

УДК 528.5-18

**А. П. Назар,**  
**В. Я. Татарин,** канд. техн. наук,  
**Я. В. Бобицький,** д-р техн. наук

### ЛАЗЕРНИЙ СКАНУЮЧИЙ ДАЛЕКОМІР

**Анотація.** Розроблена скануюча система яка використовується для навігації мобільного автономного робота. В даній системі реалізована методика, яка дозволяє безконтактно і з високою швидкістю виміряти відстань до об'єкту. Використавши розгортку вимірювального променя можна отримати відстані до всіх об'єктів які знаходяться в полі зору системи. Завдяки високій швидкодії системи можна здійснювати керування роботом в реальному часі.

**Ключові слова:** далекомір, альbedo, підсилювальний канал, приймальний канал, підсилення сигналу, швидкодія, розгортка променя

**A. P. Nazar,**  
**V. Ya. Tataryn,** PhD.,  
**Ya. V. Bobitski,** ScD.

### LASER SCANNING RANGEFINDER

**Abstract.** Developed scanning system used for navigation of mobile autonomous robot. In this system implemented method that allows non-contact and high speed to measure the distance to the object. Using the scan beam measuring distance available to all objects that are in the field of system. Due to the high performance system you can control the robot in real time.

**Keywords:** finder, albedo, amplifying channel receiver channel amplification, speed, scanning beam

**А. П. Назар,**  
**В. Я. Татарин,** канд. техн. наук,  
**Я. В. Бобицький,** д-р техн. наук

### ЛАЗЕРНЫЙ СКАНИРУЮЩИЙ ДАЛЬНОМЕР

**Аннотация.** Разработана сканирующая система, которая используется для навигации мобильного автономного робота. В данной системе реализована методика, которая позволяет бесконтактно и с высокой скоростью измерить расстояние до объекта. Используя развертку измерительного луча можно получить расстояния до всех объектов, которые находятся в поле зрения системы. Благодаря высокие быстродействия системы можно осуществлять управление роботом в реальном времени.

**Ключевые слова:** дальномер, альbedo, усилительный канал, приемный канал, усиления сигнала, быстродействие, развертка луча

**Вступ.** Останнім часом технологія наземного лазерного сканування все ширше використовується для вирішення завдань інженерної геодезії в різних областях будівництва і промисловості. Зростаюча популярність лазерного сканування обумовлена цілим рядом переваг, які дає нова технологія в порівнянні з іншими методами вимірювань [1]. Серед переваг хочеться виділити головні: підвищення швидкості робіт і зменшення трудовитрат. Поява нових більш продуктивних моделей сканерів, вдосконалення можливостей програмного забезпечення, дозволяє сподіватися на подальше розширення сфер застосування наземного лазерного

сканування. Першим результатом сканування є хмара точок, яка і несе максимум інформації про досліджуваний об'єкт, будь то будівля, інженерна споруда, пам'ятник архітектури [2].

По хмарі точок надалі можна вирішувати різні завдання:

1. Отримання тривимірної моделі об'єкта.
2. Отримання креслень, в тому числі, креслень перерізів.
3. Виявлення дефектів конструкцій за допомогою порівняння з проектною моделлю.
4. Визначення та оцінка значень деформації за допомогою порівняння з раніше проведеними вимірами.
5. Отримання топографічних планів методом віртуальної зйомки.

© Назар А.П., Татарин В.Я.,  
Бобицький Я.В., 2015

Суть технології лазерного сканування полягає у визначенні просторових координат точок поверхні об'єкту [3]. Це реалізується за допомогою вимірювання відстані до всіх визначених точок за допомогою лазерного далекоміра [4].

Даний метод вимірювання відстані ґрунтується на вимірюванні інтенсивності відбитого від об'єкта випромінювання. Знаючи інтенсивність відбитого випромінювання, можна оцінити відстань до досліджуваного об'єкта. Як і всі активні ІЧ далекоміри, даний далекомір володіє одним недоліком: відстань до об'єкту з низьким альбедо буде вимірюватись з великою похибкою [5]. Але даний метод вимірювання володіє високою швидкістю, тому його можна застосувати в системі скануючого далекоміра. На рис.1 наведена принципова схема пристрою для безконтактного вимірювання відстані.

Як можна побачити на рис. 1, скануючий далекомір можна розділити на три основні блоки:

- 1) передавальний канал;
- 2) приймальний канал;
- 3) блок управління та живлення.

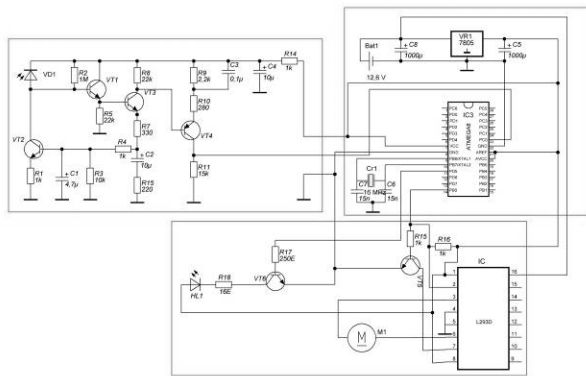


Рис. 1. Принципова електрична схема скануючого далекоміра

### 1. Передавальний канал скануючого далекоміра

На рис. 2 зображена принципова електрична схема передавального каналу.

В якості джерела випромінювання використовується лазерний діод потужністю 25 мВт.

Оскільки вихід мікроконтролера не може забезпечити потрібний струм, тому потрібно використати підсилювач.

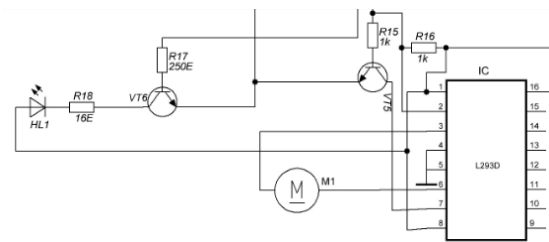


Рис. 2. Принципова електрична схема передавального каналу і пристрою для розгортки

### 2. Приймальний канал скануючого далекоміра.

На рис. 3 зображена принципова електрична схема приймального каналу. Діод VD1 є фотодіодом включеним у вентильному режимі, тобто на діод подається запираюча напруга, завдяки чому струм через діод пропорційний до його освітленості [6]. Тому, при збільшенні освітленості діода VD1 напруга на базі транзистора VT1, котрий включений по схемі з загальним колектором зростає. В такому разі зростає і напруга на базі транзистора VT3, яка підключена до емітера транзистора VT1 [7]. Внаслідок зростання напруги на базі транзистора VT3, струм через нього зростає тому що емітер транзистора VT3 через резистор R7 підключений до анода електролітичного конденсатора C2, катод котрого через резистор R8 підключений до загальної шини.

Постійна складова струму через транзистор VT3 проходить по ланцюгу R7, R4, R3 [8]. Таким чином, використовуючи ланку R7, C2, R8 досягається високий коефіцієнт підсилення транзистора VT3 по змінному струму і низький коефіцієнт підсилення по постійному струму, тому що для постійного струму в емітері VT3 є послідовне з'єднання R7, R4, R3.

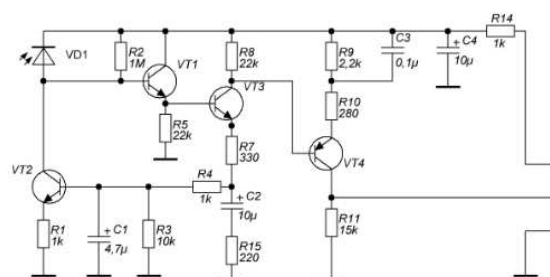


Рис. 3. Принципова електрична схема приймаючого каналу

Розглянувши детальніше включення транзистора VT3 можемо сказати що його коефіцієнт підсилення по змінному струму [8]:

$$k_{z3} = \frac{R8}{R7 + R15}, \quad (1)$$

а по постійному струму

$$k_{p3} = \frac{R8}{R7 + R4 + R3}. \quad (2)$$

Оскільки значення резистора R8 для обох рівнянь є тим самим і рівним, то для змінного струму підсилення  $k_{z3} = 40$ , а для постійного струму  $k_{p3} = 1,95$ .

Сигнал з колектора транзистора VT3 потрапляє на базу транзистора VT4, котрий включений по схемі з загальним емітером [7]. До емітера транзистора VT4 підключена ланка з послідовного з'єднання R10 і паралельного з'єднання R9 і C3. Завдяки цьому коефіцієнт підсилення транзистора VT4 по змінному струму складає:

$$k_{z4} = \frac{R11}{R10}, \quad (3)$$

де R11 значення опору який підключений до колектора транзистора VT4, R10 значення резистора який підключений до емітера транзистора VT4 і до загальної шини через конденсатор C3 [7]. Таким чином підсилення транзистора VT4 по змінному струму складає  $k_{z4} = 54$ . А коефіцієнт підсилення транзистора VT4 по постійному струмі складає:

$$k_{p4} = \frac{R11}{R10 + R9}. \quad (4)$$

Значення коефіцієнта підсилення VT4 по постійному струму рівне  $k_{p4} = 6$ .

Таким чином каскад транзисторів VT1, VT3, VT4 має загальний коефіцієнт підсилення по змінному струму складе  $k_z = 1*40*54 = 2160$ .

Коефіцієнт підсилення по постійному струму складе  $k_p = 1*1,95*6 = 11,7$ .

Коефіцієнт підсилення транзистора VT1 що включений по схемі з загальним колектором як для змінного так і для постійного струму близький до одиниці.

Для збільшення динамічного діапазону фотоприймача в нього введений транзистор VT2, колектор якого підключений до аноду фотодіода VD1 [9]. При збільшенні постійного струму через фотодіод VD1 зростає напруга на базі транзистора VT1, що приводить до збільшення напруги на базі транзистора VT3, база котрого підключена до емітера VT1. Через це зростає напруга і на базі транзистора VT2, котра підключена до емітера транзистора VT3 через послідовне з'єднання резисторів R7, R4. Тому при зростанні середнього значення фотоструму через фотодіод VD1 автоматично зростає середній струм через транзистор VT2, забезпечуючи таким чином наявність постійної складової на рівні трьох відкритих база-емітерних переходів транзисторів що використовуються. Для кремнієвих транзисторів значення цієї напруги складає приблизно 1,8 В. Резистор R2 використовується для підтримки всього каскаду VT1, VT3, VT2 в активному режимі при відсутності фотоструму через фотодіод VD1 [8].

Таким чином розроблена схема дозволяє в широкому діапазоні зовнішньої засвітки фотодіода VD1 отримати підсилення змінного вхідного сигналу, оскільки постійна складова освітлення фотодіода VD1 компенсується ланкою VT1, VT3, R7, R4, VT2, а змінна складова проходить через каскад VT1, VT3, VT4 утримується на резисторі R11. Значення конденсатора C1 разом з значенням резистора R4 визначає смугу частот котрі сприймаються фотоприймачем як постійна складова [10].

### 3. Блок управління та живлення

Для управління скануючим далекоміром використовується мікросхема ATMEGA-8A. На рис. 4 зображена принципова електрична схема блоку управління та живлення.

Отримані дані можна використовувати для керування автономним роботом, або передавати на персональний комп'ютер для

візуалізації. Для передачі даних сканування на комп'ютер використовується асинхронний інтерфейс передачі даних UART. За допомогою нього можна передавати і отримувати дані. Даний інтерфейс розроблений для обміну даними з комп'ютером через COM порт. Оскільки даного входу в сучасних комп'ютерах може і не бути, і робота з USB портом є складною, то скористаємось емулятором COM порта, який зібраний на мікросхемі FT232RL. Підключивши дану мікросхему до входу USB і встановивши певне програмне забезпечення, комп'ютер розпізнає її як віртуальний COM порт що дасть можливість передавати і приймати дані. Також для обміну даними можна використати bluetooth. Даний пристрій комп'ютер також розпізнає як віртуальний COM порт, то під'єднавши до скануючого далекоміра спеціальний bluetooth-адаптер, можна обмінюватись даними через безпроводний інтерфейс.

Для даного мікроконтролера написана керуюча програма мовою програмування C. В якості компілятора використовувалась програма microC. Дана програма володіє великим набором бібліотек і простим інтерфейсом. За допомогою даного компілятора можна написати керуючу програму для мікроконтролера з високою ефективністю.

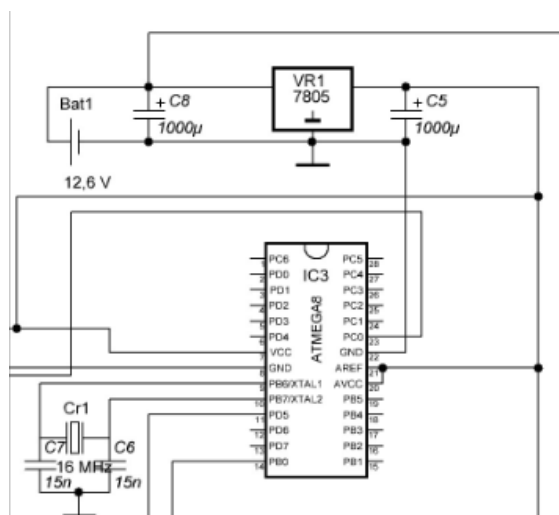


Рис. 4. Принципова електрична схема блоку управління

На рис. 5 зображена блок-схема керуючої програми. Для реалізації даного алгоритму були використані такі системи мікроконтролера Atmega8.

#### 4. Результати сканування

Після макетування скануючого далекоміра проводились сканування різних об'єктів. Але оскільки даний далекомір розроблявся в якості системи технічного зору автономного робота. Тому об'єкт сканування співрозмірний з іншими автономними роботами які беруть участь у змаганні. Для перевірки завадостійкості скануючого далекоміра вимірювання проводились при зовнішньому сонячному освітленні. Сканування проводились в статичному режимі. В динамічному режимі сканування не проводились, оскільки тоді швидкодія далекоміра знижується і немає в наявності модуля передачі даних з великим радіусом дії. В наявному пристрої передачі даних зі зміною відстані змінюється швидкість передачі даних. Це в свою чергу впливає на коректність відображення інформації.

Наведені рисунки на яких зображено сканування коли об'єкт знаходиться в різних позиціях відносно далекоміра, а також зображені дані сканування які виводяться на екран персонального комп'ютера.

Проаналізувавши отримані дані сканування, можна сказати що роздільна здатність даного сканера складає 15 точок. Для формування 3D-моделей даної роздільної здатності замало, але для навігації автономного мобільного робота цього достатньо. Час одного сканування складає 20 мс. Такий самий час вимірювання мають паралаксні далекоміри SHARP.

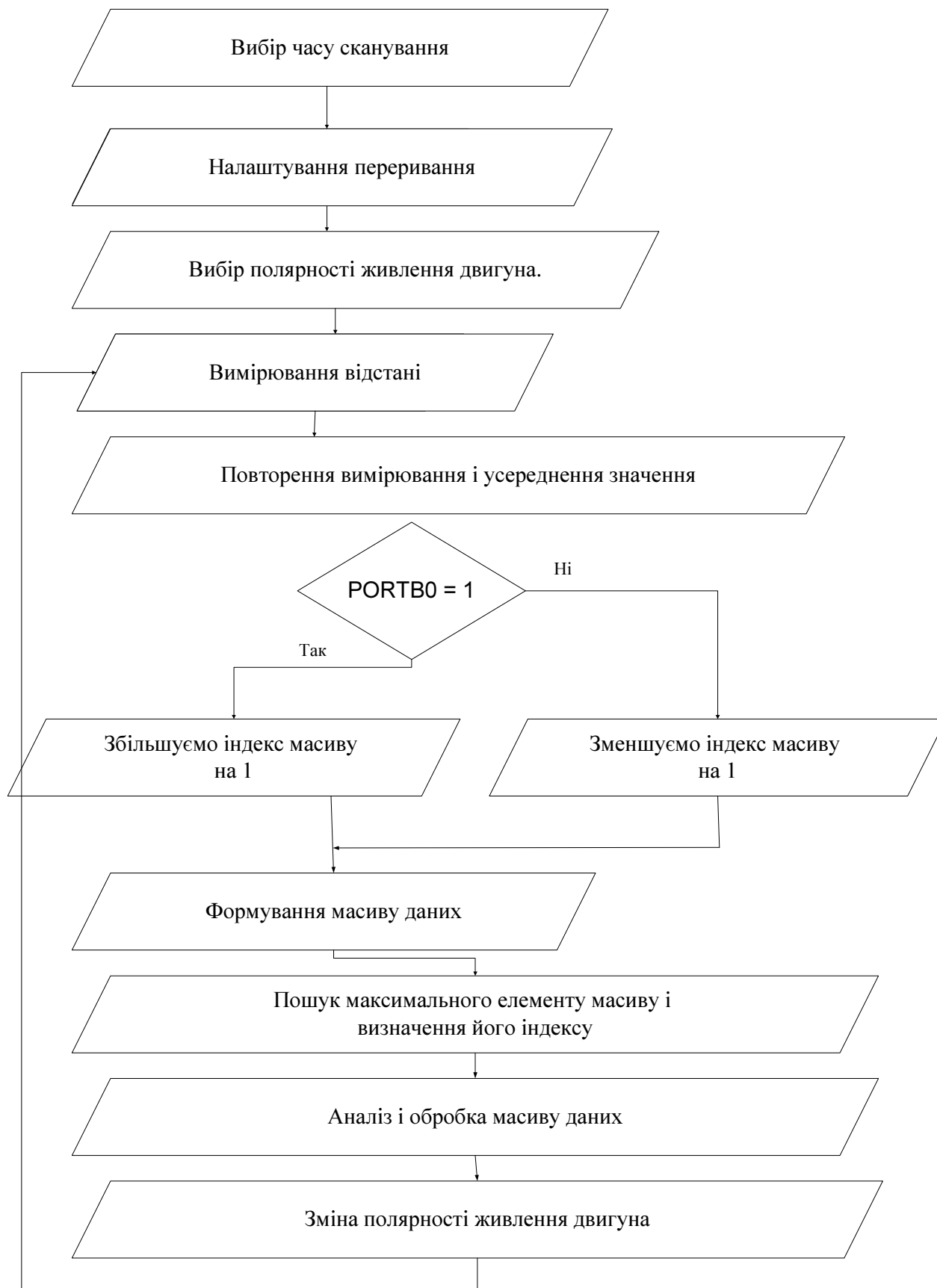


Рис. 5. Блок-схема програми управління скануючого далекоміра

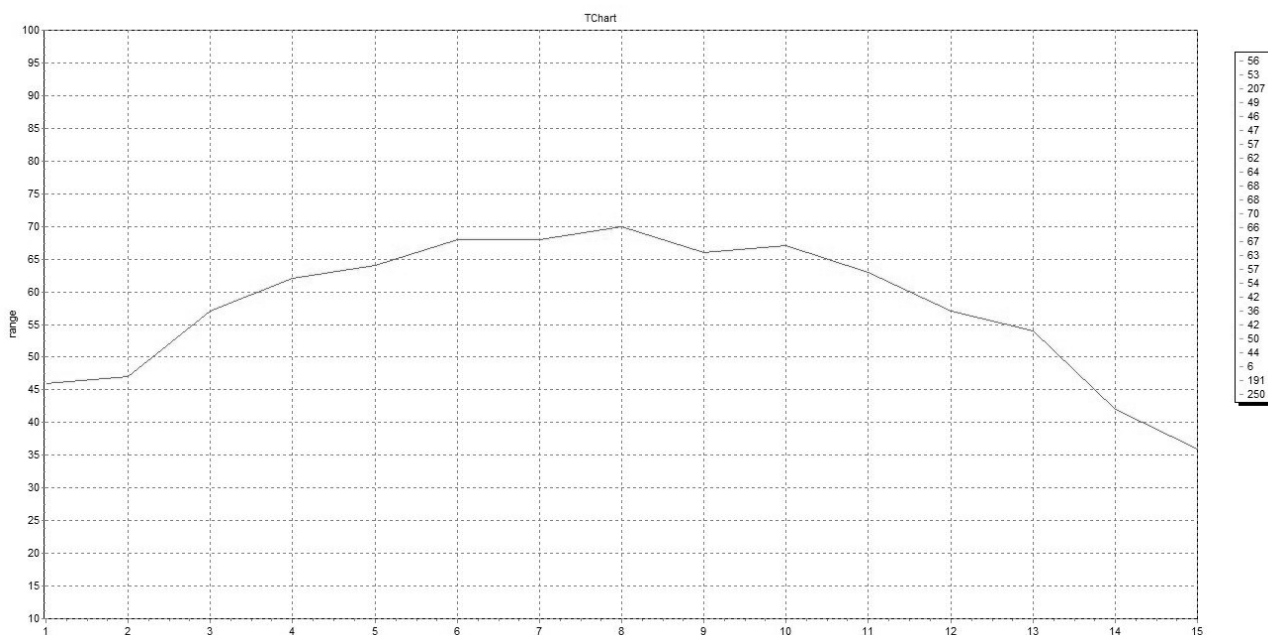


Рис. 6. Результати сканування об'єкта, який знаходиться посередині

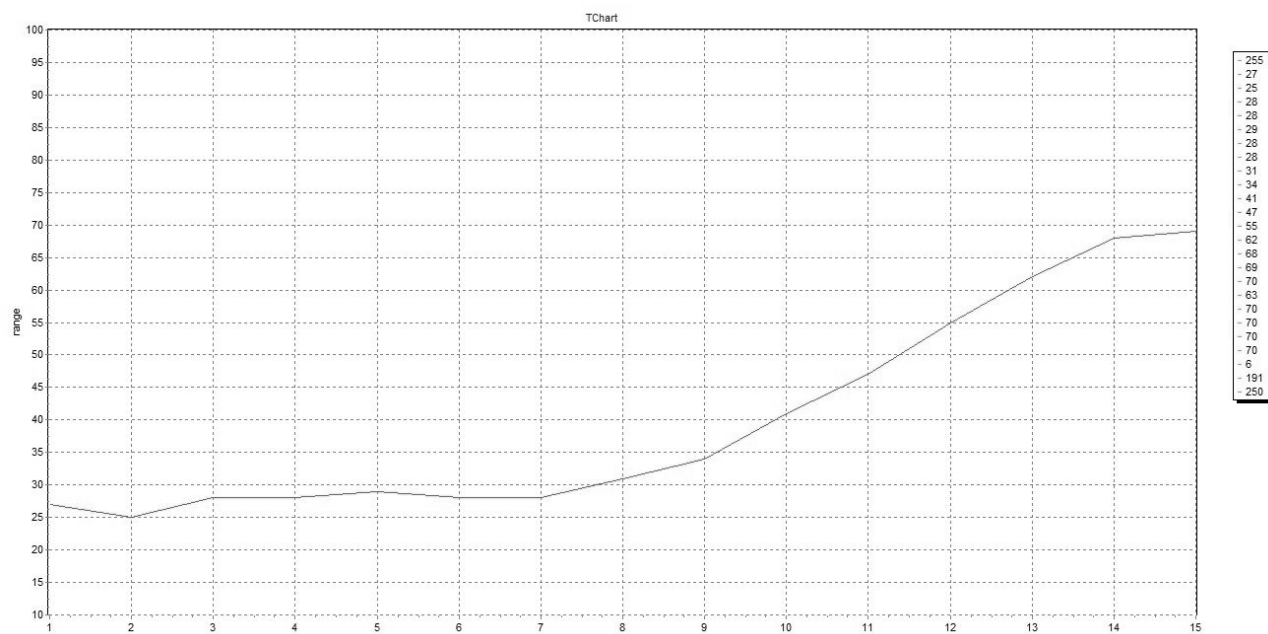


Рис. 7. Результати сканування об'єкта, який знаходиться праворуч

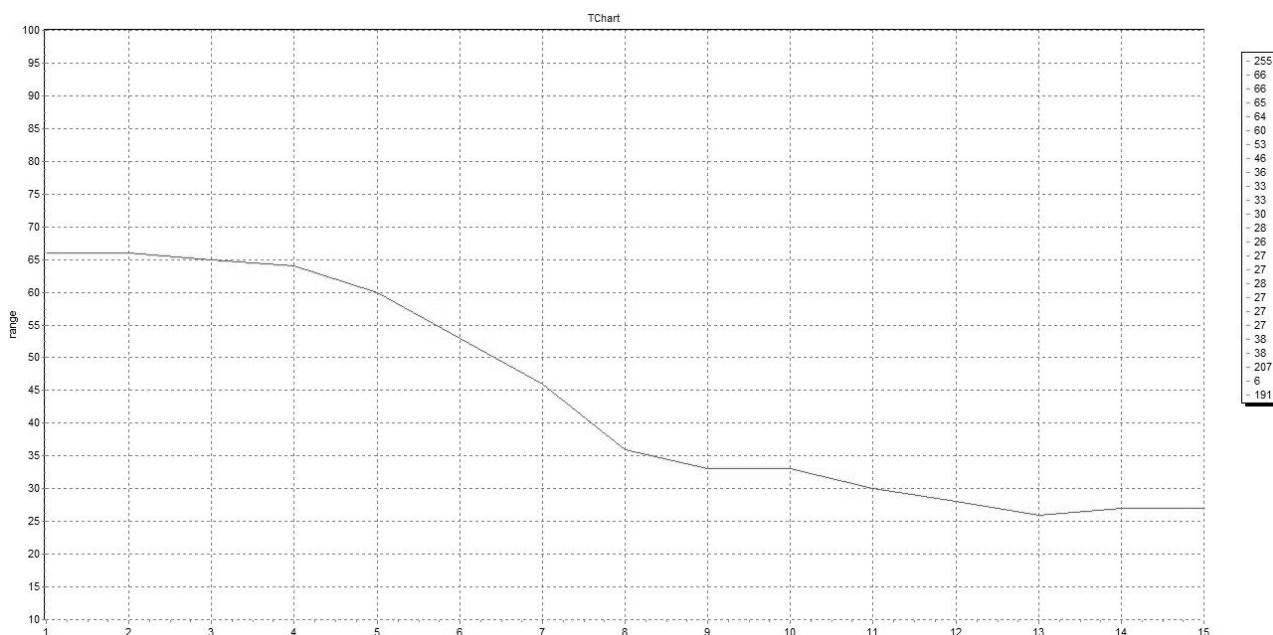


Рис. 8. Результати сканування об'єкта, який знаходиться ліворуч

Тому ефективність даного далекоміра набагато вища ніж у системи технічного зору яка здебільшого будується на основі паралакських далекомірів. Також не змінюючи конструктивних параметрів можна змінювати діапазон вимірювання. Цього можна досягнути змінюючи інтенсивність випромінювання напівпровідникового лазера і це можна робити під час виконання програми. Але тоді скануючий далекомір буде мати сліпу зону в ближній області. Щоб далекомір не мав такої властивості, потрібно проводити вимірювання з різними інтенсивностями випромінювання лазерного діода, а потім аналізувати отримані дані. Але тоді зменшиться швидкодія. Оскільки даний далекомір розроблявся для змагань автономних роботів ROBARACE в яких велика віддаль вимірювання ніяких переваг не дасть, тому даний далекомір налаштований на найвищу швидкодію. Це дасть змогу керувати роботом в режимі реального часу.

#### Список використаної літератури

1. Середович В.А. Наземное лазерное сканирование: Монография / В.А. Середович, А.В. Комиссаров, Д.В. Комиссаров, Т.А. Широкова. – Новосибирск : СГГА, 2009. – 261 с.
2. Дишлик О. Підхід до побудови тривимірних моделей складних просторових об'єктів при комплексному використанні технологій лазерного сканування та фотограмметрії / О. Дишлик, С. Марков, І. Трєвого // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Збірник наукових праць. – Львів : – 2008. – Вип. 2 (16). – С. 101 – 106.
3. Марков С. Проблеми використання тривимірного лазерного сканування під час вирішення завдань збереження культурної спадщини України / С. Марков, О.Дишлик // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Збірник наукових праць. – Львів : – 2008. – Вип. 1 (15). – С. 184 – 194.
4. Коугия В. Исследование точности объединения облаков точек, полученных по данным лазерного сканирования / В. Коугия, Н.Канахин // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Збірник

наукових праць. – Львів. – 2008. – Вип. 1 (15). – С. 87 – 92.

5. Войтенко С. Визначення кренів інженерних споруд методом наземного лазерного сканування / С. Войтенко, Р. Шульц, М. Білоус // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Збірник наукових праць. – Львів. – 2009. – Вип. 1 (17). – С. 144 – 151.

6. Аснис Л. А. Лазерная дальнометрия / Л. А. Аснис, В. П. Васильев, В. Б. Волковский и др. – М. : Радио и связь, 1995. – 256 с.

7. Хоровиц П. Искусство схемотехники: пер. с англ.: издание 2-е / П. Хоровиц, У. Хилл. – М. : Издательство БИНОМ. – 2014. – 704 с.

8. Титце У. Полупроводниковая схемотехника: 12-е издание / У. Титце, К. Шенк : пер. с немецкого. – М. : ДМК Пресс, 2008. – Том I. – 832 с.

9. Барышников Н. В. Приемопередающие устройства лазерных локационных изображающих систем / Н.В. Барышников, В.Б. Бокшанский, В. Е. Карасик. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 84 с.

10. Ширман Я. Д. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех / Я. Д. Ширман, В. Н. Манжо. – М. : Радио и связь, 1981.

Отримано 06.04.2015.

#### References

1. Seredovuch V.A., Komisarov A.V., Komisarov D.V., and Shurokova T.A., *Nazemnoe lazernoe skanirovanie: Monografiya* [Nazemnoe Lazernoe Skanirovanie : Monographia], (2009), Novosibirsk, Russian Federation, 261 p. (In Russian).

2. Dushluk O, Makarov S, and Trevogo I. Pidxid do pobudovu truvumirnykh modelei skladnykh prostorovux objective pru kompleksnomu vukorustanni tehnologii lazernogo skanyvaniya ta fotometrii [The Approach to Constructing Three-dimensional Models of Complex Spatial Objects with the Integrated

use of Laser Scanning Technology and Photogrammetry], (2008), *Sychasni Dosiagnennia Geodezichnoi Nayku ta Vurobnytstva: Zbirnik Naykovux Prach*, Lviv, Ukraine, Vol 2(16), pp.101 – 106 (In Ukrainian).

3. Makarov S, and Dushluk O, Problemu vukorustania truvumirnogo lazernogo skanyvaniya pid chas vurishenia zavdania zbereshenia kulturnoi spadshchunu Ukrainu, [The Problems of Using Three-dimensional Laser Scanning at the Decision of Problems of Preservation of Cultural Heritage of Ukraine], (2008), *Sychasni Dosiagnennia Geodezichnoi Nayku ta Vurobnytstva: Zbirnik Naykovux Prach*, Lviv, Ukraine, Vol. 1(15), pp.184 – 194 (In Ukrainian).

4. Kougia V., and Kanashun O. Usledivanie tochnosti obiedinenie oblakov toчек, polychenux po dunum lazernogo scanirovanie [Research Merge Accuracy of Point Clouds Derived from Laser Scanning], (2008), *Sychasni Dosiagnennia Geodezichnoi Nayku ta Vurobnytstva: Zbirnik Naykovux Prach*, Lviv, Ukraine, Vol 1(15), pp.87 – 92 (In Ukrainian).

5. Voitenko S, Shulch R, and Biloyis M. Vuznachennia kreniv ingenernykh sporyd metodom nazemnogo lazernogo skanyvaniya, [Definition of Rolls Engineering Structures by the Method of Terrestrial Laser Scanning], (2008), *Sychasni Dosiagnennia Geodezichnoi Nayku ta Vurobnytstva: Zbirnik Naykovux Prach*, Lviv, Ukraine, Vol 1(17), pp.144 – 151 (In Ukrainian).

6. Asnus L.A., Vasulev V.P., Volokonskui V.B., *Lazernaia Dalnometria*. [Laser Ranging], (1995), *Radio i Sviyaz*, 256 p. (In Russian).

7. Horovich P, Hill Y. Iskystvo shemotehniku. Perevod s angliiskoogo. 2 izdanie [The art Circuitry: per. s angl.: edition 2<sup>nd</sup>], (2014). *Izadilsvio BINOM*, 704 p. (In Russian).

8. Titche Y, Shenk K. Polyprovodnikovaia shemotehnika [Semiconductor Circuitry: 12th edition], (2008), *DMK Press*, Vol. 1, 832 p. (In Russian).



9. Barushnikov N.V., Bokshanskui V.B, and Karasuk V.E. Pruemoperedayushchue ystroistva lazernux lokachionnuh sistem, [Transceiver Laser Radar Imaging Systems], (2004), *MGTU im. N.E. Boumana*, 84 p (In Russian).

10. Shurdman Ya.D., and Manshos V.N. Teria u texnuka obrabotku radiolokachuonnoi unfurmachii na fone pomeh [Theory and Technique of Radar Data Processing in Background Noise], (1995), *Radio i Sviаз*, 233 p. (In Russian)



Назар  
Андрій Павлович,  
аспірант Національно-  
го ун-ту «Львівська  
політехніка»,  
12, вул. С. Бандери,  
Львів, 79013, Україна,  
тел: 0638197359.  
E-mail:  
nazar.andrii@gmail.com



Татарин  
Василь Ярославович,  
канд. техн. наук,  
доцент Національного  
ун-ту «Львівська полі-  
техніка»,  
12, вул. С. Бандери,  
Львів, 79013, Україна,  
тел.: 0956023966.  
E-mail:  
vasyltataryn@gmail.com



Бобицький  
Ярослав Васильович, д-  
р техн. наук, професор,  
завідувач каф. фотоніки  
Національного ун-ту  
«Львівська політехні-  
ка»,  
12, вул. С. Бандери,  
Львів, 79013,  
тел.:0507182656.  
E-mail:  
bobitski@polynet.lviv.ua