Р Е Ц Е Н З И Я

върху дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „доктор”

Автор на дисертационния труд: **ас. инж. Илиян Живков Бойчев**

Тема на дисертационния труд:

“Проектиране и изследване на система за управление на отдалечени и подвижни обекти"

Рецензент: **проф. д.т.н. Андон Димитров Лазаров, ВВМУ Н. Вапцаров, Варна**.

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научно-приложно отношение

Безпилотните летателни апарати (БЛА) в техния миниатюрен вариант (quadra-copters и eight-copters) съществено разширяват областта на своето приложение. Първоначално, тези системи се използват във военната сфера, особено в разузнаването, целеуказването, позициониране и управление на стрелбата на артилерийските огневи системи. В момента, БЛА масово се използват в цивилния сектор за наблюдение, контрол, документиране на събития, фотографиране на големи площи, измервания във фотограметрията, геодезията и топографията, заснемане на филми и събития, в логистиката, транспорта и др.). За ефективното използване на БЛА се разработват методи за навигация и планиране на пътя на летателния апарат и методи за разпознаване на образи на обекти в изображения, получени от камерата на летателния апарат. Тези особено актуални научно-приложни области са във фокуса на дисертационния труд и определят основните негови цели и задачи.

Цел:
Разработване на методи и алгоритми за автоматизирано и прецизно изчисление на траекторията на движение и позициониране на автономни летателни апарати при обхождане на обекти в охранявана зона.

Задачи:
1. Анализ и модификация (оптимизация) на методите и алгоритмите за изчисление на оптимален път при различни режими на обхождане на множество обекти с различна топология на свързване по летателен маршрут, представен чрез граф, в който се определя оптималният път за обхождане.
2. Анализ и модификация (оптимизация) на методите и алгоритми за сегментиране на изображения на обекти и определяне траекторията и етапите на придвижване на автономен летателен апарат, съгласно техническите възможности на видеокамерата, монтирана на автономния летателен апарат, с цел осигуряване на цялостно обхождане и наблюдение на охранявани обекти и откриване на екстраординарни състояния и събития.

2. Степен на познаване състоянието на проблема и творческа интерпретация на литературния материал

В дисертационния труд отсъства критичният анализ, тематично ориентиран, на литературните източници, отразяващи експерименталните и теоретичните изследвания в областта на навигацията на БЛА и сегментация на получените изображения. Авторът прави обзор на системите за проследяване на отдалечени обекти и привежда различни класификации на безпилотните летателни апарати, методите за управление и насочване, както и класификация на системите за навигация и управление. От анализа в обзорната част се прави извод, че авторът познава предмета на изследване, а големият брой литературни източници, използвани в списъка на използваната литература, отразява широка област от методи и алгоритми, намерили място в дисертационния труд като модифицирани или оптимизирани. Това дава основание да се твърди, че авторът познава състоянието на проблема и предлага творческа интерпретация на литературния материал по темата, разработвайки методите и алгоритмите в отделни части на дисертационния труд. Логическо следствие от научния обзор е дефиниране на целите и задачите на дисертационния труд.

3. Съответствие на избраната методика на изследване с поставените цел и задачи на дисертационния труд

За постигане на целта и решение на дефинираните задачи в дисертационния труд се прилага методика на изследване, която включва: моделиране на траектории с езика на графите; анализ и синтез на оптимални траектории на обхождане и наблюдение на географски район; геометрична сегментация на областта на наблюдение и обектите в съответствие със техническите характеристики на камерата за видеонаблюдение; планиране и провеждане на полеви експеримент.

4. Кратка аналитична характеристика на естеството и оценка на достоверността на материала, върху който се градят приносите на дисертационния труд

В съответствие с дефинираната цел и формулираните задачи дисертационният труд е структуриран в четири части. В първа част е направена класификация на безпилотните летателни апарати, методите и системите за тяхното управление. Особено място заема аналитичното описание методите и алгоритмите за планиране траекторията на безпилотната системата за наблюдение, като алгоритми, базирани на дискретизация на траекторията (sampling based algorithms), на възли (node based algorithms), на математически модели, невронни и еволюционни алгоритми и др. както и различни алгоритми за декомпозиция на пространството и т.н. Акцент е направен върху декомпозициите на работното пространство на летателния апарат и методите на обхождане при планиране на траектория с максимално покритие (coverage path planning).
Във втора част се анализират основните стъпки на алгоритмите за построяване на граф в тримерно пространство за определяне на маршрут на полета на летателния апарат в зависимост от топологията, свързваща обектите на наблюдение. Дефинирани са GPS координати на граничните точки на наблюдаваните обекти, тяхното преобразуване в Декартови координати и

Евклидовото разстояние между две съседни точки в тримерното пространство. Графът на траекторията се описва с матрицата на съседство на възлите. Представена е **UML** (Unified Modeling Language) диаграма на класовете, съставящи крайния ориентиран граф на маршрута на летателния апарат, като подробно са описани класове GPSPoint, Node и Graph. Представени са топологиите на свързване на отделните обекти в зоната на наблюдение от летателния апарат: кръг, звезда и пълен граф. Топологиите са дефинирани в конкретен географски район, представени с матрицата на съседство, показваща наличието или отсъствието на свързващи дъги на графа. При определени критерии (брой възли в графа, общ брой на съседните възли, общ брой на разстояния в списъците, общ брой елементи в списъците, заемана памет в Bytes) е направен сравнителен анализ на матриците на съседство на отделните топологии.

В трета част са представени основните режими на обхождане (номинален и екстраординарен), използвани за наблюдение на конкретен географски район. При номинален режим на обхождане, акцент е направен върху метода на пълното обхождане, дефиниран с пълен граф. В екстраординарен режим са приложени два алгоритъма за намиране на най-кратък път в графа - алгоритъм на Dijkstra и алгоритъм за намиране на най-кратък път с минимален брой възли. Разработен и е направен анализ на алгоритъма на Dijkstra. Разработен и е направен анализ на алгоритъма за определяне на най-кратък път с минимален брой възли.

При номинален режим на пълно обхождане, представено с пълен граф са разработени и реализирани два алгоритъма – в дълбочина (Depth-First-Search) и в ширина (Breadth-First-Search).

При екстраординарен режим на „аварийно обхождане“ (специален режим) се прилага алгоритъм на аварийно обхождане, при който се изчислява най-краткият път между начална и целева точка от траекторията на летателния апарат.

Проведени са експерименти с реализация на трите топологии, графи, матрици на съседство и алгоритми на обхождане. Създаден е програмен продукт на език C++ в среда Visual Studio 2019. Използва се преносим компютър с процесор Intel Pentium Dual Core T4200, 4GB RAM памет, операционна система Windows 7x64.

Построен е крайният граф на всяка една от топологиите на маршрута – кръг, звезда и пълен граф за наблюдавания географски район.

Направен е сравнителен анализ на алгоритмите за намиране на най-кратък път в маршрути при аварийно обхождане за различни топологии на свързване на обектите (кръг, звезда, пълно свързване) чрез три експериментални теста в географския район.

В четвърта част е предложен метод за обхождане на обекти в тримерното пространство чрез сегментиране на обекта на наблюдение на области на видимост (fields of view) (сегменти) в съответствие със зрителното поле на камерата на летателния апарат и съставяне на път на обхождане на обекта. Предложен е алгоритъм за изчисляване на височината на наблюдаваните обекти, при допускане, че летателният апарат и камерата са разположени срещу страната на обекта, с най-добра видимост.

Разработено е програмно осигуряване, с което се симулира зрителното поле на камерата на летателен апарат. Извършен е числен експеримент при различни степени на припокриване на сегментите и различни режими на камерата. Решени са следните задачи: сегментирането на обекта на наблюдение, посредством решетка от области на наблюдение (Grid-based decomposition) с размера на

зрителното поле на камерата (FOVs), така че да се покрие цялата област на наблюдение. Съставен е алгоритъм за обхождане в тримерното пространство, включващ изчисляване на височината на обекта, броя на сегментите в съответствие с размера на стената на обекта и параметрите на камерата, GPS координати на маршрута и т.н.
Проведени са експериментални изследвания (два експериментални теста) за оптимизиране режима на наблюдение на камерата, определяне на броя, размерите и разпределението на сегментите, покриващи страна от обекта на наблюдение.

5. Научно-приложни приноси на дисертационния труд:

1. Направена класификация на: безпилотните летателни апарати; методите и системите за тяхното управление; методите и алгоритмите за определяне на траекторията на безпилотната системата за наблюдение; алгоритмите, базирани на: дискретизация на траекторията (sampling based algorithms) и на възли (node based algorithms); математическите модели, невронните и еволюционни алгоритми и алгоритмите за декомпозиция (сегментация) на пространството на наблюдение.
2. Разработени и реализирани са два алгоритъм на обхождане: в дълбочина (Depth-First-Search) и в ширина (Breadth-First-Search), приложени при номинален режим на пълно обхождане, представен с пълен граф.
3. Разработени и реализирани са два алгоритъма за намиране на най-кратък път в графа - алгоритъм на Dijkstra и алгоритъм за намиране на най-кратък път с минимален брой възли, приложени при екстраординарен режим.
4. Разработен е метод за обхождане на обекти в тримерното пространство чрез сегментиране на обекта на наблюдение на области на видимост (fields of view) - сегменти в съответствие със зрителното поле на камерата на летателния апарат и е съставен път на обхождане на обекта.
5. Предложен е алгоритъм за изчисляване на височината на наблюдаваните обекти, при допускане, че летателният апарат и камерата са разположени срещу страната на обекта, с най-добра видимост.

Приносите в дисертационния труд следва да се разглеждат като обогатяване на съществуващите методи и алгоритми за съставяне на оптимални траектории за дистанционно видеонаблюдение от БЛА с отчитане на специфичните топологии на свързване на наблюдаваните обекти.

Приложни приноси

1. Разработено е програмно осигуряване, с което се симулира зрителното поле на камерата на летателен апарат и е извършен числен експеримент при различни степени на припокриване на сегментите и режими на камерата.
2. Разработен е алгоритъм за сегментирането на обекта на наблюдение, посредством решетка от области на наблюдение (Grid-based

decomposition) с размера на зрителното поле на камерата (FOVs), покриваща цялата област на наблюдение.

3. Съставен е алгоритъм за обхождане в тримерното пространство, включващ изчисляване на височината на обекта, броя на сегментите в съответствие с размера на стената на обекта и параметрите на камерата, GPS координати на маршрута и т.н.
4. Проведени са експериментални изследвания за оптимизиране режима на наблюдение на камерата, определяне на броя, размерите и разпределението на сегментите, покриващи страна от обекта на наблюдение.

6. Оценка за степента на личното участие на дисертанта в приносите.

Публикациите по темата на дисертационния труд, специфичният тематичен анализ, числени и експериментални резултати от тракторните измервания и позициониране на летателния апарат при обхождане на конкретен географски район са безспорно доказателство за висока степен на лично участие на автора в постигане на резултати с научно-приложна стойност.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд

Научно-приложните приноси в дисертационния труд са отразени в 6 публикации, от тях 2 са на английски език, публикувани в сборници на международни конференции, проведени в България, а останалите 4 - в сборници-трудове на ТУ – Варна. Това подкрепя убеждението, че резултатите с висока приносна стойност, получени в дисертационния труд са публично огласени.

8. Използване на резултатите от дисертационния труд в научната практика
Проведените експерименти в района на реален географски обект и представените резултати от видеонаблюдението с безпилотен летателен апарат са безспорно доказателство за приложимостта на резултатите от дисертационния труд в научната практика.

9. Оценка на съответствието на автореферата с изискванията за изготвянето му, както и на адекватността на отразяване на основните положения и приносите на дисертационния труд.

Авторефератът, илюстриран с цветни топологии, графики и диаграми съответства на изискванията за неговото изготвяне и отразява съдържанието и приносите на дисертационния труд.

10. Мнения, препоръки и критични бележки.
Положен е много труд за да се проведат проучвания, изследвани, анализ и синтез. Получени са много експериментални данни, създадени са модели, предложени са методи и алгоритми. Авторът демонстрира информираност, компетентност способност да решава сложни задачи по навигацията на безпилотен летателен апарат, използван за целите на наблюдение и превенция от проникване. Трудът им висока научна и практическа стойност. Всички забележки за корекция на текста, формулировката на изводите и неточности при

предварителната оценка на труда, са отчетени от автора в дисертационния труд, представен за рецензиране.

Изводи:

1. За рецензиране е представен дисертационен труд, актуален като тема и завършен като поставени и решени задачи, с ясно открояващи се приноси с научно-приложен характер. Дисертационният труд по обем, пълнота и задълбоченост на решените задачи отговаря напълно на изискванията за присъждане на образователна и научна степен „доктор".
2. В дисертационния труд се разработва оригинална методика за наблюдение на обекти с видеокамери, монтирани на безпилотни летателни апарати, с което се защитава научната страна на докторската степен.

Изложеното дава достатъчно основание да се твърди, че дисертационният труд напълно отговаря на изискванията на закона за развитие на академичния състав. Давам безрезервно своята положителна оценка и убедено предложение за присъждане на образователната и научна степен „доктор" на инж. Илиян Живков Бойчев по докторска програма „Компютърни системи, комплекси и мрежи" и професионално направление: 5.3 „Комуникационна и компютърна техника"

.

Рецензент: Проф. д.т.н.....(А. Д. Лазаров)

Дата: 07.06.2020 г.