

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки 27.04.01 Стандартизация и метрология
 Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

| |
|---|
| <small>Тема работы</small> |
| Повышение точности локализации узлов в беспроводной сенсорной сети |

УДК 004.73:681.586

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------------|---------|------|
| 8ГМ81 | Генкель Вероника Александровна | | |

Руководитель ВКР

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|-----------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОАР ИШИТР | Худоногова Людмила Игоревна | к.т.н. | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|------------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОСНГ ШБИП | Конотопский Владимир Юрьевич | к.ф.н. | | |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------|------------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ООД ШБИП | Горбенко Михаил Владимирович | к.т.н. | | |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Руководитель ООП | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------------|----------------------------|------------------------|---------|------|
| Профессор ОАР ИШИТР | Муравьев Сергей Васильевич | д.т.н., профессор | | |

Томск – 2020 г.

**Планируемые результаты обучения по направлению
27.04.01 «Стандартизация и метрология»**

| Код результата | Результат обучения (выпускник должен) |
|-------------------------------------|---|
| Профессиональные компетенции | |
| P1 | Применять современные базовые и специальные естественнонаучные, математические и инженерные знания для решения комплексных задач метрологического обеспечения, контроля качества, технического регулирования и проверки соответствия с использованием существующих и новых технологий, и учитывать в своей деятельности экономические, экологические аспекты и вопросы энергосбережения |
| P2 | Выполнять работы по метрологическому обеспечению и техническому контролю, определять номенклатуру измеряемых и контролируемых параметров, устанавливать оптимальные нормы точности и достоверности контроля, выбирать средства измерений и контроля, предварительно оценив экономическую эффективность техпроцессов, кроме того, уметь принимать организационно-управленческие решения на основе экономического анализа |
| P3 | Выполнять работы в области стандартизации и сертификации: по созданию проектов стандартов, методических и нормативных материалов и технических документов, по нормоконтролю и экспертизе технической документации, участвовать в проведении сертификации продукции, услуг, систем качества и систем экологического управления предприятием, участвовать в аккредитации органов по сертификации, измерительных и испытательных лабораторий |
| P4 | Выполнять работы в области контроля и управления качеством: участвовать в оперативной работе систем качества, анализировать оценку уровня брака и предлагать мероприятия по его предупреждению и устранению, участвовать в практическом освоении систем менеджмента качества |
| P5 | Использовать базовые знания в области экономики, проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения комплексной инженерной деятельности; проводит анализ затрат на обеспечение требуемого качества и деятельности подразделения, проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений |
| Универсальные компетенции | |
| P6 | Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности |
| P7 | Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, демонстрировать ответственность за результаты работы |
| P8 | Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, представлять и защищать результаты инженерной деятельности |
| P9 | Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а также различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду |
| P10 | Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности |

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки 27.04.01 Стандартизация и метрология
 Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Муравьев С.В.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|--------------------------------|
| 8ГМ81 | Генкель Веронике Александровне |

Тема работы:

| | |
|--|-------------------------|
| Повешение точности локализации узлов в беспроводной сенсорной сети | |
| Утверждена приказом директора (дата, номер) | от 28.02.2020 № 59-40/с |

| | |
|--|---------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 01.06.2020 г. |
|--|---------------|

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| | |
|---|--|
| <p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p> | <p>1 Н. Chen, K. Sezak, P. Deng, H. Cheung So. An Improved DV-Hop Localization Algorithm with Reduced Node Location Error for Wireless Sensor Networks. IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics Communications and Computer Sciences · August 2008</p> <p>2 X. Chen, B.Zhang Improved. DV-Hop Node Localization Algorithm in Wireless Sensor Networks. International Journal of Distributed Sensor Networks Volume 2012, Article ID 213980, 7 pages</p> <p>3 Н. Chen, K. Sezaki, P. Deng, H. Cheung So. An</p> |
|---|--|

| | |
|--|--|
| | <p>Improved DV-Hop Localization Algorithm for Wireless Sensor Networks. 2008 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, ICIEA 2008</p> |
| <p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p> | <p>1 Методы локализации узлов в беспроводной сенсорной сети</p> <p>1.1 Централизованные и распределенные методы</p> <p>1.2 Схемы с использованием диапазона передачи (Range-base) и без использования диапазона передачи (Range-free)</p> <p>1.3 Методы триангуляции, трилатерации и мультитлатерации</p> <p>1.4 Метод определения угла приема AoA (Angle of Arrival)</p> <p>1.5 Метод измерения расстояния по мощности радиосигнала RSSI (Received Signal Strength Indication)</p> <p>1.6 Метод измерения расстояния по времени прихода сигнала ToA (time of Arrival)</p> <p>1.7 Метод измерения расстояния по разнице во времени прибытия сигнала TDoA (Time Difference of Arrival)</p> <p>1.8 Метод определения приблизительной точки триангуляции APIT (Approximate Point-In-Triangulation)</p> <p>1.9 Метод центроида</p> <p>1.10 Метод многомерного шкалирования MDS-MAP (Multidimensional Scaling-MAP)</p> <p>1.11 Метод определения расстояния путем измерения количества прыжков DV-Hop (Distance Vector-Hop)</p> <p>1.12 Метод измерения расстояния между соседними узлами DV- Distance (Distance Vector-Distance)</p> <p>1.13 Сравнение методов локализации</p> <p>2 Разработка метода повышения точности локализации сенсорных узлов</p> <p>2.1 Метод DV-Hop (Distance Vector - Hop)</p> <p>2.2 Повышение точности расчета среднего размера прыжка</p> <p>2.3 Определение местоположения неизвестных узлов с использованием гиперболического алгоритма</p> <p>3 Численные экспериментальные исследования метода повышения точности локализации узлов сенсорной сети</p> <p>3.1 Разработка программного обеспечения</p> <p>3.2 Экспериментальное исследование методов</p> |

| | |
|---|---|
| | локализации |
| Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i> | Презентация, выполненная в программной среде MS Power Point |
| Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i> | |
| Раздел | Консультант |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | Конотопский Владимир Юрьевич |
| Социальная ответственность | Горбенко Михаил Владимирович |
| Раздел, выполненный на английском языке | Пичугова Инна Леонидовна |
| Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: | |
| Повышение точности локализации узлов в беспроводной сенсорной сети (Improving the accuracy of localization of nodes in a wireless sensor network) | |

| | |
|---|------------|
| Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику | 24.02.2020 |
|---|------------|

Задание выдал руководитель

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|-----------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОАР ИШИТР | Худоногова Людмила Игоревна | к.т.н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------------|---------|------|
| 8ГМ81 | Генкель Вероника Александровна | | |

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки 27.04.01 Стандартизация и метрология
 Уровень образования магистратура
 Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники
 Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2019 /2020 учебного года)

Форма представления работы:

магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

| | |
|--|---------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 01.06.2020 г. |
|--|---------------|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования) | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|---|------------------------------------|
| 18.03.2020 г. | Методы локализации узлов в беспроводной сенсорной сети | 20 |
| 13.04.2020 г. | Разработка метода повышения точности локализации сенсорных узлов | 20 |
| 27.04.2020 г. | Численные экспериментальные исследования метода повышения точности локализации узлов сенсорной сети | 30 |
| 04.05.2020 г. | Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 10 |
| 07.05.2020 г. | Социальная ответственность | 10 |
| 12.05.2020 г. | Раздел, выполненный на английском языке | 10 |

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|-----------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОАР ИШИТР | Худоногова Людмила Игоревна | к.т.н. | | |

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------------|----------------------------|------------------------|---------|------|
| Профессор ОАР ИШИТР | Муравьев Сергей Васильевич | д.т.н., профессор | | |

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

| | |
|---------------|--------------------------------|
| Группа | ФИО |
| 8ГМ81 | Генкель Веронике Александровне |

| | | | |
|----------------------------|--|----------------------------------|---|
| Инженерная школа | Инженерная школа информационных технологий и робототехники | Отделение школы (НОЦ) | Отделение автоматизации и робототехники |
| Уровень образования | Магистратура | Направление/специальность | 27.04.01 «Стандартизация и метрология» |

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

| | |
|--|---|
| 1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих | Использовать действующие ценники и договорные цены на потребленные материальные и информационные ресурсы, а также указанную в МУ величину тарифа на эл. энергию |
| 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов | — |
| 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования | Действующие ставки единого социального налога и НДС |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|--|--|
| 1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i> | Дать характеристику существующих и потенциальных потребителей (покупателей) результатов ВКР, ожидаемых масштабов их использования |
| 2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i> | Разработать проект такого устава в случае, если для реализации результатов ВКР необходимо создание отдельной организации или отдельного структурного подразделения внутри существующей организации |
| 3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i> | Построение плана-графика выполнения ВКР, составление соответствующей сметы затрат, расчет цены результата ВКР. |
| 4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i> | Оценка экономической эффективности использования результатов ВКР, характеристика других видов эффекта |

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

| | |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Портрет» потребителя результатов НТИ</i> 2. <i>Сегментирование рынка</i> 3. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i> 4. <i>Диаграмма FAST</i> 5. <i>Матрица SWOT</i> 6. <i>График проведения и бюджет НТИ - <u>выполнить</u></i> 7. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ - <u>выполнить</u></i> 8. <i>Потенциальные риски</i> | |
|--|--|

| | |
|---|------------|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | 24.02.2020 |
|---|------------|

Задание выдал консультант:

| | | | | |
|------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| Доцент ОСНГ ШБИП | Конотопский Владимир Юрьевич | к.ф.н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------------|---------|------|
| 8ГМ81 | Генкель Вероника Александровна | | |

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

| | | | |
|----------------------------|--|----------------------------------|---|
| Группа 8ГМ81 | ФИО Генкель Веронике Александровне | | |
| Инженерная школа | Инженерная школа информационных технологий и робототехники | Отделение школы (НОЦ) | Отделение автоматизации и робототехники |
| Уровень образования | Магистратура | Направление/специальность | 27.04.01 «Стандартизация и метрология» |

Тема ВКР:

Повышение точности локализации узлов беспроводной сенсорной сети

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

| | |
|--|--|
| 1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения | Повышение точности локализации узлов беспроводной сенсорной сети. Описание рабочего места. Данный объект может применяться как в лаборатории, так и в промышленных помещениях. |
|--|--|

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|--|--|
| 1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: | – Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019); – ГОСТ 12.2.032-78; – ГОСТ 12.1.003-2014; – ГОСТ 12.1.004-91; – СП 52.13330.2016; – СН 2.2.4/2.1.8.562-96; – СанПиН 2.2.4.3359-16; – СанПиН 2.2.4.548-96. |
| 2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 2.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения | – превышение уровня электромагнитных излучений; – недостаточная освещенность рабочей зоны; – превышение уровня шума; отклонение показателей микроклимата. |
| 3. Экологическая безопасность: | В работе проведен анализ негативного воздействия на литосферу, а также проведен анализ потребления электроэнергии. |
| 4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: | – возникновение пожара; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС. |

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

24.02.2020

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------|------------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ООД ШБИП | Горбенко Михаил Владимирович | К.Т.Н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------------|---------|------|
| 8ГМ81 | Генкель Вероника Александровна | | |

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 116 страниц, 22 рисунка, 18 таблиц, 24 источника, 3 приложения.

Ключевые слова: точность, локализация, беспроводная сенсорная сеть (БСС), программное обеспечение, метод.

Объектом исследования является беспроводная сенсорная сеть.

Цель работы – разработка метода повышения точности локализации узлов в БСС.

В процессе исследования проводились: исследования существующих методов локализации узлов в беспроводной сенсорной сети, разработка улучшенного метода на основании метода DV-Нор, разработка программного обеспечения локализации узлов в БСС, экспериментальные исследования методов локализации.

В результате исследования был создан метода локализации узлов в БСС с улучшенным показателем точности.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики:

Степень внедрения: НИР, выполняемые в отделении ОАР ТПУ.

Область применения: локализация узлов в БСС.

Экономическая эффективность работы описана в главе 4.

Содержание

| | С. |
|--|----|
| Введение | 15 |
| 1 Методы локализации узлов в беспроводной сенсорной сети | 17 |
| 1.1 Централизованные и распределенные методы | 18 |
| 1.2 Схемы с использованием диапазона передачи (Range-Base) и без использования диапазона передачи (Range-Free) | 19 |
| 1.3 Методы триангуляции, трилатерации и мультилатерации | 20 |
| 1.4 Метод определения угла приема AoA (Angle of Arrival) | 25 |
| 1.5 Метод измерения расстояния по мощности радиосигнала RSSI (Received Signal Strength Indication) | 28 |
| 1.6 Метод измерения расстояния по времени прихода сигнала ToA (Time of Arrival) | 29 |
| 1.7 Метод измерения расстояния по разнице во времени прибытия сигнала TDoA (Time Difference of Arrival) | 30 |
| 1.8 Метод определения приблизительной точки триангуляции APIT (Approximate Point-In-Triangulation) | 33 |
| 1.9 Метод центроида | 37 |
| 1.10 Метод многомерного шкалирования MDS-Map (Multidimensional Scaling-Map) | 38 |

| | |
|--|----|
| 1.11 Метод определения расстояния путем измерения количество прыжков Dv- Hop (Distance Vector-Hop) | 40 |
| 1.12 Метод измерения расстояния между соседними узлами Dv- Distance (Distance Vector- Distance) | 41 |
| 1.13 Сравнение методов локализации | 42 |
| 2 Разработка метода повышения точности локализации сенсорных узлов | 45 |
| 2.1 Метод Dv-Hop (Distance Vector - Hop) | 45 |
| 2.2 Повышение точности расчета среднего размера прыжка | 48 |
| 2.3 Определение местоположения неизвестных узлов с использованием гиперболического алгоритма | 50 |
| 3 Численные экспериментальные исследования метода повышения точности локализации узлов сенсорной сети | 52 |
| 3.1 Разработка программного обеспечения | 52 |
| 3.2 Экспериментальное исследование методов локализации | 57 |
| 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 62 |
| 4.1 Организация и планирование ОКР (НИР) работ | 62 |
| 4.1.1 Определение продолжительности этапов работ | 64 |
| 4.1.2 Разработка графика проведения научного исследования | 65 |
| 4.1.3 Разработка графика проведения научного исследования | 67 |

| | |
|--|----|
| 4.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта | 69 |
| 4.2.1 Расчет затрат на материалы | 70 |
| 4.2.2 Расчет заработной платы | 71 |
| 4.2.3 Расчет затрат на социальный налог | 72 |
| 4.2.4 Расчет затрат на электроэнергию | 72 |
| 4.2.5 Расчет амортизационных расходов | 74 |
| 4.2.6 Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе платежных (расчетных) документов (кроме суточных) | 74 |
| 4.2.7 Расчет прочих расходов | 75 |
| 4.2.8 Расчет общей себестоимости разработки | 75 |
| 4.2.9 Расчет прибыли | 76 |
| 4.2.10 Расчет НДС | 76 |
| 4.2.11 Цена разработки ОКР (НИР) | 76 |
| 4.3 Оценка экономической эффективности проекта | 76 |
| 5 Социальная Ответственность | 77 |
| 5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности | 77 |
| 5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства | 77 |
| 5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны | 78 |

| | |
|--|-----|
| 5.2 Производственная безопасность | 80 |
| 5.2.1 Превышение уровня электромагнитных излучений | 81 |
| 5.2.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны | 82 |
| 5.2.3 Превышение уровня шума | 85 |
| 5.2.4 Отклонение показателей микроклимата | 88 |
| 5.3 Экологическая безопасность | 90 |
| 5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях | 91 |
| 5.5 Выводы по разделу «социальная ответственность» | 92 |
| Заключение | 94 |
| Список использованных источников | 95 |
| Приложение А (справочное) Improving the accuracy of localization of nodes in a wireless sensor network | 98 |
| Приложение Б (обязательное) Блок-диаграмма определения местоположения сенсорных узлов | 114 |
| Приложение В (обязательное) схема расположения неизвестных узлов n | 116 |

Введение

С развитием сенсорной техники были введены маломощные и недорогие беспроводные датчики, а затем появились беспроводные сенсорные сети (БСС). БСС могут быть применены во многих областях, таких как военное дело, торговля, медицина, мониторинг окружающей среды, и стали новым направлением исследований в области компьютерных и коммуникационных технологий.

Многие приложения БСС основаны на самопозиционировании датчиков, таких как наблюдение за полем боя, мониторинг окружающей среды, отслеживание внутренних пользователей и т.п., которые зависят от знания местоположения сенсорных узлов. Из-за ограничений в размерах, мощности и стоимости сенсорных узлов исследование эффективных методов определения местоположения, удовлетворяющих базовому требованию точности для БСС, сталкивается с новыми проблемами, а именно, с проблемой локализации, т.е. определением местоположения узлов в БСС.

Для предоставления информации о местоположении каждого узла было предложено множество алгоритмов локализации. Однако, предложенные методы оказались не столько точны, как предполагалось.

Целью данной магистерской диссертации является разработка метода повышения точности локализации узлов в БСС.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнение следующих задач:

- исследование существующих методов локализации узлов в беспроводных сенсорных сетях;
- разработка алгоритма для повышения точности метода локализации;
- разработка программного обеспечения локализации узлов в БСС;
- экспериментальные исследования методов локализации.

В первом разделе рассмотрены методы локализации узлов в беспроводных сенсорных сетях.

Во втором разделе описана модель локализации DV-Нор и улучшенный алгоритм локализации сенсоров беспроводной сенсорной сети на основе метода DV-Нор.

В третьем разделе представлено описание процесса разработки программного обеспечения и экспериментальное исследование методов локализации.

Четвертая глава дает технико-экономическое обоснование работы с целью определения и анализа трудовых и денежных затрат, направленных на реализацию проекта.

В пятой главе рассматривается описание рабочей зоны, предназначенной для выполнения магистерской диссертации: требования к организации рабочих мест, возможным выбросам, а также правовые вопросы обеспечения охраны труда и пожарной безопасности.

В работе приведены заключение, список использованных источников.

1 Методы локализации узлов в беспроводной сенсорной сети

Беспроводная сенсорная сеть (БСС) состоит из сотен небольших устройств, называемых датчиками, которые ограничены с точки зрения памяти, энергии и вычислительной мощности. Эти датчики используются для определения физических характеристик окружающего мира, таких как температура, освещение, загрязнение и т.д. БСС используются для широкого спектра проблем, таких как мониторинг, помощь при стихийных бедствиях, отслеживание состояния пациентов, военные цели и различные автоматизированные системы. Для этих задач информация о местоположении абсолютно необходима, поскольку без наличия информации о положении сенсорных узлов полученные от них данные не имеют никакой ценности.

Локализация датчиков может быть реализована различными способами. Простое решение состоит в том, чтобы снабдить каждый узел датчика приемником GPS, который может точно предоставить узлам датчика их точное положение. Однако добавление GPS ко всем узлам в беспроводной сети нецелесообразно из-за высокой стоимости, высокого энергопотребления и ограничений среды.

Самостоятельная локализация - это альтернативное решение GPS, в котором узлы датчиков могут оценивать свое положение с использованием различных протоколов обнаружения местоположения. Эти протоколы имеют общую характеристику. Большинство из них используют несколько специальных узлов, называемых *якорями*, которые, как предполагается, знают свое местоположение (через ручную настройку или приемники GPS). Эти узлы якоря (также называемые узлами привязки, начальными значениями, ссылками или ориентирами) предоставляют информацию о местоположении в форме сообщений обычным узлам, также известных как слепые узлы (также называемые неизвестными узлами или мишенями). Неизвестные узлы могут использовать информацию о положении нескольких соседних якорных узлов для оценки своих собственных положений [1].

Существующие схемы определения местоположения узлов классифицируются по ряду признаков. Классификация методов локализации представлена на рисунке 1.

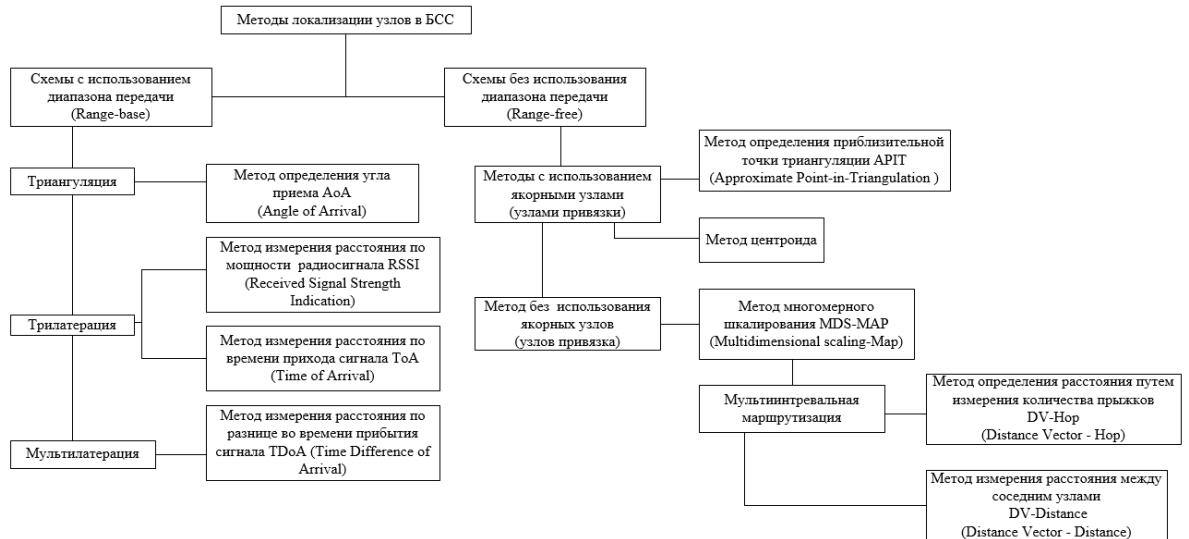


Рисунок 1 – Классификация методов локализации

1.1 Централизованные и распределенные методы

В централизованном методе все сенсорные узлы напрямую связаны с якорным узлом или базовой станцией, местоположение которой известно. Сенсорные узлы отправляют управляющее сообщение на базовую станцию, где выполняются все вычисления, определяют положение сенсорного узла и передают обратно на узлы.

Недостатком централизованного алгоритма является то, что он не подходит для сенсорных сетей большого масштаба. В то время как в распределенных методах каждый узел оценивает свое собственное местоположение, используя соседнюю информацию [2]. Он потребляет меньше энергии по сравнению с централизованным методом, поскольку связь осуществляется между узлами между датчиками, но требует больше памяти по сравнению с централизованным методом. Преимущество распределенной техники заключается в том, что она наиболее подходит для сенсорных сетей

большого масштаба, потому что все вычисления разделены между сенсорными узлами. В таблице 1 представлены результаты сравнения централизованного и распределенного методов.

Таблица 1 – Сравнение централизованного и распределенного метода

| № | Свойства | Централизованный метод | Распределенный метод |
|---|-----------------------------|------------------------|----------------------|
| 1 | Точность | В | С |
| 2 | Стоимость связи | В | Н |
| 3 | Стоимость вычислений | В | С |
| 4 | Потребление энергии | В | В |
| 5 | Масштабируемость | Н | В |
| 6 | Ошибка распространения | Н | В |
| 7 | Надежность | Н | В |
| 8 | Задержка | С | Н |
| 9 | Пропускная способность сети | В | Н |
| Примечание - В - высокий, С - средний, Н - низкий | | | |

1.2 Схемы с использованием диапазона передачи (Range-base) и без использования диапазона передачи (Range-free)

Согласно классификации методов измерения расстояния, методы локализации можно разделить на две основные категории:

- схемы с использованием диапазона передачи (Range-base);
- схемы без использования диапазона передачи (Range-free).

Схемы с использованием диапазона передачи основаны на использовании методов измерения расстояния для оценки местоположения, а схемы без использования диапазона передачи, наоборот, игнорируют использование методов измерения диапазона. Также существуют гибридные

системы, которые сочетают в себе различные методы, основанные на информации о связности и (или) методах измерения расстояния.

Схемы с использованием и без использования диапазона передачи могут использовать или не использовать якорные узлы, то есть основанные на якорных узлах (узлах привязки) или свободные от узлов якорей.

Перспективным методом является использование мобильного якорного узла вместо статического якорного узла [3]. Мобильный узел якорь знает о своем положении и перемещается в области датчика и периодически передает свое текущее положение, чтобы сгенерировать количество виртуальных узлов якорей. Неизвестные сенсорные узлы оценивают свое местоположение путем измерения географической информации (например, расстояния до узла или угла направления сигнала) виртуальных узлов якорей.

Методы, основанные на использовании диапазона передачи, оценивают местоположение узла датчика, используя измерения расстояния между объектами и углу направления сигнала. В этих измерениях использовались методы триангуляции, трилатерации или мультилатерации. Хотя методы, основанные на использовании диапазона передачи, более точны, но требуют дополнительного оборудования, в то время как алгоритмы без использования диапазона передачи используют информацию о связности для оценки местоположения. Данный метод не очень точен, но экономически эффективен, так как не требуют дополнительного оборудования [4].

1.3 Методы триангуляции, трилатерации и мультилатерации

Метод триангуляции - это основное понятие в алгебраической топологии. Например, поверхность S , ее можно разбить на множество частей, удовлетворяющих следующим свойствам:

- каждая деталь представляет собой треугольник с изогнутыми краями;

– все треугольники попарно не пересекаются или пересекаются только на общем ребре.

Разбиение для S с указанными выше двумя свойствами называется триангуляцией S . Очевидно, что любые два треугольника в триангуляции не перекрываются друг с другом. Кроме того, в данной триангуляции нет треугольника, который имеет вершину внутри ребра другого треугольника в той же триангуляции.

Для геометрической схемы триангуляции требуется минимум три якорных узла [5]. Неизвестный узел, прикрепленный к объекту, в котором будет выполняться поиск позиции, измеряет угол сигнала якоря прихода из трех якорных узлов, как показано на рисунке 2. Во-первых, неизвестный узел измеряет угол между якорным узлом 1 и якорным узлом 2. Он называется λ_{12} . Затем измеряется угол между якорным узлом 1 и якорным узлом 3 и имеет название λ_{13} .

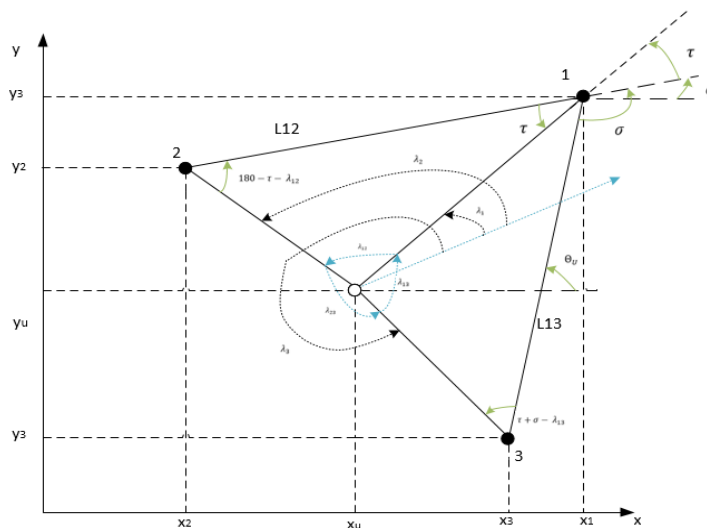


Рисунок 2 - Иллюстрация геометрической схемы триангуляции

Расчет предполагаемой позиции с использованием геометрической триангуляции описан ниже.

Предположим, что есть 3 якорных узла с известными координатами $\{(x_1, y_1); (x_2, y_2); (x_3, y_3)\}$. L_{12} и L_{13} являются расстоянием между якорными

узлом 1 к якорному узлу 2, а также между якорным узлом 3 до якорного узла 1. Значение может быть получено по формуле (1):

$$\begin{aligned}L_{12} &= \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \\L_{13} &= \sqrt{(x_1 - x_3)^2 + (y_1 - y_3)^2}.\end{aligned}\quad (1)$$

Значение L_1 - расстояние между якорным узлом 1 и неизвестным узлом. Расстояние используется для определения предполагаемого положения неизвестного узла (x_u, y_u) . Угол отклонение ориентации от горизонтальной оси обозначен как θ_u .

Значения λ_1 , λ_2 и λ_3 являются угол от якорного узла 1, 2 и 3 в направлении ориентации неизвестного узла, измеренной с помощью неизвестного узла.

Угол прибытия между якорным узлом 1 к якорному узлу 3 и от якорного узла 1 к якорному узлу 2 вычисляются по формулам (2) и (3) соответственно

$$\lambda_{13} = 360^\circ + (4 - \lambda_3), \quad (2)$$

$$\lambda_{12} = \lambda_2 - \lambda_1. \quad (3)$$

Значение φ - угол между положительной осью x и линией якорного узла 2, которая проходит через якорный узел 1. Угол получается при измерениях.

Значение σ представляет λ_{13} собой угол, который образован из пересечения линии от якорного узла 3 и продолжением якорного узла 2. Этот угол измеряется от якорного узла 1.

Вспомогательное уравнение γ , которое указано формуле (4), является разностью между σ и λ_{13}

$$\gamma = \sigma - \lambda_{13}. \quad (4)$$

Значение p - это отношение к расстоянию L_1^{12} между якорным узлом 1 и якорным узлом 2, а L_1^{13} - к расстоянию L_1 между якорным узлом 1 и якорным узлом 3. Отношение может быть рассчитано по формуле (5):

$$p = \frac{L_1^{13}}{L_1^{12}} = \frac{L_{13}/\sin(\lambda_3)}{L_{12}/\sin(\lambda_{12})} = \frac{L_1^{13} \cdot \sin(\lambda_{12})}{L_1^{12} \cdot \sin(\lambda_3)}. \quad (5)$$

Значение угла τ определяется по формуле (6):

$$\tau = \tan^{-1} \left[\frac{\sin(\lambda_2) - p \cdot \sin(\lambda)}{p \cdot \cos(\gamma) - \cos(\lambda_{12})} \right] = \tan^{-1} \left[\frac{\sin(\lambda_2) \cdot [L_{12} \cdot \sin(\lambda_{13}) - L_{31} \cdot \sin(\gamma)]}{L_{31} \cdot \sin(\lambda_2) \cos(\gamma) - L_{12} \cdot \sin(\lambda_{13}) \cos(\lambda_{12})} \right]. \quad (6)$$

Длина расстояния между якорным узлом 1 к неизвестному узлу L_1 рассчитывается по формуле (7):

$$L_1 = \frac{L_{12} \cdot \sin(\tau + \lambda_{12})}{\sin(\lambda_{12})}. \quad (7)$$

Преобразуем треугольник в сечении 3 к горизонтальной оси, тогда получим $x_1 - x_U$ и $y_1 - y_U$. Оценочное положение неизвестного узла может быть выражено по формуле (8):

$$\cos(90 - (\varphi + \tau)) = \frac{(y_1 - y_U)}{L_1} \rightarrow y_U = y_1 - L_1 \cdot \sin(\varphi + \tau) \quad (8)$$

$$\sin(90 - (\varphi + \tau)) = \frac{(x_1 - x_U)}{L_1} \rightarrow x_U = x_1 - L_1 \cdot \cos(\varphi + \tau)$$

Кроме того, угол ориентации от неизвестного узла в направлении горизонтальной оси θ_U вычисляется из суммы углов в треугольнике, который образован из якорного узла 1, узла 3 и неизвестного узла по формуле (9):

$$\theta_U = (\varphi + \tau) - \lambda_1. \quad (9)$$

Метод трилатерации - это метод определения местоположения неизвестного узла в пространстве с использованием нескольких диапазонов (расстояний) между неизвестным узлом и несколькими пространственно разнесенными якорными узлами.

Два наклонных диапазона из двух известных местоположений можно использовать для определения местоположения третьей точки в двумерном пространстве, что является часто применяемым методом.

В двумерной геометрии известно, что если точка лежит на двух окружностях, то центры окружностей и два радиуса предоставляют достаточную информацию, чтобы сузить возможные местоположения до двух решений - одно из которых является желаемым результатом, а другое - неоднозначное решение. В трехмерной геометрии, когда известно, что точка лежит на поверхности трех сфер, то центры трех сфер вместе с их радиусами также дают достаточную информацию, чтобы сузить возможные местоположения до не более чем двух (если только центры не лежат на прямой линии).

Самый простой алгоритм использует аналитическую геометрию и основанную якорных. Таким образом, рассмотрим центры окружностей C_1 и C_2 на рисунке 3, которые имеют известные координаты (якорные узлы) и, таким образом, которых U известно [6].

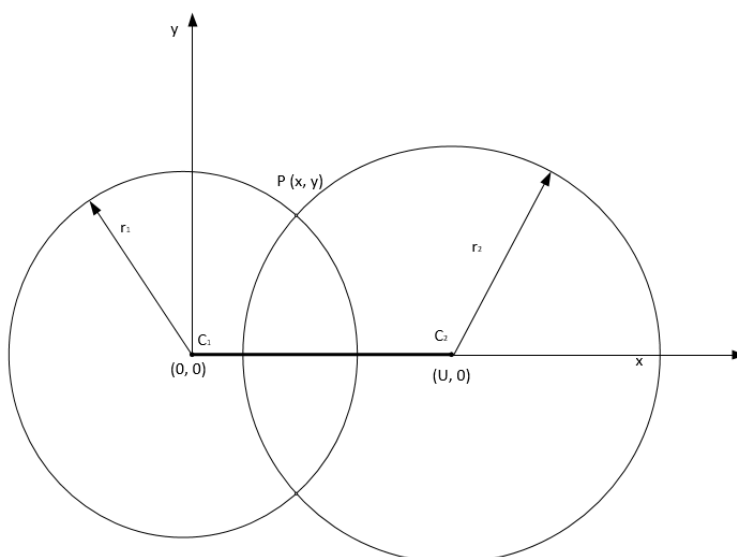


Рисунок 3 – Схема расположения якорных узлов

Третья точка неизвестный узел p находится в неизвестной точке (x, y) , используя теорему Пифагора по формуле (10) получим:

$$r_1^2 = x^2 + y^2$$

$$r_2^2 = (U - x^2) + y^2 . \quad (10)$$

Таким образом, получим координаты неизвестного узла p по формуле (11):

$$x^2 = \frac{r_1^2 - r_2^2 + U^2}{2U}$$

$$y = \pm \sqrt{r_1^2 - x^2}. \quad (11)$$

Метод мультilaterации - это метод навигации и наблюдения, основанный на измерении времени прихода сигнала (ТоА) и волн (радио, акустическая, сейсмическая и т. д.), имеющих известную скорость распространения.

По принципу взаимности любой метод, который можно использовать для навигации, также можно использовать для наблюдения, и наоборот. Для наблюдения интересующий объект передает на несколько приемных станций, имеющих синхронизированные «часы». Для навигации несколько синхронизированных станций передают в приемник пользователя, который может (но не может) определять время передачи (ТоТ). Чтобы найти координаты пользователя в измерениях d , необходимо измерить не менее $d + 1$. Почти $d = 2$ (например, плоскость или поверхность земли) или $d = 3$ (например, реальный мир).

Данный метод используется при измерениях расстояния по разнице во времени прибытия сигнала TDoA (Time Difference of Arrival).

1.4 Метод определения угла приема AoA (Angle of Arrival)

Метод определения угла приема AoA (Angle of Arrival) - это метод определения направления распространения радиочастотной волны. Традиционный подход к измерению углов заключается в использовании

направленных антенн, вращающихся вокруг своей оси подобно радиолокационной станции. Другой метод заключается в определении направления распространения радиочастотной волны, падающей на антенную решетку. Этот подход не может быть использован в сетях, состоящих из малогабаритных датчиков, имеющих только одну настройку антенны.

Измерения AoA могут быть получены с использованием следующих двух методов:

- формирование луча (формирование диаграммы направленности);
- фазовая интерферометрия.

Формирование луча получается с помощью амплитудного отклика приемных антенн. Луч приемной антенны вращается электронным способом, что помогает определить направление передатчика [7]. При этом фазовая интерферометрия получается при использовании фазовой характеристики приемных антенн. Массив направленной антенны необходим для определения направления передатчика. Метод триангуляции может быть использован для оценки положения правильного узла.

Чтобы выполнить локализацию с помощью метода AoA, необходимы два измерения угла приема сигнала, как показано на рисунке 4. Сигнал, отправляемый от узла t , принимается якорем a_1 и якорем a_2 . Антенная решетка a_1 может обнаруживать сигнала, обозначенного как α , тогда как a_2 может измерять AoA как β . Затем якоря посылают в узел t информацию об углах α и β , а также их местоположения (x_1, y_1) и (x_2, y_2) . Из положений якорей t может рассчитать расстояние между якорями, обозначенное как d .

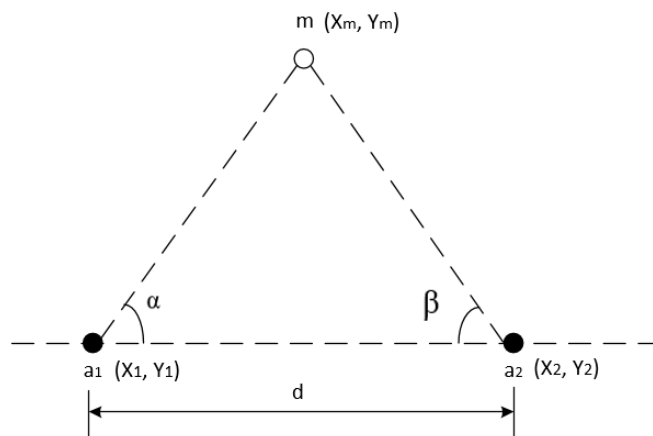


Рисунок 4 – Пример локализации

Наконец, m оценивает свое положение (x_m, y_m) с помощью подхода триангуляции, решая следующее уравнение. Для простоты предположим, что a_1 и a_2 находятся на оси x , что означает, $y_1 = y_2$. Положение неизвестного узла оценивают по формуле (12):

$$\begin{cases} x_m = x_m + \frac{d \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} \\ y_m = \frac{d \cdot \cos \alpha \cdot \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} \end{cases} \quad (12)$$

Данное уравнение решить просто. Однако локализация на основе метода AoA имеет две практические проблемы.

Во-первых, это использование антенной решетки для определения углов направления сигнала. Данные должны быть получены с использованием антенных решеток, которые позволяют приемнику определять направление передатчика. Антенная решетка состоит из нескольких антенн, разнесенных на определенное расстояние. Поэтому нецелесообразно реализовывать антенную решетку на крошечных сенсорных узлах, учитывая ограничение на сенсорные узлы с точки зрения размера, стоимости и энергии.

Во-вторых, на точность измерений методом AoA влияет комбинация факторов, включая многолучевое отражение и фоновый шум. Многолучевое отражение сигнала или некоторый шум может появляться как сигнал,

пришедший с совершенно другого узла. Когда неизвестный узел получает этот сигнал (шум), то метод AoA неправильно обнаружит необходимый ему узел. Это должно привести к большой погрешности при оценке углов приема сигналов.

1.5 Метод измерения расстояния по мощности радиосигнала RSSI (Received Signal Strength Indication)

В методе, называемом RSSI, используются все обычные узлы оснащены радиоприемником, и все якорные узлы (радиосигналы) периодически передают свои местоположения, которые используются для оценки расстояния [8]. Следующая информация необходима для оценки расстояния от передатчика до приемника:

- мощность передаваемого и принимаемого сигнала;
- модель потерь при передаче сигнала.

Сила принятого сигнала между двумя узлами датчика может быть рассчитана по следующей формуле (13):

$$P_R^{ij}(t) = P_T^i - 10\eta \log(d_{ij}) + X_{ij}(t), \quad (13)$$

где $P_R^{ij}(t)$ - мощность принятого сигнала между узлами i и j в момент времени t . Значение P_T^i - передаваемая мощность, и обычно она постоянна и известна приемнику, η - это константы затухания (например, 2 или 4), d_{ij} - расстояние между передатчиком и приемником, а $X_{ij}(t)$ - коэффициент неопределенности из-за затенения и многолучевого распространения.

Обычно η получается из эмпирических данных. Значение η составляет около 2 в среде свободного пространства, но это значение увеличивается, если среда является более сложной (стены, крупные металлические объекты и т. д.). В средах со многими препятствиями, таких как офисные помещения, приблизительное значение η составляет от 3 до 6.

После получения этого расстояния положения узлов датчиков могут быть оценены посредством трилатерации. Значение RSSI зависит не только от расстояния, но и от окружающей среды, ориентации антенны, движения передатчика, приемника и источника питания. Это означает, что информация RSSI может быть непредсказуемой, потому что отражение и ослабление, вызванные объектами в окружающей среде, могут оказывать гораздо большее влияние на RSSI, чем расстояние. Поэтому трудно получить точное расстояние методом RSSI без моделирования среды.

Среди методов измерения на основе диапазона метод RSSI является наиболее распространенным, самым *дешевым и простым*, поскольку не требуется дополнительного оборудования (например, инфракрасного или ультразвукового датчика). Однако расширение метода 3D-локализации на основе RSSI может привести к более высокой вычислительной сложности затрат и точности определения местоположения.

Кроме того, в реальной среде RSSI очень чувствителен к шуму и препятствиям, особенно для внутренней среды. При этом следует учитывать погрешности измеренных значений, которые могут быть получены из-за многолучевого распространения, эффектов затухания и отражения. С другой стороны, схема на основе RSSI требует большего количества данных по сравнению с другими методами для достижения более высокой точности. Однако при сборе большого объема данных произошло увеличение трафика и энергопотребления датчиков, что приведет к сокращению срока службы сенсорных сетей.

1.6 Метод измерения расстояния по времени прихода сигнала ToA (Time of Arrival)

Другим методом оценки расстояния является метод ToA, в котором расстояние оценивается на основе времени, которое сигнал тратит на

перемещение от передатчика к приемнику. Поскольку скорость распространения радиосигнала известна как в свободном пространстве, так и в воздухе, она дает прямую оценку расстояния между передатчиком и приемником после оценки времени прохождения [9]. Когда рассматриваются системы ToA, единственным важным параметром, который должен быть правильно оценен в среде многолучевого распространения, является путь. Другие многолучевые компоненты не важны для целей локализации. По формуле (14) вычисляется расстояние между узлами:

$$d = V \cdot t, \quad (14)$$

где V – скорость передачи, t – время передачи сигнала.

После расчета расстояния используется метод мультилатерации для определения местоположения сенсорного узла.

Для получения точных данных по методу ToA требуется идеальная синхронизация между часами передатчика и приемника. Синхронизация часов может быть достигнута регулярным обменом данными между передатчиком и приемником или дополнительным якорем для коррекции смещения часов. Хотя 3 якоря необходимы для получения позиции, 4-й якорь будет необходим для временной коррекции. Этот метод легко применяется для GPS, в котором 4-й якорь используется для компенсации смещения часов приемника.

Недостатком этого метода является необходимость в синхронизации каждого узла в сети. Также сильное влияние на частоту передачи сигнала оказывают различные окружающие факторы, что приводит к значительной погрешности.

1.7 Метод измерения расстояния по разнице во времени прибытия сигнала TDoA (Time Difference of Arrival)

Метод TDoA можно разделить на две категории:

- многоузловая TDoA;
- мультисигнальная TDoA.

В многоузловом методе несколько узлов якорей отправляют сигналы для оценки расстояния с использованием метода измерения, применяемом в алгоритме ToA. Обычный узел измеряет время прихода сигналов якоря от трех узлов якорей. Если эти три узла якоря синхронизированы и посылают сигналы одновременно, то между парой узлов якорей образуется гипербола [10]. Затем местоположение неизвестного узла определяется с помощью пересечения двух гипербол, как показано на рисунке 5.

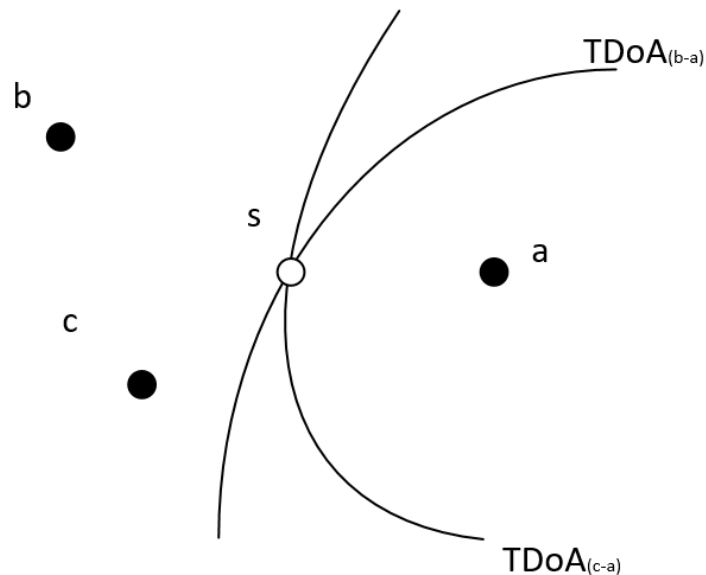


Рисунок 5 – Многоузловой метод TDoA

Соответствующие гиперболические уравнения, описанные по формуле (15):

$$\begin{aligned}
 \sqrt{(x - x_A)^2 + (y - y_A)^2} - \sqrt{(x - x_B)^2 + (y - y_B)^2} &= c \cdot (t_A - t_B) \\
 \sqrt{(x - x_A)^2 + (y - y_A)^2} - \sqrt{(x - x_C)^2 + (y - y_C)^2} &= c \cdot (t_1 - t_C) \quad (15) \\
 \sqrt{(x - x_B)^2 + (y - y_B)^2} - \sqrt{(x - x_C)^2 + (y - y_C)^2} &= c \cdot (t_B - t_C)
 \end{aligned}$$

где c - скорость распространения сигнала, и t_1 , t_2 и t_3 - время прибытия.

Недостатками многоузлового метода являются:

- сильная чувствительность к окружающей среде;
- высокие требования к скорости передачи сигналов;
- высокоточная синхронизация по времени.

Несмотря на недостатки метод пригоден для использования в сетях с большим количеством узлов.

В мультисигнальном методе каждый узел оснащен динамиком и микрофоном [11]. Передатчик посылает сигналы двух типов, то есть радиочастотные и ультразвуковые сигналы, а приемник оценивает расстояние на основе разницы во времени прибытия двух сигналов. Тогда расстояние между двумя узлами датчика можно рассчитать по формуле (16):

$$d_{AB} = (S_{rf} - S_{us}) \cdot (t_{us} - t_{delay} - t_{rf}), \quad (16)$$

где S_{rf} - скорость радиочастотного сигнала, а S_{us} - скорость ультразвукового сигнала. Радиочастотный сигнал распространяется значительно быстрее, чем ультразвуковой сигнал, как показано на рисунке 6.

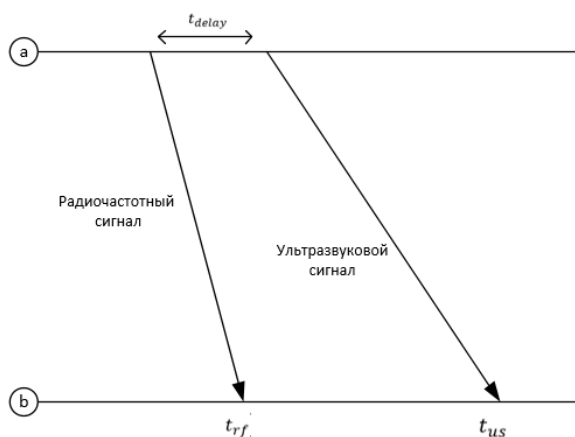


Рисунок 6 – Мультисигнальный метод TDoA

Мультисигнальный метод точен в условиях прямой видимости. Однако он лучше всего работает в областях, свободных от эха, и когда динамики и микрофоны откалиброваны.

Недостатком мультисингального метода TDoA является то, что он требует дополнительного оборудования, встроенного в узлы, в частности динамик и микрофон. Системы работают лучше всего, когда они правильно откалиброваны, поскольку динамики и микрофоны никогда не имеют идентичных характеристик передачи и приема. Кроме того, скорость звука в воздухе изменяется в зависимости от температуры и влажности воздуха.

В конце концов, многие алгоритмы локализации используют разницу во времени дальности прибытия просто потому, что она более точна, чем методы на основе радиосвязи.

1.8 Метод определения приблизительной точки триангуляции APIT (Approximate Point-in-Triangulation)

Алгоритм APIT состоит из трех этапов [7]:

- обмен сигналами маяками;
- определение положения неизвестной точки (внутри или вне треугольника);
- расчет положения.

Предположим, что в сети всего 5 узлов якорей, a_1 , a_2 , a_3 , a_4 и a_5 . Как показано на рисунке 7, сплошные кружки являются якорями, а полые кружки - неизвестными узлами. Соответствующий неизвестный узел отмечен как n_x .

Основной принцип метода APIT: предположим, что нормальный узел n_x знает о положениях узлов якорей, а затем n_x может образовывать треугольники, используя любые три узла якоря, как показано на рисунке 7. Если n_x может определить, находится ли он внутри или снаружи этих треугольников, то там, где находится n_x , будет перекрытие треугольников (n_x внутри), как показано на рисунке 8.

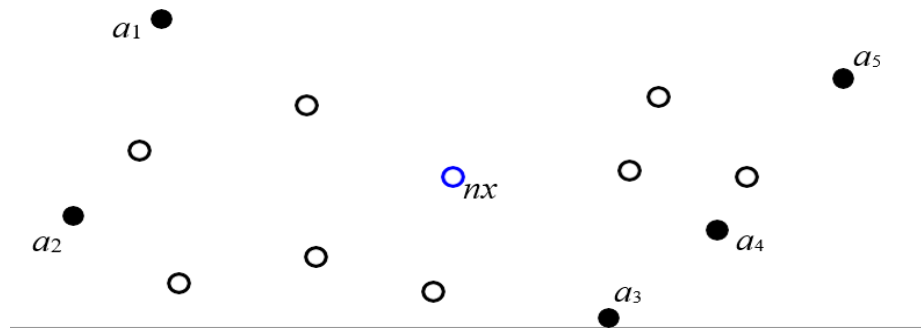


Рисунок 7 – Схема локализации

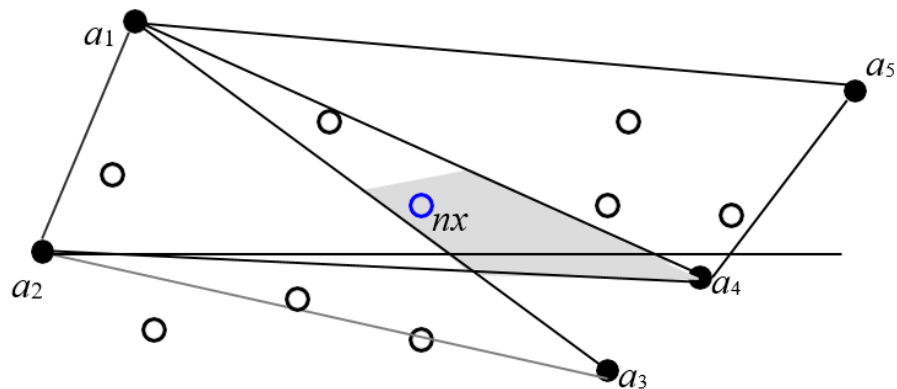


Рисунок 8 – Схема локализации

Обмен сигналами якорями

Узлы якоря периодически передают сигналы якоря (содержащие их позиции) своим соседним узлам. В этом алгоритме необходимо, чтобы каждый якорь был оснащен мощным передатчиком, чтобы его сигнал мог быть принят всеми обычными узлами в сети. Получая сигнал от якорного узла a_i , каждый неизвестный узел обнаруживает и записывает значение принятого сигнала, а также положение a_i . Информация используется для оценки того, находится ли узел внутри треугольника, образованного тремя якорями.

Определение положения неизвестной точки (внутри или вне треугольника)

Выполняется для определения того, находится ли неизвестный узел n_x внутри треугольника, образованного тремя якорями.

Тест можно выполнить, переместив n_x вдоль любого направления, как показано на рисунке 9. На рисунке 9 (а) n_x перемещается во всех возможных направлениях и сравнивает свое расстояние с якорями с расстоянием до

перемещения. Сделав крошечный шаг в каждом направлении, n_x обнаруживает, что его расстояние до трех якорей никогда не увеличивается и не уменьшается одновременно. Например, когда n_x чуть переместится к a_1 , его расстояние до a_1 уменьшается, но расстояния до a_2 и a_4 увеличиваются. Таким образом, n_x находится внутри треугольника $a_1a_2a_4$. И наоборот, n_x будет оценивать положение вне треугольника, если существует такое направление, что, когда n_x перемещается, его расстояния до трех вершин треугольника увеличиваются или уменьшаются одновременно. Например, на рисунке 9 (б), когда n_x перемещается, его расстояния до трех якорей уменьшаются одновременно. Следовательно, n_x находится вне треугольника $a_1a_2a_4$.

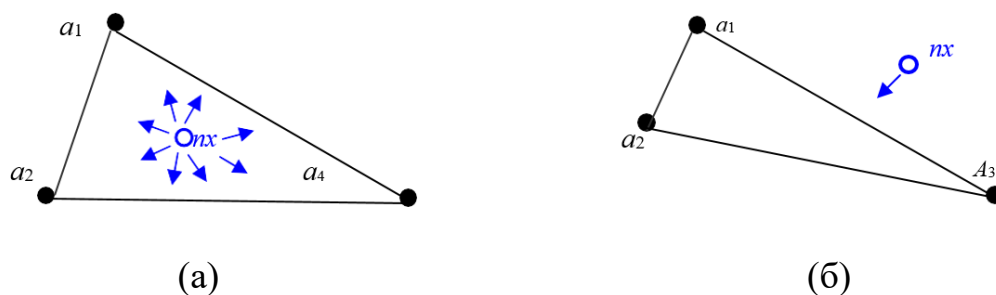


Рисунок 9 – Положение неизвестного узла (а) внутри треугольника, (б) снаружи треугольника

С точки зрения реализации данный тест имеет две проблемы. Во-первых, невозможно проверить все направления, потому что вокруг узла n_x есть бесконечные направления. Во-вторых, тест требует, чтобы неизвестные узлы могли двигаться, однако в некоторых случаях неизвестные узлы могут быть зафиксированы.

Следовательно, вместо данного теста лучше использовать алгоритм АРІТ. Алгоритм АРІТ предполагает, что неизвестные узлы являются статическими. Например, как показано на рисунке 10, n_x имеет три соседних неизвестных узла t , u и v . Как и n_x , эти три узла также получили сигналы, отправленные с узлов якорей, и записали соответствующие значения. Узел n_x может общаться со своими соседями t , u и v и получать их значения.

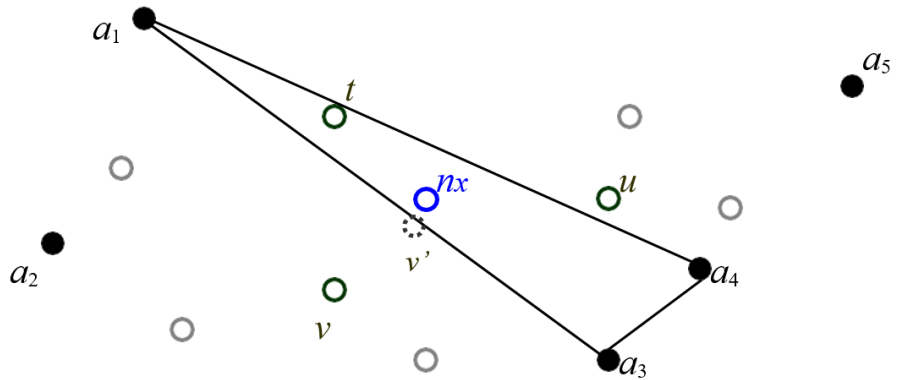


Рисунок 10 – Алгоритм APIT

Рассмотрим треугольник $a_1a_3a_4$. Среди трех узлов (t , u и v) n_x проверяет, существует ли один узел дальше от a_1 , a_3 и a_4 одновременно. Узел n_x сравнивает полученные значения с a_1 с значениями у узла t полученными с a_1 . Обычно (это означает, что, если значения относительно стабильны и не подвержены влиянию окружающей среды), t ближе к a_1 , чем узел n_x . Таким же образом можно проверить, что t находится дальше a_3 и a_4 , чем n_x .

Что касается u , алгоритм тот же, что и в случае с узлом t . Если бы у узла n_x было только два соседних узла t и u , то с помощью этого алгоритма n_x мог бы определить, что он находится внутри $a_1a_3a_4$. Однако на самом деле n_x имеет третьего соседа v . К сожалению, по сравнению с n_x , v находится дальше от a_1 , a_3 и a_4 . Таким образом, узел n_x , наконец, будет считать себя вне треугольника, хотя на самом деле он находится внутри треугольника. Эта ошибка вызвана большими переходами в алгоритме APIT. Как показано на рисунке 10, если бы v было v' , то n_x мог бы оказаться внутри треугольника.

Расчет положения

Перекрытие образовано треугольниками, внутри которых находится неизвестный узел n_x . Центр этого перекрытия вычисляется как позиция n_x .

Этот метод незначительно подвержен влиянию факторов окружающей среды и требует низкого аппаратного обеспечения, что является широко распространенным позиционным механизмом для БСС. Однако на точность локализации в методе APIT зависит от местоположения узла, т.е. находится ли он в области треугольника или нет.

Однако основным недостатком алгоритма АРІТ является то, что требуется больше узлов привязки, чем среднее число узлов привязки, используемых при локализации. Также алгоритм АРІТ не делает никаких предположений о корреляции между абсолютным расстоянием и силой радиосигнала; следовательно, мы рассматриваем его как полностью свободный от диапазона алгоритм.

1.9 Метод центроида

В этом методе узлы якоря периодически передают пакет данных соседним узлам якорями. Этот пакет содержит идентификационный номер и информацию о местоположении. Когда это количество пакетов превышает определенное пороговое значение, тогда обычный узел может определить свое собственное местоположение как пересечение многоугольника, который содержит эти якорные узлы [9].

Метод центроидной локализации — это самая базовая схема, которая использует якорные узлы, содержащие информацию о местоположении (для оценки положения узла). После получения о якорных узлах неизвестный узел использует формулу (17) центроида для вычисления своего местоположения:

$$(\bar{x}, \bar{y}) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \right), \quad (17)$$

где n - число якорных узлов привязки a_i , и (x_i, y_i) - их координаты, а (\bar{x}, \bar{y}) - оценочная координата неизвестного узла. После этого неизвестный узел становится узлом привязки и передает данные.

Этот метод локализации очень несложен, экономичен и прост в реализации. Однако на точность локализации влияет плотность размещения узлов привязки и развертывание узлов. Кроме того, этот алгоритм распространяется только на узле для двумерных сетей, поэтому был предложен новый алгоритм локализации центроида для трехмерных БСС, основанный на теореме центроида о координатном тетраэдре.

1.10 Метод многомерного шкалирования MDS-MAP (Multidimensional scaling-MAP)

Существует централизованный алгоритм без диапазона передачи, называемый MDS-MAP. Который основан на многомерном шкалировании, он оценивает положение неизвестного узла в зависимости от базовой информации узлов в диапазоне связи.

Схема MDS-MAP способна формировать карты, представляющие относительное положение узлов датчиков при отсутствии якорных узлов [12]. Когда известны положения достаточного количества якорных узлов (3 якорных узла для двумерной локализации и 4 якоря для трехмерной), то оцениваются абсолютные координаты всех узлов на карте.

Метод MDS-MAP генерирует наиболее точную информацию о местоположении среди методов, свободных от радиуса действия. Однако он имеет следующие недостатки: высокая временная сложность алгоритма, большая пропускная способность и вычисление требуются для оценки местоположения при наличии большого количества датчиков.

Метод MDS-MAP состоит из следующий трех шагов:

1) вычислить кратчайшее расстояние между всеми парами узлов, которое используется для построения матрицы расстояний по формуле (18):

$$d = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} . \quad (18)$$

2) применить классическую MDS к матрице расстояний, чтобы найти предполагаемое положение узла:

– получить расстояние между всеми парами узлов, чтобы построить матрицу расстояний для MDS. Использовать алгоритм кратчайшего пути, чтобы получить все расстояния и заполнить матрицу расстояний;

– вычислить матрицу квадратов расстояний близости по формуле (19), а именно D^2

$$\begin{bmatrix} 0 & d_{12}^2 & \dots & \dots & d_{1n}^2 \\ d_{1n}^2 & 0 & d_{1n}^2 & \dots & d_{1n}^2 \\ \dots & \dots & 0 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & 0 & \dots \\ d_{1n}^2 & d_{1n}^2 & d_{1n}^2 & \dots & 0 \end{bmatrix}. \quad (19)$$

– применить двойное центрирование к матрице D^2 . В MDS матрица приближения P , то есть D^2 смещена в центр. Центрирование устанавливает центр тяжести конфигурации точек в начале координат.

Двойное центрирование осуществляется путем умножения обеих сторон центрирующей матрицы, как показано в формуле (20):

$$J = I \cdot \frac{1}{n} \cdot 1^T. \quad (20)$$

где I - матрица идентичности размера $n \times n$, n -число узлов, а 1 -вектор единиц.

Двойное центрирование матрицы квадратов расстояний приводит к формуле (21):

$$B_{dc} = JD^2J. \quad (21)$$

– вычислить сингулярное разложение (SVD) двойной центрированной матрицы B . Выполнить SVD на B по формуле (22):

$$B = QAQ^2, \quad (22)$$

где $A = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$ - диагональная матрица с соответствующими собственными числами, а Q - матрица составленная из координат собственных векторов.

– модифицировать выход SVD матрицы B в соответствии с размерами. Чтобы получить решение в меньшей размерности, мы должны сохранить первые m самых больших собственных значений и собственных векторов. Это наилучшее приближение низкого ранга в смысле наименьших квадратов.

Например, для двумерной сети рассмотрим первые 2 самые большие собственные значения и собственные векторы, чтобы построить наилучшее двумерное приближение.

Модифицированный B_{dc} теперь становится b и вычисляется по формуле (23):

$$B = Q_1 A_1 Q_1^2. \quad (23)$$

– получить координаты из матрицы В.

Координатная матрица может быть оценена из В с использованием Q_1 и A_1 как показано в следующей формуле (24):

$$X = Q_1 A_1^{1/2} \quad (24)$$

1.11 Метод определения расстояния путем измерения количества прыжков DV-Нор (Distance Vector-Нор)

В методе DV-Нор необходимо определить местоположение неизвестных узлов с помощью измерений связности. Все узлы якоря транслируют свои местоположения в сеть, и каждый неизвестный узел вычисляет кратчайший путь прыжков от узлов якорей [7]. Его основная идея заключается в том, что расстояние между неизвестными узлами и якорными узлами выражается произведением среднего расстояния прыжка и их количества.

Реализация алгоритма состоит из трех этапов. На первом этапе каждый узел якоря передает сигнал якорь, который будет передан всей сети, содержащей расположение узла якоря с числом прыжков. Каждый принимающий узел поддерживает минимальное значение числа прыжков. Якоря с более высокими значениями количества переходов к конкретному якорю определяются как бесполезная информация и игнорируются. Благодаря этому процессу все узлы в сети получают *минимальное количество* переходов для каждого узла якоря.

На втором этапе, как только узел якорь получает значение количества прыжков для других якорей, он оценивает средний размер одного прыжка, который затем передается по всей сети. После получения размера прыжка неизвестные узлы умножают размер прыжка на значение количества прыжков,

чтобы получить приблизительное физическое расстояние от якоря. Среднее размер одного прыжка оценивается узлом якорем i по следующей формуле (25):

$$L_i = \frac{\sum_{j \neq i} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum_{j \neq i} h_{i,j}}, \quad (25)$$

где (x_i, y_i) и (x_j, y_j) - координаты якорных узлов i и j соответственно, и $h_{i,j}$ - количество прыжков между узлами привязки i и j .

Каждый узел якорь передает свой размер прыжка в сеть. Неизвестные узлы получают информацию о размере прыжка. Между тем, они передают размер прыжка своим соседним узлам. Эта схема гарантирует, что большинство узлов получит размер прыжка от узла якоря, который имеет наименьшее количество переходов между ними.

На последнем этапе, когда неизвестные узлы получают информацию о трех или более расстояниях от якорных узлов, для расчета их местоположения используется метод трехсторонних измерений или метод максимального правдоподобия.

Схема локализации DV-Нор отличается простотой реализации и тем, что она не зависит от погрешности измерения расстояния. Но с другой стороны, эта схема будет использоваться только для изотропных сетей, то есть когда свойства графа одинаковы во всех направлениях. Кроме того, эта схема имеет малую точность локализации.

1.12 Метод измерения расстояния между соседними узлами DV-Distance (Distance Vector- Distance)

Метод DV-Distance аналогичен методу DV-Нор, но разница в том, что он рассчитывает расстояние между соседними узлами, а не количество переходов.

Метод DV-Distance обеспечивает информацию о местоположении точнее, чем DV-Hop. Кроме того, метод DV-Distance также подходит для анизотропных сетей, поскольку изменение размера прыжков между различными узлами не влияет на фактические измеренные расстояния между узлами, как в случае с методом распространения DV-Hop.

Метод DV-Distance хорошо работает в изотропной сети, поэтому он может в некоторой степени повысить точность позиционирования. Но, с увеличением погрешности диапазона, погрешность локализации также резко возрастает.

1.13 Сравнение методов локализации

В таблице 2 приведена сводная характеристика всех вышеописанных методов локализации.

Цель данной работы заключается в повышении точности определения местоположения неизвестных узлов в БСС. Выделим из таблицы 2 перспективные методы, обладающие невысокой точностью, а именно:

- метод RSSI;
- метод APIT;
- метод центроида;
- метод DV-Hop;
- метод DV-Distance.

В методе RSSI низкое потребление энергии и низкая стоимость оборудования. Если повысить точность локализации, потребление энергии и стоимость возрастает. В данном случае выбор этого метода будет неэффективен, так как он требует дополнительных затрат.

Метод APIT так же, как и метод RSSI не подходит для дальнейшей работы

Метод центроида обладает плохими характеристиками такими, как низкая плотность размещения узлов и высокий уровень потребления энергии, что может повлиять на погрешность локализации.

Методы DV-Hop и DV-Distance имеют одинаковые параметры, разница между ними лишь в том, что метод DV-Distance более точно оценивает местоположение неизвестных узлов.

Следовательно, из анализа свойств методов можно сделать вывод, что подходящим для модернизации с целью повышения точности является метод DV-Hop.

Таблица 2 – Сравнение методов

| № | Свойства | Метод AoA | Метод RSSI | Метод ToA | Метод TDoA | Метод APIT | Метод центроида | Метод MDS - MAP | Метод DV-Hop | Метод DV-Distance |
|--|----------------------------|-----------|------------|-----------|------------|------------|-----------------|-----------------|--------------|-------------------|
| 1 | Точность | В | С | В | В | С | Н | В | С | С |
| 2 | Стоимость передачи сигнала | Н | С | Н | Н | Н | — | В | С | С |
| 3 | Стоимость вычисление | Н | Н | Н | Н | Н | Н | В | С | С |
| 4 | Потребление энергии | В | Н | В | В | С | В | В | В | В |
| 5 | Стоимость оборудования | В | Н | В | В | Н | Н | Н | Н | Н |
| 6 | Шумовые характеристики | Х | П | Х | Х | — | — | П | — | — |
| 7 | Плотность узлов | Н | Н | Н | Н | В | Н | Н | В | В |
| 8 | Мобильность узлов | Нет | Нет | — | Нет | Нет | — | Нет | Да | Да |
| Примечание - В - высокий, С - средний, Н - низкий, Х - хороший, П - плохой, — - нет данных | | | | | | | | | | |

2 Разработка метода повышения точности локализации сенсорных узлов

2.1 Метод DV-Ноп (Distance Vector - Ноп)

Локализацию узлов по методу DV-Ноп можно разделить на четыре этапа, которые описаны следующим образом [13]:

1) *Расчет минимального количества прыжков между неизвестными узлами и каждым якорным узлом*

Каждый якорь передает пакет данных, который состоит из четырех частей. Идентификатор узла якоря представлен как ID_i , координаты описываются как (x_i, y_i) , а информация о числе прыжков определяется как h_i . Начальное значение h_i равно 0. Каждый узел записывает информацию в таблицу, показанную в таблице 3. Когда узел получает сообщение, содержащее минимальное количество прыжков, соответствующее якорю, он проверяет свое сохраненное минимальное количество прыжков для этого якоря. Если количество новых прыжков меньше количества прыжков в исходной таблице, полученный узел обновляет таблицу новым значением. В противном случае узел будет игнорировать информацию. Благодаря этому процессу мы получаем минимальное количество прыжков для каждого якоря.

Таблица 3 – Форма представления пакета данных

| ID | Координаты | Минимальный размер прыжка |
|--------|--------------|---------------------------|
| ID_1 | (x_1, y_1) | h_1 |
| ID_2 | (x_2, y_2) | h_2 |
| : | : | : |
| ID_n | (x_n, y_n) | h_n |

2) Расчет среднего размера прыжка каждого узла якоря

Каждый узел якорь вычисляет средний размер прыжка по формуле (25) в соответствии с информацией о прыжках и информацией о положении других узлов якорей.

3) Расчет расстояния неизвестных узлов до каждого узла якоря

Узлы якоря передают рассчитанный средний размер прыжка L_i в сеть с ограниченным временем использования. Неизвестные узлы получают только первое поступившее сообщение и значение L_i , а затем передают сообщение своим соседям.

Эта схема гарантирует, что большинство узлов получают средний размер прыжка от ближайшего узла якоря. Затем неизвестные узлы вычисляют расстояние до каждого узла якоря в соответствии с записанными прыжками. Расстояние d_i вычисляется по формуле (26):

$$d_i = L_i \cdot h_{i,j}. \quad (26)$$

4) Расчет местоположения при помощи метода максимального правдоподобия

Неизвестные узлы сами рассчитывают положение в сети при помощи метода максимального правдоподобия в соответствии с расстоянием до каждого якорного узла, которое записано на третьем этапе.

Например, координаты якорных узлов 1, 2, 3... m имеют вид $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3) \dots (x_m, y_m)$, как показано на рисунке 11. Расстояние от неизвестных узлов $N = \{n_1, n_2, \dots, n_u\}$ до них составляет $d_1, d_2, d_3 \dots d_u$ соответственно. Пусть (x, y) - местоположение неизвестного узла N . Существует формула (27) для нахождения координат узла S :

$$\begin{aligned} (x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 &= d_1^2 \\ (x_2 - x)^2 + (y_1 - y)^2 &= d_2^2 \end{aligned} \quad (27)$$

⋮

$$(x_m - x)^2 + (y_m - y)^2 = d_u^2.$$

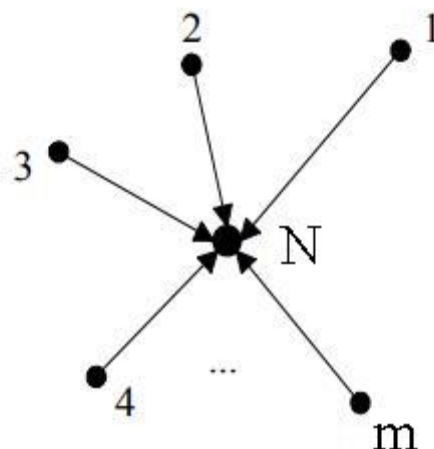


Рисунок 11 – Расположение узлов якорей и неизвестного узла

Формула (28) может быть получена всеми уравнениями, кроме последнего в формуле (27):

$$x_1^2 - x_m^2 - 2 \cdot (x_1 - x_m) \cdot x + y_1^2 - y_m^2 - 2 \cdot (y_1 - y_m) \cdot y = d_1^2 - d_u^2$$

⋮

(28)

$$x_{m-1}^2 - x_m^2 - 2 \cdot (x_{m-1} - x_m) \cdot x + y_{m-1}^2 - y_m^2 - 2 \cdot (y_{m-1} - y_m) \cdot y = d_{u-1}^2 - d_u^2.$$

Формула (28) может быть изменена следующим образом:

$$AZ = b. \tag{29}$$

Расчет A, b и Z показан в формулах (30), (31) и (32):

$$A = 2 \cdot \begin{bmatrix} (x_1 - x_m) & (y_1 - y_m) \\ (x_2 - x_m) & (y_2 - y_m) \\ \vdots & \vdots \\ (x_{m-1} - x_m) & (y_{m-1} - y_m) \end{bmatrix} \tag{30}$$

$$b = \begin{bmatrix} x_1^2 - x_m^2 + y_1^2 - y_m^2 + d_m^2 - d_1^2 \\ x_2^2 - x_m^2 + y_2^2 - y_m^2 + d_m^2 - d_2^2 \\ \vdots \\ x_{m-1}^2 - x_m^2 + y_{m-1}^2 - y_m^2 + d_m^2 - d_{m-1}^2 \end{bmatrix} \tag{31}$$

$$Z = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (32)$$

Координаты узла N можно получить, используя стандартную оценку минимальной среднеквадратичной погрешности. Координаты можно обозначить как показано в формуле (33):

$$\bar{Z} = (A^T A)^{-1} A^T b. \quad (33)$$

Метод DV-Hop - это метод локализации, основанный на схеме без использования диапазона передачи (Range-free). Узлы не требуют оснащения каким-либо дополнительным аппаратным обеспечением. Данный метод обладает серьезным преимуществом, а именно простотой реализации. Узлы якоря вычисляют среднее расстояние прыжка, как только узел получил информацию о местоположении от двух других узлов якорей, без использования большего количества узлов якорей. Однако точность метода напрямую зависит от количества узлов якорей: чем меньше якорей используется, тем выше относительная погрешность локализации. Кроме того, неизвестные узлы используют средний размер прыжка, рассчитанное узлами якорями, в качестве замены действительного размера, которое приводит к тому, что расстояние имеет определенную погрешность, и, таким образом, выводит вычисленные координаты некоторых узлов из области видимости. Таким образом, *критической проблемой DV-Hop* является низкая точность оценки среднего размера прыжка, что определяет относительную погрешность локализации. Предложенный в данной работе способ направлен на решение этой проблемы и повышение точности определения местоположения без увеличения аппаратной стоимости сенсорного узла.

2.2 Повышение точности расчета среднего размера прыжка

Повышение точности локализации в данном методе будет проходить за счет модернизации шагов 2 и 3. Преимущество данного метода заключается в

том, что средний размер прыжка будет вычислен путем деления на общее количество узлов якорей и координаты неизвестного узла рассчитываются за счет ближайшего узла якоря, а не общего количества.

Для повышения точности локализации узлов необходимо внести изменения в шаги 2 и 3.

Для начала усредняем все размеры прыжков различных узлов якорей, используя формулу (34):

$$\bar{L}_l = \frac{\sum h_i}{n}, \quad (34)$$

где n - количество узлов якорей.

После получения среднего размера прыжка, очевидно, что можно также оценить расстояние между двумя якорными узлами i и j ($i \neq j$), обозначенными как $d_i^{i,j}$ по формуле (35):

$$d_i^{i,j} = h_{i,j} \cdot \bar{L}_l. \quad (35)$$

С другой стороны, действительной расстояние $d_d^{i,j}$ между якорными узлами i и j может быть определено по формуле (36):

$$d_d^{i,j} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}, \quad (36)$$

где (x_i, y_i) и (x_j, y_j) - координаты узлов привязки i и j , а $h_{i,j}$ - количество прыжков между ними.

Исходя из формул (35) и (36), разница между оцененным и фактическим расстоянием, обозначаемая $\Delta d^{i,j}$, выражается по формуле (37):

$$\Delta d^{i,j} = |d_i^{i,j} - d_d^{i,j}|, \quad (37)$$

что соответствует погрешности оценки.

Средняя погрешность прыжка вычисляется по формуле (38):

$$\overline{h_{i,j}} = \frac{\Delta d^{i,j}}{h_{i,j}}. \quad (38)$$

Узел якорь i принимает значение погрешности $\overline{h_{i,j}}$ узла якоря j как поправку на среднее расстояние прыжка, где j обозначает индекс узла якоря, сообщение которого с информацией о местоположении достигает первого.

А затем узел i передает исправленное среднее расстояние прыжка и идентификатор узла в сеть с ограниченным временем использования. Неизвестный узел также принимает погрешность прыжка, полученную сначала в качестве изменяющегося значения, и вычисляет измененное среднее значение размера прыжка $\overline{L_{\text{изм}}}$ по формуле (39):

$$\overline{L_{\text{изм}}} = \overline{L_i} - \overline{h_{i,j}}. \quad (39)$$

2.3 Определение местоположения неизвестных узлов с использованием гиперболического алгоритма

Мы используем гиперболический алгоритм определения местоположения, чтобы оценить положение неизвестных узлов, что повышает точность оценки местоположения. Гиперболический алгоритм основан на разнице расстояний между узлом якорем и неизвестным узлом.

Достоинством алгоритма является достаточно высокая точность, при соответствующих параметрах среды. Недостатком алгоритма является необходимость тщательного построения модели распространения сигнала якоря в каждой конкретной среде, для каждого отдельного неизвестного узла, что в конечном итоге не гарантирует высокую точность, в результате возникновения в помещении таких эффектов как, затухание и отражение сигнала якоря, моделирование которых является весьма проблемной задачей.

Предполагается, что (x_i, y_i) - это координаты якорного узла i , а (x_n, y_n) - координаты неизвестного узла N . Расчетное расстояние d_{is} между ними составляет и рассчитывается по формуле (40):

$$d_{is}^2 = (x_i - x_s)^2 + (y_i - y_s)^2. \quad (40)$$

Если $E_i = x_i^2 + y_i^2$ и $K_s = x_n^2 + y_n^2$, формула (41) принимает вид:

$$d_{is}^2 - E_i = -2x_i x_n - 2y_i y_n + n. \quad (41)$$

Уравнение (29) в матричной форме имеет вид, где

$$Z' = [x_n', y_n', K_s]^T, \quad (42)$$

$$A = \begin{bmatrix} -2x_1 & -2y_1 & 1 \\ -2x_2 & -2y_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -2x_m & -2y_m & 1 \end{bmatrix}, \quad (43)$$

$$b = \begin{bmatrix} d_{1n}^2 - E_1 \\ d_{2n}^2 - E_2 \\ \vdots \\ d_{mn}^2 - E_m \end{bmatrix}. \quad (44)$$

Согласно формуле (33), Z может быть получен с использованием метода наименьших квадратов.

Следовательно, координаты неизвестного узла s имеют вид

$$x_n' = Z(1), \quad (45)$$

$$y_n' = Z(2).$$

3 Численные экспериментальные исследования метода повышения точности локализации узлов сенсорной сети

3.1 Разработка программного обеспечения

Для моделирования методов локализации узлов была выбрана среда графического программирования LabVIEW. Данная среда использует интуитивно понятный язык графического программирования «G», что позволяет проводить сложные математические операции и имитировать математические модели.

Для проведения экспериментальных исследований была построена модель БСС. Данная модель содержит 38 узлов, из которых 28 неизвестных узлов и 10 якорных. Якорные узлы $S = \{s_1, s_2, \dots, s_{10}\}$ на рисунке 11 представляют собой черные точки, а $N = \{n_1, n_2, \dots, n_{28}\}$ белые. Для простоты решения были использованы условные единицы в качестве единиц измерений длины.

Далее в графической среде LabVIEW была разработана программа для моделирования локализации неизвестных узлов БСС. Интерфейс программы показан на рисунках 13 и 14, блок-диаграмма приведена в Приложении Б.

На лицевой панели программы, представленной на рисунке 13, присутствуют следующие элементы управления:

- координаты якорных узлов $S = \{s_1, s_2, s_3, s_4\}$;
- количество прыжков между якорными узлами $h_{i,j}$;
- количество прыжков между неизвестными узлами и якорными;
- количество якорных узлов.

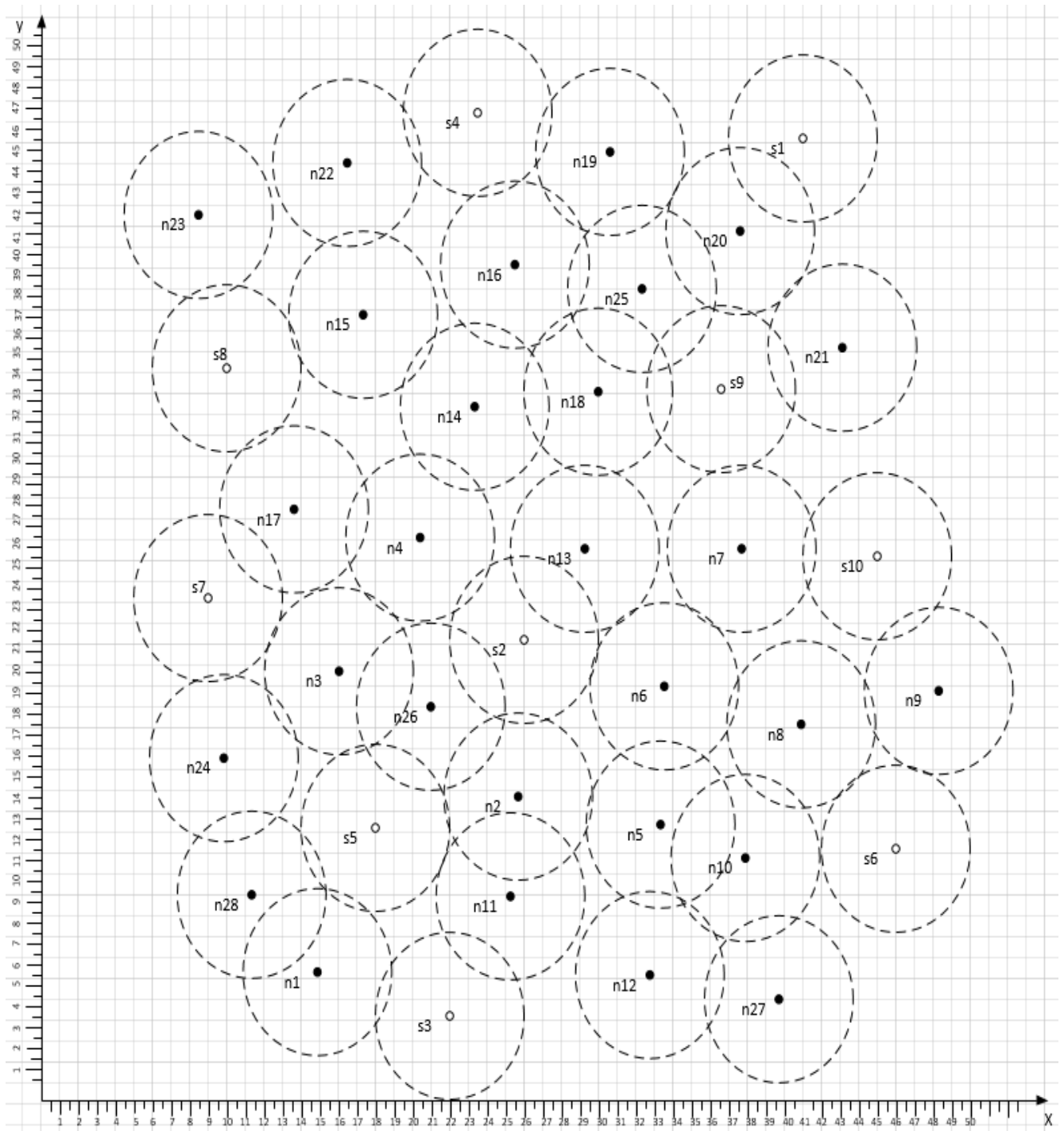


Рисунок 11 – Схема расположения узлов в ББС

Процесс определения местоположения сенсорных узлов состоит из 4 этапов, алгоритм представлен на рисунке 12.

1 Расчет среднего размера прыжка L_i и расстояние до каждого узла якоря d_i по формулам (25) и (26)

2 Вычисление координат неизвестного узла по алгоритму DV-Нор по формулам (27-33)

3 Расчет улучшенного алгоритма DV-Нор по формулам (34-39)

4 Вычисление координат неизвестного узла по улучшенному алгоритму DV-Нор по формулам (40-45)

Рисунок 12 – Алгоритм измерительного процесса

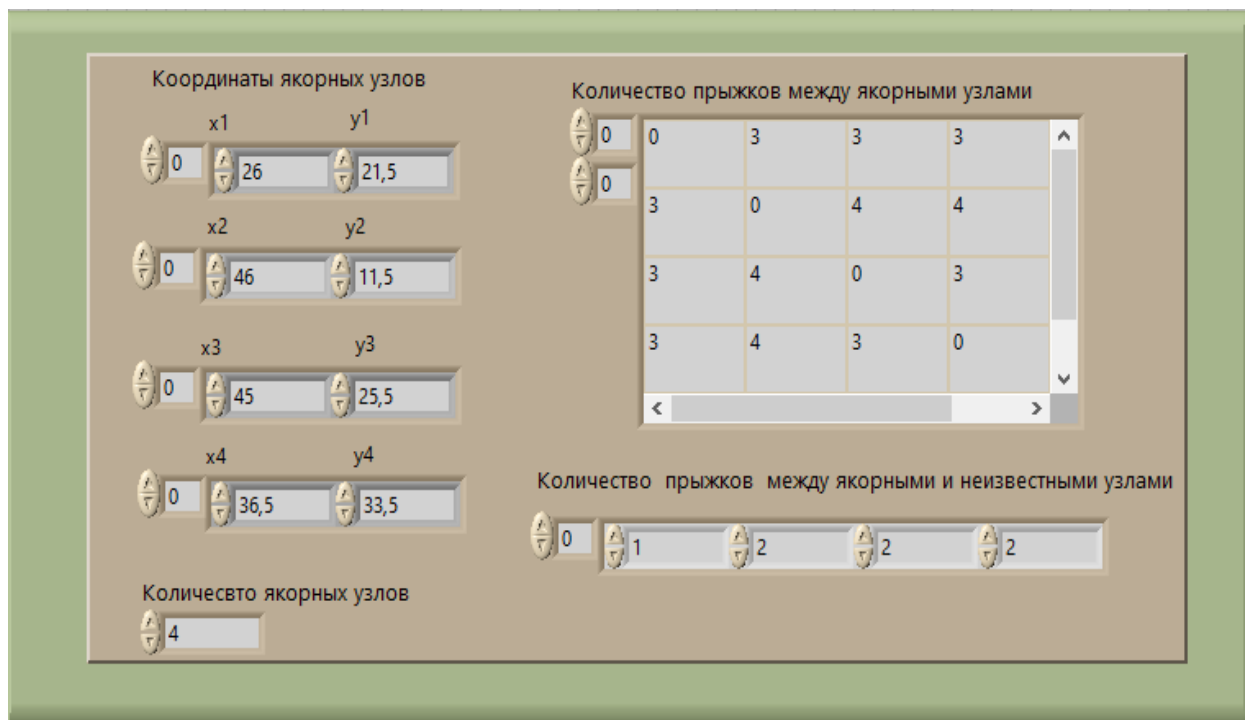


Рисунок 13 – Лицевая панель программы (элементы управления)

Лицевая панель, представленная на рисунке 14, содержит индикаторы со следующей информацией:

- средний размер прыжка L_i ;
- расстояния между узлами d_i ;
- измеренное среднее значение размера прыжка $\overline{L_{\text{изм}}}$;
- вычисленные координаты неизвестного узла.

На рисунке 15 показан пример рассчитанных значений координат для неизвестного узла n_6 .

Для первого метода значение размера прыжка составляет $L_i = 1,5938$, для второго $\overline{L_{\text{изм}}} = 5,31507$, т.к. ближайший якорным узлом к неизвестному узлу n_6 является узел s_2 . Полученные значения применяются для нахождения расстояния прыжка между якорным и неизвестными узлами d_u .

В результате координаты неизвестного узла в первом случае равны (36,8821; 21,3968), а для второго (34,686; 19,4883). Разница между реальными координатами и рассчитанными для первого случая составляет 3,39 по координате x , для второго 1,19. Разница между реальными координатами и рассчитанными для первого случая составляет 2,38 по координате y , для второго 0,49.

Анализируя полученные данные для узла n_6 , можно сделать вывод, что улучшенный метод повышает точность локализации.

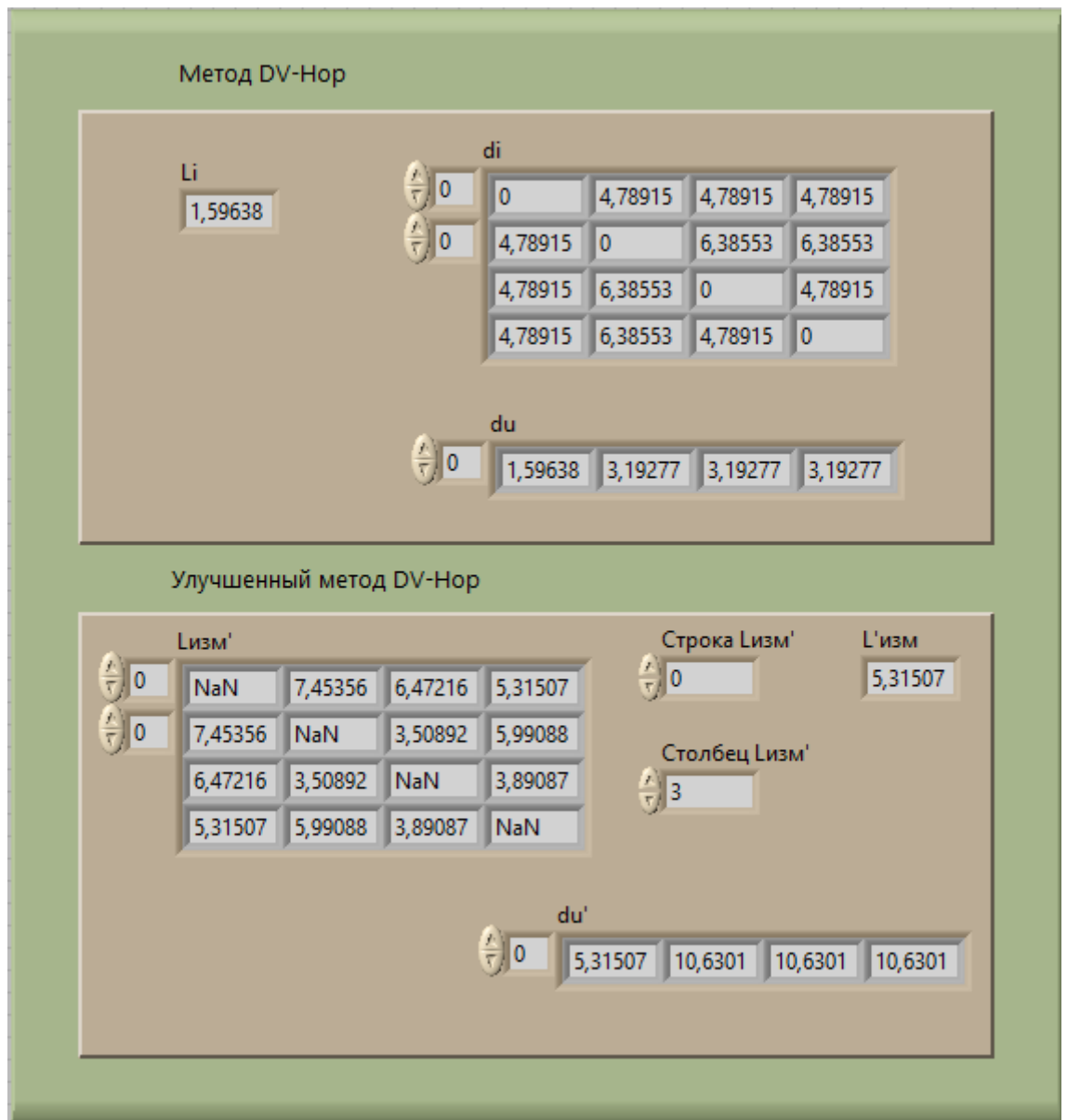


Рисунок 14 – Лицевая панель программы (индикаторы)



Рисунок 15 – Рассчитанные координаты неизвестного узла n_6

3.2 Экспериментальное исследование методов локализации

Для сравнения точности локализации двух методов, проводились экспериментальные исследования со следующими параметрами:

- БСС состояла из 38 узлов, где 28 неизвестных узлов N , а 10 якорных узлов S ;
- радиус действия узлов $R = 4$;
- количество неизвестных узлов m .

Точность локализации методов оценивается по погрешности локализации, формула (46):

$$\varepsilon = \frac{\sum_{k=1}^m |x_n - x_n'|}{m \cdot R}, \quad (46)$$

где x_n – координаты неизвестного узла n в соответствии с рисунком 11, x_n' – рассчитанные координаты неизвестного узла.

Координаты неизвестных узлов приведены в таблице 4.

Таблица 4 –Координаты узлов N

| Номер неизвестного узла | Реальные координаты неизвестного узла | Координаты, полученные при помощи метода DV-Нор | Координаты, полученные при помощи улучшенного метода DV-Нор |
|-------------------------------|---|--|---|
| n_1 | 15,00; 5,50 | 16,31; 9,98 | 15,65; 6,51 |
| n_2 | 26,00; 21,50 | 17,27; 15,82 | 28,19; 21,00 |
| n_3 | 16,00; 20,00 | 17,00; 14,09 | 14,96; 18,09 |
| n_4 | 20,50; 26,50 | 17,55; 14,77 | 20,54; 26,34 |
| n_5 | 33,50; 12,50 | 33,85; 16,33 | 30,45; 15,21 |
| n_6 | 33,50; 19,00 | 36,89; 21,38 | 34,69; 19,49 |
| n_7 | 37,50; 26,00 | 37,22; 20,42 | 37,20; 25,90 |
| n_8 | 41,00; 17,50 | 36,93; 20,99 | 36,20; 17,38 |
| n_9 | 48,50; 19,00 | 38,02; 15,23 | 46,62; 16,11 |
| n_{10} | 38,00; 11,00 | 33,04; 7,09 | 37,02; 7,58 |
| n_{11} | 34,00; 4,00 | 28,89; 9,05 | 30,34; 9,06 |
| n_{12} | 33,00; 5,50 | 32,57; 14,28 | 33,04; 10,89 |
| n_{13} | 29,50; 26,00 | 23,24; 25,08 | 29,16; 21,24 |
| n_{14} | 23,50; 32,50 | 21,07; 33,26 | 22,25; 32,93 |
| n_{15} | 17,50; 37,00 | 20,72; 32,46 | 20,56; 33,23 |
| n_{16} | 25,50; 39,50 | 22,52; 33,85 | 20,01; 34,64 |
| n_{17} | 13,50; 27,50 | 16,76; 26,07 | 15,94; 29,72 |
| n_{18} | 30,00; 33,50 | 23,52; 34,88 | 27,52; 34,28 |
| n_{19} | 30,50; 45,00 | 25,41; 37,00 | 30,71; 44,00 |
| n_{20} | 37,50; 41,00 | 33,88; 34,38 | 35,25; 41,78 |
| n_{21} | 43,00; 35,50 | 49,34; 28,67 | 40,67; 35,62 |
| n_{22} | 16,50; 44,50 | 20,15; 34,04 | 18,69; 45,92 |
| n_{23} | 8,50; 42,00 | 11,26; 33,05 | 7,86; 33,85 |

Продолжение таблицы 4

| Номер неизвестного узла | Реальные координаты неизвестного узла | Координаты, полученные при помощи метода DV-Нор | Координаты, полученные при помощи улучшенного метода DV-Нор |
|-------------------------|---------------------------------------|---|---|
| n_{24} | 10,00; 16,00 | 18,74; 26,42 | 6,41; 18,34 |
| n_{25} | 32,50; 38,50 | 30,50; 34,61 | 30,04; 34,34 |
| n_{26} | 21,00; 18,00 | 17,56; 13,86 | 20,34; 16,78 |
| n_{27} | 39,50; 4,50 | 35,38; 14,49 | 37,73; 13,74 |
| n_{28} | 11,50; 9,50 | 16,32; 15,36 | 12,68; 10,37 |

Построим схему расположение найденных координат неизвестных узлов. Схема расположения неизвестных узлов N представлена в приложении В.

Расчеты погрешности локализации представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Погрешность локализации

| Кол-во неизвестных узлов | Погрешность локализации координаты X метод DV-Нор | Погрешность локализации координаты Y метод DV-Нор | Погрешность локализации координаты X усовершенствованный метод DV-Нор | Погрешность локализации координаты Y усовершенствованный метод DV-Нор |
|--------------------------|---|---|---|---|
| 4 | 0,59 | 0,12 | 1,18 | 0,10 |
| 8 | 0,31 | 0,16 | 0,46 | 0,04 |
| 12 | 0,65 | 0,24 | 0,18 | 0,12 |
| 16 | 0,62 | 0,24 | 0,30 | 0,12 |
| 20 | 0,64 | 0,22 | 0,42 | 0,06 |
| 24 | 0,31 | 0,23 | 0,51 | 0,09 |
| 28 | 0,31 | 0,23 | 0,27 | 0,05 |

Далее были получены графики сравнения погрешности локализации для координат X и Y рисунок 16 и 17 соответственно. Видно, что с увеличением количества узлов погрешность выросла незначительно.

Если посмотреть на результаты в целом, то видно, что погрешность в новом методе мало зависит от числа неизвестных узлов, оставаясь примерно на одном уровне, разве что для малого числа узлов виден скачок.

Анализируя полученные графики, можно сделать вывод, что представленный метод значительно повышает точность определения местоположения по сравнению с оригинальным методом DV-Hop.

Усовершенствованный метод DV-Hop в среднем в 2 раза точнее оригинального метода DV-Hop.

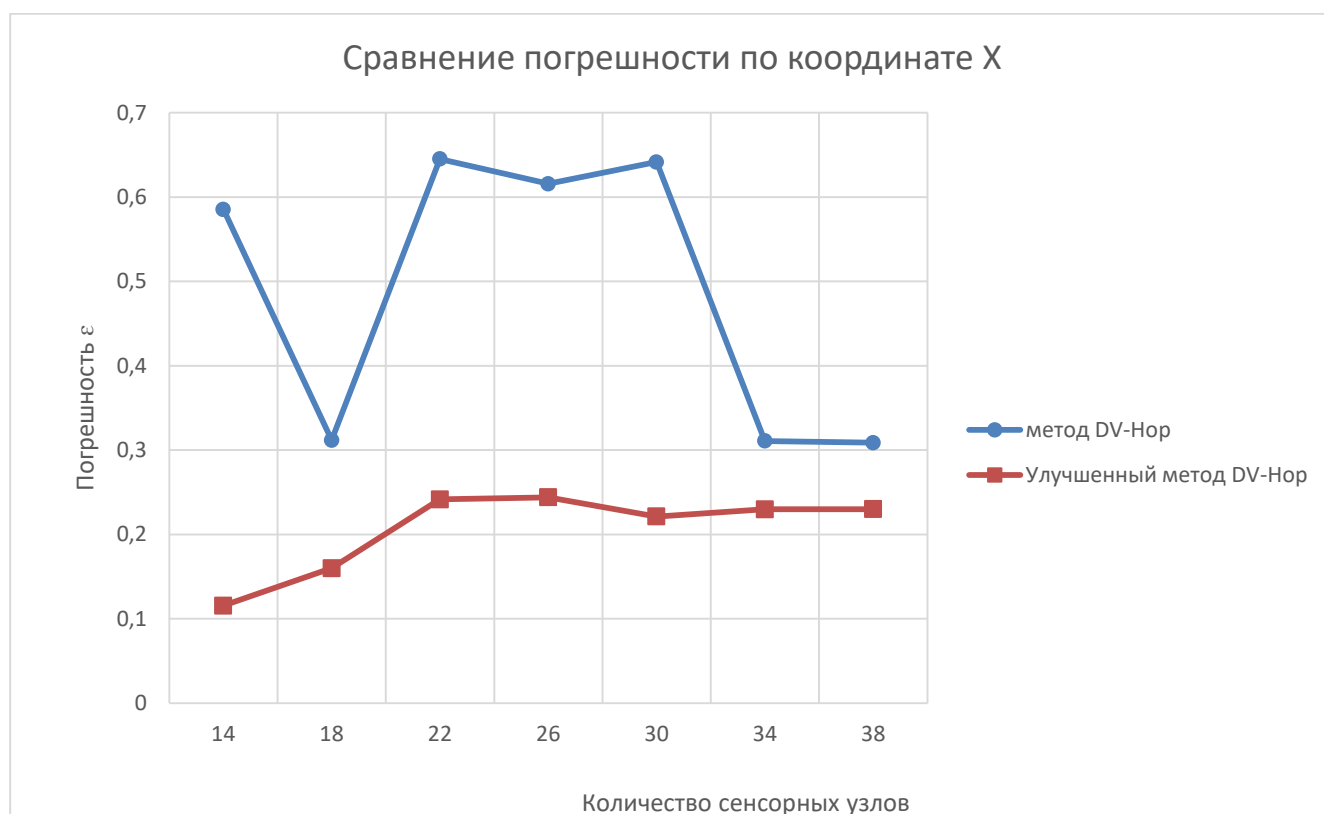


Рисунок 16 – Сравнение погрешности локализации неизвестного узла по координате X

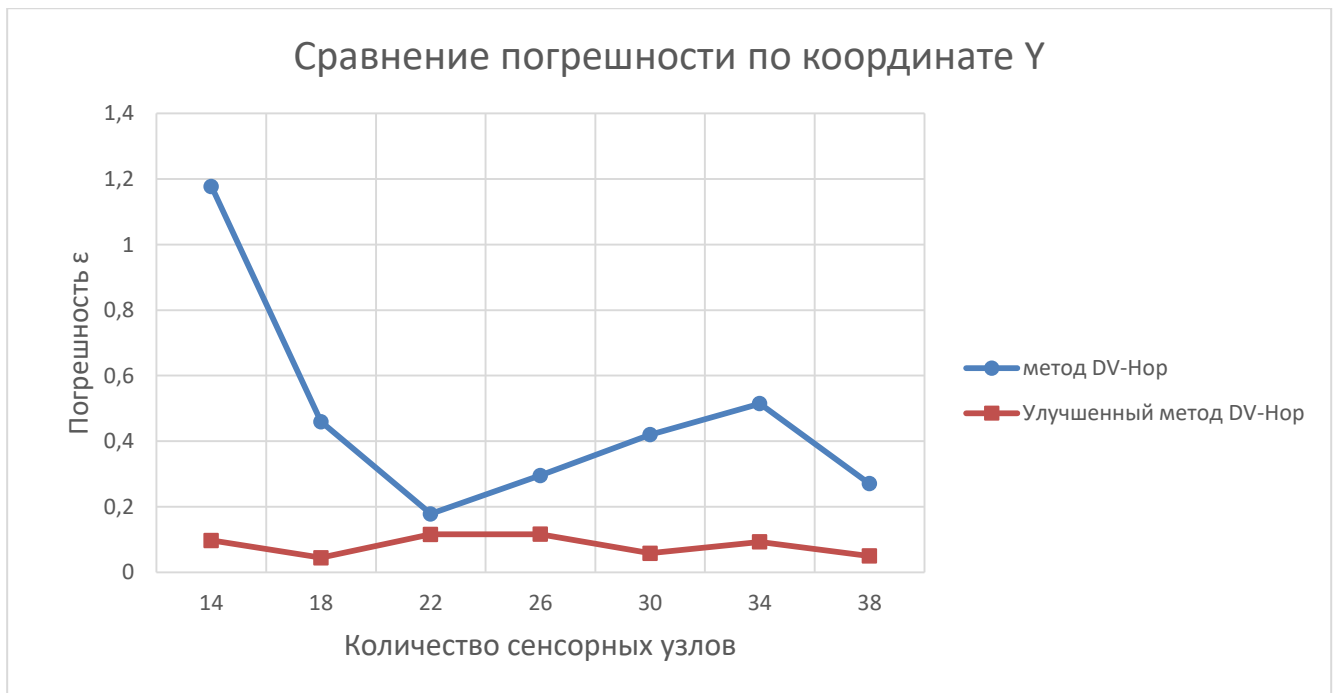


Рисунок 17 - Сравнение погрешности локализации неизвестного узла по координате Y

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Магистерская диссертация включает в себя разработку программного обеспечения для улучшения точности локализации узлов в беспроводной сенсорной сети (БСС). Узлы БСС содержат датчики физических величин. Эти узлы обычно развертываются в массовом порядке и должны быть недорогими. Целями раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» являются комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы.

Для достижения данных целей необходимо выполнить следующие задачи:

- 1 описание структуры работ в рамках научного исследования; определение трудоемкости выполнения работ; разработка графика проведения научного исследования; расчет бюджета научно-технического исследования;
- 2 определение интегрального финансового показателя, интегрального показателя ресурсоэффективности и сравнительной эффективности проекта.

4.1 Организация и планирование ОКР (НИР) работ

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования; -
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для реализации проекта необходимы исполнители в лице научного руководителя и инженера. Перечень этапов, работ и исполнителей приведен в таблице 6.

Таблица 6 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

| Основные этапы | № работы | Содержание работы | Должность исполнителя, загрузка (занятость) |
|--|----------|---|---|
| Постановка задачи | 1 | Подбор и изучение материалов по теме, определение целей, преследуемых разработчиками | НР – 100 % |
| Разработка технического задания - ТЗ | 2 | Составление и утверждение технического задания | НР – 100 %, И – 10 % |
| Теоретические исследования | 3 | Календарное планирование по теме | НР – 100 %, И – 20 % |
| | 4 | Выбор способа решения задач | И – 100 % |
| | 5 | Разработка примерной математической модели | И – 100 % |
| Экспериментальные исследования | 6 | Создание математической части ВКР | И – 100 % |
| | 7 | Создание программной части ВКР | И – 100 % |
| | 8 | Проведение эксперимента | И – 100 % |
| | 9 | Сопоставление результатов | И – 100 % |
| | 10 | Оценка полученных результатов | НР – 100 %, И – 100 % |
| Проведение ОКР | | | |
| Разработка технической документации и проектирование | 11 | Проведение технико-экономических расчетов и оценка безопасности и экологичности проекта | И-100 % |
| Примечание – НР- научный руководитель, И- инженер | | | |

4.1.1 Определение продолжительности этапов работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Для определения ожидаемого значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется формула (47):

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (47)$$

где $t_{ожі}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (48)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

4.1.2 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобной и наглядной формой представления графика проведения работ является ленточный график в форме диаграммы Ганта. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться формулой (49):

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (49)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -ой работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - (T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}})} = \frac{365}{365 - 66} = 1,22, \quad (50)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Полученные данные сведены в таблицу 7.

Таблица 7 – Временные показатели проведения научного исследования.

| Название работы | Трудоемкость работы | | | | | | Длительно сть работы в рабочих днях, T_{pi} | | Длительность работы в календарных днях, T_{ki} | |
|---|----------------------------|---|----------------------------|---|------------------------|-----|--|-----|---|-------|
| | t_{min} , чел- дни | | t_{max} , чел- дни | | $t_{ож}$, чел- дни | | НР | И | НР | И |
| | НР | И | НР | И | НР | И | | | | |
| Подбор и изучение материал в по теме, определение целей, преследуемых разработчиком | 1 | | 4 | | | | 2,2 | | 2,684 | |
| Составление и утверждение технического задания | 3 | 3 | 5 | 5 | 3,8 | 3,8 | 1,9 | 3 | 2,318 | 3,66 |
| Календарное планирование работы по теме | 1 | 1 | 3 | 3 | 1,8 | 1,8 | 0,9 | 0,9 | 1,098 | 1,098 |
| Выбор способа решения задач | | 2 | | 4 | | 2,8 | | 2,8 | | 3,416 |
| Разработка математической модели | | 4 | | 8 | | 5,6 | | 5,6 | | 6,832 |
| Создание математической части ВКР | | 2 | | 4 | | 2,8 | | 2,8 | | 3,416 |
| Создание программной части | | 1 | | 6 | | 3 | | 3 | | 3,66 |

| Название работы | Трудоемкость работы | | | | | | Длительность работы в рабочих днях, T_{pi} | | Длительность работы в календарных днях, T_{ki} | |
|---|---------------------|---|---------------------|----|--------------------|------|--|------|--|--------|
| | t_{min} , чел-дни | | t_{max} , чел-дни | | $t_{ож}$, чел-дни | | | | | |
| | НР | И | НР | И | НР | И | НР | И | НР | И |
| ВКР | | | | | | | | | | |
| Проведение эксперимента | | 5 | | 10 | | 7 | | 7 | | 8,54 |
| Сопоставление результатов | 2 | 2 | 5 | 5 | 3,2 | 3,2 | 1,6 | 1,6 | 1,952 | 1,952 |
| Оценка полученных результатов | 3 | | 6 | | 4,2 | | 4,2 | | 5,124 | |
| Проведение технико-экономических расчетов и оценка безопасности и экологичности проекта | | 4 | | 8 | | 5,6 | | 5,6 | | 6,832 |
| Итого | | | | | 13 | 35,6 | 10,8 | 32,3 | 13,176 | 39,406 |

4.1.3 Разработка графика проведения научного исследования

На основе полученной таблицы строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ с разбивкой по месяцам и декадам. График работ приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Календарный план-график выполнения проекта

| № | Содержание работы | Исполнитель | T _{кi} , кал.дн | Продолжительность выполнения работ | | | | | | | | | | | |
|---|---|-------------|-----------------------------|------------------------------------|---|---|--------|---|---|-----|---|---|------|---|---|
| | | | | март | | | апрель | | | май | | | июнь | | |
| | | | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 1 | Подбор и изучение материал в по теме, определение целей, преследуемых разработчиком | НР | 2,684 | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Составление и утверждение технического задания | НР,И | 5,978 | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Календарное планирование работы по теме | НР, И | 2,196 | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Выбор способа решения задач | И | 3,416 | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Разработка математической модели | И | 6,832 | | | | | | | | | | | | |
| 6 | Создание математической части ВКР | И | 3,416 | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Создание программной части ВКР | И | 3,66 | | | | | | | | | | | | |

| № | Содержание работы | Исполнитель | Т _{кi} , кал.дн | Продолжительность выполнения работ | | | | | | | | | | | |
|----|---|-------------|-----------------------------|------------------------------------|---|---|--------|---|---|-----|---|---|------|---|---|
| | | | | март | | | апрель | | | май | | | июнь | | |
| | | | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 8 | Проведение эксперимента | И | 8,54 | | | | | | ■ | | | | | | |
| 9 | Сопоставление результатов | НР, И | 3,904 | | | | | | ■ | | | | | | |
| 10 | Оценка полученных результатов | НР | 5,124 | | | | | | | ■ | | | | | |
| 11 | Проведение технико-экономических расчетов и оценка безопасности и экологичности проекта | И | 6,832 | | | | | | | | | ■ | | | |

4.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;

- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

4.2.1 Расчет затрат на материалы

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (51)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования;

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов;

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах (15 – 25) % от стоимости материалов.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, приведены в таблице 9.

Таблица 9 - Материальные затраты

| Наименование | Кол-во, шт. | | Цена за ед., руб. | | Затраты на материалы, (Зм), руб. | |
|-------------------------|-------------|---|-------------------|--------|----------------------------------|--------|
| | | | Исп. 1 | Исп. 2 | Исп. 1 | Исп. 2 |
| Заправка картриджа | 1 | 1 | 300 | 500 | 300 | 500 |
| Пачка бумаги формата А4 | 1 | 1 | 260 | 600 | 260 | 600 |

| Наименование | Кол-во, шт. | Цена за ед., руб. | | Затраты на материалы, (Зм), руб. | |
|--------------|----------------|-------------------|--------|-------------------------------------|-------------|
| | | Исп. 1 | Исп. 2 | Исп. 1 | Исп. 2 |
| Итого | | | | 560 | 1100 |

Необходимо учитывать, что данное оборудование в дальнейшем будет использоваться в других проектах. В данном проекте использовалось исполнение 1.

4.2.2 Расчет заработной платы

Под основной заработной платой понимаем заработную плату руководителя и инженера. Размер основной заработной платы устанавливается, исходя из численности исполнителей, трудоемкости и средней заработной платы за один рабочий день. Месячный оклад руководителя составляет 33664 руб., инженера – 7 130 руб.

Среднедневная тарифная заработная плата (ЗП_{дн-т}) рассчитывается по формуле 52:

$$ЗП_{дн-т-б} = MO/25,083 \quad (52)$$

Соответственно дневной оклад руководителя равен 1342,10 руб., а инженера – 284,26 руб.

Расчеты затрат на основную заработную плату приведены в таблице 5. При расчете учитывалось, что в году 249 рабочих дней и, следовательно, в месяце 25,083 рабочий день, а затраты времени на выполнение работы по каждому исполнителю брались из таблицы 5. Коэффициент, учитывающий коэффициент по премиям $K_{пр} = 1,1$, районный коэффициент $K_{рк} = 1,3$ $K_{доп.ЗП} = 1,188$.

Таблица 10 – Затраты на основную заработную плату

| Исполнители | Оклад, руб./ мес. | Среднедневная ставка, руб./раб. день | Затраты времени, раб. дни | Коэффициент | Фонд з/пл, руб. |
|-------------|-------------------------|--|---------------------------------|-------------|--------------------|
| НР | 33664 | 1342,10 | 10,80 | 1,699 | 24626,46 |

| | | | | | |
|-------|----------|--------|-------|-------|----------|
| И | 7130 | 284,26 | 32,30 | 1,699 | 15599,54 |
| Итого | 40225,99 | | | | |

Основная заработная плата $C_{\text{осн}}$ будет равна 40225,99 руб.

4.2.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты по этой статье составляют отчисления по единому социальному налогу (ЕСН).

Отчисления от заработной платы определяются по формуле 53:

$$C_{\text{соцф}} = K_{\text{соцф}} \cdot C_{\text{осн}}, \quad (53)$$

где $K_{\text{соцф}}$ - коэффициент, учитывающий размер отчислений из заработной платы, он включает в себя:

- 1) отчисления в пенсионный фонд;
- 2) на социальное страхование;
- 3) на медицинское страхование,

и составляет 30% от затрат на заработную плату.

$$C_{\text{соцф}} = 0,30 \cdot 40225,99 = 12067,79 \text{ руб.}$$

4.2.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле 54:

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot Ц_{\text{э}} \quad (54)$$

где $P_{\text{об}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$Ц_{\text{э}}$ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{об}}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ $\text{Ц}_э = 6,59$ руб./кВт·час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 5 для инженера ($T_{\text{РД}}$) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{\text{об}} = T_{\text{РД}} \cdot K_t, \quad (55)$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{\text{РД}}$, определяется исполнителем самостоятельно.

В ряде случаев возможно определение $t_{\text{об}}$ путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{ОБ}} = P_{\text{НОМ.}} \cdot K_C \quad (56)$$

где $P_{\text{НОМ.}}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_C \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности $K_C = 1$.

Расчет затраты на электроэнергию приведен в таблице 11.

Таблица 11 – Расчет затрат

| Наименование оборудования | Время работы оборудования $t_{\text{ОБ}}$, час | Потребляемая мощность $P_{\text{ОБ}}$, кВт | Затраты $\text{Э}_{\text{ОБ}}$, руб. |
|---------------------------|---|---|---------------------------------------|
| Персональный компьютер | 256,24 | 0,3 | 506,59 |
| Струйный принтер | 5 | 0,1 | 3,30 |
| Итого: | | | 509,89 |

4.2.5 Расчет амортизационных расходов

В пункте амортизационные отчисления от используемого оборудования рассчитывается амортизация за время выполнения работы для оборудования, которое имеется в наличии.

Амортизационные отчисления рассчитываются на время использования ПК по формуле 57:

$$C_{AM} = \frac{N_a * C_{об} * t_{рф} * n}{F_d}, \quad (57)$$

где N_a - годовая норма амортизации, $N_a = 0,4$;

$C_{об}$ - цена оборудования, $C_{об} = 35000$ руб.;

F_d - действительный годовой фонд рабочего времени, $F_d = 1992$ часа;

$t_{рм}$ - время работы ВТ при создании программного продукта, $t_{рм} = 256,24$ часов.

n – число задействованных ПК, $n = 1$.

$$C_{ам} = (0,4 * 35\ 000 * 256,24) / 1992 = 1800,88 \text{ руб.}$$

4.2.6 Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе платежных (расчетных) документов (кроме суточных)

Сюда относятся:

- командировочные расходы, в т.ч. расходы по оплате суточных, транспортные расходы, компенсация стоимости жилья;
- арендная плата за пользование имуществом;
- оплата услуг связи;
- услуги сторонних организаций.

При выполнении ВКР не было дополнительных расходов по данному пункту.

4.2.7 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$C_{\text{проч}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{з/п}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{нп}}) \cdot 0,1$$

Для нашего примера это

$$\begin{aligned} C_{\text{проч}} &= (560 + 40225,99 + 12067,79 + 509,89 + 1800,88 + 0) \cdot 0,1 = \\ &= 5516,46 \text{ руб.} \end{aligned}$$

4.2.8 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость ВКР.

Таблица 12 - Смета затрат на разработку проекта

| Статья затрат | Условное обозначение | Сумма, руб. |
|-------------------------------------|----------------------|-----------------|
| Материалы и покупные изделия | $C_{\text{мат}}$ | 560 |
| Основная заработная плата | $C_{\text{зп}}$ | 40225,99 |
| Отчисления в социальные фонды | $C_{\text{соц}}$ | 12067,79 |
| Расходы на электроэнергию | $C_{\text{эл.}}$ | 509,89 |
| Амортизационные отчисления | $C_{\text{ам}}$ | 1800,88 |
| Непосредственно учитываемые расходы | $C_{\text{нр}}$ | 0 |
| Прочие расходы | $C_{\text{проч}}$ | 5516,46 |
| Итого: | | 60681,01 |

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 60681,01$ руб.

4.2.9 Расчет прибыли

Прибыль от реализации проекта в зависимости от конкретной ситуации может определяться различными способами. Если исполнитель работы не располагает данными для применения «сложных» методов, то прибыль следует принять в размере от 5 до 20 % от полной себестоимости проекта. Она составляет **6068,101**руб. (10 %) от расходов на разработку проекта.

4.2.10 Расчет НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли. В нашем случае это $(60681,01 + 6068,101) * 0,2 = 13349,82$ руб.

4.2.11 Цена разработки ОКР (НИР)

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС, в нашем случае:
 $Ц_{ОКР(НИР)(КР)} = 60681,01 + 6068,101 + 13349,82 = 80098,93$ руб.

4.3 Оценка экономической эффективности проекта

Актуальным аспектом качества выполненного проекта является экономическая эффективность его реализации, которая выражается в соотношении обусловленного ею экономического результата и затрат на разработку проекта. В рассматриваемой ситуации оценивается экономическая эффективность инвестиций, то есть вложений денежных средств в проект с целью получения определенного экономического эффекта в будущем.

Цель проекта состоит в улучшение локализации узлов в БСС.

Таким образом, оценка экономической эффективности данного проекта некорректна, так как на данном этапе разработки не определена сфера применения данного проекта, также не до конца определены средства, которые должны использоваться для реализации проекта

5 Социальная ответственность

В данном разделе рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места и условий, в которых будет реализовываться разработка системы повышения точности локализации узлов беспроводной сенсорной сети (БСС).

В дальнейшем, разработку, полученную в ходе написания данной магистерской диссертации, будет использовать инженер-метролог. Рабочее место представляет собой компьютерный стол с персональным компьютером (ПК) в лаборатории. Работа производится сидя, при небольшом физическом напряжении.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Государственный надзор и контроль за соблюдением трудового законодательства в организациях независимо от организационно-правовых форм и форм собственности осуществляют специально уполномоченные на то государственные органы и инспекции в соответствии с федеральными законами. Согласно трудовому кодексу РФ:

- продолжительность рабочего дня не должна превышать 40 часов в неделю;
- во время регламентированных перерывов целесообразно выполнять комплексы упражнений и осуществлять проветривание помещения [14].

Существуют также специализированные органы, осуществляющие государственный контроль и надзор в организациях на предмет соблюдения существующих правил и норм.

К таким органам относятся:

- Федеральная инспекция труда;
- Государственная экспертиза условий труда Федеральной службы

по труду и занятости населения;

– Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека и др.

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Рабочее место представляет собой помещение со столом с персональным компьютером. Рабочее место для выполнения работ сидя организуют при легкой работе, не требующей свободного передвижения работающего, а также при работе средней тяжести в случаях, обусловленных особенностями технологического процесса.

Конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов (сиденье, органы управления, средства отображения информации и т.д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы [15].

Для создания зрительного комфорта имеется возможность настройки четкости, контрастности и яркости на экране монитора. Высота рабочей поверхности рекомендуется в пределах 680 – 760 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм.

Рекомендуемая высота сиденья над уровнем пола должна быть в пределах 420 – 550 мм. Поверхность сиденья рекомендуется делать мягкой, передний край закругленным, а угол наклона спинки рабочего кресла – регулируемым.

Пример рабочего места приведен на рисунке 18.

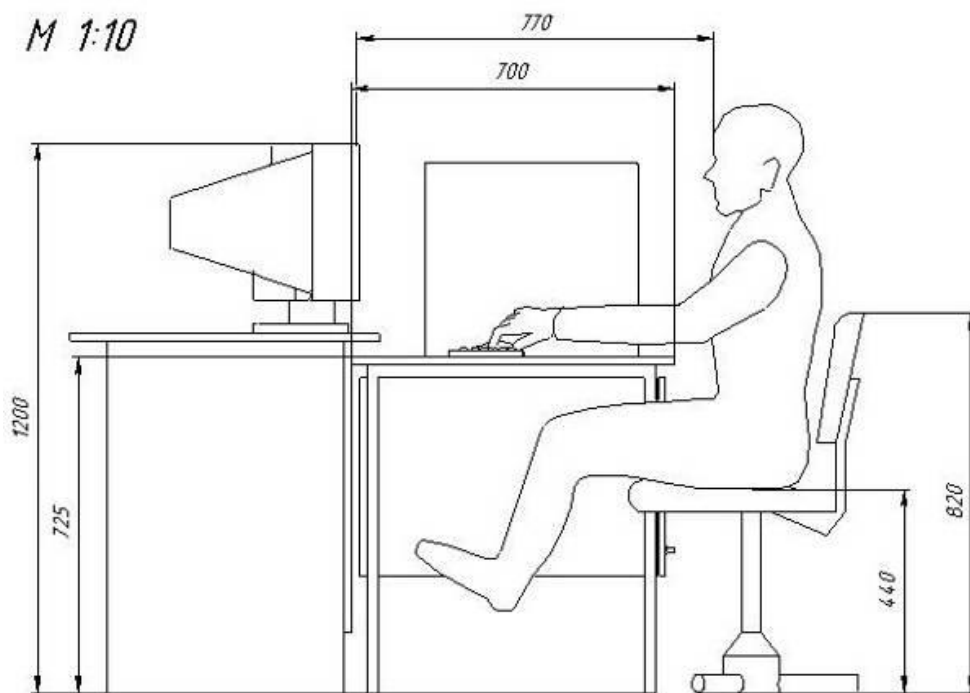


Рисунок 18 – Рабочее место

Очень часто используемые средства отображения информации, требующие точного и быстрого считывания показаний, следует располагать в вертикальной плоскости под углом $\pm 15^\circ$ от нормальной линии взгляда и в горизонтальной плоскости под углом $\pm 15^\circ$ от сагиттальной плоскости, рисунки 19 и 20.

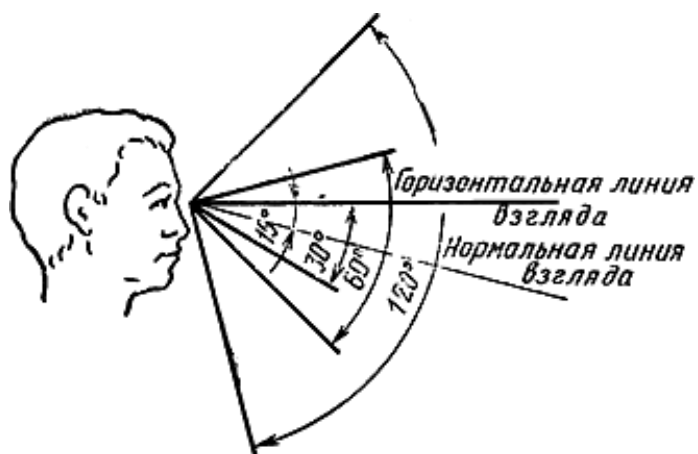


Рисунок 19 – Зоны зрительного наблюдения в вертикальной плоскости

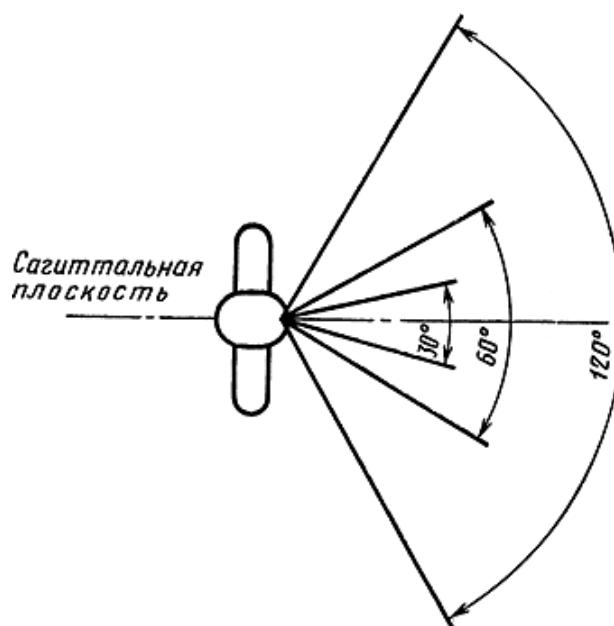


Рисунок 20 – Зоны зрительного наблюдения в горизонтальной плоскости

5.2 Производственная безопасность

Перечень опасных и вредных факторов, характерных для работы с системой повышения точности локализации узлов беспроводной сенсорной сети представлен в таблице 13 согласно ГОСТ 12.0.003 [16].

Таблица 13 – Возможные опасные и вредные факторы

| Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015) | Этапы работ | | | Нормативные документы |
|--|----------------|------------------|------------------|--|
| | Разрабо тка | Изготов ление | Эксплуа тация | |
| 1 Превышение уровня электромагнитных излучений | | + | + | Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) [14]; ГОСТ 12.2.032-78 [15]; ГОСТ 12.0.003-2015 [16]; СанПиН 2.2.4.3359-16 [17]; СП 52.13330.2016 [18]; ГОСТ 12.1.003-2014 [20]; СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [21]; СанПиН 2.2.4.548-96 [22]; ГОСТ 12.1.004-91 [23]. |
| 2 Недостаточная освещенность рабочей зоны | + | + | + | |
| 3 Превышение уровня шума | | + | + | |
| 4 Отклонение показателей микроклимата | + | + | + | |

5.2.1 Превышение уровня электромагнитных излучений

Источником повышенной напряженности электромагнитного поля в данном случае могут являться персональный компьютер.

Длительное воздействие электромагнитных полей промышленной частоты (50 Гц) приводит к расстройствам в головном мозге и центральной нервной системе. У человека могут наблюдаться головная боль в височной и затылочной областях, вялость, ухудшение памяти, боли в области сердца, угнетенное настроение, апатия, своеобразная депрессия с повышенной чувствительностью к яркому свету и интенсивному звуку, расстройство сна, сердечно-сосудистой системы, органов пищеварения, дыхания, повышенная раздражительность. Могут наблюдаться функциональные нарушения в центральной нервной системе, а также изменения в составе крови.

Воздействие постоянного магнитного поля (ПМП) и с частотой 50 Гц на человека проявляется в индуцировании в теле человека вихревых токов. При длительном систематическом воздействии могут возникнуть изменения функционального состояния нервной системы, иммунной системы и сердечно-сосудистой системы. Длительное воздействие ЭМП промышленной частоты может спровоцировать онкологические заболевания.

В соответствии с СанПиН 2.2.4.3359 предельно допустимые уровни электромагнитных полей на рабочих местах пользователей персональными компьютерами (ПК) и другими средствами информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) представлены в таблице 14 [17].

Для уменьшения уровня электромагнитного поля от персонального компьютера рекомендуется включать в одну розетку не более двух компьютеров, сделать защитное заземление, подключать компьютер к розетке через нейтрализатор электрического поля.

Таблица 14 – ПДУ электромагнитных полей на рабочих местах пользователей ПК и другими средствами ИКТ

| Наименование параметров | | ВДУ |
|--|---------------------------------|---------|
| Напряженность электрического поля | в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц | 25 В/м |
| | в диапазоне частот 2 – 400 кГц | 2,5 В/м |
| Плотность магнитного потока | в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц | 250 нТл |
| | в диапазоне частот 2 – 400 кГц | 25 нТл |
| Напряженность электростатического поля | | 15 кВ/м |

К средствам индивидуальной защиты при работе на компьютере относят спектральные компьютерные очки для улучшения качества изображения, защиты от избыточных энергетических потоков видимого света и для профилактики «компьютерного зрительного синдрома». Очки уменьшают утомляемость глаз на (25 – 30) %. Их рекомендуется применять всем операторам при работе более 2 ч в день, а при нарушении зрения на 2 диоптрии и более – независимо от продолжительности работы.

5.2.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Выполнение зрительной работы при недостаточной освещенности рабочего места может привести к развитию некоторых дефектов глаз: близорукость и дальнозоркость.

В помещении, где проводятся работы применяется совместное освещение. Основной источник освещения – 4 потолочных светильников, в каждом по две люминесцентные лампы типа лампы ЛБ-80 с мощностью 80 Вт.

К производственному освещению независимо от источника света предъявляются следующие требования:

- достаточная освещенность, т. е. освещенность объекта должна обеспечить комфортные условия для общей работоспособности;
- равномерность освещения, т. е. освещенность должна быть равномерной во времени и пространстве;

– отсутствие блескости в поле зрения работающих.

Согласно СП 52.13330.2016 нормы на освещение для исследователя берутся для производственных помещений. Эти нормы сведены в таблицу 15 [18].

Таблица 15 - Нормы на освещение.

| Характеристика зрительной работы | Высокой точности |
|--|------------------|
| Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм | От 0,3 до 0,5 |
| Разряд зрительной работы | III |
| Подразряд зрительной работы | Г |
| Контраст объекта с фоном | Средний |
| Характеристика фона | Светлый |
| Освещенность при системе комбинированного освещения, лк: | |
| всего | 400 |
| в том числе искусственный свет | 200 |
| Сочетание нормируемых величин объединенного показателя дискомфорта UGR и коэффициента пульсации: | |
| UGR | 25 |
| K _п , % | 15 |
| КЕО, e _н , % при комбинированном освещении | 3,0 |

Расчет системы искусственного освещения проводится для прямоугольного помещения, где проводится основная работа по выполнению лабораторных работ, размерами: длина А = 6 метров, ширина В = 5 метров, высота Н = 3 метра, длина светильника равна 1,5 метра.

Согласно отраслевым нормам освещенности высота рабочей поверхности составляет 0,8 метров и установлена минимальная норма освещенности E = 400 Лк.

Световой поток Ф определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E_n * S * K_3 * Z}{N * \eta}, \quad (58)$$

где E_н - нормируемая минимальная освещенность по СП 52.13330.2016, Лк;

S - площадь освещаемого помещения, м²;

Кз - коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника;

Z - коэффициент неравномерности освещения;

N - число ламп в помещении, в нашем случае 8;

η - коэффициент использования светового потока.

Коэффициент использования светового потока показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность. Он зависит от индекса помещения i , типа светильника, высоты светильников над рабочей поверхностью h и коэффициентов отражения стен ($\rho_{ст}$), потолка (ρ_n) и пол ($\rho_п$).

Индекс помещения определяется по формуле 59:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A+B)} \quad (59)$$

Произведем расчеты:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A+B)} = \frac{6 \cdot 5}{(3-0,8) \cdot (6+5)} = 1,24.$$

Из таблицы примем значение i равное 1,25, которое близко к 1,24.

Экономичность осветительной установки выражается следующей формулой 60:

$$l = \frac{L}{h}, \quad (60)$$

где L – расстояние между рядами светильников, м.

Принимая $l = 1,4$ для люминесцентных светильников без защитной решетки типа ОД, ОДО, получим:

$$L = 1,4 \cdot 2,2 = 3,08 \text{ м.}$$

Расстояние от крайнего ряда светильников до стены:

$$L/3 = 1,03 \text{ м.}$$

Так как стены и потолок являются побеленными, окна без штор, следовательно, коэффициент отражения поверхности стен $\rho_{ст} = 50\%$, а коэффициент отражения поверхности потолка $\rho_n = 70\%$, пол $\rho_п = 30\%$ [19].

Коэффициент η имеет значения 0,49 [19].

Таким образом, подставив полученные значения в формулу (58), получаем значение светового потока для одного источника света:

$$\Phi = \frac{400 * 30 * 1,5 * 1,25}{8 * 0,49} = 5739,80 \text{ Лм}$$

В кабинете установлены лампы ЛБ-80 со световым потоком Φ_k 5220 Лм.

Выразим E из формулы (58):

$$E_n = \frac{\Phi * N * \eta}{S * K_3 * Z} = \frac{5220 * 8 * 0,48}{30 * 1,1 * 1,25} = 485,93 \text{ Лк}$$

Результаты показывают, что минимальная освещенность находится в пределах нормы.

Делаем проверку выполнения условия:

$$0,9 \leq \frac{\Phi}{\Phi_k} \leq 1,2 \quad (61)$$

Получаем

$$0,9 \leq 1,1 \leq 1,2$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки

$$P = 8 * 80 = 640 \text{ Вт.}$$

В соответствии с размерами комнаты, план размещения светильников приведен на рисунке 21.

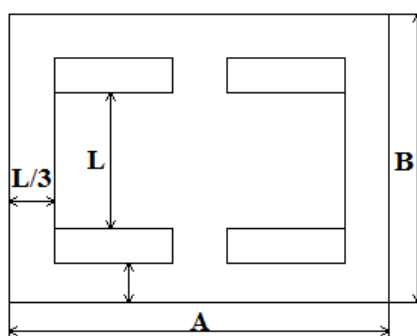


Рисунок 21– План размещения светильников.

5.2.3 Превышение уровня шума

Шум на рабочем месте оказывает раздражающее влияние на работника, повышает его утомляемость, а при выполнении задач, требующих внимания и сосредоточенности, способен привести к росту ошибок и увеличению

продолжительности выполнения задания. Длительное воздействие шума влечет тугоухость работника вплоть до его полной глухоты. В данном случае источниками шума могут быть персональный компьютер и шум с улицы.

Внезапные шумы высокой интенсивности, даже кратковременные (взрывы, удары и т.п.), могут вызвать как острые нейросенсорные эффекты (головокружение, звон в ушах, снижение слуха), так и физические повреждения (разрыв барабанной перепонки с кровотечением, поражения среднего уха и улитки) [20].

Предельно допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука для рабочих мест в лаборатории и производственном помещении, разработанные с учетом категорий тяжести и напряженности труда, представлены в таблице 16 в соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [21].

Таблица 16 – Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука

| Вид трудовой деятельности, рабочее место | Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц | | | | | | | | | Уровни звука и эквивален тные уровни звука (дБА) |
|--|--|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|---|
| | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Высококвалифицированная работа, требующая сосредоточенности, административно-управленческая деятельность, измерительные и аналитические работы в лаборатории; рабочие места в помещениях цехового управленческого аппарата, в рабочих комнатах конторских помещений, в лабораториях. | 93 | 79 | 70 | 68 | 58 | 55 | 52 | 52 | 49 | 60 |

| | | | | | | | | | | |
|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| <p>Работа, выполняемая с часто получаемыми указаниями и акустическими сигналами; работа, требующая постоянного слухового контроля; операторская работа по точному графику с инструкцией; диспетчерская работа. Рабочие места в помещениях диспетчерской службы, кабинетах и помещениях наблюдения и дистанционного управления с речевой связью по телефону; машинописных бюро, на участках точной сборки, на телефонных и телеграфных станциях, в помещениях мастеров, в залах обработки информации на вычислительных машинах.</p> | 96 | 83 | 74 | 68 | 63 | 60 | 57 | 55 | 54 | 65 |
|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|

Продолжение таблицы 16

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|--|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Работа, требующая сосредоточенности; работа с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами. Рабочие места за пультами в кабинах наблюдения и дистанционного управления без речевой связи по телефону, в помещениях лабораторий с шумным оборудованием, в помещениях для размещения шумных агрегатов вычислительных машин. | 103 | 91 | 83 | 77 | 73 | 70 | 68 | 66 | 64 | 75 |
| Выполнение всех видов работ (за исключением перечисленных выше) на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий. | 107 | 95 | 87 | 82 | 78 | 75 | 73 | 71 | 69 | 80 |

Для снижения уровня шума, производимого ПК рекомендуется регулярно проводить их техническое обслуживание: чистка от пыли, замена смазывающих веществ; также применяются звукопоглощающие материалы. Для снижения уровня шума с улицы рекомендуется установка герметичных стеклопакетов.

5.2.4 Отклонение показателей микроклимата

Оптимальные микроклиматические условия установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека. Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8- часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах.

Оптимальные величины показателей микроклимата необходимо соблюдать на рабочих местах производственных помещений, на которых выполняются работы операторского типа, связанные с нервно-эмоциональным напряжением (в кабинах, на пультах и постах управления технологическими процессами, в залах вычислительной техники и др.) [21].

В соответствии с СанПиН 2.2.4.548-96 оптимальные величины параметров микроклимата на рабочих местах применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года приведены в таблице 17 [22].

Таблица 17 - Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

| Период года | Категория работ по уровню энергозатрат, Вт | Температура воздуха, °С | Температура поверхностей, °С | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, м/с |
|-------------|--|-------------------------|------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Холодный | Ia (до 139) | 22 – 24 | 21 – 25 | 40 – 60 | 0,1 |
| Теплый | Ia (до 139) | 23 – 25 | 22 – 26 | 40 – 60 | 0,1 |

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 5 применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года. Помещение, где проводилась разработка системы соответствует оптимальным нормам параметров микроклимата.

Отклонение параметров микроклимата от нормативных значений существенно влияет на здоровье и производительность труда. Высокая температура вызывает интенсивное потоотделение, что приводит к обезвоживанию организма, потере минеральных солей и водорастворимых витаминов С, В1, В2.

Таблица 18 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

| Период года | Категория работ по уровню энергозатрат, Вт | Температура воздуха, °С | | Температура поверхностей, °С | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, м/с | |
|-------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|---|---|
| | | диапазон ниже оптимальных величин | диапазон выше оптимальных величин | | | для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более | для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более |
| Холодный | Ia (до 139) | 20,0 – 21,9 | 24,1 – 25,0 | 19 – 26 | 15 – 75 | 0,1 | 0,1 |
| Теплый | Ia (до 139) | 21,0 – 22,9 | 25,1 – 28,0 | 20 – 29 | 15 – 75 | 0,1 | 0,2 |

Низкая температура может быть причиной охлаждения и переохлаждения организма человека. При охлаждении организма в нем рефлекторно уменьшается теплоотдача и усиливается теплообразование за счет интенсивности окислительных обменных процессов. Компенсация теплопотерь происходит до тех пор, пока запасы энергии не иссякнут. Мышечная дрожь – это попытка организма за счет микродвижений выработать дополнительное тепло и ускорить движение крови. Она может быть такой сильной, что приведет к повреждению мышц.

5.3 Экологическая безопасность

Так как основным объектом исследования данной работы являются электрические приборы, серьезной проблемой является электропотребление. Это влечет за собой общий рост объема потребляемой электроэнергии. Для удовлетворения потребности в электроэнергии, приходится увеличивать мощность и количество электростанций. Это приводит к нарушению экологической обстановки, так как электростанции в своей деятельности используют различные

виды топлива, водные ресурсы, а также являются источником вредных выбросов в атмосферу.

На данный момент во многих странах используются альтернативные источники энергии (солнечные батареи, энергия ветра). Еще одним способом решения данной проблемы является использование энергосберегающих систем. В лаборатории не ведется никакого производства. К отходам, производимым в помещении можно отнести сточные воды и бытовой мусор.

Сточные воды здания относятся к бытовым сточным водам. За их очистку отвечает городской водоканал.

Основной вид мусора – это отходы печати, бытовой, коробки от техники, использованная бумага. Утилизация отходов печати вместе с бытовым мусором происходит в обычном порядке.

Утилизация электрических приборов осуществляется сотрудниками университета и предусматривает следующие пункты:

- 1 правильное заполнение акта списания с указанием факта невозможности дальнейшей эксплуатации;
- 2 осуществление списания перечисленной в акте измерительной техники с баланса предприятия с указанием в бухгалтерском отчете;
- 3 непосредственно утилизация техники с полным демонтажем устройств на составляющие детали с последующей сортировкой по видам материалов и их дальнейшей передачей на перерабатывающие заводы.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайными ситуациями в рассматриваемых помещениях могут быть пожары. Требования по пожарной безопасности устанавливаются ГОСТ 12.1.004-91 [22].

С ростом энергооснащенности производства в значительной степени увеличивается опасность пожара. Короткое замыкание, перегрузка, большие переходные сопротивления, взрывы колб и ламп накаливания, замыкания

фазных проводов на заземленные конструкции. Чаще всего причиной пожара становится короткое замыкание в электрических установках.

Здание учебного корпуса №10 ТПУ относится к категории Г (умеренная пожароопасность) по взрывопожарной и пожарной опасности и соответствует требованиям пожарной безопасности. В здании установлена система охранно-пожарной сигнализации, имеются в наличии порошковые огнетушители, а также установлен план эвакуации с указанием направлений к основному и запасному эвакуационным выходам.

На рисунке 22 представлен план эвакуации при возникновении пожара и других ЧС.



Рисунок 22 – План эвакуации

5.5 Выводы по разделу «Социальная ответственность»

Были рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места и условий, в которых будет реализовываться разработка системы повышения локализации узлов беспроводной сенсорной сети, в соответствии с нормами производственной санитарии, техники безопасности и охраны труда и окружающей среды [24]. Были проанализированы такие вредные производственные факторы, оказывающие негативное влияние на организм человека, как электромагнитное излучение, неоптимальный микроклимат помещения, недостаточность освещения, повышенный уровень шума

Также была рассчитана освещенность помещения, в котором проводилась основная работа над ВКР. В итоге установленные люминесцентные лампы ЛБ-80 имеют нормируемую минимальную освещенность равную 485,93 Лк, что соответствует нормам освещенности. Поэтому было установлено, что выбранное помещение является пригодным для выполнения работы и установленные лампы не будут вредит здоровью окружающих.

Заключение

В ходе выполнения магистерской диссертации:

- исследованы различные методы локализации узлов в беспроводной сенсорной сети;
- предложен метод повышения точности локализации узлов в беспроводной сенсорной сети на базе метода DV-Нор;
- разработана программное обеспечение для проведения вычислительных экспериментов и проверки работоспособности разработанного метода;
- проведены экспериментальные исследования и сравнительный анализ метода DV-Нор и разработанного метода;
- доказана работоспособность предложенного в работе метода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 A.Mesmoudi, M. Feham, N. Labraoui. Wireless sensor networks localization algorithms: a comprehensive survey. International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC) Vol.5, No.6, November 2013
- 2 S. Shahzadi, M. Iqbal, X. Wang. Localization techniques in wireless sensor networks. Conference: 9th International Conference on Software, Knowledge, Information Management and Applications (SKIMA), 2015, At Kathmandu, Nepal
- 3 E. Niewiadomska-Szynkiewicz and M. Marks, “Optimization schemes for wireless sensor network localization,” International Journal of Applied Mathematics and Computer Science, vol. 19, no. 2, pp. 291– 302, 2009.
- 4 M. Rudafshani and S. Datta, “Localization in wireless sensor networks,” in Information Processing in Sensor Networks, 2007. IPSN 2007. 6th International Symposium on, pp. 51–60, IEEE, 2007.
- 5 Q. Tao,L. Zhang. Enhancement of DV-Hop by weighted hop distance. International Journal of Future Generation Communication and Networking, 2016, 9(3): 155-166
- 6 «True range multilateration» [Электронный ресурс]. – https://en.wikipedia.org/wiki/True_range_multilateration – Загл. с экрана (дата обращения 01.04.2020 г.)
- 7 J.P. Sheu, P.C. Chen, and C.S. Hsu. A distributed localization scheme for wireless sensor networks with improved grid-scan and vector-based refinement, IEEE Transactions on Mobile Computing, 7(9)(2008), pp. 1110-1123.
- 8 J. Bachrach and C. Taylor, “Localization in sensor networks,” Handbook of sensor networks: Algorithms and Architectures, vol. 1, 2005.
- 9 G. Mao, Localization Algorithms and Strategies for Wireless Sensor Networks: Monitoring and Surveillance Techniques for Target Tracking: Monitoring and Surveillance Techniques for Target Tracking. IGI Global, 2009.
- 10 I. F. Akyildiz and M. C. Vuran, Wireless sensor networks, vol. 4. John Wiley & Sons, 2010.

11 M. Rudafshani and S. Datta, “Localization in wireless sensor networks,” in *Information Processing in Sensor Networks*, 2007. IPSN 2007. 6th International Symposium on, pp. 51–60, IEEE, 2007.

12 B. Stojkoska, I. Ivanoska, and D. Davcev, “Wireless sensor networks localization methods: Multidimensional scaling vs. semidefinite programming approach,” in *ICT Innovations 2009*, pp. 145–155, Springer, 2010.

13 H. Chen, K. Sezak, P. Deng, H. Cheung So. An Improved DV-Hop Localization Algorithm with Reduced Node Location Error for Wireless Sensor Networks. *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics Communications and Computer Sciences* · August 2008

14 «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ. [Электронный ресурс]. – http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/ – Загл. с экрана (дата обращения 09.05.2020 г.)

15 ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200003913>. – Загл. с экрана (дата обращения 09.05.2020 г.)

16 ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200136071>. – Загл. с экрана (дата обращения 09.05.2020 г.)

17 СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420362948/>. – Загл. с экрана (дата обращения 09.05.2020 г.)

18 СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*. [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/456054197>– Загл. с экрана (дата обращения xx.xx.2018 г.)

19 Кнорринг Г.М., Сидоров В.Н., Фадин И.М. Справочная книга для проектирования электрического освещения [Текст] / Кнорринг Г.М., Сидоров В.Н., Фадин И.М. – СПб: Энергоатомиздат, 1992. – С. 138- 143.

20 ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200118606>. – Загл. с экрана (дата обращения 09.05.2020 г.)

21 СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/901704046> – Загл. с экрана (дата обращения 09.05.2020 г.)

22 СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901704046/>. – Загл. с экрана (дата обращения 09.05.2020 г.)

23 ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/9051953/>. – Загл. с экрана (дата обращения 09.05.2020 г.)

24 Безопасность жизнедеятельности: практикум / Бородин Ю.В., Василевский М.В., Дашковский А.Г., Назаренко О.Б., Свиридов Ю.Ф., Чулков Н.А., Федорчук Ю.М. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. — 101 с.

Приложение А

(справочное)

Improving the accuracy of localization of nodes in a wireless sensor network

Студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|--------------|---------|------|
| 8ГМ81 | Генкель В.А. | | |

Руководитель ВКР

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------------|-----------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ОАР ИШИТР | Худоногова Л.И. | к.т.н. | | |

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--------------------------|----------------|---------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Пичугова И. Н. | | | |

1 Wireless sensor networks and localization methods

A wireless sensor network (WSN) consists of hundreds of small devices called sensors, which are limited in terms of memory, energy, and processing power. These sensors are used to determine the physical characteristics of the surrounding world, such as temperature, lighting, pollution, etc. The WSN is expected to provide a solution to a wide range of issues, such as monitoring, disaster relief, patient tracking, military targets, and automated systems. For these problems, location information is useful and even necessary. Indeed, without knowing the position of the sensory node, the data obtained have no value.

Sensor localization can be implemented in various ways. A simple solution is to equip each sensor node with a GPS receiver, which can accurately provide the sensor nodes with their exact position. However, adding GPS to all nodes in a wireless network is impractical due to the high cost, high power consumption and environmental limitations.

Self-localization is an alternative GPS solution in which sensor nodes can evaluate their position using various location detection protocols. These protocols have a common characteristic. Most of them use several special nodes called anchors, which are supposed to know their location (via manual tuning or GPS receivers). These anchor nodes (also called anchor nodes, starting values, links, or landmarks) provide message-shaped location information to common nodes, also known as blind nodes (also called unknown nodes or targets). Blind nodes can use the position information of several adjacent anchor nodes to evaluate their own positions [1].

Existing nodes location schemes are classified according to a number of criteria. The classification of localization methods is presented in Figure 1.

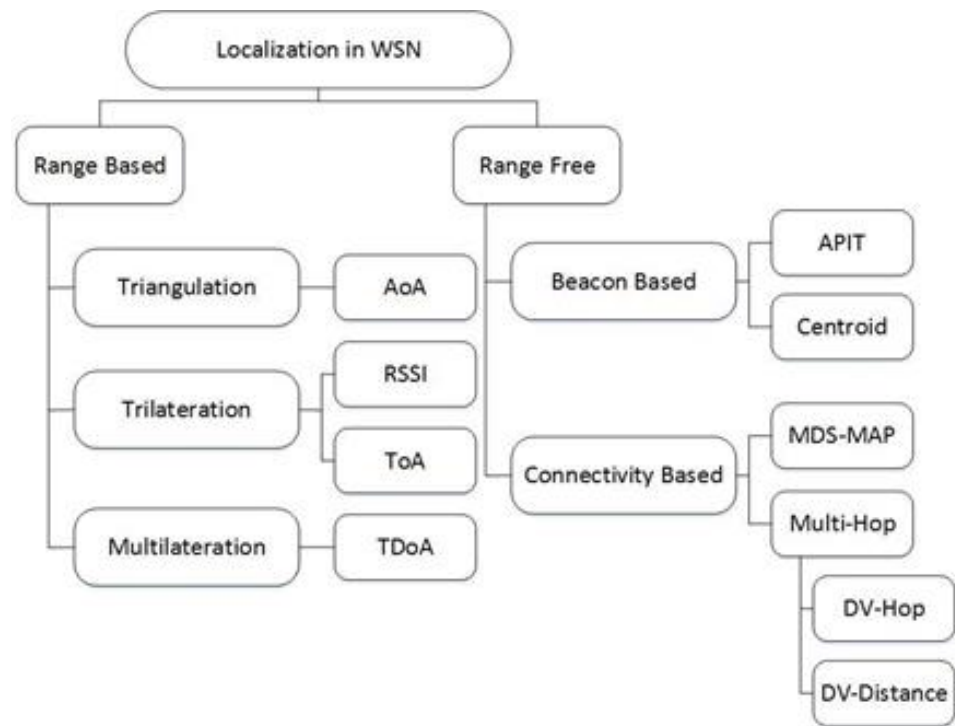


Figure 1. The classification of localization methods

1.1 Centralized and Distributed Technique

In centralized technique, all sensor nodes are directly connected to central node or base station whose location is known. Sensor nodes send control message to the base station where all the computation perform and determine the position of sensor node and transfer back to the nodes. Although this method resolve the memory constraint of sensor nodes because all computation is perform in main server but communication process consume more energy. Another drawback of centralized algorithm is that, it is not suitable for huge scale sensor networks due to bottle neck problem. While in distributed techniques, each node estimates its own location by using neighboring information [24]. It consumes less power compared to centralized technique because communication is performed between inter-sensor nodes but it requires more memory compared to centralized technique. The advantage of distributed technique is that, it is the most suitable for huge scale sensor networks because all computation is divided among sensor nodes. The following is a comparative Table 1.

Table 1. Comparison of the centralized and distributed methods

| № | Properties | Centralized method | Distributed method |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | Accuracy | H | M |
| 2 | Communication Cost | H | L |
| 3 | Computation Cost | H | M |
| 4 | Energy Consumption | H | H |
| 5 | Scalability | L | H |
| 6 | Error Propagation | L | H |
| 7 | Reliability | L | H |
| 8 | Delay | M | L |
| 9 | Network Bandwidth | H | L |
| H - High, M - Median, L - Low. | | | |

1.2 Schemes using the transmission range (Range-base) and without using the transmission range (Range-free)

According to the classification of distance measurement methods, localization algorithms can be divided into two main categories:

- schemes using the transmission range (Range-base);
- schemes without using the transmission range (Range-free).

Scheme using transmission range are based on the use of methods of distance measurement for the position estimation, and the scheme without using the transmission range, on the contrary, ignore the use of methods for the measurement range. There are also hybrid systems that combine various methods based on connectivity information and / or distance measurement methods.

Schemes with and without transmission range may or may not use anchor nodes, that is, based on anchor nodes (anchor nodes) or free of anchor nodes.

A promising method is to use a mobile anchor node instead of a static anchor node [3]. The mobile anchor node is aware of its position, moves in the sensor area,

and periodically transmits its current position to generate the number of virtual anchor nodes. Unknown sensor nodes evaluate their location by measuring geographical information (such as the distance to the node or the angle of signal direction) of virtual anchor nodes.

Methods based on the use of the transmission range estimate the location of the sensor node using measurements of the distance between objects and the angle of the signal direction. In these measurements, the techniques of triangulation, trilateration or multilateration were used. Although methods based on using the transmission range are more accurate, they require additional hardware, while algorithms without using the transmission range use connectivity information to estimate the location. This method is not very accurate, but it is cost-effective, since it does not require additional equipment [4].

1.3 Methods of triangulation, trilateration and multilateration

The triangulation method is a basic concept in algebraic topology. For example, the surface S , it can be divided into many parts that satisfy the following properties:

- each part is a triangle with curved edges;
- all triangles do not intersect in pairs or intersect only on a common edge.

A partition for S with the above two properties is called a triangulation of S . Obviously, any two triangles in the triangulation do not overlap. In addition, in this triangulation there is no triangle that has a vertex inside the edge of another triangle in the same triangulation.

Geometric triangulation scheme needs a minimum of three reference nodes. An unknown node is attached in the object which position will be sought, measures the arrival angle from the three reference nodes, as it is illustrated in Figure 2. First, the unknown node measures the angle between anchor node 1 and anchor node 2. It is called λ_{12} . Then the angle between the anchor node 1 and the anchor node 3 is measured and is called λ_{13} .

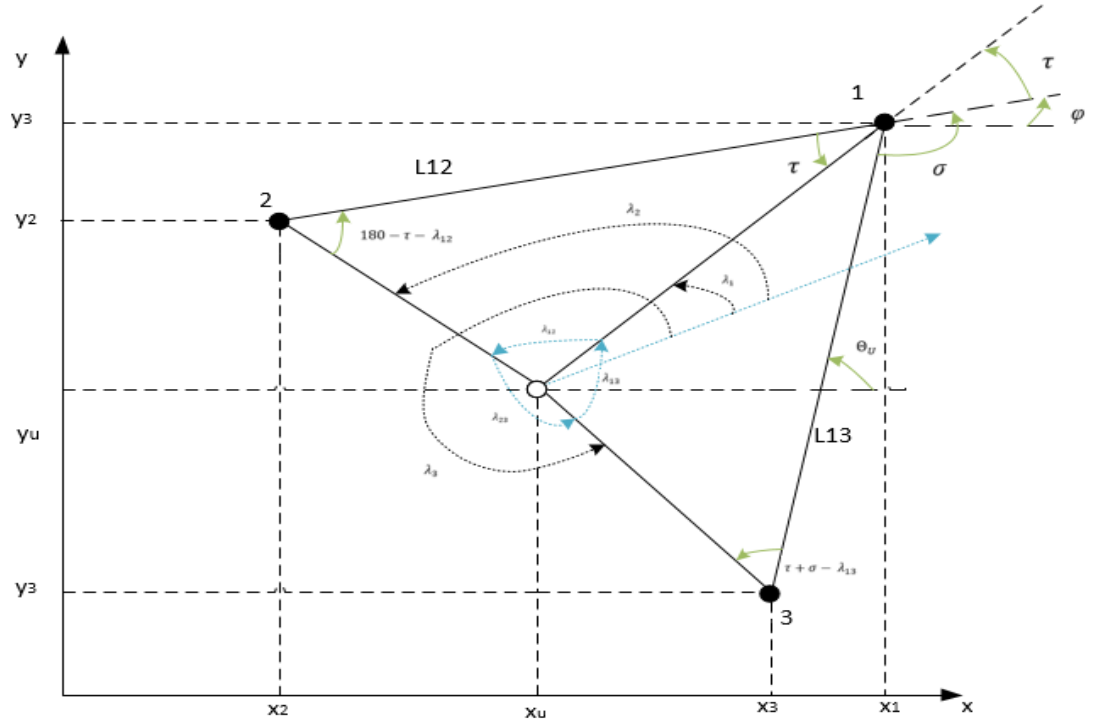


Figure 2. Illustration of the geometric scheme of triangulation

The calculation of the estimated position using geometric triangulation is described below.

Let us assume there are 3 reference nodes with known Cartesian coordinates $\{(x_1, y_1); (x_2, y_2); (x_3, y_3)\}$. L_{12} and L_{13} are the distances between reference node 1 to reference node 2, and between reference node 3 to reference node 1. The value could be obtained as (1):

$$L_{12} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

$$L_{13} = \sqrt{(x_1 - x_3)^2 + (y_1 - y_3)^2}. \quad (1)$$

L_1 is a distance between reference node 1 to unknown node. The distance is used to determine the estimated position of unknown node (x_u, y_u) . The tilt of orientation from horizontal axis is stated as θ_u .

These values, λ_1 , λ_2 и λ_3 are the angle from reference node 1, 2 and 3 toward orientation of unknown node, measured by unknown node.

Arrival angle between reference node 1 to reference node 3 and from reference node 1 to reference node 2 are calculated by formulas (2) and (3), respectively

$$\lambda_{13} = 360^\circ + (4 - \lambda_3), \quad (2)$$

$$\lambda_{12} = \lambda_2 - \lambda_1. \quad (3)$$

The value φ is the angle between positive x-axis and the extension line of reference node 2, which is across reference node 1. The angle is obtained from measurement.

The value σ is an angle which is formed of the intersection line from reference node 3 and the extension of reference node 2. This angle is measured from reference node 1.

The auxiliary equation γ which stated at (4) is the difference between σ and λ_{13}

$$\gamma = \sigma - \lambda_1. \quad (4)$$

The value p is the ratio of L_1^{12} the distance L_1 between reference node 1 and reference node 2, and L_1^{13} , the distance L_1 between reference node 1 and reference node 3. The ratio could be expressed as (5)

$$p = \frac{L_1^{13}}{L_1^{12}} = \frac{L_{13}/\sin(\lambda_3)}{L_{12}/\sin(\lambda_{12})} = \frac{L_1^{13} \cdot \sin(\lambda_{12})}{L_1^{12} \cdot \sin(\lambda_3)}. \quad (5)$$

Using triangle expression, the angle of τ becomes

$$\tau = \tan^{-1} \left[\frac{\sin(\lambda_2) - p \cdot \sin(\lambda)}{p \cdot \cos(\gamma) - \cos(\lambda_{12})} \right] = \tan^{-1} \left[\frac{\sin(\lambda_2) \cdot [L_{12} \cdot \sin(\lambda_{13}) - L_{31} \cdot \sin(\gamma)]}{L_{31} \cdot \sin(\lambda_2) \cos(\gamma) - L_{12} \cdot \sin(\lambda_{13}) \cos(\lambda_{12})} \right]. \quad (6)$$

The length of distance between reference node 1 towards unknown node, L_1 is calculated as (7)

$$L_1 = \frac{L_{12} \cdot \sin(\tau + \lambda_{12})}{\sin(\lambda_{12})}. \quad (7)$$

Let us transform the triangle of section 3 to the horizontal axis then we obtain $x_1 - x_U$ and $y_1 - y_U$. The estimated position of unknown node could be expressed as (8)

$$\cos(90 - (\varphi + \tau)) = \frac{(y_1 - y_U)}{L_1} \rightarrow y_U = y_1 - L_1 \cdot \sin(\varphi + \tau) \quad (8)$$

$$\sin(90 - (\varphi + \tau)) = \frac{(x_1 - x_U)}{L_1} \rightarrow x_U = x_1 - L_1 \cdot \cos(\varphi + \tau)$$

Furthermore, the orientation angle from unknown node towards horizontal axis, θ_U is figured out from the sum of angles in the triangle of section 3 which is formed of reference node 1, node 3 and an unknown node by the formula (9):

$$\Theta_U = (\varphi + \tau) - \lambda_1. \quad (9)$$

The trilateration method is a method for determining the location of an unknown node in space using several ranges (distances) between an unknown node and several spatially separated anchor nodes.

Two sloping ranges from two known locations can be used to determine the location of the third point in two-dimensional space, which is a commonly used method.

The simplest algorithm employs analytic geometry and a station-based coordinate frame. Thus, let us consider the circle centers (or stations) C_1 and C_2 in Figure 3 which have known coordinates (e.g., have already been surveyed) and thus whose separation U is known. The figure 'page' contains C_1 and C_2 .

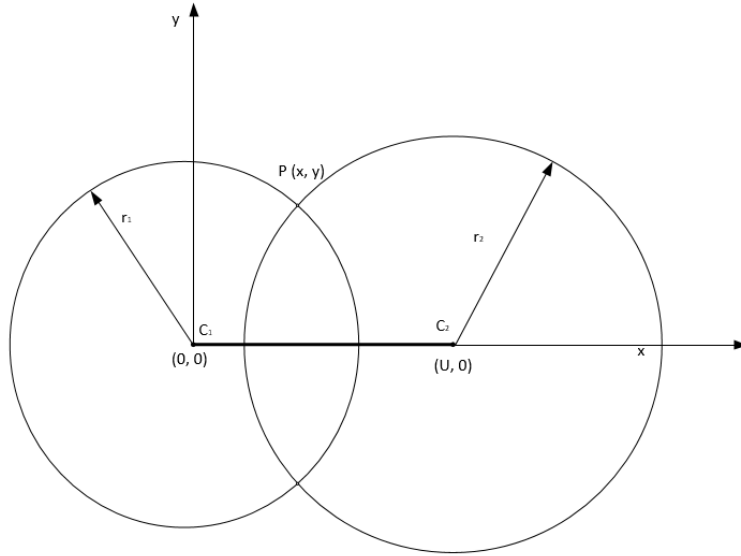


Figure 3. An arrangement of anchor nodes

If a third 'point of interest' P (e.g., a vehicle or another point to be surveyed) is at unknown point (x, y) , then Pythagoras's theorem yields

$$r_1^2 = x^2 + y^2$$

$$r_2^2 = (U - x)^2 + y^2 \quad (10)$$

Thus,

$$x^2 = \frac{r_1^2 - r_2^2 + U^2}{2U}$$

$$y = \pm \sqrt{r_1^2 - x^2} \quad (11)$$

The multilateration method is a navigation and observation method based on measuring the arrival time of a signal (ToA) and waves (radio, acoustic, seismic, etc.) having a known propagation speed.

By the principle of reciprocity, any method that can be used for navigation can also be used for observation, and vice versa. For observation, the object of interest transmits to several receiving stations having a synchronized “clock”. For

navigation, several synchronized stations are transmitted to a user receiver, which can (but cannot) determine the transmission time (ToT). To find the user's coordinates in measurements of d , it is necessary to measure at least $d + 1$. Almost $d = 2$ (for example, a plane or surface of the earth) or $d = 3$ (for example, the real world).

This method is used to measure distance by the time difference of the arrival of the TDoA (Time Difference of Arrival) signal.

1.4 Method of determining the angle of reception of AoA (Angle of Arrival)

AoA (Angle of Arrival) measurement is also known as Direction of Arrival (DOA) measurement or bearing measurement. AoA measurements can be obtained by using following two methods:

- beamforming;
- phase interferometry.

Beamforming is obtained by using receiver antennas amplitude response. Receiver antenna beam is rotated electronically which helps to determine the direction of transmitter. While phase interferometry is obtained by using receiver antennas phase response. An array of directional antenna is required to determine the direction of transmitter. Triangulation method can be used to estimate the position of regular node.

Except the above two localization techniques using distance estimates, there is one more technique that utilizes the angle information called Angle of Arrival (AOA).

To perform localization with AOA, two angle measurements are required, as it is shown in Figure 4. The signal sending from the mobile node M is received by anchor A_1 and anchor A_2 . The antenna array of A_1 can detect the signal's AOA denoted as α , while A_2 can measure the AOA as β . Then the two anchors send to M

the angle information α and β as well as their positions (x_1, y_1) and (x_2, y_2) . From the positions of anchors, M can calculate the distance between anchors, denoted as d .

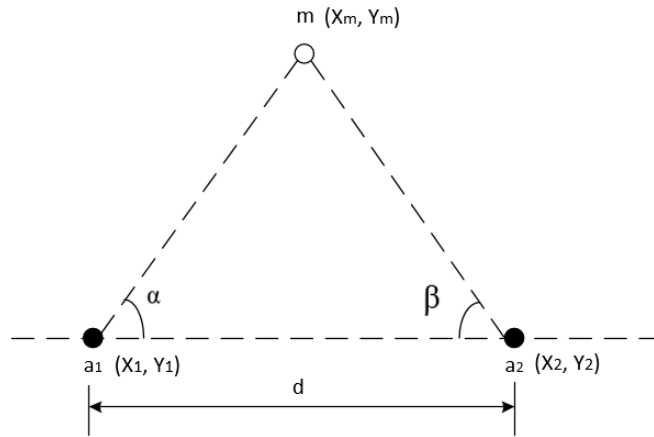


Figure 4. An example of localization

Finally, M estimates its position (x_m, y_m) through the triangulation approach by solving the following equation. (For simplicity, assume that A_1 and A_2 are on x-axis, that means, $y_1 = y_2$.)

$$\begin{cases} x_m = x_m + \frac{d \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} \\ y_m = \frac{d \cdot \cos \alpha \cdot \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} \end{cases} \quad (12)$$

Solving the equation (12) is simple. However, the AOA based localization has two practical problems.

First, it is the use of antenna array for detecting the angles. The AOA data should be obtained by using antenna arrays, which allow a receiver to determine the direction of a transmitter. Antenna array consists of multiple antennas separated with certain distance. Therefore, it is not practical to implement antenna array on tiny sensor nodes, considering the constraint on sensor nodes in terms of size, cost and energy.

Second, the accuracy of AOA measurements is affected by a combination of factors, including multi-path reflections and background noise. A multi-path reflection of signal, or some noise, may appear as a signal arriving from a totally different direction. When a mobile node receives this faked signal, a wrong AOA will be detected. This will lead to large errors in angle estimation.

1.5 Distance measurement method based on the power of the radio signal RSSI (Received Signal Strength Indication)

In RSSI (Received Signal Strength Indication) measurements, all regular nodes are equipped with a radio and all beacon nodes periodically broadcast their locations, which are used to estimate the distance [3]. Following information is required to estimate the distance from the transmitter to a receiver:

- received signal power,
- knowledge of the transmitted power,
- path loss model.

The received signal strength between two sensor nodes can be calculated by using the following formula (13):

$$P_R^{ij}(t) = P_T^i - 10\eta \log(d_{ij}) + X_{ij}(t). \quad (13)$$

Where $P^{ij}(t)$ represents received signal strength between nodes i and j at time t . P^i represents transmitted power and usually it is constant and known by the receiver, η is the attenuation constants (e.g. 2 or 4) and $X_{ij}(t)$ is the uncertainty factor due to shadowing and multi-path.

After obtaining this distance, the positions of the sensor nodes can be estimated by trilateration. The RSSI value depends not only on distance, but also on the environment, antenna orientation, movement of the transmitter, receiver, and power source. This means that RSSI information can be unpredictable because the reflection and attenuation caused by objects in the environment can have a much

greater effect on RSSI than distance. Therefore, it is difficult to obtain the exact distance using the RSSI method without modeling the environment.

Among range-based measurement methods, the RSSI method is the most common, the cheapest and easiest, since no additional equipment (such as an infrared or ultrasonic sensor) is required. However, the extension of RSSI-based 3D localization can lead to higher computational cost complexity and location accuracy.

In addition, in a real environment, RSSI is very sensitive to noise and obstructions, especially for an indoor environment. In this case, it is necessary to take into account the errors of the measured values that can be obtained due to multipath propagation, the effects of attenuation and reflection. An RSSI-based scheme, on the other hand, requires more data than other methods to achieve higher accuracy. However, when collecting a large amount of data, there was an increase in traffic and energy consumption of sensors, which will lead to a reduction in the life of sensor networks.

1.6 Method of measuring the distance of the time of arrival of the ToA signal (Time of Arrival)

Another method for estimating distance is the ToA method, in which the distance is estimated based on the time the signal spends moving from the transmitter to the receiver. Since the propagation velocity of a radio signal is known both in free space and in air, it gives a direct estimate of the distance between the transmitter and receiver after estimating the transit time [9]. When ToA systems are considered, the only important parameter that should be correctly evaluated in a multipath environment is the path. Other multipath components are not important for localization purposes. By the formula (14), the distance between the nodes is calculated:

$$d = V * t, \tag{14}$$

where V is the transmission speed, t is the signal transmission time.

After calculating the distance, the multilateration method is used to determine the location of the sensor node.

Obtaining accurate ToA data requires perfect synchronization between the transmitter and receiver clocks. Clock synchronization can be achieved by regular data exchange between the transmitter and receiver or an additional armature to correct the clock offset. Although 3 anchors are required to obtain a position, a 4th anchor will be needed for temporary correction. This method is easily applied to GPS, in which the 4th anchor is used to compensate for the offset of the clock of the receiver.

The disadvantage of this method is the need for synchronization of each node in the network. Moreover, various environmental factors have a strong influence on the signal transmission frequency, which leads to a significant error.

1.7 Method of measuring distance by the time difference of the arrival of the TDoA signal (Time Difference of Arrival)

TDoA (Time Difference of Arrival) measurements can be categorized by the following two ways:

- Multi-node TDoA
- Multi-signal TDoA

In multi-node TDoA, multiple beacon nodes send signals for distance estimation by using ToA measurement. A regular node measures the arrival times of beacon signals from three beacon nodes. If these three beacon nodes are synchronized and send the signals at the same time then a hyperbola is defined between a pair of beacon nodes. Then the location of the regular node is determined by using the intersection of two hyperbolas.

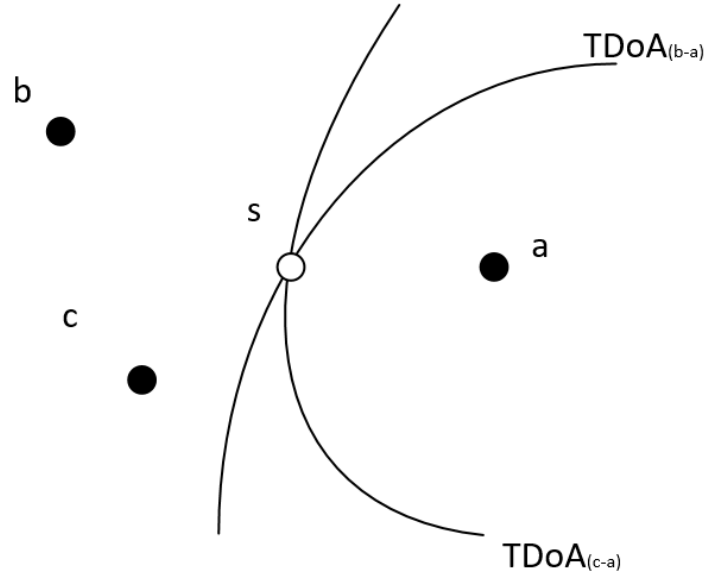


Figure 5. Multisite TDoA Method

The corresponding hyperbolic equations is described by the formula (15):

$$\begin{aligned}
 & \sqrt{(x - x_A)^2 + (y - y_A)^2} - \sqrt{(x - x_B)^2 + (y - y_B)^2} = c \cdot (t_A - t_B) \\
 & \sqrt{(x - x_A)^2 + (y - y_A)^2} - \sqrt{(x - x_C)^2 + (y - y_C)^2} = c \cdot (t_1 - t_C)
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

$$\sqrt{(x - x_B)^2 + (y - y_B)^2} - \sqrt{(x - x_C)^2 + (y - y_C)^2} = c \cdot (t_B - t_C)$$

where c is the propagation speed of the signal, and t_1 , t_2 and t_3 are the arrival time.

The disadvantages of the multinodular method are:

- strong sensitivity to the environment;
- high requirements for signal transmission speed;
- high precision time synchronization.

Despite its shortcomings, the method is suitable for use in networks with a large number of nodes.

In multi-signal TDoA, each node is equipped with a speaker and microphone. The transmitter sends two types of signals i.e. rf (Radio Frequency) and us (Ultra Sound) signals and the receiver estimates the distance based on the difference in time of arrival (ToA) of the two signals. Then the distance between two sensor nodes can be calculated as:

$$d_{AB} = (S_{rf} - S_{us}) \cdot (t_{us} - t_{delay} - t_{rf}), \quad (16)$$

where S_{rf} is the speed of rf signal and S_{us} is the speed of us signal. Since rf signal travel significantly faster than us signal.

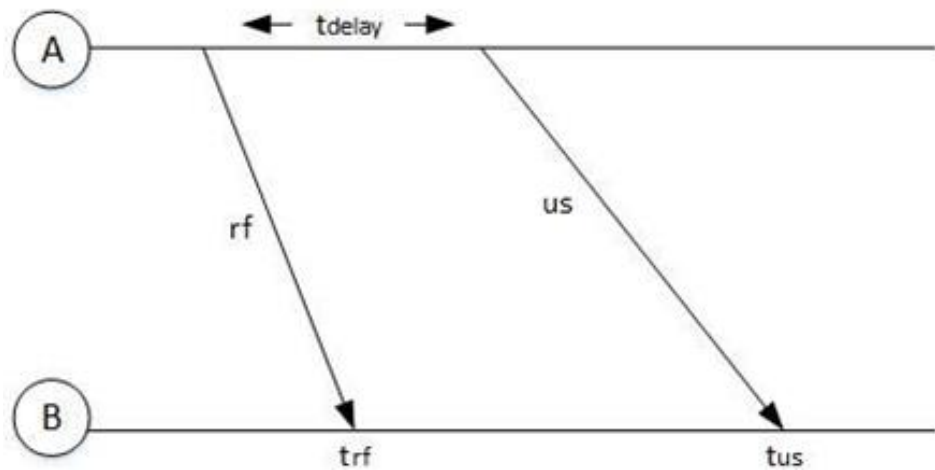


Figure 6. Multi-signal TdoA

Conclusion

This chapter is focused on some methods for locating nodes in a wireless sensor network.

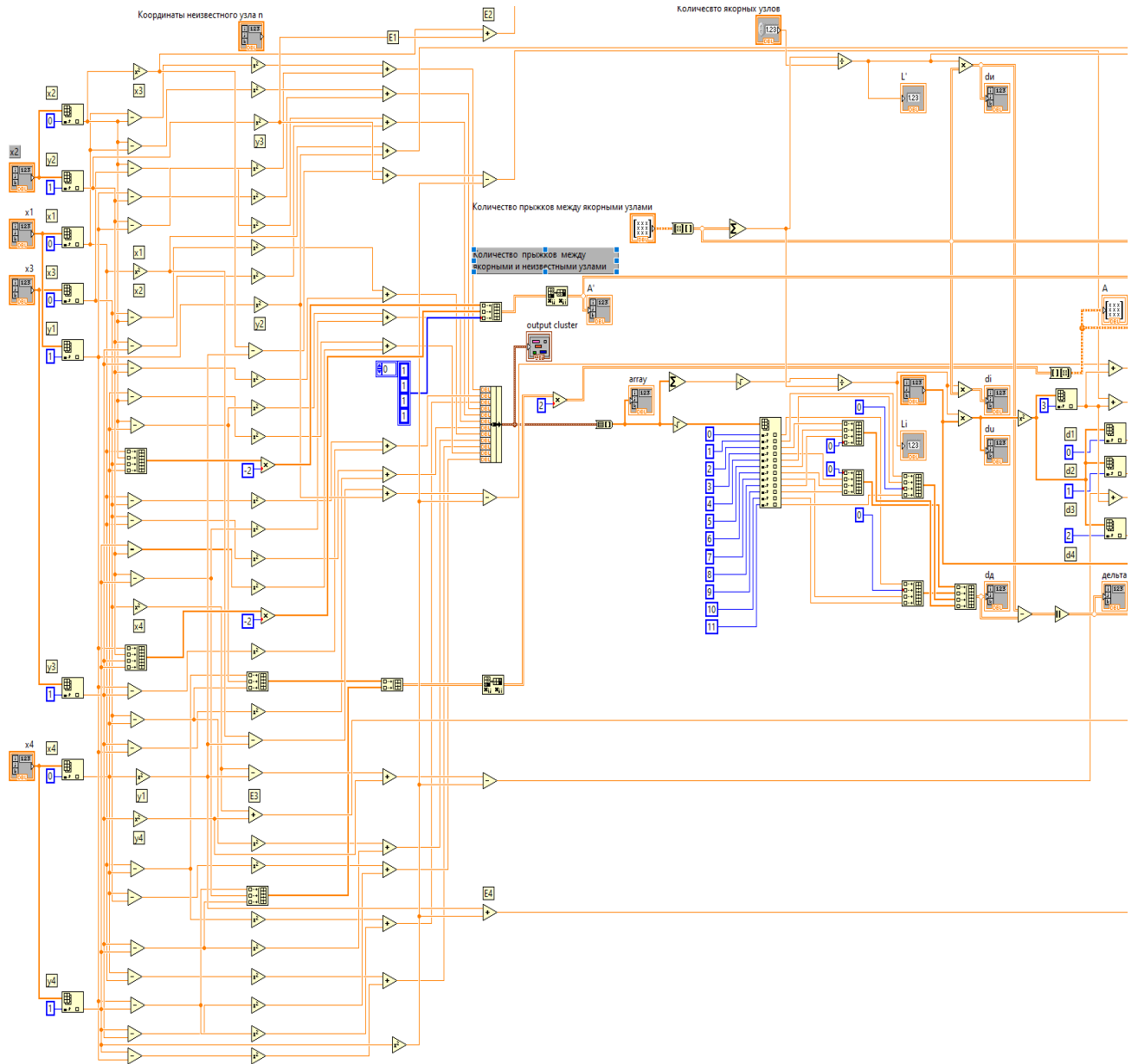
Next, a comparative analysis of the methods will be performed and the optimal one will be selected to improve accuracy.

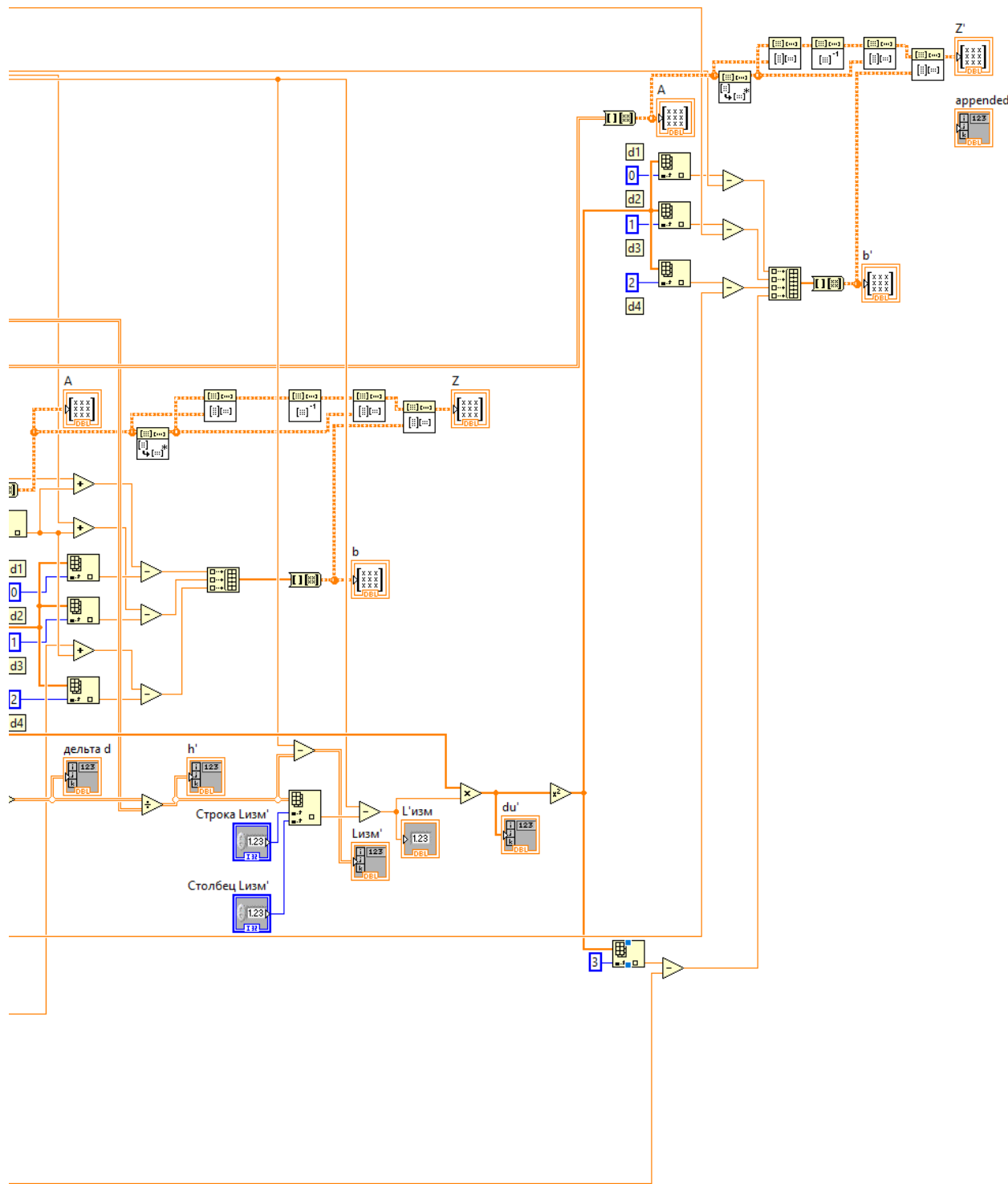
Then it is necessary to develop a program for modeling the process and calculate the localization error of the improved method.

Приложение Б

(обязательное)

Блок-диаграмма определения местоположения сенсорных узлов





Приложение В

(обязательное)

Схема расположения неизвестных узлов N

