

КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АЛЬ-ФАРАБИ

А.Т. Агишев

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

**Сборник лекций для студентов магистратуры,
обучающихся по образовательной программе
«7М07125 - Электроника и системы управления»**

Алматы, 2025

Лекция 7. Сетевые технологии серверов: Ethernet, InfiniBand и топологии из списка TOP-500

Цель лекции

Изучить принципы организации сетевых технологий, применяемых в серверных системах и вычислительных кластерах. Рассмотреть архитектуру Ethernet и InfiniBand, особенности передачи данных с низкими задержками, а также современные сетевые топологии, используемые в суперкомпьютерах из рейтинга TOP-500.

Основные вопросы:

1. Основные принципы построения серверных сетей.
2. Архитектура и развитие технологии Ethernet.
3. Стандарты скорости и протоколы Ethernet.
4. Технология InfiniBand: принципы, преимущества и применение.
5. Сравнение Ethernet и InfiniBand.
6. Сетевые топологии: Fat-Tree, Torus, Dragonfly и их использование в суперкомпьютерах.
7. Тенденции развития сетевых технологий в системах высокой производительности

Краткие тезисы:

1. Основные принципы серверных сетей. Сетевые технологии в серверных системах обеспечивают обмен данными между узлами, подключение к системам хранения и координацию распределённых вычислений. Главные параметры сетей - пропускная способность, задержка, масштабируемость и отказоустойчивость. Для кластерных систем важны стабильность соединений и низкая латентность при большом количестве параллельных соединений.

2. Технология Ethernet. Ethernet - наиболее распространённый стандарт сетевого взаимодействия, основанный на коммутации пакетов. Современные серверные решения используют версии от 1 GbE до 400 GbE и выше. Особенности Ethernet:

- гибкая и универсальная архитектура;
- поддержка стандартных стеков TCP/IP;
- высокая совместимость между устройствами;
- использование технологий RDMA (Remote Direct Memory Access) over Converged Ethernet (RoCE) для снижения задержек и повышения скорости передачи данных.

Ethernet остаётся основой большинства корпоративных и облачных инфраструктур.

3. Протоколы и скорости Ethernet. Эволюция технологии:

- **1 GbE / 10 GbE** - классические решения для серверов общего назначения;
- **25 GbE / 40 GbE / 100 GbE** - для дата-центров и HPC-кластеров;
- **200 GbE / 400 GbE / 800 GbE** - высокопроизводительные сетевые интерфейсы для современных суперкомпьютеров.

Для повышения эффективности применяются механизмы агрегации каналов (Link Aggregation), виртуализация сетевых функций и сегментация трафика с использованием VLAN и VXLAN.

4. Технология InfiniBand. InfiniBand - специализированная архитектура межсоединений для систем высокой производительности. Основные характеристики:

- сверхвысокая пропускная способность (от 40 Gb/s до 800 Gb/s и более);
- крайне низкая задержка (менее 2 мкс);
- аппаратная поддержка RDMA и параллельного обмена;
- возможность объединения десятков тысяч узлов в единую сеть с управляемой маршрутизацией.

InfiniBand используется в большинстве кластеров, представленных в рейтинге TOP-500, благодаря высокой эффективности при параллельных вычислениях и масштабируемости.

5. Сравнение Ethernet и InfiniBand.

Выбор технологии зависит от задач: Ethernet используется там, где важна совместимость и универсальность, а InfiniBand - при требованиях к максимальной производительности и минимальной латентности.

6. Сетевые топологии в HPC-системах. Для соединения тысяч узлов применяются специализированные топологии:

- **Fat-Tree:** иерархическая структура с балансом между пропускной способностью и отказоустойчивостью. Используется в системах с высокой нагрузкой на сеть.
- **Torus (3D Torus):** трёхмерная решётка, обеспечивающая равномерное распределение трафика и короткие пути передачи.
- **Dragonfly:** современная топология, сочетающая низкие задержки и эффективность при больших масштабах.
- **Hpercube и Mesh:** применяются в экспериментальных и энергоэффективных архитектурах.

Топология выбирается с учётом компромисса между стоимостью, сложностью маршрутизации и требованиями к пропускной способности.

7. Сети и суперкомпьютеры TOP-500. Большинство систем TOP-500 используют InfiniBand HDR/NDR и топологии Dragonfly или Fat-Tree. На практике такие сети обеспечивают масштабирование до сотен тысяч процессоров при минимальных потерях производительности. Современные примеры - **Fugaku** (Япония), **Frontier** (США), **LUMI** (Европа) -

демонстрируют эффективность гибридных решений, где сеть интегрирована с GPU-ускорителями и системами хранения данных.

Вопросы для контроля, изучаемого материал:

- 1) Какие параметры определяют эффективность серверной сети?
- 2) Опишите основные особенности технологии Ethernet.
- 3) В чём преимущества InfiniBand по сравнению с Ethernet?
- 4) Как реализуется механизм RDMA и зачем он используется?
- 5) Какие сетевые топологии применяются в современных суперкомпьютерах и чем они отличаются?
- 6) Почему в системах из списка TOP-500 чаще всего используется InfiniBand?

Рекомендуемый список литературных источников:

1. Hopgood A. A. Intelligent Systems for Engineers and Scientists. — 3rd ed. — Boca Raton : CRC Press / Taylor & Francis, 2012. — 682 p.
2. Sterling T., Anderson M., Brodowicz M. High Performance Computing: Modern Systems and Practices. — Amsterdam : Elsevier / Morgan Kaufmann, 2017. — 728 p.
3. Russell, S., Norvig, P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 4th Edition. Pearson, 2021.