

Интеллектуальная роботроника

Курс лекций, семинаров и лабораторных работ
“Сенсорные и управляющие системы роботов”

МГТУ “СТАНКИН”, кафедра «Сенсорные и
управляющие системы» (СиУС) при Институте
прикладной математики им.М.В.Келдыша РАН

Андреев Виктор Павлович, профессор, д.т.н.

Москва, 2021г.

«Интеллектуальная роботроника»

Наука и практика разработки, производства и применения человеко-машинных, робототехнических систем (промышленных и сервисных), функционирование которых базируется на сенсорных и управляющих системах с элементами искусственного интеллекта и на распределённых микроэлектронных программно-аппаратных средствах

Участники:

Российская Инженерная Академия

Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН

Московский государственный технологический университет «Станкин»
(кафедра «Сенсорные и управляющие системы» при ИПМ им.Келдыша РАН)

Международная лаборатория «Сенсорика»

Международный институт новых образовательных технологий РГГУ

“ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ РОБОТРОНИКА”

Сенсорные и управляющие системы роботов

Тема 2b.

Сенсорные системы мобильных роботов

(дистанционные датчики)

Лекция 4

Сенсорные системы мобильных роботов

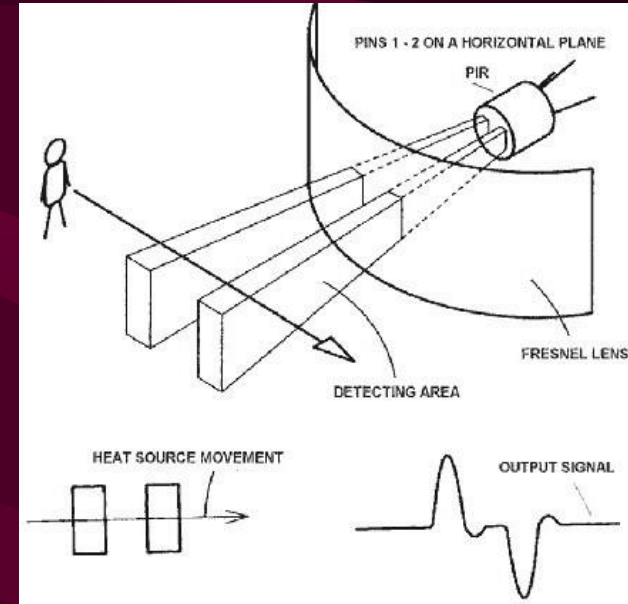
Дистанционные датчики (экстероцептивные)

ИК-датчик движения – принцип работы

PIR-датчики (passive infrared – пассивные инфракрасные) датчики сами не излучают, а только воспринимают ИК-излучение с $\lambda = 7 \div 14$ мкм. Датчик состоит из двух основных частей, реагирующих на *изменение* теплового излучения. Когда датчик находится в состоянии покоя, обе части сенсора получают одинаковое количество излучения, и на выходе датчика формируется сигнал низкого уровня (LOW). Это может быть, например, излучение помещения или окружающей среды на улице.

Чтобы датчик среагировал на движение, применяют линзы Френеля с несколькими фокусирующими участками, которые разбивают общую тепловую картину на активные и пассивные зоны, расположенные в шахматном порядке.

В робототехнике эти датчики используются крайне редко, например, для контроля попадания человека в опасную зону действия робота-манипулятора.



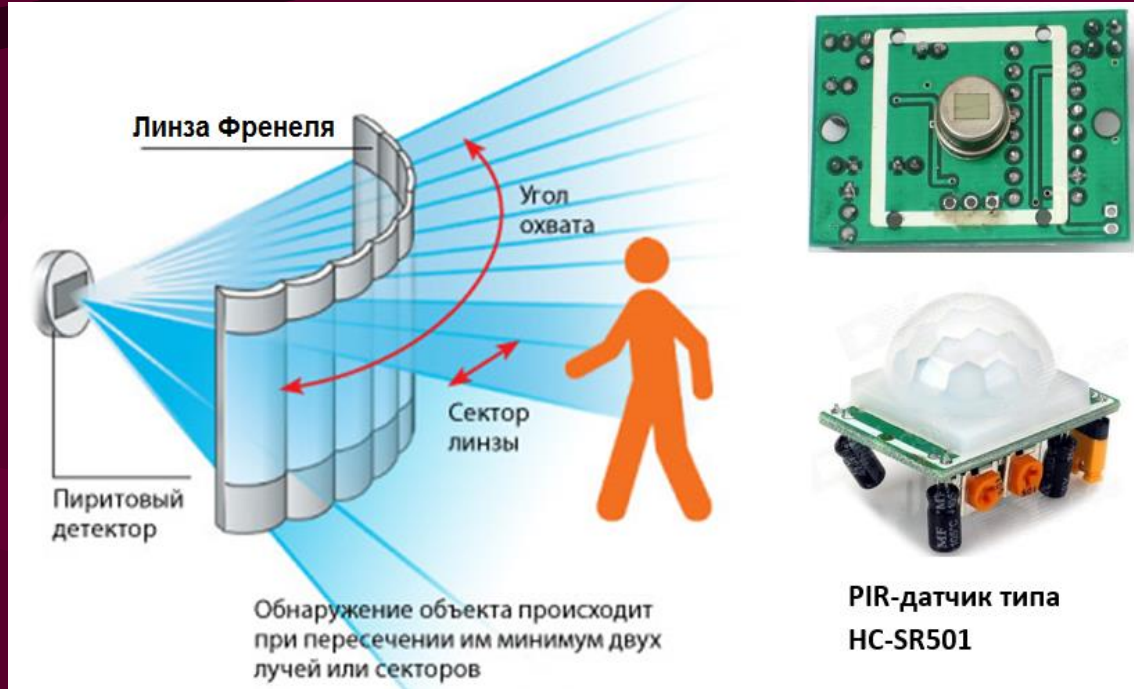
Сенсорные системы мобильных роботов

Дистанционные датчики (экстероцептивные)

ИК-датчик движения – принцип работы (HC-SR501)

Человек в процессе движения пересекает несколько сформированных линзой Френеля активных и пассивных зон. Поэтому, даже при минимальном движении происходит перемещение интенсивности излучения из одних активных зон в другие, что вызывает срабатывание датчика. Высокая плотность активных и пассивных зон позволяет датчику надёжно определить присутствие человека. Именно изменения в показаниях датчиков регистрируются, и устройство генерирует импульсы HIGH или LOW на выходе.

Данный датчик может лишь определять находится ли объект в зоне его чувствительности. Он не определяет конкретное расстояние до объекта,

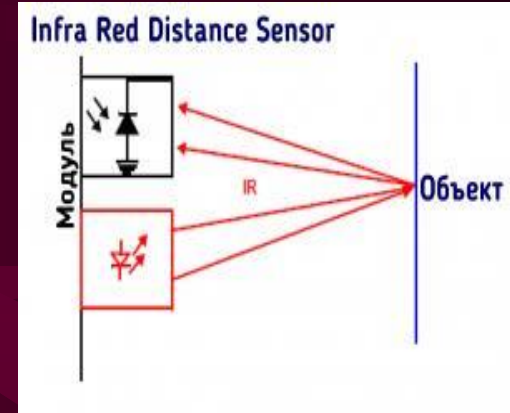


Сенсорные системы мобильных роботов

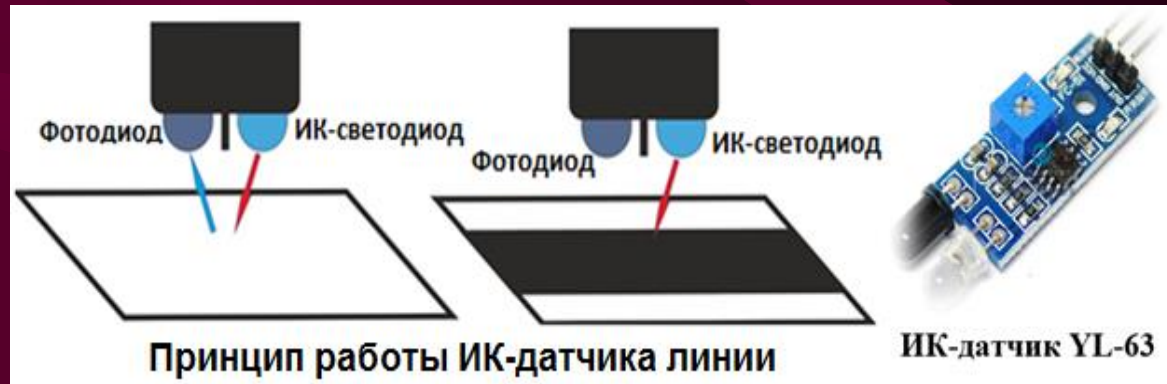
Дистанционные датчики (экстероцептивные)

ИК-датчик линии – принцип работы (YL-63).

ИК-датчики линии работают в зоне ближнего ИК-излучения – $0,74 \div 2,5$ мкм. В датчиках установлен инфракрасный (IR) светодиод с линзой, который излучает узкий световой луч. Отражённый от объекта луч направляется через другую линзу на позиционно-чувствительный фотоэлемент (Position-Sensitive Detector, PSD).



Компаратор, установленный на плате, сравнивает полученный от фотоэлемента сигнал с пороговым значением, выставляемым с помощью потенциометра на плате. Если сигнал больше порогового значения, то на выходе формируется логическая единица, в противном случае – ноль.



Датчики линии предназначены для применения, когда не требуется информация о расстоянии до объекта, а только о его наличии или отсутствии.

Сенсорные системы мобильных роботов

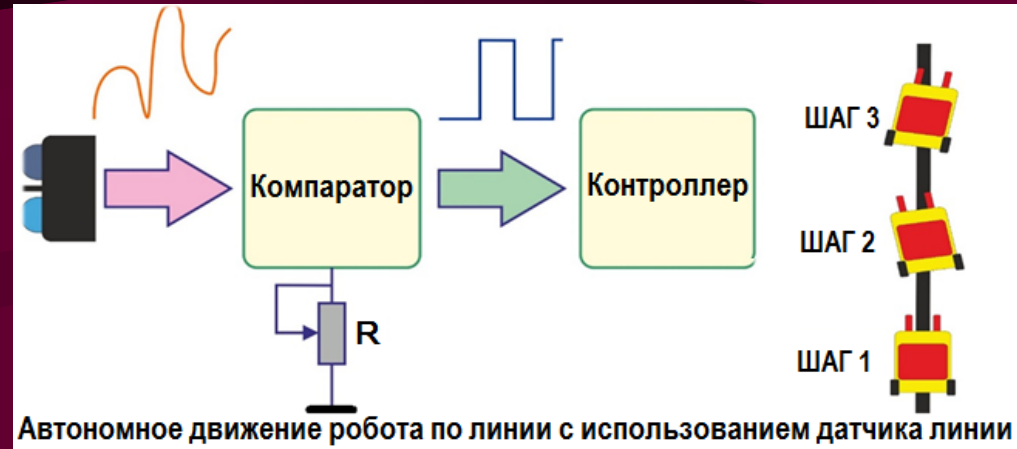
Дистанционные датчики (экстероцептивные)

ИК-датчик линии – принцип работы (YL-63).

На показания датчика влияет расстояние от оптопары до поверхности. Когда датчик расположен слишком близко, перегородка между светодиодом и фототранзистором оптопары мешает транзистору принимать отражённый свет. Когда датчик слишком далеко, отражённый свет рассеивается и не доходит до датчика.

Поскольку датчик фиксирует отражённое излучение, то возникает значительная погрешность измерения расстояния, вызванная различной отражающей способностью поверхностей объектов, изготовленных из разных материалов.

Датчик может реагировать на засветку от постороннего источника ИК-излучения, например, газоразрядной лампы.



Сенсорные системы мобильных роботов

Дистанционные датчики (экстероцептивные)

ИК-датчик линии YL-63 – подключение к МК

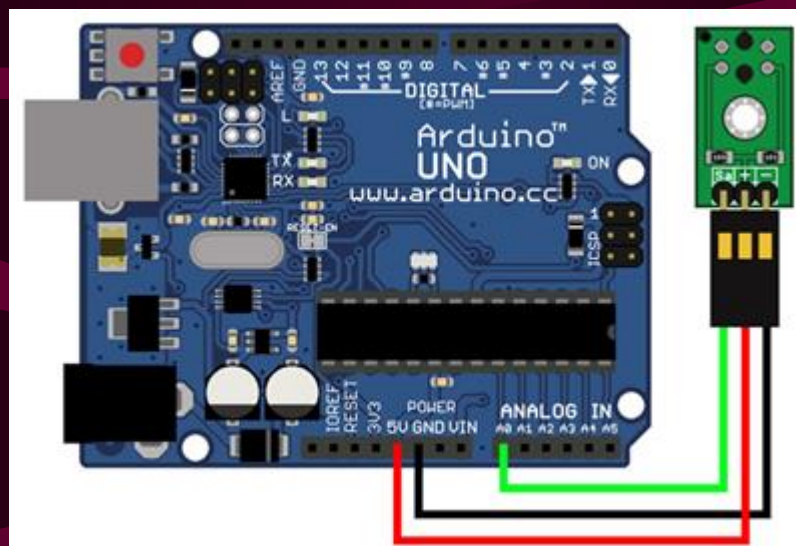


Схема подключения аналогового датчика линии к микроконтроллеру Arduino.



Схема подключения цифрового датчика линии к микроконтроллеру Arduino.

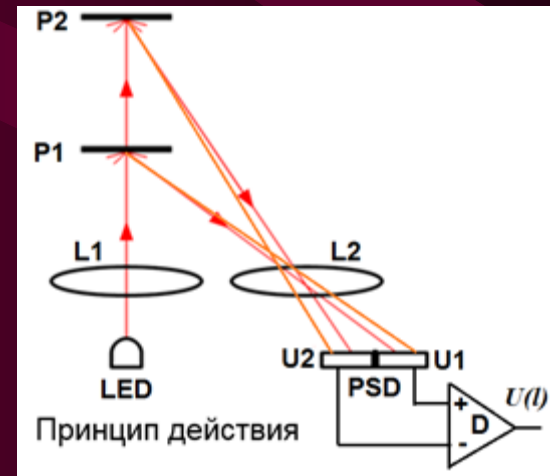
Датчики линии бывают с аналоговым выходом и с цифровым выходом. В первом случае на выходе формируется аналоговый сигнал пропорциональный силе света отражённого луча. Во втором случае на выходе формируется бинарный сигнал, соответствующий логическому “0” или логической “1” в зависимости от установленного на датчике порогового значения.

Сенсорные системы мобильных роботов

Дистанционные датчики (экстероцептивные)

ИК-датчик расстояния типа GP2DXX (Sharp) – принцип работы

Датчик работает в зоне ближнего ИК-излучения – $850\text{nm} \pm 70\text{nm}$. Для определения расстояния до объекта используется метод триангуляции. Импульсы ИК-излучения, модулированные определённой частотой, испускаются излучателем (LED). Излучение проходит через линзу L1 и отражается от объектов, находящихся в поле зрения сенсора. Отражённые импульсы собираются линзой L2 и передаются на позиционно-чувствительный фотоэлемент PSD, который поделён на две равные части U1 и U2. Испускаемый и отражённый лучи образуют треугольник «излучатель-объект-приёмник». Угол отражения зависит от расстояния l до объекта.

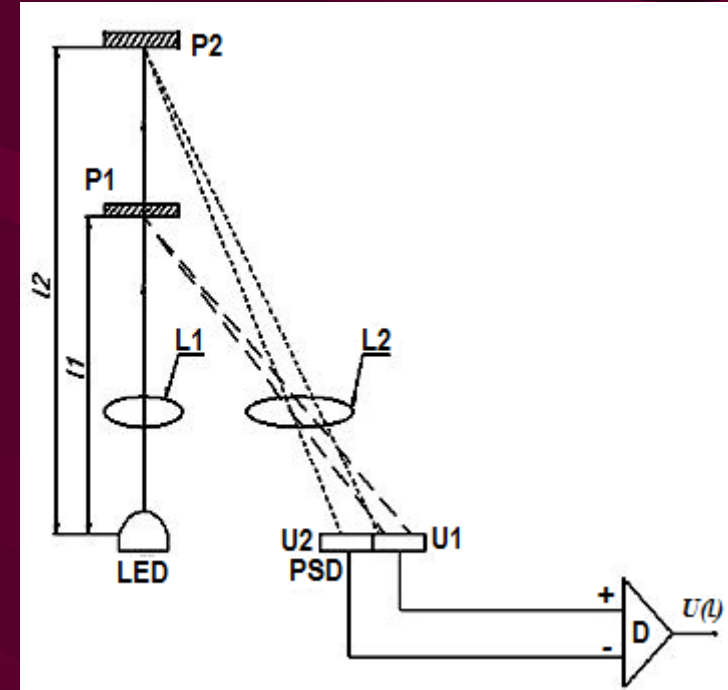


Сенсорные системы мобильных роботов

Дистанционные датчики (экстероцептивные)

ИК-датчик расстояния типа GP2DXX (Sharp) – принцип работы

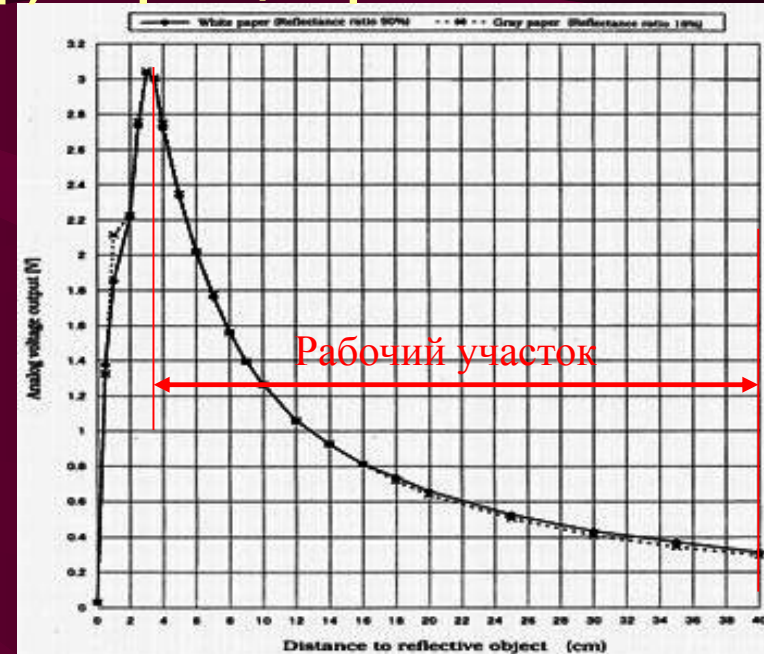
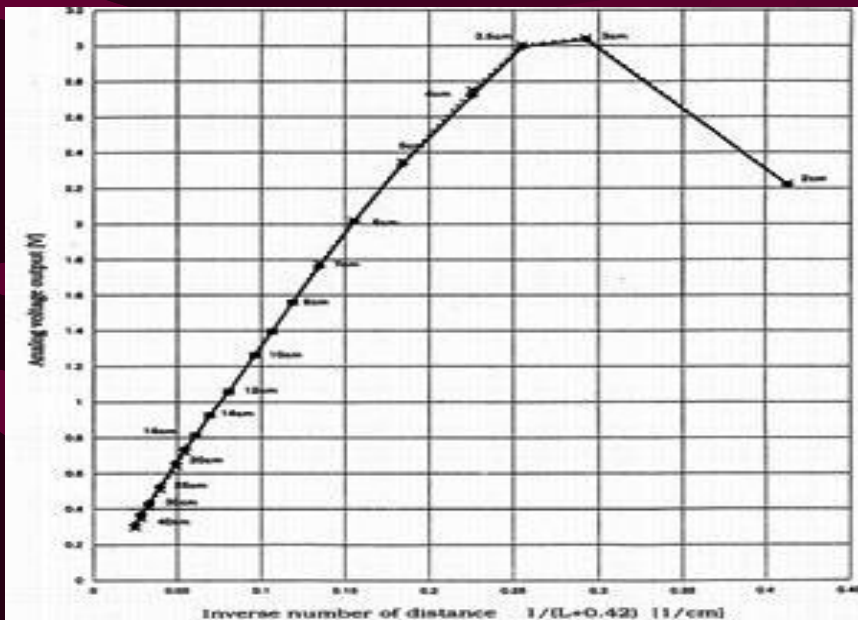
Отражённый луч (вследствие диффузии) на поверхности PSD образует световое пятно. Когда луч находится в центральной части, сегменты обеих частей фотоэлемента будут освещены одинаково. В положении объекта $P1$ отражённый свет будет падать на часть $U1$ PSD, в положении $P2$ – на часть $U2$. Смещение луча света приводит к большей доле освещённости одного сегмента PSD по сравнению с другим. В результате на выходе дифференциального усилителя D возникает аналоговый электрический сигнал $U(l)$, пропорциональный углу отклонения светового луча от центральной части фотоэлемента. Величина угла, в свою очередь, зависит от расстояния до объекта.



Дистанционные датчики (экстероцептивные)

ИК-датчик расстояния типа GP2DXX (Sharp) – принцип работы

На рисунке справа приведена типовая зависимость напряжения на выходе датчика Sharp GP2Y0A41SK0F от расстояния до объекта. Эта характеристика даётся в техническом описании датчика (паспорте).



Обычно для определения расстояния до объекта используют график, на котором имеется небольшой участок с линейной зависимостью напряжения от обратного значения расстояния ($1/\text{см}$).

Более точно зависимость напряжения на выходе датчика y от расстояния x аппроксимируется функцией: $y = a \cdot x^b$.

$$y = a \cdot x^b . \quad 11/22$$

Сенсорные системы мобильных роботов

Дистанционные датчики (экстероцептивные)

ИК-датчик расстояния типа GP2DXX (Sharp) – достоинства:

- Сенсор способен определять изменение смещения порядка 1мм;
- Сенсоры SHARP излучают ИК-сигнал с модулированной частотой, что позволяет практически полностью исключить влияние помех от окружающего света;
- Метод защищён от эффектов интерференции излучения и разной отражающей способности поверхностей, выполненных из различных материалов и окрашенных в различные цвета (датчик способен обнаруживать чёрные стены при солнечном свете);
- Сенсор обладают хорошей стабильностью.
- Датчик имеет малые размеры.



Сенсорные системы мобильных роботов

Дистанционные датчики (экстероцептивные)

ИК-датчик расстояния типа GP2DXX (Sharp) – недостатки:

1. На малых расстояниях одному значению выходного напряжения соответствует два расстояния. Для предотвращения проблемы нужно избегать слишком близкого приближения объектов к датчику (зависит от модели);
2. Характеристика преобразования дальности до объекта в выходное напряжение нелинейна;
3. Не работает с прозрачными и светопоглощающими объектами.
4. Зона чувствительности по углу не велика, так как при больших углах плоскости отражения по отношению к плоскости фотоприёмника отражённый луч «уходит» из зоны чувствительности;
5. Исследования показали, что рассмотренные ИК-датчики обладают разбросом параметров *a* и *b*. Поэтому перед установкой в устройство необходимо выполнять их калибровку.



Сенсорные системы мобильных роботов

Дистанционные датчики (экстероцептивные)

ИК-датчик расстояния типа GP2DXX (Sharp) – подключение к МК

ИК-датчик расстояния подключается к управляющей электронике по трём проводам.

- Питание (V) – красный провод. На него должно подаваться напряжение от 4.5 до 5.5 В.
- Земля (G) – чёрный провод должен быть соединён с землёй микроконтроллера.
- Сигнальный (S) – жёлтый провод. Подключается к аналоговому входу микроконтроллера. Через него датчик передаёт микроконтроллеру значение напряжения, в зависимости от расстояния до отражающего объекта.

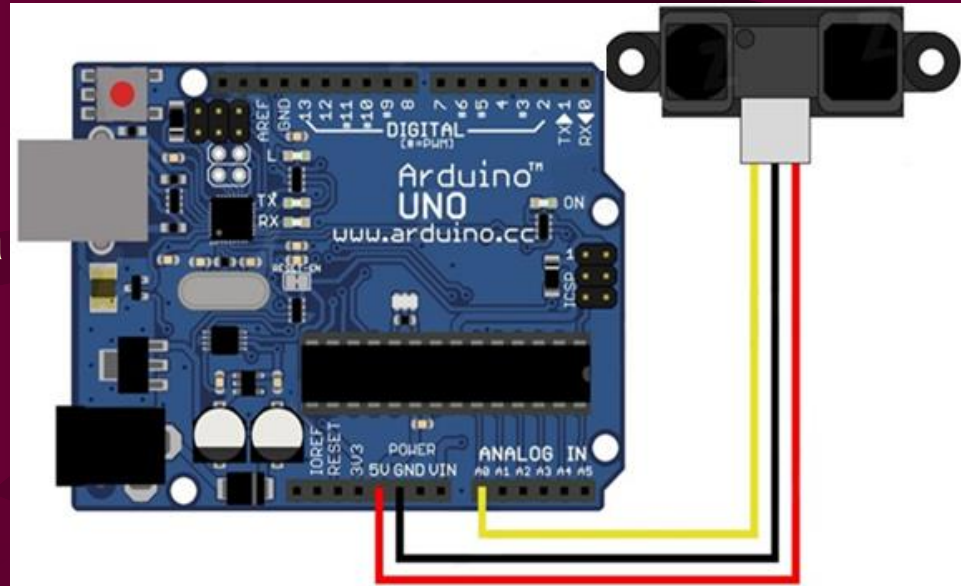
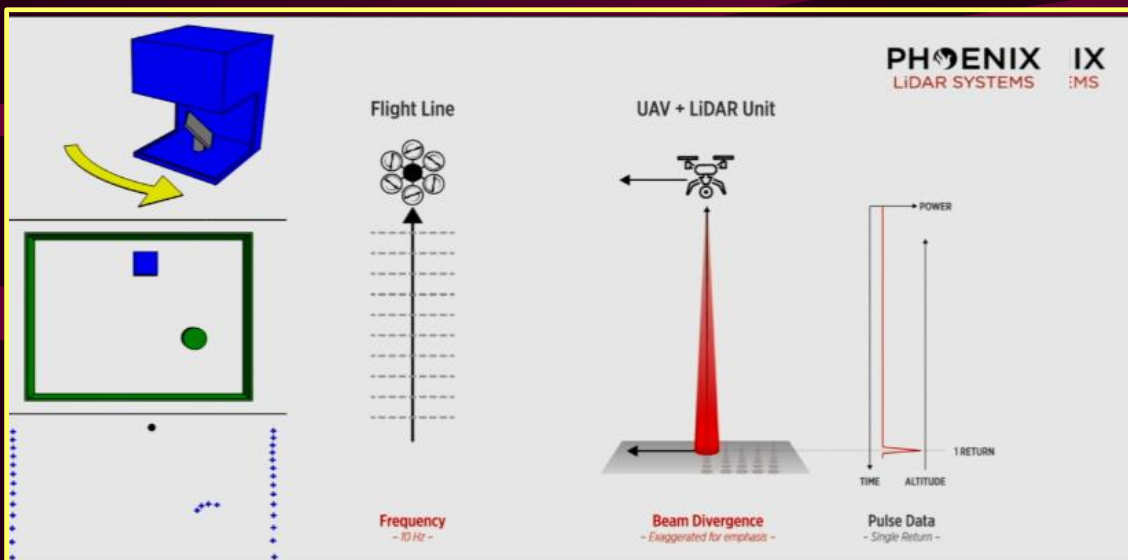


Схема подключения ИК-датчика расстояния типа Sharp.

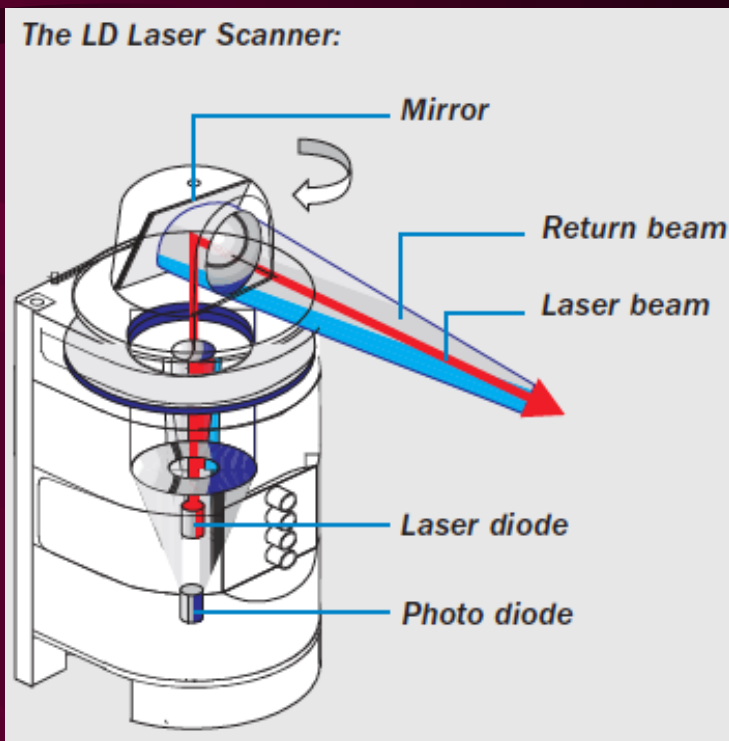
Сенсорные системы мобильных роботов

Дистанционные датчики (экстероцептивные)

Лазерный дальномер типа SICK-LMS200.



Слева сенсор составляет 3D карту вокруг себя, справа – улавливает луч от поверхности.



Принцип работы сканирующего лазерного дальномера заключается в измерении интервала времени между испусканием (*Laser beam*) и возвратом (*Return beam*) луча лазера, при этом сканирование осуществляется посредством отражения луча, испускаемого лазерным диодом (*Laser diode*) от вращающегося зеркала (*Mirror*). Отражённый от препятствия луч лазера регистрируется фотодиодом (*Photo diode*).

Сенсорные системы мобильных роботов

Дистанционные датчики (экстероцептивные)

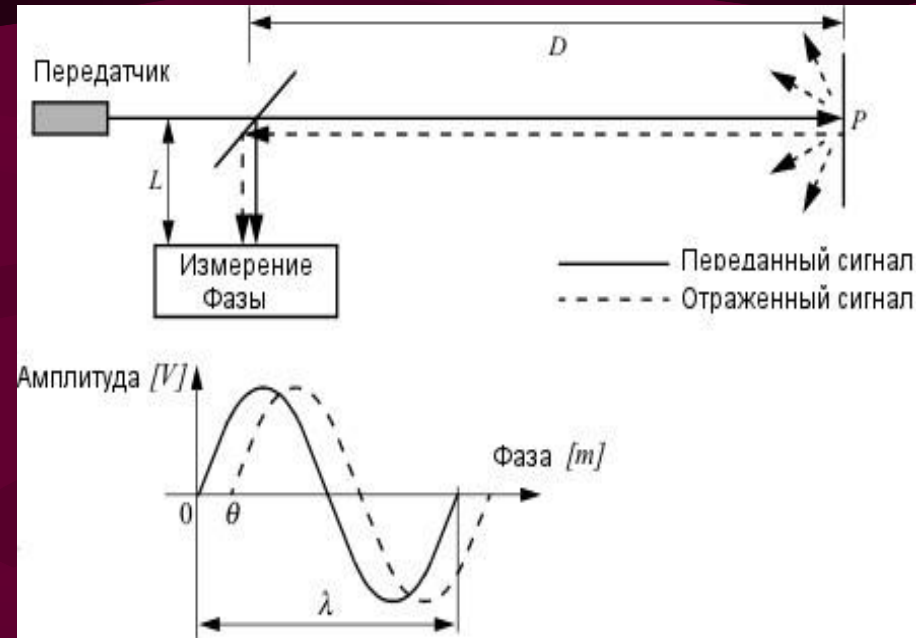
Лазерный дальномер типа Hokuuo URG-04LX

Устройство дальномера Hokuuo URG-04LX аналогично Sick LMS 200, но принцип измерения дальности иной.

Применяется амплитудно-модулированный сигнал, и расстояние до предмета определяется за счёт измерения сдвига фаз между излучаемой и отражаемой от предмета световой волны.

Вращающееся зеркало разворачивает лазерный луч горизонтально в диапазоне 240° , с угловым разрешением $0,36^\circ$. Поскольку зеркало вращается со скоростью около 600 оборотов в минуту, время одного скана составляет около 100мс.

На измерение дальности влияет множество факторов, наиболее значимые из них – это погрешность измерения интервала времени, апертура луча, угловая скорость сканирования.

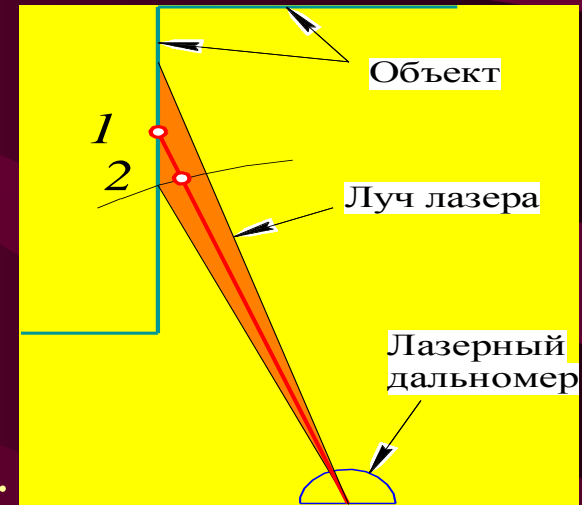


Сенсорные системы мобильных роботов

Дистанционные датчики (экстероцептивные)

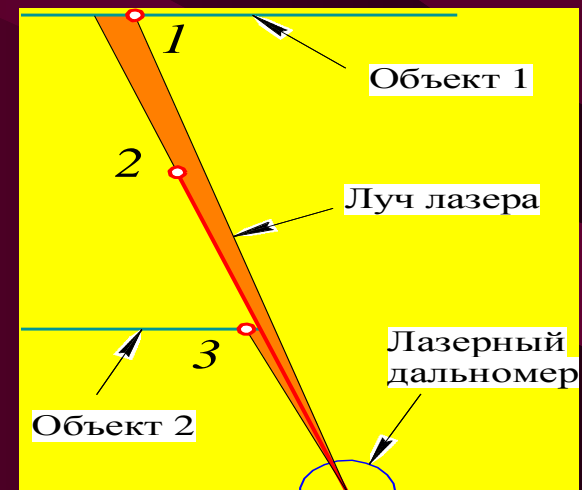
Лазерные дальномеры – особенности использования

1. Луч проецируется на поверхность сканируемых объектов пятном достаточно большого диаметра. Если плоскость объекта почти параллельна лучу лазера, то погрешность измерения будет велика, т.к. первым придет отраженный сигнал от ближней точки пятна (точка 2), а не от его центра (точка 1).



Плоскость объекта почти параллельна лучу лазера:

2. Большинство лазерных дальномеров пространственно интерполируют соседние измерения. Это приводит к появлению на скане несуществующих точек (точка 2) в пространстве между границами объектов (точки 1, 3).



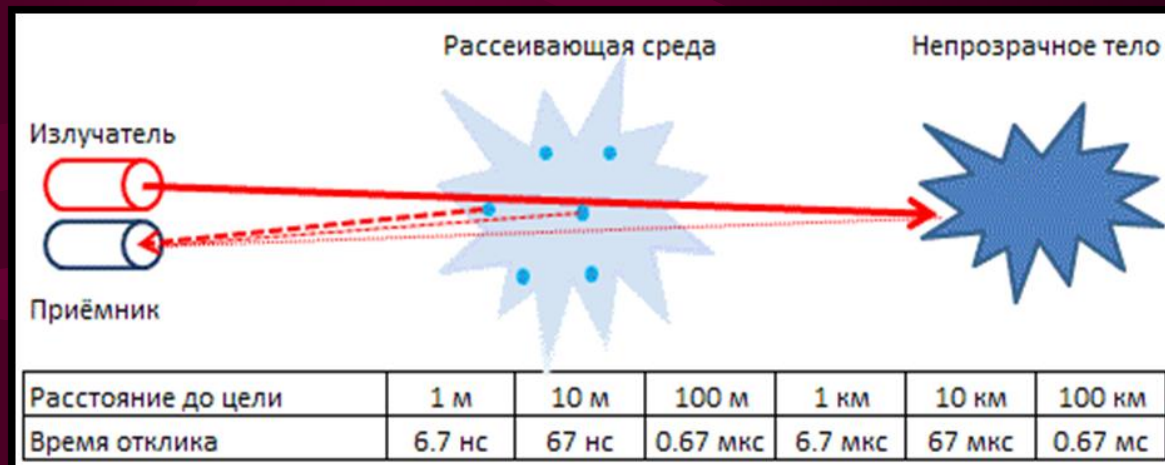
Появление на скане несуществующих точек:

Сенсорные системы мобильных роботов

Дистанционные датчики (экстероцептивные)

Лидар (*LIDAR Light Identification Detection and Ranging*)

Принцип работы лидара аналогичен работе сканирующего лазерного дальномера – дальность до отражающей поверхности светового луча пропорциональна интервалу времени между испусканием и возвратом луча лазера.



В абсолютном большинстве конструкций излучателем служит лазер, формирующий короткие импульсы света высокой мгновенной мощности. Периодичность следования импульсов или модулирующая частота выбираются так, чтобы пауза между двумя последовательными импульсами была не меньше, чем время отклика от обнаружимых целей. Выбор длины волны зависит от функции лазера и требований к безопасности и скрытности прибора.

Сенсорные системы мобильных роботов

Дистанционные датчики (экстероцептивные)

Лидар (*LIDAR Light Identification Detection and Ranging*)

В отличие от лазерного дальномера в Лидаре уже имеется система сканирования в двух плоскостях и высокоскоростной обработчик поступающих данных, что обеспечивает формирование в реальном времени трёхмерной карты пространства и её преобразование в 3D изображение.



Лидары компании Velodyne (США)



VLP-16



Sick MRS1000



Hokuyo YVT-35LX

Сенсорные системы мобильных роботов

Дистанционные датчики (экстероцептивные)

Лидар – области применения

- Исследования атмосферы стационарными лидарами является наиболее массовой отраслью применения технологии.
- Исследования Земли с помощью лидаров, установленных на космических аппаратах.
- Строительство и горное дело – сканирование неподвижных объектов: здания, городской ландшафт, открытые горные выработки и т.п.
- Морские технологии: измерение глубины моря, поиск рыбы, спасение людей на море, разминирование, системы подводного зрения.
- На транспорте – определение скорости транспортных средств, системы активной безопасности, беспилотные транспортные средства, системы автоматической стыковки.
- Промышленные и сервисные роботы – системы машинного зрения для роботов, основанные на сканирующем лидаре IBM, формируют цилиндрическую развёртку с углом охвата горизонта 360° и вертикальным углом зрения до $+30^\circ$.. -30° .

Сенсорные системы мобильных роботов

<http://proxy.uniar.ru/RGGU/Files/Data/69ad8073-3e2a-47e7-8ce8-6370b4d3ccf0/index.htm>

«Проектно-исследовательская деятельность учащихся в области интеллектуальной роботоники с использованием модульных робототехнических систем»

Учебно-методическое пособие для организации дополнительного образования

Андреев Виктор Павлович, д.т.н., профессор МГТУ «СТАНКИН»

Ким Валерий Леонидович, аспирант МГТУ «СТАНКИН»

Плетенев Павел Филиппович, аспирант МГТУ «СТАНКИН»

Тарасова Виктория Эдуардовна, аспирант МГТУ «СТАНКИН» и др.

“ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ РОБОТРОНИКА”

Сенсорные и управляющие системы роботов

Тема 2b

Сенсорные системы мобильных роботов
(дистанционные датчики)

ВОПРОСЫ?

Андреев Виктор Павлович, профессор, д.т.н.

andreevvipa@yandex.ru

Москва, 2022г.