

Сидоров Никита Маркович

магистрант

Московский Государственный Технический

Университет имени Н.Э.Баумана

ОДИН ИЗ ВОЗМОЖНЫХ ВАРИАНТОВ КЛАССИФИКАЦИИ КРИТЕРИЕВ АНАЛИЗА СЕТЕЙ ПЕТРИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОСТАВЛЕННОЙ ЗАДАЧИ

Аннотация: На сегодняшний день существует один подход к расширенным и обычным сетям Петри. Этот факт не позволяет решать многие задачи и зачастую ставит разработчиков в тупик. В данной статье автор сопоставляет мощности цветных и обычных сетей Петри, решая реальный производственный пример.

Ключевые слова: Гибкая производственная система, робототехническая система, Сеть Петри, Цветная сеть Петри, анализ сети Петри, моделирование

Keywords: Flexible production system, robotic system, Petri Net, Color Petri net, Petri net analysis, simulation

Введение.

Экономия и распределение ресурсов в наши дни играют огромную роль в формировании и построении систем управления различными процессами от промышленной до экономической сфер деятельности человека. Существует множество способов построения асинхронных и синхронных процессов. Считается, что наиболее широкое распространение получили параллельные системы, к которым сводятся многие процессы. Одним из способов построения моделирования и дальнейшего анализа является теория сетей Петри. Большую популярность теория Сетей Петри получила лишь в 80-е годы прошлого века и набирает её по наши дни. Изучение теории сетей Петри является актуальной задачей и предоставляет огромные возможности в моделировании систем, о развитие которых и пойдет речь в данной статье.

История вопроса

Более полувека идет изучение параллельных процессов. Одним из направлений является изучение теории сетей Петри. Сети Петри появились с публикации работы Карла Адама Петри в 1962 году. Популярность, данная публикация [1], получила не сразу и развивалась в основном теория процесса. В 80-х годах по конец прошлого века начали, «вынуждено», появляются различные расширения основной теории. Основным принципом расширений является увеличение мощности работы СП. С начала нулевых по сей день

работы ведутся в основном над практическим применением СП, созданием ПС для ЭВМ, составлением различных классификаций.

Основные понятия расширений сетей Петри:

Классическое определение сети Петри (далее СП) звучит так:

СП – это двудольный ориентированный граф с двумя типами вершин (позициями и переходами, изображаемыми соответственно кружками и палочками), дугами, соединяющими позиции с переходами и переходы с позициями, и начальной маркировкой, которая представляется вектором.

СП нужна для моделирования и анализа параллельных процессов.

СП имеет большую мощность (функционал) и он на данный момент только расширяется, что свидетельствуют различные расширенные СП (далее РСП), такие как:

Цветные/раскрашенные

Цветные Сети Петри (СР-сети) – это графический язык для построения моделей параллельных систем и анализа их свойств. СР-сети позволяют моделировать параллелизм, причинно-следственные связи и синхронизацию.

Стахостические

Стохастическая сеть Петри визуально отличается от ординарной сети тем, что в ней каждый переход помечается либо средней скоростью его срабатывания (время срабатывания возбужденного перехода – случайная величина), либо вероятностью его срабатывания при возбуждении, в то время как в ординарной сети рассматривается лишь возможность срабатывания возбужденного перехода.

Временные

После момента времени, когда переход оказался возбужденным, он срабатывает ровно через $i \cdot \tau$ единиц времени. Если при данной маркировке несколько переходов конфликтуют, то срабатывает тот из них, задержка которого минимальна. Если при данной маркировке возбуждены два или более перехода с одинаковой задержкой, то они сработают одновременно.

СР-сети включают понятие времени, например, время, затрачиваемое на срабатывание события в системе как в детерминированном, так и вероятностном виде. Благодаря этому СР-сети могут использоваться для анализа производительности систем, исследуя такие показатели деятельности, как длительность процессов, их пропускную способность и длину очередей в системе.

Синхронные СП

Синхронные сети Петри — это сети Петри, в которых вводятся внешние часы, т.е. срабатывания переходов тактируются. В начале каждого такта определяются потенциально

возбужденные переходы, из них выбирается некоторое максимально возможное число взаимно неконфликтных переходов. Затем все такие переходы принудительно срабатывают в произвольном порядке, но обязательно в течение того же такта. Таким образом, можно говорить о двух фазах работы синхронных СП – фазе наблюдения и отбора кандидатов на срабатывание и фазе срабатывания отобранных переходов.

Самомодифицируемые сети Петри

Самомодифицируемые сети Петри — это класс сетей Петри, у которых дуги являются взвешенными, но для некоторых входящих и выходящих дуг переходов приписаны не фиксированные кратности (константы), а функции кратности (переменные), например, равные текущему числу маркеров в определенных (изначально заданных) позициях сети.

Оценочные сети или, короче, Е-сети

Так называемые оценочные сети или, короче, Е-сети (от англ. evaluation nets) представляются двудольными ориентированными помеченными графами, в которых из некоторого множества ячеек (аналогов позиций СП) выделяется подмножество так называемых разрешающих ячеек, некоторые из ячеек объявляются периферическими (входными или выходными), а переходы являются аналогами переходов СП. Ячейки могут соединяться дугами только с переходами, а переходы – только с ячейками. Обычно задается начальная маркировка Е-сети. Соглашения о правилах смены маркировок определяются дисциплинами, принятыми для пяти примитивов (стандартных фрагментов), композиция которых составляет Е-сеть.

Исследования ингибиторных, приоритетных, временных, синхронных и самомодифицируемых сетей показали, что эти классы сетей по моделирующей мощности равномогны машине Тьюринга, т.е. способны моделировать любой вычислительный процесс.

Анализ СП состоит из множества свойств:

1. Ограниченность (Безопасность) – это свойство показывает допустимое наличие фишек (маркеров) в отдельно взятой позиции. Если число фишек в каждой позиции при любой маркировке не более одного, то, данная сеть называется безопасной. Если число фишек в каждой позиции при любой маркировке не более изначально выбранного «К», то данная сеть называется К-ограниченной.
2. Достижимость – это свойство, при котором проверяется возможность нахождения маркера в позиции.
3. Активность (уровни активности) – под активностью понимается возможность или не возможность срабатывания перехода n раз.

Так под активностью уровня ноль понимается, что переход никогда не будет запущен. Уровень один означает запуск перехода не более одного раза. Под уровнем 2 понимается возможность запуска n раз. Уровень три означает наличие бесконечной последовательности запусков, в которой переход присутствует неограниченно часто. Четвертый уровень активности показывает, что существуют последовательности запусков, в которых переход всегда будет запущен.

Минимальный уровень перехода определяет уровень всей системы.

4. Сохраняющая (строго сохраняющая) – данное свойство показывает возможность нахождения целочисленного вектора взвешивания, который необходим для содержания постоянного числа фишек в системе. Если данный вектор состоит из всех единиц, это означает, что система строго сохраняющая.

5. Устойчивость – это свойство, показывающее наличие (не наличие) переходов, которые в свою очередь могут снять возбуждение с другого перехода.

6. Одновременность – это свойство, которое показывает наличие параллельных процессов в сети.

На данный момент не существует четких критериев для свойств СП в зависимости от их расширений, а также от поставленных задач.

В данной статье предложен вариант классификации свойств СП в зависимости от поставленной перед ней задачей, то есть в зависимости от вида моделируемого объекта.

Рассмотрим предприятие, на котором происходит множество технологических процессов.

СП может промоделировать как работу отдельно взятого оборудования, например, манипулятора или термопласт автомата, так и целого производства целиком.

В первом случае, при моделировании и анализе одного или группы взаимосвязанных объектов, проблем с мощностью ЭВМ практически не возникает.

Во втором случае, когда отдельно взятых объектов тысячи, даже у самых продвинутых ЭВМ потребуется много времени для проведения анализа системы управления. В связи с этим было предложено разбивать системы на подсистемы, что существенно уменьшало бы время работы ЭВМ (ПС).

Работа термопласт автомата (далее ТПА), манипулятора и конвейера

Работа конвейера заключается в передвижении единиц продукции до определенного места. Конвейер в рассматриваемом проекте работает с остановками.

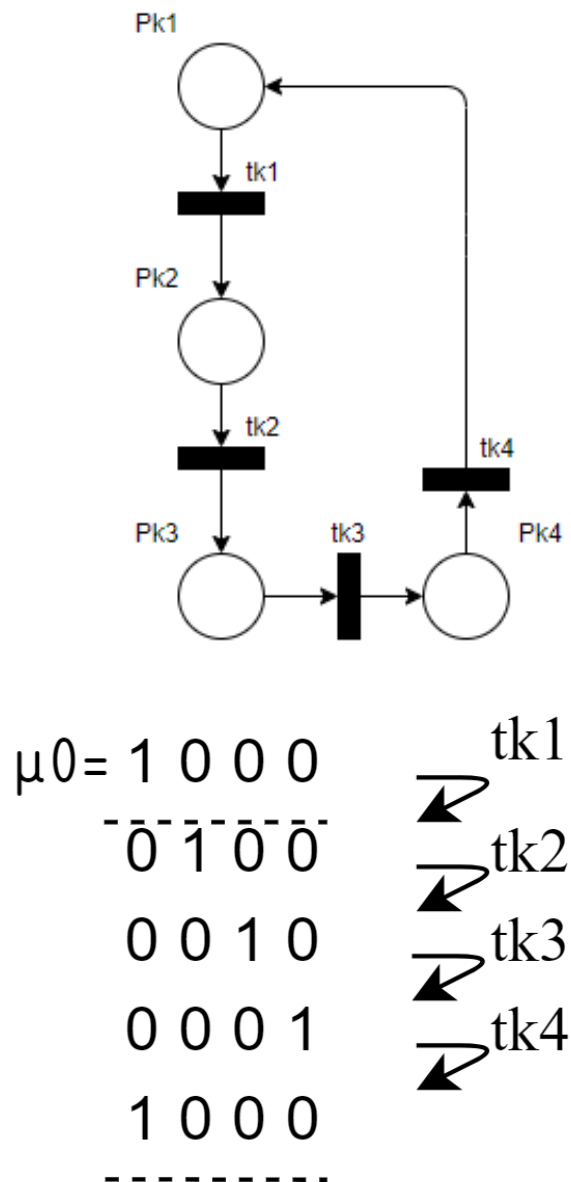


Рис. 1 – Сеть Петри и древо достижимости конвейера

Данная СП описывает работу конвейера без взаимодействия с другими устройствами.

Позиции обозначают простейшие события:

Pk1 – конвейер находится в движении;

Pk2 – начало остановки;

Pk3 – остановка;

Pk4 – начало движения.

Суть работы ТПА заключается в изготовлении деталей.

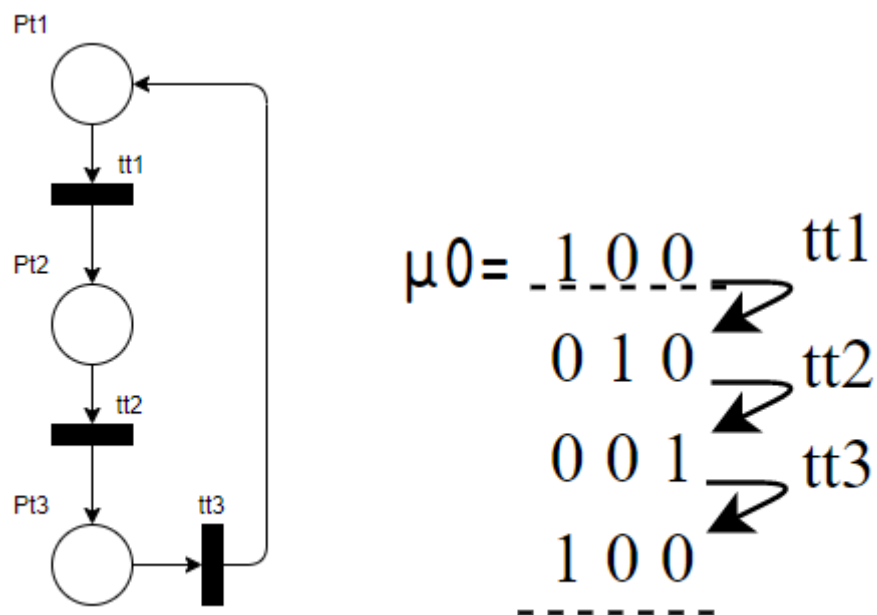


Рис. 2 – Сеть Петри и дерево достижимости ТПА

Реальная модель работы ТПА включает множество дополнительных позиций (событий), в рассматриваемом примере позиции означают:

Pt1 – начало изготовления детали;

Pt2 – деталь изготавливается;

Pt3 – деталь изготовлена.

Работа манипулятора заключается в быстром и точном перемещении детали из ТПА на конвейер.

В примере рассмотрена примитивная модель управления манипулятором (без учета работы приводов и других элементов).

Позиции означают:

Rm1 – начало перемещения манипулятора для взятия детали;

Rm2 – манипулятор прибыл и готов взять деталь;

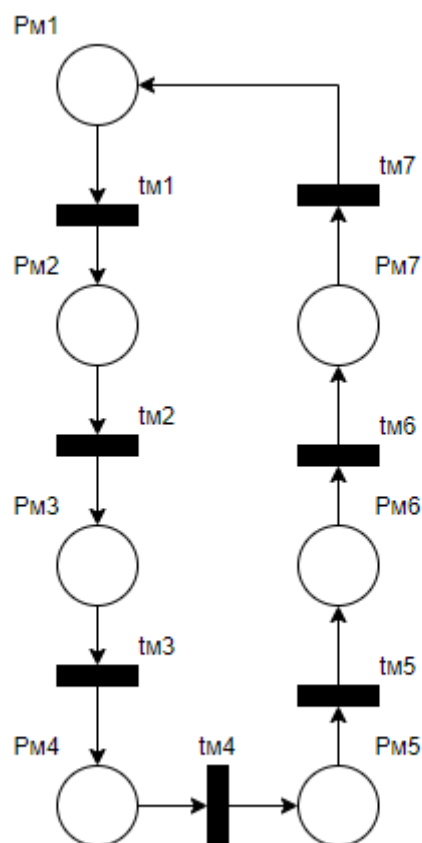
Rm3 – манипулятор взял деталь;

Rm4 – манипулятор несет деталь на конвейер;

Rm5 – манипулятор кладёт деталь;

Rm6 – манипулятор едет в нейтральное положение;

Rm7 – манипулятор в нейтральном положении.



$$\mu_0 =$$

1	0	0	0	0	0	0	0	tm1
0	1	0	0	0	0	0	0	tm2
0	0	1	0	0	0	0	0	tm3
0	0	0	1	0	0	0	0	tm4
0	0	0	0	1	0	0	0	tm5
0	0	0	0	0	1	0	0	tm6
0	0	0	0	0	0	1	0	tm7
1	0	0	0	0	0	0	0	

Рис. 3 – Сеть Петри и древо достижимости манипулятора

По своей структуре данные сети Петри одинаковые. Они относятся к автоматным СП и имеют одинаковые свойства:

1. Безопасны;
2. Активны (уровень активности 4);

3. Достижимы до любого μ из μ_0 ;
4. Строго сохраняющие;
5. Устойчивы;
6. Не одновременны (нет параллельных процессов).

Совместная работа

Возможность объединения двух и более устройств возможна без добавления новых переходов, например, через нарушение изначального вида систем (подсистем). То есть совмещение двух и более переходов в один.

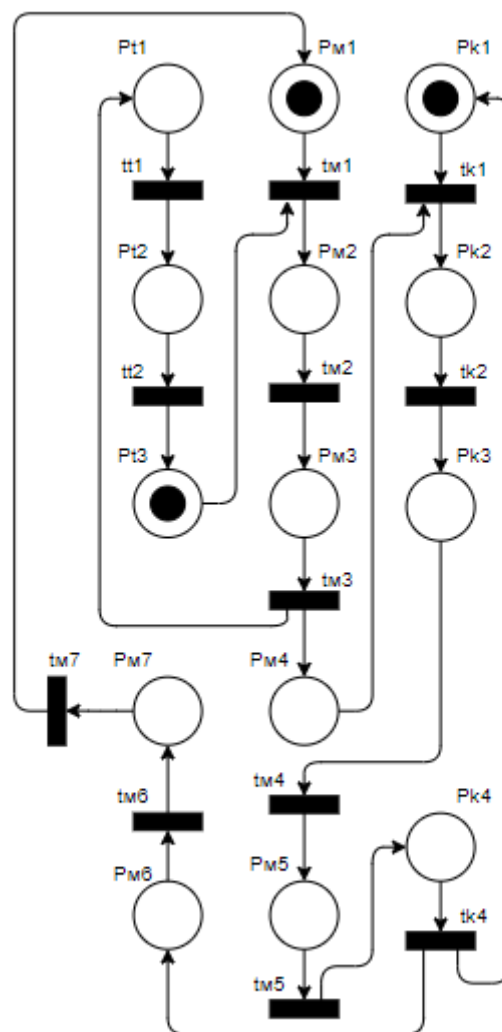


Рис. 4 – Моделирование работы трех устройств при помощи Сети Петри и древо достижимости манипулятора

Требуемая мощность вычислений в программных средствах по [1] равна:

$$M = 2^{2n} = 2^{2 \cdot 14} = 268435456 \text{ бит} = 32 \text{ Мб.}$$

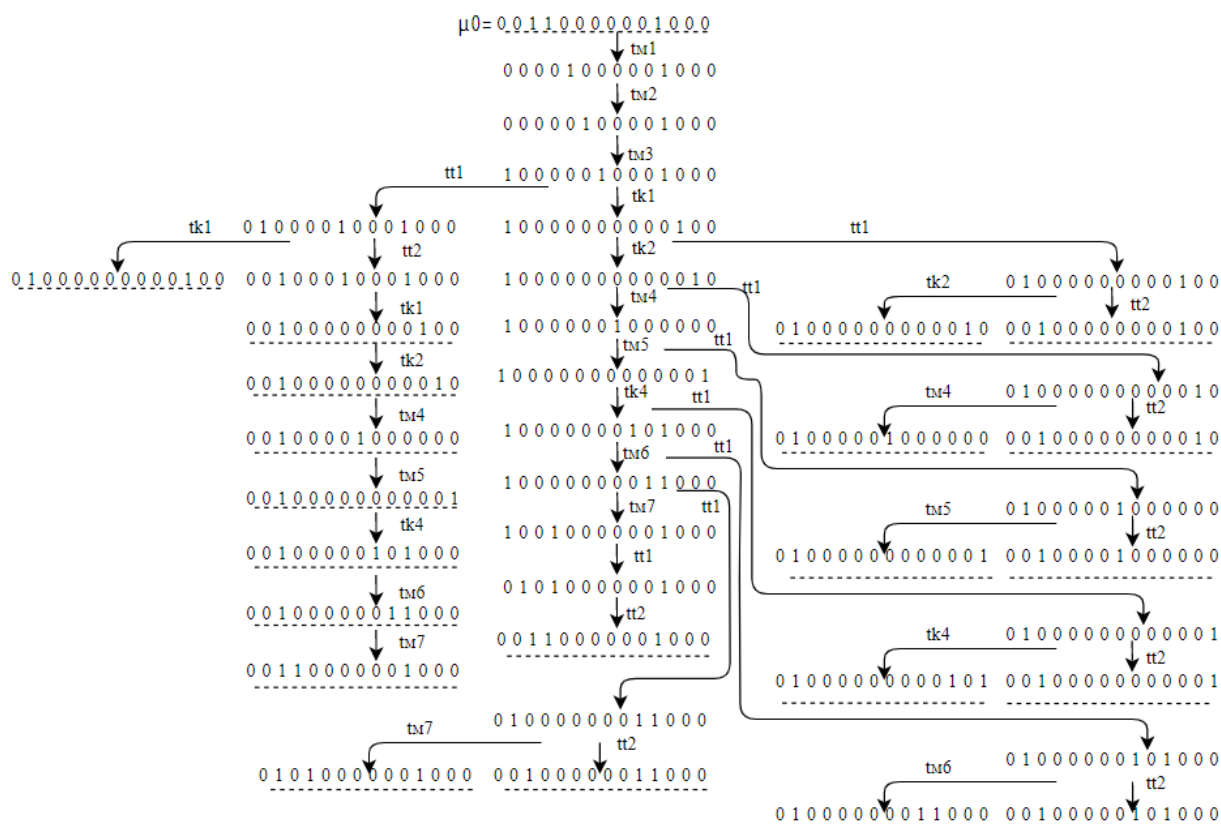


Рис. 5 – Дерево достижимости работы трех устройств

Данная СП имеет следующие свойства:

1. Безопасна ($K=1$);
2. Активна (уровень активности 4);
3. Достижима до любого μ из μ_0 ;
4. Сохраняющая;
5. Устойчива;
6. Одновременна.

Анализируя все полученные на данном этапе сети Петри замечено, что при объединении подсистем в единую систему изменяется сохранность и появляются параллельные процессы.

Увеличивая функционал начальных позиций, используется цветная сеть Петри без увеличения количества начальных позиций.

Фишки(цвета) «а» и «b» 2 означают функции работы манипулятора, фишки(цвета) «с» и «d» 2 означают вид изготовления детали в ТПА, фишка «*» 2 несёт в себе обычный смысл, то есть говорит о том, что событие в позиции происходит.

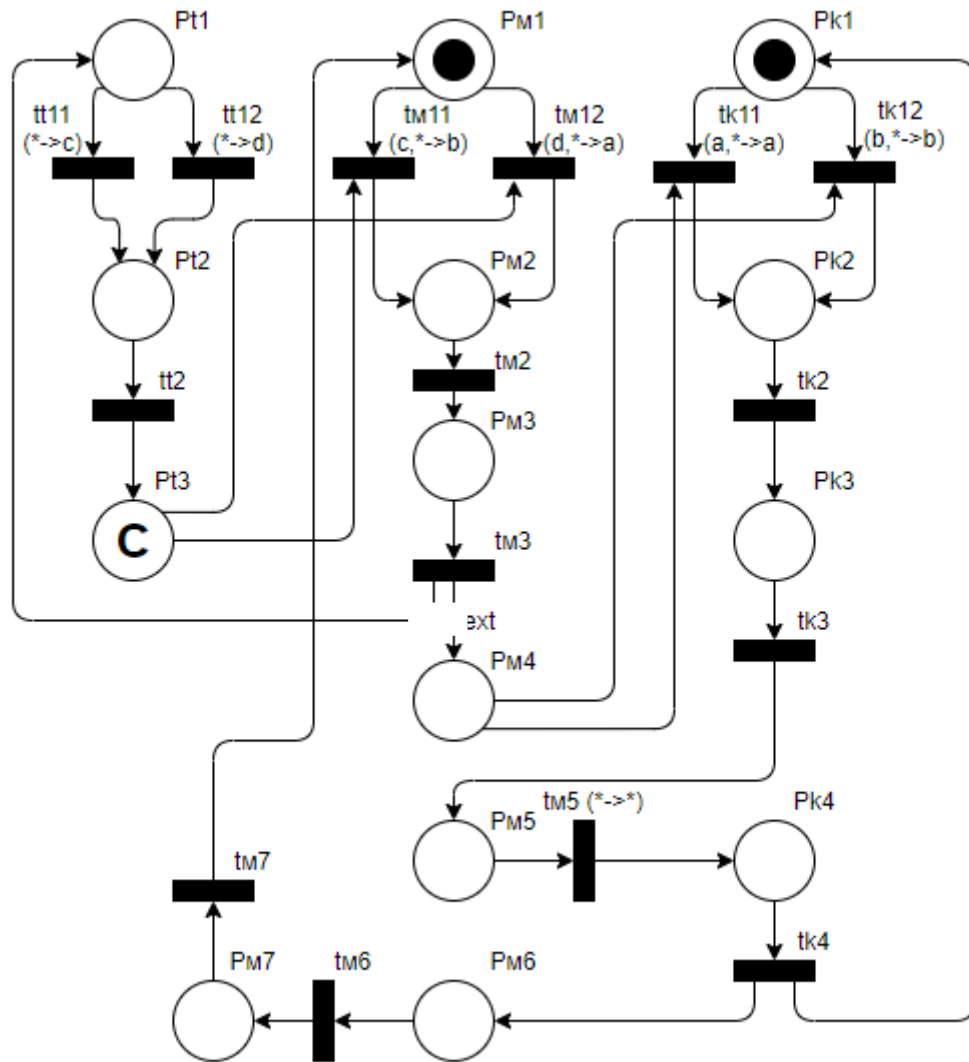


Рис. 6 – Моделирование Цветной Сети

Древо достижимости имеет 53 ветвления, что не позволяет показать ее рамках статьи, так данная ЦСП имеет следующие свойства:

1. Безопасна ($K=1$);
2. Активна (уровень активности 3);
3. Достижима до любого μ из μ_0 ;
4. Сохраняющая;
5. Не устойчива;
6. Одновременна.

Данное расширение позволяет существенно увеличить мощность сети Петри, но при этом уменьшается активность сети и она перестаёт быть устойчивой.

ЦСП может быть представлена в виде обычной СП, преобразования потребуют ввода новых дублирующих позиций, что значительно увеличит требуемую мощность вычислений в программных средствах.

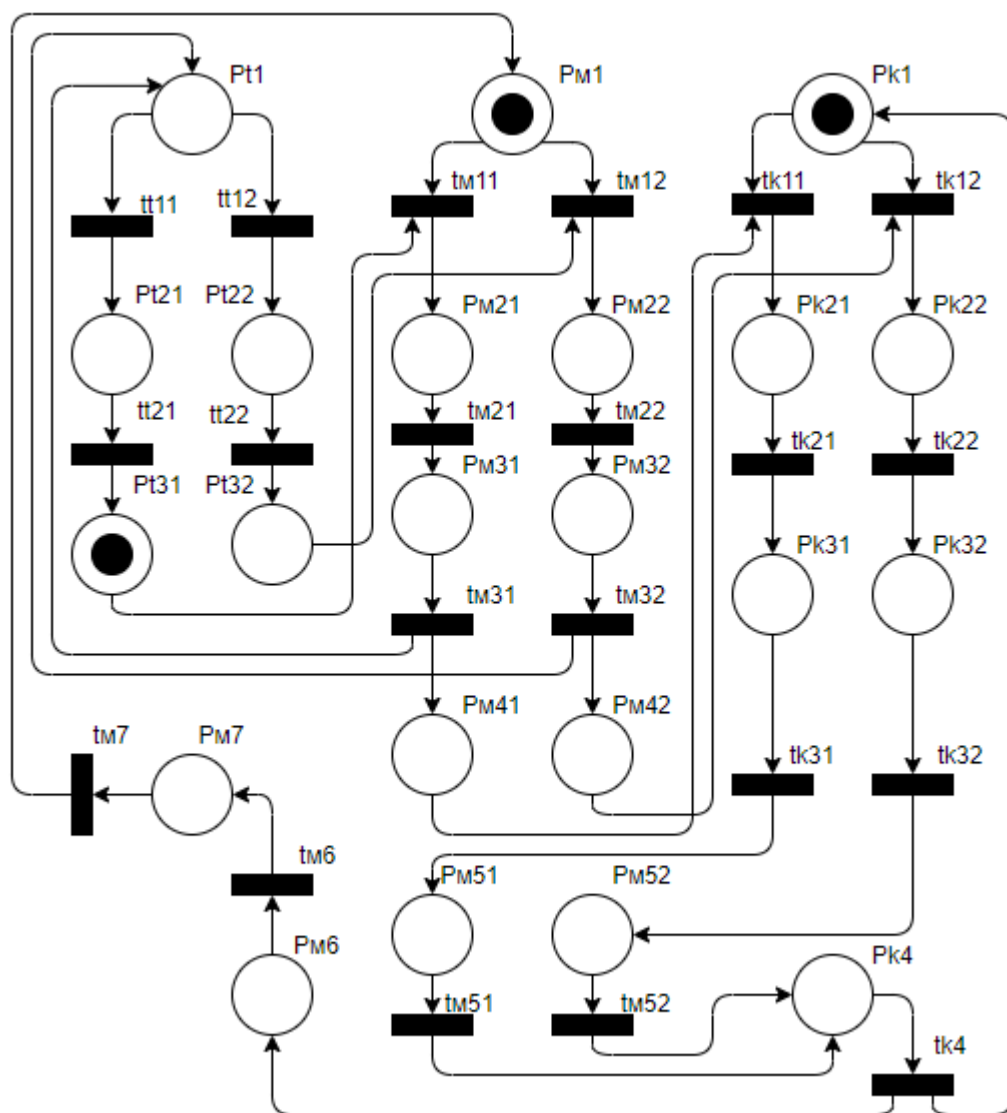


Рис. 7 – Моделирование обычной Сети Петри преобразованную из Цветной Древо достижимости имеет 45 ветвлений, что не позволяет показать ее рамках статьи, так данная СП имеет следующие свойства:

1. Безопасна ($K=1$);
2. Активна (уровень активности 3);
3. Достижима до любого μ из μ_0 ;
4. Сохраняющая;
5. Не устойчива;
6. Одновременна.

Требуемая мощность вычислений в программных средствах по [1] равна: $M = 2^{2n} = 2^{2 \cdot 21} = 4398046511104 \text{бит} = 512 \text{ГБ}$.

Наглядно видно, что при значительном выигрыше в требуемой мощности вычислений ЦСП имеет одинаковые свойства с её аналогом в обычной сети Петри.

Вывод:

Свойства цветной сети Петри одинаковые с её аналогом в обычной сети Петри, но мощность требуемых вычислений при этом многократно меньше. Поэтому, если стоит задача моделирования системы, где используемая система может выполнять несколько одинаковых (схожих) функций, при этом не изменять свою структуру, логичнее и выгоднее использовать цветную сеть Петри.

Таким образом, были проанализированы как единичные устройства (ТПА, конвейер и манипулятор), а также получены их свойства. Так и взаимная работа двумя способами (ЦСП и СП). Для составления полной градации (классификации) сетей Петри в зависимости от поставленных задач, необходимо проанализировать множество примеров из различных сфер. Только так возможно понять, какие свойства необходимы, а также подобрать более выгодную сеть Петри для определённой задачи.

Список источников:

1. В.И. Варшавский (ред.). Автоматное управление асинхронными процессами в ЭВМ и дискретных системах. — М.: Наука, 1986.
2. Л.Я.Розенблюм. Сети Петри. Известия АН СССР. Техническая кибернетика, №5, — М., 1983, стр.12 – 40. (<http://is.ifmo.ru/works/2013/rosenblum-petri-nets.pdf>)
3. Петерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. — М.: Мир, 1984. (Перевод с английского книги: J. Peterson, Petri net theory and the modeling of systems.)
4. Котов В.Е. Сети Петри. — М.: Наука, 1984.
5. М.Минский. Вычисления и автоматы. — М. , Мир, 1971.
6. М.А.Айзерман, Л.А.Гусев, Л.И.Розоноэр, И.М.Смирнова. А.А.Таль. Логика. Автоматы. Алгоритмы. — М., Физматгиз, 1963.