

УДК 621.396.2, 531.383

Системи діагностики земної поверхні для наземних безпілотних транспортних засобів

Курпас Д.В., Тищенко О.В., Бевза О.М.

Анотація – В даній статті описана система діагностики земної поверхні для безпілотних наземних транспортних засобів. Засвідчені основні проблеми, що виникають при використанні наземних безпілотних транспортів (НБТ) як по цивільних шляхах, так і по пересіченій місцевості. Саме наявність великої актуальності використання НБТ на сьогоднішній день, підштовхує до рішення цих проблем. Особливу увагу буде надано лазерній системі радару – лідар, адже ця система є вирішальною в безпілотному апараті, що визначає траєкторію руху апарату, шляхом сканування навколишньої місцевості. Тому некоректна робота лідару позначається на роботі усього НБТ. Описані деякі технологічні, конструктивні та економічні рішення, що підвищують якість роботи лідарів.

Крім того, описані варіанти, що допоможуть визначити тип переешкоди, що сканується лазерним методом. Це вбереже безпілотний апарат від зіткнень з цими переешкодами

Ключові слова – Лідар, GPS, інерційна система навігації, шаговий

двигун, лавинний фотодіод, лазерний діод.

Вступ

Останнім часом все частіше безпілотний транспорт використовується для рятувальних операцій, для матеріального постачання в важкодоступні місця, збирання інформації чи просто для використання безпілотного транспорту в побутових цілях. Застосування безпілотних апаратів значно спростить роботу та збільшить безпеку для людей, що приймають участь у різноманітних рятувальних або військових операціях.

Ринок безпілотних технологій знаходиться на стадії зародження, однак розвиток відбувається настільки стрімкими темпами, що не залишається сумнівів - безпілотне майбутнє вже настало. Так за прогнозами к 2028 році обсяг ринку роботизованих автомобілів складе мінімум 42 млрд. доларів, а частка робочих в світових продажах досягне 13%. К 2030 р. – до 77 млрд доларів [1].

Системи діагностики сучасного НБТ

Зазвичай, на наземні безпілотні апарати встановлюються датчики:

- LIDAR - далекомір оптичного діапазону
- Система стереозору
- Система глобального позиціонування (GPS, ГЛОНАСС)
- Гіростабілізатори або системи інерційної навігації

Кожна система датчиків є незамінною частиною НБТ, однак лазерний радар є одним з основних компонентів.

Лідар як прилад являє собою, як мінімум, активний далекомір оптичного діапазону. Скануючі лідари в системах машинного зору формують двовимірну або тривимірну картину навколишнього простору. Сталий переклад LIDAR як «лазерний радар» не цілком коректний, тому що в системах ближнього радіусу дії (наприклад, призначених для роботи в приміщеннях), головні властивості лазера: когерентність, висока щільність і миттєва потужність випромінювання - не затребувані, випромінювачами світла в таких системах можуть служити звичайні світлодіоди. Однак, для скануванні та побудові 3д карти місцевості застосування лазерів неминуче.

На рис. 1 представлені знімки, зроблені сучасною системою LIDAR.

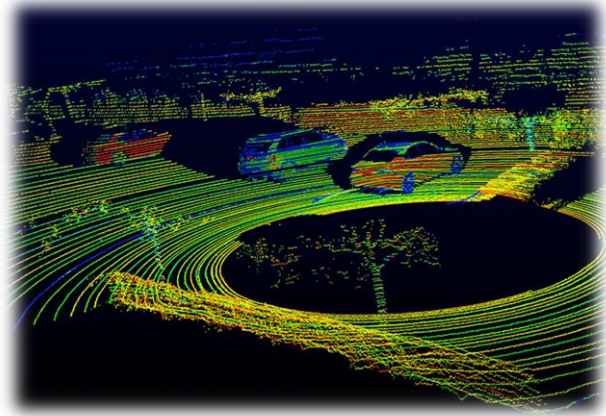


Рис. 1. Знімки, отримані лідаром

Сканування автомобілів та пройшло коректно, однак якщо звернути увагу на дерева можна помітити недоскановані області, не кажучи це про дроти, штирі, хачі та інші дрібні об'єкти. Саме ці об'єкти можуть мати не меншу загрозу ніж інші автомобілі та стіни.

Для рішення цієї проблеми потрібно для початку скористатися формулами, за якими визначається фактична відстань між сканером а об'єктом:

$$D = 0,5 \cdot c \cdot t \quad (1)$$

де c - швидкість випромінювання лазера, t - повне час проходження світлом шляху до точки відображення і назад (раундтріп). t визначається формулою (2) :

$$t = \frac{\varphi}{2 \cdot \pi} \cdot T \quad (2)$$

де φ - фазовий зсув, T - період сигналу.

На рис. 2. Представлена структурна схема розробленої системи для діагностики земної поверхні. Вона

являє собою удосконалену систему 3д сканування поверхні.

Основна система складається з 64 лазерів інфрачервоного діапазону (905 нм).

Відбите світло проходить через окрему систему лінз і УФ-фільтр, необхідний для зниження фонового оптичного засвічення (збільшення відношення сигнал / шум). Лінзи прийомної системи фокусує відбите випромінювання на лавинний фотодіод, що генерує електричний сигнал, пропорційний інтенсивності оптичного.

Лазер і лавинний фотодіод юстуються на заводі-виробнику для забезпечення максимальної чутливості

при мінімізації перехресних сигнальних перешкод, утворюючи, таким чином, найбільш ефективну пару випромінювач-детектор. Відповідно до сили відбитого сигналу, прийнятим лавинним фотодіодом і схемою підсилювача, система змінює амплітуду лазерного імпульсу, підтримуючи мінімальний необхідний рівень випромінювання. Це автоматичне підстроювання потужності лазера, по-перше, знижує нагрів оптичного блоку і підвищує його надійність, а по-друге, не дає детекторам увійти в режим насичення

Вся система обертається з постійною частотою 600 об/хв, це дозволяє просканувати всі об'єкти під кутом 360°

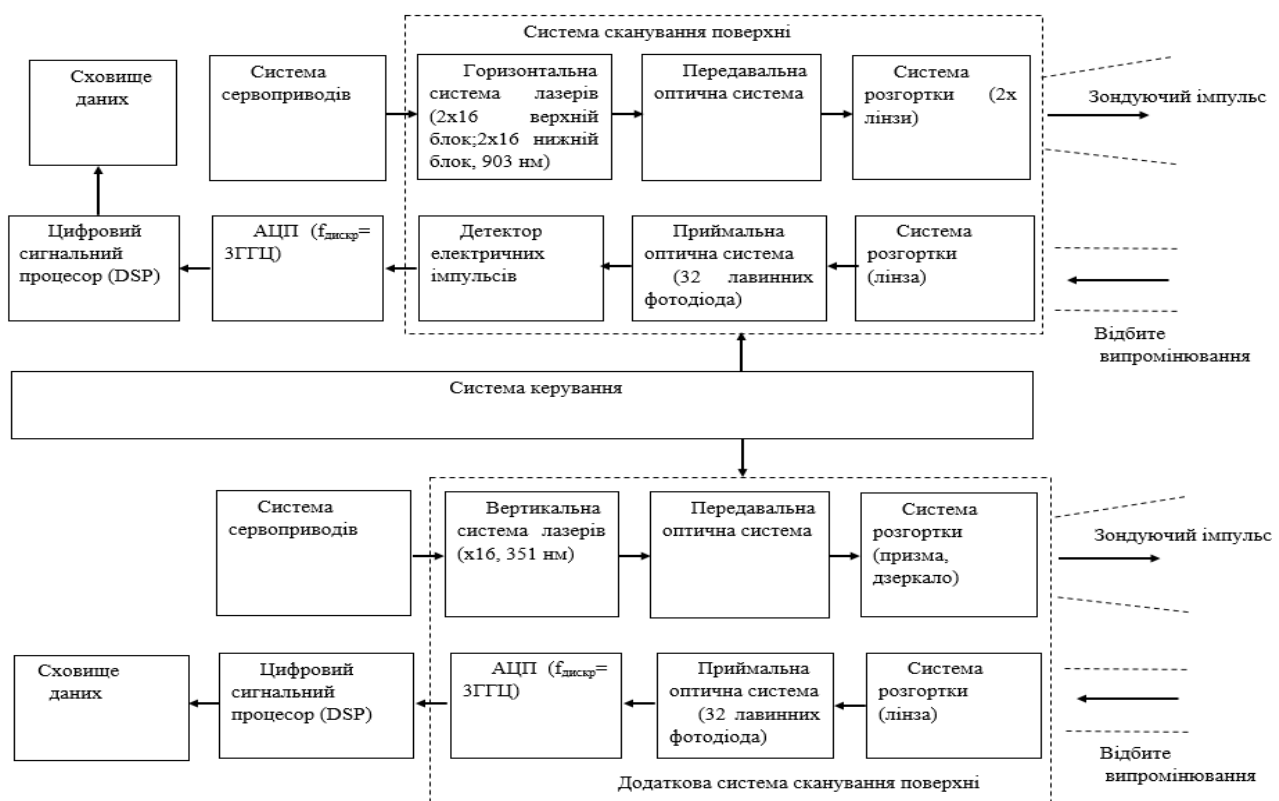


Рис. 2. Структурна схема системи діагностики земної поверхні

Додаткова система сканування представлена на рис. 3.

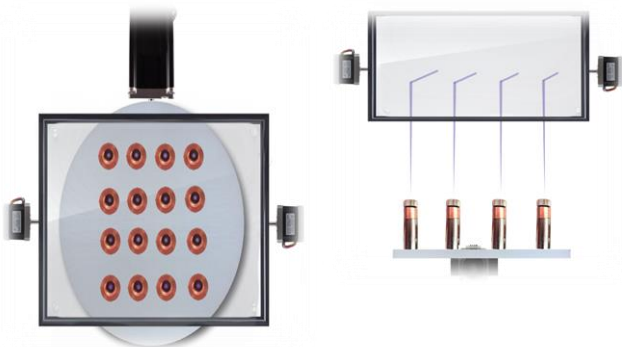


Рис. 3. Додаткова система сканування

Згідно властивостям електромагнітного випромінювання чим коротшою є довжина хвилі тим менше проявляється дифракція, а отже більша потужність відбитого сигналу буде прийнято. Тому джерелом випромінювання додаткового сканера буде лазер, що працює в ближньому ультрафіолетовому діапазоні. Послідовна зміна напрямку лінії візування, уздовж якої випромінюється оптичний сигнал, здійснюється за допомогою рухомого дзеркала. Це дзеркало повертається на обмежений кут (кут огляду) навколо осі, що лежить в його площині і, як правило, паралельної напрямку руху пристрою. Хитання дзеркала дозволяє сканувати цільову область простору і формувати сцену потрібної ширини, яка визначається кутом гойдання.

Підсистема на основі дзеркала, що хитається створює вертикальну синусоїдальну розгортку. При цьому частота коливання обернено пропорційна заданому куту огляду (ширині сцени).

Горизонтальна розгортка здійснюється шляхом обертання підкладки, на якій встановлені 16 УФ лазерів. Ця система значно збільшить вірогідність визначення дрібних об'єктів.

В якості джерел випромінювання в ІЧ та УФ діапазоні використовуються потужні напівпровідникові лазери AlGaAs 50 та 10 Вт відповідно). Лавинні фотодиоди на основі кремнію здатні працювати з діапазоном 350-1100 нм.

Визначення типу матеріалу

Як і будь-яке електромагнітне випромінювання, взаємодіючи з матеріалом, частина енергії лазерного випромінювання може проходити або поглинається цим матеріалом, або ж відбивається. Коефіцієнт відбиття - безрозмірна фізична величина, що характеризує здатність тіла відбивати випромінювання, що падає на нього. Кількісно коефіцієнт відбиття дорівнює відношенню потужності потоку випромінювання, відбитого тілом, до потужності потоку, що упало на тіло:

$$\rho = \frac{\Phi}{\Phi_0} \quad (3)$$

На табл. 1. Представлена таблиця, в якій наведені коефіцієнти відбиття світла видимого діапазону для деяких покриттів[2].

Табл. 1. Коефіцієнти відбиття видимого світла для деяких покриттів

Матеріал	Коефіцієнт відбиття, %
Скло прозоре	6-8
Мармур	70
Бетонне покриття доріг	20-25
Цегла	30-40
Дерево	28-40
Алюміній	55-60
Мідь	73
Фарфор	70-80
Асфальтове покриття доріг	15
Біла пластмаса	75-80

Знаючи коефіцієнт відбиття для різних поверхонь та величину потоку лазерного випромінювання можна визначити величину потоку, що попаде на фотодіоди. Фотодіоди перетворюють світло в електричний аналоговий сигнал за рахунок фотоефекту. Аналогові сигнали перетворюються за допомогою АЦП в цифрові. Далі в дію вступає процесор. Його можна запрограмувати таким чином, щоб він давав команду для руху НБТ лише в тому випадку, якщо процесор отримав сигнал потрібного рівня.

Для визначення типу матеріалу використано експериментальну установку, блок-схема якої показана на рис. 5.

Дана установка вміщує в себе лазерні випромінювачі 1 і 2 з частотою в діапазоні 0,6-0,7 та 0,9 - 1,0 мкм відповідно, які генерують потужне випромінювання на досліджувану поверхню 3. Лавинний фотодіод 4 з'єднаний зі входом схеми порівняння 5, к іншому входу під'єднаний блок опорного рівня. Блок 7 являє собою схема ідентифікації поверхні (АЦП та процесор).

Вимірювання коефіцієнта відбиття відбувалося зі застосуванням еталонних матеріалів, що знаходились під ІЧ випромінюванням (905 нм) [3].

Метод вимірювання полягає в визначенні контрасту яскравості в двох спектральних діапазонах досліджуваних поверхонь, і полягає в наступному.

Перед проведенням експерименту необхідно для початку провести настройку вимірювача.

Ця настройка виконується таким чином: встановлюють 2 лазерних випромінювача з вказаною раніше діапазоном випромінювання та фотоприймач на одній базовій площині. Розміщують еталонну поверхню с коефіцієнтом відбиття приблизно 0,45 на фіксованій відстані d перпендикулярно оптичній осі випромінювання. Ця відстань встановлюється таким чином, щоб отримати максимальну ефективність прийому відбитого випромінювання.

Призводять випромінювачі к одному рівню потужності і куту розподілу.

Реєструють вихідні напруги фотодіода $U_{\text{фд}}(\lambda_1)$ та $U_{\text{фд}}(\lambda_2)$, що відповідають коефіцієнту відбиття від еталонної поверхні при двох довжин хвиль, і розраховують величини опорного рівня.

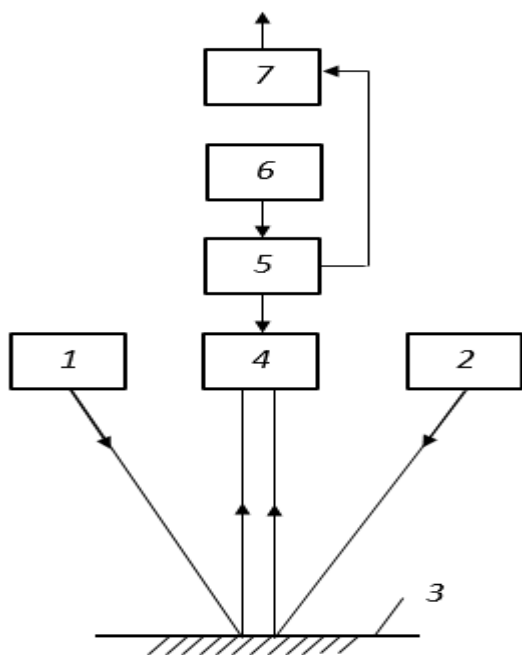


Рис. 5. Блок-схема установки для вимірювання коефіцієнта відбиття

Після процесу настройки приладу відбувається безпосередньо процес визначення типу поверхні в заданому порядку.

Вимірювальний пристрій встановлюють на відстані d от досліджуваній поверхні так, щоб оптична вісь приладу була нормально до неї. Послідовно вимірюючи фотовідповідь на двох довжинах хвиль, потім обчислюють контраст яскравості K_L для даної поверхні і порівнюють з опорним рівнем K_{L0} .

Середній контраст яскравості визначається наступним чином:

$$K_L(\Delta\lambda_1, \Delta\lambda_2) = L_{ni}(\Delta\lambda_1) - L_{ni}(\Delta\lambda_2) \quad (4)$$

Де L_{ni} – середня яскравість i -ї типу поверхні

Яскравість поверхонь при активному зондуванні потоком випромінювання визначається:

$$L_{ni}(\Delta\lambda) = \rho_{\Delta\lambda} \cdot \frac{E_{\Delta\lambda}}{\pi} \quad (5)$$

де $\rho_{\Delta\lambda}$ – коефіцієнт відбиття поверхні;

$E_{\Delta\lambda}$ - освітленість поверхні, що створюється випромінювачем з яскравістю $L_{0\lambda}$ та визначається дальністю d .

Отже, згідно формул (4) та (5), яскравість поверхні в визначеному спектральному діапазоні залежить від його коефіцієнта відбиття. Контраст яскравості при цьому в двох спектральних діапазонах визначається різницею відповідних їм коефіцієнтів відбиття.

Метод базується на статистичних даних о спектральному коефіцієнту відбиття ряду природних поверхонь (рис. 6.).

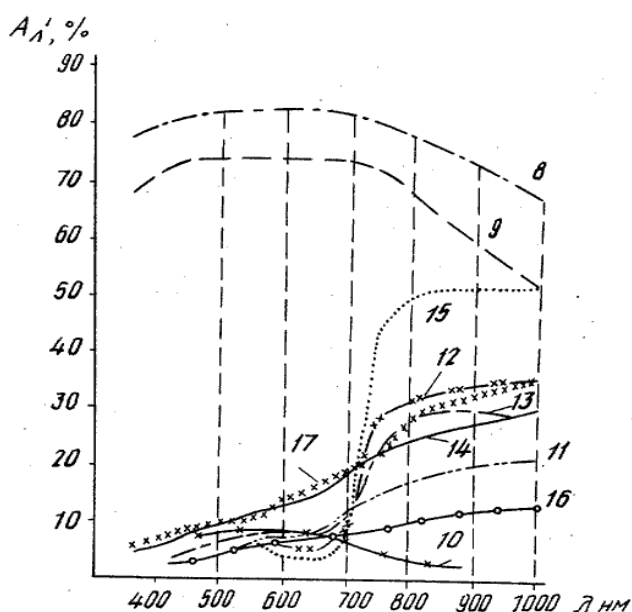


Рис. 6. Спектральна характеристика коефіцієнта відбиття різних поверхонь.

На рис. 6. Позначено: крива снігу з льодовою кіркою 8; крива снігу крупна-зернистий 9; 10 – крива водної поверхні озера; 11- крива вологого ґрунту; 12- крива силосної кукурудзи; 13 – крива високої зеленої кукурудзи; 14 – крива пожовтілої кукурудзи; 15 – крива високої трави; 16 – крива чорнозему; 17 – крива гірки зі злаків.

Аналіз даних в діапазоні ІЧ (905-1054 нм) показав, що величина коефіцієнта відбиття і характер спектральної кривої діляться на 3 групи: коефіцієнт відбиття в районі 5-15% відповідає твердому дорожньому покриттю та більш прозорих поверхонь при цьому криві більш монотонні. 10-35% відповідає рослинності, де спостерігається скачкообразний приріст кривих. Для снігу та інших світлих поверхонь маємо високий показник відбиття 80-55% з монотонно спадаючою кривою.

Отже за такими групами можна провести селективне сортування між групами об'єктів. Потрібні досліді необхідно виконати для дерев'яних, металевих, пластмасових та інших поверхонь з декількома ітераціями для забезпечення оптимальних результатів.

Основні енергетичні параметри фотодіода визначається шляхом підстановок. При цьому оптичні характеристики приймально-передавальної системи, зовнішнього середовища та відстані приймаються постійними. Тоді:

$$\Phi_{\text{вх}} = \frac{\tau_c \cdot A_{\text{вч}} \cdot A_{\text{вх}} \cdot L(\Delta\lambda)}{I^2} \quad (6)$$

де $\Phi_{\text{вх}}$ – світловий потік на вході фотодіода;

τ_c - коефіцієнт пропускання середовища;

$A_{\text{вч}} \cdot A_{\text{вх}}$ – площі видимої частини відбиваючої поверхні і вхідної зіниці фотодіода відповідно;

Відомо, що амплітуда вхідної напруги фотодіода:

$$U_{\text{фд}} = S\Phi_{\text{вх}} = \frac{S \cdot E \cdot \tau_c \cdot A_{\text{вч}} \cdot A_{\text{вх}} \cdot \rho_{\Delta\lambda}}{I^2 \cdot \pi} \quad (7)$$

Де S – інтегральна чутливість фотодіода.

Підставивши формули (4) та (5) в формулу (7) отримаємо:

$$K_L(\Delta\lambda_1, \Delta\lambda_2) =$$

$$= \frac{I^2}{S \cdot \tau_c \cdot A_{вч} \cdot A_{вх}} \cdot (U_{фд1}(\Delta\lambda_1) - U_{фд2}(\Delta\lambda_2))$$

(8)

Це співвідношення показує, що контраст яскравості досліджуваної поверхні в двох спектральних діапазонах визначається різницею амплітуд напруги та інших параметрів лавинних фотодіодів та коефіцієнту пропускання середовища.

Надалі, процесор буде оброблювати ці групи спектральних характеристик та визначати наступні заходи. Наприклад, при наявності твердої перешкоди забезпечити об'їзд з можливих боків. При наявності рослинності проаналізувати наскільки ця рослинність є потенційною загрозою для НБТ. Якщо перед НБТ постає рідка поверхня – повністю уникнути її.

Висновки

Були проаналізовані основні проблеми, що виникають при роботі з НБТ в пересіченій місцевості, особливо це стосується лазерного сканера як головної системи безпілота. На базі цих проблем, було знайдені рішення щодо поліпшення якості сканування, шляхом застосування систем ІЧ та УФ лазерів з горизонтальними та вертикальними розгортками. Розроблена система має такі характеристики:

- Горизонтальний огляд: 360°(ІЧ), 30° (УФ)

- Вертикальний огляд: 41.3° (ІЧ), 60° (УФ)
- Кутова роздільна здатність: 0.4°
- Частота кадрів: 10Гц
- Дальність сканування: до 60м

Ці характеристики відповідають технічному завданню, а саме покращення кутової роздільної здатності за рахунок застосування додаткових систем; збільшення дальності сканування.

Було застосовано методику щодо визначення типу матеріалу, шляхом визначення контрасту яскравості та їх розподіл по спектральних групах. Це дозволить відокремити ці групи по ступеням загрози для НБТ, з подальшим проведенням заходів щодо його безпечної експлуатації як в пересіченій місцевості так і громадських місцях. Наприклад, заборонити рух НБТ або направити його іншою траєкторією, зменшити або збільшити швидкість пересування, застосувати допоміжні пристрої, тощо.

Однак, для забезпечення оптимальних результатів необхідно провести ще дослід з іншими матеріалами, зробити статистичні дані, які згодом будуть занесені в базу даних апарату, провести аналіз щодо можливих похибок та помилок як при вимірюванні типу матеріалу, так і при скануванні поверхні. Необхідно також провести економічний аналіз усіх існуючих лідарів заради визначення оптимальної цінової політики.

Література

1. Перспективы рынка беспилотных автомобилей на 5 лет [Электронный ресурс] // BesPilot.ru. – Режим доступа: <https://bespilot.com/sprojects/139-perspektivy-rynka-ba-na-5-let> – Назва з екрана.
2. Влияние цвета поверхностей помещения на расчет освещенности [Электронный ресурс] / А. Гайдай // e27.ua . – Режим доступа: <https://e27.com.ua/ua/blog/2017-05-03-vliyanie-cveta-poverkhnostey-pomeshheni.html> – Назва з екрана.
3. Черешанский В.А. Способ определения вида естественной подстилающей поверхности / В.А. Черешанский, И.А. Иванченко. – Одесса: Одесский государственный университет им. И.И. Мечникова, 1990.
4. Лазерні технології та комп'ютерне моделювання. Л.Ф. Головка. – К.: Вістка, 2009.
5. Гаращук В.П. Основи фізики лазерів. Навчальний посібник для студентів нехімічних спеціальностей ВНЗ / В.П. Гаращук. – Видавництво «Пульсари», 2012.