

Балансировка сетевого трафика

м.н.с. Степанов Евгений Павлович

Программа курса

Подходы:

- 1. Управление перегрузкой**
 - Современные протоколы управления перегрузкой TCP
- 2. Демультимплексирование/мультиплексирование**
 - Многопоточные транспортные протоколы
 - Маршрутизация на уровне интернет провайдеров
 - Network Coding
- 3. Сегментация**
 - TCP Proxy
- 4. Балансировка**
 - Балансировка нагрузки и управление трафиком

Модели:

- Сетевое исчисление: математический подход к качеству сервиса
- NS3: моделирование поведения сети с высокой точностью

Примеры:

- HTTP3/QUIC
- Управление сетевыми ресурсами в Центрах Обработки Данных
- Обеспечение качества сервиса в сетях доставки контента
- Пропускная способность по требованию

Балансировка нагрузки

в контексте компьютерных сетей

- Метод распределения трафика между несколькими хостами, линиями связи и коммутирующими устройствами
- Цели балансировки
 - Повышение степени утилизации ресурсов
 - Повышение пропускной способности
 - Уменьшение времени отклика системы
 - Борьба с отказами и перегрузками

Балансировка нагрузки

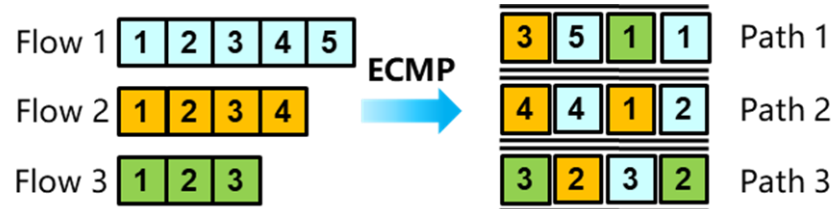
классификация

- По устройствам и по времени
 - Burstable – способ оплаты трафика, когда расчёты исходят из фактически потреблённой полосы в рамках выделенной
- Статическая и динамическая
 - Учёт нагрузки vs простота реализации
- Централизованная и распределённая
 - Выделенный контроль за балансировкой

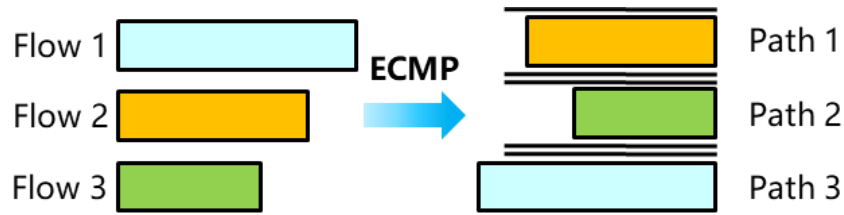
Балансировка нагрузки

классификация

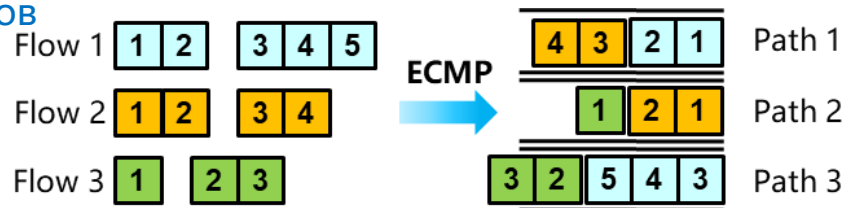
➤ Балансировка пакетов



➤ Балансировка потоков



➤ Балансировка всплесков



Недостатки:

Неупорядоченный приход пакетов приводит к снижению скорости

Не учитывается размер потоков

Не учитывается размер всплесков

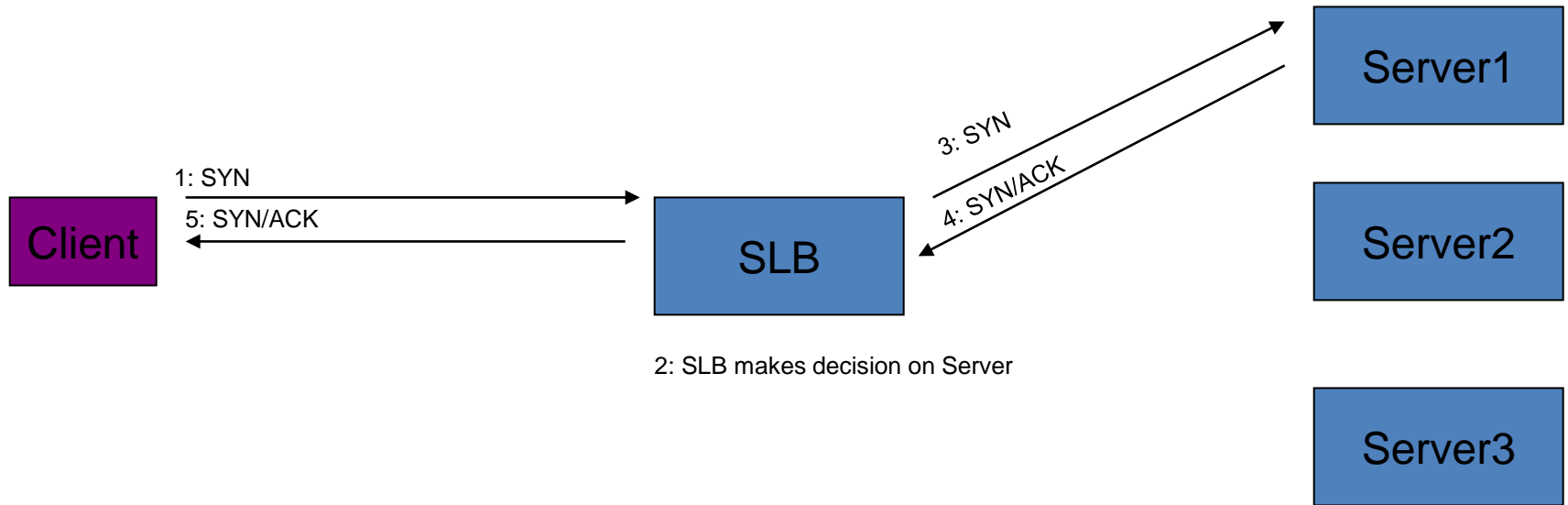
➤ Sinha S., Kandula S., Katabi D. Harnessing TCP's burstiness with flowlet switching //Proc. 3rd ACM Workshop on Hot Topics in Networks (Hotnets-III). – 2004.

Балансировка трафика по нескольким маршрутам

Недостатки передачи данных по одному пути:

- Ограничение пропускной способности сети
 - Маршрутизация по одному пути не позволяет достигнуть оптимума функции утилизации
 - Производительность в угоду простоте
- Подверженность колебаниям
 - Ранний адаптивный протокол маршрутизации, который учитывал задержку на линиях связи оказался нестабильным

Server Load Balancing (SLB)



Стратегии балансировки

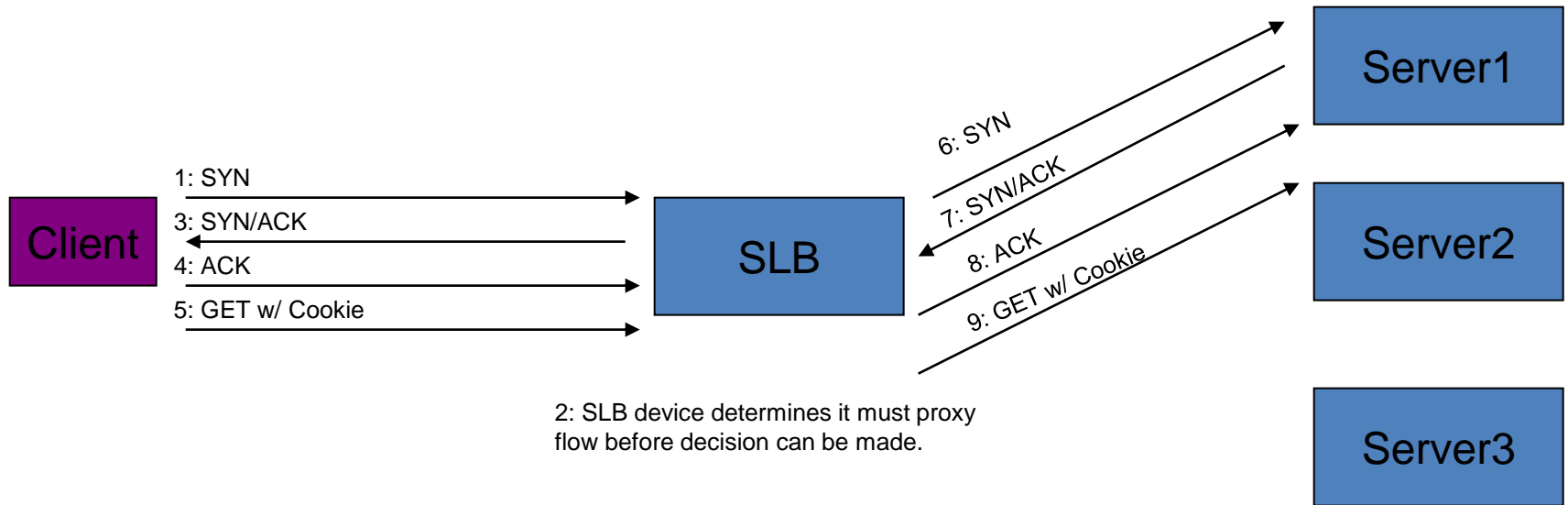
Статические:

- Round Robin
- Hash-based
 - Разные методы расчёта

Динамические:

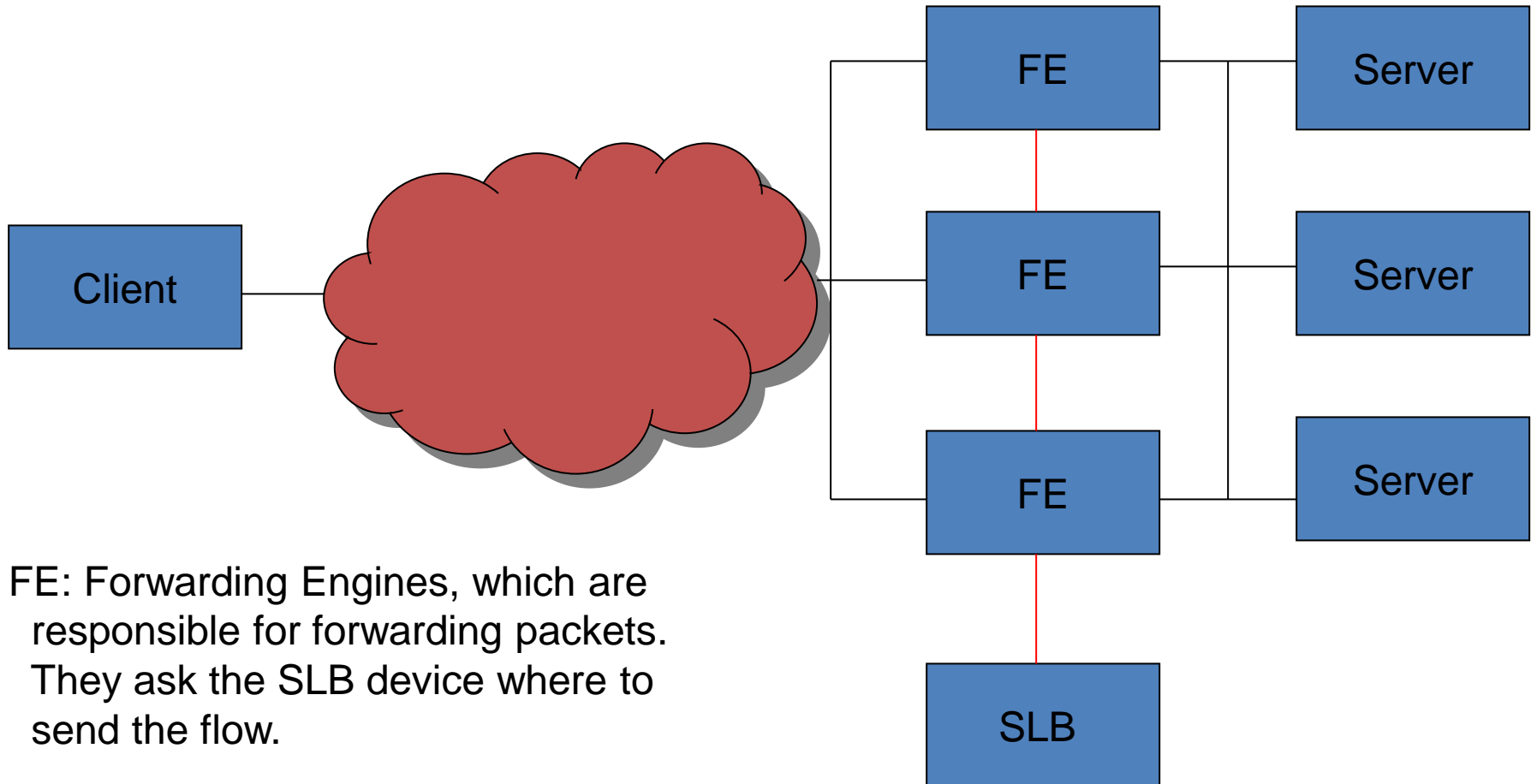
- Least Connections
 - Выбирается интерфейс, обслуживающий наименьшее количество соединений
- Lowest Response Time
 - Выбирается интерфейс с наименьшим временем завершения запроса

Балансировка на 5+



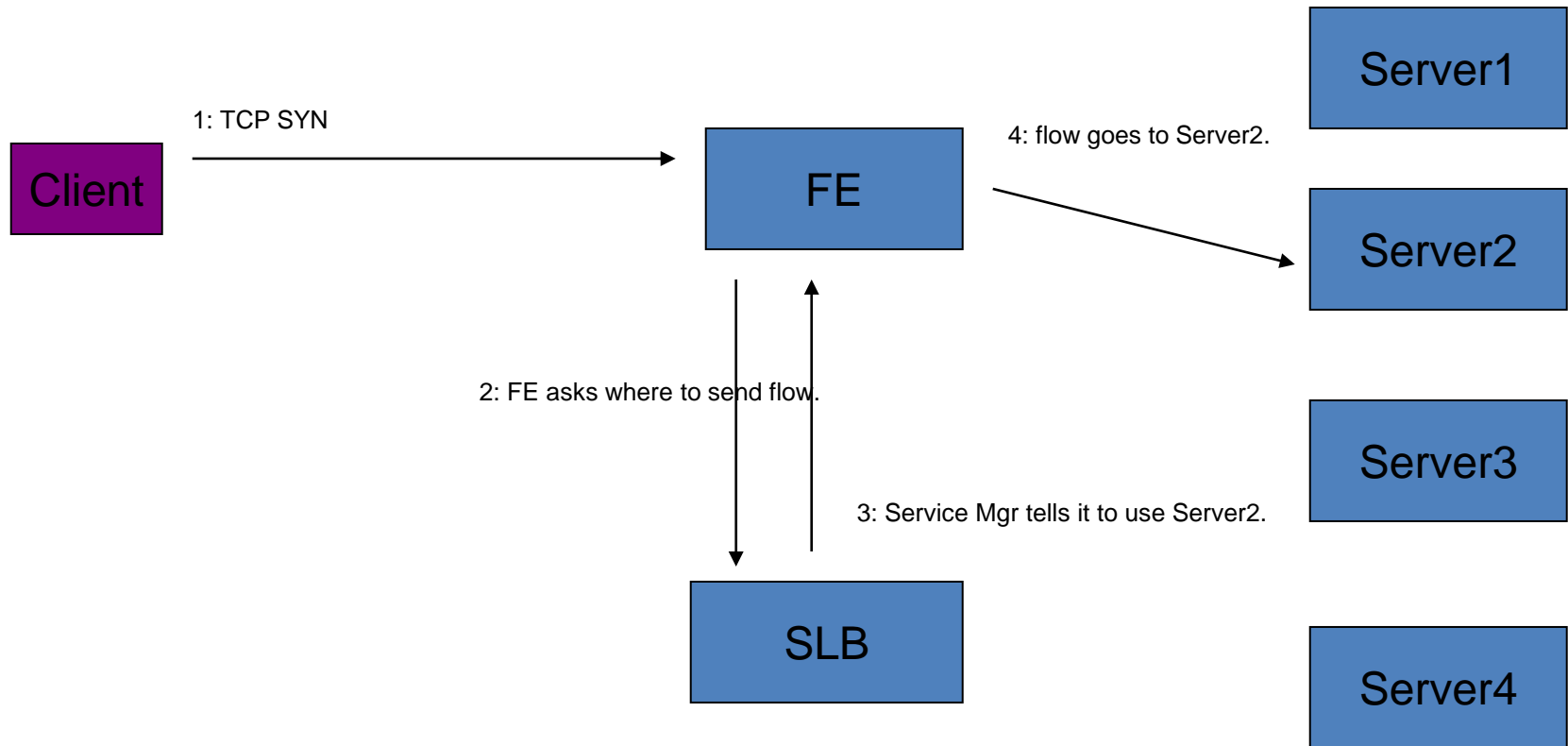
При работе на L5 балансировщик не может определить, куда перенаправлять поток данных заранее => Он должен взять часть работы сервера на себя

Распределённый балансировщик



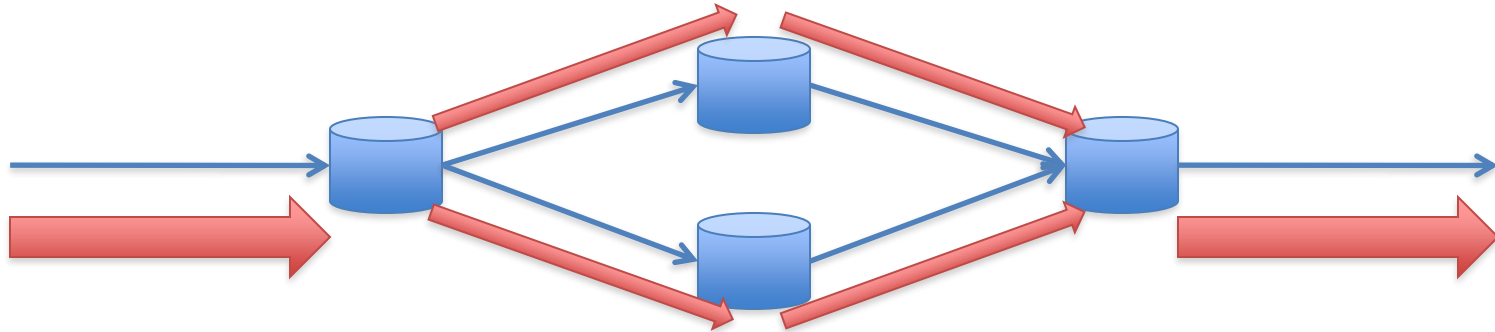
FE: Forwarding Engines, which are responsible for forwarding packets. They ask the SLB device where to send the flow.

Распределённый балансировщик



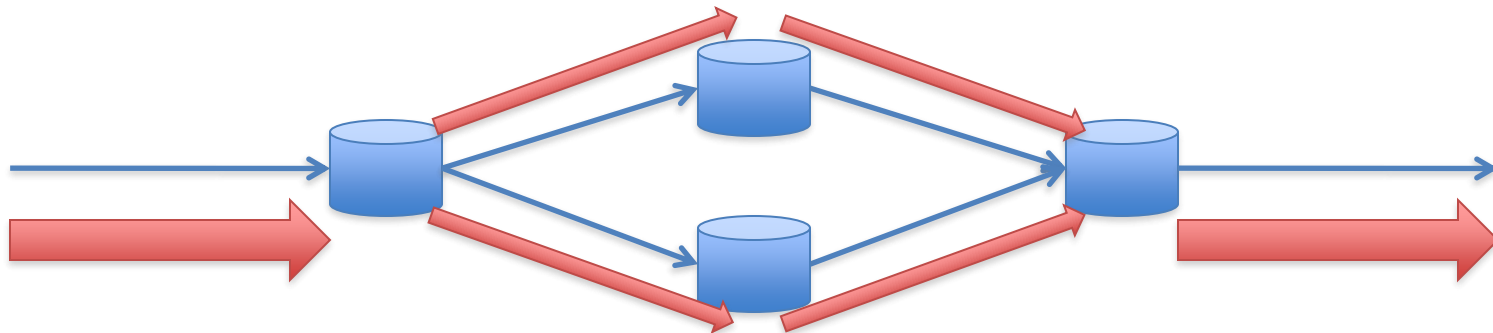
Subsequent packets flow directly from Client to Server2 thru the FE.
The FE must notify the SLB device when the flow ends.

Equal-cost multipath routing (ECMP)



- ECMP
 - Распределяет нагрузку между множеством путей с одинаковыми метриками маршрутизации
- Round-Robin использовать нельзя:
 - Переупорядочивание пакетов (TCP такого не любит)
 - Разные пути могут иметь разные RTT, PLR...
 - На разных путях может быть разный MTU

Equal-cost multipath routing (ECMP)



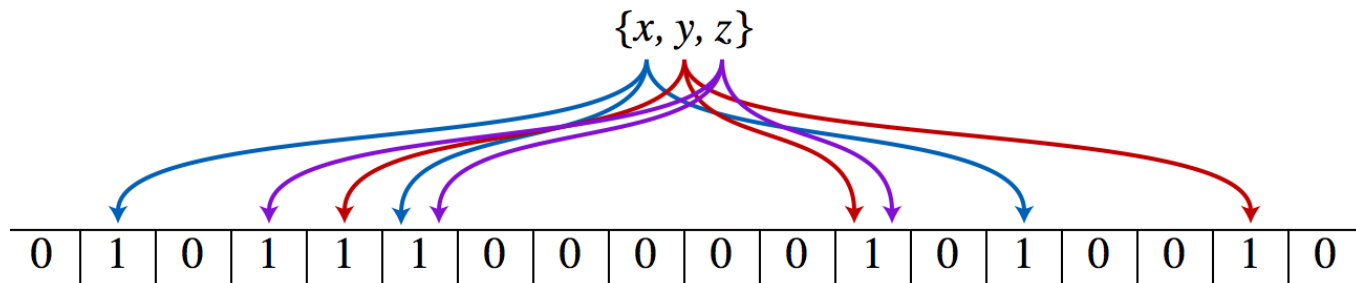
- Для балансировки используется хэширование
 - количество бакетов = количеству выходов
 - Хэш на основе адресов пакетов сохраняет привязку потоков по выходам

Basic Hash Techniques

- Simple approach for uniform data
 - If data distributed uniformly over N , for $N \gg n$
 - Hash $fn = \langle data \rangle \bmod n$
 - Fails goal of uniformity if data not uniform
- Non-uniform data, variable-length strings
 - Typically split strings into blocks
 - Perform rolling computation over blocks
 - CRC32 checksum
 - Cryptographic hash functions (SHA-1 has 64 byte blocks)

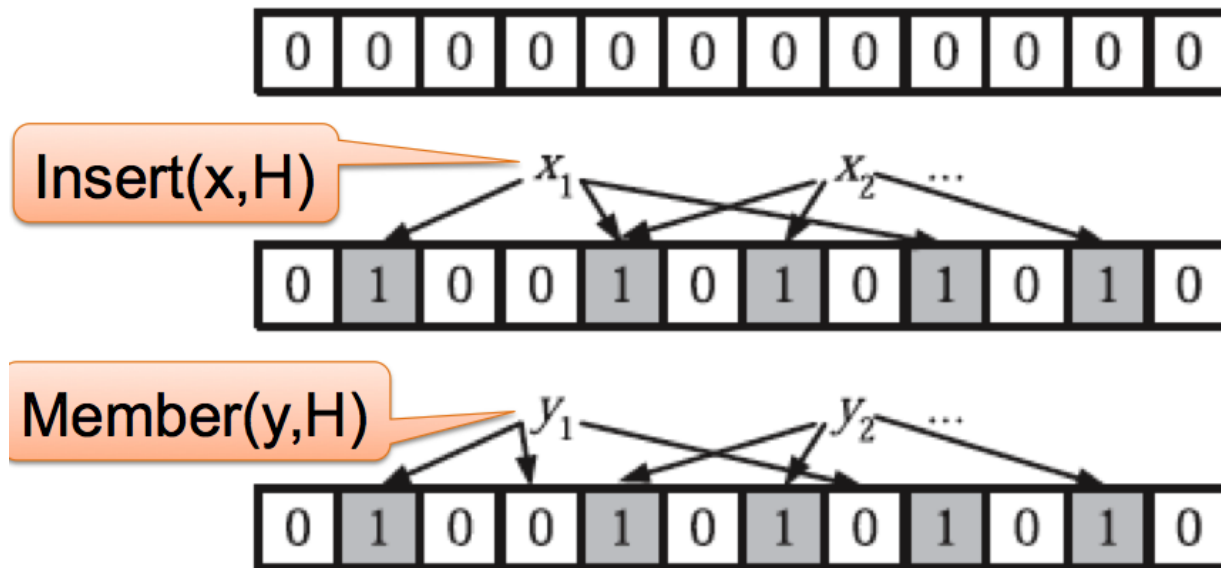
Bloom Filters

- Data structure for probabilistic membership testing
 - Small amount of space, constant time operations
 - False positives possible, no false negatives
 - Useful in per-flow network statistics, sharing information between cooperative caches, etc.
- Basic idea using hash fn's and bit array
 - Use k independent hash functions to map item to array
 - If all array elements are 1, it's present. Otherwise, not



Bloom Filters

Example Bloom Filter $k=3$



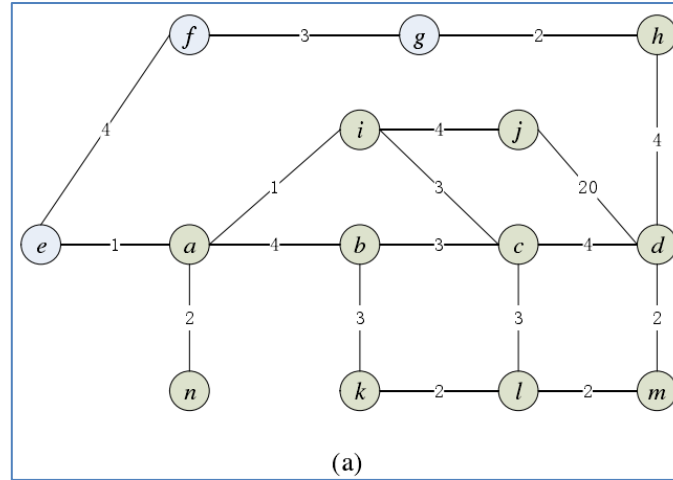
y_1 = is not in H (why ?); y_2 may be in H (why ?)

Maximally Redundant Trees

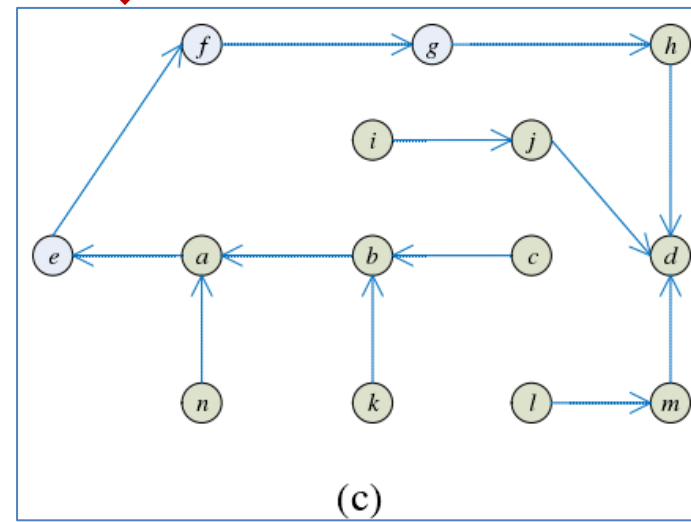
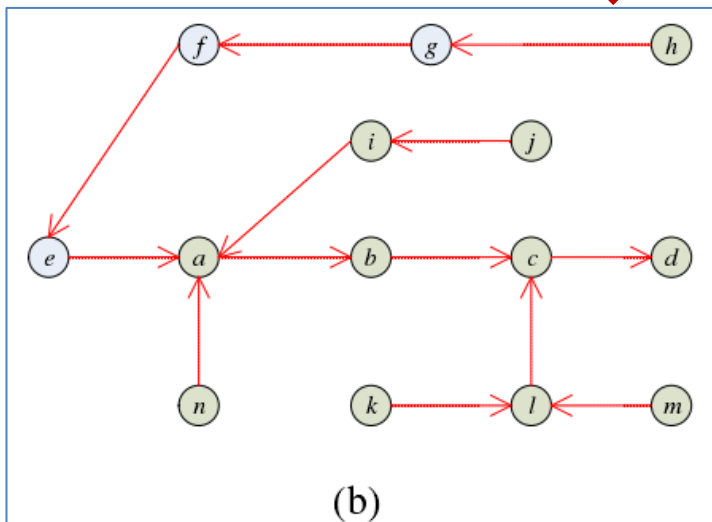
2 trees $O(n)$

3 trees $O(n^2)$

4 trees $O(n^3)$

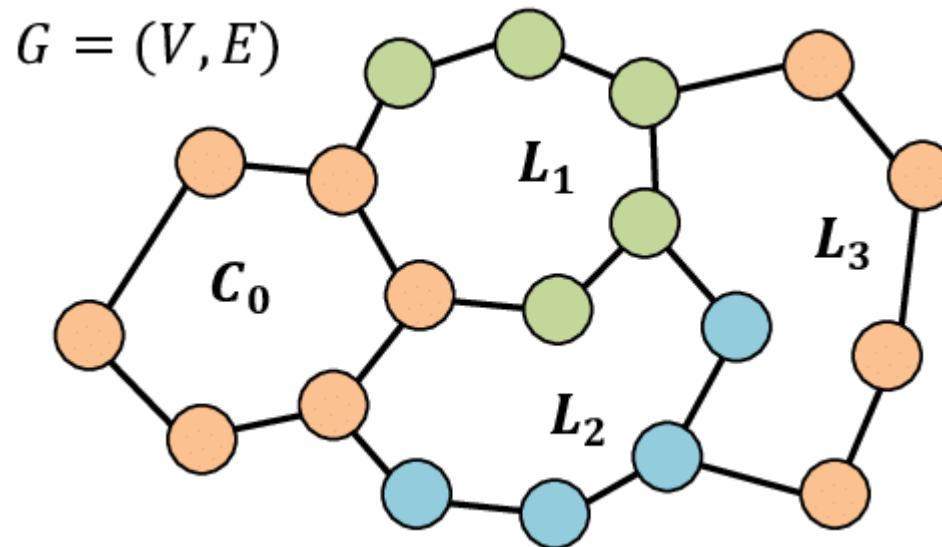


To destination d , each node to d has two paths.

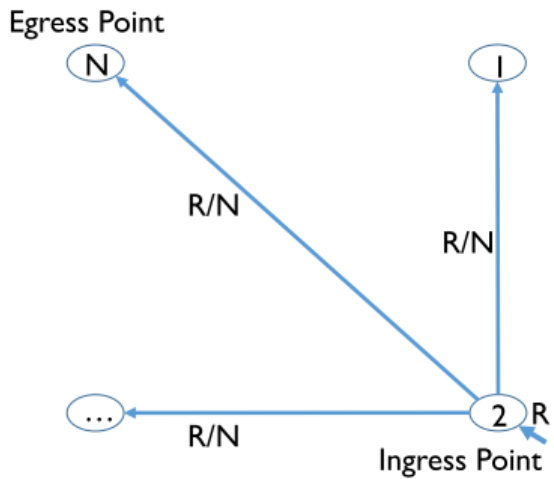


Ear decomposition

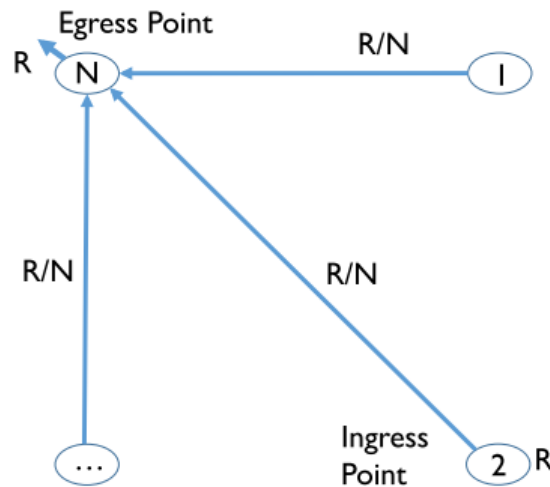
An **ear decomposition** of an undirected graph G is a partition of its set of edges into a sequence of ears, such that the one or two endpoints of each ear belong to earlier ears in the sequence and such that the internal vertices of each ear do not belong to any earlier ear.



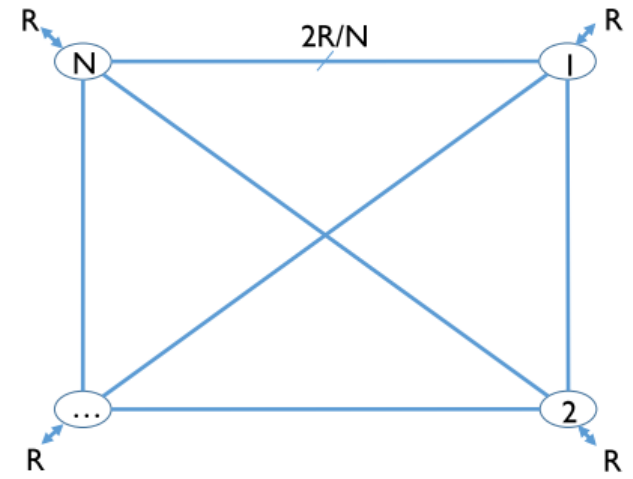
Valiant Load Balancing



(a) VLB Stage 1

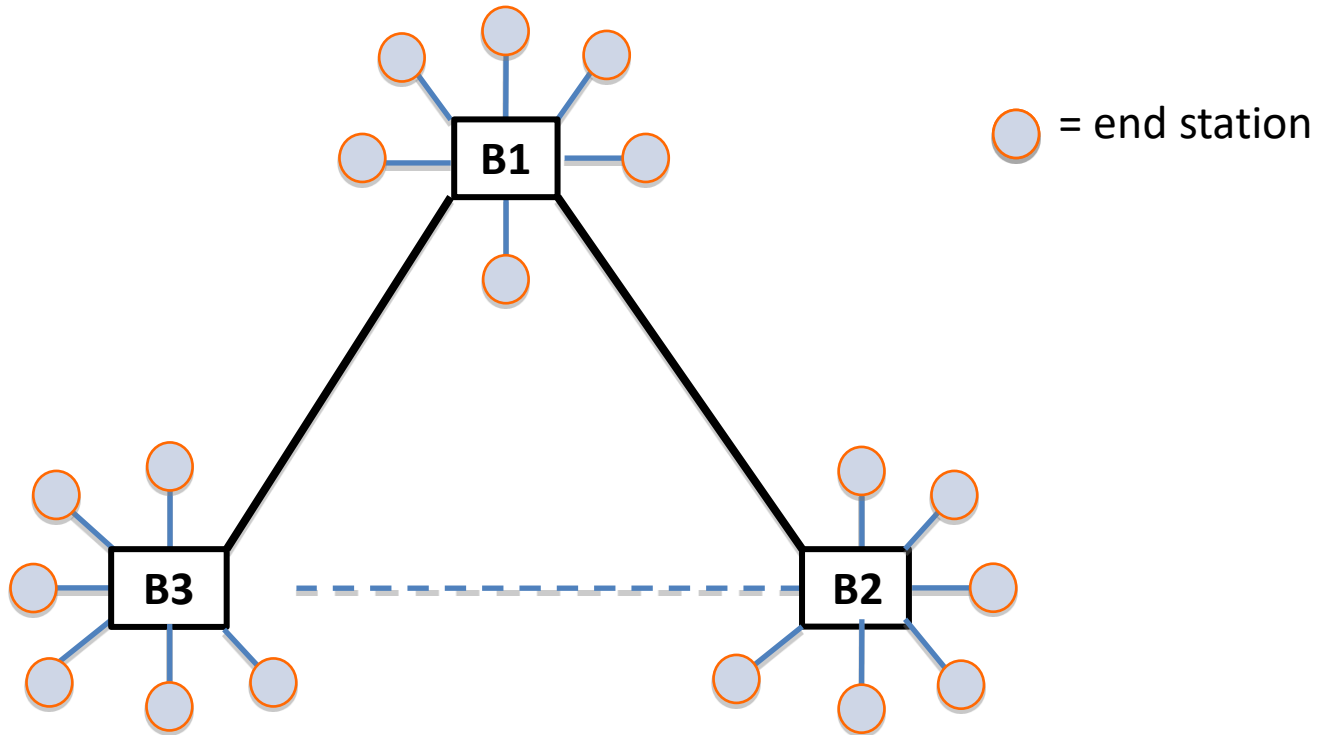


(b) VLB Stage 2



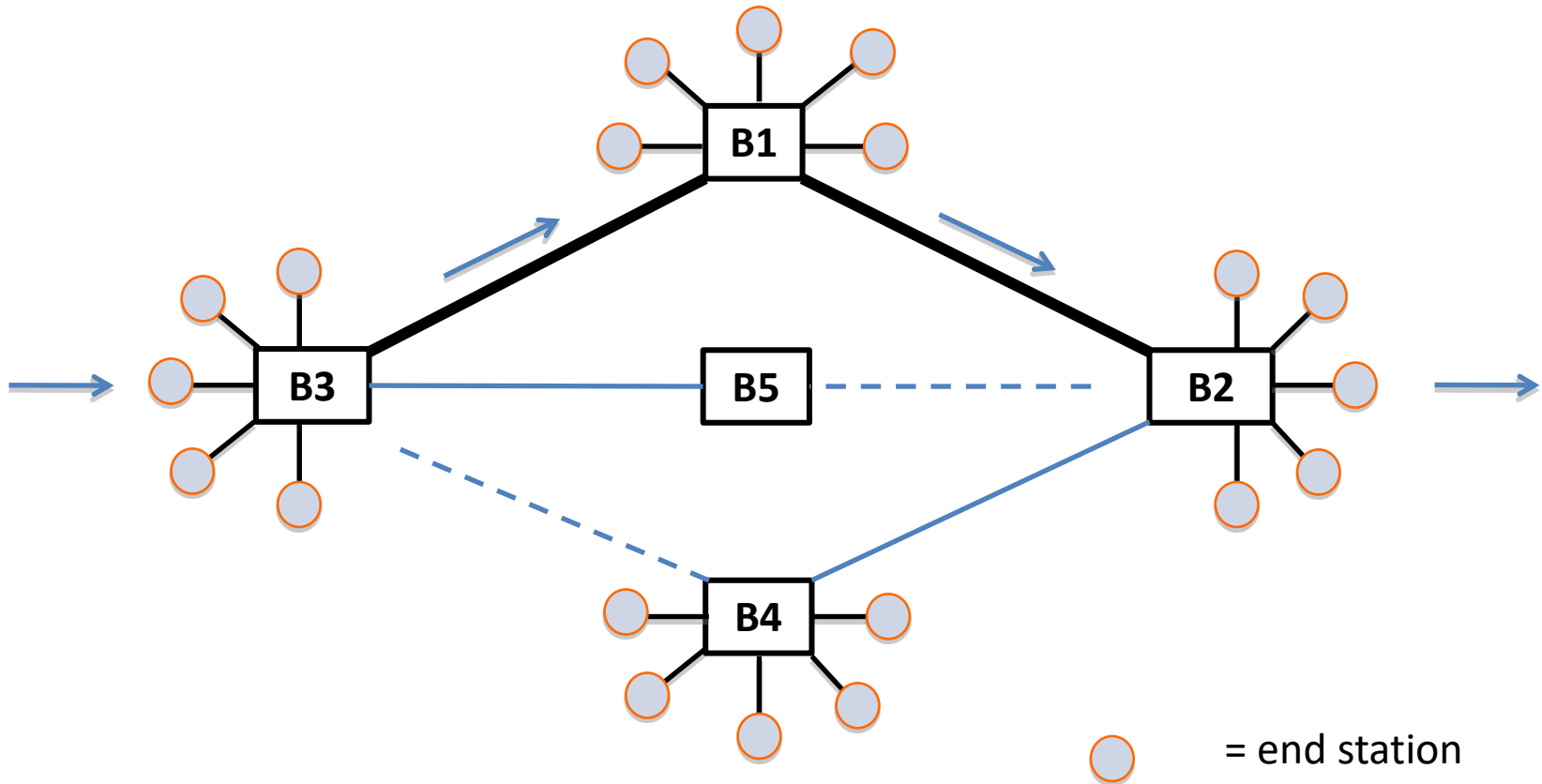
(c) VLB Stage 1+2

Unicast Least Cost Paths



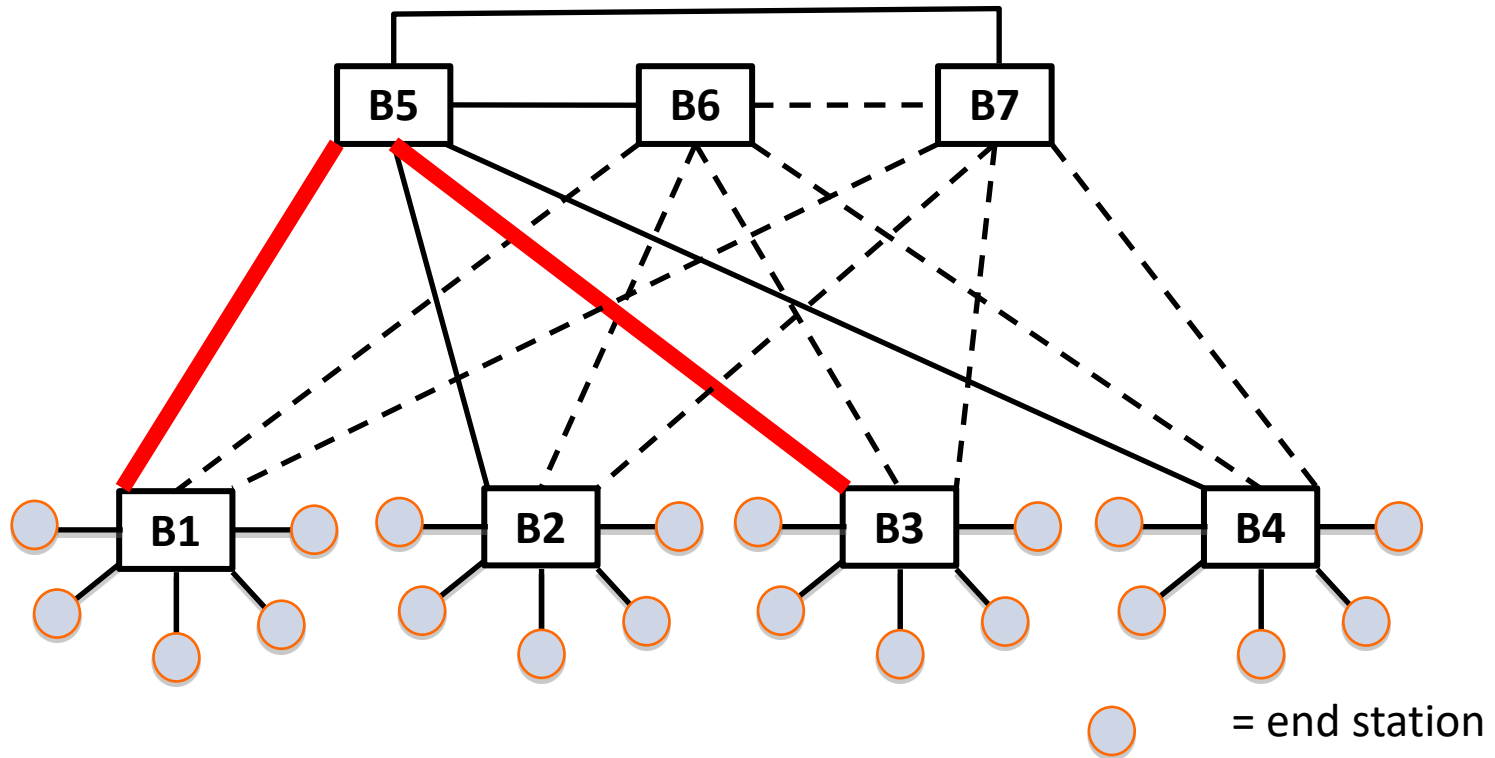
Spanning tree eliminates loops
by disabling ports

Unicast Multi-Pathing



Bridges limit traffic to one path

Multi-Pathing (Unicast)



Bridges limit traffic to one path

Протокол TRILL



Протокол TRILL

- Основан на простой идее:
 - Добавить к передаваемым пакетам новый L2 заголовок с hop-counter'ом
 - Маршрутизировать пакеты с помощью IS-IS
 - Удалить дополнительные заголовки перед тем, как доставить пакет
- Преимущества:
 - Передача по лучшему пути
 - Встроенная поддержка Equal Cost Multi Path
 - Поддержка передачи на несколько назначений

TRILL has a poem

I hope that we shall one day see
 A graph more lovely than a tree.
A graph to boost efficiency
 While still configuration-free.
A network where RBridges can
 Route packets to their target LAN.
The paths they find, to our elation,
 Are least cost paths to destination!
With packet hop counts we now see,
 The network need not be loop-free!
RBridges work transparently,
 Without a common spanning tree.

- By Ray Perlner (Radia Perlman's son)

Меняется парадигма организации вычислений

- На смену клиент-сервисной архитектуре пришли Cloud Computing и концепция Software as a Service
- При высокой концентрации вычислительных ресурсов сеть становится узким местом



При увеличении числа пользователей пропускная способность разделяется

Решение – увеличение
количества передающих
станций

wimax



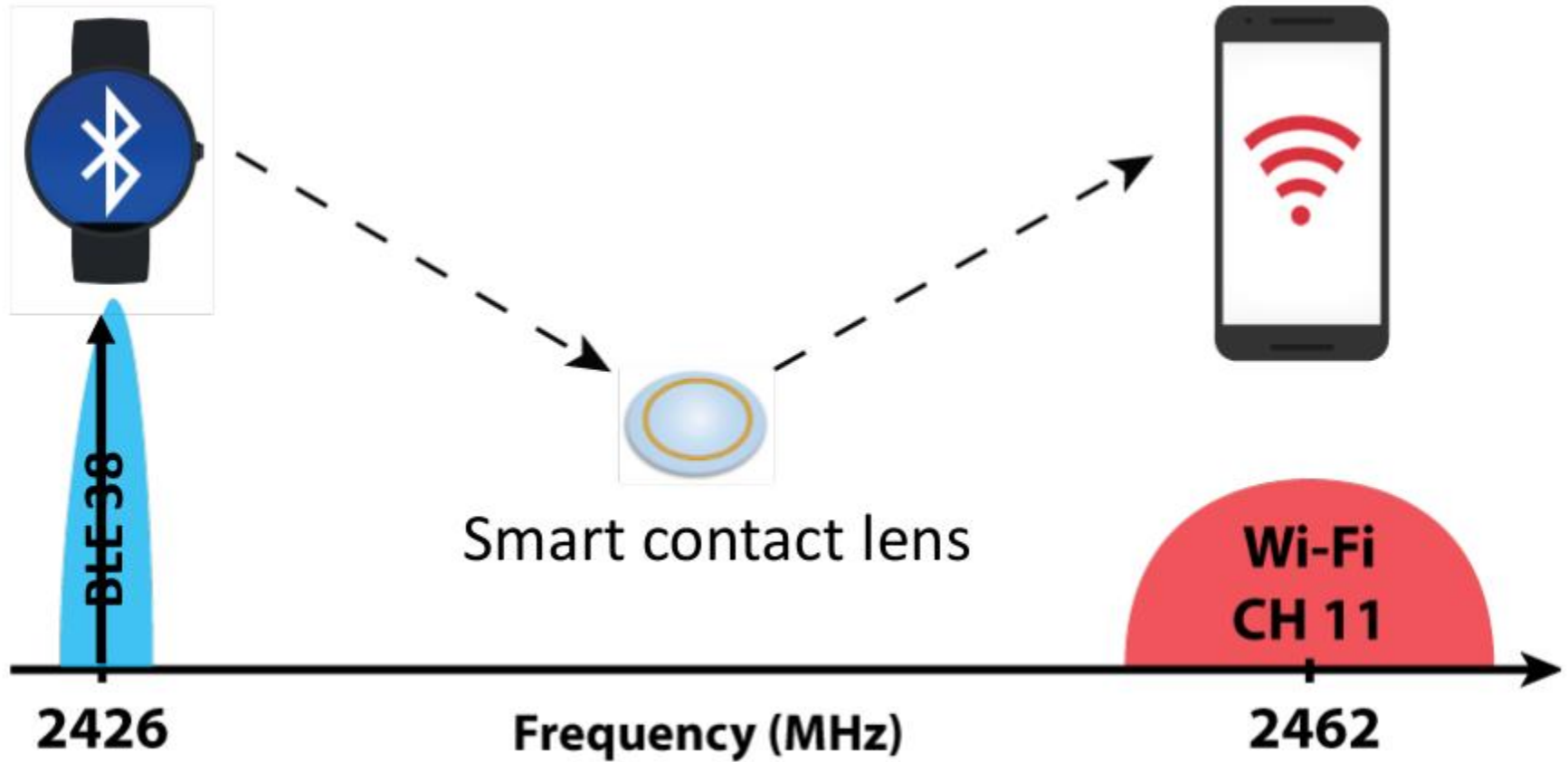
Слишком дорого!

WiFi



[Почему нельзя мультиплексировать
передачу данных через разные каналы?!]

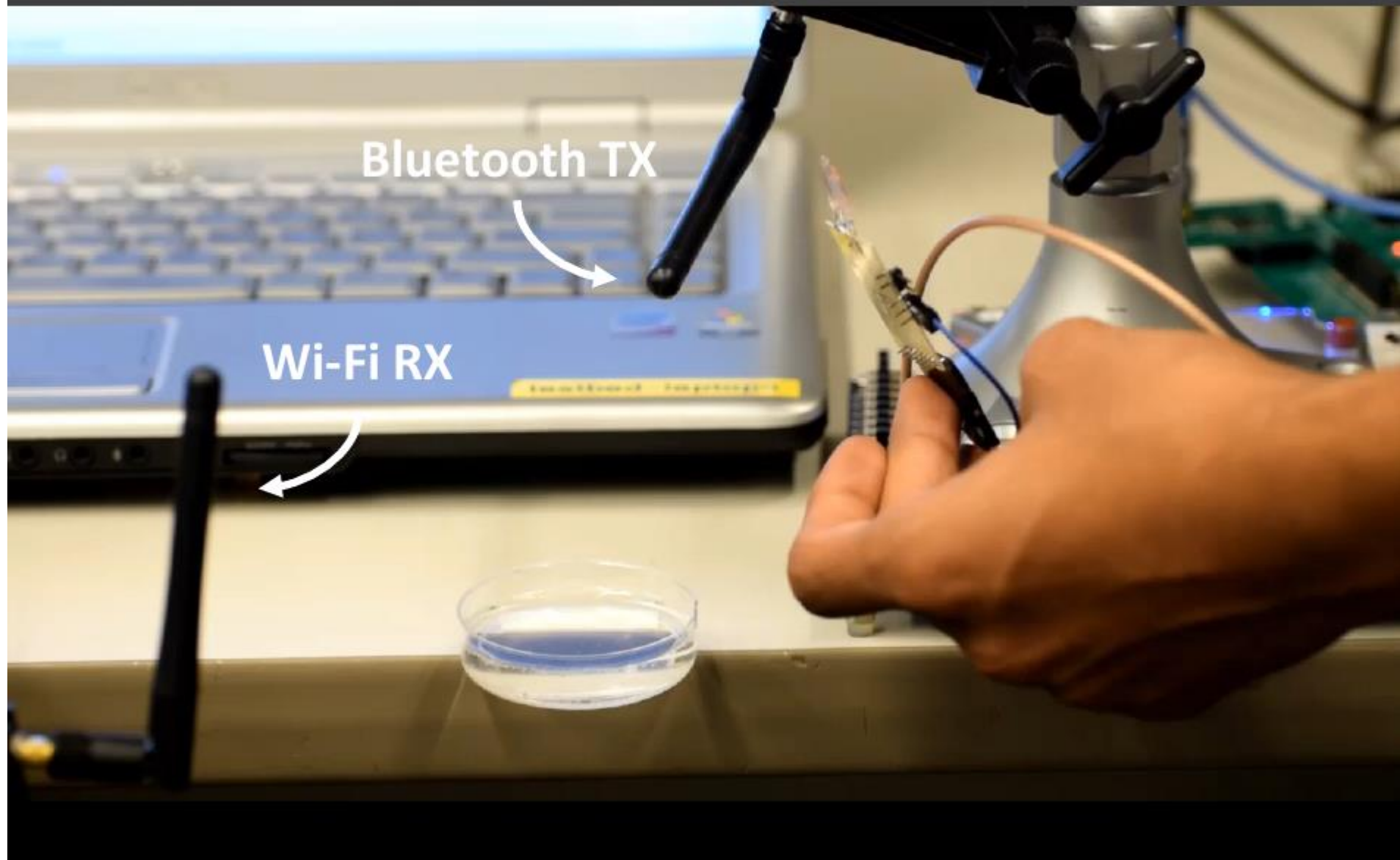
Interscatter Communication



Contact Lens Prototype

Bluetooth TX

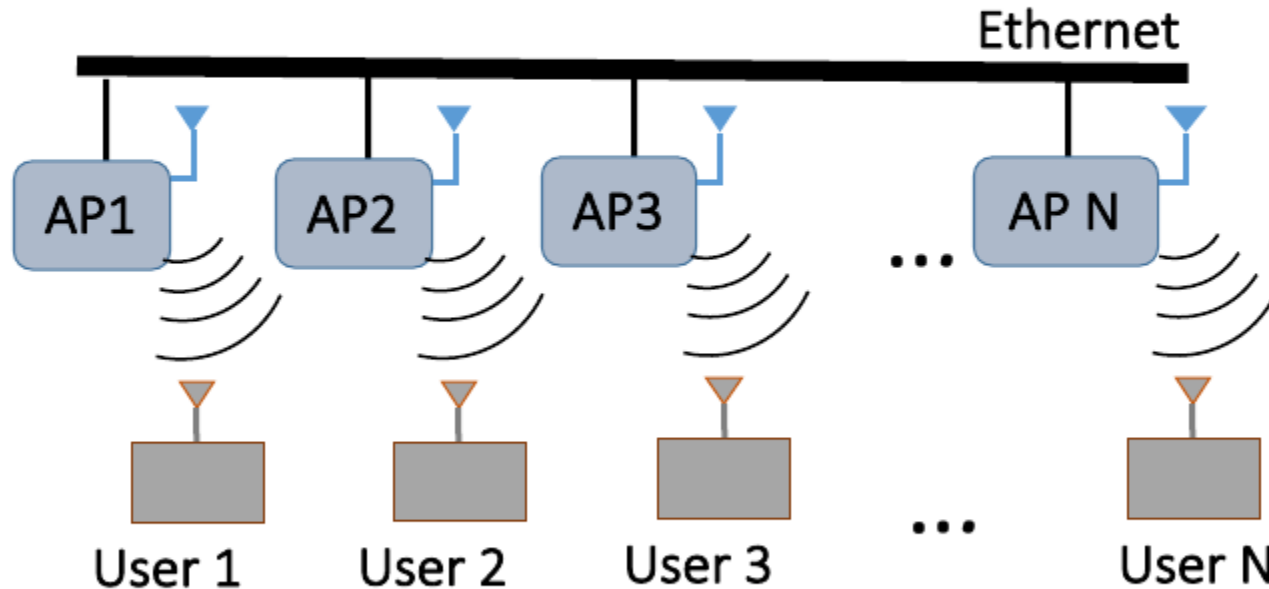
Wi-Fi RX



Real-time Distributed MIMO Systems

Distributed MIMO is the Holy Grail

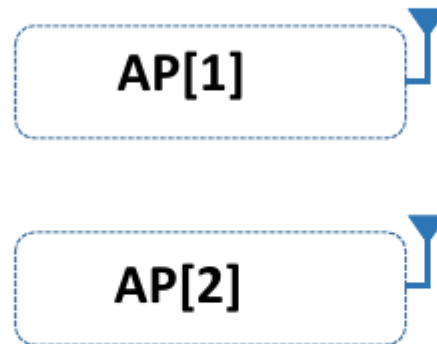
Distributed protocol for APs to act as a huge MIMO transmitter with sum of antennas



N APs → N times higher throughput

Real-time Distributed MIMO Systems

What happens with Distributed MIMO?

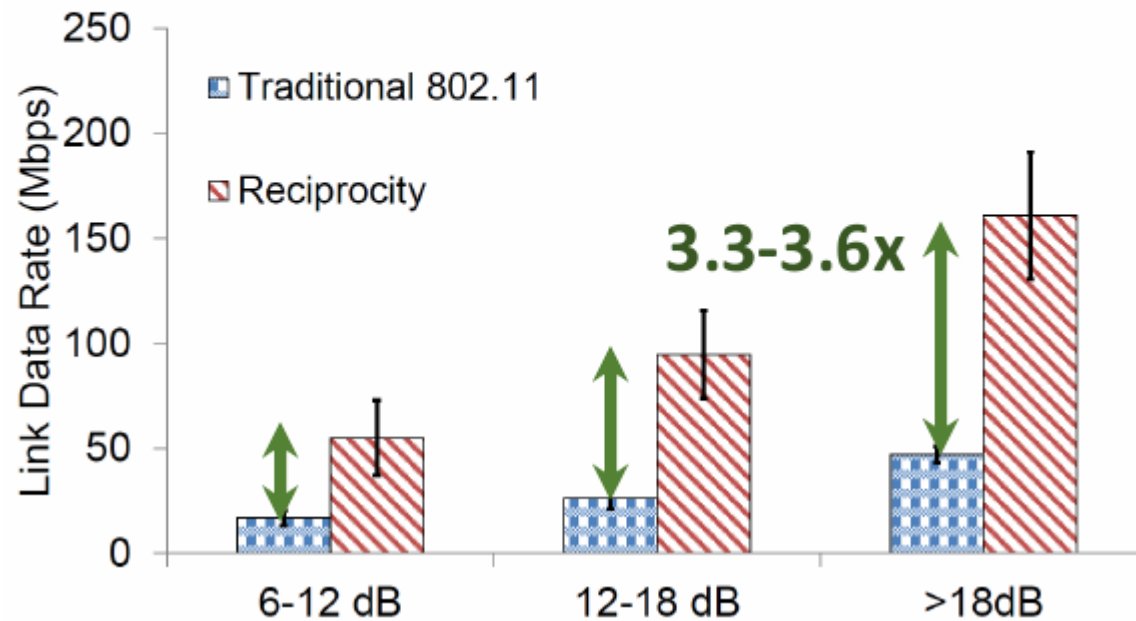


Separate devices → Different Crystals

→ RF chains have oscillator offset relative to each other

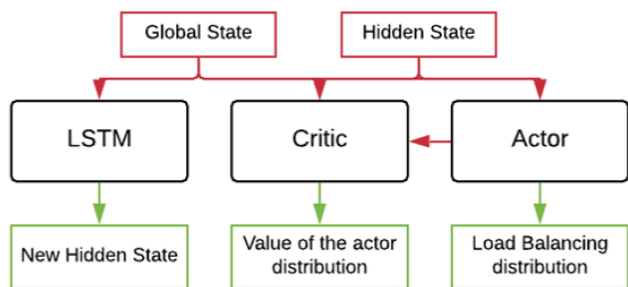
Real-time Distributed MIMO Systems

MegaMIMO 2.0 vs. Traditional 802.11

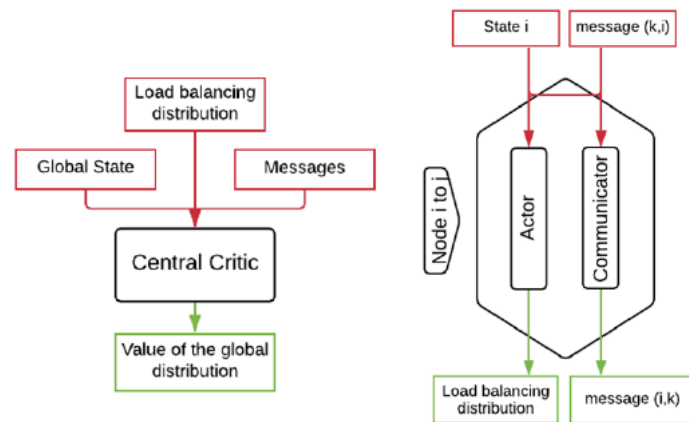


Методы машинного обучения в задаче балансировки трафика

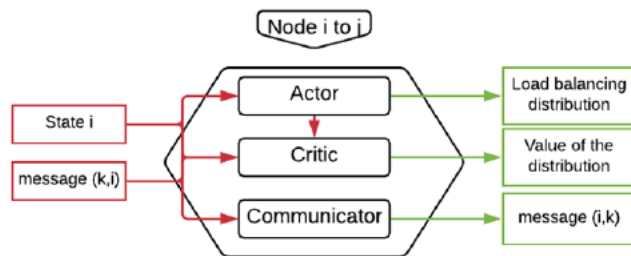
- Наиболее распространенная модель – Actor-Critic
- Работа балансировщика определяется состоянием, действием и наградой (методы поиска оптимальной политики)



Централизованный подход



Полуцентрализованный подход



Распределенный подход

На каком уровне проводить балансировку нагрузки?

- На уровне каналов
 - TRILL, Wireless MIMO
- На уровне маршрутизаторов
 - ECMP, VLB, etc.
- На уровне транспорта
 - SCTP
 - MPTCP
- На уровне приложений
 - BitTorrent

Программа курса

Подходы:

- 1. Управление перегрузкой**
 - Современные протоколы управления перегрузкой TCP
- 2. Демультимплексирование/мультиплексирование**
 - Многопоточные транспортные протоколы
 - Маршрутизация на уровне интернет провайдеров
 - Network Coding
- 3. Сегментация**
 - TCP Proxy
- 4. Балансировка**
 - Балансировка нагрузки и управление трафиком

Модели:

- Сетевое исчисление: математический подход к качеству сервиса
- NS3: моделирование поведения сети с высокой точностью

Примеры:

- HTTP3/QUIC
- Управление сетевыми ресурсами в Центрах Обработки Данных
- Обеспечение качества сервиса в сетях доставки контента
- Пропускная способность по требованию