

ВІДДАЛЕНЕ КЕРУВАННЯ ТРАНСПОРТОМ

Малиш М.І., кандидат фізико-математичних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, M_Malysh@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4532-0764

Куліш М.Р., доктор фізико-математичних наук, Інститут фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарева, НАН України, Київ, Україна, n_kulich@yahoo.com, orcid.org/0000-0002-4365-8174

Клочан А.Є., Національний транспортний університет, Київ, Україна, varsenchuk@gmail.com, orcid.org/0000-0002-4225-9382

REMOTE CONTROL OF TRANSPORT

Malysh M.I., PhD in Physical and Mathematical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine, M_Malysh@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4532-0764

Kulich N.R., Doctor of Physics and Mathematics, V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, orcid.org/0000-0002-4365-8174

Klochchan A.Ye., National Transport University, Kyiv, Ukraine, varsenchuk@gmail.com, orcid.org/0000-0002-4225-9382

На сьогоднішній день, різні види транспорту: автомобільний, гусеничний, повітряний та інші, укомплектовуються системами контролю параметрів його роботи: температури двигуна, температури охолоджуючої рідини, тиску шин; залишку палива у баку, залишку заряду акумуляторної батареї та інших. Ці системи укомплектовуються датчиками первинної інформації. Так, наприклад, системи контролю температури укомплектовуються датчиками температури, якими переважно слугують термопари і термометри опору. Інформація з цих датчиків зчитується температурним зондом типу DS18B20 [1] і передається по однопровідній лінії до бортового мінікомп'ютера. Після обробки даних інформація про стан транспорту висвітлюється в цифровому або графічному вигляді на екрані дисплею. При цьому, особливості роботи первинних датчиків накладають певні обмеження на роботу систем контролю. Так наприклад, при використанні DS18B20 потрібно однопровідну лінію прокладати так, щоб іскрові перешкоди не впливали на роботу мінікомп'ютера. Оскільки датчик температури двигуна знаходиться поблизу запальної свічки, то перешкоди настільки великі, що мікрокомп'ютер постійно знаходиться у стані скидання. Зазначений недолік може бути усунений шляхом використання оптоволоконних ліній передачі інформації. Параметри роботи транспортних засобів, також, можуть передаватись в диспетчерський пункт з використанням сучасних інформаційно-комунікаційних технологій. Також, сучасні інформаційно-комунікаційні технології дозволяють здійснювати віддалене керування транспортними засобами. При цьому, команди на доуправління транспортним засобом формуються на основі інформації від системи контролю параметрів його роботи. Наприклад, при віддаленому контролі та управлінні безпілотними і пілотованими повітряними суднами обмін інформацією зазвичай здійснюється з використанням радіотехнічних засобів. Радіотехнічні канали передачі інформації не дозволяють забезпечити достатній рівень захисту від стороннього втручання. Що, в свою чергу, дозволяє стороннім організаціям чи особам перехоплювати інформацію по радіотехнічному каналу і, навіть, перешкоджати віддаленому керуванню літальними апаратами. Одним із шляхів забезпечення захисту від стороннього втручання є використання оптичного оптоелектронного зв'язку. Дана стаття присвячена дослідженню питання віддаленого керування транспортом з використанням оптичного оптоелектронного зв'язку.

Віддалений контроль транспорту

На сьогоднішній день, безпровідний віддалений зв'язок із повітряним судном здійснюється з використанням радіочастотних каналів передачі інформації. Основний недолік такого керування полягає у можливості перехоплення інформації з використанням радіочастотних методів з подальшим втручанням у роботу віддаленого контролю і керування літальних апаратів. Для забезпечення захисту від стороннього втручання розроблено ряд громіздких радіотехнічних методів. Кардинальним рішенням проблеми секретності віддаленого управління безпілотних літальних апаратів є перехід на оптичні методи зв'язку.

Спрощена структура каналу віддаленого контролю транспортних засобів наведена на рис.1. Вона складається із двох основних блоків: наземних передавача і приймача (рис. 1 – зліва) та віддалених передавача і приймача (рис. 1 – справа). Основними елементами наземного передавача є комп'ютер, модулятор, лазерний діод з оптичною системою, а приймача – фотодіод з оптичною

системою, підсилювач, демодулятор, комп'ютер. З аналогічних компонентів складаються віддалені приймач і передавач. Передавачі і приймачі розділені земною атмосферою.

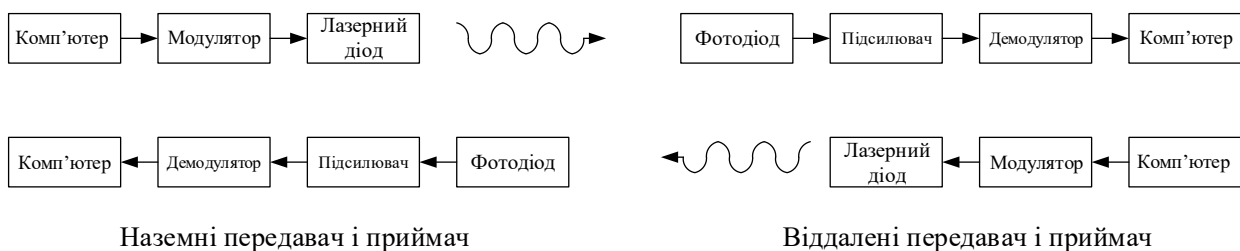


Рисунок 1 – Спрощена структура каналу віддаленого контролю транспортних засобів
Figure 1 – Simplified channel structure of remote control of vehicles

Суть впливу основних характеристик атмосфери на якість віддаленого контролю параметрів роботи транспорту полягає в наступному. Мінімальний її вплив буде за умови, якщо передача сигналів ведеться на довжинах хвиль, що лежать в області вікон прозорості атмосфери (рис. 2) [2]. Випромінювання з довжинами хвиль, які потрапляють в області вікон прозорості, може бути використане для віддаленого контролю і керування транспортом. На якість віддаленого контролю параметрів роботи транспорту значно впливають наступні атмосферні фактори:

- поглинання випромінювання, яке обумовлюється пропусканням атмосфери на заданій довжині хвилі нижчим за одиницю (рис. 2);
- розсіювання світла на молекулах (релеєвське розсіювання) та на частинках аерозолію (аерозольне розсіювання);
- зміна показника заломлення повітря, викликана зміною температури атмосферного повітря, що супроводжується заломленням світлового потоку, особливо коли градієнт температури великий.

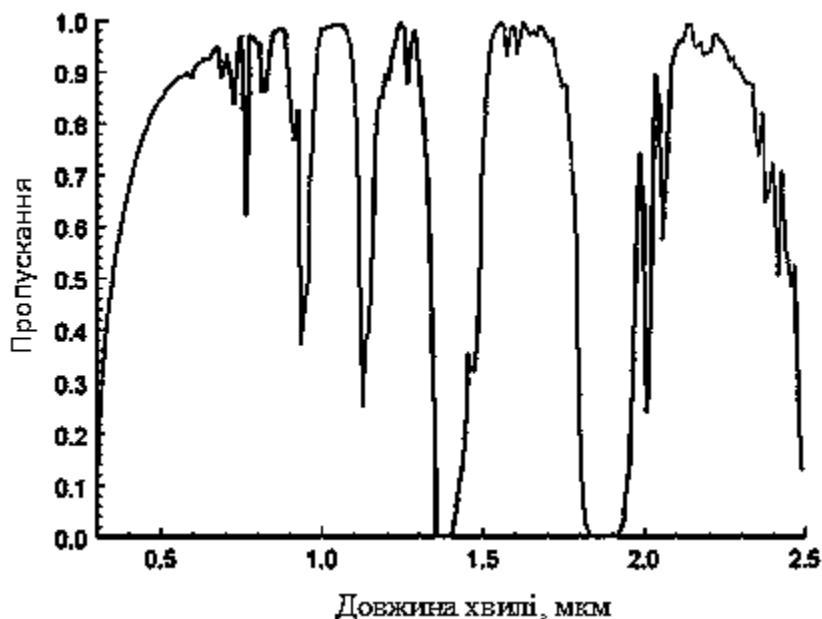


Рисунок 2 – Спектр пропускання атмосфери Землі [2]
Figure 2 – Spectrum of land atmosphere [2]

Потрібно також враховувати поглинання і розсіювання, викликані туманом, дощем, снігом, атмосферою турбулентністю, розходженням потоку світла [3-5].

Туман. Дрібні краплі води, які конденсуються в холодному повітрі з водяної пари, формують туман. При розповсюдженні світла в густому тумані загасання світла може бути понад 350 дБ/км.

Дощ. Загасання світла при переході від слабкого (2,5 мм/год) до сильного дощу (25 мм/год) становить від 1 до 10 дБ/км для довжин хвиль у діапазоні від 850 до 1500 нм.

Сніг. Розмір снігових часток знаходиться між туманом і дощовими краплями. Тому загасання оптичного сигналу через сніг більше, ніж через дощ, але менше порівняно з туманом і коливається у межах 30-350 дБ/км.

Атмосферна турбулентність. Зміна температури та тиску атмосфери призводить до формування турбулентних вихорів, які діють як призми або лінзи і врешті-решт спричиняють руйнівний вплив у розповсюдженні світлового променя.

Втрати викликані розбіжністю променю. Оскільки геометричні розміри приймача обмежені, то наявність дифракційної розбіжності є причиною появи геометричних втрат, величина яких зростає зі збільшенням відстані між передавачем і приймачем.

Фоновий шум і сяйво неба. Джерелами фонового шуму є світло розсіяне в атмосфері та світло від Сонця чи інших зоряних об'єктів. Зменшення впливу фонового шуму досягається встановленням на вході приймача оптичного фільтра з вузькою спектральною смугою для довжини хвилі передавача.

Фактично властивості середовища, в якому розповсюджується оптичний сигнал, впливають на параметри передавача і приймача. Тому нижче ми більш детально розглянемо особливості вибору як передавача, так і приймача.

Основними елементами наземного передавача є комп'ютер, модулятор та лазерний діод. Комп'ютер використовується оператором для введення у комп'ютер завдання в електронній формі, а також здійснює вибір типу модуляційної програми та її передачу до модуляційного блоку. Модуляційний блок забезпечує кодування аналогової або цифрової інформації та передає її до модулятора лазерного діода. Вибір типу лазерного діода залежить від довжини хвилі, вікна прозорості земної атмосфери, потужності імпульсу випромінювання, типу модулятора потоку світла, терміну служби, розміру променя і кута його розбіжності. Довжина хвилі лазерного випромінювання визначається найменшим значенням поглинання у вікні прозорості земної атмосфери (рис. 2). Експериментально використовуються лазерні діоди, які генерують світло у видимій чи ближній інфрачервоній областях спектра (табл. 1).

Таблиця 1 – Лазерні джерела для віддаленого контролю транспорту
Table 1 – Laser Sources for Remote Transport Control

Параметри	Центри вікон прозорості атмосфери Землі			
	850 нм [6]	1060 нм [8]	1250 нм [7]	1550 нм [6]
Тип лазера	M10306-23	RLS/LC96A1060-20R		M10306-23
Тривалість імпульсу	70 ps	5 ns		70 ps
Пікова потужність	100 mW	1.3 W	90 W.	10 mW
Частота повторення: (max.)		500 kHz		100 MHz
Допуск на довжину хвилі	<±10 nm		±15, nm	<±30 nm
Спектральна напівширина	<5 nm		<15, nm.	<±30 nm

Основні елементи віддаленого передавача аналогічні елементам наземного передавача. Однак при їх виборі перевагу потрібно віддавати тим з них, в яких вага і затрати електроенергії найменші.

Наземний приймач зазвичай складається із телескопа або лінзи, оптичного фільтра, фотодетектора, підсилювача, демодулятора для належного отримання інформаційного сигналу та комп'ютера. Розмір променя на поверхні приймача залежить від розбіжності пучка та дальності передачі. Як правило, розбіжність пучка, генерованого передавачем, лежить у діапазоні від 1 до 8 мрад. Для забезпечення потрібної інтенсивності на вході фотоприймача встановлюють телескоп. Телескоп збирає і фокусує оптичне випромінювання на активну область фотоприймача. Фільтр, розташований перед фотодетектором, зменшує фонове випромінювання (наприклад, сонячне освітлення). Фотодетектор перетворює енергію фотонів в електричний сигнал. Це забезпечує високу реакцію на потрібну довжину хвилі, невелике значення шуму, достатні значення динамічного діапазону та смуги пропускання сигналу. Найбільш загальноживаними фотодетекторами є PIN-фотодіоди та лавинні фотодіоди [9,10]. Вихідний сигнал фотодетектора посилюється підсилювачем. При передачі інформації випромінюванням на довжинах хвиль видимого чи ближнього

інфрачервоного діапазонів його детектування може здійснюватись Si- або InGaAs-фотодетекторами. Зокрема, максимальна чутливість Si-фотодетектора знаходиться поблизу 850 нм, InGaAs – в околі 1550 нм [9-11]. Типові параметри цих детекторів наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Типові параметри Si- та InGaAs- фотодетекторів.

Table 2 – Typical parameters of Si- and InGaAs-photodetectors.

Тип фотодетектора	Час підйому (пс)	Ширина смуги (ГГц)	Спектральний діапазон (нм)	Квантова ефективність @ у max	Площа чутливості (діаметр мкм/мм ²)	Еквівал. потужність шуму (Вт/√Гц)	Темновий струм (нА)	Матеріал
UPD-500-SP	<500	> 0.6	320-1100	90%	800 / 0.5	3.5×10 ⁻¹⁵	0.01	Si
UPD-35-IR2-P	< 35	> 10	800-700	80%	55/ 0.0024	1.0×10 ⁻¹⁵	0.3	InGaAs

Комп'ютер наземного приймача забезпечує аналіз даних про стан транспорту і на їх основі оператор приймає рішення про корекцію завдання для віддаленого керування транспортом. Всі функції віддаленого приймача аналогічні функціям наземного приймача за винятком корекції завдання.

Висновок. Для забезпечення секретності віддаленого керування роботою різноманітних пристроїв (літаки, автомобільний і гусеничний транспорт) перевагу потрібно віддати оптичним методам передачі інформації. Найбільш доцільно здійснювати таке керування в ясну сонячну погоду. При складних метеороумовах керування об'єктами можливе лише при їх розташуванні на відстані кількох сотень метрів від оператора.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital ...<https://ece-classes.usc.edu/library/datasheets> [13]
2. Schmit, T. J., M. M. Gunshor, W. P. Menzel, J. J. Gurka, J. Li, and A. S. Bachmeier, 2005: Introducing the next-generation Advanced Baseline Imager on GOES-R. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 86, 1079-1096. doi.org/10.1175/BAMS-86-8-1079
3. Isiaka Alimi, Ali Shahpari, Artur Sousa, Ricardo Ferreira, Paulo Monteiro and António Teixeira, Challenges and Opportunities of Optical Wireless Communication Technologies // Additional information is available at the end of the chapter.
4. H. Kaushal and G. Kaddoum, Optical Communication in Space: Challenges and Mitigation Techniques //, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. DOI: 10.1109/COMST.2016.2603518
5. J. Mikołajczyk, Z. Bielecki, M. Bugajski, J. Piotrowski, J. Wojtas, W. Gawron, D. Szabra, A. Prokopiuk, ANALYSIS OF FREE-SPACE OPTICS DEVELOPMENT // *Metrol. Meas. Syst.*, Vol. 24 (2017), No. 4, pp. 653–674. 29, www.metrology.pg.gda.pl].
6. Hamamatsu photonics K.K. // www.hamamatsu.com
7. 1250nm High Power Laser Diode Module with Fiber Output. <https://www.akelalaser.com>
8. 400mW, 1060 nm High Power Laser Diode Module // <https://www.laserdiodesource.com>
9. Schmit, T. J., M. M. Gunshor, W. P. Menzel, J. J. Gurka, J. Li, and A. S. Bachmeier, 2005: Introducing the next-generation Advanced Baseline Imager on GOES-R. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 86, 1079-1096. doi.org/10.1175/BAMS-86-8-1079
10. Ultrafast Photodiodes | Spectral coverage 170-2600 nm // Реклама: <https://www.alphalas.com/>
11. M.A. Khalighi, M. Uysal, Survey on Free Space Optical Communication: A Communication Theory Perspective // *IEEE COMMUNICATION SURVEYS & TUTORIALS*, VOL. 16, NO. 4, FOURTH QUARTER 2014. DOI: 10.1109/COMST.2014.2329501.

REFERENCES

1. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital ...<https://ece-classes.usc.edu/library/datasheets> [13]

2. Schmit, T. J., M. M. Gunshor, W. P. Menzel, J. J. Gurka, J. Li, and A. S. Bachmeier, 2005: Introducing the next-generation Advanced Baseline Imager on GOES-R. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 86, 1079-1096. doi.org/10.1175/BAMS-86-8-1079
3. Isiaka Alimi, Ali Shahpari, Artur Sousa, Ricardo Ferreira, Paulo Monteiro and António Teixeira, Challenges and Opportunities of Optical Wireless Communication Technologies // Additional information is available at the end of the chapter.
4. H. Kaushal and G. Kaddoum, Optical Communication in Space: Challenges and Mitigation Techniques //, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. DOI: 10.1109/COMST.2016.2603518
5. J. Mikołajczyk, Z. Bielecki, M. Bugajski, J. Piotrowski, J. Wojtas, W. Gawron, D. Szabra, A. Prokopiuk, ANALYSIS OF FREE-SPACE OPTICS DEVELOPMENT // *Metrol. Meas. Syst.*, Vol. 24 (2017), No. 4, pp. 653–674. 29, www.metrology.pg.gda.pl.].
6. Hamamatsu photonics K.K. // www.hamamatsu.com
7. 1250nm High Power Laser Diode Module with Fiber Output. <https://www.akelalaser.com>
8. 400mW, 1060 nm High Power Laser Diode Module // <https://www.laserdiodesource.com>
9. Schmit, T. J., M. M. Gunshor, W. P. Menzel, J. J. Gurka, J. Li, and A. S. Bachmeier, 2005: Introducing the next-generation Advanced Baseline Imager on GOES-R. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 86, 1079-1096. doi.org/10.1175/BAMS-86-8-1079
10. Ultrafast Photodiodes | Spectral coverage 170-2600 nm // Реклама <https://www.alphalas.com/>
11. M.A. Khalighi, M. Uysal, Survey on Free Space Optical Communication: A Communication Theory Perspective // *IEEE COMMUNICATION SURVEYS & TUTORIALS*, VOL. 16, NO. 4, FOURTH QUARTER 2014. DOI: 10.1109/COMST.2014.2329501.

РЕФЕРАТ

Малиш М.І. Віддалене керування транспортом / М.І. Малиш, М.Р. Куліш, А.Є. Клочан // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

Детально досліджені основні принципи віддаленого оптичного контролю параметрів транспорту. Наведені приклади дистанційного керування роботою транспорту.

Мета досліджень: проаналізувати основні складові систем оптичного контролю і вплив на їх вибір властивостей земної атмосфери.

Об'єкт досліджень – системи оптичного контролю параметрів транспорту.

Метод дослідження – теоретичний.

Встановлено, що для забезпечення секретності віддаленого керування роботою різноманітних пристроїв (літаки, автомобільний і гусеничний транспорт) перевагу потрібно віддати оптичним методам.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПЕРЕДАВАЧ, ПРИЙМАЧ, АТМОСФЕРА, КОНТРОЛЬ, ТРАНСПОРТ.

ABSTRACT

Malysh M.I, Kulish M.R., Klochan A.Ye. Remote control of transport. *Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal.* – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

The basic principles of remote optical control of transport parameters are studied in detail. Examples of remote control of transport operation are given.

The purpose of research: to analyze the main components of optical control systems and the impact on their choice of properties of the Earth's atmosphere.

The object of research is optical control systems for transport parameters.

Research method is theoretical.

It has been established that optical methods should be preferred to ensure the secrecy of remote control of various devices (aircraft, road and tracked vehicles).

KEYWORDS: TRANSMITTER, RECEIVER, ATMOSPHERE, CONTROL, TRANSPORT

АВТОРИ:

Малиш Микола Іванович, кандидат фізико-математичних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, e-mail: M_Malysh@ukr.net, тел. +380442846709, +380508257165, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, к. 410, orcid.org/0000-0003-4532-0764.

Куліш Микола Радіонович, доктор фізико-математичних наук, Інститут фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарева НАН України, провідний науковий співробітник, e-mail: n_kulish@yahoo.com, tel. +380445256024, +380730422661, Україна, 03028, м. Київ, Велика Китаївська 10, к. 10, orcid.org/0000-0002-4365-8174.

Клочан Арсен Євгенійович, Національний транспортний університет, асистент кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, e-mail: VArsenchuk@gmail.com, тел. +38(068)-352-81-26, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, к. 207, orcid.org/0000-0002-4225-9382.

AUTHORS:

Malysh Mykola. I., PhD in Physical and Mathematical Science associate professor, National Transport University, associate professor of the department of information analysis and information security, e-mail: M_Malysh@ukr.net, tel. +380442846709, +380508257165, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Boychuk str., 42, of. 410, orcid.org/0000-0003-4532-0764.

Kulish Nykolay R., doctor of physical-mathematical sciences, V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics NAS of Ukraine, Leading Researcher, e-mail: n_kulish@yahoo.com, tel. +380445256024, +380730422661, Ukraine, 03028, Kyiv, Bolshay Kitayevskay str. 10, of. 10, orcid.org/0000-0002-4365-8174.

Klochchan Arsen E., assistant of the department of information analysis and information security, e-mail: VArsenchuk@gmail.com, tel. +38(068)-352-81-26, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Boychuk str., 42, of. 207, orcid.org/0000-0002-4225-9382.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Данчук В.Д., доктор фізико-математичних наук, професор, декан факультету Транспортних та інформаційних технологій, Київ, Україна.

Стрельчук В.В., доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач лабораторії, Інститут фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарева НАН України, Київ, Україна.

REVIEWER:

Danchuk V.D., doctor of sciences, professor, dean of the Faculty of Transport and Information Technologies, Kyiv, Ukraine.

Strelchuk V.V., doctor of sciences, professor, head department of general physics, V.E. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine.