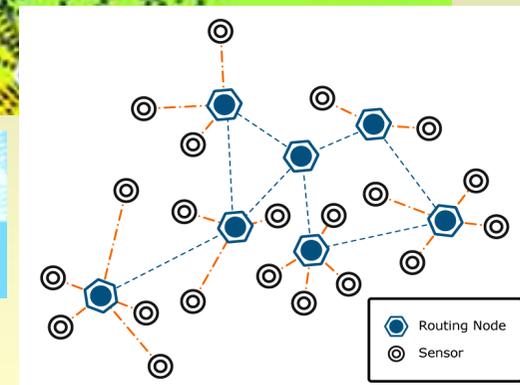
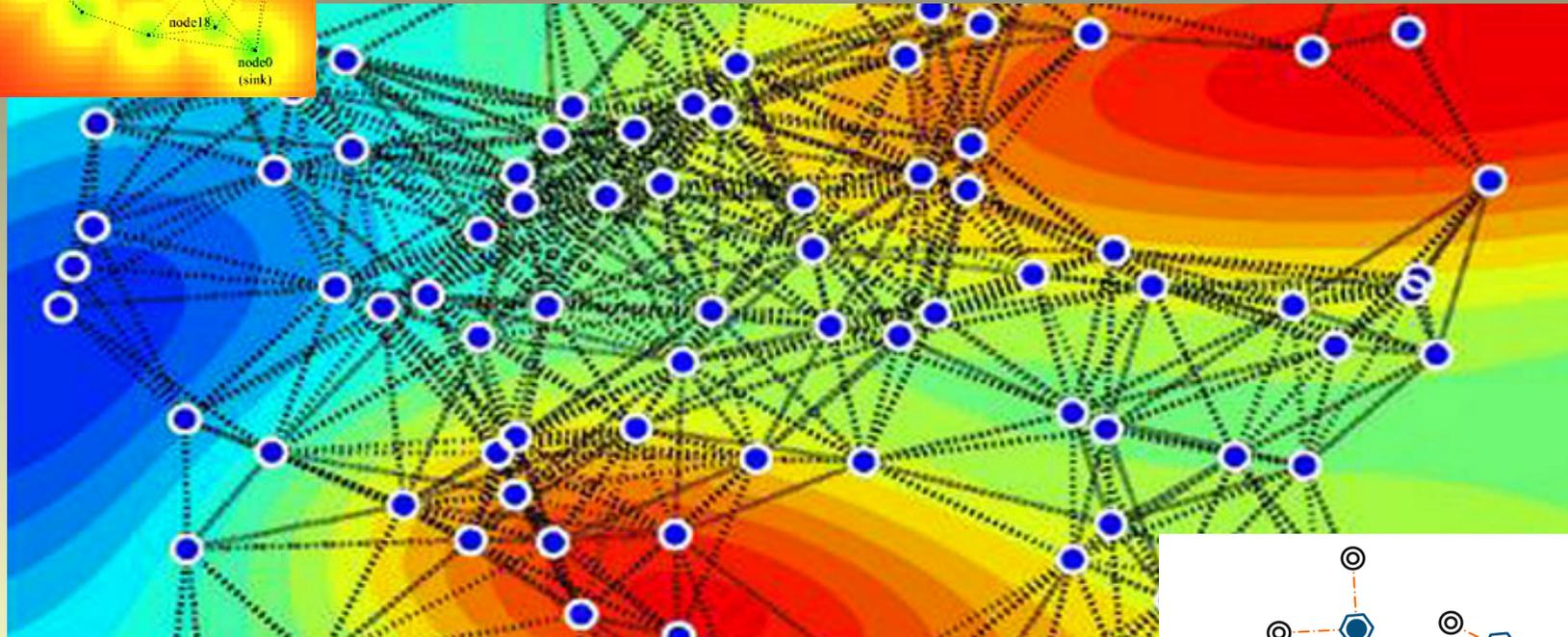
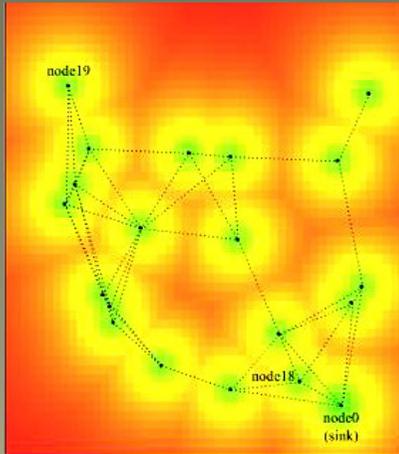
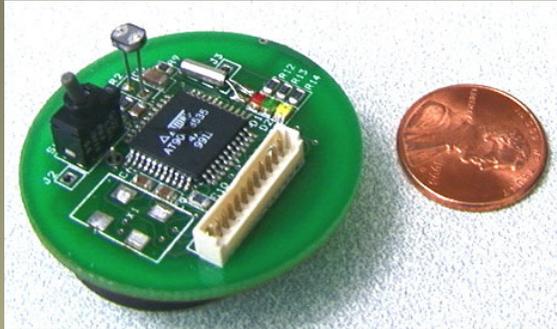


# WSN

## Беспроводные сенсорные сети



# WSN



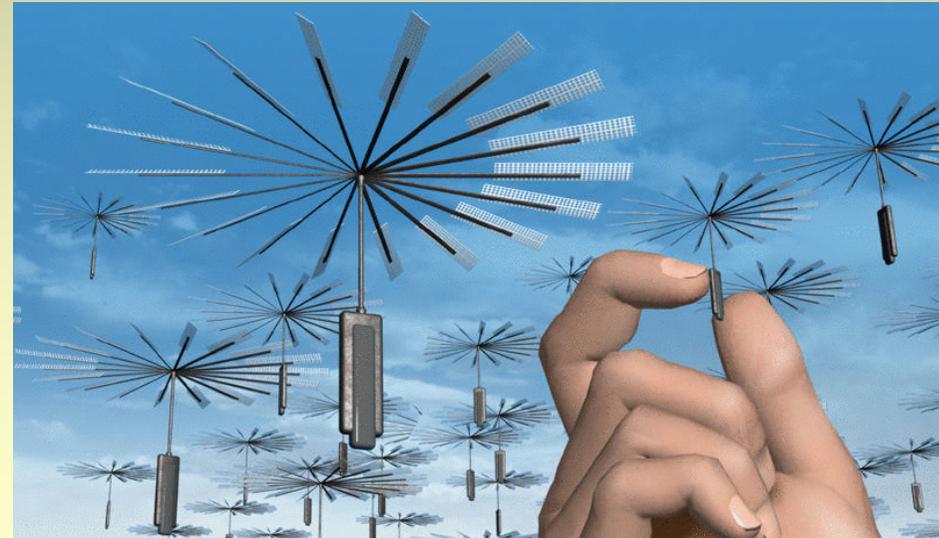
Достижения микроэлектроники открыли путь к созданию новой технологии: **беспроводным сенсорным сетям (Wireless sensor networks, WSN)**. В качестве сетевых процессоров (называемых сенсорными узлами) в них используются:

- малопотребляющие процессоры и трансиверы
- миниатюрные, недорогие сенсоры (MEMS, RFID)

Число узлов **WSN** может достигать  $10^7$ .

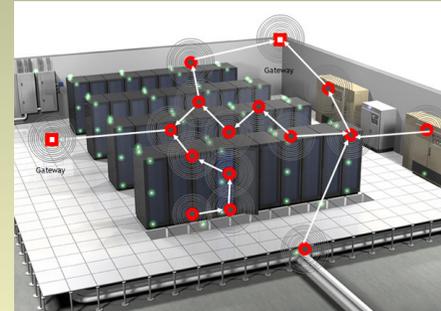
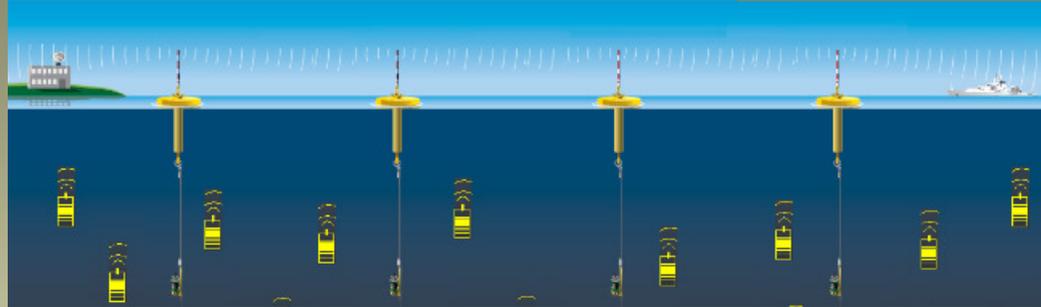
Такие сети могут быть очень плотными и тогда иногда называются **Smart Dust**. Используются в разнообразных задачах мониторинга.

**WSN** отличаются от традиционных сетей, и для них требуется развитие специальных распределенных адаптивных алгоритмов обработки информации.



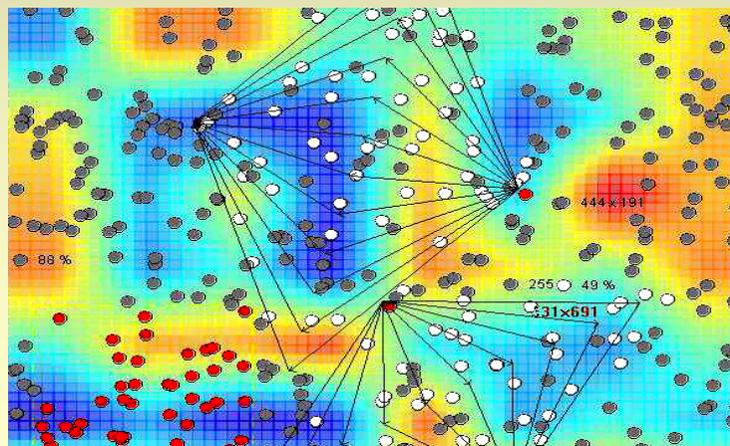
# WSN

## применения



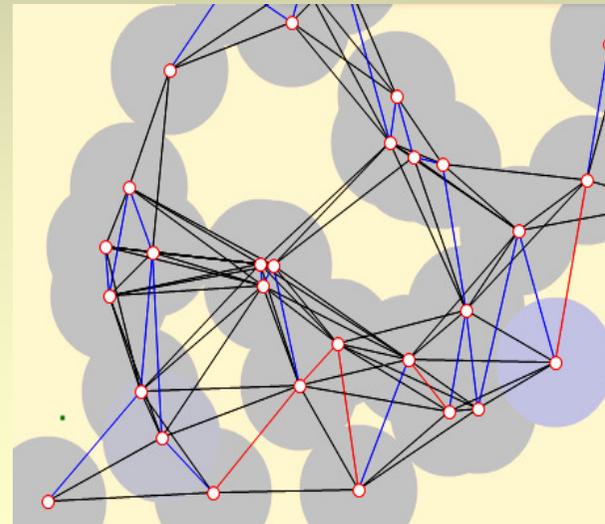
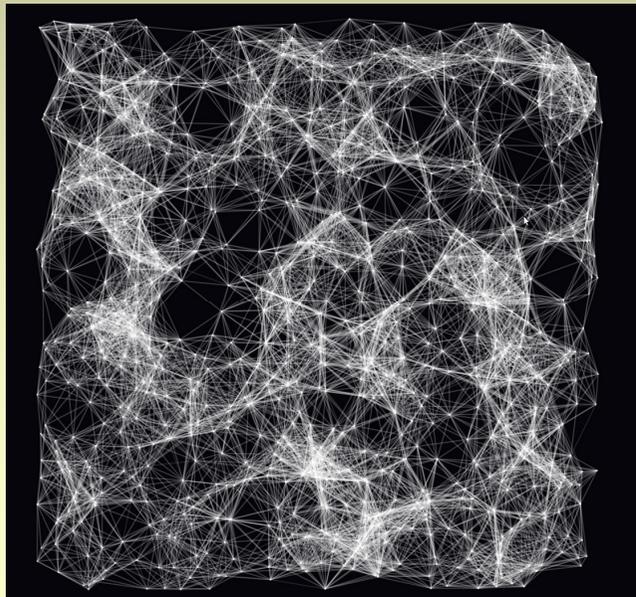
# WSN

- **Узлы WSN (nodes)** сочетают функции удаленных детекторов, микро-компьютеров и коммуникационных устройств.
- **WSN – самоформирующаяся** система, обладающая многими возможностями. Например, она может преобразоваться в сеть, способную **адаптироваться к изменившейся внешней среде**. Такая адаптация осуществляется посредством **самоорганизованного изменения топологии сетевых связей**.
- В отличие от **традиционных беспроводных систем** сетям **WSN** для адаптации не требуется связываться с ближайшей электростанцией, а нужно лишь **мобилизовать внутрисетевые связи**. Заложенные **внутрисетевые правила** (протоколы) обеспечат возвратно-поступательное (челночное) распространение информации в гетерогенной сети методом **multi-hop**.
- **Динамически адаптирующаяся архитектура связей WSN** способна обеспечить решение таких задач как **присоединение новых узлов, расширение пространственной области**, занимаемой сетью, **самовосстановление** (продолжение прежней работы сети в случае выхода из строя отдельных узлов) и др.

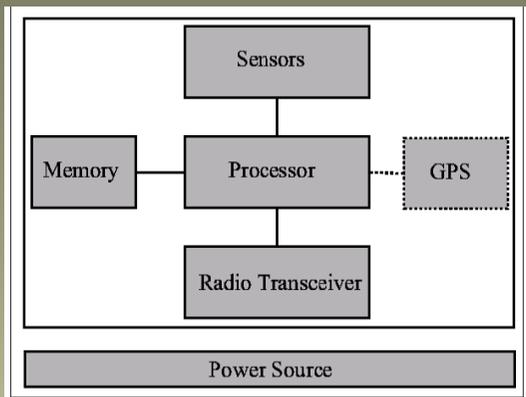


# WSN

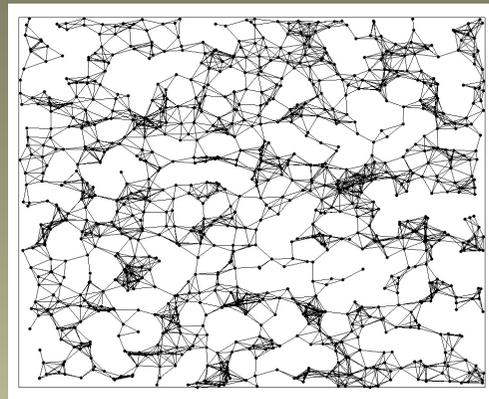
- **WSN** – **гетерогенные** пространственно распределенные сети, содержащие **узлы-сенсоры** (sensor nodes), **приемники** (sinks) и **передаточные устройства** (gateway nodes), связанные между собой посредством радио.
- **Узлы** – миниатюрные вычислительные устройства, снабженные **датчиками** (температуры, давления, освещенности, уровня вибрации, местоположения и т.п.) и **трансиверами** (радиоприемопередатчики), работающими в заданном радиодиапазоне. Они позволяют производить зондирование, вычисления, осуществлять коммуникацию узлов друг с другом.
- **WSN** способны обеспечить **сбор информации**, начальную **обработку данных** и **передачу информации** с больших площадей, в течение длительного времени.



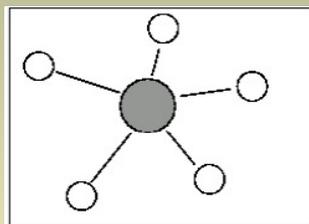
# WSN



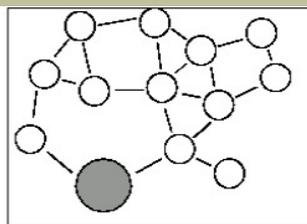
WSN node



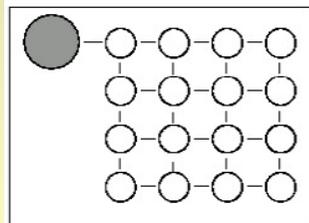
WSN architecture



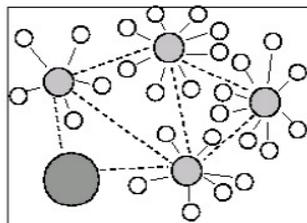
(a)



(b)

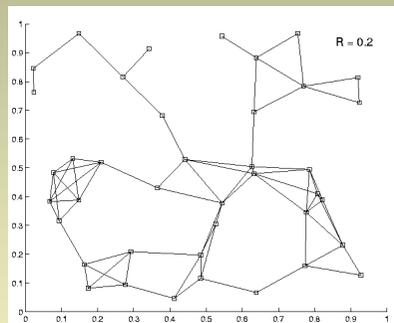


(c)

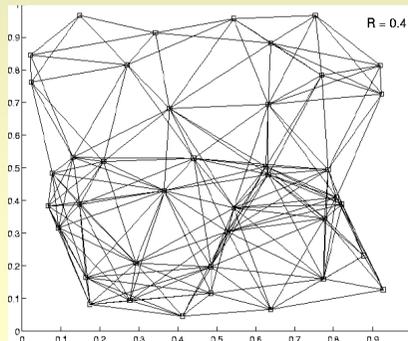


(d)

WSN topology



sparse



dense

В некоторых приложениях используются модели случайных графов  $G(n,R)$

# WSN

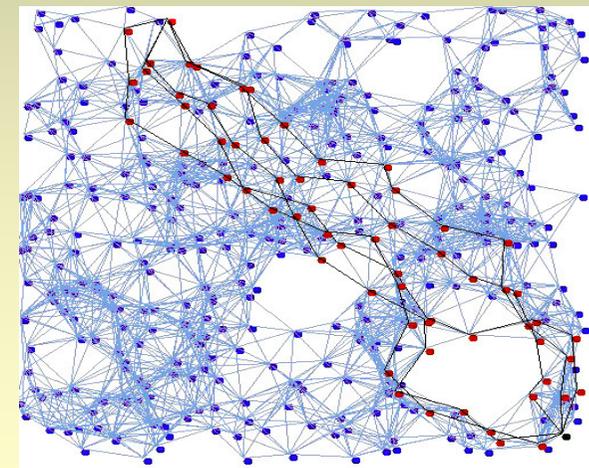
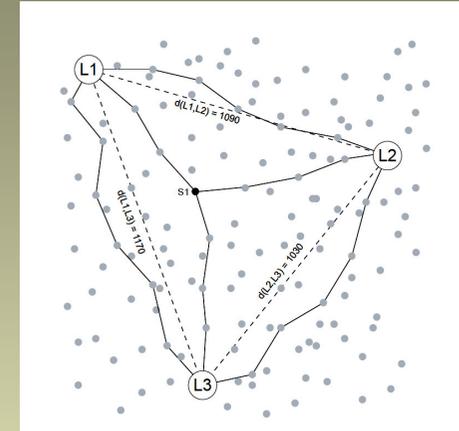
## Маршрутизация (адаптивная перестройка структуры связей WSN) (Routing protocols, RP)

Методы маршрутизации отражают разнообразие способов обмена данными в WSN. Выбор метода обусловлен выполняемыми задачами, структурой связей и организацией WSN.

Трудно дать какую-либо общую классификацию методов построения маршрутизации. Можно лишь выделить несколько отдельных типов RP:

- методы, основанные на **оптимизации энергии WSN**;
- **RP для двумерных однородных WSN**, локализованных в плоскости;
- другие методы, основанные на использовании характеристик **пространственного расположения WSN**;
- **иерархически построенные RP** (основанные на введении предварительной кластеризации сети);
- **RP**, основанные на построении **направленной** многоканальной **диффузии информации** в WSN
- **RP**, основанные на «переговорах» между узлами WSN;
- **RP**, основанные на **синхронизации** в WSN.

При этом в **RP**, основанных на переговорах, часто используется метод лавинного распространения информации (**flooding**): сообщение от каждого узла распространяется по всей сети. Для взаимодействия узлов используются сообщения трех типов: ADV (о наличии новых данных в узле), REO (запрос данных) и DATA (пересылка самих данных). По **получении новых данных** узел справляется о **состояниях соседних узлов** (посылая ADV и ожидая от них REO). Получив запрос (REO), узел транслирует данные.



# WSN

## Routing protocols ( RP )

### Наиболее известные RP

- **SPIN (Sensor protocols for information via negotiation)**

Относится к методам маршрутизации для сетей с одноранговыми узлами.

Хорошо подходит для сетей с динамической топологией (и мобильными узлами)

- **DD (Directed diffusion)**

Метод позволяет осуществлять **централизованный сбор данных с доставкой по запросу**. Маршрутизация начинается с рассылки центральным узлом (sink) запроса. Вычисляется градиент, указывающий направление маршрутизации. Вариантом **DD** является **RR (Rumor Routing)**. Развита для WSN, в которых число событий мало, а число запросов очень велико.

- **GBR (Gradient-based routing)**

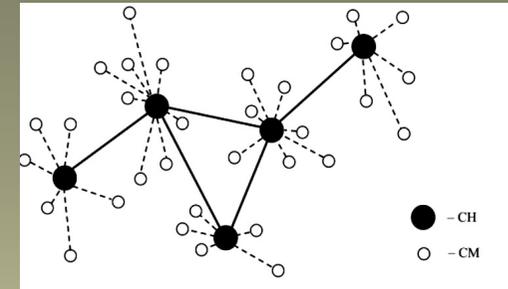
Метод также является вариантом **DD**. В процессе распространения запроса из центра учитывается количество ретрансляций от узла к узлу (hops) и вычисляется параметр (высота узла), указывающий минимально возможное число ретрансляций. **Адаптивный** алгоритм (узлы могут самостоятельно менять свою высоту).

- **LEACH (Low energy adaptive clustering hierarchy)**

Алгоритм относится к классу иерархических. Близлежащие узлы, находящиеся в одной зоне радиодоступа, объединяются в **кластер**. Кластер состоит из обычных узлов (**CM, cluster members**) и одного узла высшего ранга (**CH, cluster head**). Множество **CH** образует **коммуникационную инфраструктуру** сети.

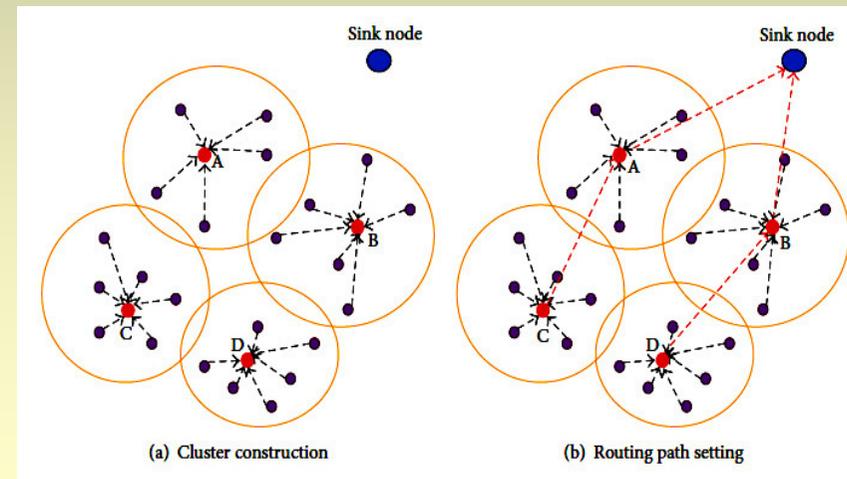
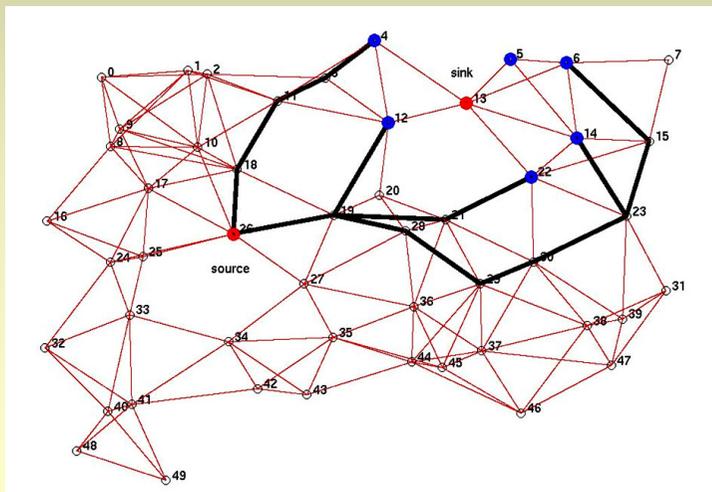
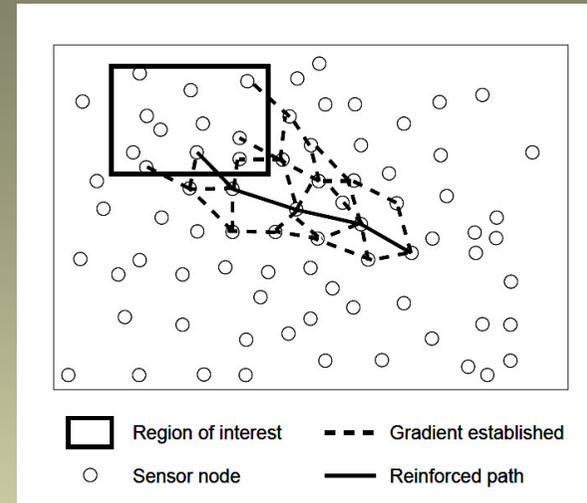
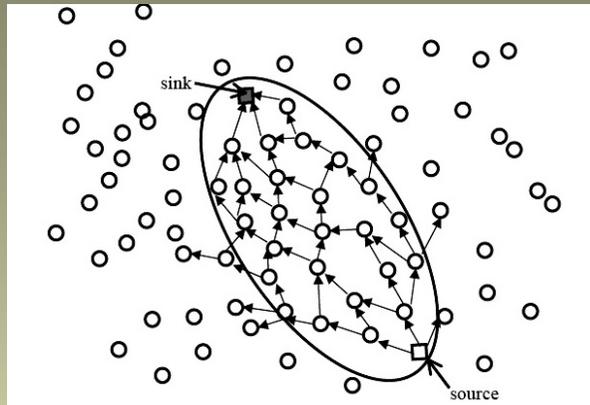
- **GAF (Geographic adaptive fidelity)**

Алгоритм также основан на кластерном разбиении сети и использует информацию о пространственном расположении узлов. Формируется **виртуальная сетка**, покрывающая территорию, занимаемую **WSN**. Внутри кластера выбирается **узел-лидер**, отвечающий за поддержание **связанности** сети в условиях, когда все остальные узлы находятся в **спящем режиме**. Узел-лидер осуществляет также мониторинг состояния узлов.



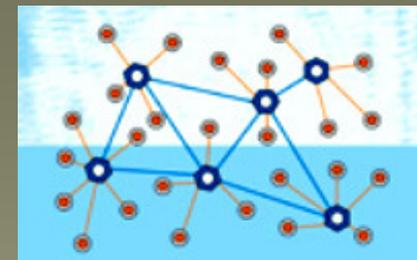
# WSN

## Примеры маршрутизации



# WSN

## Использование синхронизации в сетях WSN



**Потребность** во временной синхронизации в WSN (как средстве **самоорганизации**) вызвана:

- необходимостью **динамической адаптации WSN** в условиях частого изменения топологии структуры сетевых связей;
- **ограниченными возможностями** сенсорных узлов

**Построение протоколов** синхронизации включает:

- выбор **модели WSN** и выяснение **условий** синхронизации работы сенсорных узлов
- выбор **модели синхронизации (multi-hop time synchronization)** работы узлов и построение конкретного **протокола синхронизации**
- получение оценок **энергетической эффективности** и **помехо-устойчивости**

**Были предложены следующие модели и протоколы** временной **синхронизации** в WSN :

- помехо-устойчивый децентрализованный **протокол** с гарантированным уровнем синхронизации (2010);
- **протокол** синхронизации удаленных кластеров кастеризованной WSN (2010);
- **предложена модель системы импульсно связанных фазовых осцилляторов Пескина (Peskin)** в качестве модели WSN и изучены **процессы наступления синхронизации** в системе; обсуждается возможность **нового** подхода к построению **протокола синхронизации** в WSN (2010);
- протокол синхронизации многоканальных WSN (2011);
- протокол энергетически эффективной синхронизации WSN в условиях постепенного ухудшения работы (2013).

# WSN

## Модель синхронизирующей сети фазовых осцилляторов с импульсным взаимодействием (Z.An et al, WSN, 2, pp.108-114, 2010)

Модель осциллятора Пескина  $\dot{x} = -\gamma x + S$

использована для построения модели осцилляторной системы с линейными импульсными взаимодействиями осцилляторов, которую можно интерпретировать как сеть связанных осцилляторов «integrate-and-fire». Динамическая система записана для фазовых переменных  $\varphi_j$ ,  $\varphi_j \in [0, 1]$ . Когда  $\varphi_j = 1$  осциллятор возбужден. Затем он возвращается в состояние  $\varphi_j = 0$ , включая при этом взаимодействие и заставляя активизироваться остальные осцилляторы в соответствии с правилом  $\varphi_j = 1 \Rightarrow \varphi'_k = \min\{1, \varphi_k + \varepsilon_j\}$ ,  $\forall k \neq j$ , где  $\varepsilon_j$  – сила связи для  $j$ -того осциллятора ( $\varepsilon_j \in [a, b]$ ). Проанализированы условия синхронизации много-осцилляторной системы и проведены подтверждающие вычислительные эксперименты.

