

“ ” 2023 .

()

151 « “ ” - »

: _____

: _____

: _____

: _____

« »: _____

« »: _____

151 « _____ , - _____ »

« _____ » _____ 2023 .

(_____ , _____ , _____)

1. _____

2. _____ : 15.09.2023 . 1810/
_____ : 02.10.2023 31.12.2023
3. _____ : _____ , _____
_____ , _____ , _____ , IMU, _____
4. _____ : _____
 - 1) _____ : _____

_____ 1
 - 2) _____ : _____

_____ (Behavior Tree)

_____ ORB-SLAM
 - 3) _____ : _____

5. :
1. “
 2. ”.
 3. DSO-SLAM, LSD-SLAM ORB-SLAM.
 4. ORB-SLAM.
 5. .
 6. .
 7. Python.
 8. .
 9. .
 10. !

6. -

..			
1	<ul style="list-style-type: none">))) <p>1</p>	03.10.2023 – 17.10.2023	
2	<ul style="list-style-type: none">)) (Behavior Tree))) ORB-SLAM) 	18.10.2023 – 30.11.2023	
3	<ul style="list-style-type: none">))))) 	1.11.2023 – 27.11.2023	

)		
4)) (, /).))) ())	28.11.2023 – 07.12.2023	
5))))) Parrot Bebop 2)))	08.12.2023 – 15.12.2023	

7.

8.

: 02.10.2023 .

: _____ . _____
() (. .)

_____ . _____
() (. .)

«
»: 103 , 22 , 16
, 22
,
,
, IMU,
—
—
()
— LIDAR ORB-SLAM,
.

- 1 :
- 1.1
- 1.2
- 1.3 1
- 2
- 2.1
- 2.2 (Behavior Tree)
- 2.3 ,
- 2.4
- 2.5 ORB-SLAM
- 2.6
- 3
- 3.1 .
- 3.2
- 3.3
- 3.4
- 3.5
- 3.6
- 4.
- 4.1.
- 4.2. (, /).
- 4.3.
- 4.4.
- 4.5. ()
- 4.6.

5.

5.1

5.2

5.3

5.4 (Parrot Bebop 2)

5.5

5.6

– ;

GPS – Global Positioning System ();

IMU – Inertial measurement unit ()

SLAM – Simultaneous Localization and Mapping ()

SFM – Structure from motion ()

DSO-SLAM – Direct Sparse Odometry SLAM (SLAM)

LSD-SLAM – Large-Scale Direct SLAM (SLAM)

ORB-SLAM – Oriented and Rotated BRIEF (SLAM)

ROS – Robot operation system ()

PHFSM – Parallel Hierarchical Finite State Machine ()

NPC – Non-Player Character ()

LIDAR – Light Detection and Ranging ()

SIFT – Scale invariant feature transform ()

RANSAC – Random sample consensus ()

"

".

()

.

.

.

,

,

.

,

().

.

,

.

()

,

.

,

1

1.1

GPS

23 03 61 000

	Бабич М.А.						
						12	12
						-213	

[1],

[4]

[2],

[3],

(),

[5],

()

DJI Phantom 3 Pro,

()

1.1.

2

(

,

)

.

(

,

,

).

,

,

,

,

,

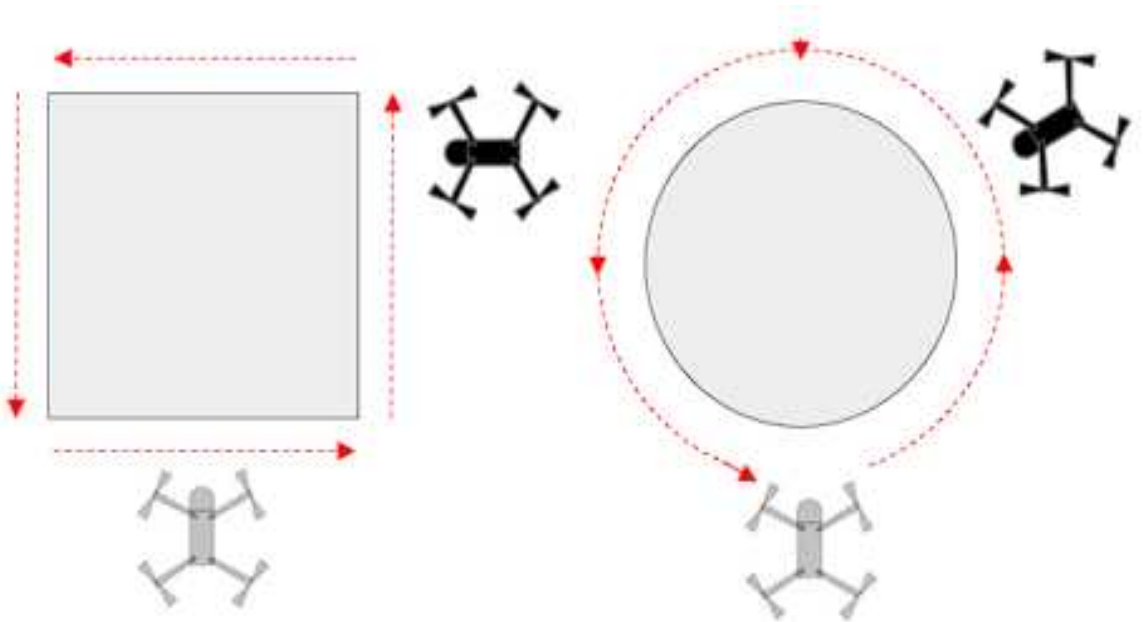
1.1.

,

,

,

.



1.1:

,

.

,

.

3

:

/

,

/

.

[6].

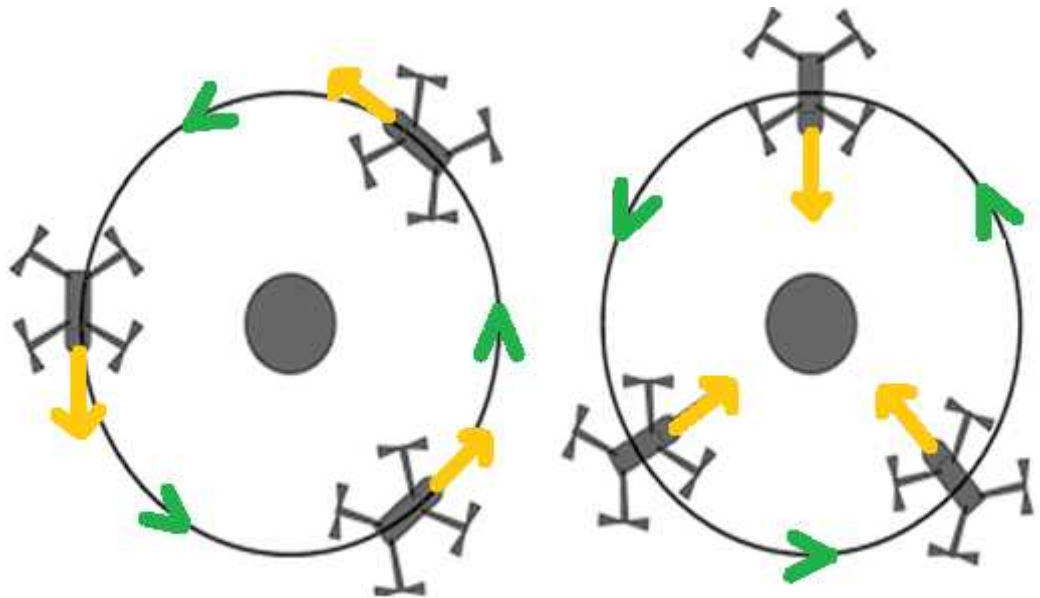
GPS

GPS
GPS

() ,

GPS

1.2,



1.2:

1.2

2

, : Z
X.

. ,
.
.
3
(x),
(y), z,
4 . ,
,
.

- , -
.
.
, ,
, .

2

2.1

(GPS).

GPS

GPS

GPS

GPS

GPS.

GPS

GPS,

(Inertial measurement unit IMU),

IMU

23 03 61 000

				23 03 61 000			
	Бабич М.А.						
					25	24	
				-213			

[7],

(Simultaneous Localization
and Mapping SLAM)

SLAM

, SLAM

SLAM

[8] (Structure from motion, SFM).

, SFM

, SFM

3D-

, SFM —

2D-

3D-

3D-

3D-

SLAM

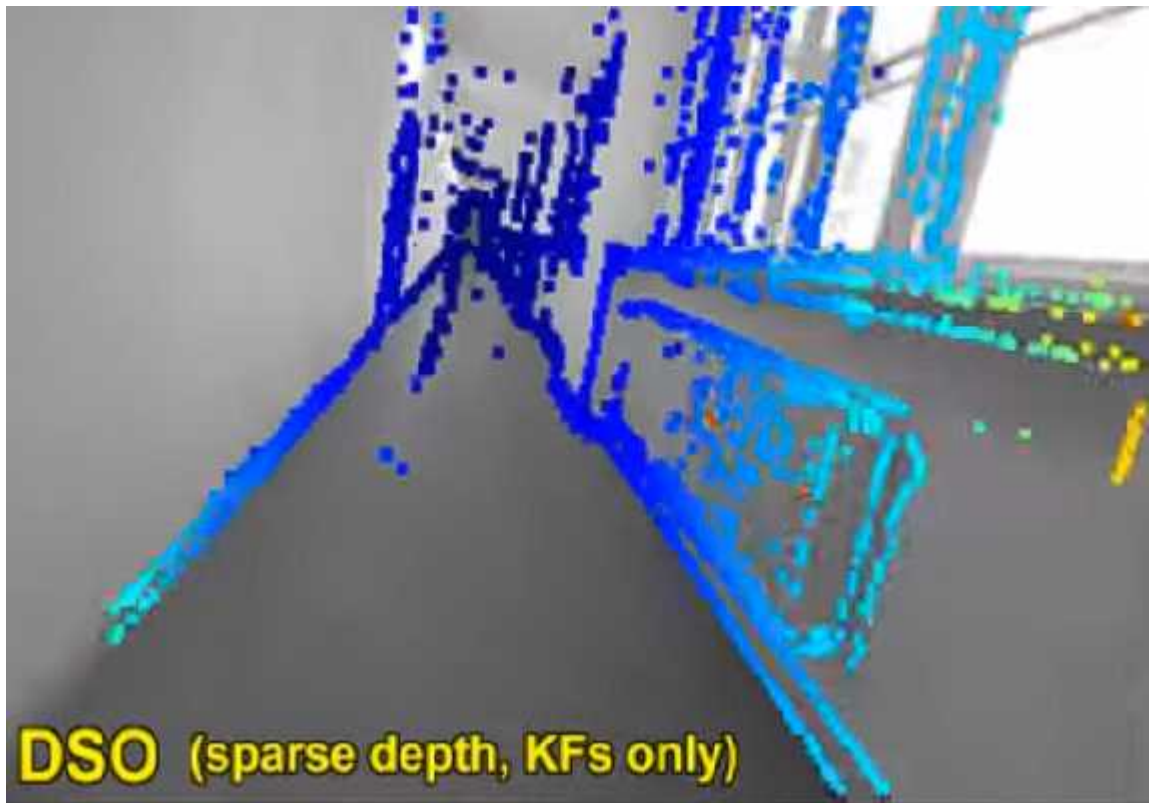
ORB-SLAM SLAM- DSO-SLAM, LSD-SLAM

ROS ()

DSO-SLAM [9]

DSO-SLAM

DSO-SLAM



2.1:

DSO

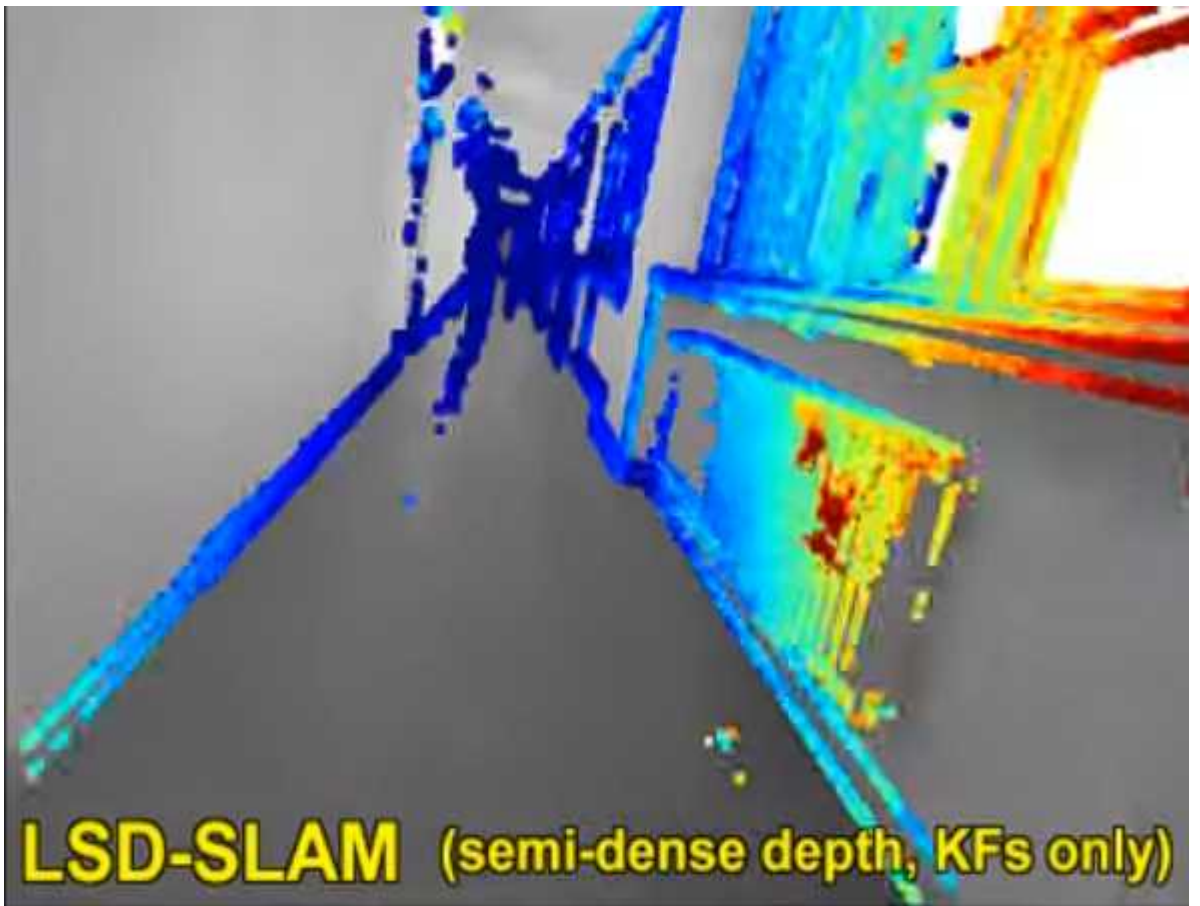
LSD-SLAM [10], DSO,

SLAM,

DSO, LSD-SLAM

LSD-SLAM

LSD-SLAM [11].



2.2:

LSD.

ORB-SLAM [12]

ORB.

, ORB-SLAM

SLAM

ORB-SLAM

ORB-SLAM



2.3:

ORB.

[13]

SLAM.

SLAM

2

SLAM

DSO

0,403

DSO

DSO

SLAM Large-Scale Direct(LSD) SLAM 0,277

; SLAM Oriented and Rotated BRIEF (ORB)

0,159 .

ORB-SLAM

2.2 (Behavior Tree)

3D- ' ,

, -

:

,

,

.

.

.

.

,

,

,

.

.

,

,

,

.

2.1

- S0,

- S3,

(

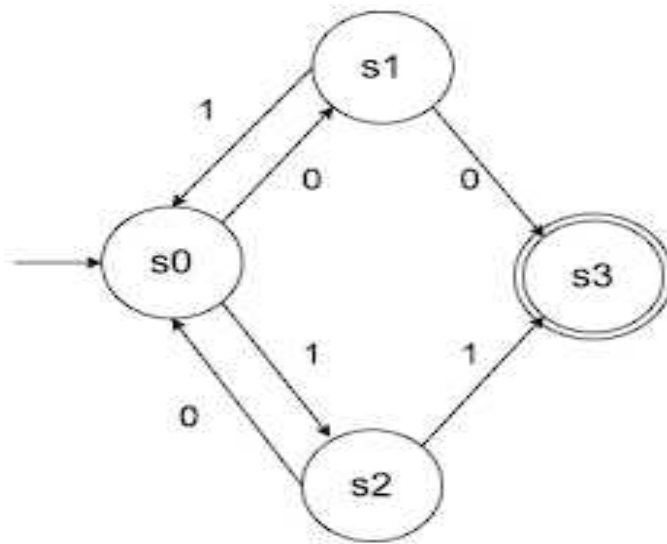
1

0).

,

S3.

,



2.4:

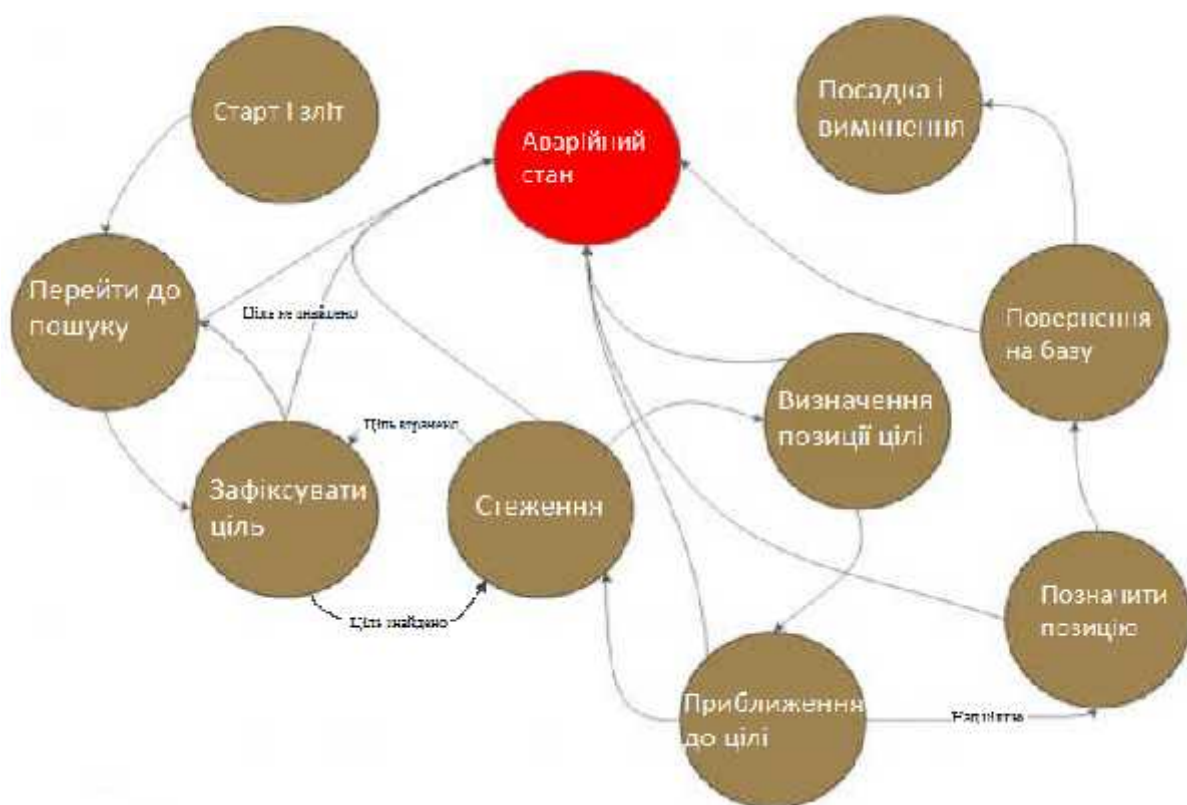
[14],

(Parallel Hierarchical Finite State Machine, PHFSM)

PHFSM,

2.5 [14],

PHFSM,



2.5:

PHFSM. [14]

PHFSM

(Emergence State),

NPC (,),

.

,

,

.

,

,

,

,

.

.

,

:

,

.

,

,

,

.

,

.

,

,

.

,

.

2.3

,

.

,

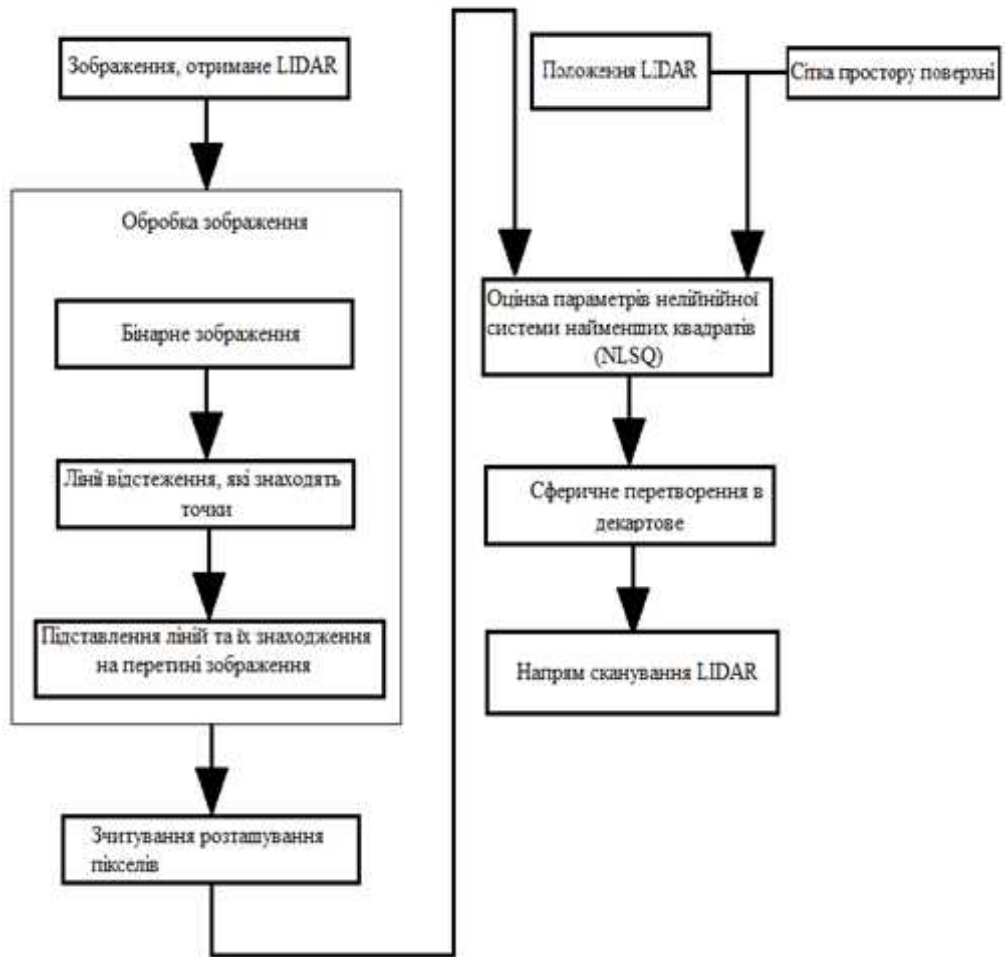
.

[15]

2D

(LIDAR),

2D LIDAR.



2.6:

LIDAR

[16]

3,5-

2D LIDAR,

2D LIDAR

,

: 1. LIDAR

; 2. LIDAR,

; 3.

[17]

2,4

Pixhawk.

GPS,

IMU,

Kinect v2,

RGB

100

[18],

[19],

[19].

(IMU)

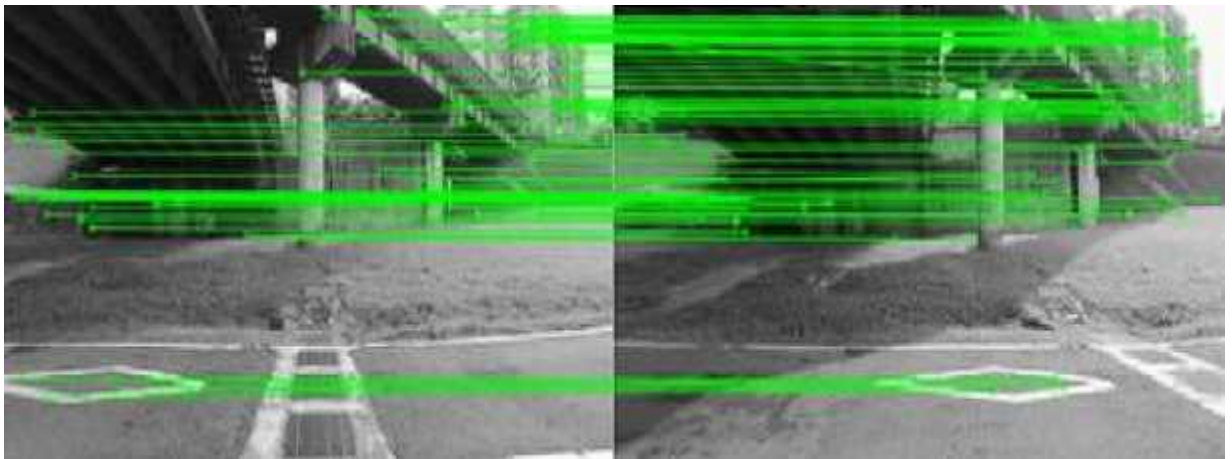
IMU,

2.4

Scale invariant feature transform (SIFT),
OpenCV,

ORB. SIFT SURF, Oriented FAST
SIFT
SIFT
[20].

SIFT.



2.7:

SIFT

2.7

SIFT

SIFT.

SIFT

(RANSAC).
RANSAC

2.8

RANSAC
SIFT,



2.8:

RANSAC

SIFT. (

—

RANSAC.

—

—

RANSAC)

2.5 ORB-SLAM

ORB-SLAM

,

[13],

(SLAM).

,

ORB-SLAM

,

SLAM,

,

,

ORB-

,

ORB-SLAM.

SLAM

ORB-

, ORB-SLAM

SLAM

ORB-SLAM

().

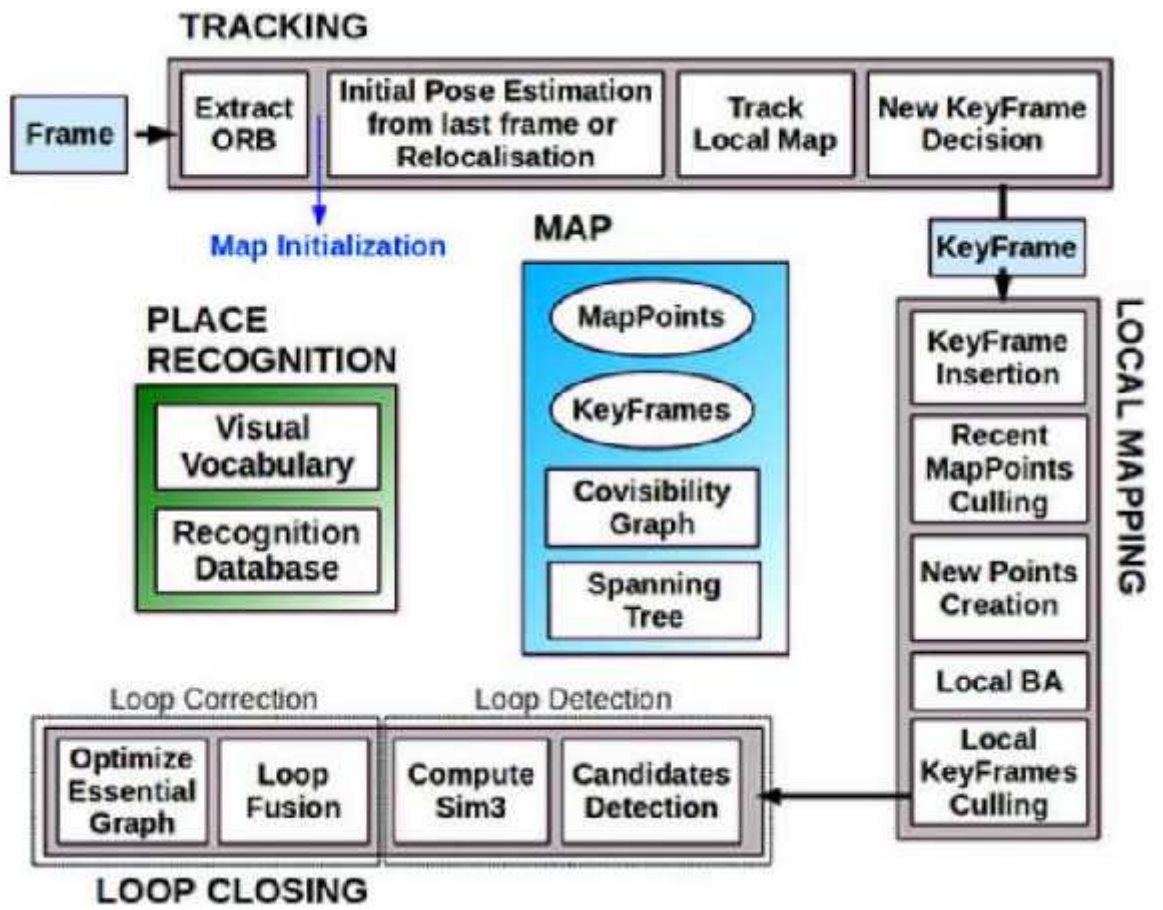
ORB-SLAM

ORB-SLAM

2D.

ORB-SLAM

2.9[12].



2.9:

ORB-SLAM:

. [12]

ORB-SLAM

ORB

ORB-SLAM

ORB-SLAM

ORB-SLAM

(Scale drift).

SLAM,

SLAM

SLAM

[21].

2.10,

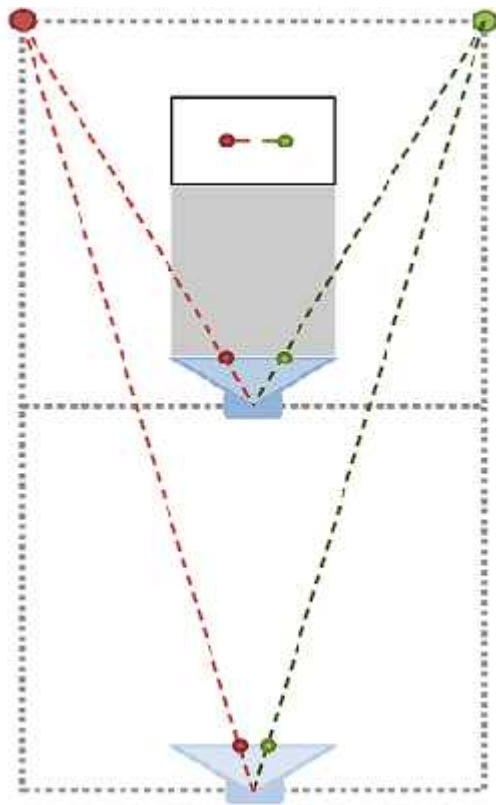
2

2

1

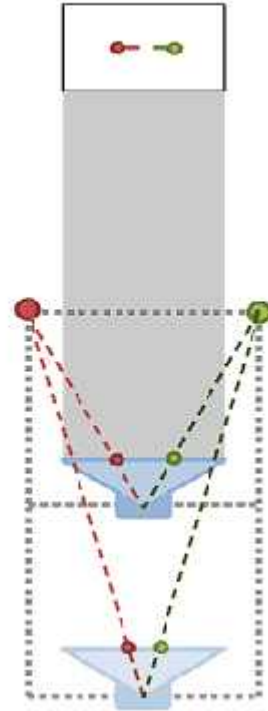
1

SLAM.



(a) 2-meter-wide tunnel

optical flow on an image



(b) 1-meter-wide tunnel

2.10:

- . (a) 2
 - . (b) 1
- 1 .

ORB-SLAM

),

(

ORB-SLAM

(IMU)

ORB-

SLAM,

ORB-SLAM

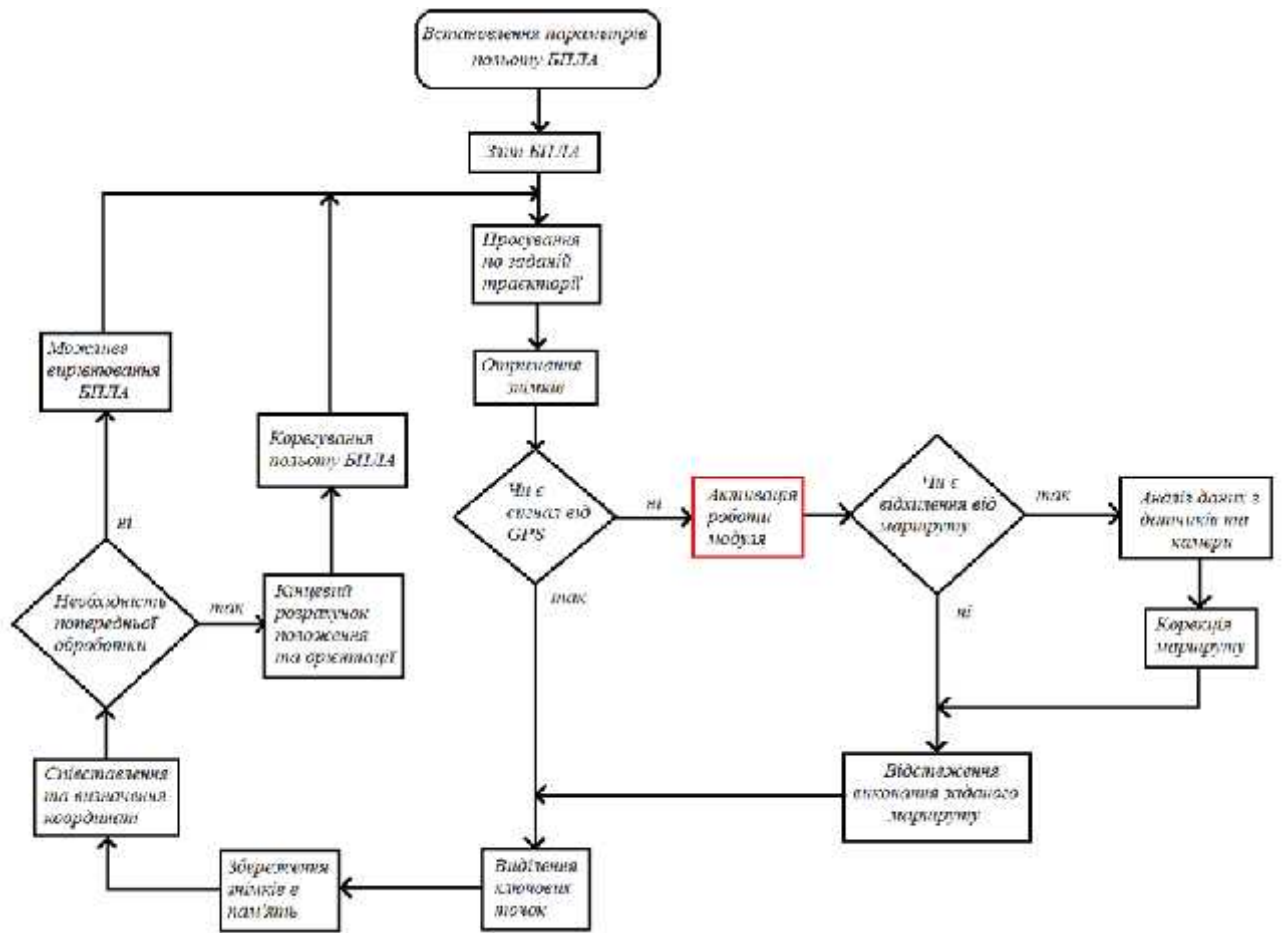
SLAM

ORB-SLAM

2.6

(: 2.11:

).



2.11:

2.12,

2.1,

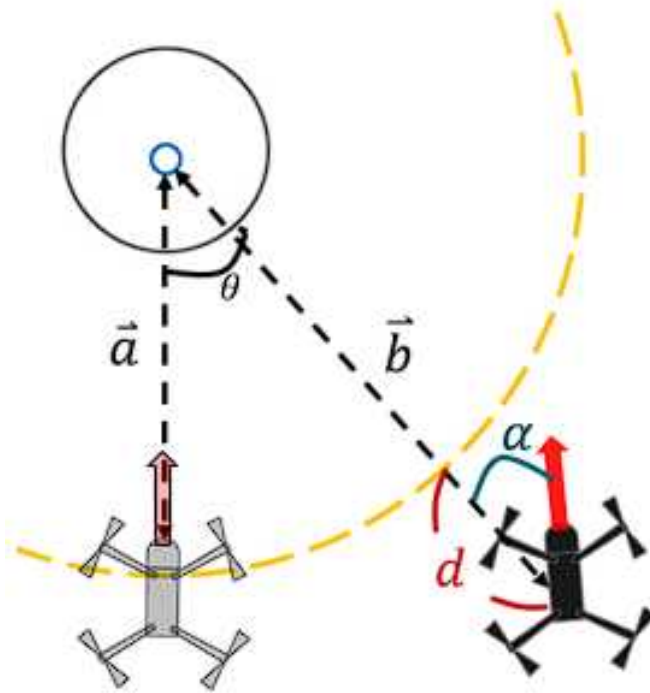
ORB-SLAM.

2.12

b

()

2.1 $\theta = \cos^{-1} \left(\frac{(\vec{a} \times \vec{b}) \cdot \vec{n}}{|\vec{a} \times \vec{b}|} \right)$



2.12:

8

[16].

3.

3.1

.json.

. (. 3.1).

3.1

<u>Клас</u>	<u>Метод</u>	<u>Типи даних для методів</u>	<u>Опис функціоналу</u>
Task General Data	<u>Task ID</u>	<u>Guid</u>	Ідентифікатор виконуваного завдання
	<u>Field ID</u>	<u>Guid</u>	Ідентифікатор унікального зображення
	<u>Process Date</u>	Date Time	Дата виконання польоту
	Position	Location Info	Положення безпілотної літачки у відношенні до завершальної точки
	<u>Image_of Number</u>	Integer	Загальна кількість графічних зображень
Camera_General_Info	<u>Type of Camera</u>	Integer	Тип даної камери

23 03 61 000

Бабич М.А.

50 72

-213

3.1

Клас	Метод	Типи даних для методів	Опис функціоналу
	<u>Name Camera</u>	String	Назва даної камери
	<u>Area camera width</u>	Integer	Ширину області охоплення камерою
	<u>Area camera height</u>	Integer	Довжина області охоплення камерою
	<u>Max height of photography</u>	Integer	Максимальна висота для фотозйомки
Location_Info	<u>Geo of length</u>	Long	Географічний показник довготи
	<u>Geo of width</u>	Long	Географічний показник широти
Aerial_Photo	<u>Aerial Photo ID</u>	Guid	Унікальний номер для фотографії
	<u>File Name</u>	String	Назва файлу/документу
	<u>Current Height</u>	Double	Висота, з якої здійснено фотозйомку
	<u>Current Angle</u>	Double	Точку огляду
	<u>Area position</u>	Location Info	Локалізація місця розташування зображення

3.2.

3.2

Назва класу	Назва поля	Тип даних	Пояснення
Processing_Image	<u>Processing Image ID</u>	Integer	Маркер зображення
	<u>Parent File ID</u>	Integer	Маркер основного файлу
	<u>Image Area location</u>	Image Location Data	Дані про місцезнаходження на зображенні
	<u>Data Image</u>	List< <u>ImagePixel</u> >	Набір ключових кадрів і точок функцій
	<u>Time Duration</u>	Date Time	Час всього польоту
	Width	Double	Горизонтальний розмір зображення
	Height	Double	Вертикальний розмір зображення
Image_Pixel	<u>Position X</u>	Long	Горизонтальне розташування
	<u>Position Y</u>	Long	Вертикальне розташування
	<u>Cluster ID</u>	Double	Ідентифікатор кластеру
Image_Location_Data	<u>Geographic Longitude</u>	Double	Координата за географічною довготою
	<u>Geographic Latitude</u>	Double	Координата за географічною широтою
	Width_of_Area	Double	Поле видимості по ширині
	Height_of_Area	Double	Поле видимості по довжині

```

    ,
    "Full_text_loader()" "Data_operations".
    ,
    .
    "Full_text_loader()"
    , , - , ,
    , .
    ,
    "New_space" "Delete_space"
    ,
    .
    ,
    .
    ,
    ( ).
    ,
    .

```

```
{
  "TaskGeneralData" : [
    "TaskID" : "2",
    "FieldID" : "4",
    "ProcessDate" : "2023-11-14",
    "ImagesNumber" : "17",
  ],
  "CameraGeneralInfo" : [
    "Type" : "168091200530",
    "Name" : "Parrot Bebop 2",
    "AreaWidth" : "60",
    "AreaHeight" : "25",
    "MaxHeight" : "50",
  ],
  "LocationInfo" : [
    {
      "Longitude" : "50.416170",
      "Latitude" : "30.588147",
    }
  ],
  "AerialPhoto" : [
    "AerialPhotoID" : "4",
    "FileName" : "photo_5",
    "CurrentAngle" : "32",
    "CurrentHeight" : "22.43",
  ]
}
```

.3.1:

()

"Get_Position()"

3.2

```

    ,
    .
    .
    ,
    ,
    ,
    ,
    "Input_change()",
    "Updating_information()",
    "Is_moving", bool,
    1 ( true)
    , 0 ( false)
    ,
    .
    (Is_moving == 1),
    "Float_Vector_Position()",
    , "Float_Vector_Position()"
    ,
    .
    ,
    "Float_Vector_Position()"
    .
    ,
    (string)

```

```

    ,
    (
    ),
    "stof()" –
    (float)
    ,
    "Float_Vector_Position()"
    ,
    "Moving_to_point()"
    .
    .
    , :
    (
    ),
    (
    ),
    (
    ).
    ,
    ,
    (t2)
    (t1).
    ,
    (t).
    ,
    "Moving_to_point()".
    ,
    .
    ,
    ,
    .
    ,

```


,"Moving_to_point()",

"Approximation()",

"Approximation()",


```

, " ",
, "e",
,
,
,
.
"Drawing_map()"
,
,
,
.
"Set_Texture_Rectangle()".

```

3.4

OpenCV,

Python.

Robot Operating System (ROS)

ROS

Windows 10.

Parrot Bebop 2, -

Parrot Drone SAS,

Intel Core i7-7700HQ

2,8 8 , 7,7 ' .

525 ,

3.4(1).



3.4(1): Parrot Bebop 2

Bebop 2
 (IMU),
 », Wi-Fi. Wi-Fi
 ,
 Bebop 2.
 SDK, Bebop_autonomy [22].
 Bebop_autonomy ,
 Bebop 2, ROS.
 ,
 (Bebop_ODOM) IMU GPS
 . , Bebop 2 Wi-Fi
 , Bebop_autonomy
 Bebop 2 856 x 480 ,
 30

122

3.4(2)



3.4(2):

122

1,0

6,2

GPS-

10

Parrot Bebop 2.

(2, 3 4

/),

10

Rosbag,

ROS

Rosbag -

Robot Operating System (ROS),

Rosbag

ROS,

GPS

(IMU)

, ,
SLAM (Simultaneous Localization and Mapping),

, Rosbag ,

3.5

, Rosbag ,

,
() ,

,

,

.

,

,

,

.

,

,

.

.

,

,

,

,

.

SLAM

().

,

,

SLAM

,

.

,

,

,

.

,

,

.

,

,

.

SLAM

,

.

4 /	0,38	0,59	1,1
-----	------	------	-----

3.3:

():

. 2, 3 4 /

.

():

, 10 .

,

, 10 .

.

():

10

. ,

,

.

():

. ,

- .

, ,

.

, 3.1,

.

. ,

,

, 0,31 0,38 .

Bebop 2

ORB-SLAM,

Parrot

3.6

GPS

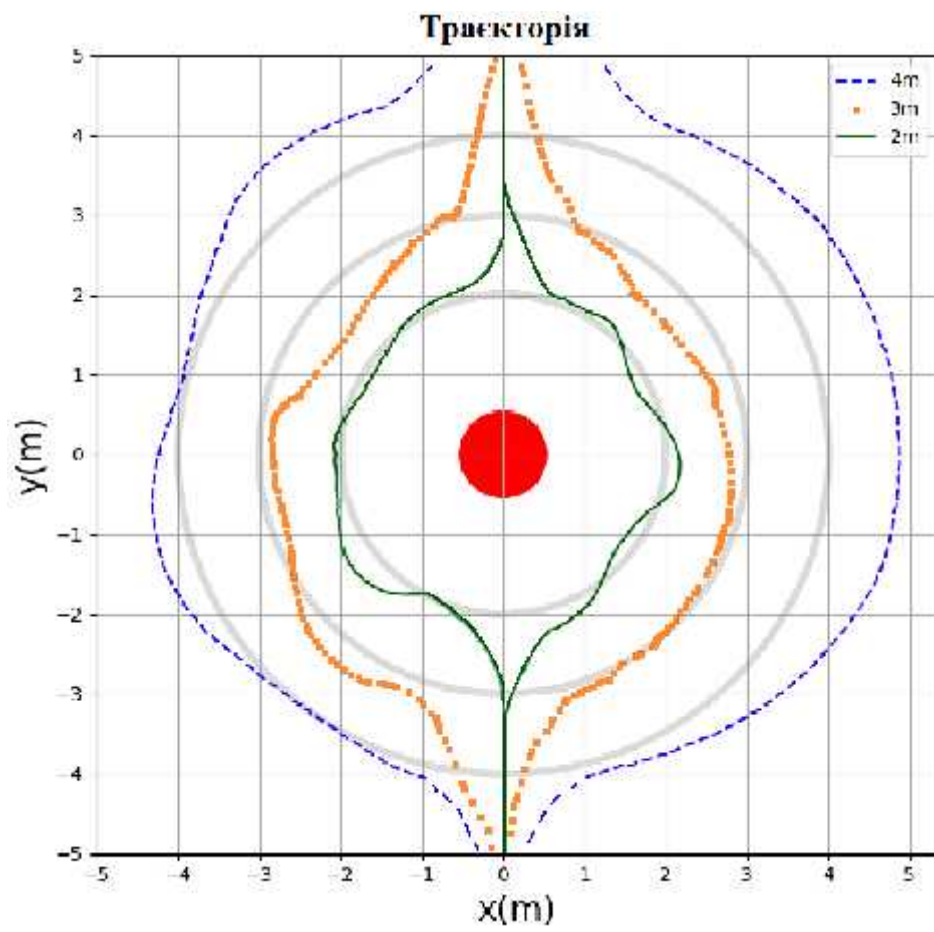
GPS

GPS-

0,34

3.3

ORB-SLAM IMU



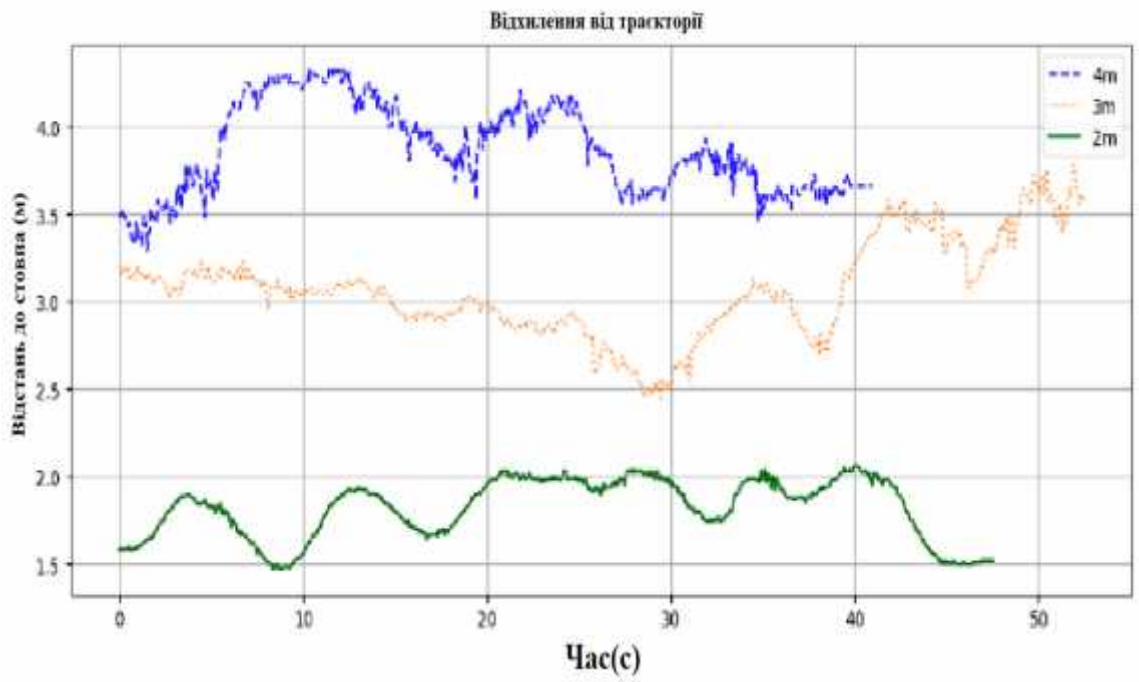
3.6(1):

3.6(1)

0,5

3.6(2)

()



3.6(2):

, 0,2 0,22

2 4

: 0,19

3.6(2),

2

,

.

,

4

,

.

,

.

.

4.

4.1.

"

"

"

"

,

.

,

,

.

,

,

,

,

-

,

.

,

,

.

.

.

.

,

,

.

4.2.

(, /).

,

,

.

.

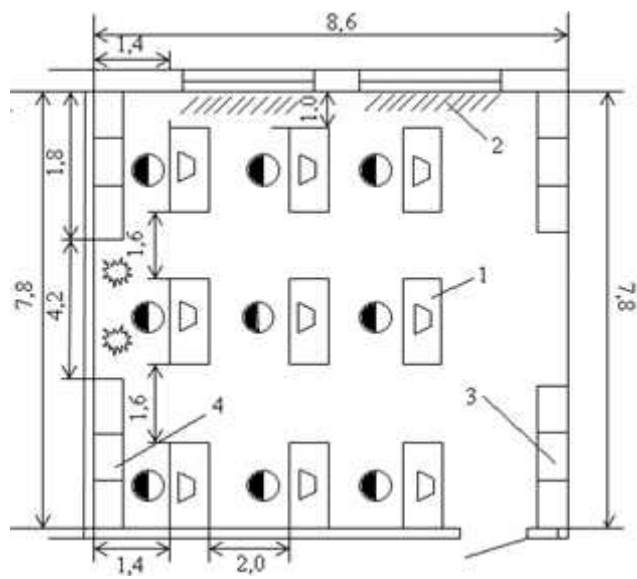
				23 03 61 000			
.	Бабич М.А.			.			
	..				73		14
.	..			-213 ⁷³			
.	..						
.	..						

1.

2.

3.

5.1.



.4.1.

1 -

2 -

3 -

4 -

II-4-79.

10%.

(-)
II-4-79.

2%.

2-

300-500

300

250

4.1

75

Показник мікроклімату	Фактичне значення	Норма згідно з ДСН 3.3.6.042-99
Температура повітря	25°C	22-24°C взимку, 23-25°C влітку
Вологість повітря	55%	Не менше 40%
Швидкість руху повітря	0.05 м/с	До 0.1 м/с

4.2

Вид електромагнітного поля	Джерело	Фактичне значення	Норма згідно з СНиП 31-01-95
Електричні поля	Офісна електромережа	23 В/м	Не більше 25 В/м
Магнітні поля промислової частоти	Комп'ютер, техніка	7 мТл	Не більше 10 мТл
Радіочастотне випромінювання	Wi-Fi, мобільні мережі	8 Вт/м ²	Не більше 10 Вт/м ² (згідно з 3)

4.1,

4.1,

(dB).

45-55 (A) (-)

WHO ('):

30

(A)

, 40 (A).

2 (6)

2 (6)

4.3

Середньогометричні частоти октавних смуг, Гц	Гранично допустимі рівні по осях Хл, Ул, Z л			
	віброшвидкість		віброприскорення	
	м/с x 10 ⁻²	дБ	м/с ²	дБ

8	2,8	115	1,4	73
16	1,4	109	1,4	73
31,5	1,4	109	2,7	79
63	1,4	109	5,4	85
125	1,4	109	10,7	91
250	1,4	109	21,3	97
500	1,4	109	42,5	103
1000	1,4	109	85,0	109
Коректований, еквівалентний коректований рівень	2,0	112	2,0	76

4.4

	1 ()
	230
	50
	()
/	,

)

)

)

)
)
 ,
 :
)
 (,
).

4.5

(3587-2015)

4.6

(3562-2015)

	, ,

:
)
)
 .
 :
)

12.1.045-2015

0.00-1.29-97.

4.7

(12.1.045-2015)

	0 50 /

(0.00-1.31-2018)

	/
	/
	/

:

12.1.045-2015 :

) 0.00-1.28-10 " -
":

) 0.00-1.29-97 " -
":

) :

) , .

) :

) : .

) : .

) : .

) : .

) : .

) : .

)

)

)

:

)

)

(84/ 0.003-2016):

)

:

)

)

5.3.

)

500 (),

:

)

)

)

)

4.10

250

4.10

()	450	500
(/ ²)	10 / ²	8
()	300	250

4.4.

()

4.11

- 1) (A, B, C)
 2)

)

1.

2.

)

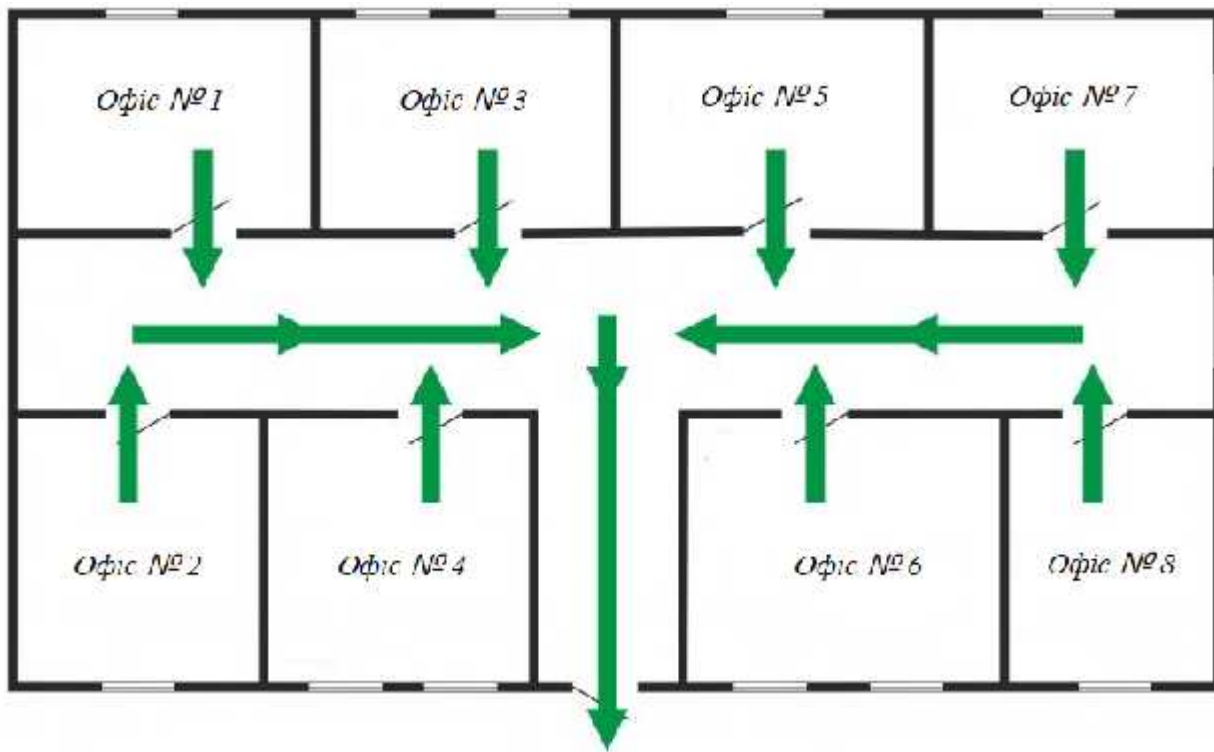
1.

2.

10

1.
 2.

.4.2.



.4.2.

4.5.

() .

) (S):

) (E): () .

) (): , ,
) (): , ().
 :
 (E) : $E = \frac{\Phi * \eta}{S}$, :
 E - (); - (); -
 ; S - (²).
 :
 , 6 ². 67.08
², 2400 0.9,
 , .
 :
) (S): 67.08 ² (,
 6 ²).
) (E): ,
 500 .
) (): ,
 0.9.
) (): ,
 - 2400 .
 :

$$E = \frac{2400 * 0.9}{67.08} \approx 32.2 \text{ лк}$$

4.12

(S)	67.08 ²
()	2400
()	0.9
(E)	32.2

5.1

() -

1.

2.

3.

4.

5.

23 03 61 000

				23 03 61 000			
	Бабич М.А.						
						88	10 ₈₈
						-213	

«
26.06.91 .

»

(EEA),

‘

«

2005:

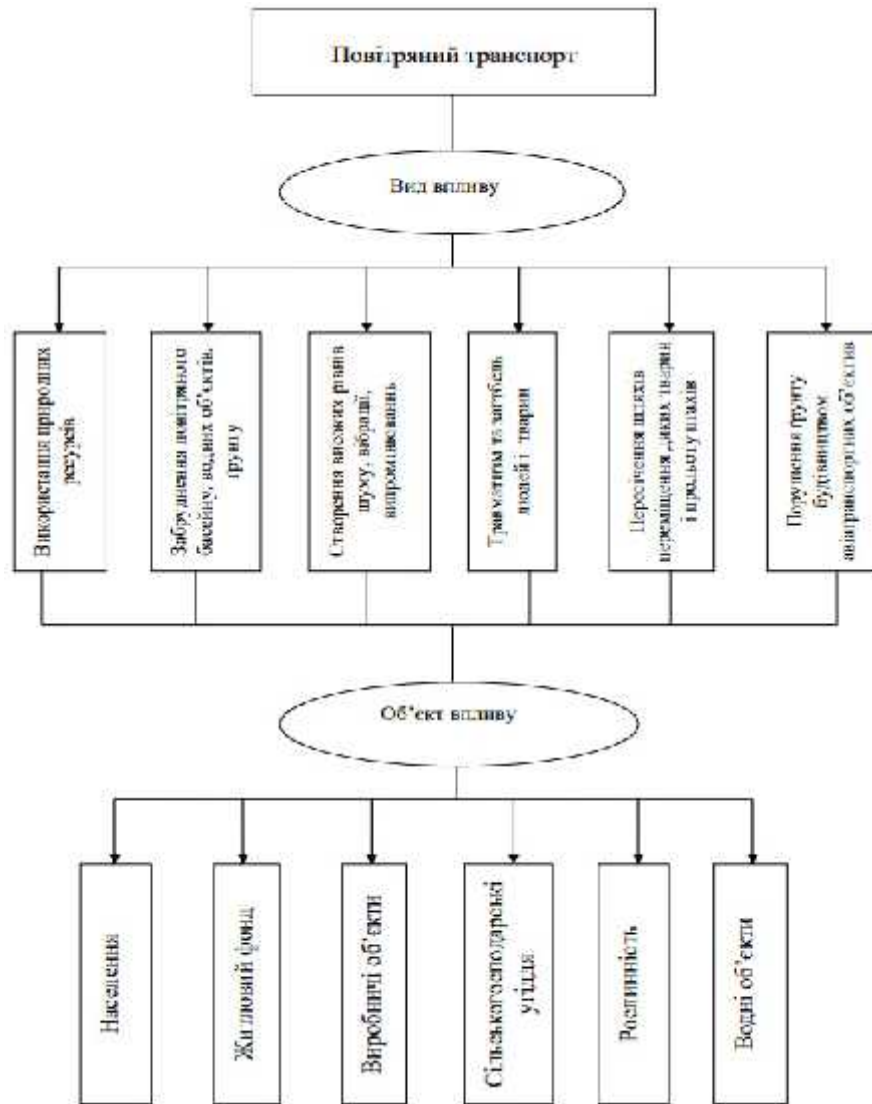
»

22%

1990 - 2012.

(96%

1990 - 2012),



.5.1.

5.2

()

· , : ,
:
, . ,
· ,
:
, , ,
· ,
:
, , ,
· ,
:
, , , ,
· ,
:
- - · ,
· ,
:
, ,

5.3

70 / - CO2. 300-350 / 60-

N- -2- ; N- -2- N- -2-

8000 8000

2

Kang et al.

, , - .
 , ;
 , 8000-9000
 - ; , -
 , ,
 , .

5.4

(Parrot Bebop 2)

() Parrot Bebop 2

Anafi.

Parrot

Parrot Bebop 2

Parrot Anafi,

		50		
Parrot Bebop 2	-	60-64	- . : , , , . ,	

Parrot Anafi	-	63-68		,

() ,

- ,

,

,

, Parrot Bebop 2, Parrot Anafi,

,

5.5

:

-

.

,

.

,

.

,

;

,

.

,

.

2009

100

30%.

«

»

«

». 70%

Kang

Kang et al.

5.6

:

()

, . , , .

ORB-SLAM

() .

ORB-SLAM (Oriented FAST and Rotated BRIEF Simultaneous Localization and Mapping)

()

, ORB-SLAM

ORB-SLAM

[19],

ORB-

SLAM

()

ORB-SLAM

ORB,

SLAM,

SLAM

ORB-SLAM

1. E. Anette, K. Pierre and C. Stöcker, Spain. Catena, 2015. "Measuring gullies by synergetic application of UAV and close range photogrammetry—A case study from Andalusia"

2. C. Yuan, Y. M. Zhang and Z. X. Liu, "A survey on technologies for automatic forest fire monitoring detection and fighting using unmanned aerial vehicles and remote sensing techniques", Canadian Journal of Forest Research
12 2015

3. H. Aasen, E. Honkavaara, A. Lucieer, and P. Zarco-Tejada, "Quantitative remote sensing at ultra-high resolution with UAV spectroscopy: A review of sensor technology, measurement procedures, and data correction workflows," Remote Sens., vol. 10, no. 7, p. 1091, 2018.

4. M. Israel, "A UAV-based roe deer fawn detection system", Proc. Int. Conf. Unmanned Aerial Veh. Geomatics (UAV-g), vol. 38, pp. 1-5, 2011.

5. M. N. Gillins, D. T. Gillins and C. Parrish, "Cost-effective bridge safety inspections using unmanned aircraft systems (UAS)", Geotechnical and Structural Engineering Congress, 2016.

6. S. Omari, P. Gohl, M. Burri, M. Achtelik and R. Siegwart, "Visual industrial inspection using aerial robots", Proceedings of CARPI, 2014

7. Y. Song, S. Nuske and S. Scherer, "A multi-sensor fusion MAV state estimation from long-range stereo IMU GPS and barometric sensors", Sensors, vol. 17, no. 1, 2017.

8. S. Ullman, "The interpretation of structure from motion", Proc. R. Soc. London, vol. B203, pp. 405-426, 1979.

9. J. Engel, V. Koltun and D. Cremers, "Direct sparse odometry", *IEEE Trans. Anal. Mach. Intell.*, vol. 40, no. 3, pp. 611-625, Mar. 2018.
10. J. Engel, T. Schöps and D. Cremers, "LSD-SLAM: Large-scale direct monocular SLAM", *Proc. Eur. Conf. Comput. Vision*, pp. 834-849, Sep. 2014.
11. A. Buyval, I. Afanasyev and E. Magid, "Comparative analysis of ros-based monocular slam methods for indoor navigation", *International Conference on Machine Vision (ICMV 2016)*, vol. 10341, pp. 103411K, 2017.
12. R. Mur-Artal, J. M. M. Montiel and J. D. Tardós, "ORB-SLAM: A versatile and accurate monocular SLAM system", *IEEE Trans. Robot.*, vol. 31, no. 5, pp. 1147- 1163, Oct. 2015.
13. M. Filipenko and I. Afanasyev, "Comparison of various slam systems for mobile robot in an indoor environment", *International Conference on Intelligent Systems*, Sep. 2018.
14. M. Colledanchise and P. Ögren, "How behavior trees modularize hybrid control systems and generalize sequential behavior compositions the subsumption architecture and decision trees", *IEEE Trans. Robot.*, vol. 33, no. 2, pp. 372-389, Apr. 2017
15. M. Samkuma, Y. Kobayashi, T. Emaru and A. Ravankar, "Mapping of Pier Substructure Using UAV", *IEEE/SICE International Symposium on System Integration*, 2016.
16. P. Shanthakumar, K. Yu, M. Singh, J. Orevillo, E. Bianchi, M. Hebdon, et al., "View planning and navigation algorithms for autonomous bridge inspection with uavs", *International Symposium on Experimental Robotics*, pp. 201-210, 2018.
17. A. Al-Kaff, F. M. Moreno, L. J. San José, F. García, D. Martín, A. De La Escalera, et al., *World Conference on Information Systems* pp. 221-231, 2017
18. F. Kendoul, "Survey of advances in guidance, navigation, and control of unmanned rotorcraft systems," *Journal of Field Robotics*, vol. 29, no. 2, pp. 315-378, Mar. 2012.

19. I. Sa, S. Hrabar and P. Corke, "Outdoor flight testing of a pole inspection UAV incorporating high-speed vision", Springer Tracts Adv. Robot., vol. 105, pp. 107-121, Dec. 2015.

20. S. A. K. Tareen and Z. Saleem, "A comparative analysis of sift, surf, kaze, akaze, orb, and brisk," in 2018 International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies (iCoMET), pp. 1–10, March 2018

21. S. Choi, P. Jaehyun and Y. Wonpil, "Resolving scale ambiguity for monocular Visual Odometry", IEEE International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, pp. 604-608, 2013

22. Bebop_autonomy. (n.d.). Retrieved October 4, 2020, from <https://bebopautonomy>