

УДК 681.324

А.В. СКАТКОВ, Д.Ю. ВОРОНИН, Д.Н. ДАНИЛЬЧУК

Севастопольский национальный технический университет, Украина

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГАРАНТОСПОСОБНОСТИ УЗЛА ЛВС С БАЙЕСОВСКИМ МОНИТОРИНГОМ НАГРУЗКИ

Рассмотрена система мониторинга узла локальной вычислительной сети. Рассмотрена задача определения нагрузки узла с использованием системы мониторинга на основе статистического метода распознавания Байеса. Описана имитационная модель и интерпретация метода Байеса для данной задачи. Приведены численные результаты работы системы мониторинга.

мониторинг, гарантоспособность, определение нагрузки, узел ЛВС, метод Байеса

Введение

В настоящее время наблюдается тенденция интенсивного внедрения концепции гарантоспособности в область компьютерных систем и смежных с ней областях. Выбор этого направления развития поясняется тем, что недостаточный уровень надежности компьютерных систем при их использовании, в таких областях как коммерция, энергетика, транспорт, может привести к материальным потерям, а в некоторых случаях к человеческим жертвам [1].

Важнейшей проблемой в компьютерных сетях является обеспечение их гарантоспособности, т.е. обеспечение гарантированной доставки информации за определенный временной интервал. Если же говорить об уровне качества обслуживания в общем, то в настоящий момент глобальная сеть Интернет предоставляет лишь негарантированную доставку данных.

Одним из способов достижения гарантированной доставки данных является управление нагрузкой (или интенсивностью трафика) в промежуточных узлах. Первоочередной задачей управления нагрузкой является мониторинг нагрузки узла. В данной статье рассматривается узел, система мониторинга которого основана на статистическом методе распознавания Байеса, которая позволяет определить значение нагрузки узла, и не является системой управления, какими являются классические алгоритмы

Leaky Bucket или Token Bucket.

Постановка задачи. Рассматривается узел локальной вычислительной сети (ЛВС). Узел ЛВС представляет собой совокупность устройств обработки (процессоров) и буфер, в котором содержатся информационные пакеты, подлежащие обработке. Узел ЛВС, изображенный на рис. 1, состоит из n процессоров и буфера объемом k .

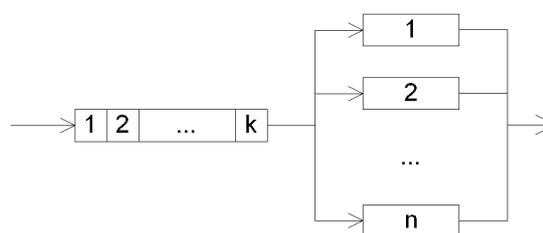


Рис. 1. Структура узла ЛВС

Для обеспечения гарантоспособности узла сети необходимо иметь возможность определить нагрузку на заданный узел ЛВС в некоторый момент времени. С этой целью разрабатывается система мониторинга, позволяющая достаточно точно оценить значение этого параметра узла.

Описание модели узла и метода определения его нагрузки

Класс статических методов распознавания позволяет по некоторым косвенным параметрам (признакам) определить или оценить значение интере-

сующего параметра, т.е. используя терминологию технической диагностики, определить диагноз. Основное преимущество этих методов состоит в возможности одновременного учета признаков различной природы, так как они характеризуются безразмерными величинами – вероятностями их появления. Одним из статистических методов распознавания является метод Байеса, основанный на обобщенной формуле Байеса. В полном объеме метод Байеса рассмотрен в [2].

Основы функционирования узла ЛВС исчерпывающе описываются схемой гибели и размножения и некоторыми другими элементами аппарата теории массового обслуживания. В соответствии со схемой гибели и размножения узла ЛВС может находиться в одном из возможных состояний: S_0 (в узле нет ни одного пакета), S_1 (в узле находится один пакет) и т.д. до S_{n+k} (в узле находится $n + k$ пакетов, все последующие пакеты сбрасываются). Из вышесказанного следует, что для того, чтобы определить состояние узла необходимо знать число пакетов находящихся в данный момент в узле. Число пакетов в узле вычисляется как сумма числа пакетов обрабатываемых на процессорах и числа пакетов находящихся в буфере.

Примем, что поток информационных пакетов поступающих в узел распределен по экспоненциальному закону с интенсивностью λ , а время обработки пакета на процессоре распределено по экспоненциальному закону с интенсивностью μ .

Для применения метода Байеса необходимо определить признаки и диагнозы. В качестве признаков будем использовать состояния узла $S_0 \dots S_{n+k}$, тогда при наблюдении за узлом наблюдается $(n + k + 1)$ признак $k_0 \dots k_{n+k}$. Поскольку значение нагрузки является непрерывной величиной, а метод Байеса может определить диагноз из конечного множества диагнозов, то при мониторинге узла будем определять не точное значение нагрузки, а его приближенное значение. Для этого интервал возможных значений нагрузок разобьем на подинтер-

валы (ρ_n^x, ρ_{n+1}^x) , где $x = 1, 2, \dots, q$. Значит, можно определить множество возможных диагнозов $D = \{D_1, D_2, \dots, D_q\}$, каждый из которых соответствует некоторому возможному интервалу для значения ρ .

Таким образом, были сформированы множества признаков и диагнозов для рассматриваемого узла ЛВС, т.е. сформированы предпосылки для применения метода Байеса. Один из недостатков метода Байеса заключается в использовании большого объема априорной информации. Такой информацией являются априорные вероятности появления отдельных диагнозов $P(D_i)$ и априорные условные вероятности появления отдельных признаков при условии появления отдельных диагнозов $P(k_j / D_i)$. Положим распределение вероятностей появления отдельных диагнозов равновероятным, а распределение условных вероятностей можно вычислить с использованием формул теории массового обслуживания для вычисления финальных вероятностей в случае схемы гибели и размножения

$$\left\{ \begin{array}{l} p(k_0 / D_j) = \left(1 + \frac{\rho}{1!} + \frac{\rho^2}{2!} + \dots + \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^{n+1}}{n!(n-\rho)}\right)^{-1}; \\ p(k_1 / D_j) = \frac{\rho}{1!} p(k_0 / D_j), \dots; \\ p(k_i / D_j) = \frac{\rho^i}{i!} p(k_0 / D_j), \dots; \\ p(k_n / D_j) = \frac{\rho^n}{n!} p(k_0 / D_j); \\ p(k_{n+1} / D_j) = \frac{\rho^{n+1}}{n \cdot n!} p(k_0 / D_j), \dots; \\ p(k_{n+k} / D_j) = \frac{\rho^{n+k}}{n^k \cdot n!} p(k_0 / D_j). \end{array} \right. \quad (1)$$

Статистический метод Байеса основан на простой формуле Байеса. Если имеется диагноз D_i и простой признак k_j , встречающийся при этом диагнозе, то вероятность совместного появления событий (наличие у объекта состояния D_i и признака k_j):

$$P(D_i k_j) = P(D_i)P(k_j / D_i) = P(k_j)P(D_i / k_j). \quad (2)$$

Из этого равенства вытекает формула Байеса:

$$P(D_i / k_j) = P(D_i) \frac{P(k_j / D_i)}{P(k_j)}. \quad (3)$$

Формула Байеса для комплекса признаков (K^*) имеет вид:

$$P(D_i / K^*) = P(D_i) \frac{P(K^* / D_i)}{P(K^*)}. \quad (4)$$

Важно отметить, что для определения апостериорных вероятностей $P(D_i / K^*)$ нет необходимости отдельно вычислять значение $P(K^*)$ оно может быть вычислено следующим образом:

$$P(K^*) = \sum_{s=1}^n P(D_s) \cdot P(K^* / D_s). \quad (5)$$

В соответствии с методом Байеса используя априорные данные по формуле (4) происходит вычисление распределения апостериорных вероятностей, а затем по решающему правилу определение диагноза. Обычно в качестве решающего правила используется правило выбирающее диагноз, которому соответствует наибольшая вероятность.

Реализация имитационной модели

По описанной модели и методу решения разработана компьютерная программа, выполняющая моделирование работы узла ЛВС с системой мониторинга основанной на методе Байеса. Разработанная программа позволяет задавать структуру узла ЛВС, определять параметры системы мониторинга и наблюдать в автоматическом или пошаговом режиме изменение распределений вероятностей, наблюдаемых признаков и определенных диагнозов.

Результаты проведения экспериментов

Узел ЛВС, подлежащий диагностике, содержит 5 обслуживающих каналов и буфер емкостью 3 пакета. При диагностике значение нагрузки узла соотносится с одним из следующих интервалов (0; 0,1), (0,1; 0,2), (0,2; 0,3), (0,3; 0,4), (0,4; 0,5). Рассмотрим стационарный режим, в котором узел будет находиться в одном и том же состоянии, т.е. в момент мониторинга в узле будет занято одинаковое число каналов, и в буфере будет находиться одинаковое число пакетов.

Рассмотрим ситуацию, характеризующуюся от-

сутствием нагрузки на узел. Следовательно система мониторинга получает следующую последовательность состояний узла: $S_0 \rightarrow S_0 \rightarrow S_0 \rightarrow S_0 \rightarrow \dots$. На рис. 2 показано как изменяются вероятности, определяющие соотношение нагрузки узла с одним из интервалов на каждом шаге моделирования.

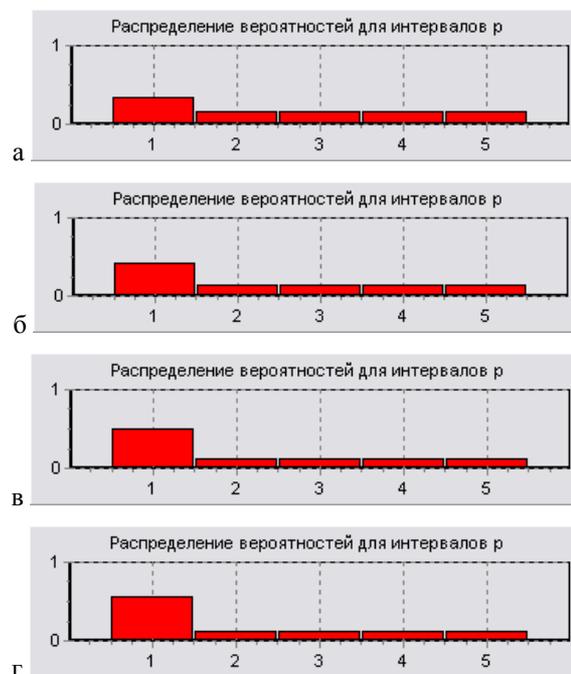


Рис. 2. Изменение вероятностей для интервалов нагрузки узла: а – шаг 1; б – шаг 2; в – шаг 3; г – шаг 4

Как видно из рис. 2 на каждом шаге увеличивается вероятность для первого интервала и соответственно уменьшается для всех остальных. Это значит, что на каждом из шагов в качестве диагноза о нагрузке узла выбирается интервал (0; 0,1). Т.к. отсутствию нагрузки соответствует значение 0, то можно сделать вывод, что диагноз верен.

Аналогичная ситуация наблюдается в случае, когда один пакет находится в очереди и все обслуживающие каналы заняты. На рис. 3 показано изменение вероятностей для этого случая. В качестве диагноза выбирается последний, пятый интервал, который соответствует наибольшему диагностируемому значению нагрузки узла. Соответственно вероятность его выбора увеличивается, а вероятности выбора всех других интервалов уменьшаются, что свидетельствует о правильном определении диагнозов.

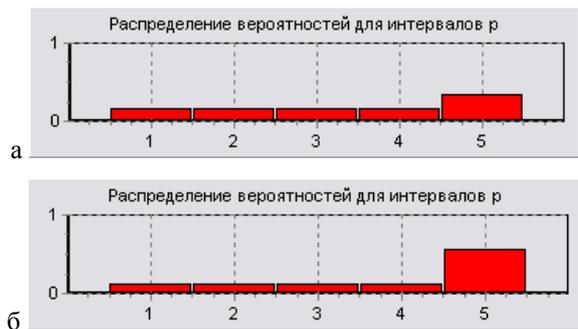


Рис. 3. Изменение вероятностей для интервалов нагрузки узла: а – шаг 1; б – шаг 2

К достоинствам метода Байеса можно отнести простоту вычислений и учет признаков различной природы, однако у этого метода есть и свои недостатки: довольно большой объем необходимой априорной информации.

Рассмотрим влияние априорных вероятностей выбора интервала нагрузки на определяемый диагноз. Выбор значения нагрузки будет производиться из трех возможных интервалов: $(0; 0,1)$, $(0,1; 0,2)$, $(0,2; 0,3)$. Допустим, в узле ЛВС нагрузка будет постоянно отсутствовать. Рассмотрим три варианта априорных значений вероятностей: $(0,33; 0,33; 0,33)$ – равновероятный выбор интервала, $(0,2; 0,4; 0,4)$ – большая начальная вероятность выбора неправильного диагноза, $(0,4; 0,3; 0,3)$ – большая начальная вероятность выбора правильного диагноза. Первый случай представляется достаточно тривиальным, с легко предопределяемым результатом. В табл. 1, 2 приведены изменения вероятностей выбора интервала нагрузки для двух последних случаев.

Таблица 1
Изменения вероятностей выбора интервала нагрузки для второй ситуации

№	$P(\rho \in (0;0,1))$	$P(\rho \in (0,1;0,2))$	$P(\rho \in (0,2;0,3))$
1	0,200	0,400	0,400
2	0,333	0,333	0,333
3	0,429	0,286	0,286
4	0,5	0,25	0,25
5	0,556	0,222	0,222
6	0,6	0,2	0,2
7	0,636	0,182	0,182
8	0,667	0,167	0,167

Как видно из табл. 1, 2, разработанный алгоритм системы мониторинга сводится к правильному ре-

шению за определенное число шагов. Число шагов зависит от априорных значений вероятностей.

Таблица 2
Изменения вероятностей выбора интервала нагрузки для третьей ситуации

№	$P(\rho \in (0;0,1))$	$P(\rho \in (0,1;0,2))$	$P(\rho \in (0,2;0,3))$
1	0,400	0,300	0,300
2	0,500	0,250	0,250
3	0,571	0,214	0,214
4	0,625	0,188	0,188
5	0,667	0,167	0,167

Перспективы развития

Из вышесказанного можно сделать вывод, что система мониторинга, основанная на статистическом методе распознавания Байеса, является удобным средством определения нагрузки узла ЛВС по косвенным признакам. Одним из недостатков метода Байеса является слабая чувствительность к малым изменениям диагностируемого параметра, т.е. резкие скачки нагрузки узла определяются с достаточной степенью достоверности тогда, как небольшие ее изменения могут остаться «незамеченными» системой мониторинга. Для компенсации этого эффекта в систему мониторинга планируется интеграция системы «конечной памяти», задача которой будет заключаться в своевременном сбросе накопленной информации. Выполнение операции сброса позволит выполнять диагностику «с чистого листа» и достоверно определить значение нагрузки узла. Управление интегрируемой системы будет основано на адаптивном принципе управления.

Литература

1. Харченко В.С. Гарантоспособность и гарантоспособные системы: элементы методологии // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – 2006. – № 5 (17). – С. 7-19.
2. Биргер И.А. Техническая диагностика. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.

Поступила в редакцию 12.01.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.К. Апрашкин, Севастопольский национальный технический университет, Севастополь.