Т Е Х Н И Ч Е С К И У Н И В Е Р С И Т Е Т – В А Р Н А

инж. Илиян Живков Бойчев

Заглавие:

ПРОЕКТИРАНЕ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА СИСТЕМА ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ОТДАЛЕЧЕНИ И ПОДВИЖНИ ОБЕКТИ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
на дисертация за получаване на образователна и научна степен „Доктор”

по докторска програма „Компютърни системи, комплекси и мрежи“
към професионално направление: 5.3 „Комуникационна и компютърна техника“

Научен ръководител: проф. д-р инж. Тодор Димитров Ганчев

Рецензенти:

1. ……

2. ……

Варна, 2020 г.

Дисертационният труд е обсъден на …… в катедра „Компютърни науки и технологии“ и насочен за защита.

Докторантът работи в катедра „Компютърни науки и технологии“.

Автор: инж. Илиян Живков Бойчев

Заглавие: Проектиране и изследване на система за управление на отдалечени и подвижни обекти

Т Е Х Н И Ч Е С К И У Н И В Е Р С И Т Е Т – В А Р Н А

инж. Илиян Живков Бойчев

Заглавие:

ПРОЕКТИРАНЕ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА СИСТЕМА ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ОТДАЛЕЧЕНИ И ПОДВИЖНИ ОБЕКТИ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за получаване на образователна и научна степен „Доктор”

Варна, 2020 г.

Дисертационният труд съдържа 146 страници, включително 94 фигури, 26 таблици оформени в 4 глави, общи изводи и списък на използваната литература от 144 заглавия, от които 1 на кирилица и 143 на латиница.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на ..... г. от ..... ч. в ..... на открито заседание на жури сформирано със заповед на Ректора № ...../..... г.

Материалите по защитата (дисертацията, рецензиите и становищата) са на разположение на интересуващите се в Докторантски център, стая 318 НУК

ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Развитието на компютърното инженерство води до все по-голямо автоматизиране на производствени процеси и намаляване на участието на човек в тях, като то се свежда до наблюдение и поддръжка на системите. Алгоритмите за управление на тези системи се развиват до степен в която, системите се самоуправляват или вземат решения на базата на изкуствен интелект.

Възможността за прикрепяне на камера прави летателните апарати, безценен помощник в приложения изискващи наблюдение в реално време. За осигуряване на това им предназначение, паралелно се развиват две области на науката:

- Разработване на методи за навигация и планиране на пътя на летателния апарат.
- Разработване на методи за разпознаване на обекти от изображения, снети от камерата на летателния апарат.

В настоящия дисертационен труд, летателните апарати се използват в контекста на приложение за осигуряване наблюдение на сгради в зона на сигурност с голяма площ. Разработките и експерименталните постановки разглеждани в настоящия дисертационен труд са насочени към изследване на възможностите за обхождане и наблюдение на множество сгради разположение в кампуса на Технически Университет - Варна. В същото време, предложените методи и алгоритми са достатъчно универсални и са приложими за всяка друга зона, в която е необходимо обхождането и наблюдението на голям брой сгради.

Цели и задачи на изследването

Целта на дисертационния труд е изследване на възможностите за създаване на подобрени методи и алгоритми за автоматичен синтез на траекторията на движение на автономни летателни апарати, с цел автоматично пресмятане на етапите за придвижване в пространството с висока прецизност при обхождане на обекти, за нуждите на приложения, свързани с видеонаблюдение в области с множество охранявани обекти, разположени в зона, изискваща гарантирана сигурност.

Задачите, които са формулирани за постигане на поставената цел са следните:

- Изследване на възможностите и ограниченията на съществуващи методи и алгоритми за синтез на оптимален път, при използването им в приложения за сигурност, изискващи обхождане на множество обекти. Предлагане на метод за моделиране на летателен маршрут в граф, намиране на оптимален път за обхождане в област с множество охранявани обекти.
- Изследване на съществуващи и създаване на подобрени методи и алгоритми за синтезиране на оптимален път за обхождане на обекти от автономен летящ апарат при различни режими на обхождане за различни топологии на свързване на обектите.

- Изследване на съществуващи и създаване на подобрени методи и алгоритми за сегментиране на обекти и определяне траекторията и етапите на придвижване на автономен летателен апарат, съгласно техническите възможности на конкретна видеокамера, монтирана на автономния летателен апарат, с цел осигуряване на цялостно обхождане и наблюдение на охранявани обекти и откриване на атипични ситуации.

Обект и предмет на изследване

Обект на изследването са алгоритми и методи за планиране на път на летателен маршрут.

Предмет на изследването са алгоритми и методи за намиране на най-кратък път за планиране на летателен маршрут, представен чрез граф за различни топологии на свързване на обектите.

Методи на изследване

За решаването на поставените задачи, са имплементирани алгоритми и методи за намиране на най-кратки пътища, вътрешни организации на представяния на графи и обхождания. За провеждането на експерименталните резултати са разработени програмни продукти в среда на Visual Studio и платформата Qt.

Място на изследване

Изследванията са проведени в лабораториите на катедра КНТ на Технически Университет – Варна, България.

Научна и практическа новост на изследването

В резултат на проведените теоретични и експериментални изследвания в съответствие с целта и задачите на дисертационния труд могат да бъдат дефинирани следните основни приноси:

- Предложен е алгоритъм за синтез на граф, представящ летателен маршрут.
- Предложен е алгоритъм за пълно обхождане на обекти (сгради), за различни топологии на свързване на обектите.
- Предложен е подобрен алгоритъм за намиране на най-кратък път по брой на възлите.
- Предложен е метод за обхождане на обекти в пространството, използвайки камера на летателен апарат.
- Предложен е метод за изчисляване на броят сегменти за покриване на страна на сграда при различни режими на камера, монтирана на летателен апарат
- Разработено е програмно осигуряване за автоматично синтезиране на топологията на граф показващ оптималния път за обхождане на област с множество обекти, според зададен критерии за оптималност (минимален път) и режим на работа на летателния апарат.

- Разработено е програмно осигуряване за изчисляване броя на сегментите и последователността за обхождане, разстоянието от сградата, последователността на обхождане и др. според зададени параметри и режими на камерата.

Апробация на изследването

Основните теоретични и приложни резултати от дисертационния труд са представени в общо 6 публикации, от които:

- 1 доклад на Трета научна конференция с международно участие "Компютърни науки и технологии" ТУ-Варна, гр. Варна 2015 г.
- 1 доклад на Четвърта научна конференция с международно участие "Компютърни науки и технологии" ТУ-Варна, гр. Варна1 2016 г.
- 1 доклад на международна конференция IEEE XXVII International Scientific Conference Electronics – ET, 2018, Sozopol, Bulgaria
- 1 доклад на Пета научна конференция с международно участие "Компютърни науки и технологии" ТУ-Варна, гр. Варна 2018 г.
- 1 доклад на Международна научна конференция УНИТЕХ ТУ-Габрово, гр. Габрово 2018 г.
- 1 доклад на XIX International Conference on Geometry, Integrability and Quantization, 2019, Varna

Конференциите „EEE XXVII International Scientific Conference Electronics – ET“ и „Conference on Geometry, Integrability and Quantization: са индексирани в международната научна база от данни “SCOPUS”.

СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

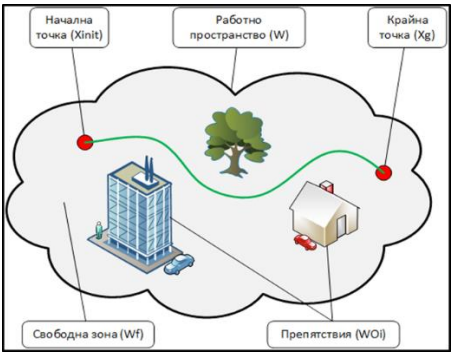
Глава 1. Обзор на системи за следене на отдалечени обекти

1.1. Какво представляват БЛА?

Безпилотните летателни апарати (БЛА) са подразделение на летателните апарати (самолети), отличаващи се основно с това, че при тях няма пилот, който да ги управлява. Счита се, че нямат и пътници, които да бъдат превозвани на борда им.

1.6. Планиране на път на летене на летателния апарат.

Планирането на пътя [23][24][26][105][106] за коя да е роботизирана система е част от системата за насочване. В зависимост от видовете роботизирани системи (летателни и наземни), планирането може да бъде или в двуизмерното пространство (2D), или в триизмерното пространство (3D).



Фиг. 1.9. Планиране на път в пространството.

Планирането на път (фиг. 1.9) се разделя в две отделни групи:

- Планиране на път (path planning) – определяне пътя на движение на наземна система или летене на леталният апарат в дадено пространство, използвайки алгоритми, чрез които се осигурява оптимално движение/летене.
- Планиране на път с максимално покритие (coverage path planning) – планиране на пътя на движение/летене с цел да се осигури максимално покритие на зона, която се изследва или наблюдава от наземна или летателна система.

1.6.1. Методи и алгоритми за планиране на път.

Планирането на път е задача, чието решение все още не е намерило решение. Създадени са редица алгоритми за намиране на път, които се развиват и оптимизират или прилагат за нови системи. Голяма част от алгоритмите са приложими както за наземните системи, така и за летателните.

В своя разработка, Yang и Xiao [9][12], представят класификация на голяма част на алгоритмите за планиране на път. Те ги разделят в 5 различни групи, представени на фиг. 1.10.

Фиг. 1.10. Алгоритми за планиране на път.

1.6.2. Планиране на път за максимално покриване (Coverage path planning).

Coverage path planning [13][14][15][16][107][114][118][119] представлява планиране на път с цел максимално покриване на дадена област от наземни или летателни апарати. Това е проблем, който се използва в много приложения [16] като: роботи за почистване, боядисване, създаване на изображения.

1.6.2.1. Декомпозиция на пространство на клетки.

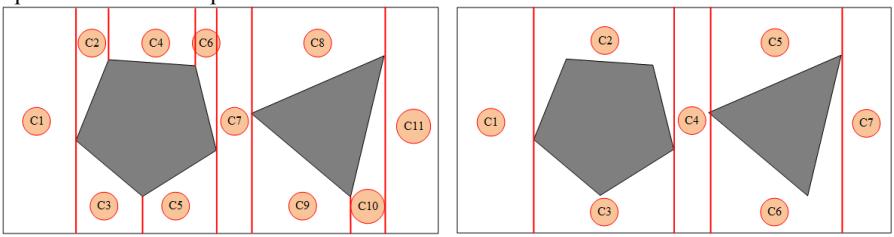
Декомпозиция на клетки [16][18][28] представлява разделяне на работното пространството на летене на летателния апарат на по-малки области, наречени „клетки“.

1.6.2.1.1. Трапецовидна декомпозиция (Trapeziodal Decomposition).

При трапецовидна декомпозиция [12][16][19], работното пространство се разделя на отделни клетки с формата на фигурата „трапец“ (фиг. 1.15 А). Разделянето на отделните клетки, зависи от това колко ръба имат съответните препятствия.

1.6.2.1.2. Бустрофедонова декомпозиция (Boustrophedon Decomposition).

Бустрофедоновата декомпозицията [12][108][120] (фиг. 1.15 Б) е подобна на предходната. Различава се по това, че клетките се образуват, вземайки предвид, най-крайните точки на препятствията.

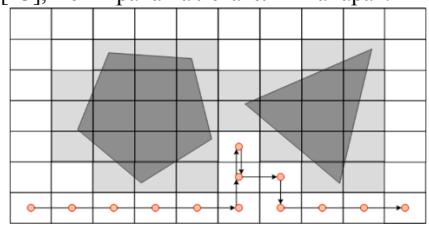


А) Трапецовидна Б) Бустрофедонова

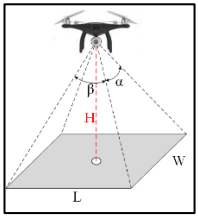
Фиг. 1.15. Трапецовидна декомпозиция.

1.6.2.1.3. Визуално-базирана декомпозиция.

При тази декомпозиция [109] се използва разделяне на областта на видимост на отделни клетки, които имат формата и размерите на полето на видимост на камерата [13], монтирана на летателния апарат.



Фиг. 1.17. Визуално-базирана декомпозиция.

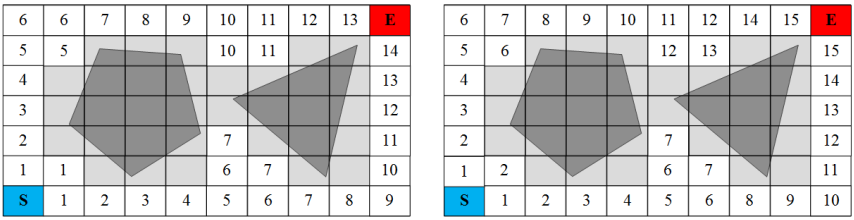


Фиг. 1.18. Поле на видимост на камера.

1.6.2.2. Обхождания при пълно покриване.

1.6.2.2.1. Обхождане с алгоритъм на „вълната“ (Wavefront).

На фиг. 1.19 е показано примерно номериране на клетките при прилагане на алгоритъма на „вълната“ за обхождане.

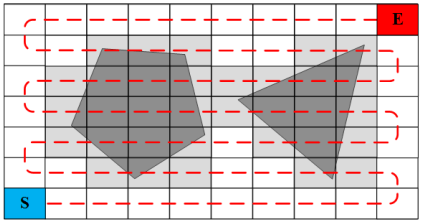


А) по Мур Б) по Фон-Нойман

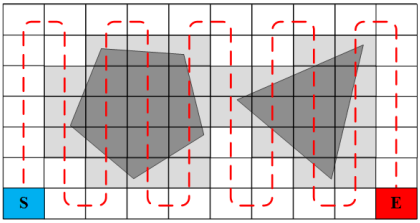
Фиг. 1.19. Обхождане по алгоритъм на „вълната“.

1.6.2.2.2. Хоризонтално и вертикално обхождане.

На фиг. 1.21 и 1.22 са представени съответно хоризонтално и вертикално обхождане на клетките.



Фиг. 1.21. Хоризонтално обхождане.



Фиг. 1.22. Вертикално обхождане.

След направен обзор на съществуващите алгоритми за планиране на път, за целите на дисертационния труд се избира за най-подходяща на алгоритмите, базирани на възли (Node-based), т.к. те намират най-кратък път непосредствено в графове.

Изводи:

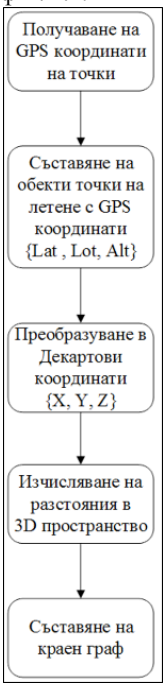
- Направен е сравнителен анализ на групи алгоритми за планиране на път в пространство, в следствие на което е направен избор за реализация на методи от групата на алгоритмите, базирани на възли, поради изграждане на структура граф, описваща летателния маршрут на летателен апарат
- Представени са алгоритми за пълно покриване на обекти при обхождане. Въз основа на направеният анализ е избран подход, който разчита на визуално-базирано обхождане, използвайки камера монтирана на летателен апарат.

Глава 2. Моделиране на летателен маршрут на летателен апарат чрез граф

В Глава 2 е предложен алгоритъм за синтезиране на граф в триизмерното пространство, който позволява да бъде създаден и моделиран летателния маршрут на малък летателен апарат. При този алгоритъм, графът се създава от предварително известни точки на обхождане на обектите, които по принцип могат да са предварително избрани по карта или изчислени автоматично по зададени зони на обход. В частност, за целите на настоящия дисертационен труд се приема, че тези точки са ръчно избрани от карта, която предоставя географските координати в глобалната система за позициониране (GPS).

2.1. Алгоритъм за синтезиране на граф, описващ летателни маршрути.

Детайлна блокова диаграма на предложения алгоритъм за синтезиране на граф на летателен маршрут е представена на фиг. 2.2.

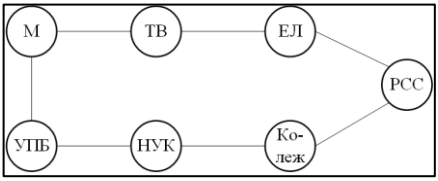


Фиг. 2.2. Алгоритъм за синтезиране на граф, описващ летателни маршрути.

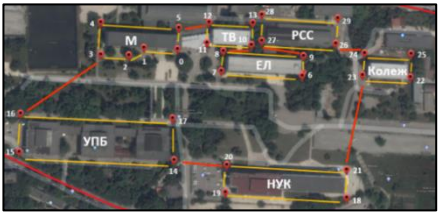
2.2. Топологии на свързване на обектите (сградите) разположени в зона на сигурност.

2.2.1. Топология на свързване от тип „Кръг“.

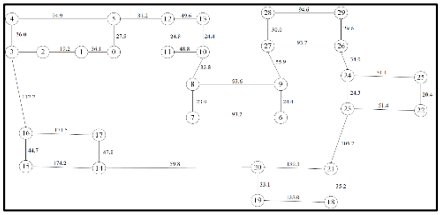
При топология на свързване от тип „Кръг“ (фиг. 2.9), всички обекти са свързани последователно и се обхождат от летателния апарат един след друг. Тази топология се използва, когато е необходимо да се извърши пълно обхождане на обектите в определена последователност.



Фиг. 2.9. Граф за топология на свързване от тип „Кръг“.



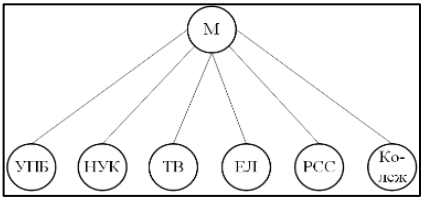
Фиг. 2.10. Топология „Кръг“, за сгради в кампуса на ТУ-Варна.



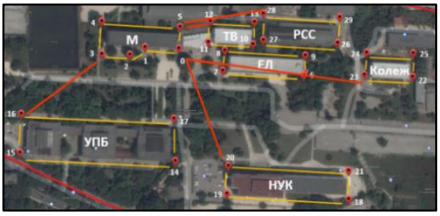
Фиг. 2.11. Топология „Кръг“ - разстояния между възли(точки).

2.2.2. Топология на свързване от тип „Звезда“.

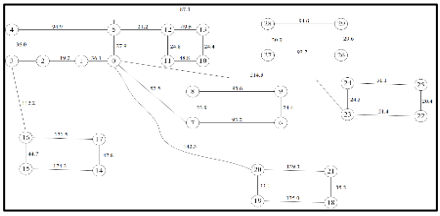
При топология на свързване тип „Звезда“ (фиг. 2.13), един от обектите се избира за основен или централен и спрямо него летателния апарат се изпраща за наблюдение до съответната сграда



Фиг. 2.13. Граф за топология на свързване от тип „Звезда“.



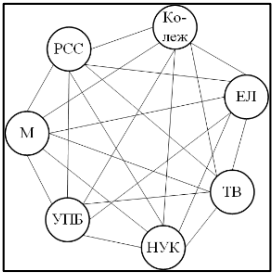
Фиг. 2.14. Топология „Звезда“, за сгради в кампуса на ТУ Варна.



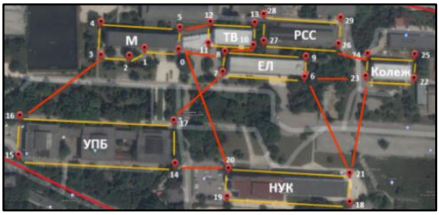
Фиг. 2.15. Топология „Звезда“ - разстояния между възли(точки).

2.2.3. Топология на свързване от тип „Пълно свързваме“.

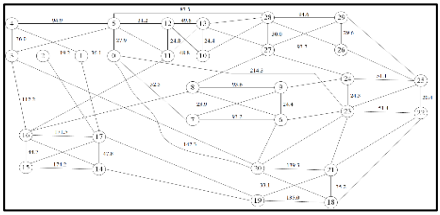
При топология на свързване от тип „Пълно свързване“ (фиг. 2.17) всички обекти са свързани помежду си, като между всички възли в графа е реализирана връзка.



Фиг. 2.17. Граф за топология на свързване от тип „Пълно свързване“.



Фиг. 2.18. Топология „Пълно свързване“, за сгради в кампуса на ТУ Варна.



Фиг. 2.19. Топология „Пълна свързаност“ - разстояния между възли(точки).

2.3. Сравнителен анализ на вътрешните организации за представяне на граф.

Двата начина за вътрешна организация за представяне на графове (чрез матрица и списъци на съседство) се сравняват за всяка една от топологиите, с цел оценка на заеманата памет по брой възли и по брой байтове.

В Таблица 2.4 е представено сравнение на матриците на съседство за трите топологии по няколко критерия:

- брой елементи (разстояния) по-големи от 0
- запълването на матриците спрямо общия брой елементи
- запълването на матриците спрямо елементите, изключвайки главния диагонал, т.к. той винаги е запълнен с нулеви стойности
- заемана памет в брой байтове:

$$Mem\,[B] = N.Size(M[i][j]) \tag{2.3}$$

Таблица 2.4. Сравнение на матрици на съседство за трите топологии.

	Топология		
	Кръг	**Звезда**	**Пълна свързаност**
Брой елементи на матрицата с размерност 30x30	900	900	900
Брой разстояния > 0	74	72	870
Запълване на матрицата, спрямо всички елементи [%]	8.22	8.00	96.67
Запълване на матрицата без главния диагонал) [%]	8.51	8.28	100
Заемана памет [Брой байтове]	7200	7200	7200

В таблица 2.5 е представено сравнение на списъците на съседство за трите топологии по няколко критерия**:**

- брой възли в графа
- общ брой на съседните възли,
- общ брой на разстояния в списъците,
- общ брой елементи в списъците:

$$N = N_v + N_{nv} + D_{nv} \tag{2.4}$$

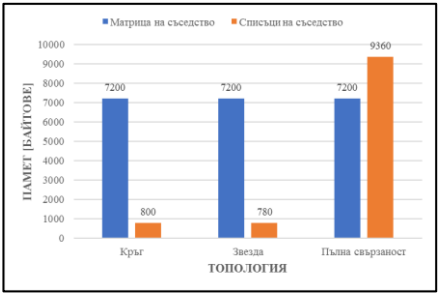
- заемана памет в брой байтове

$$Mem\,[B] = N_V.Size(V_i) + D_{nv}.Size(D_{nvi}) \tag{2.5}$$

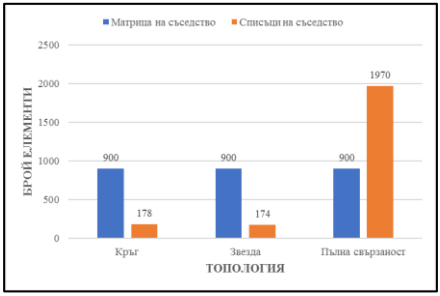
Таблица 2.5. Сравнение на списъци на съседство за трите топологии.

	Топология		
	Кръг	**Звезда**	**Пълна свързаност**
Брой възли в графа	30	30	30
Общ брой съседни възли за всички списъци на съседство	74	72	870
Общ брой разстояния до съседните възли за всички списъци на съседство	74	72	870
Общ брой елементи в списъците	178	174	1970
Заемана памет [Брой байтове] *	800	780	9360

На фиг. 2.21 и фиг. 2.22 са представени сравнителни графики на двете вътрешни организации за представяне на граф по брой елементи и заемана памет..



Фиг. 2.21. Сравнение на вътрешните организации за представяне на граф по брой елементи.



Фиг. 2.22. Сравнение на вътрешните организации за представяне на граф по заемана памет.

Изводи:

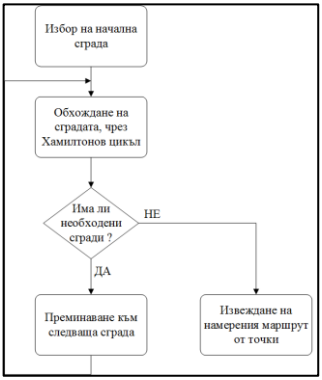
- Предложен е алгоритъм за синтез на граф, представящ летателен маршрут, с който се предоставя възможност за определяне на текущ летателен маршрут за обхождане на обекти.
- Извършен е сравнителен анализ на различни вътрешни организации за представяне на графи, с цел определяне на подходящо представяне по отношение на заемана памет, за съответна топология.

Глава 3. Алгоритми за намиране на най-кратък път в маршрут на летателен апарат, моделиран чрез граф.

В Глава 3 се разглеждат двата основни режими на работа, които изискват два различни типа обхождания на обектите (сгради) разположени в района на Технически Университет – Варна. Първият тип е характерен за основния (номинален) режим на работна на летателния апарат, при който се предвижда пълно обхождане на обектите и цялостно наблюдение на сградите. Вторият тип е характерен за режими на действие при възникнала аварийна или атипична ситуация, което се свежда до откриване на най-бърз път за придвижване до определен обект и пълното или частично обхождане на един обект.

3.1. Предлаган алгоритъм за пълно обхождане на обекти (сгради).

На фиг. 3.1. е представен предложеният алгоритъм за пълно обхождане на обекти (сгради), независимо от топологията на свързване: пълно свързване, звезда, кръг (виж Глава 2).



Фиг. 3.1. Предлаган алгоритъм за пълно обхождане на обекти.

Предлаганият алгоритъм (фиг. 3.1) се състои от следните стъпки:

1. Избор на начална сграда, от която започва пълното обхождане.
2. Обхождане на сграда, използвайки Хамилтонов цикъл.
3. Проверка за необходен обект(сграда).
4. Извеждане на маршрута на полета.

Така представеният алгоритъм решава проблемите свързани с образуването на контури в графа, като се избягва риска от възникването на „зацикляния“, при които летателният апарат да обхожда непрекъснато някой от обектите.

3.2. Алгоритми за намиране на най-кратък път.

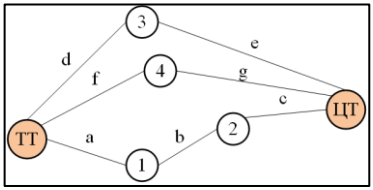
3.2.1. Алгоритъм на Дийкстра.

Този алгоритъм е най-ефективният за намиране на път между даден връх до всички останали върхове в дадения граф. Алгоритъмът работи правилно, само ако теглата на дъгите в графа са положителни числа. Това го прави подходящ за използване при определяне на най-краткият път на летателен маршрут, т. к. теглата в графовете, съставени при различните топологии на свързване на сградите, са разстояния, т.е. те задължително са положителни числа и са по-големи от 0.

3.2.2. Алгоритъм на най-кратък път с минимален брой възли.

Алгоритъмът за намиране на минимален брой възли се основава на алгоритъм за обхождане в ширина. При обхождането, както и при алгоритъма на Дийкстра, трябва да се запазват предшествениците, през които се преминава, за да се възстанови след това пътя между началния и краен връх.

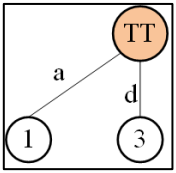
На фиг. 3.2. е представен примерен граф за илюстриране на минималните пътища между текуща точка (ТТ), в която се намира летателният апарат и крайната (целева) точка (ЦТ), до която трябва да достигне.



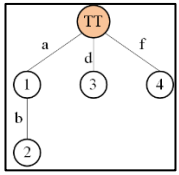
Фиг. 3.2. Граф с примерни пътища между начална и крайна точка.

3.2.3. Предлаган алгоритъм за най-кратък път по брой върхове.

Алгоритъмът за намиране на най-кратък път отнема приблизително едно и също време за намиране на един връх, който се намира на ниво близо до началния връх и такъв, който се намира на ниво, което е отдалечено от него.



Фиг. 3.4. Обхождане на граф чрез предложен алгоритъм връх ТТ-връх 3.



Фиг. 3.5. Обхождане на граф чрез предложен алгоритъм връх ТТ-връх .2

На фиг. 3.4 и 3.5 са представени обхожданията на графа съответно за намиране на минимален път между начален връх ТТ и примерни крайни върхове 3 и 2.

Предложеният подобрен алгоритъм надгражда и доразвива алгоритъма за намиране на най-кратък път по брой върхове, като се внася допълнително условие за прекратяване на обхождането.

Предлаган алгоритъм за намиране на най-кратък път по брой върхове:

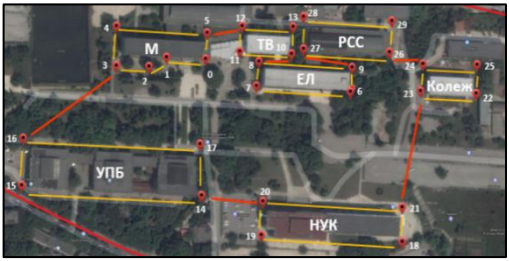
1. *Задава се начален връх Vs и се инициализират следните масиви*
   - *q[] - масив с върхове за обхождане, като първоначално Vs се добавя в списъка q[0] = Vs*
   - *usedVertexes[] - масив за съхраняване на обходени върхове*
   - *parents[] – масив за съхраняване на предшествениците*
2. *Докато в масива q[] има върхове, се изпълняват следните операции:*
   - 2.1. *Извлича се връх от началото на опашката Vp*
   - 2.2. *За всеки Vi връх, който е наследник на Vp, се изпълняват следните операции:*
   - *Ако връх Vi не е бил посещаван, се маркира като обходен в usedVertexes[]*
   - *Добавя се връх Vi в масива q[], за последващо обхождане*
   - *Връх Vp се добавя в масива на предшествениците parents[]*
   - *Ако връх Vp съвпада с крайният връх Ve, обхождането се прекратява*

3.3. Типове обхождания на обекти.

3.3.1. Обхождане на обектите при тип „Пълно обхождане“(номинален режим).

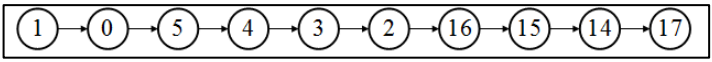
3.3.1.1. Обхождане на обекти, използвайки алгоритъм DFS.

На фиг. 3.6 е представена схема на свързване на сградите за топология „Кръг“, за която е описан алгоритъм за пълно обхождане.



Фиг. 3.6. Топология „Кръг“.

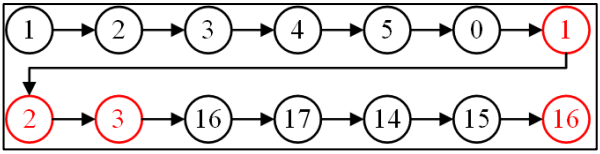
За реализиране на обхождане на сгради М и НУК, започвайки от М се прилага алгоритъм на обхождане в дълбочина (DFS). Той дава следния резултат за обхождане на сгради М и УПБ, започвайки от точка 1 (фиг. 3.7):



Фиг. 3.7. Обхождане чрез алгоритъм DFS.

3.3.1.2. Обхождане на обекти, използвайки предложен алгоритъм.

На фиг. 3.8. е представено правилното обхождане на двете сгради (М и НУК), чрез предложения алгоритъм в точка 3.1.



Фиг. 3.8. Пълно обхождане на сгради М и НУК с предложен алгоритъм.

3.4. Експериментална постановка.

Извършен е сравнителен анализ на трите алгоритъма за намиране на най-кратък път (на Дийкстра, минимален брой възли и предложен алгоритъм). Целта на анализът е оценка на дължините на намерените най-кратки пътища и оценка на времето за тяхното намиране при трите топологии на свързване на обектите (сградите) в района на ТУ Варна, представени в Глава 2.

3.4.2. Сравнителен анализ на алгоритмите за намиране на най-кратък път за намиране на маршрути при аварийно обхождане за различни топологии на свързване на обекти (сгради).

3.4.2.1. Експериментален тест 1.

За първият експериментален тест са избрани начална точка 16 от сграда НУК и крайна точка 29 от сграда РСС.

В таблици 3.1, 3.2, 3.3 са представени маршрутите за трите топологии, техните общи дължини и времената за намирането им.

Таблица 3.1. Сравнение на маршрути между точки 16 и 29, получени от алгоритъм на Дийкстра.

	Алгоритъм на Дийкстра			
Топология	**Възли(точки) в маршрут**	**Брой възли (точки)**	**Дължина на маршрута [м]**	**Време [us]**
Кръг	16 15 14 20 21 23 24 26 29	9	611.773	300
Звезда	16 3 2 1 0 5 28 29	8	417.248	216
Пълно свързване	16 29	2	380.479	293

Таблица 3.2. Сравнение на маршрути между точки 16 и 6, получени от алгоритъм с минимален брой възли.

	Алгоритъм с минимален брой възли			
Топология	**Възли(точки) в маршрут**	**Брой възли (точки)**	**Дължина на маршрута [м]**	**Време [us]**
Кръг	16 15 14 20 21 23 24 26 29	9	611.773	170
Звезда	16 3 4 5 28 29	6	425.044	188
Пълно свързване	16 29	2	380.478	204

Таблица 3.3. Сравнение на маршрути между точки 16 и 29, получени от предложен алгоритъм.

	Предложен алгоритъм			
Топология	**Възли(точки) в маршрут**	**Брой възли (точки)**	**Дължина на маршрута [м]**	**Време [us]**
Кръг	16 15 14 20 21 23 24 26 29	9	611.773	142
Звезда	16 3 4 5 28 29	6	425.044	81
Пълно свързване	16 29	2	380.478	19

3.4.2.2. Експериментален тест 2.

За вторият експериментален тест са избрани начална точка 15 от сграда УПБ и крайна точка 7 от сграда ЕЛ.

В таблици 3.4, 3.5 и 3.6 са представени маршрутите за трите топологии, техните общи дължини и времената за намирането им.

Таблица 3.4. Сравнение на маршрути между точки 15 и 7, получени от алгоритъм на Дийкстра.

	Алгоритъм на Дийкстра			
Топология	**Възли(точки) в маршрут**	**Брой възли (точки)**	**Дължина на маршрута [м]**	**Време [us]**
Кръг	15 16 3 2 1 0 5 12 11 10 8 7	12	442.429	205
Звезда	15 16 3 2 1 0 7	7	304.607	229
Пълно свързване	15 7	2	247.761	284

Таблица 3.5. Сравнение на маршрути между точки 15 и 7, получени от алгоритъм с минимален брой възли.

	Алгоритъм с минимален брой възли			
Топология	**Възли(точки) в маршрут**	**Брой възли (точки)**	**Дължина на маршрута [м]**	**Време [us]**
Кръг	15 16 3 4 5 12 11 10 8 7	10	450.225	163
Звезда	15 16 3 2 1 0 7	7	304.607	168
Пълно свързване	15 7	2	247.761	204

Таблица 3.6. Сравнение на маршрути между точки 15 и 7, получени от предложен алгоритъм.

	Предложен алгоритъм			
Топология	**Възли(точки) в маршрут**	**Брой възли (точки)**	**Дължина на маршрута [м]**	**Време [us]**
Кръг	15 16 3 4 5 12 11 10 8 7	10	450.225	150
Звезда	15 16 3 2 1 0 7	7	304.607	59
Пълно свързване	15 7	2	247.761	9

3.4.2.3. Експериментален тест 3.

За третият експериментален тест са избрани начална точка 18 от сграда НУК и крайна точка 29 от сграда РСС.

В таблици 3.7, 3.8 и 3.9 са представени маршрутите за трите топологии, техните общи дължини и времената за намирането им.

Таблица 3.7. Сравнение на маршрути между точки 18 и 29, получени от алгоритъм на Дийкстра

	Алгоритъм на Дейкстра.			
Топология	**Възли(точки) в маршрут**	**Брой възли (точки)**	**Дължина на маршрута [м]**	**Време [us]**
Кръг	18 21 23 24 26 29	6	228.899	216
Звезда	18 19 20 0 5 28 29	7	520.284	218
Пълно свързване	18 29	2	203.675	280

Таблица 3.8. Сравнение на маршрути между точки 18 и 29, получени от алгоритъм с минимален брой възли.

	Алгоритъм с минимален брой възли			
Топология	**Възли(точки) в маршрут**	**Брой възли (точки)**	**Дължина на маршрута [м]**	**Време [us]**
Кръг	18 21 23 24 26 29	6	228.899	164
Звезда	18 19 20 0 5 28 29	7	520.284	168
Пълно свързване	18 29	2	203.675	204

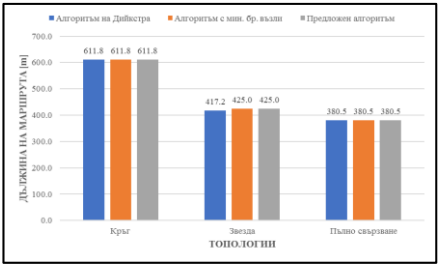
Таблица 3.9. Сравнение на маршрути между точки 18 и 29, получени от предложен алгоритъм.

	Предложен алгоритъм			
Топология	**Възли(точки) в маршрут**	**Брой възли (точки)**	**Дължина на маршрута [м]**	**Време [us]**
Кръг	18 21 23 24 26 29	6	228.899	69
Звезда	18 19 20 0 5 28 29	7	520.284	81
Пълно свързване	18 29	2	203.675	20

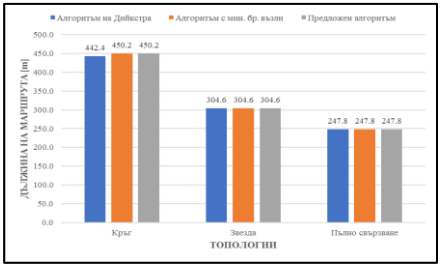
3.5. Експериментални резултати от сравнителния анализ.

3.5.1. Резултати от сравнението по дължина на най-кратките пътища.

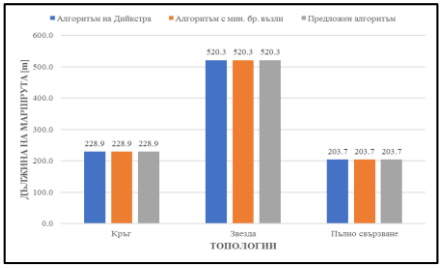
На фиг. 3.21-3.23 са представени сравнителни графики на дължините намерените най-кратки пътища от трите алгоритъма.



Фиг. 3.21. Дължини на пътищата между възли 16 и 29.



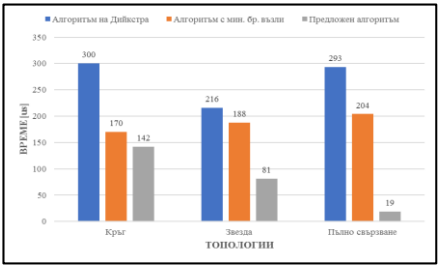
Фиг. 3.22. Дължини на пътищата между възли 15 и 27.



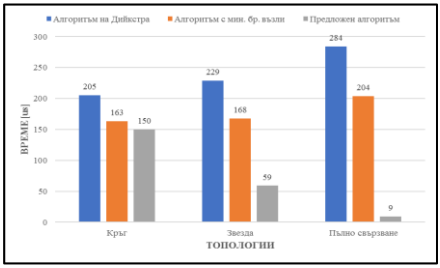
Фиг. 3.23. Дължините на пътищата между възли 18 и 29.

3.5.2. Резултати от сравнението по време на намиране на най-кратките пътища.

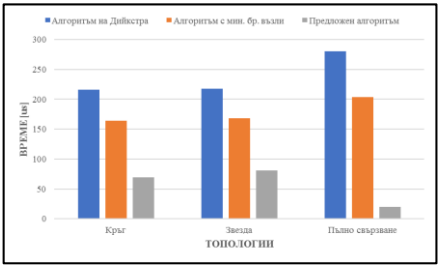
На фиг. 3.24-3.26 са представени сравнителни графики на времената на изпълнение на трите алгоритъма за експерименталните резултати от точка 3.4.2



Фиг. 3.24. Сравнение на алгоритмите спрямо времето за изпълнение при намиране на път между възли 16 и 29.



Фиг. 3.25. Сравнение на алгоритмите спрямо времето за изпълнение при намиране на път между възли 15 и 7.



Фиг. 3.26. Сравнение на алгоритмите спрямо времето за изпълнение при намиране на път между възли 18 и 29.

Изводи:

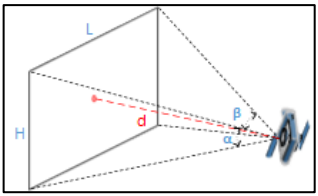
- Предложеният алгоритъм за пълно обхождане на обекти (сгради) подобрява алгоритъма на обхождане в дълбочина, отчитайки наличието на затворени контури и необходимото повторното обхождане на част от възлите.
- Предложен е подобрен алгоритъм за намиране на най-кратък път по брой на възлите. Резултатите от проведените експериментални изследвания на базата на различни топологии (кръг, звезда и пълно свързване) дават основание да се приеме, че предложеният алгоритъм за намиране на най-кратък път дава по-добри резултати по време, спрямо алгоритъма по минимален брой възли и предоставя път с по-малко маневри, спрямо алгоритъма на Дийкстра.

Глава 4. Сегментиране на обекти на области на видимост от камера.

В Глава 4 е разгледан подход за осигуряване наблюдението на обекти (сгради) посредством летателен апарат снабден с камера. Предложени са варианти на подреждане на сегментите (с и без препокриване), така че, да бъде покрита цяла страна на сградата. Предложени са методи, чиято реализация се основава на този подход.

В тази връзка, в Глава 4 е предложен метод за обхождане на обекти в тримерното пространство, при който се използва метод за сегментиране на обекти на области на видимост (сегменти). Предложен е алгоритъм за автоматично изчисляване на височината, използвайки допусканията, че летателният апарат и камерата са разположени срещу страната на обекта, с най-добра видимост.

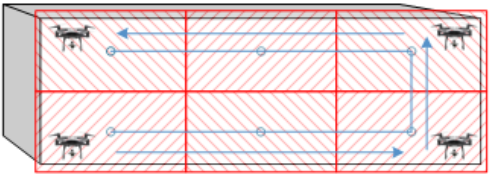
4.1. Поле на видимост на камерата (Camera Field of View (FOV)).



Фиг. 4.1. Поле на видимост на камерата.

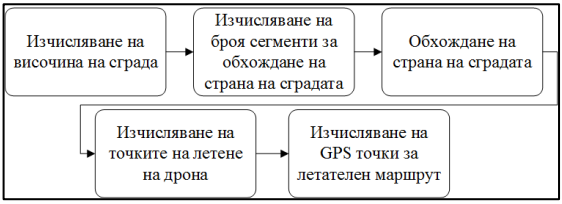
4.2. Сегментиране чрез решетка от области на наблюдение (Grid-based decomposition).

Сегментирането на изображение, посредством решетка от области на наблюдение (Grid-based decomposition) е метод за разделяне на област на наблюдение на отделни сегменти, с размерите на полето на видимост на камерата (FOVs), така че да се покрие цялата област (фиг. 4.2).



Фиг. 4.2. Сегментиране на страна на обект (сграда).

4.4. Предложен метод за обхождане на обекти в пространството.



Фиг. 4.4. Метод за обхождане на обекти в пространството.

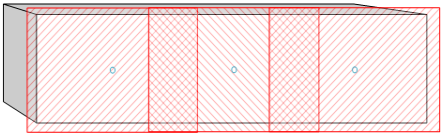
На базата на тази обобщената схема е съставен метод, който се състои от пет основни стъпки:

- Изчисляване на височина на сграда.
- Изчисляване на броя сегменти за обхождане на страна на сграда
- Обхождане на страна на сградата.
- Изчисляване на точките на летене на дрона.
- Изчисляване на GPS точки за летателен маршрут

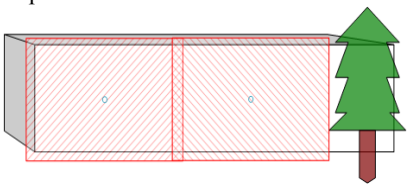
4.5. Изчисляване на брой сегменти, използвайки параметрите на конкретна реална камера.

За изчисляване броя на конкретните сегменти, които ще се използват за покриване на страна на сграда, се вземат в предвид два основни фактора:

- Размерите на страната на сградата
- Размерите на полето на видимост на камерата.



Фиг. 4.12. Подреждане на сегменти при липса на препятствия**.**



Фиг. 4.13. Подреждане на сегменти при наличие на препятствия.

На фиг. 4.12 е представено подреждането на сегментите, в случай на отсъствие на препятствия и пълна видимост на страната от камерата на летателния апарат.

На фиг. 4.13 е представено подреждането на сегментите, в случай на наличие на препятствие и покриване само на видимата част от страната.

Желателно е броят на сегментите и позициите от маршрута на летене да бъдат възможно най-малък брой, но достатъчен за осъществяване на целите на мисията.

Критериите, от които зависи това са следните:

- Минимална дистанция спрямо страната за наблюдение
- Минимален брой сегменти за покриване на страната
- Минимално препокриване на сегментите при обхождане на сградата

Препокриването на сегментите се изчислява по следната формула:

$$Ov = \frac{L_{FOV}.N_{side} - L_{side}}{N_{side} - 1}.100.\frac{1}{L_{FOV}}\ [\%], \text{където } Nside > 1 \qquad (4.11)$$

4.5.1. Предлаган метод за изчисляване на сегментите за наблюдение на сграда.

Фиг. 4.16. Предлаган метод за изчисляване на сегментите за наблюдение.

4.6. Експериментални изследвания и резултати.

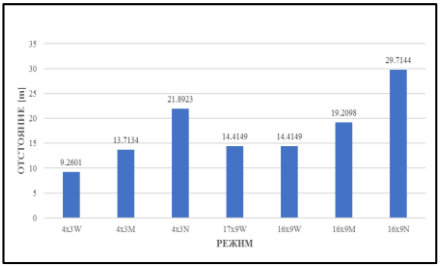
Предложеният метод за изчисляване на брой сегменти, представен в точка 4.5.1 е реализиран в създадено програмно осигуряване.

4.6.1. Експериментална постановка - тест 1.

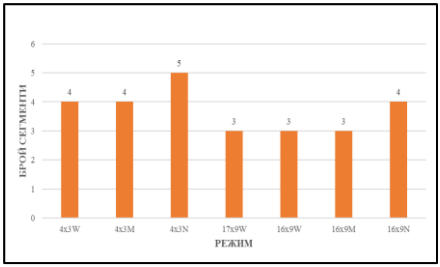
Задават се следните критерии за изчисляване на сегментите:

- Страната се покрива само от един ред сегменти - по височина, сградата попада в едно поле на видимост
- Няма ограничение в отстоянието на сградата (няма препятствия срещу страната на сградата)

Резултатите от изчисленията по предложения метод са представени на фигури 4.18-20.



Фиг. 4.18. Отстояния при различните режими.



Фиг. 4.19. Брой сегменти при различните режими.

Фиг. 4.20. Препокриване на сегменти по дължина при различните режими.

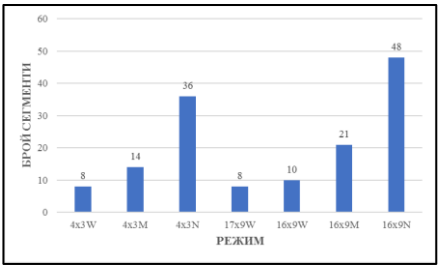
4.6.2. Експериментална постановка - тест 2.

При тази експериментална постановка се задават следните критерии:

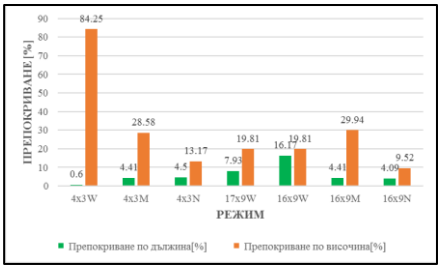
- максимално отстояние от сградата на камерата (летателния апарат)- симулира се наличието на препятствие срещу страната на сградата
- страната на бъде покрита изцяло от сегментите, независимо от препокриването им (да няма заснемане на т.нар. ”празни области“)

1. Изчисляване на сегменти при задаване на отстояние 8 м.

На фиг. 4.21 е представена графика на разпределението на броят сегменти за всички режими. На фиг. 4.2. е представена графика на препокриванията на сегментите по дължина и височина.



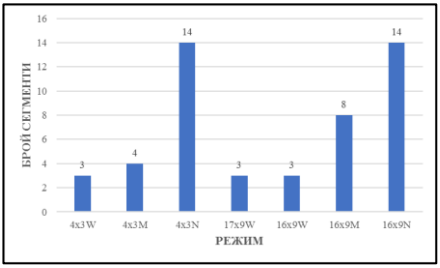
Фиг. 4.21. Брой сегменти при различните режими при разстояние 8 м.



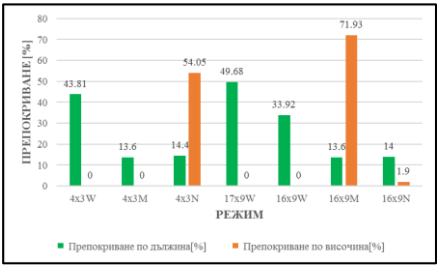
Фиг. 4.22. Препокриване на сегменти за при отстояние 8 м.

2. Изчисляване на сегменти при задаване на отстояние 15 метра.

На фиг. 4.23 е представена графика на разпределението на броят сегменти за всички режими. На фиг. 4.24 е представена графика на препокриванията на сегментите по дължина и височина.



Фиг. 4.23. Брой сегменти за различните режими при отстояние 15 м.



Фиг. 4.24. Препокриване на сегменти при отстояние 15 м.

Изводи:

- Предложен е метод за обхождане на обекти в пространството, използвайки камера на летателен апарат. Предложеният метод, позволява обхождане на обекти с различни размери, посредством автоматично изчисляване на височините им, използвайки монтираната на летателния апарат камера.
- Предложен е метод за изчисляване на броят сегменти за покриване на страна на сграда при различни режими на камера, монтирана на летателен апарат. Резултатите от проведените експериментални изследвания дават основание да се приеме, че методът предоставя възможност за определяне на оптимален режим на заснемане на камерата, с цел покриване на страна на сграда с минимален брой сегменти.

Общи изводи и заключение

В представения дисертационен труд са изследвани на възможностите за създаване на подобрени методи и алгоритми за автоматичен синтез на траекторията на движение на автономни летателни апарати, с цел автоматично пресмятане на етапите за придвижване в пространството с висока прецизност при обхождане на обекти, за нуждите на приложения, свързани с видеонаблюдение в области с множество охранявани обекти, разположени в зона, изискваща гарантирана сигурност.

Предложен е алгоритъм за синтезиране на граф в тримерното пространство, който се основава на зададени GPS координати на граничните точки на обекти (сгради). Предложеният алгоритъм предоставя възможност за определяне на текущ летателен маршрут за обхождане на обекти при различни топологии на свързване на обектите, съответстващи на различни режими на облитане: номинален или специален.

Предложен е алгоритъм за пълно обхождане на обекти (сгради), за различни топологии на свързване на обектите. Алгоритъмът подобрява алгоритъма на обхождане в дълбочина, отчитайки наличието на затворени контури и необходимото повторното обхождане на част от възлите, за достъп до следващ обект за дадена топология.

Предложен е алгоритъм за синтезиране на пътя по критерии за най-кратък път по брой възли при преход от една сграда към друга. Експериментално е показано, че предложеният алгоритъм е по-ефективен от алгоритъма на Дийкстра за три различни топологии на обхождане при двата основни режима на работа на летателния апарат – пълно обхождане на обектите и достигане на местоназначение при критична ситуация в произволна сграда.

Предложен е метод за автоматично изчисляване на броя сегменти за пълно покриване на страна на сграда, при зададени параметри и режим на камерата

Приноси на дисертационния труд

Приноси с научно-приложен характер:

- Предложен е алгоритъм за синтезиране на граф в тримерното пространство, който се основава на зададени GPS координати на граничните точки на обекти (сгради).
- Предложен е алгоритъм за пълно обхождане на обекти (сгради), и е изследван за три основни топологии на свързване на обектите .
- Предложен е алгоритъм за синтезиране на път по критерии за най-кратък път по брой възли при преход от една сграда към друга.
- Синтезиран е метод за автоматично изчисляване на броя сегменти за пълно покриване на страна на сграда, при зададени параметри и режим на камерата.

Приноси с приложен характер:

- Разработено е програмно осигуряване за автоматично синтезиране на топологията на граф, показващ оптималния път за обхождане на област с множество обекти, според зададен критерии за оптималност (минимален път) и режим на работа на летателния апарат.
- Разработено е програмно осигуряване за изчисляване броя на сегментите и последователността за обхождане, разстоянието от сградата, последователността на обхождане и др. според зададени параметри и режими на камерата.

Публикации по темата на дисертационния труд

1. Бойчев, И. Иванов С. Използване на дрон за обследване на технически обекти. СБОРНИК ДОКЛАДИ Трета научна конференция с международно участие "Компютърни науки и технологии" ТУ-Варна, гр. Варна, том 2, ISSN 1312-3335, 2015 г., стр. 102-108
2. Бойчев И. Спасова Г. Средства за радиовръзка на квадракоптер с наземна станция, СБОРНИК ДОКЛАДИ Четвърта научна конференция с международно участие "Компютърни науки и технологии" ТУ-Варна, гр. Варна, том 1, ISSN 1312-3335, 2016 г., стр. 69-75
3. Boychev I. Research algorithms to optimize the drone route used for security IEEE XXVII International Scientific Conference Electronics – ET, 2018, Sozopol, Bulgaria, 978-1-5386-6692-0 (индексирана в Scopus, цитати: 1)
4. Бойчев И., Изследване на алгоритми за обхождане наобекти, разположени в зона за сигурност СБОРНИК ДОКЛАДИ Пета научна конференция с международно участие "Компютърни науки и технологии" ТУ-Варна, гр. Варна, том 1, ISSN 1312-3335, 2018 г., стр. 151-155
5. Бойчев И. Оптимален път в граф при използване на различни топологии за обхождане на обекти в зона на сигурност СБОРНИК ДОКЛАДИ Международна научна конференция УНИТЕХ ТУ-Габрово, гр. Габрово, том II, ISSN 1313-230X, 2018 г., стр. 146-150
6. Boychev I. Automatic Graph Generation for Building Survailance with Drone Camera, XIX International Conference on Geometry, Integrability and Quantization, 2019, Varna

Специални благодарности на:
проф. д-р инж. Тодор Ганчев, доц. д-р инж. Христо Вълчанов, моето семейство и на всички, които са били съпричастни към моята дисертационна работа.

ABSTRACT

Dissertation Title: Design and research of a remote and mobile object management system
of the Requirement for the Degree Doctor of Philosophy
by Iliyan Zhivkov Boychev

The development of computer engineering leads to increasing automation of production processes and reduced human participation in them, as it comes down to monitoring and maintenance of systems. Algorithms for managing these systems are evolving to the extent that systems self-manage or make decisions based on artificial intelligence.

The ability to attach a camera to aircraft makes them an invaluable helper in applications requiring real-time monitoring. To ensure their purpose, two fields of science are developing in parallel:

• Development of methods for navigation and route planning of the aircraft.

• Development of methods for recognizing objects from images taken by the camera of the aircraft

In the present dissertation, aircraft are used in the context of an application to provide surveillance of buildings in a large security area. The developments and experimental statements considered in this dissertation are aimed at exploring the possibilities for crawling and monitoring of many buildings located on the campus of the Technical University of Varna.

Chapter 1 provides an overview of existing aircraft and their classification according to various criteria, navigation methods and route planning.

Chapter 2 presents an algorithm for creating a graph in the three-dimensional space for crawling buildings. Two algorithms for finding the shortest path in a graph are compared, on three topologies of connecting part of the buildings in the area of TU-Varna. Experimental studies have been conducted and results have been presented on finding the shortest paths for three different topologies and three different algorithms.

Chapter 3 presents two regimes of crawling the buildings in the area of TU-Varna, typical for

(a) an emergency situation, i.e. when indicating problems in a specific location and

(b) a nominal regime of crawling of sites in the surveillance zone.

Both modes use different strategies to calculate the shortest path. Experimental studies have been performed and results have been obtained with different methods for finding the optimal traversal path in both modes of operation of the aircraft.

Chapter 4 presents a method for segmenting the image when crawling a building depending on the perceptual range of the drone camera. A method for calculating the required number of segments to cover one side of the building under different optimality criteria is presented. Experimental studies were performed and results were obtained at different sizes of the perceptual range and camera resolution modes.