

УДК 621.391

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТОКОЛА ДИНАМИЧЕСКОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ RIP РАСКРАШЕННОЙ СЕТЬЮ ПЕТРИ

Шмелёва Т.Р.

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,
65029, Украина, г. Одесса, ул. Кузнецкая, 1.
tishtri@rambler.ru*

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОТОКОЛУ ДИНАМІЧНОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ RIP РОЗФАРБОВАНОЮ СІТКОЮ ПЕТРИ

Шмельова Т.Р.

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,
65029, Україна, м. Одеса, вул. Ковальська, 1.
tishtri@rambler.ru*

PERFORMANCE EVALUATION OF DYNAMIC ROUTING PROTOCOL RIP BY COLORED PETRI NET

Shmeleva T.R.

*O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications,
1 Kovalska St., Odessa, 65029, Ukraine.
tishtri@rambler.ru*

Аннотация. В настоящей работе построены модели процедур, предусмотренных протоколом динамической маршрутизации RIP, и выполнена оценка их эффективности на моделях магистральных сетей. Модели построены в виде раскрашенных сетей Петри в среде моделирующей системы CPN Tools. Представлены основные компоненты сети: базовая модель IP маршрутизатора, порта маршрутизатора, компоненты реализующей RIP протокол, схемы сети. Для исследования параметров качества обслуживания IP-сети использованы базовые модели терминальных сетей. Проведен сравнительный анализ эффективности IP-сетей с динамической и статической таблицами маршрутизации. Получена оценка полезной пропускной способности сети при разных видах нагрузки. Показано, что RIP протокол потребляет незначительную часть сетевых ресурсов при увеличении полезной нагрузки. Методика предназначена для выбора протоколов динамической маршрутизации и оптимизации их параметров, а также разработки новых протоколов динамической маршрутизации.

Ключевые слова: протокол динамической маршрутизации, сеть IP, протокол RIP, раскрашенная сеть Петри, пропускная способность сети.

Анотація. У даній роботі побудовано моделі процедур, передбачених протоколом динамічної маршрутизації RIP, і виконана оцінка їх ефективності на моделях магистральних мереж. Моделі побудовані у вигляді розфарбованих сіток Петрі у середовищі моделюючої системи CPN Tools. Представлені основні компоненти мережі: базова модель IP маршрутизатора, порту маршрутизатора, компоненти, які реалізують RIP протокол, схеми мережі. Для дослідження параметрів якості обслуговування IP-мережі використані базові моделі термінальних мереж. Проведено порівняльний аналіз ефективності IP-мереж з динамічною та статичною таблицями маршрутизації. Отримано оцінку корисної пропускної здатності мережі за різних видів навантаження. Показано, що RIP протокол споживає незначну частину мережевих ресурсів при збільшенні корисного навантаження. Методика призначена для вибору протоколів динамічної маршрутизації та оптимізації їх параметрів, а також розробки нових протоколів динамічної маршрутизації.

Ключові слова: протокол динамічної маршрутизації, мережа IP, протокол RIP, розфарбована сітка Петрі, пропускна здатність мережі.

Шмелёва Т.Р.

81

Abstract. The models of the procedures, which are stipulated by dynamic routing protocol RIP, were constructed. Their efficiency was estimated on backbone networks' models. Models are built in the form of colored Petri nets in the environment of simulation system CPN Tools. The basic network components are: the basic model of IP-router, router port, component, which implements the RIP protocol, network scheme. Basic models of terminal networks were used for investigation of IP network quality of service parameters. The comparative analysis of IP networks efficiency with dynamic and static routing tables was made. The estimation of the useful bandwidth for different types of loads was obtained. It is shown that the RIP protocol consumes a small part of network resources, while increasing the useful load. The technique is applicable for the dynamic routing protocols choice and optimization of their parameters, as well as the development of new dynamic routing protocols.

Key words: dynamic routing protocol, IP network, protocol RIP, colored Petri net, network bandwidth

В телекоммуникационных сетях различных масштабов и топологий всегда важнейшей составляющей является маршрутизация. Маршрутизация – это процесс определения маршрута следования информации в сетях, таким образом, необходимо решить проблему корректности протоколов маршрутизации, оптимизации их параметров и разработки новых протоколов и их версий.

Среди современных подходов к автоматическому (динамическому) построению маршрутных таблиц, можно выделить широкоовещание и пассивное прослушивание (Ethernet), дистанционно-векторный подход (RIP, BGP) [1], подход мониторинга состояния связей (OSPF), запросы на создание индивидуальных маршрутов (MPLS-LDP). Дистанционно-векторные протоколы основаны на математическом доказательстве их сходимости для сетей с фиксированной топологией и минимизации периода нестабильности при изменении топологии. Это обуславливает их применение как на периферии глобальных сетей (RIP), так и в магистральных ядра Интернет, соединяющего автономные системы (BGP). Однако, представленные в [2, 3, 5] исследования IP-сетей не рассматривают использование протоколов динамической маршрутизации.

Целью данной статьи является построение модели IP-сети в форме раскрашенных сетей Петри [4], исследование протокола RIP в виду сравнительно небольшого размера исследуемых сетей, результаты работы могут быть интерполированы на магистральные сети и протокол BGP при наличии необходимых вычислительных ресурсов.

Обзор протокола маршрутизации RIP для сетей IP. Протокол RIP [1] принадлежит к классу так называемых IGP протоколов и является внутренним протоколом маршрутизации, типичным для современных IP сетей. Наибольшее распространение получил в небольших однородных сетях, является протоколом маршрутизации дистанционно-векторного типа, который позволяет маршрутизаторам динамически обновлять маршрутную информацию, получая её от соседних маршрутизаторов.

Алгоритм маршрутизации RIP, который еще называют алгоритмом Беллмана-Форда, характеризует маршрут вектором расстояния до сети назначения. Максимальное количество число транзитных участков (хопов) или диаметр сети, разрешенных протоколом RIP, составляет 15, а метрика 16 означает «бесконечно большую метрику», т.е. недостижимый сегмент сети. Перечислим основные положения протокола RIP:

– после загрузки маршрутизатору RIP известно, к каким сетям он непосредственно подключен, эти сети заносятся в таблицу маршрутизации, у прямо подключенных сетей расстояние равно нулю;

– маршрутизаторы получают сообщение и обновляют собственные таблицы маршрутизации, каждые 30 с вся или часть таблицы маршрутизации посылается всем соседним маршрутизаторам;

– после определенного времени (время сходимости) все маршрутизаторы знают обо всех сетевых адресах сети;

– если информация о сети поступает от разных маршрутизаторов, то существуют избыточные пути к этой сети, только путь с самой низкой метрикой сохраняется в таблице

маршрутизации; при получении сообщений с одинаковой метрикой, будет выбрано более раннее сообщение, т.е., между двумя сетями оставляется точно один активный путь;

– если строчка (маршрут) таблицы маршрутизации не обновляется в течение 180 с, то маршрут считается устаревшим.

Протокол RIP содержит определенные недостатки, например, не могут быть своевременно обнаружены петли маршрутизации; возникают проблемы медленной конвергенции, из-за 30 с обновления и 180 с “старееющего” времени ожидания; и в больших сетях проблема “стремление к бесконечности”, но в данной статье они не рассматриваются.

Модель IP-сети. Для сравнительной оценки эффективности IP-сетей с динамической и статической [2] таблицами маршрутизации построены модели фрагмента Европейской магистрали Интернет [3] по структурной схеме сети, представленной в [4]. Магистральная сеть образована 7-ю маршрутизаторами, к 6-ти из которых присоединены терминальные сети, содержащие IP адреса в адресном пространстве соответствующих стран.

Терминальные сети периодически генерирует пакеты со случайными адресами отправителя и получателя, адрес отправителя пакета находится в диапазоне адресов собственных сетей, а адрес получателя в диапазоне адресов всех сетей моделируемого фрагмента магистрали Интернет. Генерируемый терминальными сетями трафик обеспечивает адекватность построенных моделей IP сетей реальным процессам, в работе моделируется трафик, предложенный в [2, 4]. Модели протокола динамической маршрутизации RIP и IP-сети представлены раскрашенной сетью Петри [5] в среде моделирующей системы CPN Tools.

Главная страница модели IP-сети. Главная страница модели, представленная в [3], дополнена элементами, моделирующими динамическую маршрутизацию с помощью протокола RIP. Фрагмент главной страницы модели для маршрутизатора R2 (Швеция) представлен на рис. 1.

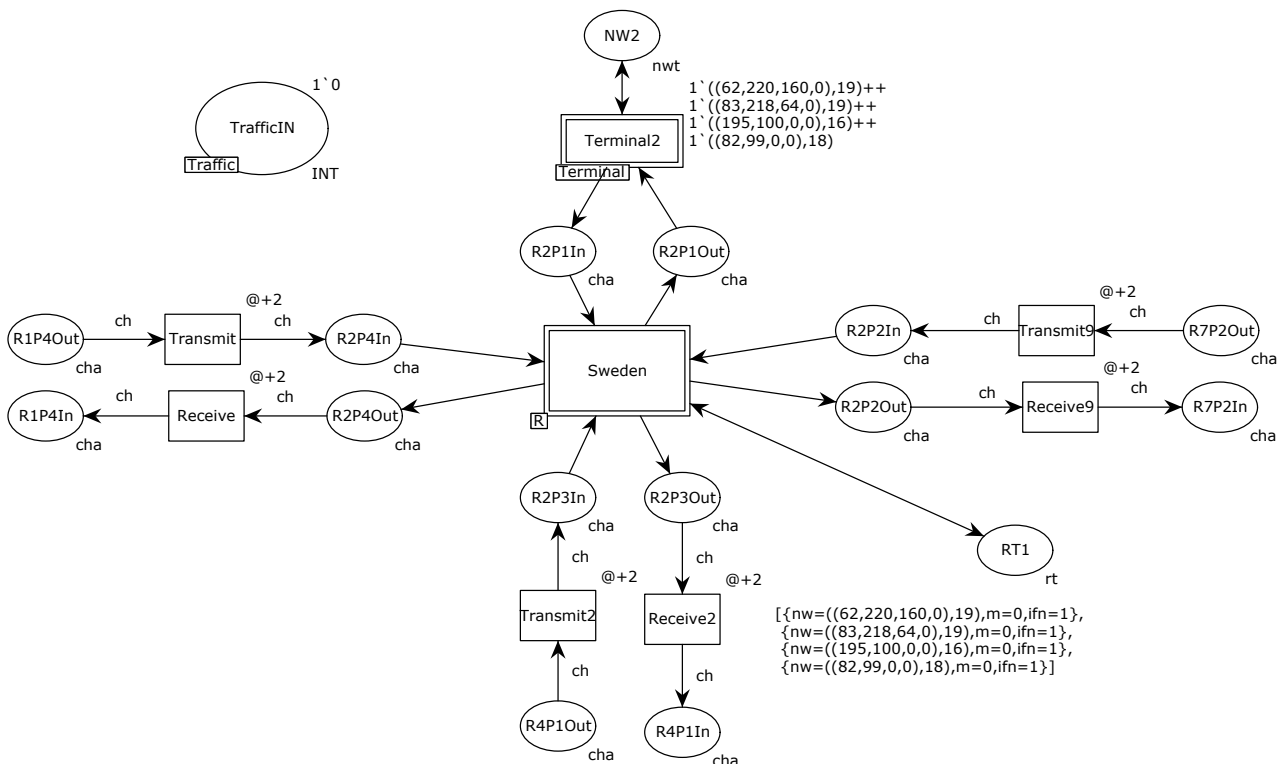


Рисунок 1 – Фрагмент модели главной страницы IP-сети

К каждому переходу, моделирующему маршрутизатор, добавлена позиция, описывающая начальную таблицу маршрутизации, в которой, согласно [1], находятся адреса присоединенных IP-сетей. К модели маршрутизатора R2, переход *Sweden*, присоединена позиция *RT1*. В начальной маркировке этой позиции адреса подключенных сетей соответствуют адресам терминальных сетей, присоединенных к первому порту маршрутизатора, $inf=1$, и определенных в позиции *NW2*, метрика равна нулю, $m=0$. Первая запись $\{nw=((62,220,160,0),19), m=0, inf=1\}$ в таблице маршрутизации обозначает, что сеть с адресом $((62,220,160,0),19)$ присоединена через первый интерфейс, число хопов (метрика) равно нулю.

Переходы *Transmit** и *Receive** моделируют передачу пакетов в каналах без потери пакетов, переход *Terminal** – подмодели терминальных сетей. Позиции *R*P*Out* и *R*P*In* моделируют выходные и входные порты маршрутизаторов, позиция *NW** – адреса терминальных IP-сетей.

Модель IP маршрутизатора. Модель IP маршрутизатора состоит из главной страницы модели маршрутизатора, нескольких подмоделей портов по количеству портов и подмодели, реализующей работу протокола динамической маршрутизации RIP. Построение компонентов сети, реализующих дистанционно-векторные алгоритмы маршрутизации предложено в [6]. Модель главной страницы модели 4-портового маршрутизатора показана на рис. 2.

В данной модели, в отличие от [6], не используются рекурсивные функции для работы с адресной таблицей, представленной списковой структурой, что позволило ускорить процесс моделирования и оценки результатов. Как следствие, модель содержит меньшее количество позиций и переходов.

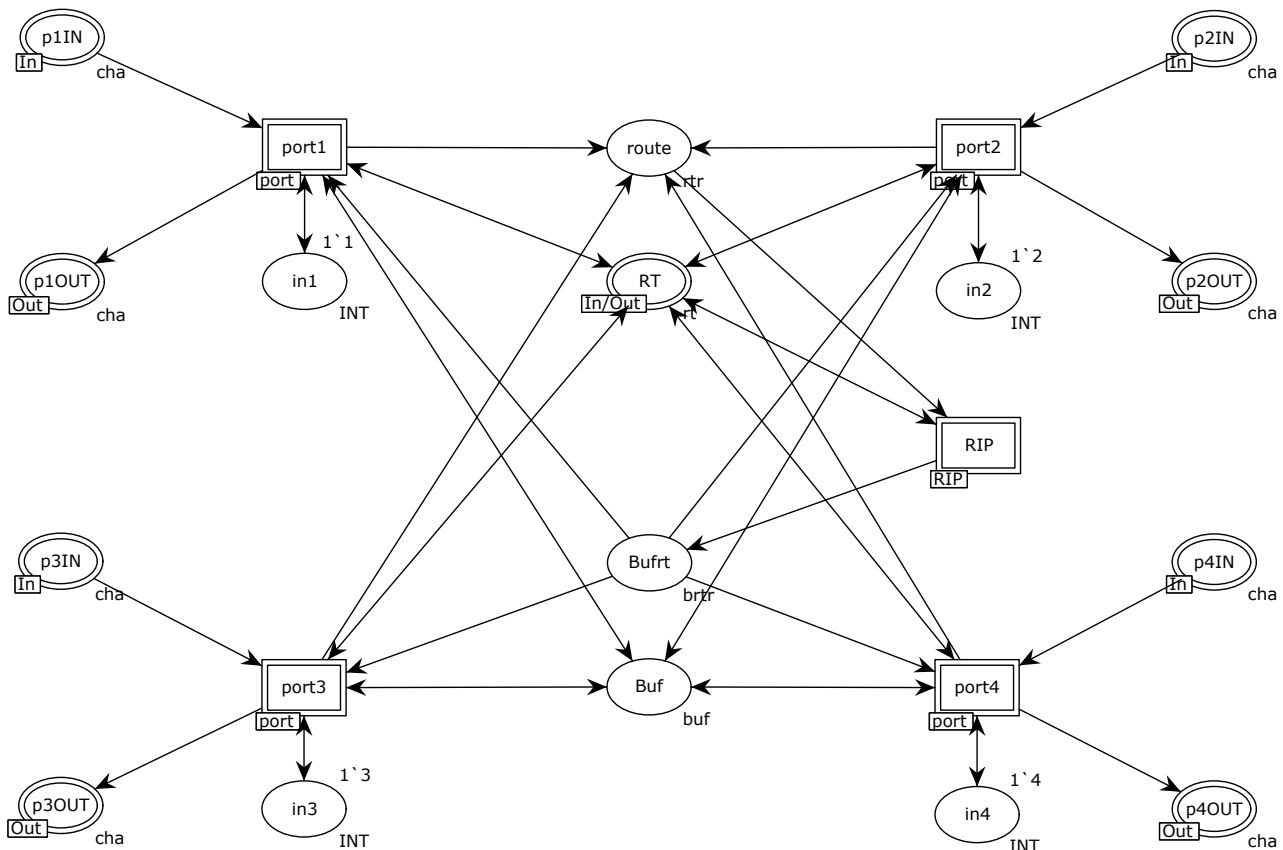


Рисунок 2 – Модель IP маршрутизатора

Переходы *port** моделируют подмодели соответствующих портов маршрутизатора, контактные позиции *p*OUT* и *p*IN* выходные и входные порты, позиция *in** в виде маркировки содержит номер порта. Полученные портами сообщения RIP протокола направляются в позицию *route* для обработки подмоделью, реализующей работу протокола и

представленной переходом *RIP*. Таблица маршрутизации описывается совмещенной для всех подмоделей позицией *RT*. Для передачи пользовательских пакетов буфер маршрутизатора описан позицией *Buf*; для передачи служебных сообщений, генерируемых *RIP* протоколом, используется позиция *Bufrt*.

Модель порта IP маршрутизатора. Порты маршрутизатора работают в полнодуплексном режиме, модель представлена на рис. 3 и состоит из двух частей: прием и обработка входных служебных и пользовательских сообщений; передача сообщений в сеть. Из входного канала порта *pIN* пакеты обрабатываются тремя способами; служебное сообщение извлекается переходом *getrtr* и размещается в позиции *route* для анализа маршрутной информации, в сообщении метрика увеличивается на единицу, номеру порта присваивается номер текущего принимающего порта, определенному в позиции *pnum*. Пользовательский пакет удаляется из сети переходом *droppkt*, если в таблице маршрутизации (позиции *RT*) отсутствует информация о дальнейшем маршруте пакета, тогда счетчик потерянных пакетов, позиция *ndrop* увеличивается на единицу. Пользовательский пакет извлекается переходом *getpkt* и размещается во внутреннем буфере маршрутизатора *Buf*, если функция *sameNW* определила IP адрес интерфейса назначения в соответствии с таблицей маршрутизации, представленной позицией *RT*. В выходной канал порта, который представлен позицией *pOUT*, передаются пользовательские пакеты из буфера *Buf* в соответствии с интерфейсом назначения IP адреса пакета, хранимым в позиции *pnum* при срабатывании перехода *putpkt*; переход *putrtr* извлекает служебный пакет из буфера *Bufrt* и размещает его в позицию *pOUT*.

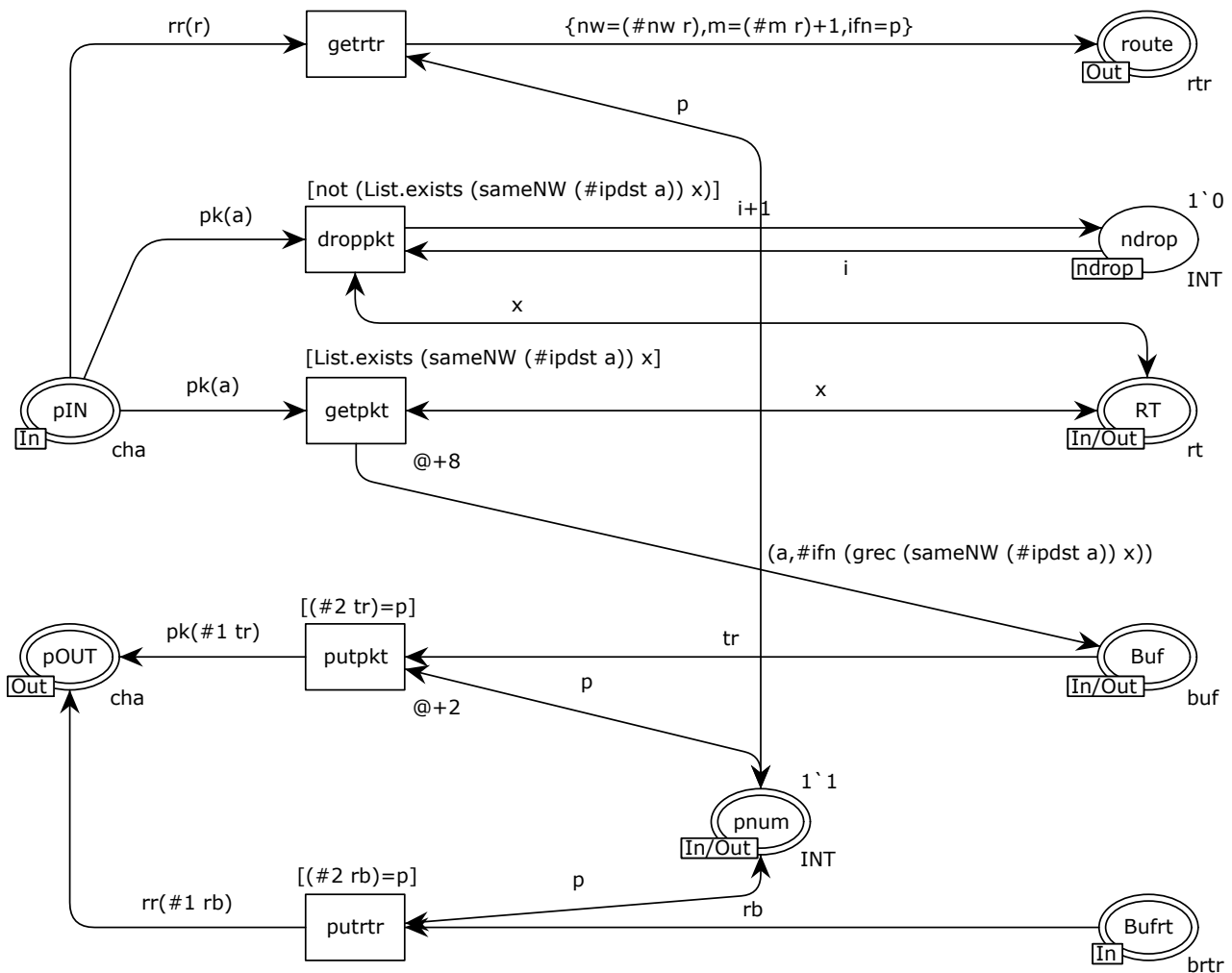


Рисунок 3 – Модель порта IP маршрутизатора

Процедура обработки входных пакетов отличается от предложенной в [6]. Не используются дополнительные метрики, рекурсивная функция при работе с таблицей маршрутизации, не выполняется подсчет полученных RIP сообщений. Отличия не влияют на качество получаемых результатов, и позволяют ускорить загрузку и работу модели.

Модель протокола динамической маршрутизации RIP. Функционирование модели IP-сети начинается с формирования таблиц маршрутизации и генерации сообщений об этих таблицах для других RIP маршрутизаторов, эти функции реализованы в модели протокола динамической маршрутизации RIP, представленной на рис. 4. После загрузки известно, какие сети подключены к маршрутизатору непосредственно, адреса этих сетей являются начальной маркировкой позиции *RT*; каждые 30 с (1000 MTU) вся или часть таблицы маршрутизации посылается всем соседним маршрутизаторам. Переход *start* запускает процедуру генерации RIP сообщений, таймером этой процедуры является позиция *clock*. Далее переход *put* формирует RIP сообщения в буфер маршрутизатора, который описан совмещенной для всех портов позицией *bufprt*. Передача сообщений в сеть описана в выше рассмотренной модели порта.

Полученные служебные сообщения от соседних маршрутизаторов записываются в позицию *route*. Обновление таблиц маршрутизации не происходит, срабатывает переход *ignore*, если сообщение содержит худшие метрики, чем те, которые сохранены в таблице в настоящее время и если отправитель этого сообщения не является маршрутизатором, сформировавшим ранее лучшую метрику.

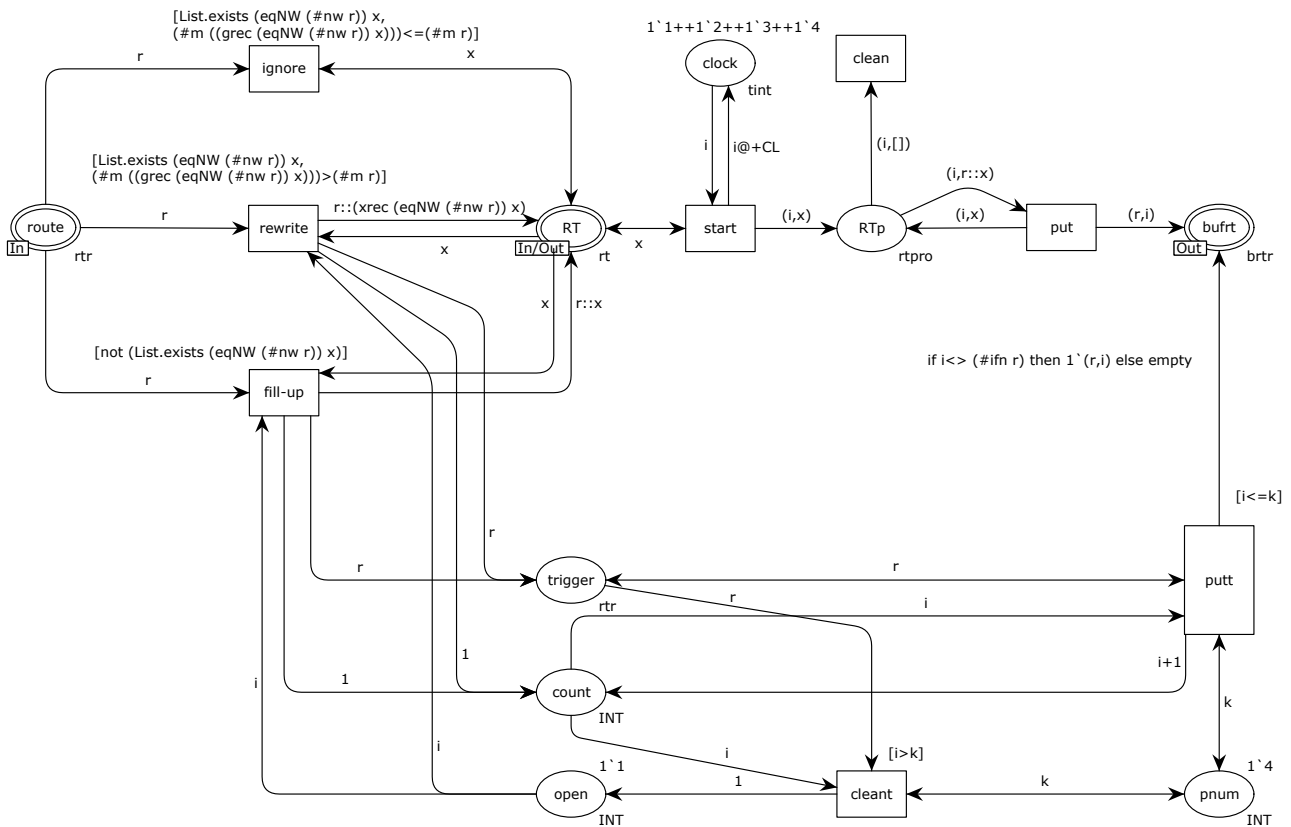


Рисунок 4 – Модель RIP протокола

Обновление таблиц маршрутизации происходит в следующих случаях: если приходит информация, не содержащаяся в таблице маршрутизации, тогда срабатывает переход *fill-up*, который генерирует новую запись в таблице маршрутизации, позицию *RT*, и

запускает формирование сообщений для соседних маршрутизаторов в буфер маршрутизатора, позицию *bufirt*. Группа позиций *trigger*, *count*, *open*, *pnim* и переход *cleant* осуществляют формирование RIP сообщений, переход *putt* направляет их в буфер маршрутизатора. Перезапись (обновление) таблиц маршрутизации происходит, если поступившие изменения имеют более лучшую метрику, чем существует в таблице маршрутизации. Срабатывает переход *rewrite*, который записывает в таблицу маршрутизации позицию *RT*, обновленную информацию с лучшей метрикой и запускает формирование RIP сообщений для соседних маршрутизаторов.

Сравнительная оценка IP-сетей с динамической и статической таблицами маршрутизации. Для анализа эффективности IP-сетей с динамической и статической [2] таблицами маршрутизации выполнялось скоростное моделирование на длительных интервалах времени, трафик измерялся в условиях различных видов нагрузки (слабой, средне-статистической и пиковой), обеспечиваемой терминальными сетями. Совмещённая позиция измерения трафика *Traffic* представлена в моделях терминальных сетей, а также на главной странице модели (рис. 1).

По результатам измерения трафика для указанных интервалов модельного времени получен график сравнительной эффективности IP-сетей с динамической и статической таблицами маршрутизации, представленный на рис. 5, а). Результаты измерения трафика в условиях различных видов нагрузки (слабой, средне-статистической, пиковой), представлены на рис. 5, б). График получен для IP сети с динамическими таблицами маршрутизации, оценивалось соотношение пользовательского и служебного трафика при увеличении нагрузки сети.

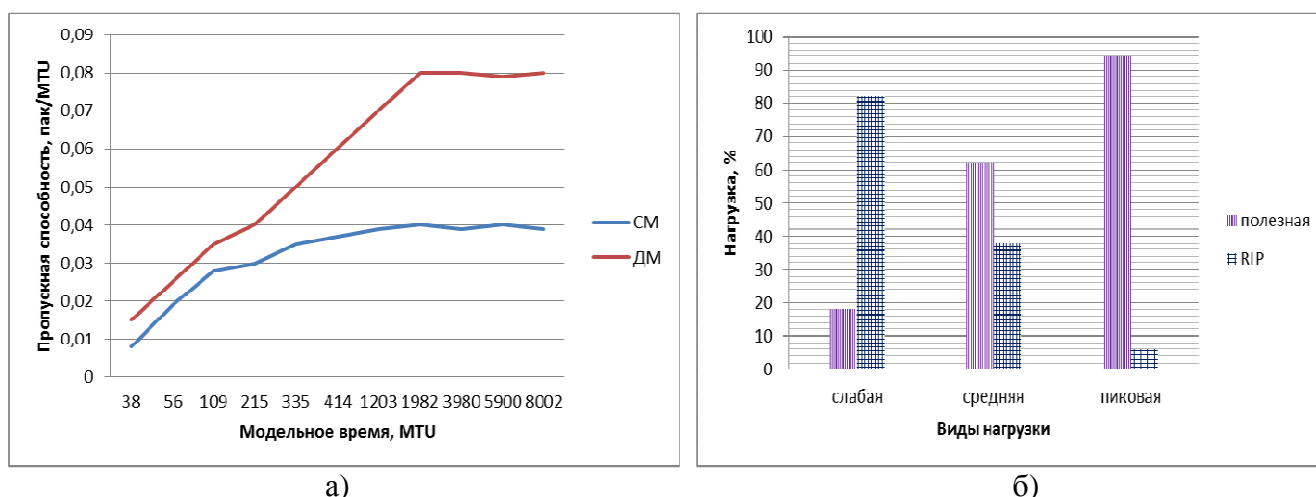


Рисунок 5 – Оценка эффективности протокола динамической маршрутизации RIP: а) сравнительная оценка эффективности IP-сетей с динамической и статической таблицами маршрутизации при слабой нагрузке; б) оценка полезной пропускной способности сети

Анализ результатов моделирования позволяет сделать вывод, что при передаче пользовательского трафика эффективность IP-сетей со статической таблицей маршрутизации выше, чем с динамической таблицей маршрутизации, в среднем в 2 раза при слабой нагрузке сети.

Оценка эффективности протокола динамической маршрутизации RIP показала, что при средней и высокой нагрузке сети, протокол потребляет незначительную часть ресурсов (менее 10%), что оправдывает его применение как в периферийных сетях, так и его дальнейшее развитие для использования в магистральных.

Направлением дальнейших исследований является оценка эффективности IP-сетей и протоколов динамической маршрутизации в условиях отказов сетевого оборудования, фильтрации трафика, сетевых атак и т.д.

ЛИТЕРАТУРА:

1. RFC 2453: RIP Version 2 / G. Malkin, (November 1998). – 39 p.
2. Шмелёва Т.Р. Параметрическая модель IP-сетей в форме раскрашенных сетей Петри / Т.Р. Шмелёва // Сборник УНДИС. – 2009. – № 1(9). – С. 70-77.
3. Zaitsev D.A. Clans of Petri Nets: Verification of protocols and performance evaluation of networks, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013, 292 p.
4. Зайцев Д.А. Исследование эффективности технологии MPLS с помощью раскрашенных сетей Петри / Д.А. Зайцев, А.Л. Сакун // Зв'язок. – 2006. – Т. 65. – № 5. – С. 49-55.
5. Jensen K., & Kristensen L.M. Coloured Petri Nets. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009 Berlin Heidelberg, Germany: Springer-Verlag. 389 p.
6. Гуляев К.Д. Динамическая маршрутизация в E6 сетях / К.Д. Гуляев, Д.А. Зайцев // Радиотехника. – 2009. – Вып. 159. – С.294-301.

REFERENCES:

1. RFC 2453: RIP Version 2 / G. Malkin, (November 1998). – 39 p.
2. Shmeleva T.R. Parametric model of IP networks in colored Petri nets form // USIIT (UNDIZ). – 2009. – №1(9). – P. 70-77. In Russ.
3. Zaitsev D.A. Clans of Petri Nets: Verification of protocols and performance evaluation of networks, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013, 292 p.
4. Zaitsev D.A., Sakun A.L. Studying the efficacy of MPLS technology via Colored Petri nets // Zviazok (Communications), 2006, Vol. 65, no. 5. – P. 49-55. In Russ.
5. Jensen K., & Kristensen L.M. Coloured Petri Nets. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009 Berlin Heidelberg, Germany: Springer-Verlag. 389 p.
6. Guliaiev K.D., Zaitsev D.A. Dynamic Routing within E6 Networks // Raditekhnika: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag., 2009, Issue 159. - P. 294-301. In Russ.