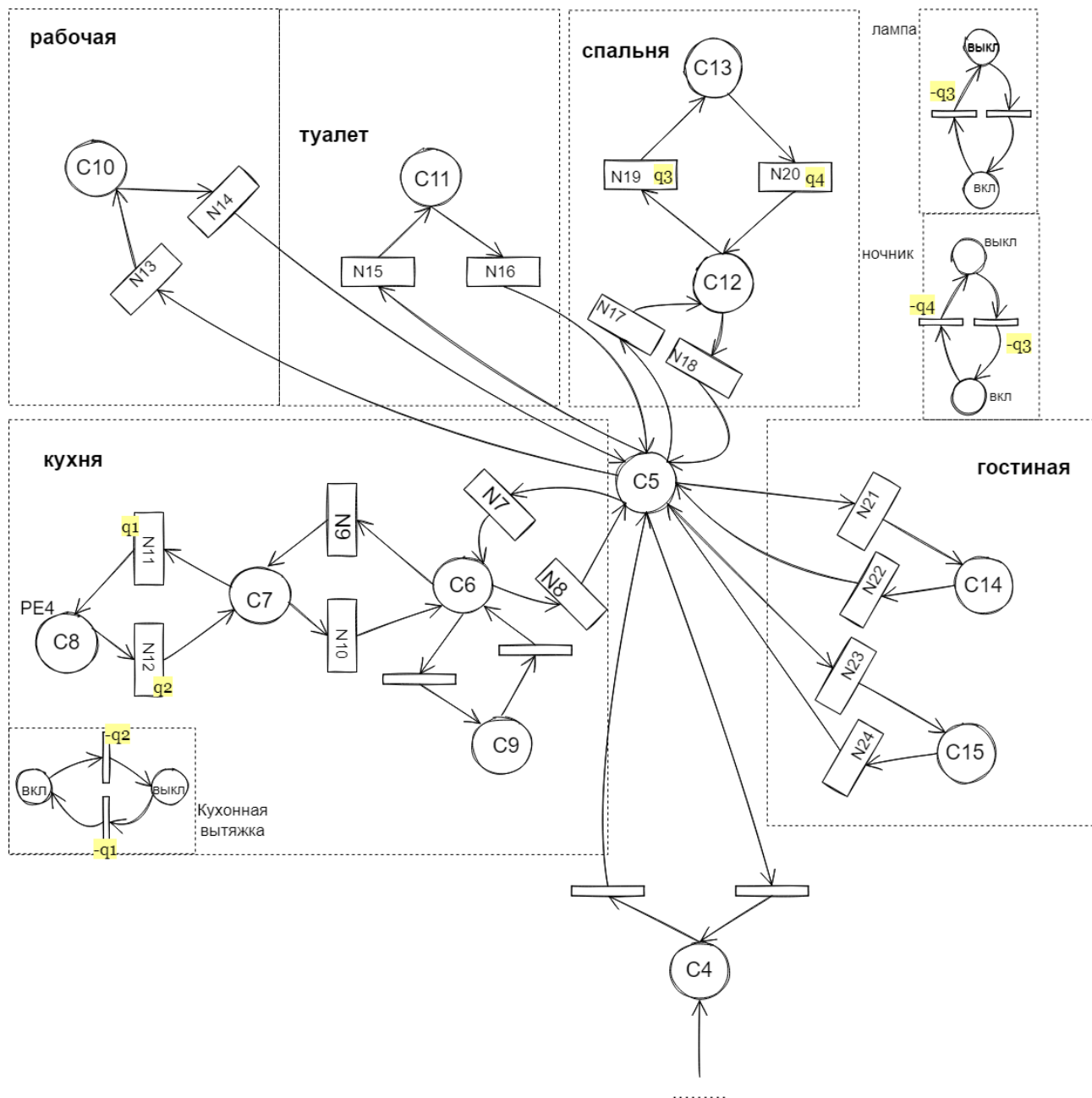
Сеть Петри справа представляет пользователей. Сеть слева — это сетевой токен, который представляет собой процесс аутентификации пользователя.

При срабатывании перехода T1, на выходе P2 появится жетон зеленого или красного цвета (соответствующий истинности или ложности пароля). Каждый тип жетона будет иметь разное направление движения (в соответствии с цветовой меткой дуг и цветом жетона). Более того, дуга начинается с позиции M5 до перехода D5, отмечено стрелкой с кружком. Эта дуга отличается от обычного, он активен только тогда, когда в позиции D5 вообще нет жетонов. Это означает, что нет возможности повторить попытку ввода пароля.

2.4.Сеть Петри, описывающая пользователей

После процесса аутентификации, описанного в предыдущем, пользователь был аутентифицирован. Ниже приводится описание взаимодействия пользователя с домашними устройствами.

На рисунке показано описание состояний пользователя.



С6 по С9 описывают состояния пользователя на кухне.

С6 - пользователь на кухне	N7/N8 - входит/выходит из кухни
С7 - пользователь готовит	N9/N10 начать/закончить приготовление
С8 - пользователь использует газовую плиту	N11/N12 - включить/выключить газовую плиту
С9 - пользователь ест еду	

Метки q1, q2 выполняют синхронизацию газовой плиты с вытяжкой.

Вытяжка включается/выключается в зависимости от газовой плиты.

В спальне пользователь находится в двух состояниях: спит или бодрствует. Если пользователь находится в спящем состоянии, то выключить лампу и включить ночник. Когда пользователь просыпается, ночник автоматически выключается. Эти отношения представлены метками q3 и q4.

Позиция C14 указывает на то, что пользователь находится в режиме кино (затемнение, шторы закрыты). C15 - в режиме встречи (увеличение яркости). Для этого необходимо синхронизироваться с системой освещения.

В следующем абзаце будут описаны действия пользователей. Как показано выше, каждому пользователю соответствует один токен в сети Петри, как показано на рисунке 18.

Рисунок 18. Сеть Петри для пользователей

Позиция	Переходы
P1 - неизвестный пользователь	T1 - пользователь вводит пароль
P2 - в процессе проверки	T2 — аутентификация не удалась
P3 - нарушитель	T3 — успешная аутентификация
P4 - подтвержденный пользователь	T4 - пользователь уходит из дома
P5 - пользователь находится в помещении	T5 - пользователь входит в дом
P6 - пользователь готовит	t6 — пользователь выходит из дома
P7 - пользователь смотрит фильм	T7 - пользователь начинает готовить
P8 - пользователь спит	T8 — пользователь заканчивает готовить

Таблица 3. описание позиций/переходов сети Петри для пользователей

3. Технологический раздел

Осуществить выбор языка и среды среда реализации ПО. Описать формат входных и выходных данных и структуру разрабатываемого ПО. Провести функциональное тестирование, описать пользовательский интерфейс.

4. Исследовательский раздел

Исследовать эффективность разработанного программного обеспечения, а также синхронизацию и взаимодействие объектов в подсистемах умного дома.

Список литературы

1. Питерсон Дж. - Теория сетей Петри и моделирование систем, стр. 15-34.
2. Учебный курс МГТУ им. Баумана “Основы САПР. Моделирование”. Сети Петри. Анализ сетей Петри (http://bigor.bmstu.ru/?cnt/?doc=110_Simul/3018.mod/?cou=140_CADedu/CAD.cou)
3. Вестник МГТУ МИРЭА 2015 № 1 МОДЕЛИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕТЕЙ ПЕТРИ (<https://rtj.mirea.ru/upload/medialibrary/941/02-kudj.pdf>)
4. Некоторые свойства сетей Петри и их приложения (на вьетнамском языке, https://repository.vnu.edu.vn/bitstream/VNU_123/8349/1/01050001007.pdf)
5. Course Software Modeling, VNUHCM-University Of Science
6. AUTOMATION OF THE SMART HOUSE SYSTEM-LEVEL DESIGN (<http://31.186.81.235:8080/api/files/view/14898.pdf>)
7. Вложенные сети Петри и моделирование распределенных систем (<http://skif.pereslavl.ru/psi-info/psi/psi-publications/e-book-2004/e-book/1-4/02-Lomazova-Vlozhennyye-seti-p-337.pdf>)
8. Вложенные сети Петри: моделирование и анализ распределенных систем с объектной структурой (https://www.researchgate.net/publication/264732214_Vlozennyye_seti_Petri_modelirovanie_i_analiz_raspredeleennyh_sistem_s_obektnoj_strukturoj)
9. Nested Petri Nets: Multi-level and Recursive Systems (https://www.researchgate.net/publication/220444866_Nested_Petri_Nets_Multi-level_and_Recursive_Systems)
10. Development of smart house system model based on colored Petri nets (https://www.researchgate.net/publication/261299505_Development_of_smart_house_system_model_based_on_colored_Petri_nets)
11. Method of development Smart-House–Systems Models, based on Petri-Markov Nets, and extended by functional components

(<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8098803&tag=1>)

12. *Intelligent distributed module for local control of lighting and electrical outlets in a home*

(<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1730/1/012001/pdf>)

13. *Transactions on Petri Nets and Other Models of Concurrency IX*

(https://www.researchgate.net/publication/321612848_Transactions_on_Petri_Nets_and_Other_Models_of_Concurrency_IX)

14. *Development of a System Model for Home Automation*

(https://www.researchgate.net/publication/312597485_Development_of_a_System_Model_for_Home_Automation)

15. *Элементы системы домашней автоматизации*

(<https://nauchkor.ru/pubs/elementy-sistemy-domashney-avtomatizatsii-587d36815f1be77c40d590f9>)