

Мартышкин Алексей Иванович, канд. техн. наук, доц., alexey314@yandex.ru,
Россия, Пенза, Пензенский государственный технологический университет

**MATHEMATICAL MODELS FOR EVALUATING TIME
SERVICING TRANSACTIONS IN THE EXECUTION OF EXCHANGE OPERATIONS IN
MULTIPROCESSOR SYSTEMS WITH SHARED MEMORY**

A.I. Martyshkin

The questions of an estimation of time of service of transactions at data interchange in multiprocessor systems on the basis of the general bus with shared memory are described. The aim of the work is to study the models of the subsystem "processor-memory" and estimate the time of service of applications for data exchange in multiprocessor systems with shared memory. The proposed models explored the time of transaction maintenance, obtained expressions for estimating the probabilistic-temporal characteristics of the access time to the subsystem "processor-memory". Models dealt with using the apparatus of queuing theory. In conclusion, the findings made by the relevant work. The above article models allow us to assess the characteristics of multiprocessor systems without building a real layout.

Key words: mathematical simulation, system of mass service, the transaction, a read operation, a record operation, multiprocessor system, "processor-memory" subsystem, memory architecture, memory bandwidth, memory latency, the buffer element.

Martyshev Alexey Ivanovich, candidate of technical sciences, docent, alexey314@yandex.ru, Russia, Penza, Penza State Technological University

УДК 004.75; 519.687.1

**МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ
НАГРУЗКИ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ
НА БАЗЕ КОНЦЕПЦИИ ТУМАННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ**

Э.В. Мельник, А.Б. Клименко, Д.Я. Иванов

В статье рассмотрен вопрос повышения надежности информационно-управляющих систем (ИУС), а именно – вероятности безотказной работы (ВБР). Предлагается новый подход к повышению ВБР компонентов ИУС за счет внесения в архитектуру ИУС элементов концепции «туманных» вычислений. В статье представлены модели оценок ВБР компонентов ИУС, модель задачи распределения вычислительной нагрузки, а также результаты компьютерного моделирования.

Ключевые слова: информационно-управляющая система, надежность, вероятность безотказной работы, туманные вычисления.

Информационно-управляющие системы (ИУС) являются неотъемлемыми компонентами многих мехатронных объектов в различных областях человеческой деятельности. Под управлением ИУС функционируют объекты нефте- и газодобывающей промышленности, авиация, объекты

энергетической промышленности, а также широкий круг производств. Среди обозначенного множества мехатронных объектов принято выделять класс систем, критичных к отказу, когда при возникновении отказов высока вероятность человеческих жертв, финансовых потерь либо экологических катастроф [1]. Наглядными примерами таких мехатронных объектов могут служить АЭС, объекты гражданской авиации, нефтедобывающие комплексы.

В связи с критичностью возникновения отказов соответственно повышаются требования к надежности систем и, в частности, к надежности ИУС[2].

Традиционно ИУС имеют архитектуру, аналогичную архитектуре «облачных» вычислений: данные с сенсорных устройств передаются в вычислительную среду (ВС), представляющую собой множество объединенных коммуникационной средой вычислительных устройств (ВУ). В ВС происходит обработка поступивших данных с принятием решения по поводу управляющего воздействия на исполнительные устройства и последующей передачей управляющего воздействия на них.

В свете тенденций увеличения объемов обрабатываемых данных такой способ организации вычислительного процесса имеет существенные недостатки[3], а именно:

- повышается вычислительная нагрузка на ВС вследствие необходимости не только обрабатывать полученные данные, но и по причине вычислений, необходимых для их принятия/отправки;
- необходимость отправки больших объемов данных приводит к повышению нагрузки на сенсорные устройства и устройства, образующие коммуникационную инфраструктуру.

Также из архитектуры системы следует плохая масштабируемость, а высокая нагрузка на коммуникационную среду может стать причиной ухудшения показателей реакции системы на внешние воздействия.

В настоящее время парадигма «облачных» вычислений получила дальнейшее развитие в виде вычислений «туманных». Основная идея «туманных» вычислений заключается в перенесении части вычислительной нагрузки – там, где это целесообразно – ближе к источникам данных[4]. При этом ожидается уменьшение нагрузки на коммуникационную среду (поскольку уменьшается объем данных, передаваемых в ВС), уменьшение времени реакции системы на внешние воздействия, улучшение свойств масштабируемости системы.

Учитывая, что современные сенсорные и исполнительные устройства, а также устройства коммуникационной инфраструктуры оснащены сетевыми интерфейсами и вычислительными мощностями, авторы данной статьи предлагают применить основу концепции «туманных» вычислений с целью повышения показателей надежности ИУС (в частности, гамма-процентной наработки на отказ и вероятности безотказной работы,

ВБР). Работы, представленные в открытых источниках, позволяют сделать вывод о том, что использование «туманных» вычислений при построении современных ИУС основной целью имеет улучшение временных показателей работы систем, а также снижение нагрузки на коммуникационную среду, в то время как вопросы повышения надежных характеристик не затронуты [5–7].

В последующих разделах данной статьи будут приведены основные положения концепции «туманных» вычислений, кратко описаны типовые архитектуры высоконадежных ИУС, показано преимущество применения концепции «туманных» вычислений для ИУС с целью повышения их надежности, а также в предварительной формулировке представлена задача распределения нагрузки для ИУС на базе концепции «туманных» вычислений.

1. Методы обеспечения надежности ИУС

К настоящему времени, учитывая актуальность проблемы построения высоконадежных мехатронных комплексов, разработан достаточно широкий круг методов обеспечения надежности систем, включая аппаратные, программно-аппаратные и программные методы. Примером структуры, реализующей аппаратный метод обеспечения надежности, являются одноканальные структуры с автоматом контроля и восстановления информации. Многоканальные структуры с автоматом межканального обмена, программного контроля и восстановления информации в каналах (АМКВИ) являются примером программно-аппаратных средств обеспечения надежности. Введение межканального обмена в структуру бортовой информационно-управляющей системы позволяет повысить достоверность истинной работы каналов и сократить до пределов одного такта задачи время обнаружения сбоя в одном из каналов. К настоящему времени предложено множество вариантов построения структуры с АМКВИ: SIFT, MAFT, FTTP, Delta-4 и др. [8–15], где за аппаратную основу взято два и более идентичных процессорных модулей с коммуникационным оборудованием для организации межканального интерфейса. Общая особенность таких информационно-управляющих систем состоит в практически полном переводе функций поддержания отказоустойчивости на программное обеспечение. Теоретический показатель надежности оборудования при этом высок, но работоспособность системы теперь зависит от правильности алгоритмов парирования сбоев и отказов, их программной реализации и глубины отработки на стендовом оборудовании. Следует отметить, что приведенные примеры используют структурное резервирование как метод обеспечения избыточности в системе.

Также известен ряд работ, делающий акцент на применении избыточности производительности вместо структурного резерва и программной реализации методов обеспечения надежности [1, 16–24].

2. Концепция туманных вычислений

Концепция туманных вычислений определяется либо как самостоятельная концепция[25,26], либо как эволюция облачных вычислений[27], поскольку, как показала практика, облачные вычисления обладают надежностью, обеспечивающей работу ряда программных систем, высокой производительностью и достаточной степенью масштабирования, но при этом обладают следующими недостатками:

- повышается вычислительная нагрузка на ВС вследствие необходимости не только обрабатывать полученные данные, но и по причине вычислений, необходимых для их принятия/отправки;
- необходимость отправки больших объемов данных приводит к повышению нагрузки на сенсорные устройства и устройства, образующие коммуникационную инфраструктуру.

В контексте данной работы будем рассматривать туманные вычисления как одно из направлений дальнейшей эволюции облачных вычислений.

Слой «туманных» вычислений расположен между «краем» сети, т.е. пользовательскими устройствами, и облаком, как показано на рис. 1.

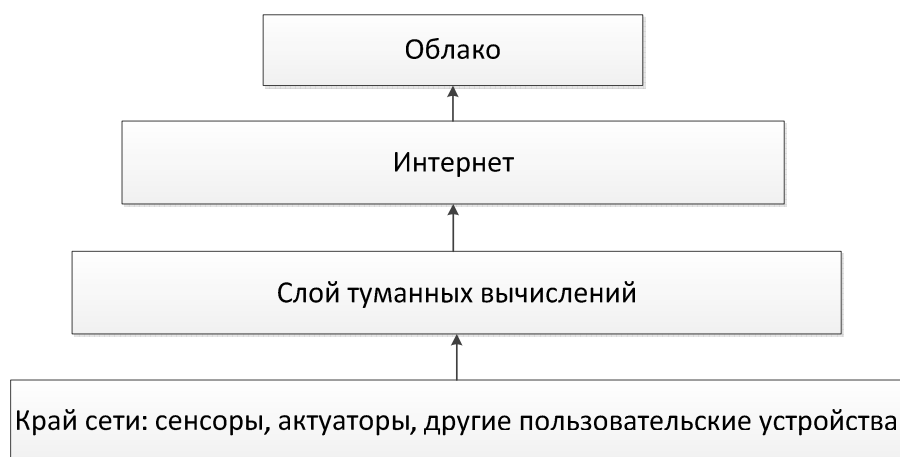


Рис. 1. Схематичное представление концепции туманных вычислений

Туманные вычисления предполагают перенос вычислений и хранения данных из традиционного «облака» в промежуточный слой устройств, расположенных ближе к краю сети[28], что позволяет сократить нагрузку на коммуникационную среду и устройства ВС.

3. Моделирование применения концепции «туманных» вычислений для ИУС

Для того, чтобы получить представление о целесообразности использования концепции «туманных» вычислений, проведем моделирование показателей надежности системы для архитектуры, аналогичной «облачной» и архитектуры с применением концепции «туманных» вычислений.

Рассмотрим вариант реализации традиционной ИУС (см. рис.2).

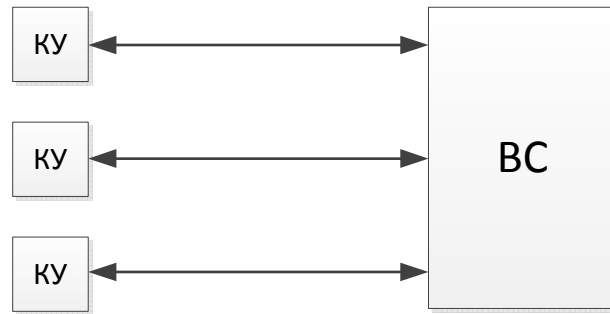


Рис. 2. Традиционная архитектура ИУС:
КУ – конечное устройство; ВС – вычислительная среда

Будем полагать, что в рамках рассматриваемой модели КУ отправляет данные в ВС, ВС производит их обработку и отправляет некоторое управляющее воздействие на КУ.

Составим упрощенную модель работы такой системы, делая акцент на распределении вычислительной нагрузки в системе.

Пусть C_{in} – количество отправок данных с ВС, V_{in} – объем данных, передаваемых в ВС за один обмен, C_{out} – количество отправок данных из ВС в КУ, V_{out} – объем данных, передаваемых из ВС за один обмен.

При этом каждое КУ имеет первоначальную вычислительную нагрузку x_1 , а задачи, выполняемые в ВС, могут быть оценены объемом вычислительной нагрузки x_2 .

Предполагая, что данные при пересылке по коммуникационной среде разбиваются на пакеты, введем параметр w – размер пакета. При этом вычислительная нагрузка, порождаемая отправкой одного пакета с КУ будет ξ_1 , вычислительная нагрузка, порождаемая приемом одного пакета КУ, будет η_1 . Для ВС объем вычислительной нагрузки, порождаемый приемом и отправкой одного пакета данных будет соответственно ξ_2 и η_2 .

Тогда объем вычислительной нагрузки, приходящейся на одно КУ, можно описать следующим выражением:

$$L = x_1 + \frac{C_{in} \cdot V_{in} \cdot \xi_1}{w} + \frac{C_{out} \cdot V_{out} \cdot \eta_1}{w}. \quad (1)$$

Если ВС должна принять на обработку и отправить данные МКУ, вычислительная нагрузка на ВС оценивается следующим выражением:

$$L_{env} = x_2 + M_{sensor} \frac{C_{in} \cdot V_{in} \cdot \xi_2}{w} + M_{act} \frac{C_{out} \cdot V_{out} \cdot \eta_2}{w}, \quad (2)$$

где M_{sensor} – количество КУ-источников данных; M_{act} – количество исполнительных устройств.

Было проведено компьютерное моделирование для следующих значений параметров: $C_{in}=10\dots1000$; $C_{out}=10$; $V_{in}=200$; $V_{out}=50$; $w=50$. Результаты приведены на рис. 3.

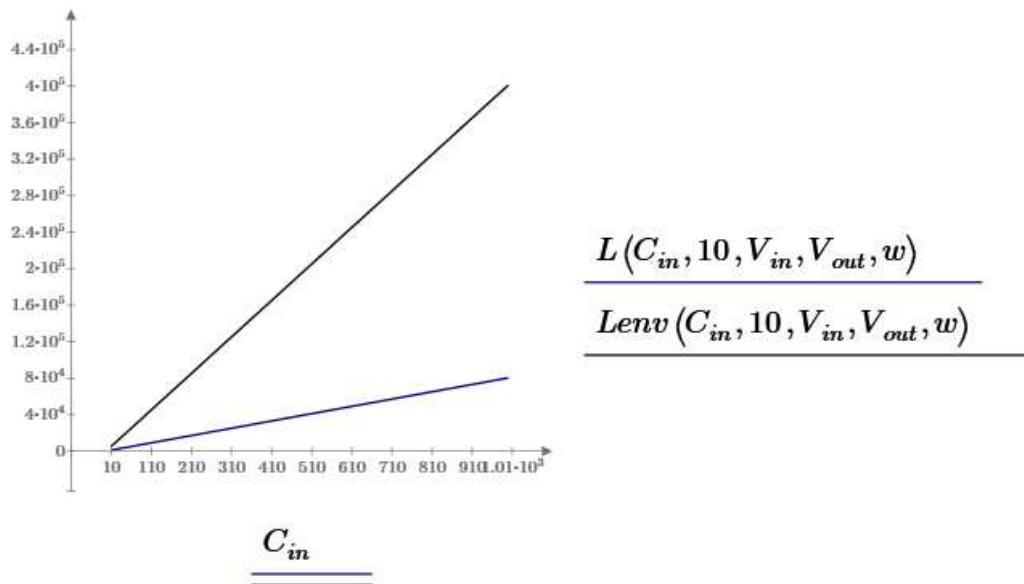


Рис. 3. Результаты моделирования роста вычислительной нагрузки в зависимости от объема пересылаемых данных. L – вычислительная нагрузка на КУ, $Lenv$ – вычислительная нагрузка на ВС

Видно, что при увеличении количества входящих обращений вычислительная нагрузка ВС имеет тенденцию к быстрому росту, что, в общем, подтверждает изложенное ранее предварительное заключение о недостатках такой архитектуры ИУС.

Рассмотрим, как вычислительная нагрузка влияет на такой показатель надежности элементов системы, как вероятность безотказной работы (ВБР).

В соответствии с [29], интенсивность отказов зависит от температуры элемента и, следовательно, от вычислительной нагрузки (см. работы [30–32]):

$$\lambda = \lambda_0 \cdot 2^{kD/10}, \quad (3)$$

где k – коэффициент пропорциональности прироста температуры в зависимости от нагрузки, D – приращение вычислительной нагрузки соответственно, D пропорционально L .

Поскольку вероятность безотказной работы (ВБР) в случае ИУС может быть описана в соответствии с экспоненциальным законом, ВБР элемента ИУС может быть получена в соответствии с выражением:

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (4)$$

где t – время работы элемента.

При $\lambda_0 = 0.00001$, и нагрузкам, полученным в соответствии с выражениями (1-2), а также принимая вероятность безотказной работы изменяющейся в соответствии с экспоненциальным законом (см. выражение 4), получим графики изменения ВБР вида, как представлено на рис. 4.)

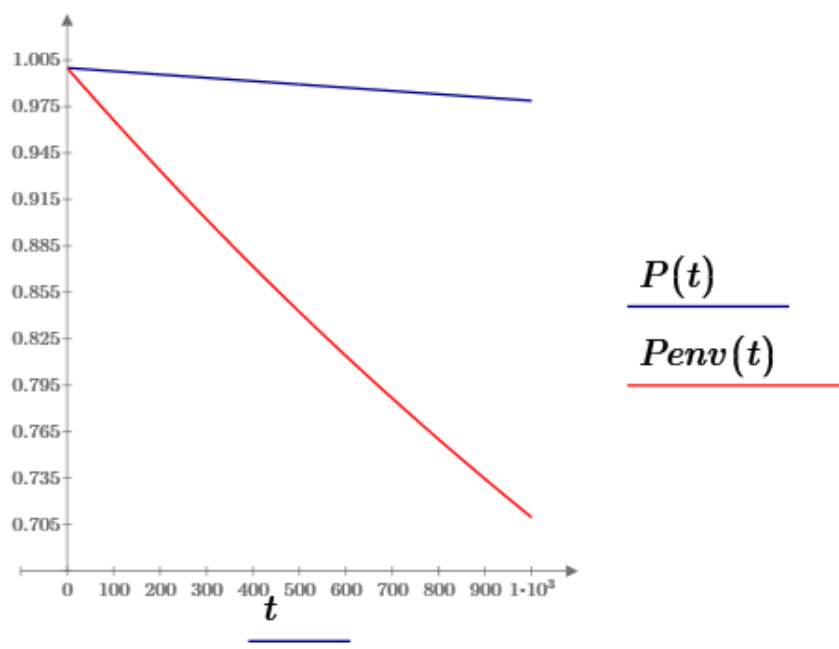


Рис. 4. Графики ВБР для конечного устройства $P(t)$ и устройства $BC P_{env}(t)$

На рис. 4 видно, что ВБР для выбранных параметров убывает недопустимо быстро для ИУС высоконадежных систем.

Построим упрощенную модель распределения вычислительной нагрузки при использовании концепции «туманных» вычислений для построения ИУС (рис. 5).

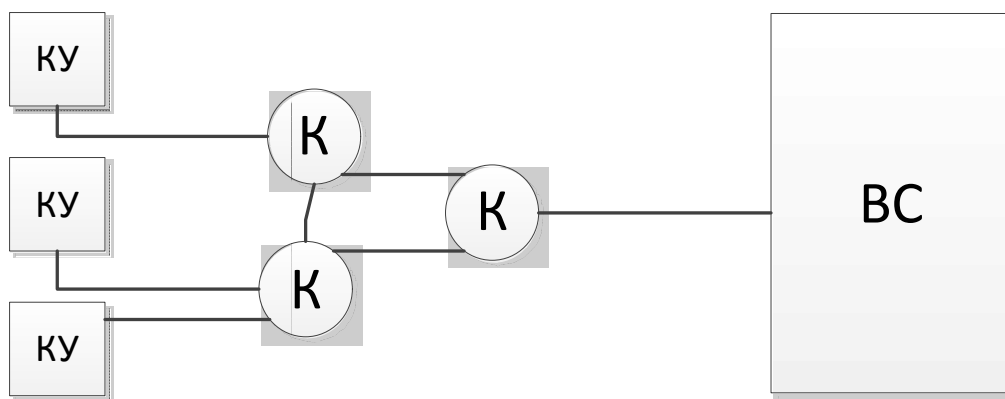


Рис. 5. Упрощенная модель распределения вычислительной нагрузки при использовании концепции «туманных вычислений»

На схеме рис. 5 внимание акцентируется на «туманном слое», в который, как правило, входят конечные устройства и устройства сетевой инфраструктуры. Часть вычислительной нагрузки перемещается из ВС в туманный слой, и в случае решения подмножества информационно взаимосвязанных подзадач часть информационных обменов происходит в туманном слое. Пусть X – объем вычислительной нагрузки, перемещенный в «туманный» слой, Δ – объем нагрузки, предназначенный для выполнения в ВС. Последовательность информационных обменов в «туманном» слое зависит от частной реализации решаемой задачи, по этой причине в рамках данной работы рассмотрим два крайних случая: когда каждое устройство «туманного» слоя производит $C_{in} + C_{out}$ информационных обменов, и когда каждое устройство «туманного» слоя производит по одному информационному обмену в рамках решения подзадачи.

Тогда, учитывая, что устройства коммуникационной инфраструктуры также начинают принимать участие в вычислениях, выражения для оценки вычислительной нагрузки будут иметь вид:

$$L_f = \frac{X}{M + K} + \frac{C_{in} \cdot V_{in} \cdot \xi_1}{w} + \frac{C_{out} \cdot V_{out} \cdot \eta_1}{w}; \quad (5)$$

где L_f – оценка вычислительной нагрузки для полного информационного обмена;

$$L_{f1} = \frac{X}{M + K} + \frac{V_{in} \cdot \xi_1}{w} + \frac{V_{out} \cdot \eta_1}{w}; \quad (6)$$

где L_{f1} – оценка вычислительной нагрузки для минимального количества обменов.

Сделаем допущение, что в случае перенесения вычислительной нагрузки в «туманный» слой вычисления планируются таким образом, что при решении подзадач данные отправляются в ВС и принимаются из ВС только один раз. Тогда оценка вычислительной нагрузки на ВС будет иметь вид:

$$L_{envf} = \Delta + \frac{V_{in} \cdot \eta_2}{w} + \frac{V_{out} \cdot \xi_2}{w}. \quad (7)$$

На рис. 6 показан график зависимости вычислительной нагрузки от количества информационных обменов.

В соответствии с выражениями (3,4), графики ВБР для КУ и ВУ ИУС построенной на базе «туманных» вычислений показаны на рис. 7.

Графики ВБР для КУ и ВС для сравнения приведены на рис. 8.

На основе полученных результатов моделирования можно сделать предварительные выводы о том, что применение элементов концепции туманных вычислений для построения ИУС целесообразно с точки зрения надежности. В следующем разделе статьи построим упрощенную модель распределения вычислительной нагрузки.

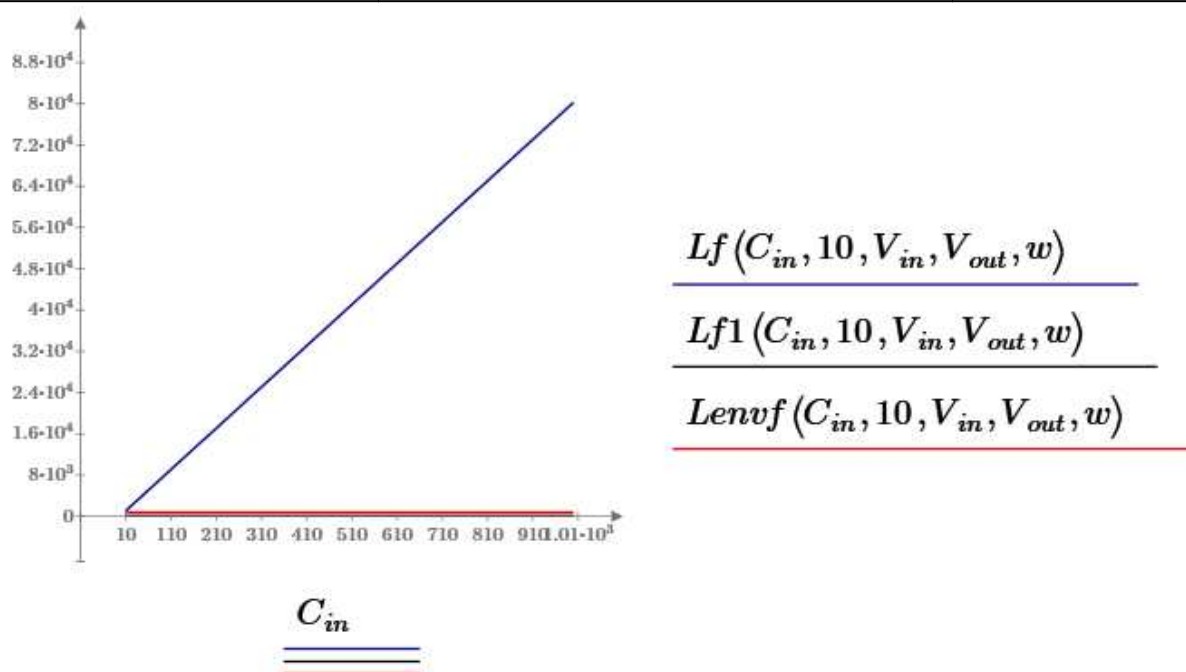


Рис. 6. График зависимости вычислительной нагрузки от количества информационных обменов

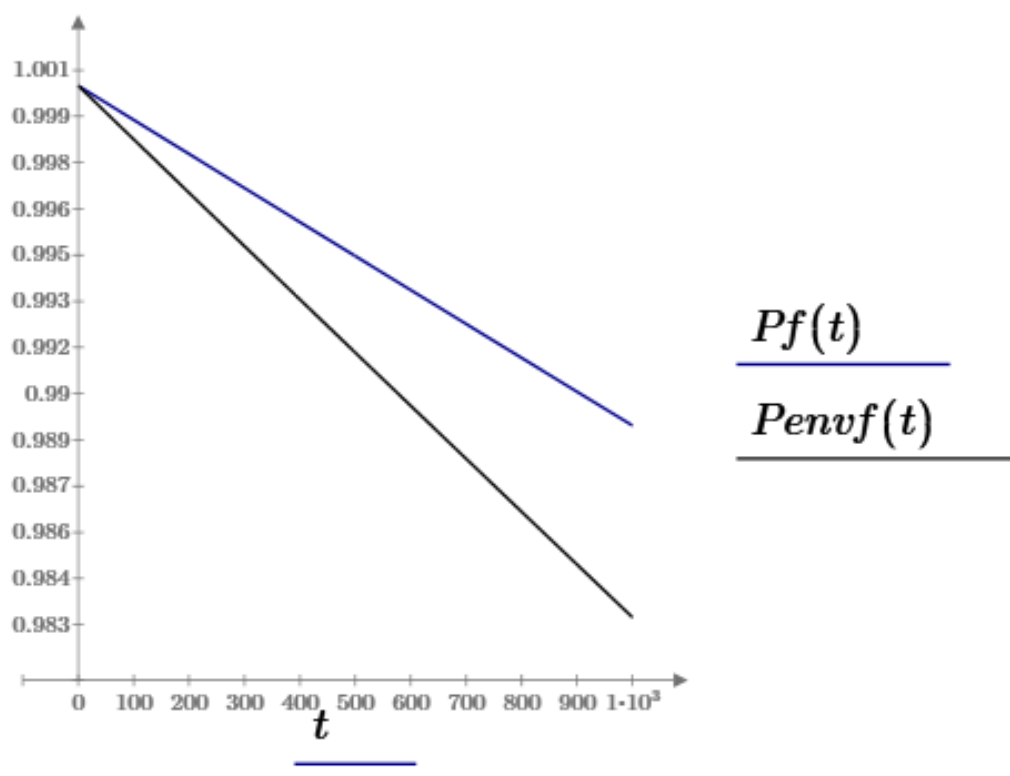


Рис. 7. Графики ВБР для КУ и ВУ ИУС, построенной с использованием элементов концепции «туманных» вычислений

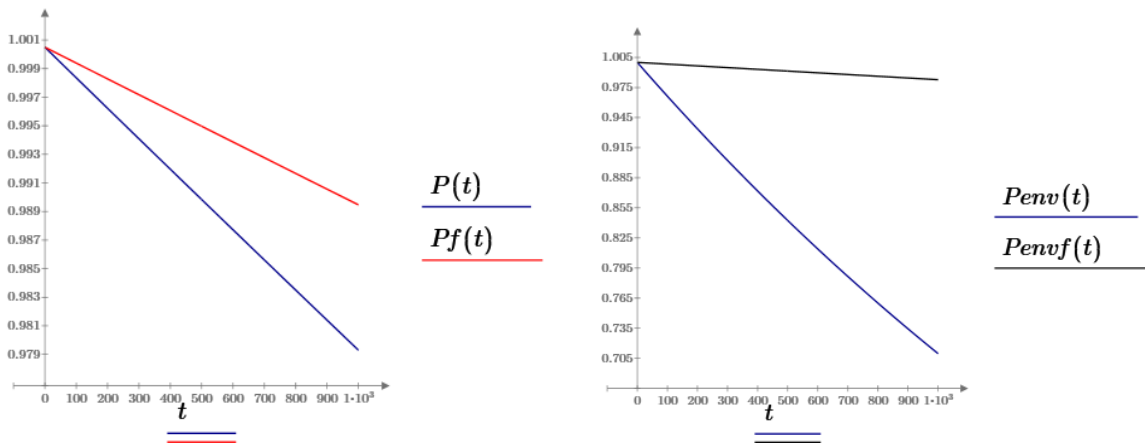


Рис. 8. Графики ВБР для КУ и ВС для случаев «традиционной архитектуры» ИУС и ИУС с использованием элементов концепции «туманных» вычислений

4. Постановка задачи распределения вычислительной нагрузки

Будем полагать, что время t имеет дискретный характер, и система функционирует на временном интервале $[0; t_z]$. Также будем считать, что имеется M устройств, входящих в «туманный» слой системы и K устройств, относящихся к коммуникационной инфраструктуре. Опираясь на модели, представленные в разделе 3, можно задачу распределения вычислительной нагрузки представить в виде задачи многокритериальной оптимизации следующим образом: поскольку необходимо добиться повышения значений ВБР, то для любого t_z должны быть найдены такие распределения вычислительных нагрузок по устройствам, чтобы:

$$\forall m, k, i \ P_m(t_i) \rightarrow \max;$$

$$\forall m, k, i \ P_k(t_i) \rightarrow \max;$$

$$\forall i \ P_{env}(t_i) \rightarrow \max,$$

где i – номер временного интервала на отрезке $[0, t_z]$; m – количество конечных устройств; k – количество коммутационных устройств туманного слоя; $P_m(t_i)$ – значение ВБР конечного устройства в момент времени t_i ; $P_k(t_i)$ – значение ВБР коммутационного устройства в момент времени t_i ; $P_{env}(t_i)$ – значение ВБР ВС в момент времени t_i ;

Ограничения для такой задачи формируются непосредственно для частных реализаций вычислительного процесса.

Таким образом, сформулированная задача является многокритериальной задачей комбинаторной оптимизации с ограничениями. Решение подобных задач точными методами не представляется целесообразным по причине высокой вычислительной сложности. Следовательно, имеет смысл использовать метаэвристические и эволюционные подходы к получению допустимых решений за приемлемое время.

Выводы

Элементы концепции «туманных» вычислений, а именно – перенос вычислительной нагрузки из ВС к источникам данных – позволяет повысить показатели ВБР компонентов ИУС и, следовательно, ИУС в целом. Однако, задача распределения вычислительной нагрузки является многокритериальной задачей оптимизации с многими ограничениями, обусловленными особенностями частных реализаций вычислительного процесса ИУС и требует применения эффективных методов поисковой оптимизации.

В данной статье были рассмотрены упрощенные примеры архитектур ИУС с вычислительным процессом аналогичным «облачным» вычислениям и вычислительным процессом на основе концепции «туманных» вычислений. Были построены модели распределения вычислительной нагрузки и показаны преимущества «туманных» вычислений с точки зрения надежности отдельных элементов системы. Таким образом, можно сделать вывод о том, что ИУС, построенные на базе концепции «туманных» вычислений являются перспективным исследовательским направлением и могут быть применены для построения ИУС критичных к возникновению отказов.

Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН на 2018г., № гр. проекта 01201354238.

Список литературы

1. Каляев И.А., Мельник Э.В. Децентрализованные системы компьютерного управления. Ростовн/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2011. 196 с.
2. Crestani D., Godary-Dejean K. Fault Tolerance in Control Architectures for Mobile Robots: Fantasy or Reality? // 7th Natl. Conf. Control Archit. Robot. 2012.
3. Hosseinpour F., Westerlund T., Meng Y. A Review on Fog Computing Systems // Int. J. Adv. Comput. Technol. HannuTenhunen. 2016. Vol. 8(5). P. 48–61.
4. Yi S. et al. Fog computing: Platform and applications // Proc. - 3rd Work. Hot Top. Web Syst. Technol. HotWeb 2015. 2016. P. 73–78.
5. Aazam M., Huh E.N. E-HAMC: Leveraging Fog computing for emergency alert service // 2015 IEEE Int. Conf. Pervasive Comput. Commun. Work. PerCom Work. 2015. 2015. P. 518–523.
6. Gia T.N. et al. Fog computing in healthcare internet of things: A case study on ecg feature extraction // Comput. Inf. Technol. Ubiquitous Comput. Commun. Dependable, Auton. Secur. Comput. Pervasive Intell. Comput. (CIT/IUCC/DASC/PICOM), 2015 IEEE Int. Conf. 2015. P. 356–363.

7. Chen R.Y. Fog computing-based intelligent inference performance evaluation system integrated internet of thing in food cold chain // 2015 12th Int. Conf. Fuzzy Syst. Knowl. Discov. FSKD 2015, 2016. P. 879–886.
8. Kieckhafer R.M. et al. The MAFT Architecture for Distributed Fault Tolerance // IEEE Trans. Comput. 1988. Vol. 37, № 4. P. 398–405.
9. Harper R.E., Lala J.H. Fault-Tolerant Parallel Processor // Guid. Control Dyn. 1990. Vol. 14, № 3. P. 554–563.
10. Афонин В.В., Лисейкин В.А., others. Синхронизация каналов троированных ПЛК жесткого РВ // Промышленные АСУ и контроллеры. 2001. № 6. С. 58–60.
11. Powell D. Distributed Fault Tolerance: Lessons from Delta-4 // IEEE Micro. 1994. Vol. 14, № 1. P. 36–47.
12. Powell D. et al. GUARDS: A generic upgradable architecture for real-time dependable systems // IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst. IEEE, 1999. Vol. 10, № 6. P. 580–599.
13. O'Bryan M.V. V et al. Recent radiation damage and single event effect results for candidate spacecraft electronics // Radiat. Eff. Data Work. 2001 IEEE. 2001. Vol. 4392. P. 82–99.
14. Caldwell D.W., Rennels D.A. FTSM: a fault-tolerant spaceborne microcontroller // Dep. Comput. Sci. 1998. Vol. 4731.
15. Бурцев В. Возможности использования зарубежной элементной базы в системах военного применения // Живая электроника России. 2002. С. 33–36.
16. Klimenko A.B., Ivanov D., Melnik E.V. The configuration generation problem for the informational and control systems with the performance redundancy // 2016 2nd Int. Conf. Ind. Eng. Appl. Manuf. ICIEAM 2016 - Proc. 2016.
17. Мельник Э.В. и др. Методы организации высоконадежных сетцентрических ИУС с распределенным диспетчированием и кластеризацией // Известия ЮФУ. Технические науки, 2015. № 10. С. 129–143.
18. Иванов Д.Я., Мельник Э.В. Принципы организации децентрализованных сетцентрических информационно-управляющих систем // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2013. № 4. С. 25–30.
19. Melnik E.V., Klimenko A.B. A Novel Approach to the Reconfigurable Distributed Information and Control Systems Load-Balancing Improvement // 11th IEEE Int. Conf. Appl. Inform. Xommunication Technol, 2017. P. 355–359.
20. Melnik E., Klimenko A., Korobkin V. Reconfigurable Distributed Information and Control System Multiagent Management Approach // Int. Conf. Intell. Inf. Technol. Ind. 2017. P. 84–95.
21. Melnik E. et al. A Reliability Improvement Method for Reconfigurable Information and Oil Production Control Systems // 6th Int. Conf. Informatics, Electron. Vis. Hyogo, Japan, 2017.

22. Melnik E., Klimenko A. Agent-Based Approach to Distributed Information and Control System Reconfiguration // Proc. Comput. Methods Syst. Softw. 2017. P. 196–205.

23. Melnik E., Korovin I., Klimenko A. Improving Dependability of Reconfigurable Robotic Control System // Int. Conf. Interact. Collab. Robot. 2017. P. 144–152.

24. Мельник Э.В., Клименко А.Б., Иванов Д.Я. Методы обеспечения бесперебойной работы сетевых информационных-вычислительных систем с кластеризацией // Известия ЮФУ. Технические науки. 2016. №12. С. 71–84.

25. Бородин В.А. Интернет вещей-следующий этап цифровой революции // Образовательные ресурсы и технологии. Частное образовательное учреждение высшего образования «Московский университет имени СЮ Витте», 2014. № 2 (5). С. 178–181.

26. Armbrust M. et al. A view of cloud computing // Commun. ACM. 2010. Vol. 53, № 4. P. 50–58.

27. Vaquero L.M., Rodero-Merino L. Finding your Way in the Fog: Towards a Comprehensive Definition of Fog Computing // ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev. 2014. Vol. 44, № 5. P. 27–32.

28. Greenfield D. Fog Computing vs. Edge Computing: What's the Difference? [Электронный ресурс] // Autom. World. 2016. URL: <https://www.automationworld.com/fog-computing-vs-edge-computing-whats-difference> (дата обращения 10.01.2018).

29. Строгонов А. Долговечность интегральных схем и производственные методы ее прогнозирования // ChipNews. 2002. № 6. С. 44–49.

30. Melnik E. V., Klimenko A.B., Korobkin V. V. The method providing fault-tolerance for information and control systems of the industrial mechatronic objects // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2017. Vol. 177, № 1. P. 12004.

31. Korobkin V., Melnik E., Klimenko A. Fault-tolerant architecture for the hazardous object information control systems // Appl. Inf. Commun. Technol. (AICT), 2015 9th Int. Conf. Rostov-on-Don: SFedU, 2015. P. 274–276.

32. Klimenko A.B., Klimenko V. V., Melnik E. V. The parallel simulated annealing-based reconfiguration speedup algorithm for the real time distributed control system fault-tolerance providing // Appl. Inf. Commun. Technol. (AICT), 2015 9th Int. Conf. Rostov-on-Don: SFedU, 2015. P. 277–280.

Мельник Эдуард Всеволодович, д-р техн. наук, главный научный сотрудник, anna_klimenko@mail.ru, Россия, Ростов-на-Дону, Южный научный центр Российской академии наук,

Клименко Анна Борисовна, канд. техн. наук, научный сотрудник, anna_klimenko@mail.ru, Россия, Таганрог, Научно-исследовательский институт многопроцессорных вычислительных систем им. акад. А. В. Каляева ЮФУ,

Иванов Д.Я., канд. техн. наук, научный сотрудник, anna_klimenko@mail.ru, Россия, Таганрог, Научно-исследовательский институт многопроцессорных вычислительных систем им. акад. А. В. Каляева ЮФУ

**MODEL OF THE PROBLEM OF DISTRIBUTION OF COMPUTING LOAD FOR
INFORMATION-CONTROL SYSTEMS ON THE BASIS OF THE CONCEPT OF MIS-
CALCULATION**

E.V. Melnik, A.B. Klimenko, D.Ya. Ivanov

В статье рассмотрен вопрос повышения надежности информационно-управляющих систем (ИУС), а именно – вероятности безотказной работы (ВБР). Предлагается новый подход к повышению ВБР компонентов ИУС за счет внесения в архитектуру ИУС элементов концепции «туманных» вычислений. В статье представлены модели оценок ВБР компонентов ИУС, модель задачи распределения вычислительной нагрузки, а также результаты компьютерного моделирования.

Ключевые слова: информационно-управляющая система, надежность, вероятность безотказной работы, туманные вычисления.

Melnik Eduard Vsevolodovich, doctor of technical sciences, leader research fellow, anna_klimenko@mail.ru, Russia, Rostov-on-Don, Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, pr. Chekhova,

Klimenko Anna Borisovna, candidate of technical sciences, research fellow, anna_klimenko@mail.ru, Russia, Taganrog, Southern Federal University, Scientific Research Institute of multiprocessor computing systems,

Ivanov D.Ya., candidate of technical sciences, research fellow, anna_klimenko@mail.ru, Russia, Taganrog, Southern Federal University, Scientific Research Institute of multiprocessor computing systems