

УДК 621.396

Лысенко А. И. , д.т.н., профессор;
Козленко Н. Н. , магистр,
ИТС НТУУ «КПИ»,

ПРОТОКОЛ МАРШРУТИЗАЦИИ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ И СИГНАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

В статье рассматривается протокол, который использует подтверждение доставки пакетов на транспортном уровне. Предложена структура протокола маршрутизации, которая влияет на потребление энергии и вычисления в аппаратах с ограниченными ресурсами.

Розглядається протокол, який використовує інформацію на транспортному рівні про підтвердження доставки пакетів. Запропоновано структуру протоколу маршрутизації, яка дозволяє економити енергетичні та обчислювальні ресурси.

The main goal in wireless sensor nodes (WSNs) is to minimize energy consumption, computation and communication between nodes. So far many routing algorithms were proposed for wireless sensor networks. Early developed algorithms were mainly related to topology-based routing schema, where next hop was determined according to current stage of router. In wired network topologies all routing information can be obtained as all nodes in the network are interconnected. But in wireless networks the same principle does not work well. That is why for wireless sensor network different kind of routing protocol is required. In this paper we didn't consider acknowledgement of delivery of packets in transport layer. We proposed routing protocol schema that affects the energy consumption and computations in the limited source hardware.

Вступление. Реализация современных протоколов и управление сетью сталкивается с некоторыми трудностями в беспроводных сенсорных сетях (WSNs), благодаря своим уникальным характеристикам. Основная цель в обычных беспроводных сетях в основном сосредоточена на качестве услуг, оптимизации времени отклика, найти лучший способ без

потери данных и т.д. Но в WSNs основной целью является сведение к минимуму потребление энергии, вычислений и связи между узлами [1].

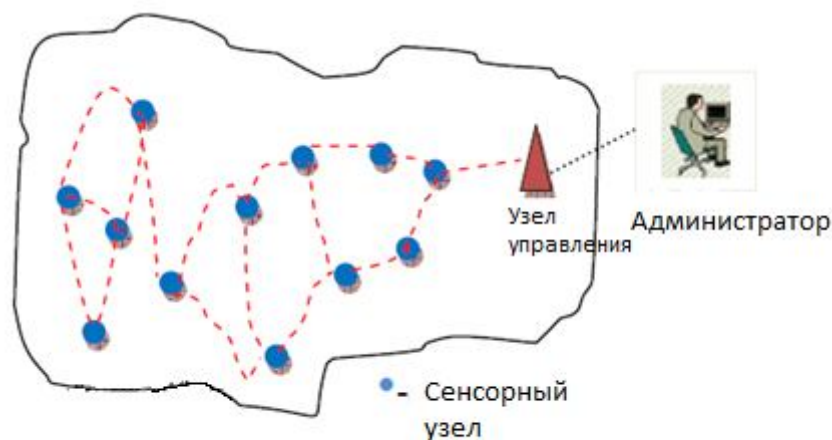


Рис. 1 Схема беспроводной сенсорной сети

Из-за аппаратных ограничений, передача радиосигнала покрывает достаточно короткое расстояние от узла, что в свою очередь, требует наличие в узлах дополнительных функций т.е. устройства действуют как маршрутизаторы и серверные системы, как указано на рисунке 1. Поэтому они склонны к сбоям связи [2]. Проектирование сетевого протокола для мониторинга и контроля связи между датчиками и узлом основного управления использования батареи являются важными вопросами архитектуры беспроводных сенсорных сетей.

Система сетевого управления предназначен для WSNs должна обеспечить набор функций управления, которые объединяют настройки, эксплуатацию, управления, безопасность и техническое обслуживание всех элементов и услуг сенсорной сети. Мы делаем ставку на дизайн протокола в сети и физического уровня, которые обеспечивают соединения между узлами датчиков.

Основной задачей WSNs является наблюдение и анализ явления в конкретных областях, сбор необходимых данных периодически или

автоматически и передача их в узел узел управления, после чего узел управления передает данные администратору. В частности, датчики должны включать оптимизированные инструменты управления сетью для выполнения различных задач управления на основе данных, полученных от других узлов [3, 4]. Примерами задач управления есть отображение частоты дискретизации, состояние узла коммутации, использование пропускной способности, управление движением, управления отказами и другие. Важно, найти кратчайший путь от передатчика к узлу управления требующий потребление меньше энергии.

Топология сети также является одним из факторов, влияющих на дизайн сетевого протокола. Датчики обычно устанавливаются в удаленных или неблагоприятных условиях, при этом их конфигурация изменяться динамически. Поэтому сетевые протоколы должны позволять сети самостоятельное формирование, самоорганизацию, а в идеале самостоятельно настроиться в случае поломки без предварительной информации об топологии сети [2]. Однако, большинство приложений сенсорных сетей разработаны с учетом сетевых протоколов и, следовательно, не требуется дополнительные сетевые уровни.

До сих пор многие алгоритмы маршрутизации были предложены для беспроводных сенсорных сетей. Раньше разработанные алгоритмы были в основном связаны с топологией маршрутизации на основе схемы, где следующий шаг определялся маршрутизатором [5, 6]. В проводных сетевых топологиях вся информация о маршрутизации может быть получена за счет соединения всех узлов друг с другом. Но в беспроводных сетей этот же принцип не работает. Именно поэтому для беспроводных сенсорных сетей требуются различные виды протоколов маршрутизации [7].

Схема маршрутизации основанная на местоположении была исследована многими исследователями [8]. Несколько позиционных алгоритмов маршрутизации были предложены, которые позволяют маршрутизаторам общаться друг с другом основываясь на координатах местоположения [9-11]. Информация о физическом местоположении может быть определена с помощью системы глобального позиционирования, как GPS или относительного позиционирования на основе оценки расстояния с помощью входящего уровня сигнала [12, 13]. Географическая маршрутизация требует, чтобы информация о местоположении обоих узлов (передатчика, который собирает данные, и узел назначения, который принимает собранные данные) была инкапсулирована в кадры.

Кроме того, информация о местоположении узла назначения должна быть объявлена заранее. В этом исследовании, мы предлагаем новый протокол работающий на основе определения местоположения узла, который будет сетевой и MAC уровни отдельно. Для упрощения мы сосредоточились на протоколе маршрутизации на основе сигнальной и GPS с подтверждением доставки и предложили алгоритм для передачи данных через датчики от передатчика к узлу управления. В разделе 1 мы рассмотрели общие сведения о беспроводных сенсорных сетях, в частности, стек протоколов с использованием сферических координат и GPS. В разделе 2 мы рассмотрим, предлагаемую методологию.

Анализ последних исследований и публикаций, в которых начато решение данной проблемы. Анализ протоколов маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях на основе использования географической и сигнальной информации проведен исследователями Горяевой С.Н., Томашевским В.М. и др.

Цель статьи. Предложение схемы протокола маршрутизации, которая влияет на потребление энергии и вычисления в аппаратах с ограниченными ресурсами.

Изложение основного материала.

Обзор WSNs. Беспроводные сенсорные сети состоят из большого количества малогабаритных устройств, разбросанных по наблюдаемой области. Они наблюдают за явлениями в этом районе, собирают данные и отправляют их к станции, называемой узлом управления. Узел управления является посредником между системным администратором и датчиками. В качестве типа соединения между узлом управления и администратором может быть стандартная проводная линия (то есть, интернет) или любая Ad-Нос технология, основанная на IP-соединении. Приложения сенсорной сети используют нацеленный на обработку данных подход, который рассматривает сеть как распределенную систему, состоящую из многих автономно взаимодействующих сенсорных узлов [14], любой из которых может играть определенную роль в маршрутизации, сбора данных или обработки данных. Каждый узел также играет роль маршрутизатора, так что они пересылают полученные данные, если они не предназначены одному из них.

Сбор данных может также управляться узлом управления. Вообще есть несколько способов сбора данных, он может быть либо периодическим, на время зондирования или по событию. Приложение сбора данных требует, чтобы узлы датчиков периодически сообщали о своих данных на базовую станцию. В случае приложений, которые отправляют данные по событию, узлы только отправляют данные, когда происходит интересующее событие.

Функции управления. Функциями сетевых систем управления является контроль и управление сетью. Системы для сенсорных сетей,

которые основаны на традиционных системах управления сетями включают BOSS [15], MANNA[16]. BOSS служит посредником между UрnР сетями и узлами датчиков. MANNA обеспечивает общие рамки для управления на основе политик сенсорных сетей. SNMP [17] обеспечивает алгоритм выявления сетевой топологии для получения состояния сети. Другие исследователи разработали новые протоколы маршрутизации для управления сетью. Например, TopDisc [18] и STREAM [19] используются в SNMP для извлечения топологии сети, RRP [20] использует зонный протокол распространения информации об изменениях связей, SNMS [21] представляет Drip протокол и WinMS [22] основан на FlexiMAC протоколе. Обнаружение неисправностей является важным направлением систем TP [23], Sympathy [24], MANNA [25], и WinMS [22]. TinyDB это основанный на запросах интерфейс, который позволяет конечному пользователю получать информацию с датчиков узлов сети. MOTE-VIEW также позволяет конечному пользователю управлять настройками датчика узла, такими как мощностью передачи, радио частотой и частотой дискретизации.

В этих системах центральный сервер анализирует данные, собранные из сети. Основным недостатком схемы пассивного мониторинга является то, что она не адаптирована к текущим условиям сети, и не дает никакой самостоятельной конфигурации в случае неисправности. Конечный пользователь должен вручную управлять сетью и интерпретировать графическое представление собранных данных.

Согласно [26] функции управления состоят в управлении питанием, управлением мобильностью и управления задачами. Управление питанием контролирует компромисс между потреблением энергии и вычислительными задачами.

Поэтому требуются хорошо разработанные и сохраняющие энергию сетевые протоколы, для уменьшения количества вычислений с использованием ограниченных источников, например, управление повторной передачи пакетов данных, включение / выключение узлов. Протокол маршрутизации является эффективной составляющей, которая является посредником для включения и выключения узлов. Поэтому она должна быть хорошо разработана для того, чтобы свести к минимуму время активации узлов и период передачи данных. Управление мобильностью связано с использованием методов позволяющих отслеживать местоположение, распознавать удаленность узла и записывать это. Таким образом, будет отслеживаться положение движущегося узла, и в случае необходимости будет осуществляться управление. Управление задачами являет собой контроль порядка задач в узле. Оно может включать либо нормальную очередь данных или очередь управления задачами. Но эта задача может быть поставлена на некоторые узлы, которые являются более надежными и имеют меньше задач, или имеют больше энергии. Однако, эти узлы в сенсорной сети могут работать совместно с методами сохранения энергии и направлять данные в подвижную сенсорную сеть, используя источники между узлами. Основные функции управления показаны на рисунке 2 [26].

Стек протоколов. Как мы уже упоминали, основная функция сенсорного узла является сбор данных наблюдения и направление их к узлу управления и наоборот. Здесь узел управления может направлять собранные данные через интернет к администратору. Стек протоколов используемых узлом управления и все узлы приведена на рисунке 2 [26].

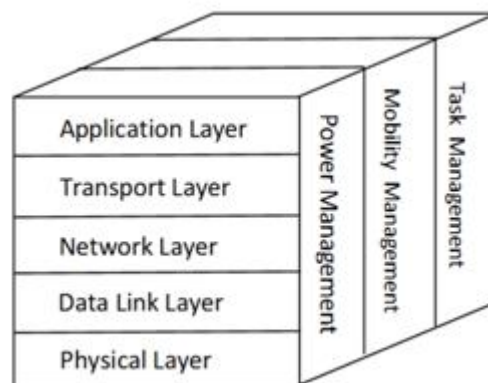


Рис. 2 Стек протоколов сенсорных сетей и функции управления

Стек протоколов включает в себя прикладной уровень, транспортный уровень, сетевой уровень, канальный уровень, физический уровень. В прикладном уровне развернуто программное обеспечение различных типов, связанные с функциональностью датчика. Транспортный уровень контролирует поток данных от уровня приложения для нижних слоев. Он контролирует количество сегментов данных и последовательность прибывающих пакетов. Сетевой уровень отвечает за маршрутизацию данных, предоставленных на транспортном уровне. Поскольку среда размещения датчиков имеет высокий уровень шума, а также узлы датчика могут быть мобильными, MAC протокол должен иметь возможность анализа и способы минимизировать столкновения с сообщениями соседей. Создание кадров, модуляция пакетов, методы передачи и приема проходят на физическом уровне. В этом исследовании мы заинтересованы в сетевом и физическом уровне.

Предлагаемый метод

GPS на основе координационного расстояния. В этом разделе мы разрабатываем упрощенные формулы для нахождения расстояния между двумя точками на Земле. Координаты каждой из двух точек в системе GPS, приведены в виде aa.aaa градусов, bb.bbb минут. Эта форма используется

многими системы глобального позиционирования. Мы используем упрощенную модель Земли. В этой модели Земля является сферой, радиус которого 6367 километров. Учитывая, что земля не является сферой, эта модель является несколько неточной. Для наших целей, в WSNs расстояние между узлами измеряется в метрах, поэтому это хорошее первое приближение. Первый шаг состоит в преобразовании измерения широты и долготы в более удобной форме. Так как 60 минут в степень, число степеней дается

$$\text{DEGREES} = \text{AA.AAA} + \text{BB.BBB} / 60$$

В статье мы используем сферические координаты. На рисунке ниже сравниваются сферические координаты (в градусах) с координатами широты. В сферических координатах мы измеряем угол α от Северного полюса. Таким образом, Северный полюс соответствует $\alpha = 0$; экватора до $\alpha = 90$ градусов, и Южного полюса до $\alpha = 180$ градусов (рис. 3).

Таким образом, в следующей формуле преобразуется от измерения от координат широты выраженные в градусах для α в выраженный в радианах.

$$\alpha = \begin{cases} (90 - \text{latitude}) \frac{\pi}{180}, & \text{if latitude is North} \\ (90 + \text{latitude}) \frac{\pi}{180}, & \text{if latitude is South} \end{cases}$$

В сферических координатах мы измеряем угол θ (в радианах), начиная с меридиана (долгота 0) и движется на восток. таким образом

$$\theta = \begin{cases} \text{longitude} \times \frac{\pi}{180}, & \text{if longitude is East} \\ -\text{longitude} \times \frac{\pi}{180}, & \text{if longitude is West} \end{cases}$$

Далее мы хотим выразить положение точки в декартовой системе координат с началом в центре Земли, Северный полюс в точке Северного полюса = (0, 0, 6367 км) и положительном направлении оси x переживает нулевой меридиана. Преобразование формул:

$$x = 6367(\cos\theta)(\sin\alpha)$$

$$y = 6367(\sin\theta)(\sin\alpha)$$

$$z = 6367(\cos\alpha)$$

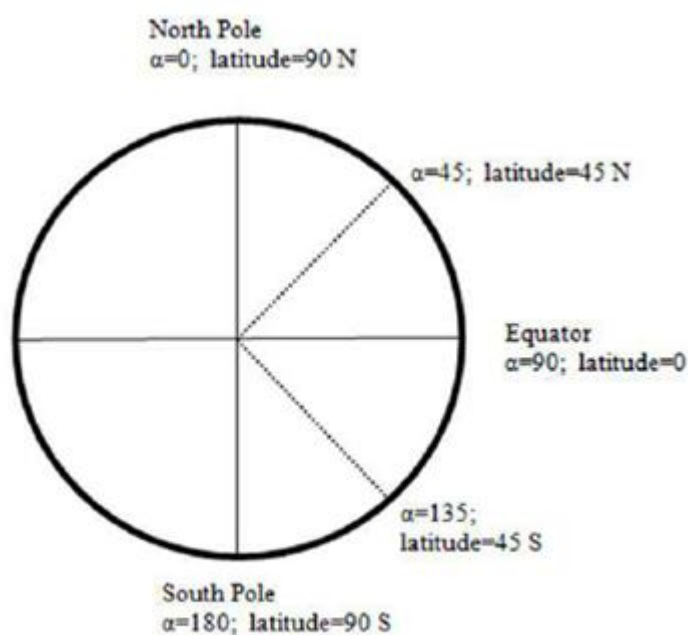


Рисунок 3 Значение угла от Северного полюса и широты на Земле

Используя эти формулы, можно определить прямоугольные координаты любой точки от ее широты и долготы. Например, декартовы координаты двух точек приведены в системе GPS, скажем

$$A = \begin{cases} 35 \text{ degrees } 17.299 \text{ minutes North and} \\ 120 \text{ degrees } 39.174 \text{ minutes West} \end{cases}$$

и

$$B = \begin{cases} 46 \text{ degrees } 36.003 \text{ minutes North and} \\ 112 \text{ degrees } 02.330 \text{ minutes West} \end{cases}$$

имеют вид:

	A	B
x=	-2650	-1641
y=	-4471	-4055
z=	3678	4626

Расстояние между этими двумя точками 1446 километров, но это расстояние прямой линии расстояние по земле.

Сигнальный протокол маршрутизации на основе методологии.

Как мы уже упоминали, технологии сенсорных сетей имеют широкий диапазон областей применения, где они имеют специфические свойства и факторы, влияющие на проектирование топологии сети, такие как местоположение пользователя, недостижимости, и т.д. Предлагаемая модель основана на географическое положение для того, чтобы определить маршрутизацию пути от источника к узлу управления. Для этой цели все узлы датчика в зоне наблюдения должны быть включены в GPS оборудования.

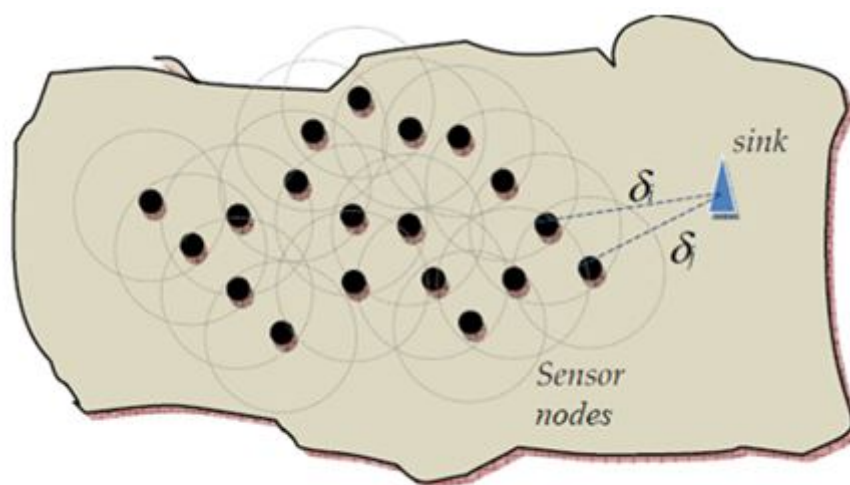


Рисунок 4. Общий вид модели

В целом, потребление энергии аппаратного GPS слишком мало и, следовательно, эффект от него к энергетической стабильности всей системы определяется от 0,5% до 1% в течение 2 - 3 лет с развертыванием [27] в модели, предложенной время для активации GPS оборудования, поиске обновления местоположения, сбор координаты местоположения и хранения данных в конкретном файле можно настроить вручную администраторами. В стационарной системе идеальный период обновления один раз в неделю, что приведет к намного меньшему потреблению энергии.

Таблица 1. Список переменных используемых в алгоритме.

Переменная	Описание
δ_i	Расстояние между узлом передачи пакетов и узлом управления. Расстояние измеряется на основе сферических координат и расчет GPS координаты, и относится к прямой связи между ними, как показано на рисунке 2.3
r_{GPS}	GPS координаты узла управления
$\Delta\delta_i$	Расстояние ошибки для каждого узла. Иногда GPS координаты не является точным и для того, чтобы компенсировать ошибки в сравнении расстояний от датчика к узлу управления используется указанная переменная. Это значение можно установить вручную в каждом узле администратором или могут быть установлены с определенным значением по умолчанию.
b_i	Переменная определяющая будет ли следующий переход(хоп) к узлу управления. Если b_i равно 1, то следующий переход к узлу управления, в противном случае это промежуточный узел
r_i	Радиус зоны охвата датчика.

В этой модели мы предложили протокол маршрутизации основанный на сигнальной информации, где сигнализация, среди соседних

узлов нужна для того, чтобы найти ближайший узел в направлении узла управления. После этого собранные данные передаются в указанный узел. Исходный узел посылает сигнальный пакет, который включает в себя GPS координаты узла управления, и его путь к узлу управления. При этом координаты GPS узла управления должны программно храниться в узлах. В качестве посредника узлы принимают кадры, где имеются географические координаты узла управления, записывать их в промежуточные узлы не обязательно. Источник что собирает данные об явлении. После процесса сегментации в транспортный уровень, пакеты создаются в сетевой уровень последующей процедуре инкапсуляции пакетов в кадре.

Перед отправкой пакета, исходный узел посылает сигнал, который включает в себя GPS-координаты узла управления r_{GPS} (определение переменных приведены в таблице 1), который установлен вручную для каждого узла администратором, расстояние между узлом передачи пакетов и узлом управления q_i и b_i , что показывает, является ли следующий переход (хоп) к узлу управления. Если b_i равна 1, то следующий узел - узел управления, в противном случае это промежуточный узел. q_i и r_{GPS} являются уникальными параметрами, чтобы узнать отправителя передачи пакетов. Исходный узел придает параметру b_i значение 0 как начальное значение, а затем передает его на своих соседей.

Когда каждый из промежуточных узлов принимает пакеты они контролируют, принадлежит ли он им, с помощью r_{GPS} параметров. Если пакет принадлежит данному узлу, то данный узел - приемник изменяет значение параметра равное 1 и передает его обратно отправителю узла. Когда узлы принимают сигнал, они вычисляют их расстояния до узла назначения, и отправит это значение включая параметр b_i назад к узлу отправителю. Когда отправитель у принимает сигнал от соседних узлов он

вычисляет следующий ближайший узел к узлу управления согласно следующему методу. Узел находит мин значение параметра δ_i с помощью сферических координат, удовлетворяющей $d_i > d_j \Delta \delta_i$ (δ_i является узел передачи пакетов, а d_j является узел приема пакетов), затем узел инкапсулирует кадр, включающий GPS координаты узла j^{th} и передает пакет j^{th} узла. Когда узел, в непосредственной близости от отправителя, принял пакет, он будет контролировать координаты GPS для того, чтобы определить, принадлежит ли пакет ему. Этот механизм будет идти, пока пакеты не достигнут узел управления. Рисунок 4 дает общее представление о модели. Кроме того, следует учитывать при проектировании сети, что некоторые из промежуточных узлов должны быть в зоне покрытия других узлов датчика для того, чтобы создать связь цепи от узла-источника к узлу управления. Предложенная модель с уникальными характеристиками упрощает метод вычисления сигнализации передачи пакета. Так как мы не используем метод подтверждение передачи пакетов на транспортном уровне, который в свою очередь делает общение проще.

Вывод. В этой статье был представлен общий вид дизайна сенсорной сети, стек протоколов, протоколов маршрутизации. Системы характеризуются их энергопотребление, потребление памяти, потребление пропускной способности, отказоустойчивости, гибкости и масштабируемости, протоколы маршрутизации и т.д. Ни одна из рассмотренных систем не обеспечивает полностью интегрированное представление всех сенсорных сетей об факторах управления дизайном. Мы коснулись проблемы передачи данных по WSNs в целом и была предложена конкретная конструкция сети. Беспроводные сенсорные сети состоят из большого числа (которые могут достигать тысяч) мелких

датчиков, недорогих узлов с высокой производительностью, низкими затратами энергии и ограниченным числом вычислений. Поэтому протокол маршрутизации должен быть сконструированы таким образом, чтобы потребление энергии было минимальным при этом обеспечивалось выполнение максимального количества вычислительных операций. Предлагаемая модель разработана для сенсорных сетей имеет новые модели управления и наблюдения, с помощью которых местоположение следующего узла определяется просто с помощью отправки сигнального сообщения. В данной работе мы не рассматривали подтверждение доставку пакетов на транспортном уровне. Мы предложили схему протокола маршрутизации, который влияет на потребление энергии и уменьшает количество вычислений для оборудования.

Использованные источники информации:

1. L.B.Ruiz, J.M.Nogueira, and A.A.F.Loureiro, "MANNA: A Management Architecture for Wireless Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, 2003, vol. 41, no. 2, pp. 116–125.
2. M.Chen et al., *Directional geographical routing for real-time video communications*, *Comput. Commun.* (2007), doi:10.1016/j.comcom.2007.01.016.
3. Горяева С.Н. Особенности построения сенсорных сетей / С.Н. Горяева // 2-а міжнародна наукова конференція «Сучасні інформаційні системи. Проблеми та тенденції розвитку.»: Зб. матеріалів конференції — Х.: ХНУРЕ, — 2007. — С. 145—146.
4. Томашевський В. М. Моделювання систем. Підручник. — К.: Видавнича група BHV, 2007. - 352 с.
5. B.Deb, S.Bhatnagar, and B.Nath, "A Topology Discovery Algorithm for Sensor Networks with Applications to Network Management," *Tech. Rep. DCS-TR-441*, Rutgers University, May 2001.
6. L.B.Ruiz, J.M.Nogueira, and A.A.F.Loureiro, "MANNA: A Management Architecture for Wireless Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, 2003, vol. 41, no. 2, pp. 116–125.