

Available online at www.jpit.az13 (1)
2022

A method for intelligent planning of computer networks monitoring

Ramiz H. Shikhaliyev

Institute of Information Technology, Azerbaijan National Academy of Sciences, B. Vahabzade str., 9A, AZ1141 Baku, Azerbaijan

ramiz@science.az

ARTICLE INFO

<http://doi.org/10.25045/jpit.v13.i1.05>

Article history:

Received 10 August 2021

Received in revised form 1 November 2021

Accepted 21 January 2022

Keywords:

computer networks
network monitoring
intelligent scheduling of monitoring
machine learning

ABSTRACT

To ensure the efficiency of management, the security of computer networks (CN), as well as to ensure the required level of quality of service for network applications, accurate and up-to-date information on the state of the CN is required. This information can be obtained through continuous active monitoring of the quantitative characteristics of the CN. Thus, active monitoring becomes an important tool for ensuring the efficiency of management and security of the CN. However, continuous active monitoring, especially of large networks, can lead to congestion of network channels, which can reduce the effectiveness of monitoring the CN. Consequently, with active monitoring of the CN, it is necessary to manage the use of resources (channel and computational) of the network and reduce the load on the network. To solve this problem, this paper proposes a method for intelligent planning of monitoring of the CN. Using machine learning algorithms, can be analyzed the state and performance of the CN and acquire knowledge that can be used to determine the most appropriate rules for monitoring the CN. Thus, it is necessary to find such monitoring rules that will ensure the effectiveness of monitoring the CN. The proposed method can reduce the impact of monitoring on network performance, and on the operation of network applications.

Kompüter şəbəkələrinin monitorinqinin intellektual planlaşdırmasının bir üsulu haqqında

Açar sözlər:

kompüter şəbəkələri
şəbəkə monitorinqi
monitorinqin intellektual planlaşdırılması
məşin təlimi

Kompüter şəbəkələrinin idarə edilməsinin səmərəliliyini, təhlükəsizliyini, habelə şəbəkə təbiiqləri üçün tələb olunan xidmət keyfiyyətinin təmin edilməsi üçün KŞ-nin vəziyyəti haqqında dəqiq və aktual informasiyanın olması tələb olunur. Bu informasiyanı KŞ-nin kəmiyyət göstəricilərinin davamlı aktiv monitorinqi vasitəsilə əldə etmək olar. Beləliklə, aktiv monitorinq KŞ-nin effektiv idarə edilməsi və təhlükəsizliyinin təmin edilməsi üçün mühüm alətə çevrilir. Bununla belə, davamlı aktiv monitorinq, xüsusən də böyük şəbəkələrin monitorinqi, şəbəkə kanallarının izafi yüklənməsinə səbəb ola bilər ki, bu da KŞ-nin monitorinqinin effektivliyini azalda bilər. Nəticə etibarilə, KŞ-nin aktiv monitorinqi zamanı şəbəkənin resurslarının (kanal və hesablaşma) istifadəsini idarə etmək və şəbəkəyə olan yükü azaltmaq lazımdır. Bu problemi həll etmək üçün bu işdə KŞ-nin monitorinqinin intellektual planlaşdırılması üçün metod təklif edilir. Məşin təlimi alqoritmlərindən istifadə edərək, KŞ-nin vəziyyətini və məhsuldarlığını analiz edə və KŞ-nin monitorinqi üçün ən uyğun qaydaları müəyyən edilməsi üçün istifadə oluna bilər biliklər əldə oluna bilər. Beləliklə, elə monitorinq qaydalarını tapmaq lazımdır ki, KŞ-nin monitorinqinin effektivliyi təmin edilsin. Təklif olunan üsul monitorinqin şəbəkə məhsuldarlığına və şəbəkə təbiiqlərinin işinə təsirini minimuma endirə bilər.

Об одном методе интеллектуального планирования мониторинга компьютерных сетей

Ключевые слова:

компьютерные сети,
мониторинг сети, интеллектуальное планирование мониторинга,
машинное обучение

Для обеспечения эффективности управления, безопасности компьютерных сетей, а также обеспечения требуемого уровня качества обслуживания для сетевых приложений требуется наличие точной и актуальной информации о состоянии КС. Эта информация может быть получена посредством непрерывного активного мониторинга количественных характеристик КС. Таким образом, активный мониторинг становится важным инструментом для обеспечения эффективности управления и безопасности КС. Однако непрерывный активный мониторинг, особенно больших сетей, может привести к перегрузке сетевых каналов, что может снизить эффективность мониторинга КС. Следовательно, при активном мониторинге КС необходимо управлять использованием ресурсов сети (канальных и вычислительных) и снизить нагрузку на сеть. Для решения этой проблемы в данной работе предлагается метод интеллектуального планирования мониторинга КС. Применяя алгоритмы машинного обучения, можно анализировать состояние и производительность КС и приобрести знания, которые можно использовать для определения наиболее подходящих правил мониторинга КС. Таким образом, необходимо найти такие правила мониторинга, которые обеспечат эффективность мониторинга КС. Предложенный метод может снизить влияние мониторинга на производительность сети и на работу сетевых приложений.

1. Введение

Непрерывный активный мониторинг компьютерных сетей (КС) имеет важное значение для эффективного управления и обеспечения безопасности КС, а также требуемого качества обслуживания для сетевых приложений. Активный мониторинг сети основан на анализе данных, собранных в результате включения в сеть дополнительных тестовых пакетов (Shikhaliyev, 2011; Mohan, Reddy, Kalpana, 2011). При этом активный мониторинг состоит из измерения количественных характеристик КС. Посредством активного мониторинга КС может быть получена информация о таких характеристиках, как доступная полоса пропускания сети, пропускная способность сети, задержки, время приема-передачи (RTT – round-trip time), флуктуации и т.д. Активный мониторинг может быть как периодическим, так и по требованию. Независимо от используемого способа активного мониторинга, издержки потребления ресурсов сети при мониторинге узлов сети являются проблемой, и они могут влиять на производительность КС. В терминах пропускной способности потока трафика, производительность КС определяется как отношение среднего размера потока к средней продолжительности потока (Bonald, Roberts, 2007).

Обычно в больших КС масштаб инфраструктуры сбора данных мониторинга и объем анализируемых данных очень большие. Проведение в таком масштабе активного мониторинга со статической стратегией мониторинга может привести к перегрузке каналов связи, что может снизить общую производительность сети. Следовательно, появляется необходимость управления использованием ресурсов сети (вычислительной мощностью сети, памятью и пропускной способностью сетевых каналов) при активном мониторинге, что является ключевым шагом в обеспечении эффективности мониторинга КС. При этом основной задачей является эффективный менеджмент сбора большого объема данных мониторинга. Для решения этой задачи необходимо разработать новые

интеллектуальные подходы к мониторингу КС, то есть методы интеллектуального планирования мониторинга КС. При этом можно сказать, что планирование интеллектуального мониторинга позволит обеспечить эффективность управления, безопасность и производительность КС. Целью планирования мониторинга КС являются минимизация нагрузки на сеть при активном мониторинге посредством снижения объема трафика мониторинга и обеспечение требуемой производительности сети, а также соответствие качества обслуживания сети требованиям приложений.

Планирование определяется как распределение ресурсов по заданиям с течением времени и является процессом принятия решений с целью оптимизации одной или нескольких целей (Pinedo, 2016). Задача планирования связана с поиском оптимальных планов с учетом ряда ограничений. Однако большинство методов, разработанных для решения задачи планирования, не подходит для динамических систем, в которых имеются различные ограничения и множество неожиданных сбоев. По сути, КС являются динамической системой, в которой имеются различные ограничения и множество неожиданных сбоев. В большинстве реальных систем планирование является непрерывным реактивным процессом, при котором в реальном времени постоянно пересматриваются и переустанавливаются заранее определенные планы. Поэтому для решения задач планирования целесообразно использование методов искусственного интеллекта, в частности алгоритмов машинного обучения.

Целью данной статьи является разработка метода интеллектуального планирования мониторинга КС, обеспечивающего минимизацию нагрузки на сеть, то есть минимизацию потребления ресурсов сети при активном мониторинге КС. Потому что потребление сетевых ресурсов КС при использовании различных правил (стратегий) мониторинга различается. Минимизация нагрузки на сеть позволит обеспечить требуемую производительность сети при активном мониторинге КС. Для решения

поставленной задачи предлагается использовать алгоритмы машинного обучения. Используя алгоритмы машинного обучения, можно анализировать предыдущее состояние и производительность КС на основании обучающих примеров, приобретать знания. Эти знания могут быть использованы для определения наиболее подходящих правил мониторинга КС (например, проведение мониторинга в определенные часы, дни, а также определенных серверов, узлов, сервисов, характеристик сети и т.д.) в текущие моменты времени. Предложенный метод планирования мониторинга КС позволит снизить нагрузку как на сеть, так и на систему мониторинга, вследствие чего повысится эффективность системы мониторинга КС в целом.

2. Связанные работы

В литературе по теме планирования мониторинга КС имеется не так много работ, тем не менее рассмотрим некоторые решения по планированию мониторинга сетей. В работе (Geng и др., 2018) авторы предлагают архитектуру мониторинга и планирования сетей на основе SDN (Software-Defined Network) технологий, в которой уровни управления и данных разделены. Сетевой администратор может использовать контроллер для регулирования уровня управления сетью и программировать уровень управления для развертывания новых сетевых функций. Большинство существующих методов на основе SDN обеспечивает мониторинг состояния сети с помощью дополнительных зондовых пакетов, поллинга и т.д., что делает мониторинг сети слишком дорогостоящим. Для устранения больших накладных расходов в SDN сетях предлагается использовать P4 (Bosshart и др., 2014). P4 – это язык программирования, который в основном используется для предоставления инструкций сетевым устройствам (например, коммутаторам, сетевым картам, межсетевым экранам и т.д.) по пересылке данных. Суть предложенного подхода заключается в реализации в P4 мониторинга и планировании функций отслеживания, а также визуализации информации о состоянии сети. Кроме того,

была предложена и реализована схема планирования трафика на основе информации о состоянии сети и архитектуры маршрутизации P4. Предложенная схема планирования оценена на основе INT (Inband Network Telemetry), которая разработана для обеспечения сбора и передачи отчетов о состоянии уровня данных без вмешательства уровня управления (Kim и др., 2016).

В (Mathew, 2017) предложен контейнерный, децентрализованный и параллельный планировщик для активного мониторинга производительности сети. Предложенный планировщик реализован для платформы мониторинга контейнеров ConMon и для запуска внутри распределенных контейнеров. Целью такого подхода является развертывание контейнеров планирования в хостах, в которых запущены приложения. Выполнение мониторинга таким образом дает лучшее понимание использования приложением производительности сети, и планировщик лучше детализирует время мониторинга по сравнению с другими распределенными и децентрализованными планировщиками. Несмотря на то, что схема мониторинга близка к циклической, в динамически адаптируемом кластере мониторинга планирование удается выполнять последовательно, не вызывая конфликты мониторинга.

В работе (Qin, Rojas-Cessa, and Ansari, 2010) авторами предложена схема планирования измерений при мониторинге сетей. Суть планирования заключается в разрешении конфликтов за использование ресурсов как для задач периодических измерений, так и для задач измерения по требованию. Для этого используется раскраска графов, называемая порядком возрастания суммы количества кликов и степени задач. При этом каждая задача измерения рассматривается как вершина графа, а конкуренция/конфликт между двумя задачами представляет собой ребро, соединяющее эти две вершины. Задачи выбираются в соответствии с порядком возрастания суммы числа кликов и степени конфликтной задачи на графе конфликтов, что позволяет одновременно выполнять

несколько задач измерения степени использования ресурсов. Предложенная схема уменьшает среднее время ожидания выполнения всех задач в расписании периодических измерительных задач. Для задач измерения по запросу схема минимизирует время ожидания выполнения вставленных задач по запросу, сохраняя при этом высокий уровень использования временного пространства. При этом сокращается общее время, затрачиваемое на выполнение всех задач.

Планирование измерений сети при ограниченных ресурсах (например, ресурсов серверов, полосы пропускания сети и т.д.) может оказаться невозможным из-за высоких нагрузок запросов измерений. Следовательно, запросы на измерения сети, которые невозможно запланировать, могут отрицательно повлиять на точность мониторинга. Для решения этой задачи в работе (Calyam и др., 2010) предлагается алгоритм семантического планирования, основанный на принципах детерминированного и эвристического планирования обработки запросов измерений. Предложенный алгоритм позволяет достигнуть целей мониторинга сети и принятия решений по адаптации ресурсов. Семантические приоритеты, используемые в этом алгоритме планирования, основаны на политиках уровня пользователя и уровня ресурсов. Это позволяет проводить приоритетную обработку запросов на измерения, которые заменяют типичные приоритеты планирования, основанные на периодичности и времени выполнения. Предложенный алгоритм семантического планирования оценивается использованием таких показателей, как время цикла и коэффициент удовлетворенности, для увеличения нагрузки запросов измерений.

В работе (Barlet-Ros, 2008) предлагается метод, называемый «сбросом нагрузки», который позволяет системам мониторинга эффективно справляться с ситуациями перегрузки при наличии множества произвольных и конкурирующих приложений мониторинга. Автором была предложена схема прогнозируемого сброса

нагрузки, которая может сбрасывать избыточную нагрузку при очень больших объемах сетевого трафика и поддерживать точность приложений мониторинга в пределах, определенных конечными пользователями, обеспечивая при этом оптимальное распределение вычислительных ресурсов для различных приложений. Основное новшество предложенной схемы состоит в том, что она рассматривает приложения мониторинга как черные ящики с произвольным и очень изменчивым входным трафиком. Без каких-либо знаний о внутреннем устройстве приложения предлагаемая схема извлекает набор признаков из потоков трафика для построения модели прогнозирования требований к ресурсам каждого приложения мониторинга в онлайн-режиме. Далее, эти признаки используются для прогнозирования ситуаций перегрузки и управления общим использованием ресурсов путем выборок входных потоков пакетов. Таким образом, система мониторинга сохраняет высокую степень гибкости, расширяя диапазон используемых приложений и сетевых сценариев. Из-за того, что не все приложения мониторинга устойчивы к выборке, схема сброса нагрузки была расширена для поддержки методов сброса нагрузки определенными конечными пользователями. Это позволяет предоставить универсальное решение при использовании произвольных приложений мониторинга. Предложенная схема позволяет системе мониторинга безопасно делегировать задачу сброса избыточной нагрузки приложениям.

В работе (Shikhaliyev, 2015) предложена методология повышения эффективности мониторинга КС, которая позволит уменьшить время, затрачиваемое на мониторинг, и обеспечить непрерывность обновления и актуальность данных мониторинга. Основной целью при этом является оптимизация мониторинга сетевых узлов КС при заданных сетевых ресурсах. Для достижения этой цели предлагается использовать модель системы поллинга, оптимизируя которую можно достичь оптимизации мониторинга КС. Предполагается, что основным показателем оптимальности поллинг-систем является

минимизация среднего времени ожидания заявок в очереди. Поэтому задача оптимизации процесса мониторинга КС сводится к задаче оптимизации модели поллинга узлов КС посредством минимизации среднего времени ожидания заявок в очереди.

3. Планирование мониторинга КС на основе машинного обучения

Планирование мониторинга КС заключается в реализации определенных правил мониторинга сети. При этом выбор тех или иных правил зависит от состояния и производительности КС, так как не существует единых идеальных правил мониторинга КС. Следовательно, при планировании мониторинга основная проблема — это выбор наиболее подходящих правил для каждого случая, то есть для каждого состояния, в котором может находиться КС. Вместе с тем при выборе правил мониторинга должны учитываться различные информации о КС в реальном времени, и выбор должен выполняться за такой промежуток времени, чтобы обеспечить своевременность и актуальность мониторинга. Для достижения этих целей необходимо использовать знания о взаимосвязи между состоянием КС и правилом мониторинга, которое должно применяться в данный момент. Поэтому необходимо использовать знания о планировании мониторинга КС, чтобы минимизировать время и обеспечить эффективность мониторинга динамически меняющейся сети. Для получения знаний, которые необходимы для принятия решений по планированию мониторинга КС, могут быть использованы различные алгоритмы машинного обучения. При этом обучающие примеры и алгоритм обучения должны быть выбраны таким образом, чтобы эти знания были полезными. Кроме того, чтобы получить обучающие примеры, выбранные атрибуты имеют решающее значение для производительности системы планирования.

Для интеллектуального планирования мониторинга КС предлагается модель планирования, основанная на машинном обучении (рисунок 1), где генератором

примеров генерируются примеры обучения и тестирования для алгоритма машинного обучения. Для создания различных состояний КС и выбора оптимальных правил мониторинга для каждого конкретного состояния КС используется имитационная модель. Далее, алгоритм машинного обучения приобретает знания из обучающих примеров, необходимых для принятия решений по планированию мониторинга (по выбору правил мониторинга) КС. При этом определение оптимального размера обучающих примеров является очень важной задачей, то есть необходимо выбрать адекватный размер обучающей выборки. Вместе с тем выбор адекватного периода мониторинга, то есть частоты мониторинга количественных характеристик КС, которые определяют производительность КС, имеет важное значение для принятия решений об изменении правил мониторинга. Далее система мониторинга КС, используя знания о планировании, включающая информацию о производительности КС, определяет оптимальное правило мониторинга.

Генератором примеров используется база знаний, которая является нестатической. Поэтому необходима процедура, которая автоматически изменяла бы знания, то есть уточняла бы знания, если происходят существенные изменения в состоянии КС. Основными целями процедуры уточнения знаний являются выявление недостатков в базе знаний и добавление соответствующих примеров обучения.



Рис. 1. Интеллектуальное планирование мониторинга КС на основе машинного обучения.

Для обеспечения интеллектуальности планирования мониторинга КС могут быть

использованы различные алгоритмы машинного обучения (Pinedo, 2016). В зависимости от типа используемого алгоритма машинного обучения подходы, основанные на знаниях, могут быть разделены на следующие категории: индуктивное обучение, трансдуктивное обучение, нейронные сети, рассуждения на основе прецедентов (CBR – Case-Based Reasoning), метод опорных векторов (SVM – Support Vector Machines), обучение с подкреплением, смешанные подходы и т.д.

Для принятия решения об изменении правил мониторинга КС предлагается алгоритм, который используется системой мониторинга КС. Блок-схема алгоритма представлена на рисунке 2.

Необходимость изменения правил мониторинга КС определяется превышением значения $\{V_i\}$, ($1 \leq i \leq m$) порога T . При этом значения V_i определяются как разность VP – производительность КС до мониторинга и значений производительности КС P_i , $i = 1, m$, полученной при использовании правил мониторинга R_i , $i = 1, m$. Порог T определяет требуемый уровень качества обслуживания сети для приложений. Предложенный алгоритм принятия решения об изменении правил мониторинга КС позволит найти и ранжировать предпочтительные правила мониторинга КС.

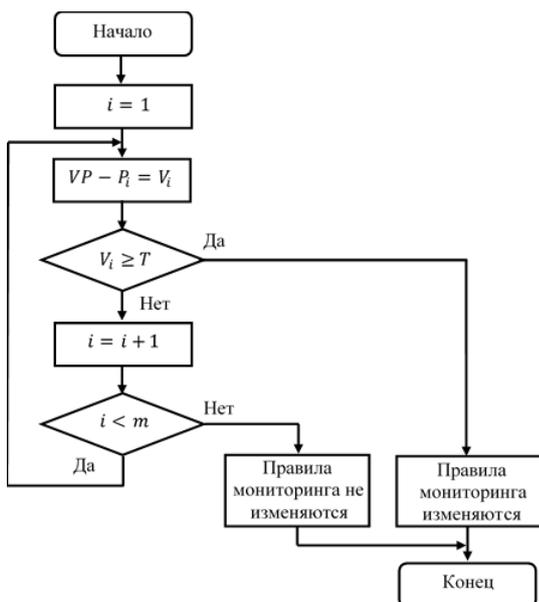


Рис. 2. Алгоритм принятия решения об изменении правил мониторинга КС

4. Заключение

Мониторинг КС без планирования может привести к неэффективному использованию сетевых ресурсов, что может привести к перегрузке каналов связи и снижению общей производительности КС. В результате этого может снизиться эффективность самой системы мониторинга КС. Поэтому разработка методов планирования мониторинга КС становится очень актуальной проблемой. Наличие метода планирования мониторинга КС может значительно снизить нагрузку на сеть и в результате обеспечить для используемых в КС приложений требуемое качество обслуживания.

В данной статье был предложен метод планирования мониторинга КС, основанный на использовании алгоритмов машинного обучения. Для планирования мониторинга КС могут быть использованы различные алгоритмы машинного обучения. Алгоритмы машинного обучения позволят принимать решения по динамическому выбору наиболее подходящих правил мониторинга.

Литература

- Shikhaliyev R.H. (2011). On methods and means of computer network monitoring. *Problems of Information Society*, 2(4), 61-70.
- Mohan V., Reddy Y. R. J., Kalpana K. (2011). Active and Passive Network Measurements: A Survey. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 2(4), 1372-1385.
- Bonald T., Roberts J. (2007). Scheduling Network Traffic. *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review*, 34(4), 29-35. <https://doi.org/10.1145/1243401.1243408>
- Pinedo M.L. (2016). *Scheduling Theory, Algorithms and Systems*. 5th edition, Springer, 674.
- Geng J., Yan J., Ren Y., Zhang Y. (2018). Design and Implementation of Network Monitoring and Scheduling Architecture Based on P4. *Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Science and Application Engineering*, 1-6. <https://doi.org/10.1145/3207677.3278059>
- Bosshart P., Daly D., Gibb G., Izzard M., Mckeown N., Rexford J., Schlesinger C., Talayco D., Vahdat A., Varghese G., and Walker D. (2014). P4: Programming Protocol-Independent Packet Processors. *ACM Sigcomm Computer Communication Review*, 44(3), 87-95. <https://doi.org/10.1145/2656877.2656890>
- Kim C, Sivaraman A, Katta N, Bas A, Parag D. A. and Wobker L.J. (2016). Inband Network Telemetry. <https://www.p4.org>, (electronic resource).

- Mathew C. (2017). Scheduling Network Performance Monitoring in The Cloud. Degree project, Faculty of Engineering and Science, Uppsala University, 71.
- Qin Z., Rojas-Cessa R., and Ansari N. (2010). Task-Execution Scheduling Schemes for Network Measurement and Monitoring. *Computer Communications*, 33, 124-135. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2009.11.005>
- Calyam P., Kumarasamy L., Ozguner F. (2010). Semantic Scheduling of Active Measurements for meeting Network Monitoring Objectives. *Proceedings of the International Conference on Network and Service Management*, 4. <https://doi.org/10.1109/CNSM.2010.5691256>
- Barlet-Ros P. (2008). Load Shedding in Network Monitoring Applications Thesis of Doctor in Computer Science, Polytechnic University of Catalonia, Department of Computer Architecture, 160.
- Shikhaliyev R.H. (2015). Povysheniye effektivnosti monitoringa komp'yuternykh setey na osnove optimizatsii sistemy pollinga. *Informatsionnyye tekhnologii*, 1(8), 576-584.

Ramiz H. Şıxəliyev

AMEA İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu.
Azərbaycan, Bakı ş., AZ1141, B.Vahabzadə küç., 9A.

Рамиз Г. Шыхалиев

Институт Информационных Технологий НАН Азербайджана.
Азербайджан, г. Баку, AZ1141, ул. Б.Вахабаде, 9А.

 0000-0002-8594-6721