

УДК 621.317.08

А.В. Рудик, к.т.н.

БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНІ СЕНСОРИ ДЛЯ МОБІЛЬНОЇ РОБОТОТЕХНІКИ

Національний авіаційний університет, andrey05011971@mail.ru

В статті показано, що розв'язання проблеми зменшення навантаження на джерела живлення, механічні структури та обчислювальні блоки мобільного робота полягає у створенні мережевої архітектури, в якій сигнали надходять від сенсорних вузлів до різних доменів у вже обробленому вигляді. Проаналізовано використання в мобільних роботах мультиосьових давачів та мультисенсорних модулів з оптимізованою сенсорною архітектурою для комплексної обробки сенсорних сигналів (як внутрішніх, так і зовнішніх). З'ясовано та проаналізовано ефективність використання в мобільній робототехніці різних типів сенсорних технологій (переважно радарних та інтегрованих) при різних погодних умовах.

Ключові слова: мультиосьовий давач, мультисенсорний модуль, сенсорна архітектура, радарні технології, інтегровані технології, стереокамери.

Вступ

В сучасних електронних системах мобільних роботів використовуються спеціалізовані та оптимізовані для конкретного використання давачі, які в реальному часі визначають поточний статус або динаміку мобільного робота та його систем (підсистем). Відповідно до розвитку сучасної сенсорної технології інтелектуальні давачі в свою чергу є підсистемами по відношенню до систем, для яких вони виконують свої вимірювання. Деякі з цих інтелектуальних давачів є складними мультисенсорними блоками, що об'єднують декілька давачів з декількома вхідними та вихідними інтерфейсами [1]. Це означає, що при введенні нових функцій та технологій на рівні всього мобільного робота давачі також можуть вводитися збитково, а на перший план виходить оптимізація сенсорної архітектури.

Однак давачі, приводи та електроніка приводять до більш високої системної ціни мобільного робота та додаткового навантаження на джерела енергії (живлення), механічні структури та обчислювальні блоки (мікроконтролери та програмне забезпечення). Розв'язання цієї проблеми полягає у створенні мережевої архітектури, в якій сигнали надходять від сенсорних вузлів до різних доменів у вже обробленому (підготовленому вбудованою схемою давача) вигляді. Практично більшість сучасних давачів є не сенсорами, а мікроконтролерами, доповненими сенсорними функціями. По мірі підвищення вимог до електронних систем та відповідного розвитку сенсорних технологій для обробки (корекції) основних показань системи керування задіюються додаткові давачі.

Метою статті є аналіз можливостей використання в мобільній робототехніці мультиосьових давачів, мультисенсорних модулів, а також всепогодних радарних та радарно-камерних технологій, що має приводити до системного підвищення рівня інтелектуальності та інтеграції сенсорних технологій.

Постановка задачі

В статті необхідно:

- 1) проаналізувати використання в мобільних роботах мультиосьових давачів та мультисенсорних модулів з оптимізованою сенсорною архітектурою для комплексної обробки сенсорних сигналів (як внутрішніх, так і зовнішніх);
- 2) з'ясувати та проаналізувати ефективність використання в мобільній робототехніці різних типів сенсорних технологій (переважно радарних та інтегрованих) при різних погодних умовах.

Розв'язок задачі

Проведемо аналіз використання в мобільній робототехніці мультиосьових давачів, мультисенсорних модулів та різних типів сенсорних технологій.

Використання мультисенсорних модулів

Використання мультисенсорних модулів замість одного сенсорного пристрою є актуальним напрямком в розвитку сучасних сенсорних мобільних технологій. Першими практичними реалізаціями

комбідавачів стали сенсорні кластери для навігаційних систем та систем ESC (Electronic Stability Control). На сучасному етапі більшість виробників комбідавачів інерції реалізували програмне злиття даних про прискорення з даними гіроскопів та магнітометрів, що широко використовується в навігації та системах ESC. Такий принцип можна використовувати для створення інших сенсорних вузлів, для чого необхідні лише відповідні апаратно-програмні компоненти (у вигляді сенсорного вузла або сенсорні елементи блоку керування).

Тому в сучасних умовах мета оптимізації сенсорної архітектури може бути визначена як створення цілісної вимірювальної архітектури, яка забезпечує інформацією з високою точністю та надійністю за допомогою апаратно-програмного вузла, що отримує первинні або оброблені сенсорні сигнали та передає різним доменам оброблені сенсорні сигнали в тому вигляді, в якому це необхідно для реалізації основних функцій об'єкта.

Злиття та узгодження сигналів дозволяє не тільки розв'язувати вимірювальну задачу, але й підвищувати точність детектування, "впевненість" інтелектуальної системи у вірності активованих нею дій, а також точності їх виконання. Деякі сигнали можна використовувати для обчислення змінних різними способами або за допомогою віртуальних давачів. Це дозволяє підвищувати взаємозамінність сигналів та надійність вимірювань при втраті одного з сигналів.

Наступним етапом розвитку систем керування мобільних роботів є використання для обробки зовнішніх сенсорних сигналів (сигналів GPS або наземних давачів, а також сигналів інших мобільних роботів з групи). Така комплексна обробка (злиття інформації) зазвичай приводить до збільшення ефективності керування.

Ще більш точно мету оптимізації сенсорної архітектури можна визначити як розробку матриці відповідності давачів (внутрішніх та зовнішніх) функціям мобільного робота, що дозволяє визначити, які (не тільки за призначенням, але й за вимогами до них) сенсорні сигнали потрібні для вимірювань, та підключати їх у масштабуючі програмні модулі, що реалізують ці функції. Це допускає не тільки виключення надлишкових давачів, але й можливість організувати їх таким чином, щоб додавання нових функцій, виконуваних мобільним роботом, відбувалося швидко та не приводило до суттєвого збільшення його вартості.

Використання мультиосьових давачів

Одним з потенційно важливих є використання мультиосьових давачів для визначення крену мобільного робота. При використанні даних про вертикальне прискорення (по Z-осі), отримуваних за допомогою та в комбінації з даними бокових ударів (по Y-осі), можна передбачувати настання крену без гіроскопу. Для реалізації цієї функції компанією TRW розроблені двоосьові та мультиосьові сенсорні технології, доступні для використання з 2012 р.

Мультиосьові сенсорні рішення підвищують функціональність системи, в якій вони працюють, а також зменшують ціну та фут-принт (опорна поверхня або зона обслуговування). Сенсорне злиття допускає нову функціональність, а еволюція мультиосьових модулів рухається в напрямку комплексного сенсорного рішення, що включає замість звичайної ASIC (*application-specific integrated circuit*, «інтегральна схема спеціального призначення») мікроконтролерний блок на основі MCU та програмного забезпечення.

За даними Yole Development [2] у 2016 р. порядку 40% від споживацького ринку у \$2,7 млрд. та біля 12% від автомобільного ринку інерціальних давачів у \$1,1 млрд. складуть комбідавачі. Основним використанням для мобільної робототехніки є системи навігації та системи ESC.

Підсистеми керування на основі радарів та лідарів

Ключовими технологіями покращення керованості мобільними роботами є підсистеми керування на основі радарів та камер. Згідно нового звіту консалтингової фірми ABI Research, аналіз за допомогою камер, що захоплюють зображення зі швидкістю не менше 25 fps (кадрів за секунду), стає більш потужним, радарні технології дешевшають, однак лідари та ультразвукові давачі також залишаються затребуваними.

Хоча ультразвукові давачі є доволі недорогими, однак система керування рухом мобільного робота може не зреагувати на об'єкти (камені, пні дерев), які потрапили у мертву зону давачів. Система також не буде реагувати на м'які предмети, що поглинають ультразвук (наприклад, вата), та на об'єкти, що відбивають звук у бік від давачів (гладкі круглі об'єкти та рівний схил). Також система може помилково попереджати про наближення до перешкоди у дощ або снігопад і не зможе виявити ями, провали у асфальті, відкриті каналізаційні люки та розкидані невеликі гострі предмети.

Лідар (Light Identification Detection and Ranging – світлове виявлення та визначення дальності) –

технологія отримання та обробки інформації про віддалені об'єкти за допомогою активних оптичних систем, які використовують явища відбиття світла та його розсіювання в прозорих та напівпрозорих середовищах. Лідар як прилад є як мінімум активним дальноміром оптичного діапазону. Скануючі лідари в системах машинного зору формують дво- або тримірну картину навколишнього простору. "Атмосферні" лідари здатні не тільки визначати відстань до непрозорих відбивальних цілей, але й аналізувати властивості прозорого середовища, яке розсіює світло. Різновидом атмосферних лідарів є доплерівські лідари, які визначають напрямок і швидкість переміщення. В Австралії найпростіші лідари використовуються для визначення швидкості автомобілів через те, що є значно компактнішими традиційних радарів, однак менш надійні при визначенні швидкості сучасних легкових автомобілів: відбиття від похилих площин складної форми «заплутують» лідар.

Відомий безпілотний транспортний засіб, MuCAR-3 (розробник – Університет бундесверу в Мюнхені), використовує єдиний лідар кругового огляду, піднятий високо над дахом машини, на рівні з спрямованою мультифокальною камерою огляду вперед та інерціальною навігаційною системою. Лідар MuCAR-3 використовується підсистемою вибору оптимальної траєкторії на пересіченій місцевості, він дає кутовий дозвіл $0,01^\circ$ при динамічному діапазоні оптичного приймача $1:10^6$, що дає ефективний радіус огляду 120 м. Для досягнення прийнятної швидкості сканування використовується пучок з 64 розбіжних лазерних променів, тому один повний «кадр» вимагає єдиного обороту обертового дзеркала [3]. З 2003 року уряд США через агентство передових військових розробок DARPA фінансує розробку і змагання автомобілів-роботів. Щорічно проводяться гонки DARPA Grand Challenge; в одних з перегонів перемогла машина зі Стенфорда, в основі системи зору якої п'ять лідарів спрямованого огляду.

Системи машинного зору ближнього радіусу дії для роботів, основані на скануючому лідарі IBM, формують циліндричну розгортку з кутом охоплення горизонту 360° і вертикальним кутом зору до $(+30...-30)^\circ$. Власне далекомір, встановлений всередині скануючої оптичної головки, працює при постійному випромінюванні малої потужності, модульованому частотою порядку 10 МГц. Відстань до цілей (при носійній 10 МГц – не більше 15 м) пропорційна зсуву фаз між опорним генератором, модулюючим джерело світла, та відбитим сигналом. Лідар IBM використовує простий аналоговий фазовий дискримінатор безперервної дії і має високу кутову роздільну здатність, на практиці обмежену тільки швидкодією процесора, що обробляє тривимірну «картинку» лідара, та системи автоматичного регулювання рівня сигналу на виході приймача (швидкі системи АРП вносять в прийнятий сигнал фазові спотворення, а повільні – звужують динамічний діапазон) [4].

Результатом впровадження сучасних радарних технологій є мультирежимний електронно-скануючий радар ESR (Electronically Scanning Radar) от Delphi Automotive з використанням новітніх розробок фірми TriQuint. Крім загальних переваг електронного сканування у порівнянні з механічним, Delphi ESR характеризується широкою областю огляду і в середньому, і в дальньому діапазонах і забезпечує два вимірювальних режими одночасно. У середньому діапазоні (до 60 м) ESR ідентифікує рухомі об'єкти та перешкоди, а в дальньому (до 174 м) забезпечує точне детектування діапазону і даних швидкості з дискримінацією до 64 цілей на шляху мобільного робота. Сучасні радарні технології представлені GaAs- та SiGe-технологіями. В розробці системи для Delphi застосований дизайн GaAs-пристроїв від TriQuint з використанням фліп-чип технології CuFlip, яка заміщає провідні пристрої. CuFlip підвищує надійність і міцність, спрощує складання. Як заявлено, рішення TriQuint на основі GaAs-технології в частотному діапазоні (76.55÷76.78) ГГц забезпечують високі робочі характеристики та надійність, масштабований гнучкий системний підхід, а також вартісну ефективність при споживаній потужності 0.955 Вт [5]. Однак починаючи з 2011 р. технологія GaAs почала витіснятися технологіями, що забезпечують ще більш високий рівень інтеграції і нижчу ціну виробництва. Компанія Infineon виробляє радарні кристали на основі технології SiGe, яка допускає більш високий рівень інтеграції, менші і більш ефективні у вартісному вираженні рішення, ніж це було можливо з більш дорогою технологією GaAs.

Радарні IC серії RASIC (Radar System IC) забезпечують функції трансиверів, осциляторів (VCO), діелектричних резонансних осциляторів (Dielectric Resonator Oscillators, DRO) та інші для всіх типів мобільних і промислових радарних застосувань в діапазоні 76-77 ГГц. Рішення від Infineon поставляються як некорпусовані кристали bare-die, стійкі в робочому температурному діапазоні від -40 до $+125^\circ\text{C}$ при забезпеченні ознак самотестування та діагностичних опцій для вихідних даних і температури. Кристал Infineon RASIC використовується в нових радарних системах третього покоління Bosch LRR3 (рис. 1). LRR3 розроблений для АСС в діапазоні до 250 м і реалізує основні радарні функції

безпеки [6].

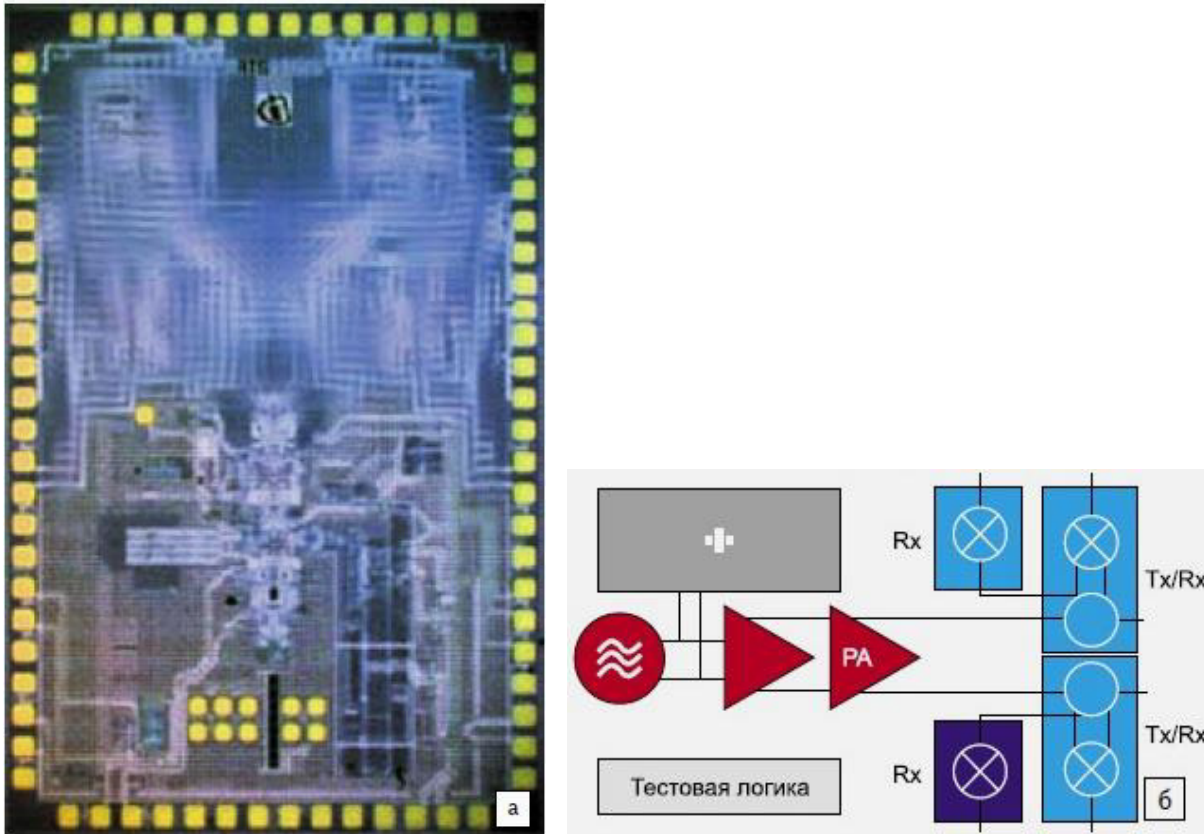


Рис. 1. Автомобільні радарні IC серії RASIC від Infineon в радарній системі нового покоління LRR3 Bosch: а) SiGe радарні кристали RASIC в LRR3; б) блок-діаграма радарних кристалів

Чіпсет від Freescale з матеріалу SiGe є наступним радарним рішенням діапазону 77 ГГц, що забезпечує функціональність моніторингу оточення навколо мобільного робота в дальньому і середньому діапазонах (рис. 2).

Радарна система Freescale основана на мультिकанальних ресиверах і трансмітерах, що допускають високий рівень інтеграції. В системі попередження про зіткнення контрольований MCU трансмітер на 77 ГГц випромінює сигнали, які, відбиті від об'єктів, що знаходяться попереду, збоку, ззаду, захоплюються за допомогою множинних ресиверів, інтегрованих в мобільному роботі. Сенсорний модуль являє собою: повністю інтегроване рішення трансмітера SiGe; мультिकанальний SiGe RF ресивер з високою ізоляцією між каналами та низькими шумами; повністю інтегрований RF трансивер SiGe. Радари від Freescale функціонують в FMCW-моделі з використанням FSK-модуляції та дозволяють отримати ефективне рішення за співвідношенням ціна/якість [7]. Високошвидкісне поширення FMCW, скомбіноване з алгоритмом 2D-FFT, допускає незалежні вимірювання діапазону та швидкості (range rate). Також забезпечується виявлення кластерних стаціонарних об'єктів.

Продукти Freescale для радарних систем включають: 32-бітні МК Qorivva, 16-бітний МК (S12X), спеціалізовані схеми (аналогові та IC із змішуванням сигналу), давачі та супутню продукцію (комплекти розробника, програмне забезпечення, бібліотеку дизайнів, AUTOSAR). За допомогою 32-бітного мікроконтролера з одним або двома ядрами Qorivva MCU з вбудованою флеш-пам'яттю та RAM радарна система може виявляти і відстежувати об'єкти, ініціюючи попередження системи керування про зіткнення і втручання гальмування.

Інші виробники розробляють аналогічні рішення для здійснення широкого набору функцій моніторингу в діапазоні 360° на основі комбінування вхідних даних від нечисленних і недорогих незалежно працюючих або інтегрованих давачів/модулів. Одним з прикладів є нова радарна концепція від TRW, яка представлена лінійкою короткодіапазонних масштабованих радарів, що допускають детектування в діапазоні 360° навколо мобільного робота.

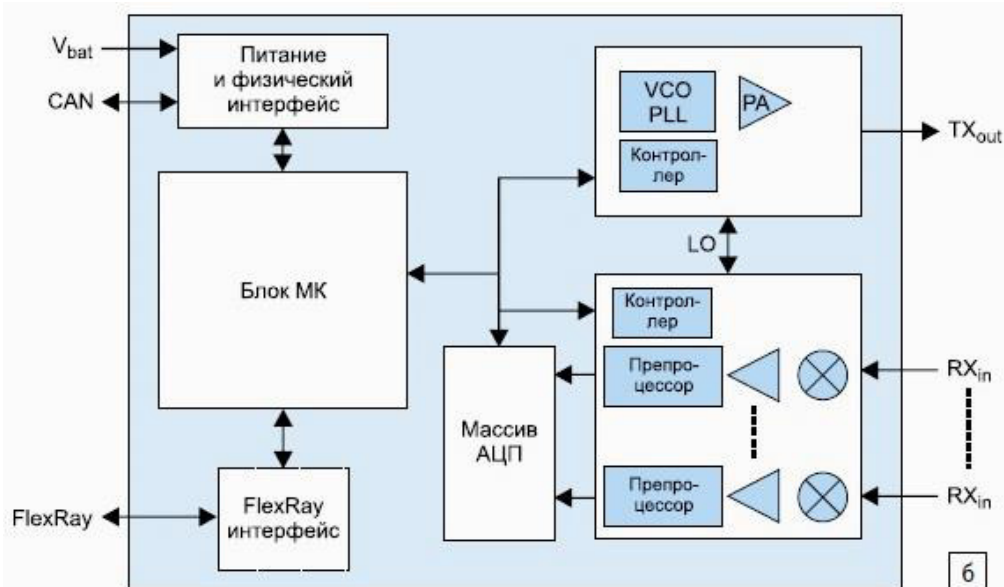


Рис. 2. Радарне рішення від Freescale на 76...81 ГГц (блок-схема)

Інтелектуальні та когнітивні (пізнавальні) системи безпеки від TRW роблять останні інновації в області безпеки доступними для всіх сегментів ринку мобільної електроніки.

Відповідно до цього нова радарна концепція TRW розробляється як масштабоване рішення на основі обмеженого набору давачів для застосувань або груп застосувань. Це рішення підходить для планування на старті тільки базових функцій з наступним апгрейдом. Наприклад, система низького рівня складається з одного давача переднього огляду для низькошвидкісного попередження про зіткнення, система середнього рівня може додатково включати пару радарів заднього огляду, а система високого рівня може бути додатково оснащена давачами для огляду бічних зон. Така радарна технологія від TRW стала доступною з 2015 року.

Використання радарних давачів в мобільних роботах є доцільним за умов їх використання при повному тумані, інтенсивному дощу або снігопаді, сильному задимленні атмосфери або при сліпучому світлі. Порівняння ефективності використання різних технологій при різних погодних умовах наведено в таблиці 1, що підтверджує всепогодну ефективність радарних технологій. Радар разом з системою керування рухом мобільного робота дозволяє обчислювати відстань до навколишніх перешкод та підтримувати таку швидкість, щоб знаходитися від них на безпечній відстані. Ефективним використанням радарного давача є у таких випадках:

- фіксація зближення з перешкодами на небезпечну відстань та попередження зіткнень при прямолінійному русі та поворотах; типова ближня зона, контрольована радаром, – (0,5÷5) м;
- при переміщенні мобільних роботів у групі або поряд з іншими рухомими об'єктами радар дозволяє системі керування зафіксувати факт гальмування рухомого об'єкту в напрямку переміщення за час порядку 0.1 с від початку гальмування; типова середня зона, що контролюється радаром, – (5÷30) м;
- попередження про швидкісні рухомі об'єкти; типова дальня зона, що контролюється радаром, до 150 м;
- попередження про небезпеку наїзду на перешкоду при переміщенні заднім ходом; типова контрольована зона (0÷10) м.

Система керування рухом мобільного робота, яка зазвичай є адаптивною, підтримує його швидкість на заздалегідь визначеному для даного типу місцевості та покриття рівні доти, доки ніщо не перешкоджає руху. Модуль контролю використовує інформацію, отриману від радарного давача та давачів швидкості. Якщо перед мобільним роботом з'являється об'єкт, система автоматично регулює швидкість для підтримання або неперевищення заздалегідь визначеної безпечної відстані між об'єктами. Радар може бути як самостійним пристроєм, так й інтегрованою частиною модуля системного контролю мобільного робота. Для забезпечення ефективної роботи основний радарний давач має знаходитися в передній частині мобільного робота та бути орієнтований у напрямку його переміщення.

Таблиця 1. Порівняння технологій при різних погодних умовах

Погодні умови	Радарний давач	Відеосигнал	Ультразвуковий давач	Лазерний давач
Денне світло	+	+	+	+
Сліпуче світло	+	+/-	+	+/-
Темнота	+	-	+	+
Бруд і сльота	+	+/-	-	+/-
Дощ, сніг, мокрий сніг	+	+/-	-	-

Умовою ефективної роботи всієї системи керування рухом мобільного робота є точне налаштування та установка давачів. За статистикою фірми Bosch [8], горизонтальне зміщення давача на величину $(0,5...1)^\circ$ приводить до зменшення ефективності системи на $(25...40)\%$, а відхилення більше ніж на 1° приводить до фактичного невиконання радарним давачем покладених на нього завдань. Для налаштування радарного давача необхідне скануюче обладнання з лазерним діагностуванням. Деякі моделі радарних давачів мають опцію самоналаштування. В цьому випадку мобільний робот в тестовому режимі має здійснити переміщення відносно декількох стаціонарних об'єктів, при цьому чим більшою буде кількість стаціонарних об'єктів, тим швидше відбудеться внутрішнє налаштування системи керування.

При переміщенні мобільного робота по вузьким проїздам (рух по вузьким вулицям міста або у приміщенні) радарні давачі полегшують реалізацію складних маневрів. Залежно від вимог до якості руху мобільного робота до складу системи керування може входити від 2 до 8 радарних давачів. Більшість радарних давачів працюють в сантиметровому або міліметровому діапазонах на частотах порядку 24 ГГц (ближня та середня зони) або 77 ГГц (дальня зона).

Для попередження зіткнень радарні давачі мають визначати азимутальні координати об'єктів. Для цього виробники радарних давачів використовують багатоприменеву перемикальну антену або механічно скануючу антену (Bosch – три промені, що перемикаються; Fujitsu Ten Delphi – один механічно скануючий промінь; Autocruise – один промінь підсвітки та два (сумарний і різницевий) для прийому). Загальним рішенням для всіх ситуацій є антена з електронним скануванням, у якій кут огляду (FOV) змінюється в залежності від ситуації на місцевості (дальності та типу нерухомих перешкод або рухомих об'єктів). Аналіз вимог, що ставляться до радарних давачів, показує, що оптимальні параметри щодо виявлення типових перешкод при відстані до них $(0,5...20)$ м можуть бути реалізовані тільки за допомогою електронної скануючої антени зі змінним кутом огляду від 10° до 45° .

Більш високий рівень інтеграції і зниження ціни сприяють масштабуванню радарної технології, а також дозволяють інтегрувати її з іншими сенсорними технологіями (в основному відеокамери) для розширення набору застосувань, тобто від прив'язки технології до застосування переходити до комплексного інтегрування технологій і застосувань.

Інтегровані радарно-камерні технології

Останні технологічні розробки дозволяють об'єднати декілька систем безпеки в один інтегральний модуль зі злиттям даних і при цьому зменшити його системну ціну. Для мобільної робототехніки актуальною є інтегрована система на основі радара та камери, розроблена Delphi в продукті під назвою RACam, що працює на частоті 76.7 ГГц та має споживану потужність 0.892 Вт. Ядром RACam є електронно-скануючий радар Delphi ESR середнього і дальнього діапазонів. RACam інтегрує функції радарного детектування та відеовиявлення з обчислювальним блоком в одному компактному модулі з розмірами 123x68x38 мм [9].

Сенсорна система від TRW здійснює злиття сенсорних даних від масштабованої відеокамери з даними радара на 24 ГГц. Якщо деякий об'єкт виявлений перед мобільним роботом за допомогою камери і це підтверджується даними радара, то використовуються відповідні алгоритми розрахунку ймовірності зіткнення, а при високій ймовірності зіткнення автоматично генерується гальмівний маневр.

Інженерами Continental розроблено стереокамеру – інтегрований сенсорний блок на основі двох CMOS-монокамер, рознесених приблизно на 20 см, які забезпечують повний аналіз зображення в одному блоці [10]. Оскільки стереокамера має два “ока”, вона здатна визначати відмінності в зображеннях в межах одного кадру, а також стаціонарні та рухомі перешкоди (стаціонарні об'єкти, людей,

тварин). Така камера дозволяє використовувати вхідні дані для визначення розміру перешкоди та відстані до неї, чого не можна досягти з такою самою високою надійністю при використанні монокамери.

Вимірювання відстані до об'єкта та його висоти можливо при оцінці різниці в перспективі між лівим та правим оптичними шляхами (за аналогією з просторовим зором людини, який дає зміщення паралаксу між двома зображеннями. На середніх відстанях (20...30) м стереокамера може визначати діапазон до об'єкта з точністю (20...30) см (відносна похибка порядку 1%). Відмінність стереокамери, яка дає переваги у порівнянні з іншими технологіями – можливість виявляти близькі об'єкти, що мають низький контраст з фоном. Крім того, дві камери покращують здатність визначення об'єктів в умовах низької видимості.

Окрім просторового (3D) визначення положення будь-якого детектованого об'єкту стереокамера дає можливість виявлення напрямку, в якому переміщується кожен піксель ідентифікованого об'єкту вздовж кожної осі 3D-простору. Це дає замість 3D 6-мірний (6D) простір ідентифікації та дозволяє з більшою ймовірністю передбачувати можливе зіткнення, ініціювати надзвичайне гальмування до 1g, а також виявляти маршрут для маневрів з метою запобігання зіткненню. Стереокамера функціонує в діапазоні швидкостей до 50 м/с та може бути основою для інших систем активної безпеки. В майбутньому розробники планують “навчити” стереокамеру визначати дітей, велосипедистів та інвалідів у колясках. А в найсучасніших відеокамерах з'являється “третє око” – інфрачервоний детектор для нічного моніторингу людей та тварин.

На закінчення необхідно зазначити, що у 2012 р. в США у штаті Невада набрав чинності закон про авторизацію автономних автомобілів, оснащених інтелектуальними системами, давачами та GPS, здатних переміщуватися без активного втручання оператора (тобто за цією ознакою відбувається зближення функціоналу автомобілів та мобільних роботів). Ключем до підвищення рівня інтелектуальності засобів мобільної робототехніки є підвищення рівня інтелектуальності систем та вузлів, інтеграція функцій та технологій, а також оптимізація сенсорної архітектури, над чим безперервно працюють науковці та виробники електроніки.

Висновки

1. Показано, що розв'язання проблеми зменшення навантаження на джерела живлення, механічні структури та обчислювальні блоки мобільного робота полягає у створенні мережевої архітектури, в якій сигнали надходять від сенсорних вузлів до різних доменів у вже обробленому вигляді.

2. Проаналізовано використання в мобільних роботах мульти сенсорних давачів та мульти сенсорних модулів з оптимізованою сенсорною архітектурою для комплексної обробки сенсорних сигналів (як внутрішніх, так і зовнішніх).

3. З'ясовано та проаналізовано ефективність використання в мобільній робототехніці різних типів сенсорних технологій (переважно радарних та інтегрованих) при різних погодних умовах.

Список літературних джерел

1. Сысоева С. Интеллектуальные автомобильные ассистенты и датчики. – Компоненты и технологии, №1, 2012. – С. 7-18.
2. <http://www.yole.fr/events.aspx>
3. The Cognitive Autonomous Vehicles of UniBwM: VaMors, VaMP, MuCAR-3 // Universitaet der Bundeswehr Muenchen, 2004.
4. Lidar measurements taken with a large-aperture liquid mirror. 2. Sodium resonance-fluorescence system / P.S. Argall, O. N. Vassiliev, R. J. Sica// Applied Optics. – 2000. – Vol. 39, No. 15. – P. 2393-2400.
5. <http://delphi.com/manufacturers/auto/safety/active/electronically-scanning-radar>
6. http://www.bosch-engineering.de/media/de/pdfs/einsatzgebiete_1/produktdatenblaetter/120903
7. <http://www.nxp.com/products/rf/millimeter-wave-solutions/radar-technology/multi-channel-77-ghz-radar-transceiver-chipset>
8. Вендик О., Парнес М. Фазовращатели сканирующих антенн для радаров обзора территорий // Беспроводные технологии, №9, 2007. – С. 164-166.
9. <http://delphi.com/manufacturers/auto/safety/active/racam>
10. http://www.continental-corporation.com/www/pressportal.com/en/themes/press_releases/3_automotive_group/chassis_safety/press_releases/pr_20110504_stereo_camera_en.html