

КАПИТЕЛ 7 / CHAPTER 7<sup>29</sup>MODELS AND METHODS OF DETERMINING PENETRATION BY  
MEANS OF WIRELESS SENSOR NETWORKS

DOI: 10.30890/2709-2313.2023-21-01-006

**Вступ**

Особливу роль в системах сповіщення та моніторингу відіграють засоби вимірювання, що забезпечують перетворення відомостей про зовнішнє середовище в дані зрозумілі для ЕОМ, і тим самим здатні наповнити обчислювальне середовище цінною інформацією.

Зараз використовується широкий клас засобів вимірювання, від елементарних датчиків (наприклад, температури, тиску, освітленості), приладів обліку споживання (таких, як інтелектуальні лічильники) до складних інтегрованих вимірювальних систем.

В рамках концепції «Інтернету Речей» принциповим є об'єднання засобів вимірювання в мережі (такі, як бездротові сенсорні мережі, вимірювальні комплекси), за рахунок чого можлива побудова систем міжмашинної взаємодії.

Як особлива практична проблема впровадження «Інтернету Речей» наголошується на необхідності забезпечення максимальної автономності засобів вимірювання, перш за все, проблема енергопостачання датчиків. Знаходження ефективних рішень, що забезпечують автономне живлення сенсорів (використання фотоелементів, перетворення енергії вібрації, повітряних потоків, використання бездротової передачі електрики), дозволяє масштабувати сенсорні мережі без підвищення витрат на обслуговування (у вигляді зміни батарейок або підзарядки акумуляторів датчиків). В цій області був досягнутий великий успіх.

Вчені анонсували придатний до комерційного використання наногенератор – гнучкий чіп, що перетворює в електроенергію людські рухи тіла (навіть одного пальця). Про це було оголошено в березні 2011 р на 241-их зборах Американського хімічного товариства.

Ця подія (створення наногенератора) стала важливою віхою на шляху до портативної електроніки, що використовує рух людського тіла для виробництва електроенергії, це дозволить обходитись без батарейок і розеток електричної мережі.

<sup>29</sup>Authors: Dudnik A.S., Fesenko A.O., Fesenko V.O., Grinenko O.O., Grinenko S.A., Kvashuk D.M.



В майбутньому наногенератори зможуть повністю змінити наше життя. Їх можливості обмежені лише рамками людської уяви». Чжун Лін Ван (Zhong Lin Wang) - провідний дослідник Технологічного інституту штату Джорджія.

Слід сказати, що на сьогоднішній день парадигма «Інтернету Речей» ще тільки набирає обертів, однак досить давно існує область науки, що займається здійсненням вимірів на відстані, яка носить назву телеметрія.

Телеметрія пов'язана з вимірюванням і передачею на відстань результатів вимірювань різних фізичних величин, більшість з яких є неелектричними. Вимірювання цих параметрів в основному здійснюється електричними методами.

Переважне використання електричних методів вимірювання обумовлено:

- зручністю перетворення електричних сигналів;
- високою точністю і чутливістю перетворювачів фізичних величин в електричні сигнали;
- малою інерційністю елементів електричного перетворювача;
- надійністю роботи схем;
- безперервністю вимірювання в часі;
- зручністю запису і накопичення інформації;
- широкими межами вимірювань і ін.

Як у телеметрії так і в «Інтернеті Речей» первинним джерелом інформації є датчик. Техніка конструювання і застосування датчиків (сенсорика), за останні роки розвилася у самостійну галузь вимірювальної техніки.

## 7.1. Аналіз існуючих розробок та постановка задачі дослідження

Рішення, що пропонуються у даній роботі, належать до галузі бездротового зв'язку інформаційно-вимірювальних систем і може бути використана у пристроях для бездротового передавання даних.

Відомий пристрій для [1] використовується для монтажу і фіксації бездротового інфрачервоного пасивного датчика руху.

У даному пристрої не передбачено кріплень для приладів, що можуть містити у своєму складі ультразвуковий далекомір, що не дає змоги визначити проникнення іншим способом, окрім інфрачервоного випромінювання.



Інший відомий пристрій пасивного виявлення руху є пристрій [2], який використовується для виявлення руху на основі інфрачервоного випромінювання.

Цей прилад містить піроелектричний інфрачервоний датчик руху, що реагує на тепло, що випромінюється об'єктом.

Під час роботи цього пристрою забезпечується, лише визначення рухомих об'єктів, що випромінюють тепло, але він не містить функцію визначення об'єктів, що не випромінюють тепло та не здійснюють вимірювання відстані до них.

З відомих безпекових пристроїв передавання даних про проникнення найбільш близьким за технічною суттю до винаходу є пристрій [3], який містить вузол живлення, з виходу якого напруга живлення подається на усі вузли телефону, вузол управління, виконаний на базі мікроконтролера, перший вхід-вихід якого підключений до входу-виходу вузла живлення, а другий вхід-вихід - до входу-виходу вузла перетворення (аудіокодека), до першого входу-виходу вузла приймача-передавача з антеною і до входу-виходу вузла ідентифікації телефону, клавіатуру, вихід якої підключений до першого входу вузла управління, виконаного на базі мікроконтролера, дисплей, вхід якого підключений до першого виходу вузла управління, виконаного на базі мікроконтролера, мікрофон, вихід якого підключений до входу вузла перетворення (аудіокодека), до першого виходу якого підключений гучномовець, вібратор, вхід якого підключений до другого виходу вузла управління, виконаного на базі мікроконтролера, який відрізняється тим, що додатково містить охоронний датчик руху, вихід якого підключений до другого входу вузла управління, виконаного на базі мікроконтролера.

Основним завданням даної роботи є аналіз моделей та методів визначення проникнення в охоронні об'єкти засобами бездротових сенсорних мереж та розробки, на їх основі, сенсорного пристрою визначення проникнення на основі датчику руху. Майбутній пристрій повинен відрізнятися тим, що ядро управління отримує інформацію від датчиків: ультразвукових та інфрачервоних, які, після отримання - конвертується за допомогою конвертера і потрапляє на ПК, звідки буде остаточно оброблено користувачем.



## 7.2. Методи дослідження вимірювання руху з метою визначення проникнення

### 7.2.1. Аналіз особливостей будови датчиків

Датчиком називається інформаційний пристрій, що перетворює контрольований фізичний параметр в сигнал, зручний для подальшої обробки в каналі вимірювальної системи. Досить часто зустрічаються і інші назви датчиків: вимірювальний перетворювач, давач, детектор, вимірювач, чутливий елемент, зонд, сенсор, рецептор.

Датчик (рисунк1) включає в себе чутливий елемент і перетворювач неелектричних величин в електричні сигнали (ПНВЕС).

Часто між чутливим елементом і перетворювачем включається передавально-розмножувальний механізм, необхідний для підвищення чутливості датчика. Деякі датчики забезпечуються підсилювальними схемами, що грають таку ж роль.

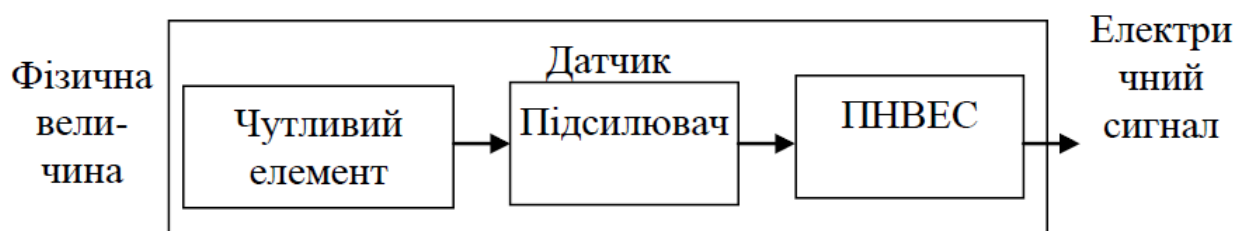


Рисунок 1 – Будова найпростішого датчика

У відповідності з ГОСТ 16263-70, “Сенсор” це пристрій, що називається первинним вимірювальним перетворювачем (primary measuring transducer), його частина на яку безпосередньо діє вимірювана величина, – чутливим елементом (detector), а всі наступні складові вимірювального ланцюга – вимірювальним перетворюванням (measuring transducer).

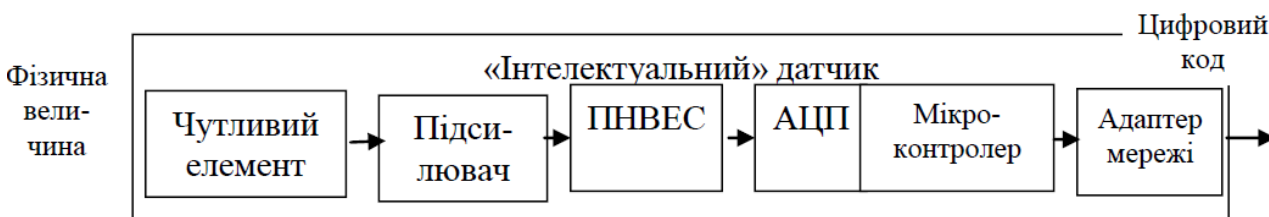
Взагалі розрізняють три класи датчиків:

- аналогові датчики, тобто датчики, які виробляють аналоговий сигнал;
- цифрові датчики, що генерують на виході двійковий код вимірюємої величини;
- сигнальні (бінарні, двійкові) датчики, які виробляють сигнал тільки двох рівнів: (0/1).

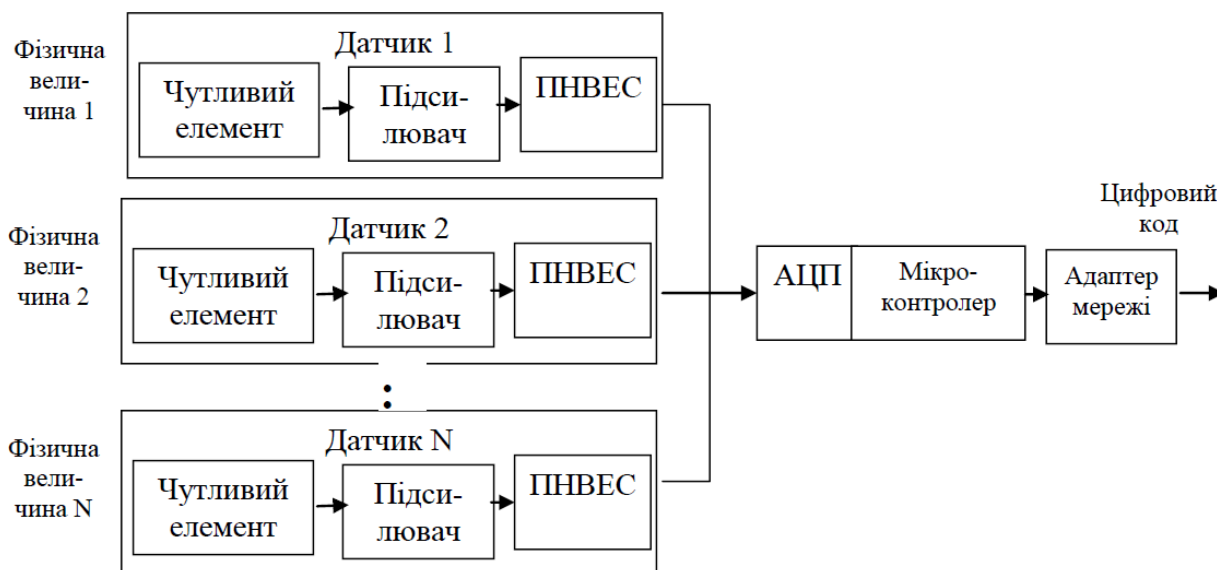
Однак для «Інтернету Речей» можуть використовуватись лише цифрові та



сигнальні датчики. При цьому будова датчика (рисунок 2) дещо ускладнюється і він набуває певних «інтелектуальних» властивостей.



**Рисунок 2 – Будова найпростішого датчика**



**Рисунок 3 – Побудова вимірювальних схем**

Поліпшення умов життя населення є невід'ємним елементом соціальної політики, що впливає на демографічний і соціально-економічний розвиток суспільства. Житлове будівництво є одним з важливих будівельних секторів в Росії, особливо в таких густонаселених...

Електричний сигнал за допомогою АЦП перетворюється в цифровий код який може оброблятися та коректуватися мікроконтролером (часто АЦП входить до складу мікроконтролера) та за допомогою адаптера мережі пристосовуватись для передачі по Інтернету.

Данні сигнального датчика можуть одразу ж передаватись через адаптер мережі.

Важливим фактором для подальшої інтерпретації результатів вимірів є їх прив'язка до часу. Тобто доцільно разом з кодом вимірів фізичних процесів передавати і час їх виміру.

Інколи можливо чи доцільно організувати вимірювальні системи



(рисунок 3) коли один мікроконтролер обслуговує декілька датчиків. У цьому випадку передбачають адресне розділення кожного вимірювального елемента.

### 7.2.2. Аналіз основних характеристик (параметрів) датчиків

Перейдемо до розгляду деяких характеристик датчиків. Вище зазначалося, що датчик можна вважати перетворювачем вимірюваної величини  $\lambda(t)$  у вихідний сигнал  $s(t)$ .

У динамічному режимі  $\lambda(t)$  і  $s(t)$  безупинно змінюються, і зв'язок між ними визначається диференціальним рівнянням, отриманим на основі фізичного принципу і схеми датчика:

$$f_1 \left[ s^{(n)}, s^{(n-1)}, \dots, s \right] = f_2 \left[ \lambda^{(m)}, \lambda^{(m-1)}, \dots, \lambda \right]. \quad (1)$$

У сталому (статичному) режимі вимірювання всі похідні  $\lambda$  і  $S$  обертаються в нуль і диференціальне рівняння переходить в алгебраїчне рівняння, що визначає статичну характеристику датчика,

$$f_1(s) = f_2(s) \quad \text{або} \quad s = f(\lambda) \quad (2)$$

Тому прийнято виділяти статичні і динамічні характеристики датчиків.

### 7.2.3. Аналіз статичних характеристик датчиків

Статичні характеристики датчиків показують, наскільки коректно вихід датчика  $S$  відображає вимірювану величину  $\lambda$  через деякий час після її зміни, коли вихідний сигнал встановлюється у нове значення. Важливими статистичними параметрами є: чутливість, роздільна здатність, лінійність, дрейф, робочий діапазон, повторюваність і відтворюваність результату.

Статичну характеристику датчика прийнято називати тарувальною характеристикою. Вона може бути лінійною і нелінійною. Для зручності обробки інформації бажано мати лінійну характеристику  $s=f(\lambda)$ . Лінеаризація проводиться зазвичай шляхом введення спеціальної корекції в різні ланки датчика.

**Чутливість** (sensitivity) датчика визначається як відношення величини зміни вихідного сигналу до одиничної зміни вхідної величини

$$S = \lim_{\Delta\lambda \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta s}{\Delta\lambda} \right) = \frac{ds}{d\lambda}. \quad (3)$$



**Роздільна здатність** (resolution) – це найменша зміна вимірюваної величини, котра може бути зафіксована і точно показана датчиком.

**Точність** (accuracy) визначає різницю між вимірюваною і дійсною величиною; вона може стосуватися датчика в цілому або конкретного його показника.

В процесі перетворення параметра  $\lambda$  в сигнал  $s$  виникають різні похибки, які складаються з методичних, динамічних та інструментальних похибок. У приладобудуванні точність датчиків оцінюють за допомогою приведеної відносної похибки, яка дорівнює відношенню абсолютної похибки до абсолютної величини діапазону вимірювання:

$$\varepsilon = \left(\frac{\Delta\lambda}{L_\lambda}\right) \text{ або } \frac{\Delta s}{L_s}. \quad (3)$$

**Лінійність** (linearity) не описується аналітично, а визначається виходячи з градаційної кривої датчика. Статична градаційна крива показує залежність вихідного сигналу від вхідного при стаціонарних умовах. Наближення цієї кривої до прямої лінії і визначає ступінь лінійності.

**Статичне підсилення** (static gain) чи підсилення по постійному струму (d.c. gain) – це коефіцієнт підсилення датчика на дуже низьких частотах.

**Дрейф** (drift) визначається як відхилення показників датчика, коли вимірювана величина залишається постійною на протязі довготривалого моменту часу. Величина дрейфу може визначатися при нульовому, максимальному чи деякому проміжному значенні вхідного сигналу.

Деякі датчики через вплив сил тертя, люфтів і інших причин мають **зону нечутливості** (зону нульової чутливості). Для таких датчиків вводиться поняття порога чутливості, тобто мінімального збільшення параметра  $\lambda$  при якому сигнал  $s$  починає змінюватися. Ряд датчиків має статичну характеристику з петлею гістерезису.

#### 7.2.4. Аналіз динамічних характеристик датчиків

Динамічні властивості датчика характеризуються цілим рядом параметрів, які, однак, доволі рідко наводяться в технічних описах виробників. З метою уніфікації методів динамічних випробувань і зіставлення характеристик різних датчиків прийнято реальний зовнішній вплив  $\lambda(t)$  замінювати **типовими вхідними діями**, основними з яких є **схдинкова, імпульсна і гармонійна**.



Реакцію на типові впливи зазвичай визначають методом перетворення Лапласа при відомій передавальній функції датчика. Динамічну характеристику датчика можна експериментально отримати з реакції на стрибок вимірюваної вхідної величини. Параметри, що описують реакцію датчика, дають уяву про його швидкодію (наприклад час нарощення, запізнювання, час досягнення першого максимуму), інерційних властивостей (відносно перерегулювання, час встановлення) і точності (зміщення). Потрібно мінімізувати наступні параметри.

**Час проходження зони нечутливості (dead time)** – час між початком вимірювання фізичної величини і моментом реакції датчика, тобто моментом початку зміни вихідного сигналу.

**Запізнювання (delay time)** – час, через який показання датчика перший раз досягають 50% значення, що встановилося. В літературі зустрічаються і інші визначення запізнення.

**Час нарощення (rise time)** – час, через який вихідний сигнал збільшується від 10 до 90% значення, що встановилося. Інше визначення часу нарощення – величина, зворотна нахилу кривої реакції датчика на стрибок вимірювання величини в момент досягнення 50% від значення, що встановилося, помножене на значення, що встановилося.

**Час досягнення першого максимуму (peak time)** – час досягнення першого максимуму вихідного сигналу (перерегулювання).

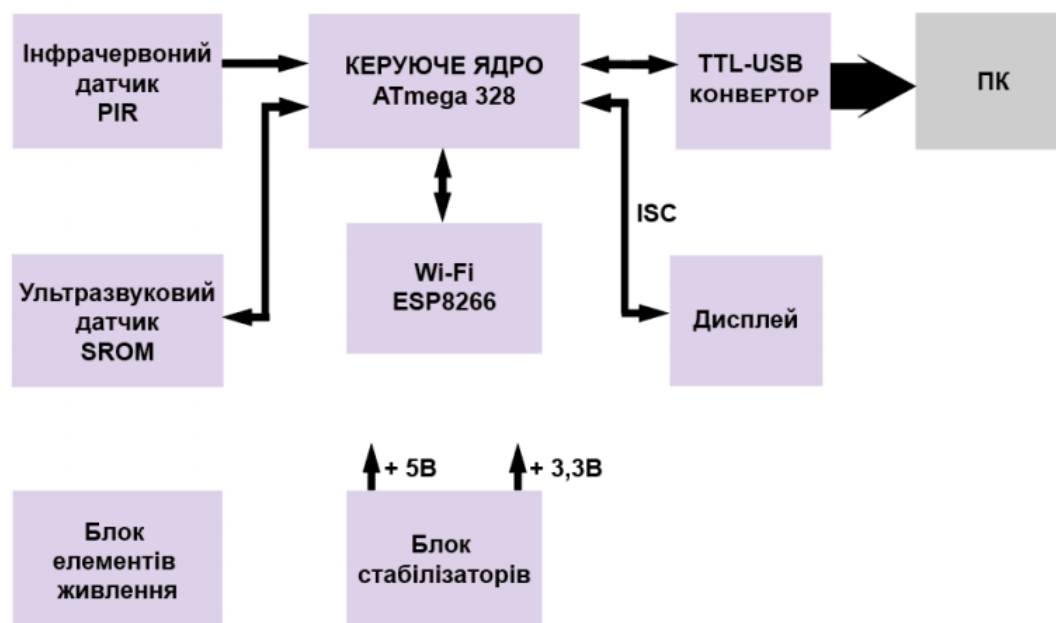
#### **7.2.4. Модель сенсорного пристрою визначення проникнення на основі датчику руху**

На основі розглянутих моделей та методів, запропонований пристрій, що складається з інфрачервоного датчика, ультразвукового далекоміра, керуючого ядра, USB-конвертера, Wi-Fi модуля, дисплея, блоку живлення, блоку стабілізатора (Рисунок 3). Принцип роботи даного пристрою полягає в наступному: ядро управління отримує інформацію від датчиків: ультразвукових та інфрачервоних, які, після отримання – конвертується за допомогою конвертера і потрапляє на ПК, звідки буде остаточно оброблено користувачем. Ядро управління одночасно сприймає і передає інформацію на інші пристрої. Дані з ядра управління перенаправляються на дисплей і навпаки. Аналогічна ситуація і з модулем Wi-Fi, дані передаються від пристрою управління і захоплюються ним. Також є зворотній зв'язок від ультразвукового датчика, тобто користувач може керувати датчиком за допомогою ядра, тоді як





інформація надходить лише від інфрачервоного датчика .



**Рисунок 3 – Мподель пристрою визначення проникнення на основі датчику руху**

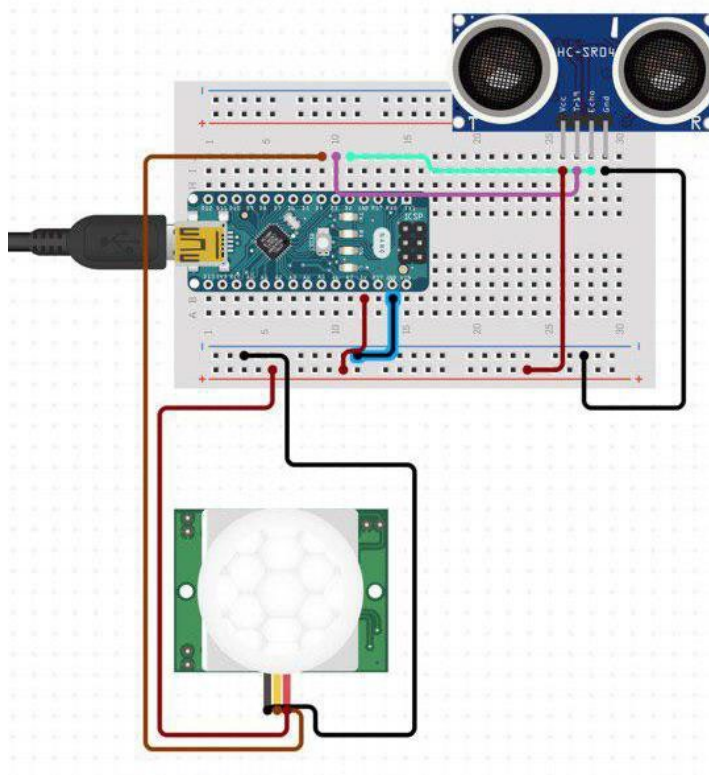
### 7.3. Результати досліджень

На основі структурної схеми (рисунок 3), запропоновано датчику руху, що складається з інфрачервоного датчика, ультразвукового далекоміра, керуючого ядра, USB-конвертера, Wi-Fi модуля, дисплея, блоку живлення, блоку стабілізатора (рисунок 4).

Суть даного способу визначається наступними положеннями:

1. Детектор виявляє інфрачервоне випромінювання за допомогою піроелектричного датчика HC-SR501 (на рисунку знаходиться внизу та має круглу форму). Датчик генерує електричний струм, коли до нього потрапляє інфрачервоне випромінювання. Оскільки сигнал від датчика не випромінюється, а тільки приймається, його називають «пасивним». При виявленні порушення цілісності простору датчик змінює вихідний сигнал;

2. Принцип роботи ультразвукового далекоміра HC-SR04 полягає в наступному. Далекомір складається з двох п'єзоелементів. Один з п'єзоелементів працює як випромінювач сигналу, а інший як приймач. Випромінювач генерує сигнал, який відбивається від перешкоди і досягає приймача. Вимірюючи час, який потрібен сигналу для проходження від випромінювача до об'єкта та назад до приймача, можна визначити відстань.



**Рисунок 3 – Пристрій визначення проникнення на основі датчику руху**

Послідовність дій така [21]:

- Подається імпульс тривалістю 10 мкс на вихід Trig.
- У середині далекоміра вхідний імпульс перетворюється в 8 імпульсів частотою 40 кГц і надсилається вперед через випромінювач Т.
- Натрапивши на перешкоду, згенеровані імпульси відбиваються і приймаються приймачем R, в результаті отримується вихідний сигнал на виводі Echo.
- За допомогою контролера переводимо отриманий сигнал у відстань за формулою: ширина імпульсу (мкс) / 58 = дистанція (см); ширина імпульсу (мкс) / 148 = дистанція (дюйм).

3. Мікроконтролер Arduino Nano (що знаходиться посередині рисунку) обробляє сигнал з обох датчиків. Перевагою даного способу є те, що сигнал про проникнення може формуватися на основі двох альтернативних джерел (як інфрачервоного, так і ультразвукового). Тому, на відміну від аналогів, він здатен виявляти несанкціоновані проникнення через лінію зіткнення засобів, що не випромінюють тепла.



## **Висновки**

Запропоновано метод визначення проникнення на основі датчику руху, який відрізняється тим, що ядро управління отримує інформацію від датчиків: ультразвукових та інфрачервоних, які. після отримання - конвертується за допомогою конвертера і потрапляє на ПК, звідки буде остаточно оброблено користувачем..

Розроблено бездротовий сенсорний пристрій визначення проникнення на основі датчику руху, що має зворотній зв'язок від ультразвукового датчика, тобто користувач може керувати датчиком за допомогою ядра, тоді як інформація надходить лише від інфрачервоного датчика.