



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ЦЕНТРАХ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

¹Павлов А.В., Хрусталева М.С.

ФГБОУ ВО "ТВЕРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ", Тверь, Россия (170026, Тверская область, город Тверь, наб. Афанасия Никитина, д.22), e-mail: ¹sokolhawk98@gmail.com

В статье обсуждаются проблемы и возможности управления центром обработки данных как узлом интеллектуальной сети. Связь между сетью и центром обработки данных принимает форму изменяющейся во времени и зависящей от потребляемой мощности цены на электроэнергию. Рассмотрена модель, учитывающая как вычислительные, так и физические характеристики центра обработки данных, а также их взаимодействие. Обсуждаются два подхода к управлению. Первый подход к управлению не учитывает взаимодействие между вычислительными и тепловыми характеристиками ЦОД. Второй регулятор учитывает связь между расчетными и тепловыми характеристиками.

Ключевые слова: Центр обработки данных, энергосистема, энергопотребление, экономия электроэнергии, эффективность использования электроэнергии, стоимость электроэнергии.

ENERGY SAVING IN DATA CENTERS

¹Pavlov A.V., Khrustaleva M.S.

TVER STATE TECHNICAL UNIVERSITY, Tver, Russia (170026, Tver region, Tver city, Afanasiya Nikitin embankment, 22), e-mail: ¹sokolhawk98@gmail.com

The article discusses the problems and possibilities of managing a data center as a node of an intelligent network. The connection between the network and the data center takes the form of a time-varying, power-dependent price of electricity. A model is considered that takes into account both the computational and physical characteristics of the data center, as well as their interaction. Two approaches to control are discussed. The first approach to control does not take into account the interaction between the computing and thermal characteristics of the data center. The second controller takes into account the relationship between design and thermal characteristics.

Keywords: Data center, power system, energy consumption, energy savings, energy efficiency, electricity cost.

Количество центров обработки данных значительно увеличилось во всем мире, чему способствует растущий спрос на услуги удаленного хранения и облачных вычислений. Энергопотребление центров обработки данных также значительно увеличилось. Эффективное питание и охлаждение центров обработки данных также стало серьезной проблемой. Современные центры обработки данных (ЦОД) потребляют около 1–2% электричества, вырабатываемого в мире [1]. Энергия, потребляемая для вычислений и охлаждения, является доминирующей в управлении временем работы центра обработки данных и эксплуатационных расходах, и даже небольшой процент снижения энергопотребления может иметь большое влияние на экономику эксплуатации центра обработки данных.

Мерой эффективности центра обработки данных, обычно используемой в промышленности, является эффективность использования энергии (ЭИЭ) [2]. ЭИЭ центра обработки данных определяется как отношение между общей потребляемой мощностью центра обработки данных и потребляемой мощностью информационных технологий. Значение ЭИЭ, равное 1,0, указывает на то, что вся потребляемая мощность центра обработки данных приходится на ИТ. Значения ЭИЭ, собранные более чем в 60 различных центрах обработки данных, обсуждаются в [2]. Среднее значение ЭИЭ составляет 2,03, восемь центров обработки данных имеют значения ЭИЭ ниже 1,5, а шесть центров обработки данных имеют значения ЭИЭ выше 2,75. Большинство центров обработки данных имеют значения ЭИЭ от 1,5 до 2 [2]. Одним из недостатков индекса ЭИЭ является то, что он не показывает, насколько эффективно используются информационные технологии.

С точки зрения энергосистемы особенностями центров обработки данных являются их высокое значение энергопотребления на квадратный метр и масштаб времени, в котором энергопотребление можно контролировать, например, в минутном масштабе. На нерегулируемом рынке электроэнергии цена на электроэнергию может меняться со временем, а также в зависимости от географического положения. Жизнеспособным методом снижения изменчивости стоимости электроэнергии является требование к некоторым потребителям ограничивать потребление электроэнергии по запросу от сети. Такой метод, уже применяемый некоторыми независимыми системными операторами, называется программой реагирования на спрос.

Мы рассматриваем случай, описанный в источнике [3], когда контроллер центра обработки данных может использовать два соглашения об уровне обслуживания. Первое соглашение регулирует доход центра обработки данных на основе качества обслуживания, предоставляемого пользователям. Второе соглашение регулирует стоимость электроэнергии. Рассмотрим случай, когда центр обработки данных участвует в программе реагирования на спрос с электросетью. Связь между электросетью и центром обработки данных принимает форму изменяющейся во времени и зависящей от потребляемой мощности цены на электроэнергию. Пока среднее энергопотребление центра обработки данных поддерживается ниже порогового значения, изменяющегося во времени, центр обработки данных покупает электроэнергию по сниженной цене. Когда среднее энергопотребление центра обработки данных превышает изменяющийся во времени порог, дополнительная энергия предоставляется по более высокой цене. Средние значения энергопотребления центра обработки данных рассчитываются за заданное временное окно.

Технологии центров обработки данных можно условно разделить на три группы: информационные технологии, системы охлаждения и технологии поддержки [3,4]. Информационные технологии включают в себя серверы, устройства хранения и компоненты, связанные с сетью, такие как коммутаторы, брандмауэры и маршрутизаторы. Системы охлаждения включают в себя такие компоненты, как кондиционеры машинного зала и вентиляторы. К классу вспомогательных технологий относятся такие устройства, как батареи, генераторы резервного питания, источники бесперебойного питания, блоки распределения питания и т. д.

Центры обработки данных представляют собой крупномасштабные системы с масштабами времени от миллисекунд до десятков минут. Исполнительные механизмы,

которые могут использоваться алгоритмами управления, неоднородны по своей природе, и их эффекты актуальны в различных временных и пространственных масштабах. Например, методы динамического масштабирования напряжения и частоты работают на миллисекундном уровне и влияют на энергопотребление отдельного сервера [5]. В масштабе стойки миграция виртуальных машин влияет на энергопотребление нескольких серверов и работает в минутном масштабе [6]. В таком сценарии иерархическая архитектура управления является желательным подходом к управлению. Как и в работе [3], мы рассматриваем иерархически-распределенный подход к управлению ЦОД. На самом высоком уровне иерархии мы рассматриваем централизованный контроллер, называемый контроллером центра обработки данных. Контроллер центра обработки данных предоставляет набор границ и оптимальных уставок для контроллеров более низкого уровня, которые затем работают независимо друг от друга [4]. Отдельные стойки или наборы стоек моделируются как отдельные ИТ-компоненты, называемые зонами. В этой статье рассматривается самый высокий уровень иерархии и связанная сетевая модель. Первая сеть называется вычислительной сетью и определяет взаимосвязь между выполнением рабочей нагрузки, качеством обслуживания и количеством энергии, потребляемой каждой зоной. Вторая сеть называется тепловой сетью и определяет теплообмен между устройствами в центре обработки данных. На Рисунке 1 представлено графическое представление предлагаемой модели.

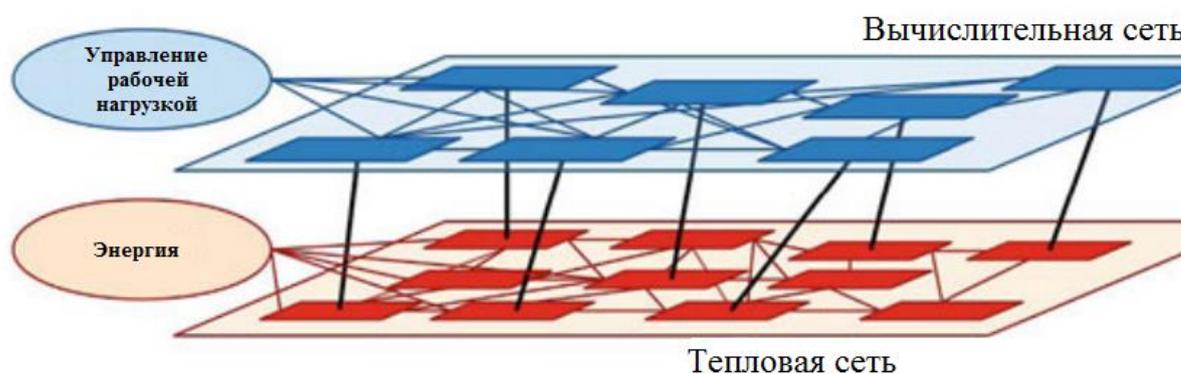


Рисунок 1 – Сетевая модель центра обработки данных

Зоны имеют как вычислительные, так и физические характеристики. Эти характеристики представлены двумя связанными узлами. Один узел моделирует вычислительные характеристики зоны, а другой узел моделирует физические характеристики зоны. Первый узел относится к вычислительной сети, а второй — к тепловой сети. Для упрощения записи будем считать, что два связанных узла, представляющих зону, имеют одинаковый индекс в соответствующих сетях, т. е. i -й узел вычислительной сети связан с i -м узлом тепловой сети. Среди устройств в составе системы охлаждения мы остановимся на блоках кондиционеров машинного зала. Другими устройствами, такими как вентиляторы, можно управлять на более низких уровнях иерархии. Блок кондиционеров машинного зала имеет только физические характеристики, которые представлены одним узлом тепловой сети.

Для снижения потребления электроэнергии необходимо добиться энергосбережения на каждом уровне иерархической системы. Только это приведет к ощутимой экономии не только в ЦОД, но и в стране, обеспечивающей его электроэнергией.

Список литературы

1. Дата-центр без потерь электроэнергии. Cnews [Электронный ресурс]. URL: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.77412d65-64dc9bc5-11cd7738-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/List_of_major_power_outages (дата обращения: 010.08.2023).
2. The Green Grid: The green grid data center power efficiency metrics: PUE and DCiE. White paper, Technical Committee. 2007
3. Parolini L., Sinopoli B., Krogh B.H. Model predictive control of data centers in the smart grid scenario // 18th International Federation of Automatic Control (IFAC) World Congress (Milano, Italy). 2011. Vol 18, Part 1.
4. Parolini L., Tolia N., Sinopoli B., Krogh B.H. A cyber-physical systems approach to energy management in data centers // First international conference on cyber-physical systems (Stockholm, Sweden). 2010. pp 168–177.
5. Aydin H., Zhu D. Reliability-aware energy management for periodic real-time tasks // IEEE Trans Comput. 2009. № 58(10). pp 1382–1397.
6. Jin H., Deng L., Wu S., Shi X., Pan X. Live virtual machine migration with adaptive, memory compression // In: Proc. IEEE Int. Conf. Cluster Computing and Workshops CLUSTER. 2009. pp 1–10/

References

1. Data center without power loss. Cnews [Online]. URL: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.77412d65-64dc9bc5-11cd7738-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/List_of_major_power_outages (дата обращения: 010.08.2023).
 2. The Green Grid: The green grid data center power efficiency metrics: PUE and DCiE. White paper, Technical Committee. 2007
 3. Parolini L., Sinopoli B., Krogh B.H. Model predictive control of data centers in the smart grid scenario // 18th International Federation of Automatic Control (IFAC) World Congress (Milano, Italy). 2011. Vol 18, Part 1.
 4. Parolini L., Tolia N., Sinopoli B., Krogh B.H. A cyber-physical systems approach to energy management in data centers // First international conference on cyber-physical systems (Stockholm, Sweden). 2010. pp 168–177.
 5. Aydin H., Zhu D. Reliability-aware energy management for periodic real-time tasks // IEEE Trans Comput. 2009. № 58(10). pp 1382–1397.
 6. Jin H., Deng L., Wu S., Shi X., Pan X. Live virtual machine migration with adaptive, memory compression // In: Proc. IEEE Int. Conf. Cluster Computing and Workshops CLUSTER. 2009. pp 1–10/
-