

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПОДСИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЦЕНТРАМИ БЫСТРОГО РЕАГИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ СЕТЕЙ ПЕТРИ

И.М. Пашуева, С.М. Пасмурнов

В статье приводится описание и анализ разрабатываемой подсистемы управления центром служб быстрого реагирования с помощью сетей Петри, сравниваются результаты моделирования работы центра скорой медицинской помощи с использованием подсистемы и без нее, которые доказывают эффективность ее внедрения

Ключевые слова: подсистема управления, сети Петри, моделирование

Применение классических подходов и добавление дополнительных атрибутов позволили разработать сети различной целевой направленности, получившие название расширенные. Классификация расширенных сетей Петри приведена на рис. 1.

Ингибиторная сеть представляет собой сеть Петри, дополненную специальной функцией инцидентности $I_{IN} : P \times T \rightarrow \{0, 1\}$, которая вводит ингибиторные (запрещающие) дуги для тех пар (p, t) , для которых $I_{IN}(P, T) = 1$. Ингибиторные дуги связывают только позиции с переходами, на рисунках их изображают заканчивающимися не стрелками, а маленькими кружочками.



Рис. 1. Расширенная сеть Петри

В приоритетных сетях вводят приоритеты срабатывания переходов. Если несколько переходов являются разрешенными, то срабатывает тот из них, который имеет наивысший приоритет. Такие сети используются для моделирования систем на уровне задач. В структурированных сетях некоторые из переходов являются сложными. При их срабатывании запускается сеть другого уровня иерархии. В структурированных сетях некоторые из переходов являются сложными. При их срабатывании запускается сеть другого уровня

иерархии. В цветных сетях вводится понятие цвета для фишек.

Качественными характеристиками сети могут быть: отсутствие закликиваний в системе, достижение некоторого состояния системы (например, конечного).

Количественными характеристиками сети являются: время работы некоторого маршрута в программе, время прохождения сигнала в схеме и т. д. Во временных сетях переходам ставится в соответствие их времена срабатывания, либо позициям ставится в соответствие времена нахождения фишек в позициях.

В стохастических сетях указанные характеристики являются вероятностными, т. е. вводится функция плотности вероятности времен срабатывания переходов или времен нахождения фишек в позициях.

Существует большое разнообразие разновидностей и расширений Сети Петри. В частности, теорию Сетей Петри можно применять при моделировании системы управления центром догоспитальной медицинской помощи. В качестве позиций будем выбирать состояния системы от момента приема вызова до завершения работы бригады и отправления отчета об обслуживании пациента. Выберем маркеры двух типов: вызовы и бригады. В моделируемой системе имеет большое значение время. Поэтому следует выбрать временные сети Петри.

На рис.2. построена модель работы станции скорой помощи, состоящей из двух районов.

Поступающие на диспетчерский пункт вызовы принимаются и классифицируются по определенным алгоритмам. Прием вызовов на диспетчерских пунктах моделируется позициями a_1, a_2, a_3 и a_4 . Каждому вызову по результатам проведенного телефонного опроса (переход t_1, t_2, t_3 и t_4) присваивается ряд параметров: степень неотложности, количество бригад необходимых отреагировать на вызов и тип оборудования бригады соответствующий жалобам пациента (a_5). Входная функция сети Петри для этих переходов будет иметь вид: $I(t_1) = a_1; I(t_2) = a_2; I(t_3) = a_3; I(t_4) = a_4$, а выходная - $O(t_1, t_2, t_3, t_4) = a_5$. Затем, в переходе t_5 к позиции a_6 каждый вызов дублируется столько раз, сколько необходимо бригад на его реагирование и направляется в тот районный пункт скорой

медицинской помощи, к которому относится территориально: $\dot{Y}(t_5) = a_5$, $O(t_5) = a_6$.

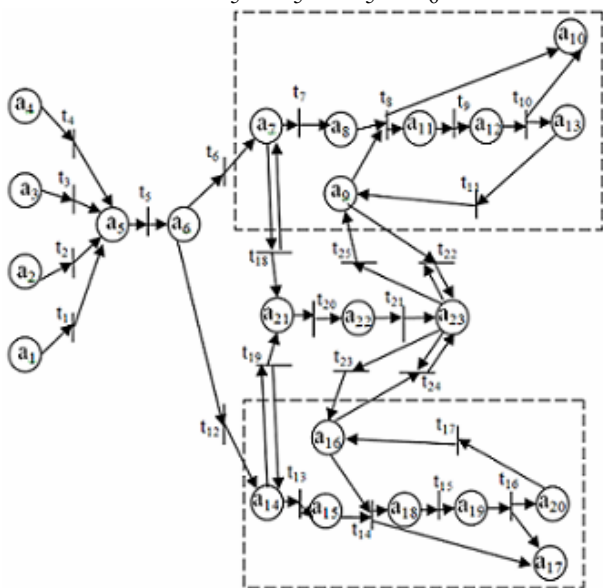


Рис.2. Сеть Петри иллюстрирующая работу центра догоспитальной медицинской помощи

В следующем переходе t_6 к позиции a_7 вызовы, относящиеся к данному району города: $\dot{Y}(t_6) = a_6$, $O(t_6) = a_7$. Переход t_7 выстраивает вызовы по мере неотложности: экстренные, неотложные, линейные: $\dot{Y}(t_7) = a_7$, $O(t_7) = a_8$. Этот переход является переходом с условием: пропускается заявка с наивысшим приоритетом. Если заявки имеют равную степень приоритета, то пропускается та заявка, которая поступила в очередь позиции a_7 раньше. Позиция a_9 содержит маркеры, которые соответствуют количеству бригад в центре скорой помощи данного района города, которые готовы обслужить новый вызов. Каждая бригада имеет свои параметры: местоположение, тип оборудования автомобиля, состояние (на выезде или свободен).

В переходе t_8 по определенному алгоритму выбирается бригада: $\dot{Y}(t_8) = \{a_8, a_9\}$, $O(t_8) = \{a_{10}, a_{11}\}$. При этом учитывается удаленность бригады от места нахождения пациента, оснащение машины. В этом переходе меняются параметры фишек. Вызов закрепляется за бригадой и эта информация записывается в специальный файл статистики (позиция a_{10}). Позиция a_{11} показывает что бригада выехала на вызов. Переход t_9 имеет временную задержку фишки до тех пор, пока бригада не прибудет к больному. При этом переход является сложным процессом. Система помогает бригаде максимально быстро добраться до пункта назначения: с помощью портативных компьютеров и системы спутникового слежения прокладывается кратчайший маршрут, указывается информация о возможных пробках и заторах на дороге. Входная и выходная функции для

перехода будут иметь вид: $\dot{Y}(t_9) = a_{11}$, $O(t_9) = a_{12}$. Позиция a_{12} – бригада приехала и начинает осмотр больного. Переход t_{10} так же является сложным процессом и имеет временную задержку. В этом переходе пациента осматривают, возможно, обращаются к базе данных за дополнительной медицинской информацией о пострадавшем, о возможных аллергических реакциях и хронических заболеваниях и при необходимости доставляют в ближайшую больницу. Система отслеживает завершение перехода по результату – отправления отчета о работе в позицию a_{10} . Позиция a_{13} – бригада освободилась и готова принять новый вызов. Если вызова нет, она направляется (переход t_{11}) в свой диспетчерский пункт a_9 , соответственно $O(t_{11}) = a_9$, $I(t_{11}) = a_{13}$.

Переход t_{12} характеризует принятие вызова на диспетчерский пункт скорой медицинской помощи другого района города. Все районы работают аналогичным образом, поэтому и сеть Петри для них будет аналогичной. Количество районов, как и количество диспетчеров, принимающих вызов, может быть различным.

Таким образом, воспользовавшись аппаратом сети Петри, можно определить конечное множество позиций $A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_{23}\}$, множество переходов $T = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_{25}\}$, а так же входную и выходную функции. Маркеры приняты двух типов: бригады, количество которых заранее известно и не меняется, и вызовы, которые генерируются в позициях a_1, a_2, a_3 и a_4 по вероятностной функции зависящей от времени $M_0(a_1, a_2, a_3, a_4) = f(\tau)$. Начальная маркировка сети содержит только маркеры бригад в позициях a_9 и a_{16} для соответствующего района: $M_0(a_9) = n_1$, $M_0(a_{16}) = n_2$.

Большинство переходов построенной сети Петри требуют время на выполнение, которое колеблется в определенных пределах, описываемых функцией временных задержек $v(\tau)$. Время, затрачиваемое на выполнение каждого перехода формирует временную базу $\mathcal{V} = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_i\}$. В сети вводится пассивное состояние метки в позициях: если в позицию поступает метка, то она не может учувствовать в возбуждении перехода, в течение определенного времени. Поскольку каждой дуге соответствует вероятность блуждания метки в сети, то составленная сеть Петри является стохастической.

Позиции a_{21} , a_{22} и a_{23} моделируют ситуацию, при которой необходимо перебросить бригады скорой помощи из одного района города в другой, в котором чрезвычайно большое количество вызовов. Переходы t_{18} , t_{19} , t_{20} , t_{21} , t_{22} , t_{23} , t_{24} и t_{25} являются переходами с условиями: если количество вызовов превосходит определенной значение, на пункт главного врача скорой медицинской помощи отправляется сообщение. С разрешения главного врача некоторые бригады из других районов могут быть переброшены для обслуживания вызовов.

После того, как количество вызовов опустится до среднестатистического значения, бригады возвращаются в свои районы и продолжают работу.

Проанализируем полученную сеть Петри, моделирующую подсистему управления работой службы экстренного реагирования. Построенная сеть не является безопасной, поскольку в каждый момент времени в различных позициях, характеризующих состояние системы, может находиться различное количество фишек или маркеров (большее одного). Моделируемая сеть является сохраняющей относительно вектора взвешиваний $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$, где $n=23$ – количество состояний сети, элементы $w_9, w_{11}, w_{12}, w_{13}, w_{16}, w_{18}, w_{19}, w_{20}, w_{23}$ равны 1, остальные элементы 0. При этом общее количество фишек в соответствующих позициях будет соответствовать суммарному количеству бригад во всех районах города. В данной сети Петри существуют конфликтующие переходы, такие как t_6, t_{12} . Поэтому необходимо использование переходов-ключей, каждый из которых имеет свою вероятность срабатывания. Соответственно суммарная вероятность конфликтующих ключей равна 1. Сеть не является тупиковой, т.е. при любой разметке не возникнет ситуации, при которой все переходы будут пассивными.

Удобно выделить в отдельную сеть Петри ситуацию переброски бригады из одного района города в другой, нуждающийся в большем количестве медицинских машин. Для каждого района существуют два главных параметра, определяющих необходимость и возможность осуществления переброски: это количество ожидающих обслуживания вызовов и количество свободных бригад.

Предположим ситуацию, в которой в некотором районе количество бригад значительно меньше необходимого для нормальной работы районной станции медицинской помощи. Тогда необходимо проанализировать загруженность вызовами другие районные станции города и из всех имеющихся станций выбрать ближайшую с наибольшим количеством свободных машин. Переброска бригад должна осуществляться с одобрения главного врача городского центра скорой медицинской помощи, поэтому сообщение о возникшей ситуации появляется на экране автоматизированного рабочего места главного врача. Варианты по переброске бригады предоставляются ему для выбора и утверждения.

Рассмотрим сеть Петри, представленную на рис. 3. Позиции a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 и a_6 представляют собой очередь ждущих обслуживания вызовов для каждого из районов города.

Переход t_1 является переходом с условием. Переход срабатывает, если количество ожидающих обслуживания вызовов в течение определенного времени превышает число n , заранее определяемое главным врачом. Это число может меняться в настройках системы с разрешения главного врача

города. Аналогичным образом срабатывает каждый из переходов t_2, t_3, t_4, t_5, t_6 .

Позиция a_7 содержит заявки с параметрами района на переброску дополнительной бригады. В позиции a_7 заявки сортируются от наиболее к менее важным. (В переходе t_7 заявки сортируются от наиболее к менее важным.)

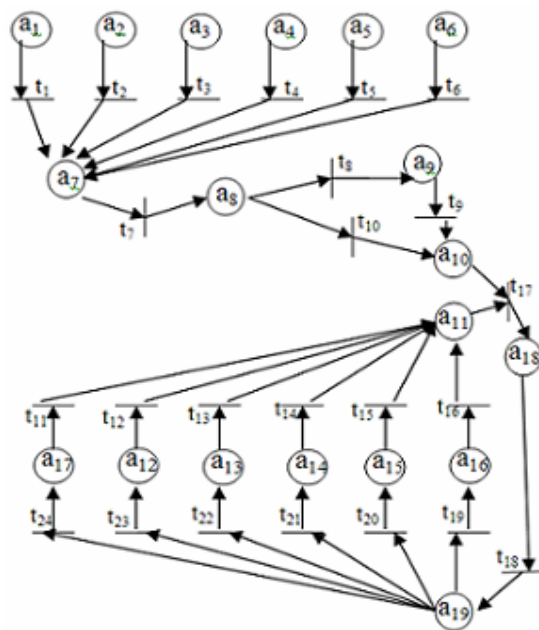


Рис.3. Сеть Петри, иллюстрирующая ситуацию переброски бригады в другой район

Заявка, имеющая наибольший приоритет по переходу t_8 попадает на АРМ главного врача в виде диалогового окна. Переход t_9 срабатывает, когда главный врач находится на рабочем месте и принимает решение о переброске бригады. Если по каким-то причинам главный врач не может в данный момент принять такое решение, то система предусматривает временной промежуток, определяемый главным врачом, по истечении которого программа автоматически примет решение о разрешении на переброску бригады (переход t_{10}). Позиция a_{10} содержит заявки, получившие разрешения на переброску бригад.

Позиции $a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_{15}, a_{16}$ и a_{17} содержат фишки, количество которых соответствует числу свободных бригад в соответствующем районе города. Один из переходов $t_{11}, t_{12}, t_{13}, t_{14}, t_{15}$ или t_{16} срабатывает, если количество свободных бригад в данном районе наибольшее. Переход t_{17} характеризует направление бригады по вызову в другой район. Позиция a_{18} Переход t_{18} срабатывает, если бригада обслужила вызов, освободилась. После чего может сработать один из переходов $t_{19}, t_{20}, t_{21}, t_{22}, t_{23}$ или t_{24} , если выполняется условие принадлежности бригады к данному району. После того как фишка оказалась вновь в одной из позиций $a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_{15}, a_{16}$ и a_{17} , в районах вновь возобновляется нормальная работа.

Данная сеть не является ограниченной. Так же нельзя назвать ее строго сохраняемой, поскольку часть фишек сети моделируют поступившие на диспетчерский пункт вызовы. Однако, относительно вектора взвешиваний $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$, где $n=19$ – количество состояний сети, данная сеть является сохраняющей. Элементы вектора взвешиваний элементы $\{w_9, w_{11}, w_{12}, w_{13}, w_{16}, w_{18}, w_{19}, w_{20}, w_{23}\}$ равны 1, остальные элементы 0. Сеть не является тупиковой, т.е. при любой разметке не возникнет ситуации, при которой все переходы будут пассивными.

Анализ такой многопозиционной сети Петри является не простой задачей. Для моделирования данной сети Петри был выбран пакет GPSS.

Используя стандартные блоки и операторы программы были построены две модели работы служб догоспитальной медицинской помощи: с применением автоматизированной системы управления станциями и без нее. Две модели рассматривались в равных условиях по поступающим вызовам: их количеству и классу, а так же по ресурсам бригад. За время моделирования каждой моделью было обслужено 300 вызовов. В результате неоднократных экспериментов были получены графики скорости обслуживания поступающих вызовов – рис. 4 и рис. 5.

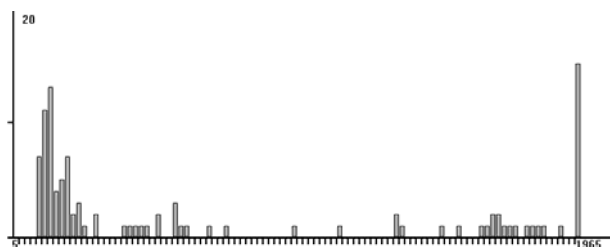


Рис. 4. График, иллюстрирующий зависимость количества обслуженных заявок от времени без применения системы управления центрами быстрого реагирования

Из рисунков видно, что система управления центрами экстренного реагирования заметно ускоряет и оптимизирует работу станций скорой догоспитальной помощи. В системе учитываются вызовы, поступившие относительно давно и до сих пор не обслуженные, им отдается приоритет. Это

позволяет рационально организовать работу станций скорого медицинского обслуживания.

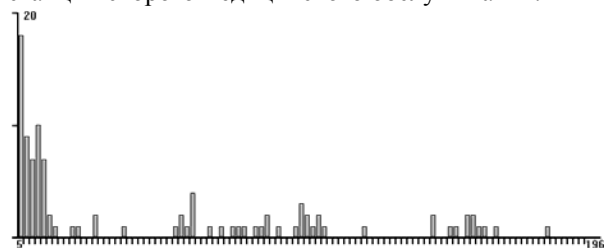


Рис. 5. График, иллюстрирующий зависимость количества обслуженных заявок от времени с применением системы управления станциями быстрого реагирования

На рис. 4. видно, что даже небольшое время, затрачиваемое диспетчером вызова и диспетчером направления на классификацию и распределение бригад, заметно снижает эффективность работы станций.

На рис. 5. проиллюстрирован результат использования системы управления центрами экстренного реагирования. Из рисунка видно, что все вызовы были оптимально обслужены. Средняя скорость обслуживания поступивших вызовов сократилась почти на 25%.

В результате моделирования было выяснено, что использование системы управления центрами быстрого реагирования не только упрощает, но и оптимизирует работу станций скорой помощи, сокращает время реагирования на вызов, позволяет бригадам быстрее добраться до места, выбрав менее загруженный маршрут, предоставляет возможность в режиме реального времени получить информацию о карте больного, его хронических заболеваниях и возможных аллергических реакциях.

Литература

1. Котов В. Е. Сети Петри. М: Наука, 1984.
2. Jensen K. Coloured Petri Nets EATCS Monographs on TCS. vol. 1: Springer-Verlag, 1994.
3. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем: Пер. с англ. М.: Мир, 1984. 264 с.
4. Бражник А. Н, Имитационное моделирование: возможности GPSS WORLD. СПб.: Реноме, 2006. 439 с.

Воронежский государственный технический университет

MODELLING AND ANALYSIS OF THE SUBSYSTEM OF MANAGEMENT OF THE CENTERS OF FAST REACTION BY MEANS OF PETRI NETS

I.M. Pashueva, S.M. Pasmurnov

In article the description and the analysis of a developed subsystem of management by the center of services of fast reaction by means of Petri nets is resulted, results of modeling of work of the center of the first help are compared to use of a subsystem and without it which prove efficiency of its introduction

Key words: Subsystem of management, Petri nets, modeling