

УДК 004.056

¹Касумов В.А., д.т.н.,
orcid.org/0000-0003-3192-4225,

²Амашов Я.А.,

¹Исмаилов Дж.М.

ИНТЕГРИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ IoT И FOG COMPUTING

¹Азербайджанский Технический Университет, Азербайджан

²Академия Вооруженных Сил Азербайджана

gasumov@yahoo.com
jalal.ismayil@outlook.com

Введение

В повседневной жизни существуют миллионы устройств, подключаемых к интернету. В результате быстрого роста потребности в интернет, возникновения инноваций в области электроники и телекоммуникации привели созданию умных устройств и приборов (датчиков), используемых в промышленности и быту, а также в других областях. Такие умные устройства и приборы (датчики) способствовали появлению новой технологии – технологии Интернет вещей (Internet of Things – IoT). Такие датчики широко используются в государственных организациях и частном секторе, в промышленности, в транспорте, в быту и в других сферах деятельности. В качестве примера можно показать умные города, умные дома, умные транспортные средства и т.д. [1-3].

Интернет вещей имеет особое значение для развитых (больших) и для развиваемых (маленьких) предприятий. С целью обеспечения оптимальности и эффективности в процессе работы в последующих годах будут расти потребности предприятий к умным устройствам, работающим на основе IoT технологии.

Известно, что в 2020 году количество используемых умных устройств, работающих на основе технологии Интернет вещей, по всему миру насчитывалось примерно 26-50 миллиард. Прогнозируется, что количество таких устройств в 2022 году будет более 29 миллиардов, а 2025 году – более 75 миллиардов.

Следует отметить, что существуют некоторые ограничения, связанные с вычислительной мощностью, памятью и т.д. А оснащение таких датчиков с большими вычислительными ресурсами и памятью не выгодно с материально-финансовой точки зрения.

В таком случае, возникает необходимость использования облачной технологии на таких устройствах. Благодаря интеграции датчиков в облако можно повысить производительность, использовать память и вычислительные ресурсы облак и т.д. Такие проблемы, как доступность облак только через Интернет, возникновение задержек при обмене данными, а также существование проблем безопасности данных, указывает на возможность недостатков и ограничений, возникающих при интеграции датчиков в облако [2,4,6-10,13].

Учитывая вышеотмеченные, для устранения всех возможных недостатков предлагается применять новую технологию (вычислительную модель) – “Fog Computing” [12-13].

В статье рассматривается технология Интернет вещей, ее преимущества, недостатки, исследуются вопросы интеграции Интернет вещей в облако, ограничения, возникающие при этом, технология Fog Computing, используемая для преодоления этих ограничений, преимущества и недостатки, сходства и отличия между этими технологиями, области применения.

Технология Fog computing

Термин “технология туманного вычисления” – “*Fog computing*” предложен в 2014 году компанией Cisco. В 2015 году компания Cisco в сотрудничестве с компаниями Microsoft, Dell, Intel, Arm и Принстонским университетом создала консорциум компаний OpenFOG. Кроме того, другие организации, включая General Electric (GE), Foxconn и Hitachi, также внесли свой вклад в консорциум этих компаний. А в 2019 году этот консорциум компаний объединился с консорциумом Интернет Индустрии – Industrial Internet Consortium (ИИС).

Основной целью создания этого консорциума компаний было продвижение и стандартизация технологии “Fog”. В настоящее время существуют 4 группы компаний (консорциум), которые занимаются вопросами технологии Fog computing [14-16]:

- “Edge Computing Consortium”;
- “OpenFog”;
- “The Open Group”;
- “OPC Foundation”.

Технологии туманных и облачных вычислений тесно связаны друг с другом. Необходимо отметить, что технология Fog computing действует как средство связи (посредник) между конечными пользователями и облаком. Учитывая то, что природный туман ближе к Земле, чем облака, исследователи дали этой технологии название Fog computing, т.е. технология туманного вычисления.

Fog computing – вычислительная технология, находящаяся более близка к конечному пользователю (“end user”), чем облака, служащая мостом между ним и центром обработки данных (VEM), а также предоставляющая ему необходимое количество вычислительных, запоминающих и сетевых услуг [2,7,11,13,14,18-20].

“Fog nodes” (узлы тумана) – это физические устройства, расположенные близко к конечному пользователю, на которых реализована технология fog computing [21-22].

Другими словами, технология туманного вычисления – это технология, позволяющая создавать связь между облаком и конечным пользователем. В этой технологии название “fog node” применяется ко всем узлам туманного вычисления. Пользователь может разместить узлы Fog computing в любом месте своей сети. Она позволяет анализировать данные, собранные датчиком, непосредственно на “fog” узле, не отправляя их в облако [2,8,12].

Архитектура и принцип работы технологии Fog computing

С точки зрения архитектуры существуют следующие три уровня технологии Fog computing (рис.1) [23]:

Уровень конечных пользователей. Первый уровень или нижний уровень – самый ближайший уровень к конечному пользователю (“end user”). Отметим, что на этом уровне используются различные типы интеллектуальных (умных) устройств. В качестве примера таких умных устройств можно привести умные мобильные телефоны, умные системы сигнализации, умные камеры видео наблюдения, умные стиральные машины, умные роботизированные пылесосы и т.д.

Умные мобильные телефоны и другие умные устройства обладают некоторой вычислительной мощностью, но в настоящее время их используют просто в качестве умных сенсорных устройств (датчиков). Основная функция уровня конечных пользователей технологии Fog computing заключается в сборе данных о событиях, происходящих в физической среде, а также передаче накопленных данных в “fog” узлы следующего за ней, т.е. верхнего уровня для их обработки и хранения.

Уровень “Fog”. Этот уровень является вторым уровнем и охватывает сеть, т.е. на этом уровне используются “fog” узлы. В качестве примера таких “fog” узлов можно привести такие устройства, как шлюз (“gateway”), коммутатор (“switch”), средства доступа (“access point”), “fog” серверы и т.д. Следует отметить, что “fog” узлы располагаются между облаком и последним устройством (“edge device”).

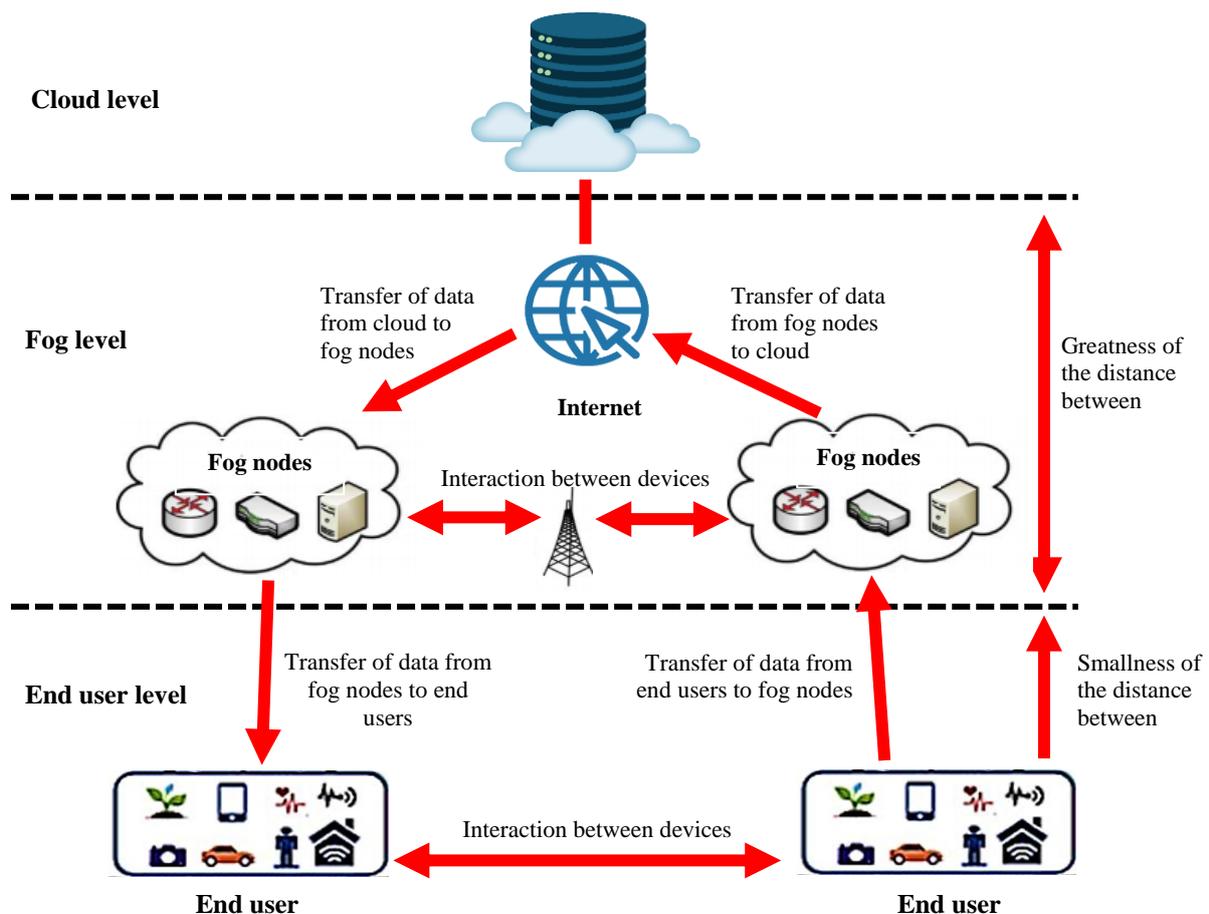


Рис.1. Архитектурное описание принципа работы технологии Fog Computing

Они в основном используются в ресторанах, кафе, торговых центрах, на автобусных остановках, бульварах, парках, железнодорожных станциях, улицах, проспектах, предприятиях и т.д.

“Fog” узлы – включают в себя функции для вычисления, передачи и хранения собранных данных в течение определенного периода времени (или временно). Анализ в текущем или реальном времени (“real-time analysis”) и разрешение ограничений, связанных с задержками, решаются именно на этом уровне. Отметим, что вышеотмеченные “fog” узлы имеют собственные IP-адреса. “Fog” узлы через эти IP-адреса подключаются к облачным центрам обработки данных с целью использования большого объема памяти и высоких вычислительных ресурсов.

Уровень облака (“Cloud”). Как третий уровень технологии Fog computing реализует облачный уровень. Как известно, облачные технологии – это распределенная вычислительная система, которая предоставляет пользователям возможность решать свои проблемы, обрабатывать и хранить свои данные, используя через интернет вычислительные ресурсы и облачные хранилища центров обработки данных, расположенных на крупных предприятиях.

Благодаря этим превосходным возможностям, которыми обладает облака, становится возможным проводить вычислительный анализ высокого уровня и хранить большие объемы данных постоянно или в течение определенного периода времени, в зависимости от решений пользователя.

Этот уровень позволяет использовать облачные сервисы в таких областях, как умный дом, умный автомобиль, умное предприятие и т.д. Следует отметить, что в отличие от традиционной облачной архитектуры, на этом уровне реализуются не вся часть упомянутых выше вычислительных ресурсов и памяти.

Как правило, в соответствии со спросом, для улучшения использования облачных ресурсов, облачные модули (cloud core modules) планируются и управляются в эффективной форме с определенными стратегиями управления [22].

Преимущества технологии Fog computing заключаются в следующем:

- *Низкая задержка.* “Fog” узел физически близок к конечному пользователю. Таким образом, данные, собранные умными устройствами, передаются на “fog” узлы, которые физически близки к этим устройствам, где эти данные анализируются и принимаются решения. Результат передается обратно на умное устройство. Поэтому у него появляется возможность реагировать быстрее.

- *Экономия использования “полосы пропускания”* (Bandwidth). Полоса пропускания, необходимая для передачи данных, в зависимости от ресурсов может быть дорогостоящей в финансовом отношении. По той причине, что все собранные данные могут обрабатываться непосредственно в “fog” узлах, не отправляя их в облако, используется очень небольшой объем “полосы пропускания”. Таким образом, использование “bandwidth” становится экономичным.

- *Доступ к данным в режиме реального времени* с умных устройств, работающих на основе IoT.

- *Возможность отвечать на все запросы* в течение миллисекунд.

- *Возможность временного хранения в памяти данных*, собранных умными устройствами, работающими на основе IoT технологии до тех пор, пока не будут переданы в облако;

- *Конфиденциальность.* Благодаря тому, что данных, собираемых умными

устройствами, можно анализировать и принимать решения в “fog” узлах, не передавая их напрямую в облако, становится возможным в некоторой степени обеспечить конфиденциальность этих данных.

- *Безопасность.* Технология Fog computing позволяет подключать к сети большое количество различных устройств. Но в этой технологии операции выполняются не в централизованной среде, а в сложной децентрализованной – распределенной среде “конечных точек”. И это позволяет выявить потенциальные угрозы, прежде чем они затронут всю сеть [2,8,13,16,18,19,24,26].

Недостатки технологии Fog computing заключаются в следующем:

- *Возникновение* дополнительных затрат: компании вынуждены приобрести дополнительные устройства, такие как маршрутизаторы, коммутаторы, сетевые коммутаторы и т. д.

- *Ограниченная возможность масштабирования* в технологии Fog Computing.

- *Возможность возникновения угроз.* “Fog” узлы имеют возможность подключаться к Интернету через IP-адреса. В этом случае, они могут подвергаться таким кибератакам, как IP Snoofing (подделка IP-адреса), MiTM (Man in TR Middle) и т.д.

- *Архитектурная сложность* технологии Fog Computing [7,13,26].

Сравнение технологий Fog computing и Cloud computing

Различия между технологиями Cloud Computing и Fog Computing заключаются в следующем (Таблица 1) [8,13,26,27]:

- Облачные технологии архитектурно централизованы и доступны из любой точки, где есть интернет. Однако технология Fog Computing имеет сложную распределенную архитектуру (dispersed architecture) и состоит из “fog” узлов, расположенных максимально близких к конечным пользователям территориях.

- При выполнении процесса обмена данными между облаком и конечными

пользователями возникает ряд недостатков, таких как задержки, безопасность, чрезмерное использование “полосы пропускания” (bandwidth) и т.д. Но при реализации процесса обмена данными между конечными пользователями и устройствами Fog Computing минимизируются

задержки, экономится использование “полосы пропускания” (bandwidth).

- Каждое облако состоит из нескольких больших облачных серверов, а туман состоит из множества небольших “fog” узлов.

Таблица 1. Сравнение технологий Cloud Computing и Fog Computing

	Cloud Computing	Fog Computing
Модель архитектуры	Централизованный	Децентрализованный - распределенный
Связь с устройствами	Физически удаленная	Физически с близкого расстояния
Обработка данных	На большом расстоянии от конечного пользователя	На максимально близком расстоянии от конечного пользователя
Вычислительная мощность	Высокая	Низкая
Количество узлов	Два или больше	Большое количество
Способность анализа	В течение длительного времени	В течение короткого времени
Задержки	Высокая	Низкая
Средство связи с конечным пользователем	Через Интернет	Через протоколы и стандарты
Безопасность	Низкая	Высокая
Время ответа на запрос	Низкая	Высокая
Поддержка пространственных данных	Не поддерживается	Поддерживается
Рабочая среда	Помещение или здание центра обработки данных, оборудованное кондиционером	Рестораны, кафе, парки, остановки, вокзалы, торговые центры и т. д.
Мобильность (Mobility)	Не поддерживается	Поддерживается

- Использование облака становится невозможным, если отсутствует доступ к интернету. Но поскольку в технологии fog используются различные протоколы и стандарты, количество возникающих проблем сводится к минимуму.

- Децентрализованная – распределенная архитектура технологии Fog делает ее более безопасной, чем облачная технология [8,13,26,27].

Области применения технологии Fog Computing

Транспорт. Предположим, что какой-то автомобиль движется по дороге, и внутри этого автомобиля количество угарного газа (CO) начинает расти. Умное

устройство, имеющееся в этом автомобиле, определяет количество угарного газа, присутствующего в автомобиле, передает эти собранные данные на “fog” узел, где данные обрабатываются (анализируются), принимается решение. Таким образом, выдается ответ на запрос умного устройства и принимаются необходимые меры.

Умные дома. Предположим, что в каком-то умном доме имеется умное устройство, которое определяет комнатную температуру дома и в соответствии с температурой запускает кондиционер. Это умное устройство измеряет температуру в помещении, когда в доме находится человек, и когда дом пуст, оно передает собранные

данные на “fog” узел, где данные обрабатываются и результат передается обратно на умное устройство. Таким образом, такое умное устройство определяет состояние температуры, когда в доме находится человек, и регулирует комнатную температуру дома в соответствии с сезоном года [3].

Сельское хозяйство или агрономия. Предположим, что в какой-то области сельского хозяйства фермеры хотят знать, сколько они должны поливать свои посевы ежедневно. Для этого на сельскохозяйственных участках размещают большое количество умных устройств. Эти умные устройства могут определить количество влаги в почве и узнавать будет ли идти дождь или нет на основе информации о погоде. Собранные данные передаются на “fog” узел, где они обрабатываются и результат передается обратно на умное устройство. Таким образом, фермеры определяют сколько они должны поливать свою почву [1,13].

Выводы

В связи с развитием информационных технологий и ростом использования интернета, со временем технология Интернет вещей стала широко использоваться во многих областях. Быстрый рост интереса к технологии Интернет вещей дает нам основания полагать, что эта технология в ближайшем будущем станет неотъемлемой частью нашей повседневной жизни.

Из-за того, что физические ресурсы умных устройств, работающих на основе технологии Интернет вещей, имеют ряд ограничений, они были интегрированы в облачные технологии, однако в то же время был выявлен ряд недостатков облачных технологий для таких устройств. Эти недостатки привели к появлению технологии “fog computing”. Эта технология не заменяет облако полностью, она просто действует как “посредник” между облаком и конечным пользователем. Прогнозируется, что в ближайшем будущем спрос на эту технологию будет сильно расти.

Литература

1. What is IoT [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.iotforall.com/what-is-iot-simple-explanation>.
2. Cisco white paper. Fog Computing and the Internet of Things: Extend the Cloud to Where the Things Are, 2015.
3. IoT [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.iienstitu.com/blog/nesnelerin-interneti-iot-ornekleri-nelerdir>.
4. Cloud computing [Electronic resource]. – Access mode: <https://stonefly.com/blog/role-cloud-computing-internet-things>.
5. Pros and cons of IoT [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.keyinfo.com/pros-and-cons-of-the-internet-of-things-iot/>.
6. IoT [Electronic resource]. – Access mode: <https://ioturkiye.com/2020/04/iot-vebulut-bilisim-verilerin-gelecegi-mi/>.
7. IoT from cloud to fog computing [Electronic resource]. – Access mode: <https://blogs.cisco.com/perspectives/iot-from-cloud-to-fog-computing>.
8. Firdhous M., Ghazali O., Hassan S. Fog Computing: Will it be the Future of Cloud Computing? Proceedings of the Third International Conference on Informatics & Applications, Kuala Terengganu, Malaysia, 2014.
9. What is the cloud [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.iotforall.com/what-is-the-cloud>
10. IoT cloud platform [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.avsystem.com/blog/iot-cloud-platform/>.
11. Nebbiolo [Electronic resource]. – Access mode: <https://docs.nebbiolo.io/latest/intro/introduction/>.
12. Connecting the cloud to things [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.networkworld.com/article/3243111/what-is-fog-computing-connecting-the-cloud-to-things.html>.
13. Fog computing vs cloud computing for IoT projects [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.sam->

solutions.com/ blog/fog-computing-vs-cloud-computing-for-iot-projects/.

14. Fog computing [Electronic resource]. – Access mode: https://en.wikipedia.org/wiki/Fog_computing.

15. Fog computing and real-world applications [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.techiexpert.com/fog-computing-and-real-world-applications/>.

16. [Electronic resource]. – Access mode: <https://proente.com/bulutun-yetmedig-CC%86i-yerlerde-sis-kullanacag%CC%86iz/>

17. Fog computing [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.geeksforgeeks.org/fog-computing>.

18. What is fog computing [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.techradar.com/news/what-is-fog-computing>.

19. Fog computing [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.omnisci.com/technical-glossary/fog-computing>.

20. Fog computing [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.mediatick.com.tr/tr/blog/fog-computing-nedir>.

21. [Electronic resource]. – Access mode: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1611/1611.09193.pdf>.

22. Security challenges in fog computing [Electronic resource]. – Access mode:

<https://www.igi-global.com/dictionary/security-challenges-in-fog-computing/71996>.

23. Hua P., Dhelima S., Ninga H., Qiud T. Survey on Fog Computing: Architecture, Key Technologies, Applications and Open Issues // Journal of Network and Computer Applications, 2017. – Vol.98. – P. 27-42.

24. [Electronic resource]. – Access mode: <https://onlinelibrary.wiley.com/cms/asset/cfe7c505-9475-4bf0-b8ea-5bb89cbc8787/spy272-fig-0001-m.jpg>.

25. Fog computing advantages [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.iqvis.com/blog/fog-computing-advantages-examples/>.

26. Advantages and disadvantages of fog computing [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.hitechwhizz.com/2020/04/5-advantages-and-disadvantages-drawbacks-benefits-of-fog-computing.html>.

27. Difference between cloud computing and fog computing [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.geeksforgeeks.org/difference-between-cloud-computing-and-fog-computing>.

28. Fog computing [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.yourtechdiet.com/blogs/fog-computing-cloud-computing-edge-computing>

Касумов В.А., Амашов Я.А., Исмаилов Дж.М.

ИНТЕГРИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ И FOG COMPUTING

В статье рассматриваются вопросы интеграции Интернет технологии к технологиям Cloud computing и Fog computing. При этом предпочтение отдается Fog технологии, по сравнению Cloud. Поскольку, устройства облачной технологии располагаются на большом расстоянии от конечного пользователя, а устройства fog технологии в близком расстоянии. По этой причине при интеграции Интернет вещей к облачным технологиям возникают недостатки, связанные следующими проблемами: большая задержка, безопасность данных, пропускная способность сети и т.д. Для извлечения этих недостатков в данной статье предлагается использовать технологию Fog computing. Термин технологии туманного вычисления – “Fog computing” предложен в 2014 году компанией Cisco. В 2015 году в сотрудничестве компании Cisco, Microsoft, Dell, Intel, Arm и Принстонский университет создали консорциум OpenFOG, а в 2019 году объединился с Industrial Internet Consortium. Учитывая вышесказанное, в статье анализируются недостатки интеграции Интернет вещей к облакам, изучены возможности реализации технологии Fog computing, которая используется с целью устранения этих недостатков. Описана трехуровневая архитектура технологии Fog computing, в

которую входят уровень конечных пользователей, уровень Fog и уровень Cloud. Изложены принцип работы, преимущества, недостатки технологии Fog computing. Проведен сравнительный анализ технологий Fog computing и Cloud computing. В качестве преимуществ технологии Fog computing указаны низкая задержка, экономия использования “полосы пропускания” (Bandwidth), доступ к данным в режиме реального времени с умных устройств, работающих на основе IoT, возможность отвечать на все запросы в течение миллисекунд, возможность временного хранения в памяти данных, конфиденциальность, безопасность. А в качестве недостатков отмечаны - возникновение дополнительных затрат, ограниченная возможность масштабирования, возможность возникновения угроз и архитектурная сложность. Далее рассмотрены области применения Интернет вещей и Fog computing такие, как транспортные средства, умные дома и сельское хозяйство или агрономия.

Ключевые слова: Интернет вещей, облачная технология, cloud computing, технология fog, туманная технология, fog computing.

Gasimov V.A., Amashov Y.A., Ismayilov J.M.

INTEGRATION OF TECHNOLOGIES OF INTERNET OF THINGS AND FOG COMPUTING

The article discusses the issues of integration of Internet technologies to Cloud computing and Fog computing technologies. In this case, the preference is given to Fog technology, by comparison Cloud. By the way, the devices of cloud technology are located at a great distance from the end user, but the device of fog technology is close to the distance. For this reason, the integration of the Internet of Things to cloud technologies has disadvantages associated with the following problems: high delay, data security, network bandwidth, etc. To extract these disadvantages, this article suggests using Fog computing technology. The term “Fog computing” was proposed in 2014 by Cisco. In 2015, in collaboration with Cisco, Microsoft, Dell, Intel, Arm, and Princeton University, the OpenFog consortium was formed, and in 2019, it merged with the Industrial Internet Consortium. Taking into account the above, the article analyzes the shortcomings of the integration of the Internet of Things to the clouds, and examines the possibilities of implementing Fog computing technology, which is used to eliminate these shortcomings. A three-level architecture of Fog computing technology is described, which includes the end-user level, the Fog level, and the Cloud level. The principle of operation, advantages, and disadvantages of Fog computing technology are described. A comparative analysis of Fog computing and Cloud computing technologies is carried out. The advantages of Fog computing technology include low latency, savings in the use of “bandwidth”, access to real-time data from smart devices running on the basis of IoT, the ability to respond to all requests within milliseconds, the ability to temporarily store data in memory, privacy, security. And the disadvantages are noted-the occurrence of additional costs, limited scalability, the possibility of threats and architectural complexity. Next, the applications of the Internet of Things and Fog computing are considered, such as vehicles, smart homes, and agriculture or agronomy.

Keywords: Internet of things, cloud technology, cloud computing, fog technology, fog computing.