

УДК 624.072.3

Ю.В. Киричук, к.т.н., доц.,
Р.В. Бичук, магістрант**МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНИ**

Національний технічний університет України "КПІ", e-mail: kirichuku@mail.ru

*Виконано огляд методів вимірювання відстані. Представлені найбільш розповсюджені засоби вимірювання відстані.***Вступ**

В даний час проблема виміру дальності з високою точністю при вимірюванні відстаней від декількох сантиметрів до декількох десятків метрів може бути вирішена декількома способами.

Традиційні далекомірні системи, полягають у використанні імпульсного або безперервного електромагнітного випромінювання мають високу точність визначення відстані, але у зв'язку з великою швидкістю поширення електромагнітних хвиль застосування цього методу доцільно для вимірювання великих відстаней. Крім того, електромагнітне випромінювання впливає на роботу радіоелектронної апаратури, внаслідок чого сфера застосування обмежується областями, в яких не пред'являються високі вимоги щодо електромагнітної сумісності. Також, застосування цього методу не можливо в середовищах, що мають гарну провідність.

Телевізійні системи будуються як кутомірні і складаються з декількох ТВ камер, які розміщуються на заданій відстані одна від одної і відстежують кутове положення об'єкта. Дальність до об'єкта визначається розрахунковим шляхом через виміряні кутові координати і апріорно відомі відстані між усіма камерами вимірювального комплексу. Точність вимірювання кутових положень об'єктів вельми висока (близько 254 мм). Проблемами при використанні ТВ систем є складності розпізнавання об'єктів, та розрахунок дальності в реальному часі. Відносна дорожнеча методу (застосування високочутливих ТВ камер) також належить до його недоліків. Зона застосування даного методу обмежується прямою видимістю. Крім цього на роботу системи істотний вплив чинитиме освітленість і контрастність об'єкта.

Аналіз останніх досліджень. Акустичні системи використовують ультразвукові хвилі в діапазоні до декількох МГц. Мала швидкість поширення УЗВ роблять їх ідеальними для побудови далекомірних систем, радіус дії яких не перевищує декількох десятків метрів. Зростаючу популярність цих систем можна проілюструвати на прикладі таких пристроїв як парктроніки, ультразвукові "рулетки", системи навігації для роботів, датчики рівня та т.д. Дані продукти не позбавлені недоліків, які не дозволяють використовувати серійно випускаючі пристрої для вирішення певних завдань (наприклад, вимірювання відстаней менше 20 см або більше 20 метрів).

Мета роботи: виконати огляд методів та засобів вимірювання відстані.

Найпростішим і найбільш розповсюдженим методом вимірювання відстані, яку проходить рухомий об'єкт, є підрахунок числа обертів колеса, яке контактує з полотном дороги. Таким методом вимірюється шлях автомобіля за допомогою механічного відлікового механізму барабанного типу, який під'єднується до трансмісії автомобіля через відповідний понижуючий редуктор. В більш складних пристроях, наприклад в морських лагах, передача кута повороту крильчатки лага о вимірювального пристрою здійснюється електричним шляхом за допомогою синхронної сельсинної передачі. А в найбільш досконалих теперішніх приладах цього типу перетворювач, який сприймає швидкість обертання колеса або крильчатки, перетворює її в частоту електричних імпульсів. Пройдений шлях визначається як інтеграл від швидкості по часу шляхом підрахунку повного числа електричних імпульсів за час шляху. Цей підрахунок здійснюється електронними лічильниками числа імпульсів з безперервним виданням результатів на табло цифрового приладу, яке світиться, і з їх одночасним введенням в цифрові обчислювальні або управляючі пристрої.

По суті, цим же методом проводиться точне вимірювання шляху на початковій, найбільш відповідальній ділянці при запуску космічних ракет. Однак із-за відсутності в цьому випадку елементів, які «контактують з полотном дороги», в якості вихідного явища використовується ефект Доплера, який складається в уявній для нерухомого спостерігача зміні частоти

передавача віддалюваної ракети. Ця зміна частоти пропорційна (як і при використанні елементів, які контактують з полотном дороги) швидкості руху. Тому підрахунок електронними лічильниками інтеграла від «доплерівської частоти» дозволяє отримати безпосередній цифровий відлік миттєвих значень пройденого шляху.

Іншим широко використовуваним методом вимірювання відстаней є метод радіолокації. Цей метод полягає в тому, що потужним передавачем в напрямку об'єкта, відстань до якого має бути виміряна, випромінюється короткий (наприклад, 1 мкс) радіоімпульс. Досягнувши об'єкта, цей імпульс відбивається від нього, і через деякий час відбитий імпульс повертається назад і сприймається чутливим приймачем. Природно, що час, який минув з моменту випромінювання імпульсу до моменту його повернення, тим довше, чим більше відстань до відображеного його об'єкта, так як швидкість розповсюдження електромагнітних коливань є величина постійна. Ця швидкість, як відомо, дорівнює $c=300\ 000$ км/с, і якщо відстань до об'єкта дорівнює, наприклад, 30 км, то йому відповідає витрата часу 200 мкс. Спостереження таких малих відрізків часу зазвичай проводиться на екрані електронно-променевої трубки.

На сьогоднішній день, внаслідок розвитку радіолокації в геодезії створюються Глобальні Позиційні Системи (Global Position System - GPS) - це супутникові позиційні системи. Складається з операційних супутників, що працюють цілодобово на орбіті Землі, надаючи інформацію по всьому світу, в будь-яку погоду, 24 години на добу в будь-якому положенні.

Приймач разом з контролюючим програмним забезпеченням - це передова система для збору географічних даних. Ці системи GPS розроблені для точної картографії, створення і сучасного складання баз даних Географічної Інформаційної Системи. Разом з високо операційним контролюючим програмним забезпеченням і точним приймачем ви можете швидко визначити точне місце розташування і записати інформацію в цифровій формі, яка пізніше може бути відтрансльована в просторову базу даних за вашим вибором.

Комбінована супутникова диференціальна антена - активна антена, розроблена, щоб фільтрувати і підсилити сигнал для передачі по кабелю антени до приймача, а також для фільтрації сигнальних перешкод типу АМ (амплітудна модуляція) радіотрансляції і шумів від джерел живлення, які перемикаються.

Описаний метод не придатний для вимірювання малих відстаней (менше кількох кілометрів), так як в цьому випадку час, який витрачається стає занадто малим. Тому для вимірювання відстаней у кілька сотень метрів зручніше використовувати для локації не електромагнітні, а акустичні коливання, швидкість поширення яких багато менше. Для газового акустичного каналу частота коливань вибирається в межах 18-25 кГц, а для твердих тіл і рідин частота ультразвуку приймається рівною 0,5-10 МГц.

Найбільш типовим прикладом використання акустичної локації може служити вимірювання глибини моря за допомогою ультразвукових ехолотів. Швидкість поширення звукових і ультразвукових коливань в морській воді становить близько 1,5 км/с, тобто в 200 000 разів менше швидкості поширення електромагнітних коливань. Тому цим методом можуть вимірюватися як досить великі (кілька кілометрів) відстані.

З появою і розвитком оптичних квантових генераторів (ОКГ) для точного вимірювання відстаней стали застосовувати локацію світловими хвилями.

В імпульсних світлодалекомірах вихідною величиною є інтервал часу, необхідний для проходження світловим сигналом (короткої спалахом) відстані від джерела до об'єкта і назад. У іншого різновиду світлодалекомірів застосовують безперервне випромінювання, модульоване за інтенсивністю синусоїдальним сигналом частоти f . Вихідною величиною такого далекоміра слугує різниця фаз між напругою на виході приймача оптичного випромінювання і моделюючою напругою. При вимірі відстаней порядку 15-20 км частоту напруги, що модулює вибирають близько 60 МГц, при цьому різниця фаз ϕ не перевищує 2π . У сучасних світлодалекомірах модуляція світла здійснюється за допомогою практично без інерційних електрооптичних осередків Керра або Поккельса, що дозволяють за допомогою електричного поля здійснювати амплітудну модуляцію світла в смузі частот від 0 до 109-1010 Гц.

Види вимірювання відстані на місцевості. Глазомірно відстань отримують за допомогою порівняння з відомими відрізками на місцевості. На точність глазомірно визначення відстані впливають освітленість, розміри об'єкта, його контраст з навколишнім фоном, прозорість атмосфери і інші фактори. Відстані здаються меншими, ніж насправді, коли спостерігаються через водні простори, долини і лощини, при спостереженні великих і окремо розташованих об'єктів. І навпаки, відстані здаються більшими, ніж

насправді, при спостереженні в умовах сутінок, проти направленою світла, в тумані, при похмурій чи дощовій погоді. Всі ці особливості слід враховувати при окомірній визначенні відстаней. Точність глазомірно визначення відстаней залежить також від натренованості спостерігача. Досвідченим спостерігачем відстані до 1000 м можуть бути визначені глазомірно з похибкою 10-15%. При визначенні відстані понад 1000 м похибки можуть досягати 30%, а при недостатній досвідченості спостерігача 50%.

Визначення відстаней по спідометру. Відстань, пройдена машиною, визначається за допомогою спідометра і фіксується як різниця показань початку і кінця шляху. При русі по дорогах з твердим покриттям значення відстані буде на 3-5% більше дійсної, а по в'язкому ґрунті на 8-12%. Такі похибки у визначенні відстаней по спідометру виникають від пробуксовування коліс (прослизання гусениць), зносу протекторів шин, покриттів та зміни тиску в шинах. Якщо необхідно визначити пройдену машиною відстань можливо точніше, треба в показання спідометра внести поправку. Така необхідність виникає, наприклад, при русі по азимуту або при орієнтуванні з використанням навігаційних приладів. Величина поправки визначається перед маршем. Для цього вибирається ділянка дороги, яка за характером рельєфу та ґрунтового покриття подібна майбутньому маршруту. Цю ділянку проїжджають з маршовою швидкістю в прямому і зворотному напрямках, знімаючи показання спідометра на початку і кінці ділянки. За отриманими даними визначають середнє значення протяжності контрольної ділянки і віднімають з нього величину цієї ж ділянки, визначену за картами або на місцевості стрічкою (рулеткою). Розділивши отриманий результат на довжину ділянки, виміряного по карті (на місцевості), і помноживши на 100, отримують коефіцієнт поправки. Наприклад, якщо середнє значення контрольної ділянки одно 4,2 км, а зміряне по карті 3,8 км, то коефіцієнт поправки
$$K = \left(\frac{4,2-3,8}{3,8} \right) \cdot 100\% = 10\%. \quad (1)$$

Таким чином, якщо довжина маршруту, виміряного по карті, становить 50 км, то на спідометрі буде відлік 55 км, тобто на 10% більше. Різниця в 5 км і є величина поправки. У деяких випадках вона може бути негативною.

Вимірювання відстаней кроками. Цей спосіб застосовується зазвичай при русі по азимуту, складанні схем місцевості, нанесенні на карту (схему) окремих об'єктів і орієнтирів і в інших випадках. Рахунок кроків ведеться, як правило, парами. При вимірі відстані великої протяжності кроки більш зручно вважати трійками поперемінно під ліву і праву ногу. Після кожної сотні пар або трійок кроків робиться відмітка яким-небудь способом і відлік починається знову. При перекладі виміряної відстані кроками в метри число пар або трійок кроків множать на довжину однієї пари або трійки кроків. Наприклад, між точками повороту на маршруті пройдено 254 пари кроків. Довжина однієї пари кроків дорівнює 1,6 м. Тоді $D=254 \cdot 1,6=406,4$ м.

Зазвичай крок людини середнього зросту дорівнює 0,7-0,8 м. Довжину свого кроку досить точно можна визначити за формулою
$$D = \left(\frac{P}{4} \right) + 0,37, \quad (2)$$

де D - довжина одного кроку в метрах; P - зріст людини в метрах.

Наприклад, якщо зріст людини 1,72 м, то довжина його кроку $D = \left(\frac{1,72}{4} \right) + 0,37 = 0,8$ м. (3)

Більш точно довжина кроку визначається проміром якого-небудь рівної лінійної ділянки місцевості, наприклад дороги, протяжністю 200-300 м, яка заздалегідь вимірюється мірною стрічкою (рулеткою, далекоміром і т.п.). При наближеному вимірі відстаней довжину пари кроків приймають рівною 1,5 м. Середня похибка вимірювання відстаней кроками в залежності від умов руху становить близько 2-5 % пройденої відстані.

Підрахунок кроків може виконуватися за допомогою крокоміра (рис.1). Він має вигляд і розміри кишенькових годинників. У середині приладу поміщений важкий молоточок, який при струшуванні опускається, а під впливом пружини повертається в початкове положення. При цьому пружина перескакує по зубцях коліщатка, обертання якого передається на стрілки. На великій шкалі циферблату стрілка показує число одиниць і десятків кроків, на правій малій - сотні, а на лівій малій - тисячі. Крокомір підвішують прямовисно до одягу. При ходьбі внаслідок коливання пристрою механізм приходить в дію і підраховує кожен крок. *Визначення відстані за часом і швидкістю руху.* Цей спосіб застосовується для наближеного визначення величини пройденої відстані, для чого середню швидкість множать на час руху. Середня швидкість пішохода близько 5км/год, а при русі на лижах 8-10 км/год. Наприклад, якщо людина рухалася на лижах 3 год, то вона пройшла близько 30 км.

Визначення відстаней за співвідношенням швидкостей звуку і світла. Звук поширюється в повітрі зі швидкістю 330 м/с, тобто приблизно 1 км за 3 с, а світло-практично миттєво (300 000 км/год). Таким чином, відстань у кілометрах до місця спалаху пострілу (вибуху) дорівнює кількості секунд, що пройшли від моменту спалаху до моменту, коли був почутий звук пострілу (вибуху), поділеному на 3. Наприклад, спостерігач почув звук вибуху через 11 с після спалаху. Відстань до місця спалаху $D=11/3 = 3,7$ км.

Визначення відстаней на слух. Натренований слух - добрий помічник у визначенні відстаней вночі. Успішне застосування цього способу багато в чому залежить від вибору місця для прослуховування. Воно вибирається таким чином, щоб вітер не потрапляв прямо у вуха. Навколо в радіусі кількох метрів усуваються причини шуму, наприклад суха трава, гілки чагарник і т.п. У безвітряну ніч при нормальному слуху різні джерела шумів можуть бути чутні на відповідній відстані.

Визначення відстаней геометричними побудовами на місцевості. Цей спосіб може застосовуватися при визначенні ширини важко прохідних або непрохідних ділянок місцевості і перешкод (річок, озер, затоплених зон і т.п.). На рис.2 показано визначення ширини ріки побудовою на місцевості рівнобедреного трикутника. Тому що в такому трикутнику катети рівні, то ширина річки АВ дорівнює довжині катета АС. Точка А вибирається на місцевості так, щоб з неї було видно місцевий предмет (точка В) на протилежному березі, а також уздовж берега ріки можна було виміряти відстань, рівну її ширині. Положення точки С знаходять методом наближення, вимірюючи кут АСВ компасом до тих пір, поки його значення не стане рівним 45° .

Електронний далекомір представляє собою пристрій, в якому використовуються хвилі інфрачервоного або оптичного спектру. Для пошування призначені так звані без відбивачі електронні далекоміри, які використовуються для вимірювання відстані до об'єктів без спеціального відбивача. Оптичний далекомір має два об'єктиви, через які проходить світло, відбитий об'єктом пошування. Права призма повертається навколо своєї осі, а ліва призма залишається нерухомою. При використанні оптичного далекоміра спостерігач одержує два зображення, накладених одне на одне, що суміщаються за допомогою фокусування кільця. Оптичний далекомір найкраще підходить для стрільців з лука або арбалета, а при стрільянні з нарізної рушниці, як правило, використовуються лазерні далекоміри. Лазерний далекомір являє собою електронно-оптичний прилад з лазером, що працює в інфрачервоному діапазоні хвиль, і детектором випромінювання. Лазерний далекомір функціонує за принципом вимірювання часу, який витрачає імпульс, проходячи шлях до цілі і назад.

Лазерний далекомір - прилад для вимірювання відстаней за допомогою лазерного променя.

Широко застосовується в інженерній геодезії, при топографічній зйомці, у військовій справі, у навігації, в астрономічних дослідженнях, у фотографії. Сучасні лазерні далекомір в більшості випадків компактні і дозволяють у короткі терміни і з більшою точністю визначать відстань до об'єктів.

Лазерний далекомір (рис. 3) це пристрій, що складається з імпульсного лазера і детектора випромінювання. Вимірюючи шлях, який витрачає промінь на шлях до цілі і назад і знаючи значення швидкості світла, можна розрахувати відстань між лазером і об'єктом.

Властивість випромінювання розповсюджуватись з постійною швидкістю дає можливість визначать дальність до об'єкта. Так, при імпульсному методі дальнометрування використовується наступне співвідношення:

$$L = \frac{ct}{2n}, \quad (4)$$

де L — відстань до об'єкта, c — швидкість світла у вакуумі, n — показник переломлення середовища, в якому розповсюджується випромінювання, t — час проходження імпульсу до цілі і назад (табл.1).

Розгляд цього співвідношення показує, що потенціальна точність вимірювання дальності визначається точністю визначення часу проходження імпульсу енергії до об'єкта і назад. Чим коротший імпульс, тем краще.



Рис. 1. Крокомір

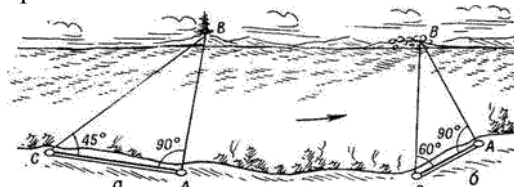


Рис. 2. Визначення відстаней геометричними побудовами на місцевості

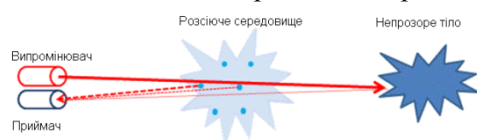


Рис. 3. Схема вимірювання лазерного далекоміра

Таблиця 1.

Відстань до цілі	Час проходження імпульсу до цілі і назад					
	1 м	10 м	100 м	1 км	10 км	100 км
Час відгуку	6,7 нс	67 нс	0,67 мкс	6,7 мкс	67 мкс	0,67 мс

Робота пристрою *ультразвукового вимірювача дальності* ґрунтується на явищі поширення звукових хвиль в повітряному середовищі і відображення їх у процесі поширення від інших середовищ (контрольованих тіл).



Рис. 4. Лазерні далекоміри

Інформація про відстань до контрольованого тіла, точніше деякої відбиваючої зони, що належить поверхні контрольованого тіла, визначається тимчасовим запізненням прийнятого сигналу щодо випромінюваного.

Приблизно таким же чином кажани орієнтуються у просторі: вони випромінюють вперед спрямований пучок ультразвукових коливань і ловлять відбитий сигнал. Звукові хвилі розповсюджуються в повітряному середовищі з певною швидкістю, тому за затримки приходу відбитого сигналу можна з достатнім ступенем точності судити, на якій відстані знаходиться той предмет, який відбив звук. Ультразвуковий далекомір проводить вимірювання відстані до контрольованого тіла за схемою ехолокації (див. рис. 5).

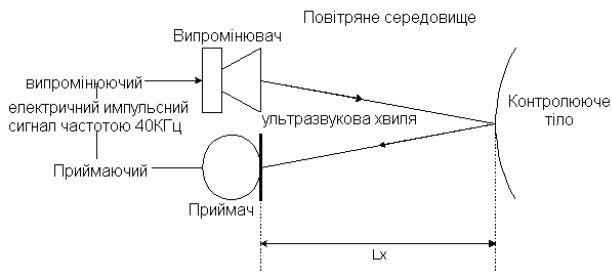


Рис. 5. Схема ехолокації

Для вимірювання відстаней в повітряному середовищі використовуються п'єзокерамічні перетворювачі (типу МУП-3 і МУП-4, вироблені "ЕЛПА" м. Зеленоград), що працюють на 40 кГц частоті. Два п'єзокерамічних перетворювача (випромінюючий і прийомний), підібрані так, щоб резонансна частота випромінювання випромінювача, збігалася з резонансною частотою прийому приймача, утворюючи акустичний блок.

Перевагами використання таких перетворювачів у повітряному середовищі є: порівняльна простота випромінювання і прийому коливань, компактність прийомоізолюючих елементів апаратури, висока стійкість до шумового, хімічного і оптичного забруднення навколишнього середовища, можливість роботи в агресивних середовищах при високих тисках, можливість значного віддалення вторинної апаратури від місця вимірювань, тривалий термін служби, простота у використанні, порівняно мала вартість, практично миттєва готовність до роботи після включення, нечутливість до електромагнітних перешкод, висока надійність, несприйнятливості органів слуху людини до ультразвуку використовуваної частоти (40 кГц) і ряд інших.

Прикладами застосування розроблюваного ультразвукового далекоміра можуть служити: контроль дистанції між автотранспортом при його русі в умовах недостатньої видимості на невеликих швидкостях (рис.8), вимірювання відстаней у будівництві (рис.7), вимірювання рівня заповнення резервуарів рідкою речовиною, рівня завантаження бункерів або кузовів автомобілів сипучим або подрібненим матеріалом, контроль розмірів продукції, вимір дистанції від борту судна до причальної стінки та інші.



Рис. 6. Ультразвуковий паркувальний радар для автомобілів



Рис. 7. Ультразвуковий далекомір

Висновок

Виконаний огляд методів та засобів вимірювання відстані показав, що найбільш поширеними методами та засобами вимірювання відстані є електронні (лазерні та ультразвукові далекоміри).