

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 107 с., 23 рис., 39 табл., 66 источников, 1 прил.

Ключевые слова: интеллектуальная система освещения, система коммуникации, система детектирования, зона уличного освещения, микрокомпьютер Beaglebone.

Объектом исследования является интеллектуальная система освещения.

Цель работы – проектирование интеллектуальной системы освещения и предварительное исследование возможностей внедрения интеллектуальной системы освещения в городе Томске.

В процессе исследования проводился аналитический обзор существующих систем детектирования и коммуникации. Была разработана экспериментальная установка, с помощью которой проведены экспериментальные исследования скорости реакции датчиков на движение в зоне контроля, в ходе которой были определены оптимальные датчики для детектирования движения в зоне контроля. На основе технического анализа и анализа правовых норм было разработано алгоритм определения и контроля зоны освещения. Проведено технико-экономическое обоснование внедрения интеллектуальной системы освещения в городе Томске на примере улиц Савиных и Советская, что может быть использовано в дальнейшей имплементации проекта по разработке интеллектуальной системы освещения в Томске.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: разработанная экспериментальная установка может быть использована как система детектирования интеллектуальной системы освещения для определения движения и изменения естественной освещенности. Разработанный алгоритм позволяет определять зону освещения в зависимости от поступающих данных от системы детектирования.

Область применения: городское уличное освещение.

Экономическая эффективность/значимость работы больше чем в два раза превышает используемые системы освещения. При внедрении системы возможен возврат инвестиций в течение 5 лет при текущих уровнях обмена валют.

В будущем планируются экспериментальные исследования интеллектуальной системы освещения при условии доработки основных модулей системы в рамках всего научного проекта по разработке интеллектуальной системы освещения.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Office Word 2016 и представлена в распечатанном виде.

Оглавление

Введение	13
1 Концепция интеллектуальной системы освещения	15
1.1 Сравнительный анализ аналогов	16
1.2 Требования к разрабатываемой интеллектуальной системе освещения	18
1.3 Предлагаемое техническое решение	19
2 Проектирование системы детектирования	21
2.1 Определение интенсивности дорожного движения.....	21
2.1.1 Сравнительный анализ существующих датчиков движения.....	22
2.1.2 Экспериментальная установка	23
2.1.3 Результаты экспериментов и анализ	28
2.2 Определение изменения погодных условий.....	30
3 Проектирование системы коммуникации	33
3.1 Аппаратная часть системы коммуникации.....	33
3.1.1 Проводные системы коммуникации.....	34
3.1.2 Беспроводные системы коммуникации	36
3.2 Программная часть системы коммуникации	38
4 Разработка алгоритма работы интеллектуальной системы освещения	42
4.1 Предварительные исследования интенсивности дорожного движения	43
4.2 Правовые особенности проектирования дорожных пространств	44
4.3 Алгоритм работы интеллектуальной системы освещения.....	48
5 Техничко-экономическое обоснование внедрения интеллектуальной системы освещения в городе Томске.....	57
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	60
6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	60
6.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции	60
ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	60
6.1.3 SWOT-анализ	62
6.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации	65
6.2 Инициация проекта	66
6.2.1 Цели и результат проекта	66

6.2.2	Организационная структура проекта	67
6.3	Планирование управления научно-техническим проектом	68
6.3.1	Иерархическая структура работ проекта	68
6.3.2	Контрольные события проекта	70
6.3.3	План проекта	70
6.3.4	Бюджет научного исследования	73
6.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	77
6.5	Заключение по разделу	79
7	Социальная ответственность	80
7.1	Введение	80
7.2	Производственная безопасность	81
7.2.1	Анализ вредных факторов при разработке системы	82
7.2.2	Анализ опасных факторов при разработке и эксплуатации системы	87
7.3	Экологическая безопасность	88
7.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	90
7.5	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	92
7.5.1	Организация рабочего пространства в лаборатории	93
	Заключение	95
	Список публикаций студента	97
	Список использованных источников	99
	Приложение А	107

Введение

Уличное освещение в современных городах охватывает как функциональную, так и декоративную функции. В настоящее время, освещение улиц составляет 53% от наружного использования освещения во всем мире [1]. Кроме того, рынок решений в области наружного освещения продолжает расти (совокупные ежегодные темпы роста рынка наружной освещения оцениваются в 42% в период 2011-2020 годов [2]). В условиях роста цен на энергоносители и растущего экологического сознания, вышеупомянутые тенденции требуют повышения эффективности уличного освещения.

Повсеместное развитие и внедрение в эксплуатацию встроенных систем на основе микрокомпьютеров позволяет внедрять современные методы автоматизации и управления в различных технических системах. Такое применение находит себя в интеллектуальных системах освещения [3,4]. В отличие от классических систем освещения интеллектуальные системы освещения позволяют добиться снижения потребления электроэнергии за счет адаптивности системы при изменении внешних условий: интенсивности дорожного движения, погодных факторов, времени суток [5,6].

Кроме снижения затрат электроэнергии за счет высокой адаптивности интеллектуальной системы освещения ресурсоэффективность разработки может быть обеспечена за счет использования светодиодного освещения [7].

Важная составляющая при разработке интеллектуальных систем освещения – это баланс между энергоэффективностью и безопасностью для участников дорожного движения, так как освещенность дорожных пространств влияет как на вероятность дорожно-транспортных происшествий, так и на общий уровень преступности [8].

Таким образом, объектом исследования является интеллектуальная система освещения.

Целью работы является проектирование интеллектуальной системы освещения и предварительное исследование возможностей внедрения

интеллектуальной системы освещения в городе Томске. Для достижения необходимо решить ряд задач:

- провести анализ альтернатив создания системы детектирования для дальнейшего использования в интеллектуальной системе освещения и провести соответствующие экспериментальные исследования;

- провести анализ возможных способов коммуникации для последующего внедрения в интеллектуальной системе освещения;

- разработать алгоритм определения и контроля зоны освещения для интеллектуальной системы освещения;

- провести технико-экономический анализ и обоснование внедрения интеллектуальной системы освещения в условиях городской зоны Томска.

Полученные результаты позволят применить полученные ранее результаты работы научной группы по тематике ВКР на примере конкретных улиц. Алгоритм определения и контроля зоны освещения дополнит разработанные ранее алгоритмы автоконфигурации узлов и определения соседних узлов для любого узла. Данные технические решения возможно использовать при разработке плана повышения эффективности городской системы уличного освещения.

1 Концепция интеллектуальной системы освещения

Интеллектуальная система уличного освещения – это концепция эффективного распределения электроэнергии в процессе уличного освещения. Данное направление бурно развивается в данный момент за счет ориентированности общества на «зеленые» технологии, что подтверждается принятием важных регламентирующих документов на государственном и международном уровне: в частности, можно выделить Киотский протокол [9].

Выделяют интеллектуальные системы освещения двух поколений. Первое поколение – это системы освещения на основе светодиодов. Замена классических источников освещения на светодиодные источники освещения, позволяет значительно увеличить срок эксплуатации, избежать последствий загрязнения окружающей среды при утилизации [10]. Также светодиоды позволяют настраивать уровень освещенности, что применяется в настоящее время в интеллектуальных системах освещения второго поколения, где реализуются принципы адаптивности и ресурсоэффективности.

В настоящее время проводится серьезная работа по стандартизации и развитию концепции интеллектуального уличного освещения. В частности, работа проводится в ведущих альянсах и обществах по интеллектуальным системам освещения, интернету вещей – IERC, StreetLight Vision, IEEE, OMG, Industrial Internet Consortium и т.д. [11-15].

Исследование в рамках магистерской диссертации направлено на разработку интеллектуальной системы освещения для муниципалитетов города Томска. В частности, целевыми улицами были выбраны Савиных и Советская.

Проводимое исследование выполняется на базе Томского политехнического университета и Университета прикладных наук Анхальта, и является развитием и внедрением технических решений, разработанных в рамках проекта SmartLighting. Проект SmartLighting, проводимый в первую очередь на базе лаборатории FILA Университета прикладных наук Анхальта, направлен на разработку интеллектуальной системы освещения для

пешеходных пространств города Кётена в земле Саксония-Анхальт, Германия [16].

1.1 Сравнительный анализ аналогов

В настоящее время рынок решений в области интеллектуальных систем освещения представлен множеством решений. Несколько европейских городов полностью заменили городскую систему освещения в пользу интеллектуальных систем освещения. В пример можно привести систему освещения Лейпцига в Германии, Квебека в Канаде и Санкт-Петербурга в России [10][17].

Для детального рассмотрения типичных используемых решений были выбраны 5 интеллектуальных систем освещения от производителей: OSRAM, Amko Solara, Lux Monitor, Citenergy, Echelon (Табл. 1) [18].

В рассматриваемых системах освещения реализовано светодиодное освещение. При этом адаптивный контроль реализован во всех системах кроме Citenergy. Lux Monitor и Echelon используют беспроводную передачу данных с помощью mesh-сетей и IPv6. В случае беспроводной передачи используется стандарт 6LowPAN. В OSRAM, Amko Solara и Citenergy используется технология power line communication (PLC) – передача данных с помощью линии электропередач, которая основана на стандарте ISO 14908 [19].

Контроль источниками освещения осуществляется посредством Digital addressable lighting interface (DALI) – интерфейса, который был разработан как интерфейс между логическим и физическим уровнями контроля светодиодными фонарями. Непосредственный контроль обеспечивается системой программного управления StreetLight Vision, стандартизированным решением, которое может объединять интеллектуальные системы освещения нескольких производителей [18].

Таблица 1 – Сравнительный анализ интеллектуальных систем освещения

Характеристики	OSRAM	Amko Solara	Lux Monitor	Citenergy	Echelon
Технология связи	PLC ISO14908	PLC ISO14908	Wireless mesh IPv6 6LowPAN	PLC	Wireless mesh IPv6
IPv6	Нет	Нет	Да	Нет	Да
Скорость передачи данных и пропуск. способность	5 кб/с	5 кб/с	10 кб/с	15 кб/с	<5 кб/с
Поддержка динамич. режима работы с датчиками движения	Да	Да	Да	Нет	Да
Поддержка динамич. режима работы с учетом трафика	Да, SLV CMS	Да, SLV CMS	Да, SLV CMS	Нет	Да
Интерфейс для источника освещения	1-10 В, DALI	1-10 В	1-10 В, DALI	1-10 В, DALI	1-10 В, DALI
Данные о неполадках	Да	Да	Да	Да	Да

* SLV CMS (StreetLight Vision Central Management Software) - система программного управления StreetLight Vision

Также во всех системах осуществляется мониторинг на наличие неполадок, что позволяет оперативно реагировать при наличии последних.

Для сравнительного анализа были выбраны зарубежные производители, так как комплексные решения в области интеллектуального освещения российского происхождения не были найдены в ходе проведения аналитического обзора. В российских масштабах этой проблемой занимались в группе Роснано, но готовый продукт все еще не был представлен [20]. Наиболее распространенными в настоящее время являются отдельные фонари с

датчиками движения, либо светодиодные системы освещения без адаптивного управления российского производства. Тем не менее, например, в Санкт-Петербурге и Казани были внедрены системы интеллектуального освещения Echelon [21].

Таким образом, согласно анализу разработанных интеллектуальных систем освещения, можно выявить следующие тренды и ключевые особенности развития таких систем:

- разрабатываемые системы используют светодиодное освещение, что влияет на энергоэффективность всей системы. В настоящее время основным интерфейсом для драйверов управления LED является DALI;

- большинство систем адаптируются под внешние условия – наличие движения в зоне контроля, интенсивность дорожного движения, погодные условия. Обеспечивается максимальная автономность систем, но при этом возникающие неполадки могут быть оперативно отслежены и устранены;

- коммуникация в интеллектуальных системах освещения осуществляется на основе mesh-сетей либо PLC. В данный момент обе технологии активно развиваются и унифицируются, что позволяет использовать их в больших масштабах.

Согласно приведенным трендам возможно проектирование интеллектуальной системы освещения, отвечающей современным требованиям и превосходящей аналоги по характеристикам.

1.2 Требования к разрабатываемой интеллектуальной системе освещения

Проектируемая интеллектуальная система освещения должна удовлетворять следующим требованиям:

- Система децентрализована, то есть не существует центрального контролирующего элемента.
- Система может быть легко встроенной в городскую систему.

- Состояние работы системы зависит от внешних факторов, таких как интенсивность дорожного движения и погодные условия.
- Каждый фонарь системы работает автономно и не требует настройки.
- Уровень общей освещенности, обеспечиваемый системой, не должен выходить за рамки, предусмотренные требованиями безопасности.

Таким образом, интеллектуальная система освещения должна быть способна определять объект движения в зоне контроля и контролировать уровень освещенности в зависимости от объекта движения и характеристик движения – скорости и направления движения (рис. 1).

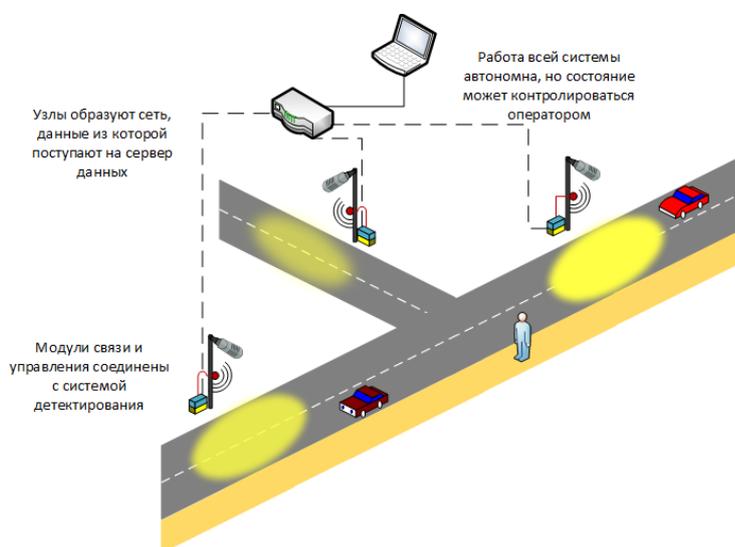


Рисунок 1 - Реализация концепции интеллектуальной системы освещения

Кроме того, должен обеспечиваться мониторинг погодных условий и принятие соответствующих решений системой при изменении погодных условий.

1.3 Предлагаемое техническое решение

Предлагаемая структура интеллектуальной системы освещения (рис. 2) состоит из узлов, объединяющих микрокомпьютер Beaglebone либо любой

другой модуль System-on-Chip, модули детектирования и коммуникации и светодиодный фонарь.

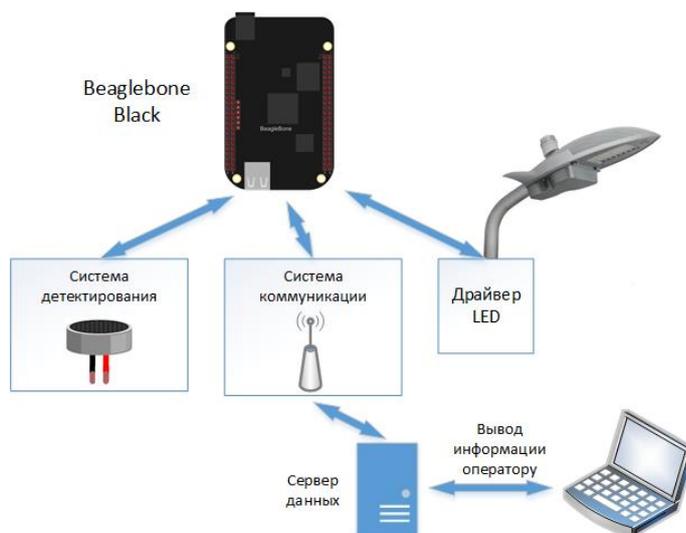


Рисунок 2 – Структурная схема интеллектуальной системы освещения

В качестве центрального управляющего устройства для узла выступает микрокомпьютер. Каждой лампе соответствует система коммуникации и детектирования. Система коммуникации служит для связи элементов узла, а также позволяет передавать информацию на другие узлы системы. Система детектирования необходима для определения интенсивности дорожного движения, создаваемого автомобильными средствами и пешеходами, а также изменения погодных условий.

2 Проектирование системы детектирования

Принцип работы интеллектуальных систем освещения основывается на анализе событий, происходящих во внешней среде в связи с теми или иными факторами, и соответствующем принятии решений для минимизации энергозатрат. К таким факторам относятся интенсивность дорожного движения и погодные условия. Для того чтобы определять наличие таких событий необходимо создание эффективной системы детектирования. Таким образом, данная глава включает в себя предварительное исследование датчиков различных типов для последующего применения в интеллектуальной системе освещения.

2.1 Определение интенсивности дорожного движения

Анализ дорожного движения основывается на определении движения транспортных средств, пешеходов с высокой точностью, после чего полученные данные о движущемся объекте или объектах обрабатываются, передаются по каналу связи, определяется объект движения. В зависимости от объекта движения предпринимаются различные сценарии действия интеллектуальной системы освещения.

Данные об интенсивности дорожного движения, которые необходимы для работы интеллектуальной системы освещения – это сам факт движения, регистрируемый различными датчиками, что позволяет определить участника движения (автомобиль или пешеход), скорость движения участника движения, направление движения. При этом данные, поступающие с датчиков, должны быть интерпретированы максимально точно.

Рассмотрим датчики движения, которые могут применяться в интеллектуальных системах освещения.

2.1.1 Сравнительный анализ существующих датчиков движения

В [22] были подробно рассмотрены методы обнаружения движения, а также присутствия. В качестве основных по физическому принципу действия можно выделить следующие методы контроля движения:

- акустический (ультразвуковой);
- радиоволновой (СВЧ);
- инфракрасный (ИК);
- комбинированный.

Каждый из данных типов обладает своими преимуществами и недостатками. Недостатки, в частности, связаны с неспособностью датчиков обнаружить человека при определенных условиях или, напротив, их ложными срабатываниями.

Использование совокупности методов контроля и принципов обнаружения может значительно уменьшить вероятность некорректного срабатывания датчика. Сигнал тревоги выдается только в том случае, если одновременно или в течение небольшого интервала времени срабатывают оба детектора. Для повышения стабильности работы системы, используемые принципы обнаружения должны быть такими, чтобы помехи, вызывающие ложные срабатывания, по-разному воздействовали на каждый составляющий комбинацию детектор. В таблице 2 приведены воздействия внешних факторов на работу датчиков различных типов, где «+» - высокая чувствительность, «-» - низкая чувствительность.

Таблица 2 – Чувствительность датчиков к мешающим факторам

Причина некорректной работы	Инфракрасный	Микроволновый	Ультразвуковой
Турбулентность воздуха	+	-	-
Дождь	-	+	+
Изменения температуры	+	-	+
Яркий свет	+	-	-
Электромагнитные помехи	+	+	-
Включенное люминесцентное освещение	-	+	-
Вибрации	+	+	+
Перемещения за пределами зоны контроля	-	+	-
Животные	+	+	+

Из таблицы видно, что большинство изменений окружающей среды по-разному влияют на каждый детектор и в большинстве случаев не могут привести к одновременному срабатыванию всех сенсоров.

Наибольшее распространение в настоящее время получила комбинация микроволнового активного и ИК-пассивного принципов обнаружения. Гораздо реже используется комбинация ультразвукового и ИК детекторов. Существуют также отдельные образцы датчиков, в которых используются три различных физических принципа обнаружения, однако такие датчики редко применяют на практике [23].

2.1.2 Экспериментальная установка

Наиболее распространенными датчиками движения, используемыми в интеллектуальных системах освещения, являются радиоволновой, инфракрасный, ультразвуковой и комбинированный типы датчиков.

Была собрана экспериментальная установка, включающая систему детектирования интеллектуальной системы освещения (рисунок 3).

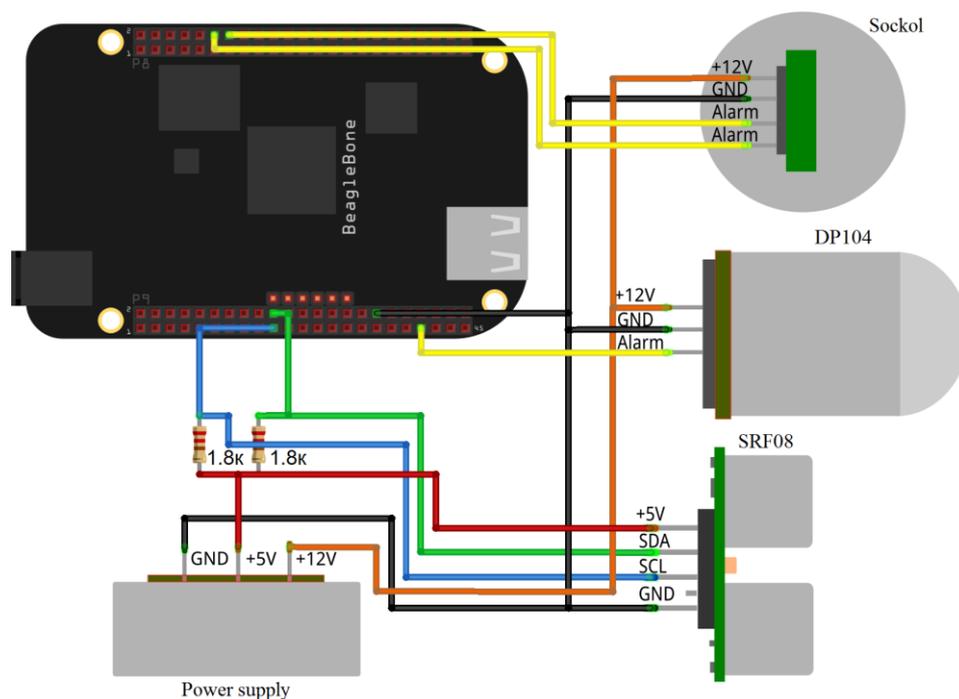


Рисунок 3 – Экспериментальная установка

Основные элементы экспериментальной установки – это микрокомпьютер BeagleBone Black, инфракрасный датчик DP104, ультразвуковой датчик SRF08, комбинированный датчик Sockol-3, блок питания с выводами 5 В, 12 В.

Микрокомпьютер BeagleBone Black

Микрокомпьютер BeagleBone Black используется в качестве управляющего устройства, который исполняет программу считывания информации с датчиков. Свойства BeagleBone Black представлены в таблице 3 [24][25].

Таблица 3 – Спецификация на BeagleBone Black

Процессор	1 ГГц AM335x
Память	512 Мб DDR3
Память	On-board 2 Gb eMMC (4 Gb eMMC on the Revision C board) and micro-SD card slot
Поддержка видео	On-board HDMI
Последовательное соединение	TTL header present but separate cable needed
Входные/выходные выводы	GPIO, аналоговые выводы, 5 V, 3.3 V, 1.8 В напряжение питания, таймеры, шины: I ² C, UART, CAN, SPI, GPMC, MMC, LCD, McASP

Внешний вид BeagleBone Black представлен на рис. 4.

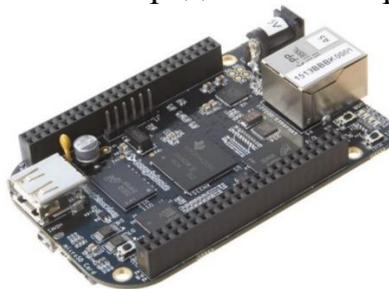


Рисунок 4 – Внешний вид BeagleBone Black

Кроме управления датчиками движения, в интеллектуальной системе освещения микрокомпьютер подключен к блоку коммуникации, который осуществляет связь между узлами интеллектуальной системы освещения.

Инфракрасный датчик движения

Свойства инфракрасного датчика представлены в таблице 4 [26].

Таблица 4 – Спецификации инфракрасного датчика

Напряжение	DC 12 V
Рабочий диапазон	6-10 m
Выходная мощность	Max 100 W LED lamp
Время установки	5s~6min
Раб. диапазон для освещенности	2~2000 lux
Материал	ABS
Уровень защиты IP	IP65

Внешний вид инфракрасного датчика представлен на рис. 5.



Рисунок 5 – Инфракрасный датчик

Ультразвуковой датчик SRF08

Ультразвуковой датчик SRF08 подключается к микрокомпьютеру BeagleBone Black с использованием последовательной шины данных I²C.

В начале работы микрокомпьютер инициализирует адрес датчика, подключенного посредством протокола I²C [24]. Для выполнения сканирования датчиком зоны контроля, выполняется команда, которая отправляет определенное значение в командный регистр SRF08. Следующим этапом является считывание данных с регистров датчика. Данные поступают в шестнадцатеричном формате и несут информацию о расстоянии до объекта в сантиметрах (рисунок 6).

```
0 1 2 3 4 5 6 7
00: 0a f8 00 16 00 47 00 87
10: 01 ca 02 0a 02 4a 02 8d
20: 03 d7 04 1a 1a 1a 1a 1a
30: 1a 1a 1a 1a 1a 1a 1a 1a
```

Рисунок 6 – Данные о расстоянии до объекта (координаты 0x02 – старший бит и 0x03 – младший бит), $0x16_{16}=22_{10}$ см.

Свойства ультразвукового датчика SRF08 представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Спецификации датчика SRF08

Напряжение	5 В
Ток	15 мА, 3 мА в режиме ожид.
Частота	40 кГц
Рабочий диапазон	3 см..6 м
Макс. аналог. усил.	Изменение до 1025 за 32 шага
Подключение	Шина I ² C

Внешний вид инфракрасного датчика представлен на рис. 7.



Рисунок 7 – Ультразвуковой датчик

Комбинированный датчик Sockol-3

При появлении человека в зоне обнаружения срабатывают оба канала обнаружения (в любой последовательности), при этом выдается извещение о тревоге путем размыкания контактов выходного реле [27].

Датчик осуществляет постоянный контроль за помеховой обстановкой в охраняемом помещении: если уровень помех по одному из каналов превысит допустимый, датчик автоматически изменяет алгоритм обнаружения. По измененному алгоритму обнаружения датчик работает в течение 2 мин, через 2 мин датчик возвращается к основному алгоритму обнаружения и цикл повторяется. Извещение о переходе на другой алгоритм индицируется зеленым световым индикатором. Если во время работы датчик по алгоритму обнаружения в условиях повышенных помех выдается извещение о тревоге, сразу по его окончании датчик возвращается к основному алгоритму обнаружения.

Свойства комбинированного датчика Sockol-3 представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Спецификация датчика Сокол-3

Типы используемых датчиков	СВЧ, инфракрасный
Напряжение	10..15 В
Ток	30 мА
Рабочий диапазон	5...10 м
Диапазон рабочих температур	-30..+50 °С

Внешний вид комбинированного датчика представлен на рис. 8.



Рисунок 8 – Комбинированный датчик

2.1.3 Результаты экспериментов и анализ

Основная цель проведения экспериментальных исследований датчиков движения – сравнительный анализ существующих датчиков, определение наиболее оптимальных вариантов для использования в интеллектуальной системе освещения на основе микрокомпьютера BeagleBone Black. Внешний вид экспериментальной установки представлен на рисунке 9.

На языке C++ была разработана программа, которая позволяет получить информацию о срабатывании датчиков при движении в зоне контроля датчиков.

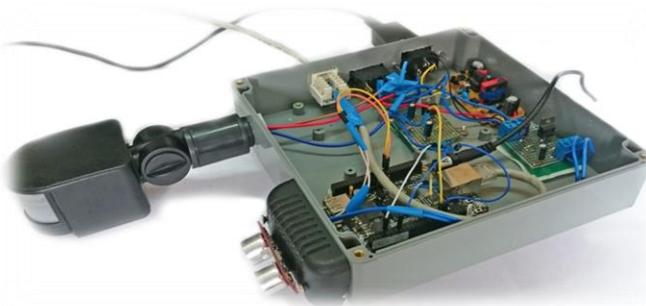


Рисунок 9 – Экспериментальная установка для исследования системы детектирования

В ходе исследования датчиков различных типов были выбраны типичные представители каждой категории. Данные датчики использовались в экспериментальной установке. Для датчиков движения различных типов была построена диаграмма, показывающая их зоны действия, найденные экспериментальным путем (рис. 10). В зоне, которую охватывают все рассматриваемые датчики, был проведен эксперимент по определению отклика каждого датчика на движения пешехода.

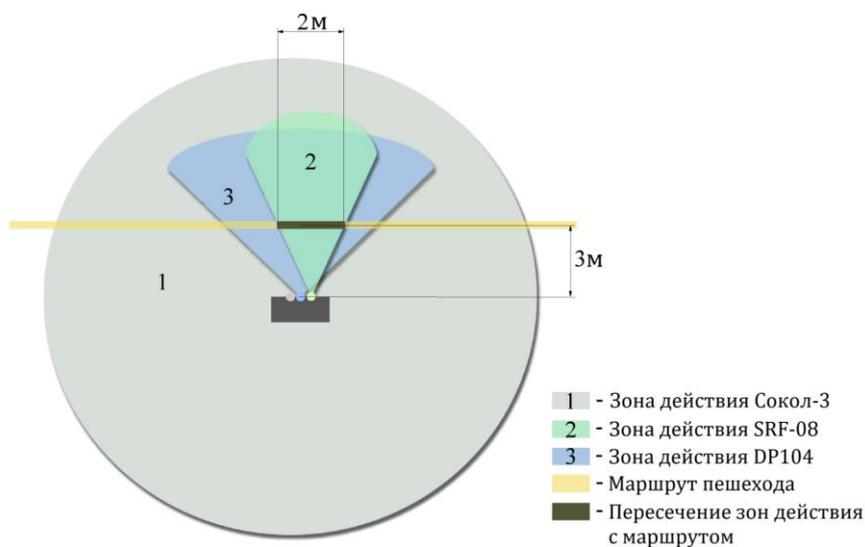


Рисунок 10 – Зоны детектирования для сенсоров и экспериментальные условия

Определение отклика датчиков на движение пешехода происходило в 3 метрах от места расположения датчиков. Результаты измерений представлены на рисунке 11. Расстояние движения пешехода в зоне пересечения всех

датчиков составляет 2 метра, при этом расстояние для Сокол-3 и DP104 в два раза больше.

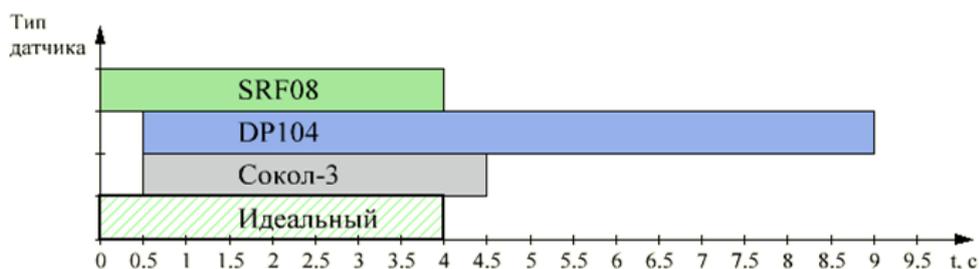


Рисунок 11 – Диаграмма откликов датчиков на движение пешеходов

В ходе измерений было определено, что наиболее быстрым временем отклика обладает ультразвуковой датчик SRF08, что составляет доли секунды. Задержка во время вхождения пешехода в зону контроля присуща инфракрасному и комбинированному датчикам, что составляет 0.5 с. При этом задержка после выхода пешехода из зоны контроля для DP104 составляет 5 с., а для Сокол-3 – 0.5 с.

Согласно результатам, представленным на рисунках 10 и 11, можем сделать вывод, что для использования в интеллектуальной системе освещения наиболее оптимальным является комбинированный датчик. При этом использование ультразвукового датчика в таких системах вряд ли возможно из-за малого угла действия датчика, кроме того, данный тип датчиков имеет высокую стоимость относительно других. Также в интеллектуальной системе освещения возможно использование инфракрасного датчика, так как он обладает большим углом действия, однако, обладает большей задержкой по времени.

2.2 Определение изменения погодных условий

Кроме зависимости от интенсивности движения адаптивность интеллектуальной системы освещения заключается в адекватной реакции на

изменении погодных условий. Под погодными условиями в первую очередь понимается уровень естественной освещенности, обусловленная светом Солнца или Луны. Для данной задачи может быть использован фоторезистор, который изменяет свое сопротивление под действием света.

В качестве экспериментальной установки использовалось схемное решение, представленное на рис. 12. Данная экспериментальная установка состоит из микрокомпьютера Beaglebone Black, фоторезистора и резистора на 10 кОм. Фоторезистор и резистор образуют делитель напряжения, который используется для того чтобы преобразовать изменяющуюся величину сопротивления в значение, которое возможно измерить на аналоговом входе ВВВ, данная величина должна быть преобразована в напряжение от 0 до 1,8 В.

Используемый фоторезистор имеет темновое сопротивление около 200 кОм, при ярком свете сопротивление падает до 1 или 2 кОм.

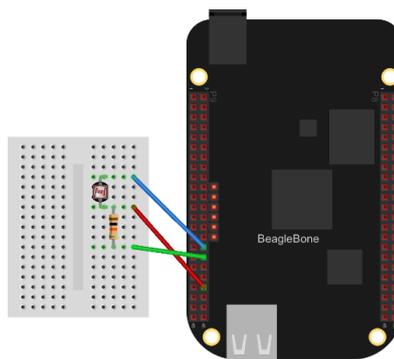


Рисунок 12 – Экспериментальная установка для измерения освещенности

Электрическая принципиальная схема для используемой экспериментальной установки представлена на рис. 13.

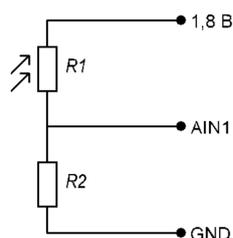


Рисунок 13 – Электрическая принципиальная схема для подключения фоторезистора

В случае если фоторезистор освещен, его сопротивление уменьшается, так что напряжение будет стремиться к значению 1,8 В. Наоборот, при уменьшении освещения сопротивление увеличивается, и напряжение падает до 0 В.

Далее воспользуемся библиотекой `Adafruit_BBIO.ADC` для использования выводов `BBB` и считаем значение с вывода `AIN1 BBB` [28]:

```
>>> import Adafruit_BBIO.ADC as ADC
>>> ADC.setup()
>>> ADC.read("P9_40")
0.64435346654646456
>>> ADC.read("P9_40")
0.59456554555552234
```

Далее возможно использовать полученные данные для пересчета в значения освещенности согласно уравнению, соответствующему использованному фоторезистору.

Данная схемное решение может быть использовано как для определения естественного освещения, так и для определения состояния фонаря – при отсутствии необходимого освещения подается сигнал о неработоспособности источника освещения.

Также для адекватной работы системы при использовании СВЧ-датчиков необходимо учитывать наличия дождя и ветра, что возможно, используя данные, считываемые с датчиков влажности и ветра. Подробное исследование влияния дополнительных факторов на интеллектуальную систему освещения планируется в дальнейшем.

3 Проектирование системы коммуникации

Система коммуникации, реализуемая в интеллектуальной системе освещения, определяет не только способ коммуникации между узлами системы, но и эффективность всей системы. Контроль над системой освещения может быть как централизованным, так и распределенным. В целом, в [29] было показано, что распределенный контроль более перспективен для использования в интеллектуальных системах освещения.

Развитие распределенных систем привело к возникновению понятия межмашинного взаимодействия (M2M), к которому относят как аппаратные, так и программные компоненты.

Системы M2M имеют три категории компонентов:

- устройства, которые служат как контрольно-вычислительные пункты для и образуют физический уровень сети коммуникации;
- телекоммуникационные компоненты, в том числе шлюзы между сетью интернета и разнородными сетями (беспроводные, PLC);
- домены приложений, обладающие управляющей функцией [30].

3.1 Аппаратная часть системы коммуникации

По физическому принципу коммуникационные системы можно разделить на:

- передача информации с помощью линии электропередачи (PLC);
- передача информации с помощью информационной шины;
- беспроводная передача информации (RF).

Передача информации посредством информационной шины практически не применяется из-за ограничения на топологию сети – возможна только физическая топология шины, а также из-за ограничения на выводы управляющего устройства и дополнительные затраты на провода. Таким

образом, рассмотрим наиболее вероятные способы передачи информации – беспроводной и PLC.

3.1.1 Проводные системы коммуникации

Передача информации с помощью линии электропередачи представляет собой технологию, предназначенную для передачи данных с помощью силовых линий, используемых для передачи электроэнергии. Для данного способа передачи информации не требуется дополнительных выделенных линий, так как передача информации осуществляется по линии электропередачи. Выделяют два основных типа технологий PLC: узкополосные (NB-PLC) и широкополосные (BB-PLC) [31].

В широкополосной технологии используется полоса частот от 1,8 МГц до 86 МГц и обеспечивает скорость передачи данных в сотни Мбит/с. Широкополосная технология используется в приложениях малой дальности, что определяет высокую скорость передачи данных [32].

Низкочастотные PLC-системы работают в полосе частот ниже 500 кГц. В Европе эта полоса ограничена диапазоном частот от 3 кГц до 148,5 кГц и разделена на 4 частотных поддиапазона, что регулируется CENELEC и полностью описано в стандарте EN 50065-1 [33]. Данные поддиапазоны определяются как:

- А-диапазон: 3 кГц - 95 кГц - зарезервированы для поставщиков энергии для мониторинга или управления распределительных сетей низкого напряжения.
- В-диапазон: 95 кГц - 125 кГц - может использоваться потребителями приложений без какого-либо протокола доступа.
- С-диапазон: 125 кГц - 140 кГц - зарезервированы для домашних сетевых систем с обязательным протоколом доступа CSMA / CA.
- D-диапазон: 140 кГц - 148,5 кГц – используются для сигнализации и систем безопасности без какого-либо протокола доступа [34].

Основными элементами PLC-сети являются:

- PLC-контроллер;
- модули подключения;
- объединительная плата;
- блок питания;
- программное обеспечение.

Осуществление передачи информации заключается в применении методов модуляции. До недавнего времени узкополосные системы были основаны на отдельных модуляциях несущих. В такой модуляции данные были получены путем изменения или модуляции параметров сигнала несущей, например: частоты модуляции (частотная манипуляция) или фазы модуляции (фазовая манипуляция) [34].

К преимуществам PLC можно отнести:

- возможность быстрой адаптации существующей сети электропередачи, что снижает затраты на проектирование и эксплуатацию;
- интенсивное развитие, предоставляющее несколько стандартов передачи информации.

К недостаткам можно отнести:

- затухание и искажения, вызванные электропроводкой и подключенными электроприборами.

Применительно к интеллектуальным системам освещения, в [35] было выявлено, что ртутные лампы негативно влияют на качество передачи данных в PLC-сетях. Данный существенный недостаток можно избежать, используя светодиодное освещение.

Так же использование сетей переменного тока добавляет гармонические помехи в PLC-сети и способствует затуханию сигнала. Проводятся исследования, доказывающие преимущество перехода с сетей питания переменного тока на сети с постоянным током [36].

Затруднение, связанное с внедрением PLC-сетей в России, связано, пожалуй, со слабым правовым обеспечением для данной технологии применительно к городской инфраструктуре.

3.1.2 Беспроводные системы коммуникации

Беспроводные системы коммуникации, используемые в системах управления, включают GSM/GPRS сети, Bluetooth сети [37], Wi-Fi [38], Zigbee [39], сети со сверхширокополосной передачей данных [40].

По дальности связи можно классифицировать:

WWAN (Wireless Wide Area Network) - беспроводная глобальная вычислительная сеть, в которой используются такие технологии, как UMTS, GPRS, GSM и т.д.

WMAN (Wireless Metropolitan Area Network) - беспроводные сети масштаба города, такие как WiMAX-сеть, работающая на основе стандарте IEEE 802.16 со скоростями 1-10 Мбит/с в зоне 4-10 км.

WLAN (Wireless Local Area Network) - беспроводная локальная сеть с дальностью действия до 100 м. Wi-Fi (IEEE 802.11) – наиболее известный набор стандартов.

WPAN (Wireless Personal Area Network) - беспроводная персональная сеть, предназначенная для передачи данных с низкой скоростью и частотой передачи 2.4 ГГц. Bluetooth, ZigBee – наиболее известные представители данной категории.

Преимущества беспроводной передачи данных:

- устранение всех возможных затрат, связанных с физической связью элементы системы;
- возможность установления соединения для устройств, использующих различный протокол передачи данных от разных производителей;

- возможность автоматически переконфигурировать сеть при добавлении нового элемента [30].

Был проведен сравнительный анализ беспроводных и PLC-сетей (табл. 7) [41].

Таблица 7 - Сравнительный анализ беспроводных сетей и PLC-сетей

Беспроводные сети	Узкополосные PLC-сети (3-500 кГц)
Избирательность канала по времени обусловлена мобильностью узлов.	Избирательность по времени обусловлена случайными переключениями в энергосистеме.
Стохастический характер изменения во времени определяется с помощью доплеровского спектра.	Изменение во времени, как правило, периодическое с периодом, равным половине от сети переменного тока [42] с логнормальным селективным замиранием по времени [43].
Мощность уменьшается согласно $d^{-\eta/2}$, где d – расстояние, η – постоянная распространения.	Мощность уменьшается согласно $e^{-\alpha(f)d}$ вдоль линии электропередачи и далее затухает при прохождении через трансформаторы.
Дополнительный шум обычно является стационарным и Гауссовским.	Дополнительный шум является не Гауссовским и импульсным с циклическим компонентом
Динамически изменяющаяся среда распространения сигналов.	Фиксированная топология сети обеспечивает детерминированность процесса распространения сигнала
Лимитированная интерференция	Потенциальная интерференция ограничена несогласованными пользователями из-за увеличения развертывания различных стандартов [44].
Многоканальный вход – многоканальный выход (MIMO) широко используется, например, в WiMAX и LTE	MIMO порядка (# проводов – 1) возможна (как например, в стандарте G.9964 MIMO для BB-PLC)
Глобальная синхронизация по сети затруднительна	Несущий сигнал переменного тока может упростить синхронизацию

Согласно сравнительному анализу на данный момент самым перспективным вариантом для использования в интеллектуальной системе освещения являются беспроводные технологии, такие как ZigBee и Wi-Fi, так

как требуют меньших затрат на установку и эксплуатацию. Возможность использования Wi-Fi сетей реализуется в данный момент в рамках проекта SmartLighting в Германии.

Но в то же время, согласно табл. 8 ZigBee предполагает большее количество узлов коммуникации и позволяет экономично расходовать электроэнергию [11].

Таблица 8 – Сравнение стандартов передачи информации

	ZigBee	Wi-Fi	Bluetooth
Стандарт IEEE	802.15.04	802.11 b/g	802.15.01
Назначение	Управление	Широкополосная сеть	Мобильные устройства
Кол-во устройств в сети	До 65 000	32	7
Рабочая зона	100 м	100 м	10 м
Время работы батареи	100-1000 дней	1-5 дней	1-7 дней

3.2 Программная часть системы коммуникации

В качестве базовых механизмов, используемых в программной части системы коммуникации, являются:

- **общая память:** общая область памяти устанавливается между процессами для взаимного обмена информацией;
- **механизм сообщений:** механизм сообщений является одним из коммуникационных примитивов, используемых для связи между процессами. Процессы взаимодействуют друг с другом, принимая и отсылая между собой сообщения;
- **конвейер (pipeline communication):** механизм, выполняющий перенаправление ввода-вывода, т.е. то что выводит на поток стандартного вывода предыдущий процесс, попадает в поток стандартного ввода следующего процесса;
- **сокеты:** каждая сторона открывает порт для установления сокет-соединения, через которое происходит передача данных [45].

Разрабатываемая интеллектуальная система освещения не включает центрального блока управления. Но данное утверждение верно лишь относительно аппаратной реализации - нет специального устройства в системе, которое централизованно управляет и контролирует светильники. Однако, если рассматривать логические уровни функциональной схемы системы, такой центр существует (табл. 9) [46].

Таблица 9 – Структура интеллектуальной системы освещения

Центральный блок управления (Програм. обеспечение)
Скрипты
Маршрутизация/Уровень коммуникации
Среда передачи информации/Физический уровень
Уровень программного обеспечения

Центральный блок управления является управляющим элементом системы. Он контролирует все остальные слои, слои, как показано в таблице 9, получает сигналы от датчиков, устанавливает связь между узлами и контролирует уровень освещенности источника освещения. Таким образом, центральный блок управления ассоциируется с каждым узлом интеллектуальной системы освещения. В ходе работы происходит коммуникация между данными узлами и реализация соответствующих сценариев.

При обнаружении движения данные с датчика передаются на центральный блок управления, который, в свою очередь, определяет направление, скорость, момент обнаружения движения и географические либо логические координаты, после чего полученная информация обрабатывается и выдается команда источнику освещения. Далее центральный блок управления посылает сообщение об обнаружении движения соседним узлам или получает от них ответ.

IPv6-автоконфигурация сети и получение информации о комфортной зоне освещения при обнаружении движения - сценарии, которые запускаются с помощью центрального блока управления, когда они необходимы.

Для обнаружения движущегося объекта и определенном направлении движения необходимо, чтобы каждый фонарь обладал координатами, на основе которых возможно присвоение каждому фонарю уникального местоположения. Для этой цели в разрабатываемой интеллектуальной системе освещения используется специальная схема адресации (рис. 14) в соответствии с [47].

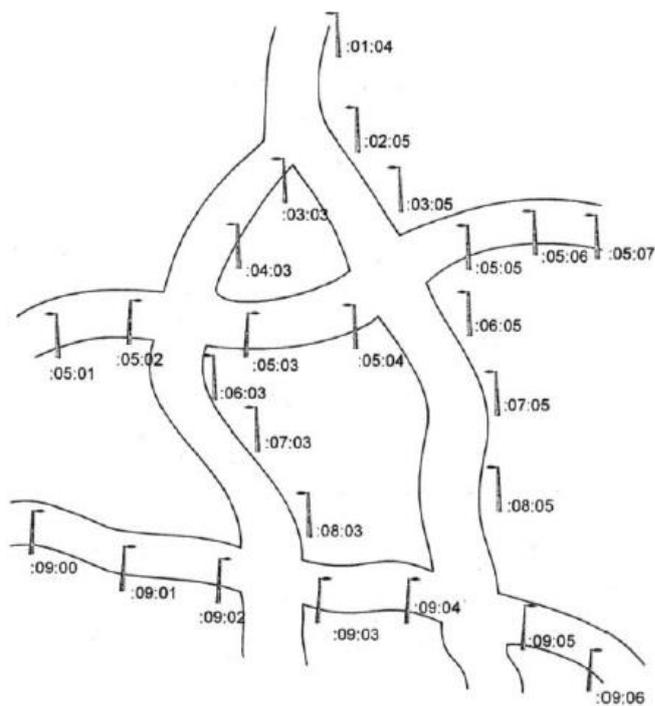


Рисунок 14 - Схема адресации, используемой в интеллектуальной системе освещения [47]

Таким образом, предполагается использование схемы адресации, основанной на двумерной структуре сетки с координатами X и Y . Эти координаты кодируются в сетевой адрес каждого сетевого узла. Информация о местоположении является либо логический, основанный на декартовой системе координат с началом координат $(0;0)$, или абсолютная, на основе абсолютных географических координат, включающих долготу и широту, полученные с помощью модуля GPS.

Автоконфигурирование IPv6 реализует кодирование местоположения в IPv6-адрес каждого сетевого узла, и, таким образом, позиционирует каждый узел на сетке. Эта функция является преимуществом, так как расположение

уличного фонаря может быть установлено с помощью запроса IP-адреса соответствующего узла.

В качестве второй части автоконфигурирования IPv6, происходит определение соседних ламп для каждой лампы, таким образом строя сетевую топологию ламп, которые затем дают возможность соответствующим образом реагировать на определенное направление движения.

Перед включением соответствующих огней для участников дорожного движения системой определяется зона освещения для освещения только необходимого пространства. Для работы данного алгоритма необходимы следующие входные параметры: местоположение обнаруженного объекта, направление движения и скорость движения.

4 Разработка алгоритма работы интеллектуальной системы освещения

Рассмотрев возможные технологии для реализации интеллектуальной системы освещения, была разработана схема узла интеллектуальной системы освещения согласно рис. 15.

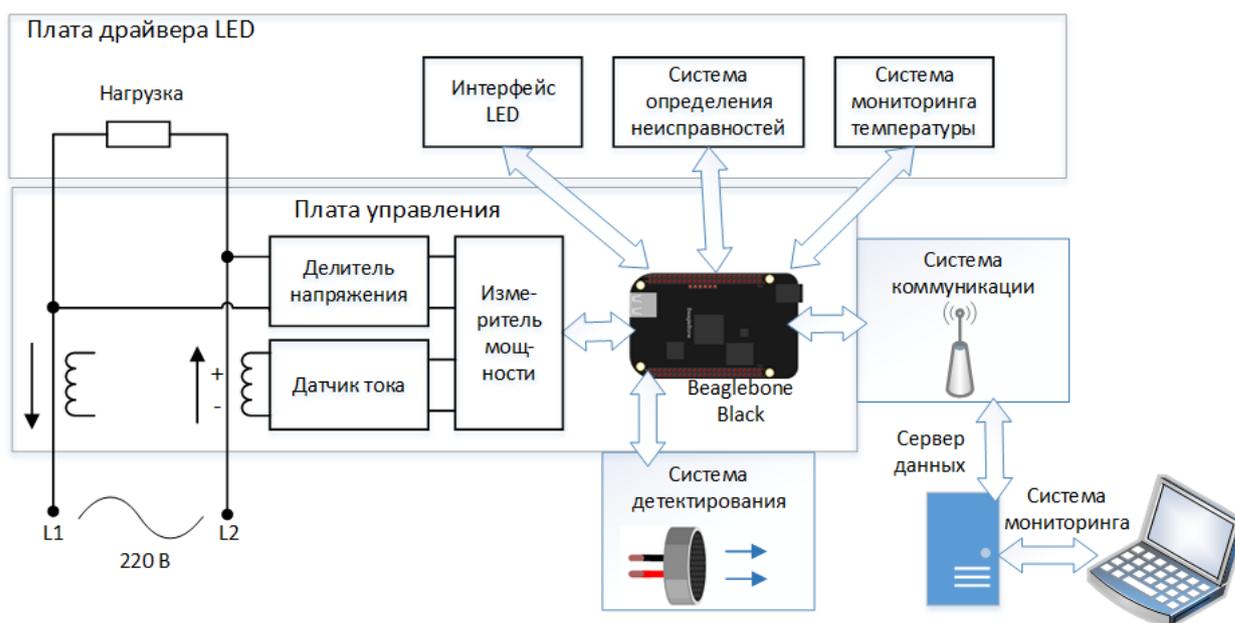


Рисунок 15 - Блок-схема узла интеллектуальной системы освещения

В качестве центрального управляющего устройства выбран микрокомпьютер Beaglebone Black, который осуществляет управление системами детектирования и коммуникации, питанием источника освещения, платой управления освещением. Измеритель мощности позволяет измерять силу тока, мощность, что используется для дальнейшего управления освещенностью, зависимой от поданного напряжения. Система детектирования определяет изменение внешних условий, на основе чего принимается решение об уровне освещенности. В плату драйвера LED включены реализованный интерфейс, необходимый для управления фонарем, система определения неисправностей, которая позволяет оперативно реагировать на возникающие неисправности, система мониторинга температуры, которая необходима для предотвращения перегрева платы, что может привести к неисправности.

Система коммуникации включает в себя как функции передачи информации между равнозначными узлами сети, так и функции передачи информации на сервер данных для последующего мониторинга оператором.

Далее для создания полноценной системы необходима комбинация узлов, рассмотренных выше, создание программной части, настройка и отладка системы. Рассмотрение данных вопросов затрагивает определение конфигурации системы, что невозможно без определения соответствующих ограничений и требований к системе, что рассматривается далее.

4.1 Предварительные исследования интенсивности дорожного движения

В данном разделе рассматриваются результаты исследований интенсивности дорожного движения автомобилей, проведенных в городе Томске коллективом из Томского государственного архитектурно-строительного университета [48], и пешеходов, проведенных в городе Кётене, земля Саксония-Анхальт, Германия, коллективом из лаборатории FILA Университета прикладных наук Анхальта [49].

Применение результатов предполагается использовать на улицах г. Томска – Савиных и Советская как предполагаемые улицы для тестирования интеллектуальной системы освещения. Такое допущение возможно за счет тождественности категорий улиц, учитываемых в исследованиях и предполагаемых улиц для реализации системы освещения.

На рис. 16 представлены результаты исследования интенсивности движения автомобилей.

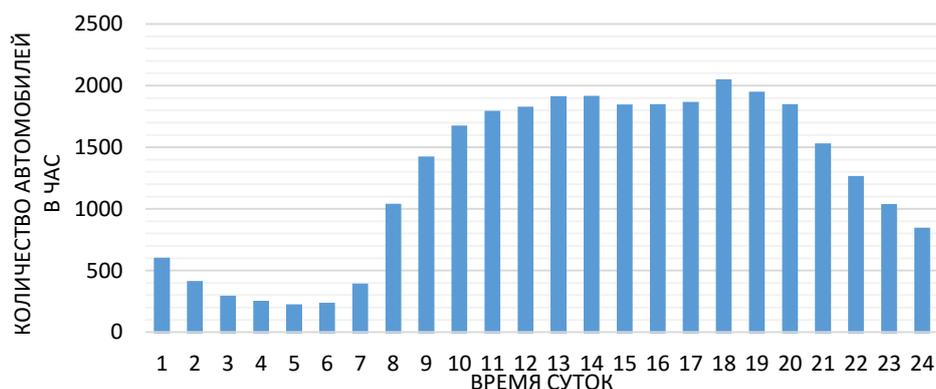


Рисунок 16 – Средняя интенсивность движения автомобилей в г. Томске в зависимости от времени суток

Примем, что в среднем необходимое время освещения – от 20:00 до 5:00. Тогда для данного времени интенсивность движения – от 216 до 1521 ед/ч.

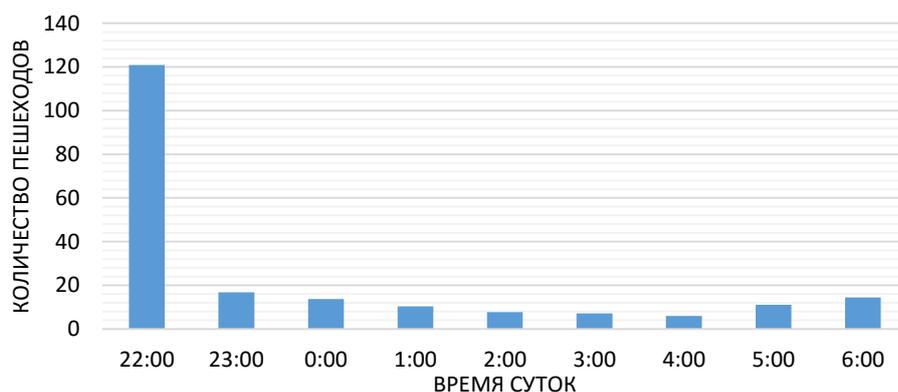


Рисунок 17 – Средняя интенсивность движения пешеходов в г. Кётене в зависимости от времени суток

Интенсивность движения пешеходов в период необходимого освещения составляет от 6 до 120 ед/ч. Полученные данные используются в следующем разделе при определении категории дорог для выбора оптимального уровня освещенности.

4.2 Правовые особенности проектирования дорожных пространств

Данный раздел освящает правовые вопросы проектирования уличных систем освещения в первую очередь с точки зрения норм освещенности и

конструкций элементов освещения для планирования элементов системы освещения с определенной мощностью. Требования по освещенности позволяют внедрить соответствующие ограничения при имплементации алгоритма работы интеллектуальной системы освещения – как в аппаратной части, так и в программной.

Анализ документации основывается на ключевых документах по проектированию уличного освещения городов:

- правила устройства электроустановок (ПУЭ). Издание седьмое [50];
- СНиП 3.05.06-85. Электротехнические устройства [51];
- СН 541-82. Инструкция по проектированию наружного освещения городов, поселков и сельских населенных пунктов [52].

Согласно проведенному исследованию интенсивности дорожного движения, можем заключить, что категория рассматриваемых улиц относится к В2 (табл. 10) согласно СП 52.13330.2011 [53].

Таблица 10 – Данные для определения категории дороги

Категория объектов		Класс	Основное назначение объекта	Транспортная характеристика	Расчетная скорость, км/ч	Число полос движения в обоих направлениях	Пропускная способность, тыс. ед/ч
Улицы и дороги местного значения	Жилая застройка в центре города	В2	Транспортные и пешеходные связи в жилых микрорайонах, выход на магистрали	Легковой, специальный и обслуживающий грузовой транспорт, движение регулируемое, пересечения в одном уровне	60	2-4	1,5-3

Для найденной категории определим нормы освещенности (табл. 11).

Таблица 11 - Нормируемые показатели для дороги с регулярным транспортным движением с асфальтобетонным покрытием

Категория объекта	Класс объекта	Средняя яркость дорожного покрытия $L_{ср}$, кд/м ² , не менее	Общая равномерность распределения яркости дорожного покрытия $L_{мин} / L_{ср}$, не менее	Продольная равномерность распределения яркости дорожного покрытия $L_{мин} / L_{макс}$, не менее	Средняя освещенность дорожного покрытия $E_{ср}$, лк, не менее	Равномерность распределения освещенности дорожного покрытия $E_{мин} / E_{ср}$, не менее
В	В2	0,6	0,4	0,5	10	0,25

Освещение проезжей части участков улиц, дорог и площадей городских поселений со стандартной геометрией с регулярным транспортным движением следует проектировать исходя из норм средней яркости дорожных покрытий $L_{ср}$, слепящего действия и общей и продольной равномерности распределения яркости дорожного покрытия $L_{мин} / L_{ср}$ и $L_{мин} / L_{макс}$. При этом средняя яркость или средняя освещенность покрытия проезжей части в границах транспортного пересечения в двух и более уровнях на всех пересекающихся магистралях должна быть как на основной из них, а на съездах и ответвлениях - не менее 1,2 кд/м², или 15 лк.

На улицах, дорогах и транспортных зонах площадей пороговое приращение яркости Tl не должно превышать 15% в диапазоне 0,4-1,0 кд/м². А также на участках городского пространства, где нормируется освещенность, требуется ограничить предельную силу света светильников в установке в направлении водителей под углами 80° и 90° от вертикали соответственно значениями 30 и 10 кд на 1000 лм суммарного светового потока ламп в светильнике.

Интеллектуальная система освещения позволяет снижать освещенность при уменьшении интенсивности дорожного движения. При этом необходимо

соблюдение норм безопасности для предотвращения дорожно-транспортных происшествий, а также увеличения уровня преступности. Согласно [53] в ночное время допускается снижать уровень наружного освещения городских улиц, дорог и площадей при нормируемой средней яркости более 0,8 кд/м² или средней освещенности более 15 лк:

- на 30 % при уменьшении интенсивности движения до 1/3 от максимальной величины;
- на 50 % при уменьшении интенсивности движения до 1/5 от максимальной величины.

Также в ночное время не допускается частичное отключение светильников при однорядном их расположении и установке по одному светильнику на опоре, а также на пешеходных мостиках, автостоянках, пешеходных аллеях и дорогах, внутренних, служебно-хозяйственных и пожарных проездах, а также на улицах и дорогах сельских поселений. Для надежной ориентации водителей и пешеходов светильники должны располагаться таким образом, чтобы образуемая ими линия ясно и однозначно указывала на направление дороги.

Кроме численного значения освещенности необходимо определить зону освещенности, которая должна быть больше расстояния безопасного торможения участников дорожного движения. В табл. 12 представлена зависимость данного расстояния от скорости движения.

Таблица 12 - Расстояние безопасного торможения

Показатель	Проектная скорость движения, км/ч				
	40	60	80	100	120
Расстояние безопасного торможения, м	25	55	100	155	220

При установке фонарей необходимо учитывать шаг светильников - расстояние между светильниками или их комплексами в одном ряду по линии

их расположения вдоль улицы. Отношение шага светильников к высоте их подвеса на улицах и дорогах всех категорий должно быть не более 5:1 при одностороннем, осевом или прямоугольном размещении светильников и не более 7:1 при шахматной схеме размещения [52].

Таким образом, были рассмотрены ключевые правовые особенности проектирования систем освещения. Данные требования включены в доказательную базу технического регламента, и, соответственно, обязательны к исполнению. Соблюдение регламентирующих правил, установленных в изученной документации позволит удовлетворить необходимым требованиям безопасности, что является важной особенностью интеллектуальной системы освещения.

4.3 Алгоритм работы интеллектуальной системы освещения

Кроме рассмотренных аспектов, затрагивающих ограничения в области права, проектируемая интеллектуальная система освещения обладает следующими техническими характеристиками, рассмотренными ранее:

- систем является децентрализованной;
- сетевой протокол, используемый в системе, - IPv6;
- каждый узел самонастраивается в соответствии с внешними условиями;
- система позволяет использовать как PLC, так и Wi-Fi, ZigBee.

С учетом рассмотренных ограничений построим функциональную схему для интеллектуальной системы освещения (рис. 18).

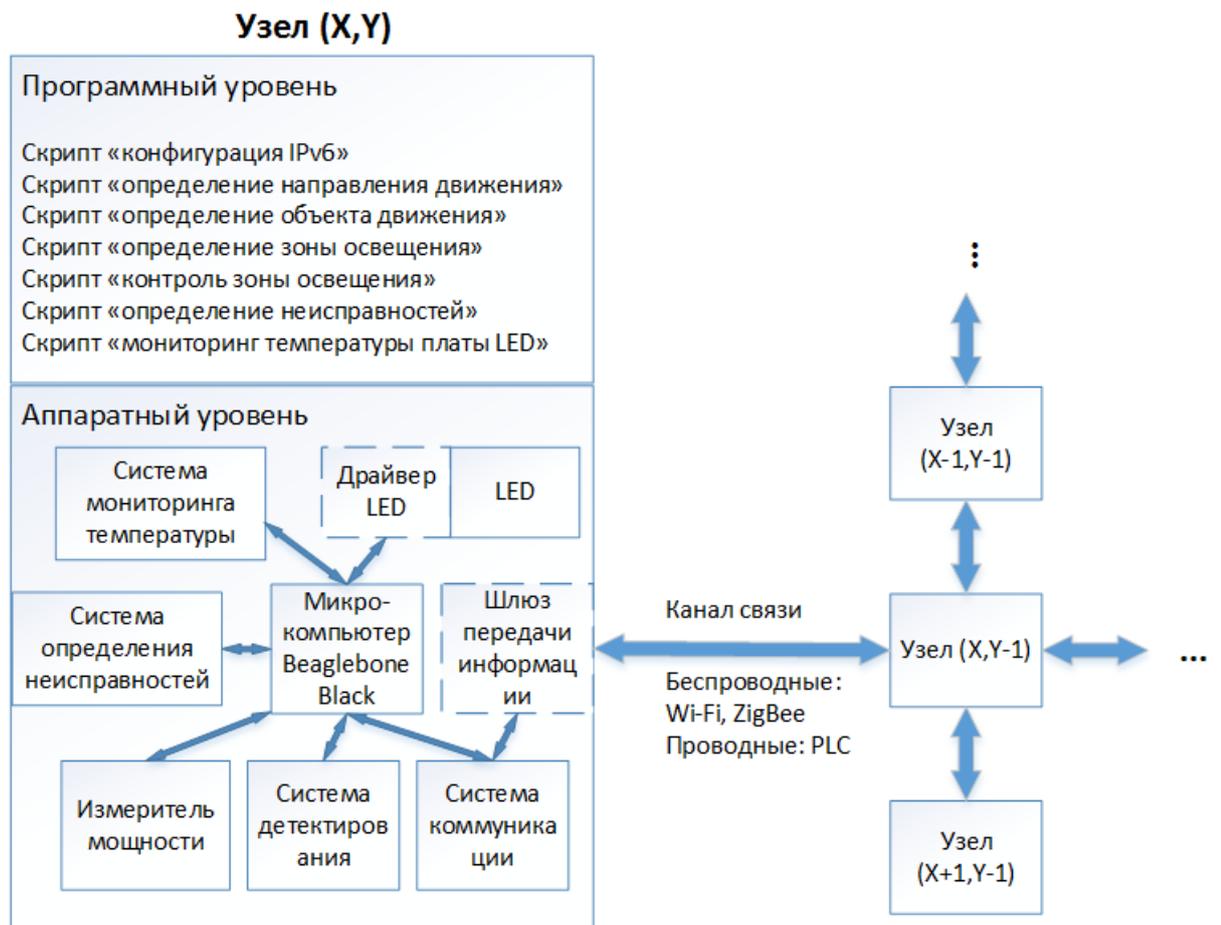


Рисунок 18 - Функциональная схема интеллектуальной системы освещения

Рассмотрим алгоритм работы для интеллектуальной системы освещения (рис. 19).

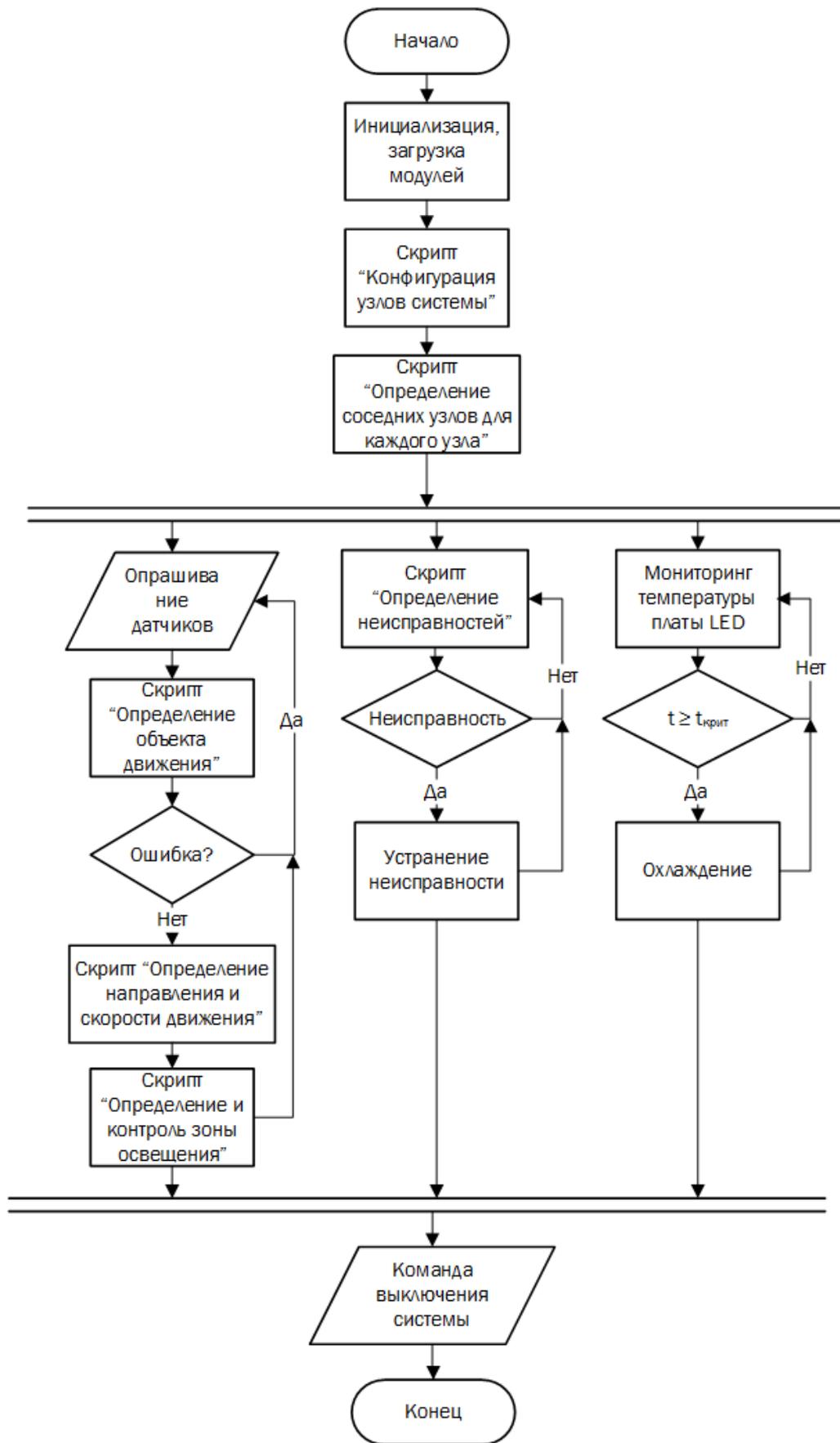


Рисунок 19 – Общий алгоритм работы интеллектуальной системы освещения

Алгоритм работы интеллектуальной системы освещения согласно рис. 19 следующий:

1. Происходит инициализация системы, запуск скриптов первоначальной настройки системы.

2. Выполняется скрипт автоконфигурации узлов системы для назначения адресов каждому узлу системы, создается список соседних узлов для каждого узла.

3. Далее в процессе работы системы одновременно выполняются скрипты управления освещением, определения неисправностей в системе и мониторинга температуры платы LED.

3.1. Происходит постоянный опрос состояния датчиков.

3.1.1. На основании данных с датчиков выполняется определение объекта движения - движения автомобиля, мотоцикла и велосипеда, относящихся к категории транспортных средств (С), или пешехода (Р), для которых затем выполняются последующие команды. В противном случае возможно ложное срабатывание датчиков из-за помех – тогда система игнорирует такое событие. С помощью датчиков определяются направление (с помощью угла (А) относительно координат размещения датчика) и скорость движения (v).

Возможные события (Е) при определении объекта движения:

- присутствие людей и/или транспортных средств, что и было обнаружено;

- присутствие людей и/или транспортных средств, что не было обнаружено;

- отсутствие людей и/или транспортных средств, что и было обнаружено;

- отсутствие людей и/или транспортных средств, что не было обнаружено.

Второй и четвертый сценарии должны быть идентифицированы системой в качестве ошибки и не должны влечь за собой неадекватных действий со стороны системы, т.е. должна происходить обработка ошибок.

3.1.2. Выполняется скрипт по определению зоны освещенности на основании полученных данных и выполняется контроль уровня освещения. При удалении объекта из зоны освещенности происходит снижение уровня освещенности до того, что было в состоянии покоя.

3.2. Выполняется скрипт определения неисправностей. Данный вопрос подробно был рассмотрен в разделе 2.2 данной диссертации.

3.3. Выполняется мониторинг температуры платы LED для предотвращения перегрева, который может привести к неисправности фонаря и его платы.

4. В случае команды выключения системы, происходит безопасное выключение интеллектуальной системы освещения.

Далее был подробнее рассмотрен алгоритмы работы для скрипта “Определение и контроль зоны освещения”. Определение зоны освещенности должно происходить согласно требованиям безопасности, которые, в свою очередь, зависят от зоны видимости, необходимой при движении с соответствующей скоростью, что описывается полиномиальной зависимостью второго порядка (рис. 20) [54]:

$$s \geq 10,5v^2 - 23,8 + 107,14.$$

При этом зона освещения впереди должна быть равна или больше зоны видимости.

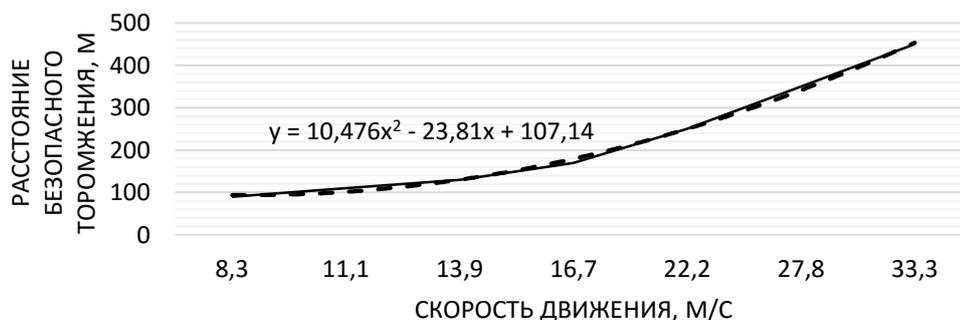


Рисунок 20 – Зависимость расстояния безопасного торможения от скорости движения

Согласно [53] возможно понизить уровни освещенности на 30 % и 50 % при уменьшении интенсивности движения до 1/3 и до 1/5 от максимальной величины, соответственно.

Интенсивность в нашем случае в основном падает до 1/5 от максимальной величины, следовательно, применим в алгоритме снижение на 50 % освещенности.

Согласно [55] была определена усредненная зависимость светового потока от напряжения и мощности, вырабатываемой на лампе (табл. 13). Рассмотрение значений светового потока уместно, так как связь между освещенностью и световым потоком прямо пропорционально.

Таблица 13 - Связь значений светового потока и напряжения фонарей

	1/5	2/5	3/5	4/5	Макс. Уровень
Напряжение, В	140	160	180	200	220
Мощность, Вт	199	244	293	345	400
Световой поток, лм	4774	7498	11165	15941	22000

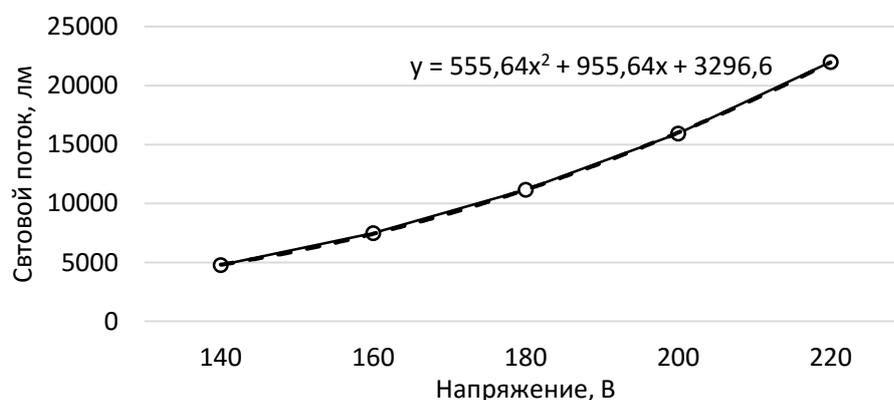


Рисунок 21 – Зависимость светового потока от напряжения светодиодного фонаря

Зависимость светового потока от напряжения в соответствии с уравнением линии тренда (рис. 21) может быть представлена как:

$$\Phi = 555,64V^2 + 955,64V + 3296,6$$

При прохождении человека определим значение освещенности как 40 % от максимального значения. Освещенность в темное время суток и в состоянии покоя падает до 10 % от максимального значения. Включение интеллектуальной системы освещения целесообразно при снижении естественного освещения до 20 лк, а отключение – при его повышении до 10 лк [52].

Таким образом, определим сценарии, определяющие различный уровень освещенности (табл. 14)

Таблица 14 – Сценарии различных уровней освещенности

Сценарий №	Событие: С* или Р**	Интенсивность (I)	Естественная освещенность, лк	Освещенность (E)
1	С	$\leq 1/5$	≤ 20	$0,5 \cdot E$
2	С	$1/5 < I \leq 1/3$	≤ 20	$0,7 \cdot E$
3	С	$1/3 \leq$	≤ 20	E
4	Р	-	≤ 20	$0,4 \cdot E$
5	-	-	≤ 20	$0,1 \cdot E$
6	С или Р	Любая, но на перекрестке	≤ 20	E
7***	С и Р при пересечении зон освещенности	Любая	≤ 20	E или $0,7 \cdot E$ или $0,5 \cdot E$

* Транспортное средство

** Пешеход

*** Если происходит движение пешехода в зоне освещения, определенного для транспортного средства, то выполняется сценарий для транспортного средства

На основе рассмотренных входных данных и сценариев построим алгоритм для скрипта «Определение и контроль зоны освещения» (рис. 22).

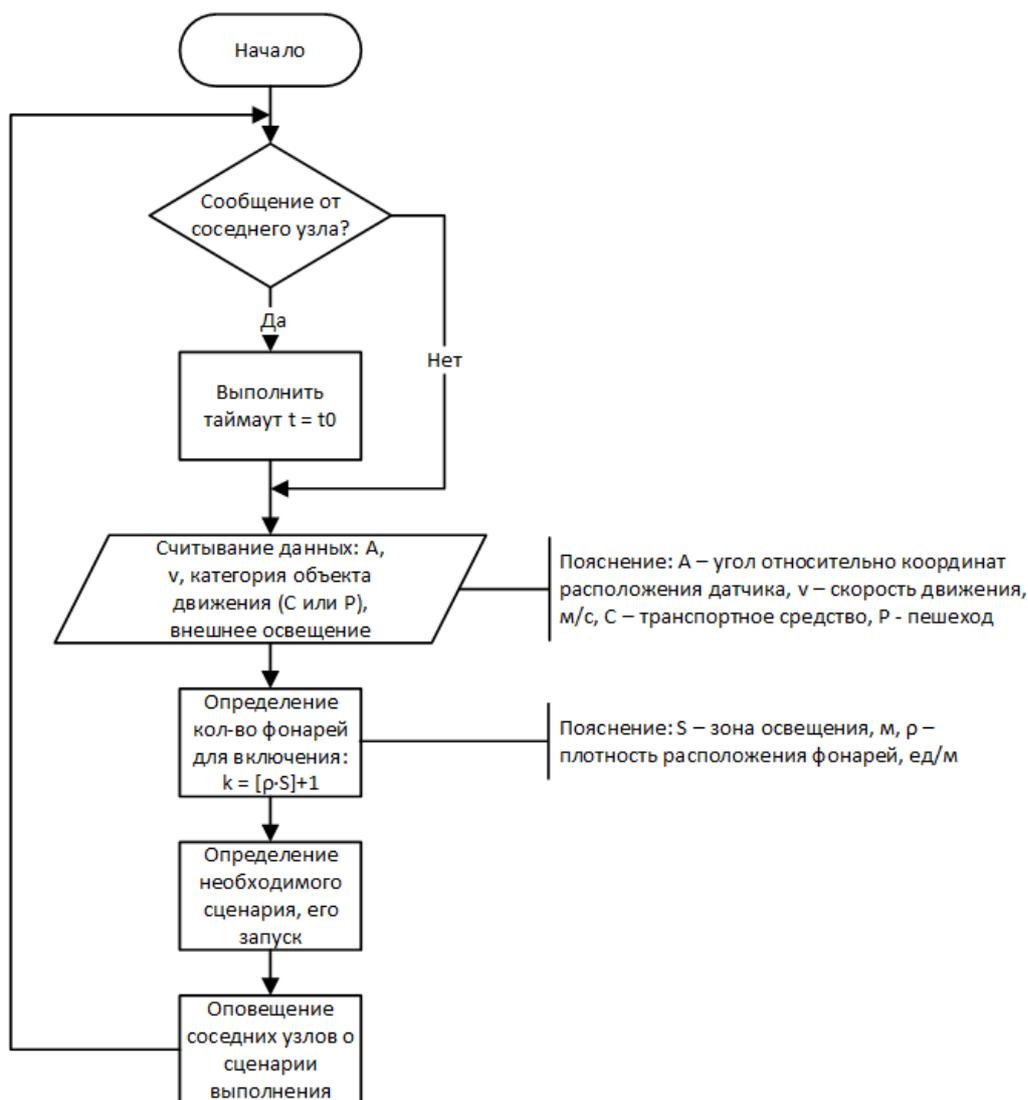


Рисунок 22 – Алгоритм работы скрипта

Данный алгоритм выполняется для одного узла, в котором выполняется идентификация объекта движения, происходит определение зоны освещения и осуществляется контроль уровня освещения. Затем сообщение с информацией о необходимом уровне освещения передается на все узлы в зоне освещения, которая определяется целым числом от произведения расстояния зоны освещенности на плотность размещения узлов плюс один узел. На соседних узлах в случае приема сообщения автоматически запускается необходимый сценарий. При этом важно выполнение одного сценария для соблюдения

однородности освещения во всей зоне. В случае изменения курса движения, скорости или направления объекта, информация считывается на других узлах и отправляется на узлы снова, в следствие чего происходит обновление сценария.

Определение зоны освещения зависит как от параметров, считываемых датчиками, так и структуры системы освещения, расположения фонарей на дорожном пространстве: одностороннее, двухрядная в шахматном порядке, двухрядная прямоугольная, осевая, двухрядная прямоугольная по осям движения, двухрядная прямоугольная по оси улицы. Исследование влияния каждой архитектуры на работу интеллектуальной системы освещения планируется в дальнейшем.

Рассмотренный алгоритм может применяться на улицах Савиных и Советской (от Нахимова до пр. Кирова) (рис. 23). Это возможно, так как соблюдаются начальные условия по интенсивности движения, категории дорог.

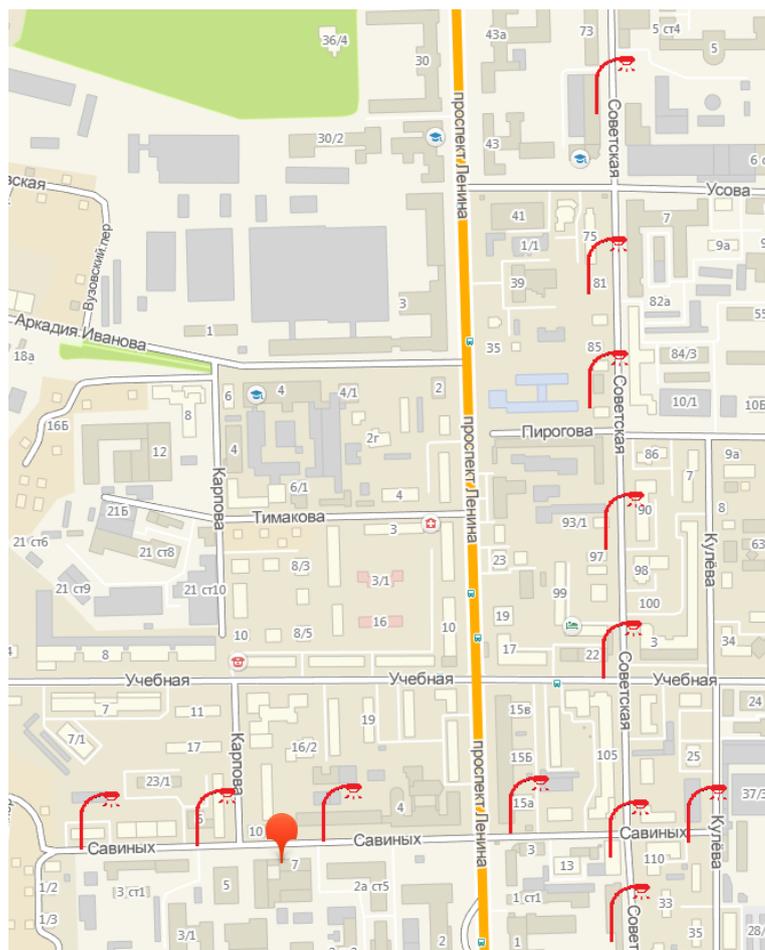


Рисунок 23 – Предложенный участок дорожной сети для применения интеллектуальной системы освещения

5 Технико-экономическое обоснование внедрения интеллектуальной системы освещения в городе Томске

Выбранная конфигурация интеллектуальной системы освещения, представленная в Главе 5, является наиболее оптимальной согласно [56] и предварительным исследованиям, проведенным в проекте SmartLighting [46][47][49]. Так, если сравнивать выбранную интеллектуальную систему освещения с типичной системой освещения на основе газоразрядных ламп, то экономия может составлять до 77,93 %. Рассмотрим наиболее оптимальное оборудование для данной конфигурации.

Расчет системы производится с учетом переоборудования существующих фонарных столбов, таким образом их количество остается тем же и составляет 46 единиц, установленных на рассматриваемых участках улиц Савиных и Советская.

В качестве датчиков, применяемых в системе, были выбраны комбинированный датчик движения Сокол-3 [57], датчик освещенности PDV-P8001 [58]. В качестве системы коммуникации, предлагается использовать модули XBee ZigBee RF, работающих на основе стандарта WiMAX. Управляющий модуль выбирается из альтернатив согласно табл. 15 [39].

Таблица 15 – Альтернативы выбора управляющего модуля

	RaspBerry Pi	Arduino	Beaglebone
Цена, \$	25	35	50
Опер. система	Linux	Производителя	Linux
Подходит для	Проектов с уклоном в программную область	Проектов с уклоном в аппаратную область	Проектов с уклоном в программную область
Кол-во выводов	8 цифровых	14 цифровых, 6 аналоговых	65 цифровых

Оптимальным решением по соотношению цены и необходимого функционала является использование Raspberry Pi.

В качестве источника освещения были выбраны светодиодные светильники уличного освещения SLED-Street-7-40-III-5 [59] и соответствующие драйвера 104V300MA. Более того, необходимы затраты на установку и обслуживание, которые составляют 1237 руб. за фонарный столб.

Таким образом, необходимое оборудование для реализации интеллектуальной системы освещения может быть представлено в табл. 16.

Таблица 16 – Смета расходов на установку

Наименование	Количество	Цена	Сумма, руб.
Комбинированный датчик движения Сокол-3	46	1505 руб.	69 230
Датчик освещенности PDV-P8001	10	0,95 \$ = 63 руб.	630
Модуль XBee ZigBee RF	46	28,9 \$ = 1909 руб.	87 814
RaspBerry Pi	46	25 \$ = 1651 руб.	75 946
Светодиодный светильник SLED-Street-7-40-III-5	46	6000 руб.	276 000
Драйвер для светильника 104V300MA	46	635 руб.	29 210
Установка и обслуживание	46	1237 руб.	56 902
			595 732

Таким образом, затраты на оборудование, установку и обслуживание составляют 595 732 руб.

Далее рассчитаем годовую экономию электроэнергии:

$$Э_n = (P_{дрл} - P_{свд}) \cdot n \cdot N_{ч} \cdot K_c,$$

где $Э_n$ - экономия электроэнергии в натуральном эквиваленте за год, кВт·ч,

$P_{дрл}$ - установленная мощность используемой в настоящее время ртутной лампы высокого давления, Вт,

$P_{свд}$ - установленная мощность светодиодной лампы, Вт,

n - количество ламп,

$N_{\text{ч}}$ – средняя продолжительность часов работы светильников в году, определяется как произведение количества дней работы ламп в году на количество часов работы в день (365 дней * 7 часов в день);

K_c - коэффициент использования (на данный момент только доступна экспертная оценка на основе разработанного алгоритм, представленного в главе 5). $K_c = 0,2 + 0,8 \cdot 0,5 = 0,6$ – распределение 20 % для освещения перекрестков, где не происходит уменьшения уровня освещенности, и 80 % для освещения улиц, где в среднем уровень освещенности составляет половину от максимального значения.

Получаем годовую экономию электроэнергии:

$$\mathcal{E}_n = 0,25 \cdot 46 \cdot 2555 - 0,04 \cdot 46 \cdot 2555 \cdot 0,6 = 26561,78 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Тогда годовая экономия в денежном выражении равна:

$$\mathcal{E}_{\text{ден}} = \mathcal{E}_n \cdot T_э,$$

где $T_э$ – тариф на электроэнергию (руб.).

Подставляя актуальные значения тарифа на электроэнергию, получаем:

$$\mathcal{E}_{\text{ден}} = 26561,78 \text{ кВт} \cdot \text{ч} * 4,30 \text{ руб./кВт} \cdot \text{ч} = 114215,65 \text{ руб.}$$

На основе полученных значений затрат и экономии можем рассчитать простой срок окупаемости (количество периодов):

$$PP = \frac{I}{E_t},$$

где I – инвестиции (капитальные затраты) в проект,

E_t – экономия в период времени (на этапе t).

Таким образом, находим срок окупаемости внедрения разработки при текущих уровнях стоимости иностранной валюты по отношению к российскому рублю (на 30.05.2016):

$$PP = \frac{595\,732 \text{ руб.}}{114\,215,65 \text{ руб.}} = 5,2 \text{ года}$$

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был проведен аналитический обзор технических решений в области интеллектуальных систем освещения, концепции умного города. Рассмотрены возможные альтернативы для структурных частей интеллектуальной системы освещения, выбрана конфигурация, соответствующая максимальной ресурсоэффективности при создании и эксплуатации системы.

Проведен сравнительный анализ возможных элементов системы детектирования, используемой в интеллектуальной системе освещения для получения необходимой адаптивности системы в зависимости от изменяющихся внешних условий – наличия дорожного движения и естественной освещенности. Используя типичные датчики движения и присутствия различных типов, была разработана экспериментальная установка, с помощью которой проведены экспериментальные исследования скорости реакции датчиков на движение в зоне контроля, в ходе которой были определены оптимальные датчики для детектирования движения в зоне контроля.

На основе аналитического обзора возможных технологий коммуникации были выбраны оптимальные варианты для использования в проектируемой системе освещения, а также рассмотрены варианты их совмещения с разработанными решениями по автоконфигурированию и определению соседних узлов в рамках проекта SmartLighting.

Был проведен обзор правовой информации по проектированию и разработке систем уличного освещения в России, и, используя результаты исследований по интенсивности дорожного движения, был разработан алгоритм определения и контроля зоны освещения.

Проведено технико-экономическое обоснование внедрения интеллектуальной системы освещения в городе Томске на примере улиц Савиных и Советская, что может быть использовано в дальнейшей

имплементации проекта по разработке интеллектуальной системы освещения в Томске.

В ВКР был проведен анализ экономической эффективности разработки интеллектуальной системы освещения, разработан план работ для эффективной реализации проекта, а также определена сумма проекта. Кроме того, был разработан комплекс мер по обеспечению безопасности, как в ходе разработки, так и в ходе эксплуатации разрабатываемой системы.

Таким образом, полученные результаты дополняют разработанные элементы интеллектуальной системы освещения научным коллективом на базе кафедры ФМПК ТПУ и лаборатории FILA Университета прикладных наук Анхальта в рамках проекта SmartLighting и позволяют использовать их при внедрении системы в любом российском городе.

Стоит отметить, что полученные результаты используются в условиях правовой неопределенности, так как в официальных государственных документах на данный момент не фигурирует термин «интеллектуальная система освещения».

Результаты по теме разработки были доложены на международных конференциях, таких как Международная научно-техническая конференция "Измерение, контроль, информатизация", XI Международная школа-конференция студентов, аспирантов, молодых ученых «Инноватика-2015», VI Научно-практическая конференция с международным участием «Информационно-измерительная техника и технологии 2015», VII Международная студенческая электронная научная конференция «Студенческий научный форум» - 2015. Список опубликованных статей представлен в разделе данной ВКР «Список публикаций студента».

Приложение А
(обязательное)

Раздел 1
Концепция интеллектуальной системы освещения
Smart lighting system concept

Раздел 2
Проектирование системы детектирования
Detection system design

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ4Б	Гопоненко Андрей Сергеевич		

Консультант кафедры ФМПК _____ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ФМПК	Юрченко Алексей Васильевич	Д.Т.Н., профессор		

Консультант – лингвист кафедры ИЯФТ _____ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ИЯФТ	Ковалева Юлия Юрьевна	к.п.н., доцент		

1 Smart lighting system concept

Smart lighting system concept is a concept of effective power distribution during process of illumination. This field is booming at the moment because of the orientation of society to "green" technologies, as evidenced by the adoption of important regulatory documents at national and international levels: in particular, the Kyoto Protocol can be highlighted [9].

By now two generations of smart lighting systems can be distinguished. The first generation is lighting systems based on LEDs. Replacing the classic light sources to LED light sources can significantly increase the service life, prevent environmental pollution during disposal [10]. LEDs also allow to adjust the light level that is currently used in smart lighting systems of the second generation, where the principles of adaptability and resource efficiency are realized.

The concept of smart street lighting is currently under serious work on the standardization and further development. In particular, such a work is carried out in the leading alliances and societies on smart lighting systems, the Internet of things - IERC, StreetLight Vision, IEEE, OMG, Industrial Internet Consortium, etc. [11-15].

This study aims at development of smart lighting system for municipalities of the city of Tomsk. In particular, purposeful streets for implementation of system were chosen - Savinykh street and Sovietskaya street.

Current research is performed at Tomsk Polytechnic University and Anhalt University of Applied Sciences and means the development and implementation of technical solutions developed within SmartLighting project. Project SmartLighting, conducted primarily on the basis of the FILA lab at Anhalt University of Applied Sciences, aims to develop smart lighting systems for pedestrian areas in the city of Koethen in Saxony-Anhalt land, Germany [16].

1.1 Comparative analysis

Currently, the smart lighting solutions market is represented by a variety of solutions. Several European cities have completely replaced the lighting system of the city in favor of smart lighting systems. For instance, smart lighting system was implemented in the city of Leipzig in Germany, Quebec in Canada and St. Petersburg in Russia [10] [17].

For a detailed consideration of typical solutions, five smart lighting systems were chosen, manufactured by the following companies: OSRAM, Amko Solara, Lux Monitor, Citenergy, Echelon (Table 1) [18].

The LED lighting is realized in the considered lighting systems. Adaptive control is implemented in all systems, but Citenergy system. Lux Monitor and Echelon use wireless transmission of data with the means of mesh-networks and IPv6. In the case of wireless transmission 6LowPAN standard is used. In OSRAM, Amko Solara and Citenergy systems power line communication technology (PLC) is used - data transfer via the power line, which is based on the ISO 14908 standard [19].

Control of the light sources is conducted by Digital addressable lighting interface (DALI), which was designed as an interface between the logical and physical control levels of LED lights. Direct supervision is provided by the StreetLight Vision system of software control, which is a standardized solution that can integrate smart lighting systems from multiple vendors [18].

Table 1 - Comparative analysis of smart lighting systems

Features	OSRAM	Amko Solara	Lux Monitor	Citenergy	Echelon
Communications technology	PLC ISO14908	PLC ISO14908	Wireless mesh IPv6 6LowPAN	PLC	Wireless mesh IPv6
IPv6	No	No	Yes	No	Yes
Data transmission and throughput	5 kb/s	5 kb/s	10 kb/s	15 kb/s	<5 kb/s
Support of dynamic working mode with motion sensors	Yes	Yes	Yes	No	Yes
Support of dynamic working mode with traffic consideration	Yes, SLV CMS	Yes, SLV CMS	Yes, SLV CMS	No	Yes
Interface of lighting source	1-10 V, DALI	1-10 V	1-10 V, DALI	1-10 V, DALI	1-10 V, DALI
Failure notification	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

* SLV CMS - StreetLight Vision Central Management Software

Also, all systems are monitored in order to detect the faults, which allow to respond to the faults as fast as possible.

For comparative analysis only foreign manufacturers were selected as no smart lighting integrated solutions from Russia were found during analytical overview. The only Russian company dealt with smart lighting integrated solutions was Rosnano group, but final product has still not been shown [20]. The most common solutions in Russia now are single lights with motion sensors or LED lighting system without adaptive control. Nevertheless, for example, smart lighting systems from Echelon were installed in St. Petersburg and Kazan [21].

Thus, according to the analysis of developed smart lighting systems, the following trends and key features of the development of such systems can be identified:

- developed systems use LED lighting, which affects the energy efficiency of the whole system. Currently, the main interface for control LED driver is DALI;

- the most of the systems adapt to the external conditions - the presence of motion in the control zone, traffic density, weather conditions. The maximum of system autonomy is provided and encountered problems can be quickly traced and corrected;

- communication in the smart lighting systems is based on the mesh-network or PLC. At the moment, two technologies are intensively being developed and unified, that allow to apply them at greater extent.

According to these trends, the design of smart lighting system is possible, that allow to meet modern requirements and win in comparison with analogs characteristics.

1.2 Requirements to designed smart lighting system

The designed smart lighting system must meet the following requirements:

1. The system is decentralized, that is, there is no central control unit.
2. The system can be easily integrated into the urban system.
3. The state of the system depends on external factors such as the intensity of the traffic and weather conditions.
4. Every lamp of the system works autonomously and is self-configurable.
5. The level of ambient light provided by the system must not exceed the stipulated safety requirements.

Thus, a smart lighting system must be able to determine the movement of the object in the control zone and to control the light level depending on moving object and its motion characteristics - speed and direction of motion (Fig. 1).

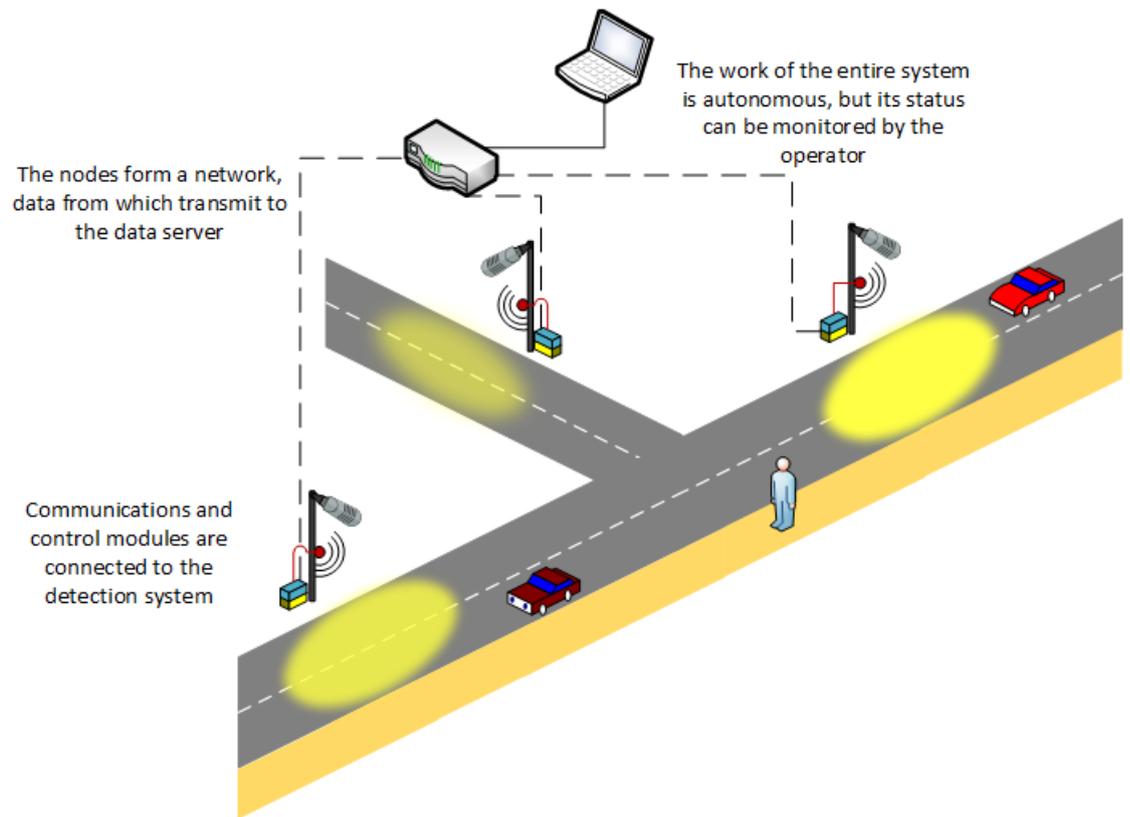


Fig. 1 The implementation of smart lighting system concept

In addition, the monitoring of weather conditions and the adoption of relevant decisions by the system when changing weather conditions should be provided.

1.3 The proposed technical solution

The proposed smart lighting system structure (Fig. 2) consists of nodes that combine Beaglebone microcomputer or another System-on-Chip module, detection and communication modules and LED flashlight.

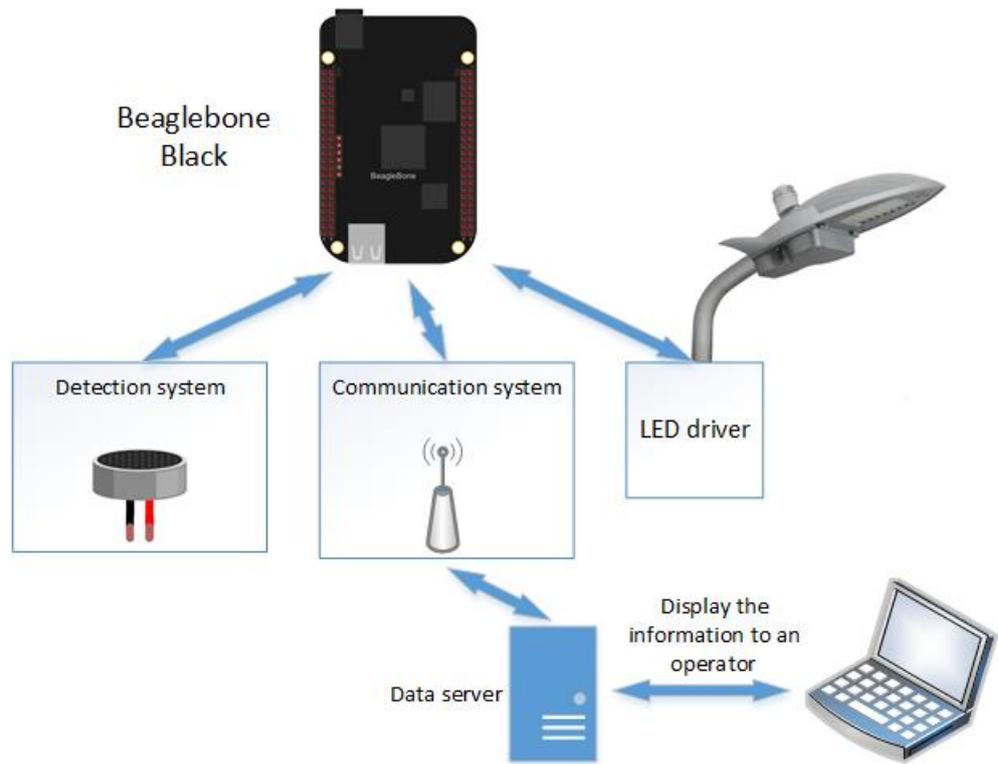


Fig. 2 Block diagram of smart lighting system

Microcomputer Beaglebone is used as a central control unit of the node. Each lamp corresponds to its own systems of communication and detection. Communication system is used for communication between node elements, as well as allows to send information to other nodes in the system. The detection system is needed to determine the volume of traffic generated by automotive vehicles and pedestrians, as well as changes in weather conditions.

2 Detection system design

The main principle of smart lighting systems is based on the analysis of the events taking place in the environment determined by some factors, and the corresponding decisions in order to minimize energy consumption. Such factors include road traffic and weather conditions. In order to detect such events, it is necessary to create an effective detection system. Thus, this chapter includes a preliminary study of various types of sensors for further use in smart lighting system.

2.1 Detection of road traffic

Analysis of traffic is based on the detection of vehicles' and pedestrians' movement with high accuracy. Then acquired data of a moving object or objects are processed, transmitted over the communication channel, and, according to the data, moving object is determined. Depending on the object, different action scenarios of intelligent lighting systems can be implemented.

Data on the traffic, which are necessary for intelligent lighting systems are the fact of movement itself, recorded by various sensors allowing to define a road user (car or pedestrian), velocity of the road user, direction of the movement. Data coming from the sensors have to be interpreted as accurately as possible.

Now we will consider the motion sensors, which can be used in intelligent lighting systems, and make a preliminary study of possible solutions.

2.1.1 Comparative analysis of movement detection methods

In [22], the methods of motion detection, as well as presence, were considered in detail. By the main physical principles, the following motion control methods can be distinguished:

- acoustic (ultrasound);
- radio wave (microwave);

- infrared (IR);
- combined.

Each of these types has its own advantages and disadvantages. Generally, these disadvantages are associated with the failure of the sensor to detect a person in certain conditions or, alternatively, its false respond.

Using a combination of methods for monitoring and detection can significantly reduce the likelihood of incorrect performance of the sensor. An alarm signal is generated only if simultaneously or within a short time interval both detectors are activated. To increase the stability of the system, it should be considered, that interferences causing false alarm signals, should differently affect each detector. Table 2 shows the impact of external factors on the operation of sensors of different types. The «+» sign means high sensitivity and «-» sign means low sensitivity, consequently.

Table 2 - The sensitivity of the sensors to the external factors

Ambient factor	Infrared	Microwave	Ultrasound
Air turbulence	+	-	-
Rain	-	+	+
Changes in temperature	+	-	+
Bright light	+	-	-
Electromagnetic interference	+	+	-
Fluorescent lighting	-	+	-
Vibration	+	+	+
Moving outside the control zone	-	+	-
Animals	+	+	+

The table shows that the majority of ambient changes have different effects on each detector and in most cases can not lead to the simultaneous activation of all sensors.

The most widely used combination at present is a combination of microwave and infrared detection principles. Much less often, a combination of ultrasound and

infrared detectors is used. There are also some examples of sensors which use three different physical principle of detection, but such sensors are almost not used [23].

2.1.2 Experimental unit

The most widespread motion sensors used in smart lighting systems are radio-wave, infrared, ultrasonic, and combined.

An experimental unit was assembled. It included a detection system of the smart lighting system (Fig. 3). Its main components are BeagleBone Black microcomputer, infrared sensor DP104, ultrasonic sensor SRF08, combined sensor Sockol-3, power supply unit with outputs 5V, 12V.

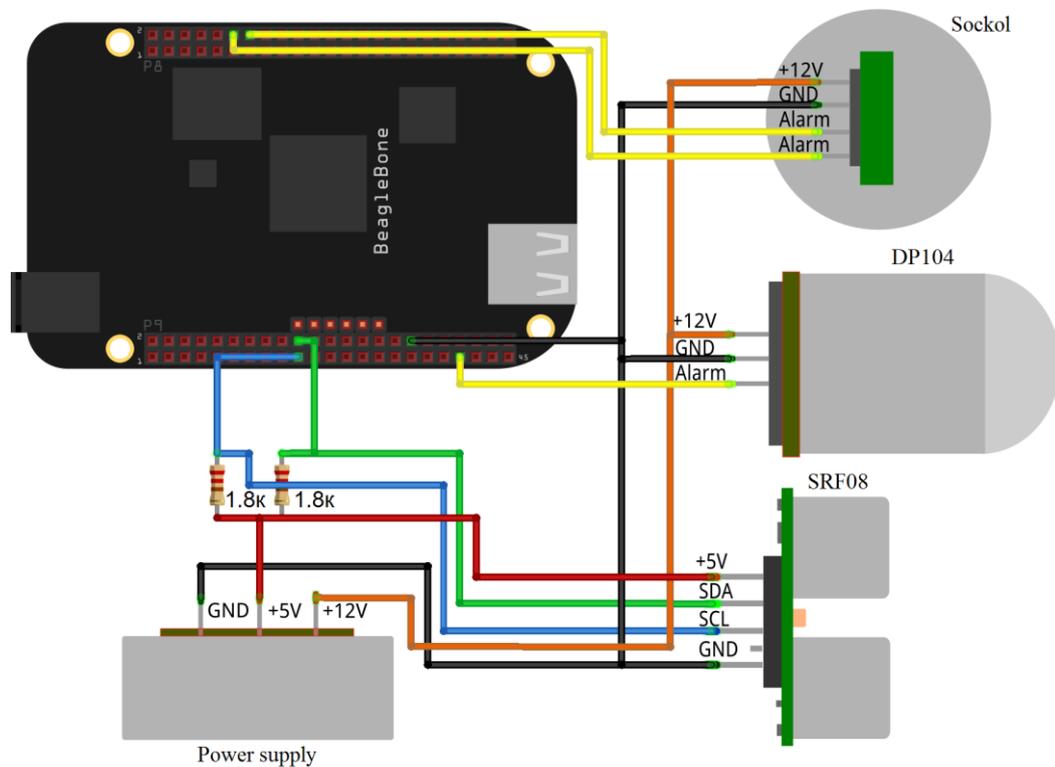


Fig. 3 Experimental mockup

Microcomputer BeagleBone Black. Microcomputer BeagleBone Black is used as a control unit that performs a program of information readout from sensors. BeagleBone Black specifications are presented in Table 3 [24][25].

Table 3 – Specifications of BeagleBone Black

Processor	1 GHz AM335x
Memory	512 Mb DDR3 (faster 1.6 Gb/s and lower power)
Storage	On-board 2 Gb eMMC (4 Gb eMMC on the Revision C board) and micro-SD card slot
Video	On-board HDMI
Debugging	JTAG header present but not populated
Serial Connection	TTL header present but separate cable needed
Input/Output Headers	GPIO, analog outputs/inputs, 5 V, 3.3 V, 1.8 V power supply, timers, buses: I ² C, UART, CAN, SPI, GPMC, MMC, LCD, McASP

Face view of the BeagleBone Black is shown in Fig. 4.

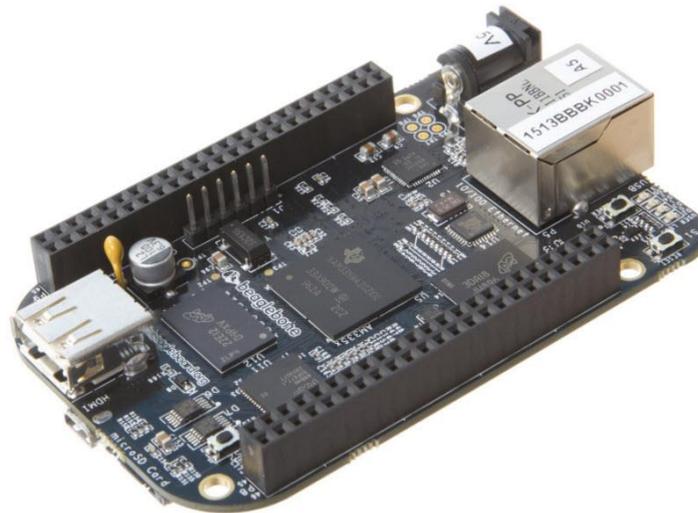


Fig. 4 Face view of the BeagleBone Black

In addition to control of the movement sensors in smart lighting system, microcomputer is connected to a communication unit that performs communication between smart lighting system nodes.

Infrared PIR Motion Sensor.

The used sensor is shown in Fig. 5. Specifications of used infrared sensor are presented in Table 4.



Fig. 3 Infrared sensor

Table 4 - Specifications of DP104

Power	DC 12 V
Detection distance	6-10 m
Output	Max 100 W LED lamp
Time setting	5s~6min
Lux setting	2~2000 lux
Material	ABS
IP Rating	IP65

Ultrasonic sensor SRF08. SRF08 ultrasonic sensor connects to BeagleBone Black microcomputer with a serial data bus I²C.

At first stage of work microcomputer initializes address of the sensor connected through the protocol I²C [24]. Scanning the monitored area with the sensor requires a command that sends certain value to the command register SRF08. The next step is reading out data from sensor registers. Data are received in hexadecimal format and carry information about distance to the object in cm (Fig. 6).

```

0 1 2 3 4 5 6 7
00: 0a f8 00 16 00 47 00 87
10: 01 ca 02 0a 02 4a 02 8d
20: 03 d7 04 1a 1a 1a 1a 1a
30: 1a 1a 1a 1a 1a 1a 1a 1a

```

Fig. 6 Distance data to the object (cell 0x02 - significant bit and 0x03 - the least significant bit), $0x16_{16}=22_{10}$ cm.

Features of SRF08 ultrasonic sensor are presented in Table 5.

Table 5 - Specifications of SRF08

Voltage	5 V
Current	15 mA Typ. 3mA Standby
Frequency	40 KHz
Working range	3 cm..6 m
Max Analogue Gain	Variable to 1025 in 32 steps
Connection	Standard I ² C Bus

The used sensor is shown in Fig. 7.



Fig. 7 Ultrasonic sensor

Combined sensor Sockol-3. When a person enters the detection area both detection channels go off (in any consequence). At the same time an alert is produced by switching off output relay contacts [27].

Sensor continually monitors interference signaling environment in protected room: if interference level through one of channels exceeds tolerable, the sensor automatically changes the detection algorithm. The sensor operates during 2 minutes subordinate to the changed algorithm, in 2 minutes it returns to the basic detection algorithm and the cycle begins to repeat. Transfer to another algorithm is indicated by the green light. If the operating sensor receives an alert by the detection algorithm in conditions of increased interference, immediately after its termination, the sensor returns to the basic detection algorithm.

Specifications of Sockol-3 combined sensor are presented in Table 6.

Table 6 - Specifications of Sokol-3

Types of sensors used	Microwave, infrared
Voltage	10..15 V
Current	30 mA
Working range	5...10 m
Working temperature range	-30..+50 °C

The used sensor is shown in Fig. 8.



Fig. 8 Sokol-3 sensor

2.1.3 Experimental results and analysis

The main aim of experimental investigations of motion sensors is to conduct a comparative analysis of existed sensors, determination of optimal conditions for the use in the smart lighting system on the basis of BeagleBone Black microcomputer. The used experimental unit is shown in Fig. 9.



Fig. 9 Experimental unit used for detection system experimental investigations

C++ based program was designed. It allows receiving information about sensor actuation at a motion in the sensors' control area.

In the study of different sensors, the most typical devices from each category were chosen. These sensors were used in the experimental unit. For motion sensors of different categories, a chart is built to show areas of their coverage determined by an experiment (Fig. 10). An experiment was performed in the area covered by all involved sensors. Its aim was to detect response of each sensor to pedestrian's motions.

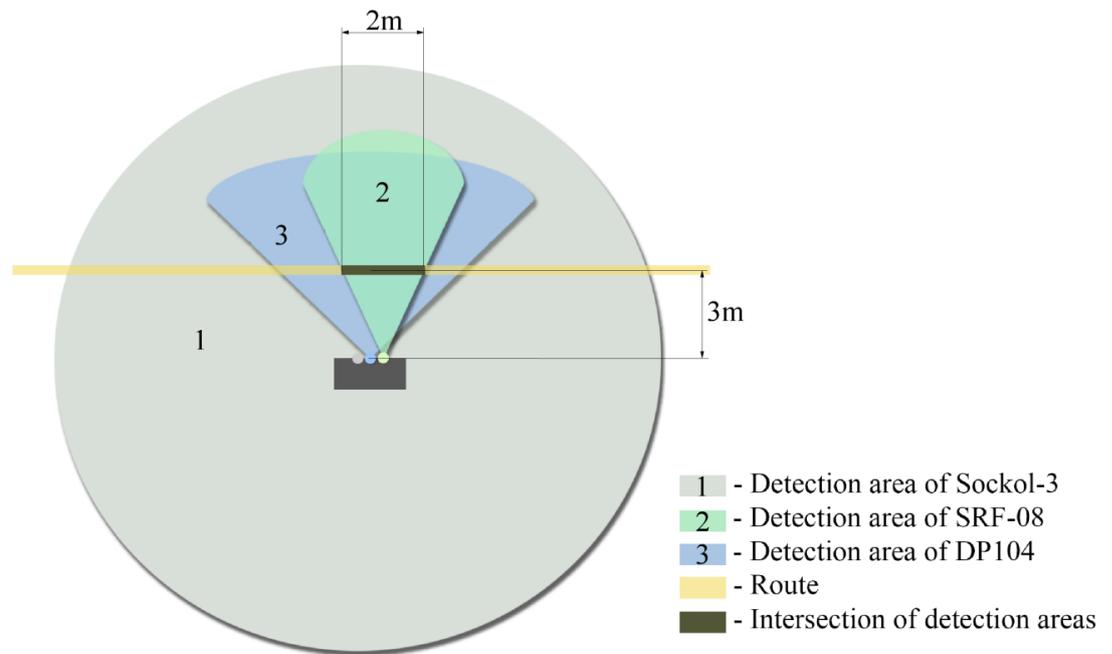


Fig. 10 Detection areas of motion sensors and experimental conditions

Sensor response to pedestrian's motions was detected in 3 meters from sensors' location. Measurement data are presented in Fig. 11. The area of all sensors intersection has a pedestrian motion distance of 2 meters, that is two times longer for Sockol-3 and DP104.

In the course of measurements, it was determined that the fastest response time appertains to ultrasonic sensor SRF08 that is second splits. Delay in time when a

pedestrian enters the controlled area is typical for an infrared sensor and a combined one. It is 0.5 second. At that a delay after pedestrian leaving the controlled area is 5 seconds for DP104 and 0.5 second for Sockol-3.

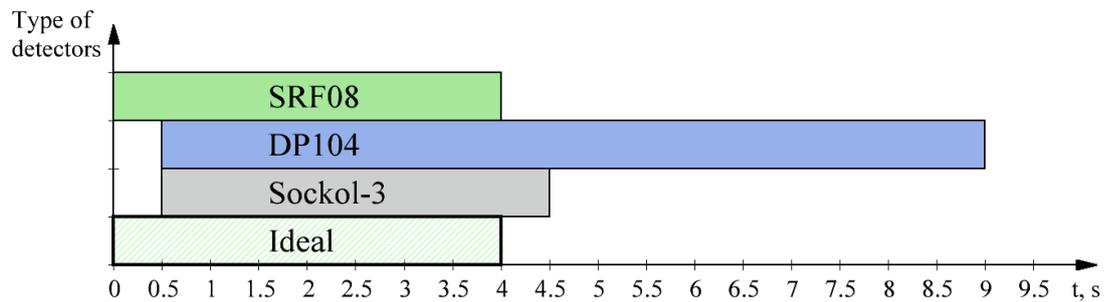


Fig. 11 Chart of sensors' responses to pedestrian motion

Relying on the results presented in Fig. 10 and 11, we can conclude that combined type of sensors is the most optimal solution for the use in smart lighting systems. The use of ultrasonic sensor in such systems is hardly possible due to the small angle of sensor action. More than that, this type of sensors are rather costly in comparison with the rest ones. Furthermore, it is possible to use an infrared sensor in smart lighting systems as it has a great angle of action; however, it is characterized by a bigger delay in response time.

2.2 Determination of changes in weather conditions

In addition to depending on traffic intensity, an adaptability of smart lighting system means an adequate response to changing weather conditions. The weather conditions are primarily the level of natural light, referring to the light of the sun or the moon. For this task, the photoresistor can be used which changes its resistance under the action of light.

As an experimental setup, the solution shown in Fig. 12 was used. This experimental setup consists of Beaglebone Black microcomputer, photoresistor and resistor of 10 kOhms. Photoresistor and resistor form a voltage divider, which is used to convert the changing resistance value to a value that is possible to measure at the analog input of the BBB, this value must be converted into a voltage of 0 to 1.8 V.

Photoresistor, that had been used, had the dark resistance of about 200 kOhms. In bright light the resistance drops to 1 or 2 kOhms.

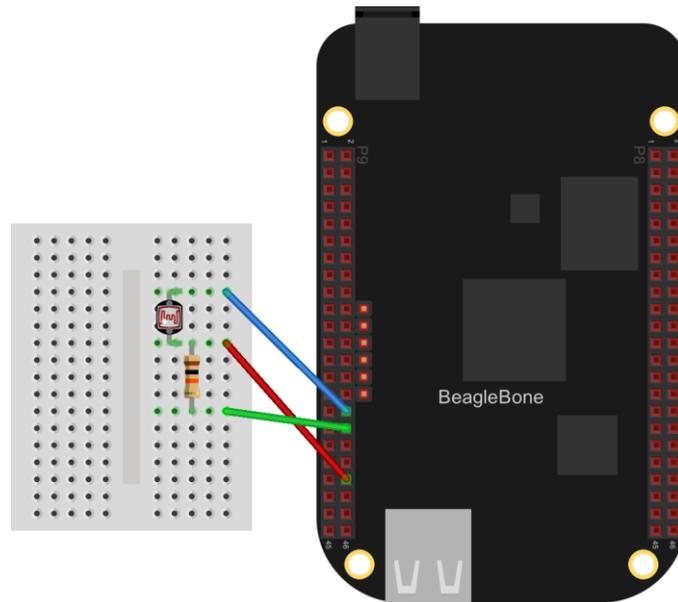


Fig. 12 Experimental setup for luminosity measurements

The electrical circuit diagram for the use of the experimental setup is shown in Fig. 13.

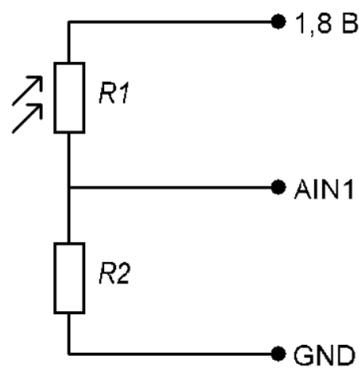


Fig. 13 Electrical circuit diagram for connection of photoresistor

If the photoresistor is illuminated, its resistance decreases, so the voltage approaches the value of 1.8 V. On the contrary, with decreasing of the light, the resistance increases and the voltage drops to 0 V.

The Adafruit_BBIO.ADC library to BBB was used to connect to BBB pins. The values from AIN1 of BBB were read:

```
>>> import Adafruit_BBIO.ADC as ADC
```

```
>>> ADC.setup()
>>> ADC.read("P9_40")
0.64435346654646456
>>> ADC.read("P9_40")
0.59456554555552234
```

Afterwards it is possible to use carried data to calculate the value of illumination according to the equation appropriate to the photoresistor.

This circuit design can be used both for determining the ambient light, and to determine the status of the lamp - in the absence of the necessary lighting a signal of inoperability of the light source can arrive to operator.

Also, for the adequate operation of the system while using microwave sensors, it is necessary to take into account the availability of the wind and rain, that is possible, using the data carried from the humidity and wind sensors. Detailed experimental investigations of additional factors affection on smart lighting system will be performed in the future work.