Тема 5 · Урок 5.1

Ультразвук: видим груз

Робот измеряет расстояние звуком и останавливается перед грузом, не путая «нет эха» с «груз рядом».

2 × 45 мин | 1–2 ученика на робота | Практика

РЕЗУЛЬТАТ УРОКА

Робот едет по линии и останавливается на заданном расстоянии от груза. Если эхо не вернулось, программа не принимает это за «груз рядом».

Ты научишься

- Объяснить, как ультразвуковой датчик измеряет расстояние.
- Вывести расстояние в монитор порта и проверить его линейкой.
- Отличить отсутствие эха от маленького расстояния.
- Остановить робота перед грузом по измерению, а не по времени.

Нужно знать

- 3.2 П-регулятор: плавно и быстро

Понадобится

Ультразвуковой датчик расстояния | Датчик линии (аналоговый, Trema) × 2

Зачем этот урок

Груз стоит в конце ответвления. Робот должен подъехать к ней и остановиться ровно так, чтобы захват мог её взять. Если ехать «по времени», робот то не доедет, то врежется. Сегодня он научится видеть груз ультразвуком — так же, как летучая мышь видит препятствия.

РАЗМИНКА · ВСПОМНИ

1. Как робот останавливается на перекрёстке в программе из урока 4.1?
2. Что делает `break` в цикле? (Если не помнишь — разберём сегодня.)
3. Какие две команды нужны, чтобы робот ехал по линии с П-регулятором?

1

ЗАНЯТИЕ 1 · 45 МИН

Измеряем расстояние

1 Как работает ультразвук

8 мин

Что должен делать робот. Курьеру нужно обнаружить предмет впереди, оценить расстояние до него и остановиться перед грузом. Датчики линии смотрят вниз и эту задачу не решают. Добавим ультразвуковой датчик: он поможет измерить расстояние, но не отличит груз от стены.

Что используем и как это работает. Передатчик датчика излучает короткую серию ультразвуковых колебаний, которые человек не слышит. Звук отражается от предмета, а приёмник улавливает эхо. Arduino запускает измерение импульсом на TRIG и измеряет длительность сигнала ECHO. Это электрический сигнал о времени измерения, а не сам звук. Путь звука двойной: до предмета и обратно. Поэтому расстояние равно скорости звука, умноженной на время и делённой на два.

Как связать измерение с действием. В учебной программе время в микросекундах делится на 58, чтобы получить приблизительные сантиметры: около 29 мкс на сантиметр в одну сторону и столько же обратно. Например, 580 мкс соответствует примерно 10 см. Целочисленный результат отбрасывает дробную часть; температура и отражающая поверхность тоже влияют на измерение. Сравниваем его с линейкой от передней поверхности датчика.

Если измерение не получилось. Наклонная поверхность может отразить звук в сторону, мягкая — поглотить, а слишком близкий или далёкий предмет — не дать пригодного эха. Поэтому «нет эха» означает «расстояние неизвестно», а не ноль и не свободный путь. В коде для этого есть отдельное значение −1. Программа принимает решение об остановке только после проверки измерения. Базовый пример при −1 продолжает движение — это ограничение учебного алгоритма, которое разберём в задании на потерю эха.

Датчик посылает короткий щелчок ультразвука и слушает эхо. По времени полёта считают расстояние.

1. Звук пролетает 1 см примерно за 29 мкс. Выведи формулу: расстояние в сантиметрах по времени эха в микросекундах.
2. Скорость звука зависит от температуры. При 0 °C звук пролетает 1 см примерно за 30 мкс. Груз стоит в 50 см. Сколько покажет датчик зимой в холодном коридоре, если программа считает по 29 мкс? Важна ли эта ошибка для остановки в 5 см?

✓ **ДОЛЖНО ПОЛУЧИТЬСЯ**

Формула и расчёт ошибки записаны. Ты можешь объяснить, когда ошибкой можно пренебречь.

2 Расстояние в мониторе порта

20 мин

1. Посмотри номера контактов TRIG и ECHO на карточке у робота. Карточки нет — проследи провода от выводов TRIG и ECHO датчика до платы и прочитай номера у гнёзд. Запиши в журнал.

Требование 1. Функция `readDistanceCm()` возвращает расстояние в сантиметрах или −1, если эха нет. Как работает датчик:

- на TRIG подаётся импульс HIGH длиной 10 мкс (перед ним — короткий LOW);
- датчик держит ECHO в HIGH столько микросекунд, сколько звук летел туда и обратно;
- звук пролетает 1 см примерно за 29 мкс;
- ждать эхо дольше 25 000 мкс не нужно: команда `pulseIn(pin, HIGH, timeoutUs)` вернёт 0.

Без номеров контактов программа не должна работать с датчиком: пусть она остановится. Напиши скетч `L51_Distance`, который печатает расстояние или «нет эха».

Приёмка. Таблица по линейке и ответы в журнале.

По линейке	Показание	Ошибка, см
5 см		
10 см		
20 см		
30 см		

2. Какое самое большое расстояние может измерить функция при ожидании 25 000 мкс?
3. Растёт ли ошибка с расстоянием? Чем ты это объяснишь?

Подсказка: Идея (1 из 3)

Щёлкнуть, измерить длину импульса эха, перевести микросекунды в сантиметры.

Подсказка: План (2 из 3)

1. TRIG: LOW 2 мкс, HIGH 10 мкс, LOW.
2. `pulseIn` на ECHO с ожиданием 25 000 мкс.
3. Ноль — нет эха. Иначе — время делить на 58.

Подсказка: Фрагмент кода (3 из 3)

`unsigned long echoUs = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH, 25000);` — почему `unsigned long`, а не `int`?

ДОЛЖНО ПОЛУЧИТЬСЯ

Функция выполняет требование 1, таблица с ошибками заполнена, ответы записаны.

3 «Нет эха» — не «рядом»

15 мин

Найди границы, за которыми датчику нельзя верить.

1. Поставь груз в 20 см и поворачивай его боком к датчику. С какого угла пропадает эхо?
2. Придвигай груз к датчику. С какого расстояния показания перестают совпадать с линейкой?
3. Направь датчик на мягкую ткань. Что печатает монитор?

НАЙДИ ОШИБКУ · РОБОТ ЗАКРЫЛ ЗАХВАТ В ПУСТОТЕ

Соседи написали остановку так: `if (readDistanceCm() <= 5) { stopMotors(); }`. Робот иногда останавливается посреди пустой дороги. Почему?

4. Запиши, какие из найденных границ опасны для доставки и как программа должна себя вести в каждом случае.

ДОЛЖНО ПОЛУЧИТЬСЯ

В журнале — угол потери эха, ближняя граница, поведение на ткани и правила для программы.

2

ЗАНЯТИЕ 2 · 45 МИН

Стоп перед грузом

4 Едем к грузу и останавливаемся

17 мин

Требование 2. Продолжи свою программу `L42_Turn_At_Crossing` и сохрани как `L51_Stop_At_Can`. Функция `followLineToCan(stopCm)` ведёт робота по линии и останавливает его, когда груз не дальше `stopCm`:

- «нет эха» никогда не считается «груз рядом»;
- после остановки моторы выключены;
- функции линии и перекрёстков из прошлых уроков не меняются.

Приёмка. Груз в конце линии — робот останавливается, не касаясь груза. Груза нет — робот доезжает до конца линии, не останавливаясь посреди дороги (будь готов выключить питание).

Подсказка: Идея (1 из 2)

Это `followLineToCrossing()` из урока 4.1, только выход — по расстоянию.

Подсказка: Фрагмент кода (2 из 2)

`if (distance > 0 && distance <= stopCm) { return; }` — почему здесь `return`, а не `break`?

ДОЛЖНО ПОЛУЧИТЬСЯ

Программа выполняет требование 2, обе проверки приёмки записаны.

5 Точная остановка

15 мин

Добейся остановки на нужном расстоянии **±1 см три раза из трёх** на своей рабочей скорости — той, на которой робот проходит линию.

1. Измерь выбег: при `baseSpeed` 80, 120 и своей рабочей поставь `STOP_CM = 15` и измерь, на сколько сантиметров робот прокатился после команды стоп.
2. Выбери способ точной остановки и обоснуй его таблицей: поправить `STOP_CM` на выбег или ехать медленнее в последние сантиметры перед грузом.
3. Проверь три раза.

`baseSpeed`	`STOP_CM`	Где остановился, см	Выбег, см
80	15		
120	15		
	15		

Подсказка: Медленно в конце

Два порога: дальше первого — рабочая скорость, между первым и вторым — медленная, у второго — стоп.

ДОЛЖНО ПОЛУЧИТЬСЯ

Таблица выбега, выбранный способ с обоснованием и три остановки ±1 см записаны.

6 Задания по уровням

13 мин

★★ **ПРОДВИНУТЫЙ УРОВЕНЬ · МЕДИАНА ИЗ ТРЁХ**

Делай три измерения и бери среднее по величине — медиану. Одно случайное неверное число тогда не испортит остановку. Сравни в мониторе порта сырые измерения и медиану.

ПРОВЕРЬ СЕБЯ

- [ ] Я могу объяснить, как датчик измеряет расстояние.
- [ ] Я знаю, почему −1 нельзя принимать за «груз рядом».
- [ ] Мой робот останавливается перед грузом по измерению.

Проверь себя

★★ Продвинутый уровень

1. pulseIn ждёт эхо не дольше 25 000 мкс. Какое наибольшее расстояние может вернуть функция?

- ○ Около 862 см
- ○ 250 см
- ○ Около 431 см

2. **Почему для остановки берут медиану трёх измерений, а не среднее арифметическое?**

- ○ Одно случайное неверное число не сдвигает результат
- ○ Медиана считается быстрее всего
- ○ Медиана всегда равна первому измерению

3. **Где ошибка, опасная для робота?**

```
int readDistanceCm() {
  digitalWrite(TRIG_PIN, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);
  unsigned long echoUs = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH, 25000);
  return echoUs / 58;
}
```

- ○ Если эха нет, функция вернёт 0 — это похоже на «груз вплотную»
- ○ Делить нужно на 29
- ○ pulseIn нельзя вызывать с ожиданием

4. **Выбег при рабочей скорости — 3 см. Роботу нужно стоять в 5 см от груза. Какой STOP_CM поставить?**

- ○ 5
- ○ 8
- ○ 2

5. Сравнение с линейкой: 5 → 6, 10 → 11, 20 → 21, 30 → 31 см. Что это значит?

- ○ Ошибка растёт с расстоянием
- ○ Датчик неисправен
- ○ Постоянный сдвиг на 1 см: его учитывают одной поправкой

Отвечай на вопросы своего уровня. Нужно верных ответов: Начальный — 4 из 5; Средний — 4 из 5; Продвинутый — 4 из 5. Ответы проверит преподаватель или программа курса.

Итог

Робот видит груз и останавливается перед ним по измерению. Осталось научиться его брать — в следующем уроке.

Как подтвердить результат

Результат опыта связывает условия, версию программы, наблюдение и вывод. Сравнение попыток с одним изменением помогает проверить причину, включая неудачные попытки. Отметка относится к уже выполненной практике; повтор ради отметки не нужен. Расхождение с прогнозом задаёт следующую проверяемую гипотезу. Модель, измерения настоящего робота и объяснение — разные виды доказательств.

Словарь урока

ультразвук	Звук такой высоты, что человек его не слышит. Датчик посылает щелчок и ждёт эхо.
эхо	Звук, отразившийся от предмета и вернувшийся к датчику.
pulseIn	Команда, которая измеряет, сколько микросекунд длился сигнал на входе.
мкс	Микросекунда — миллионная доля секунды.
медиана	Среднее по величине из нескольких чисел: из 4, 25 и 5 это 5.