Ministry of Higher Education and
Scientific Research
University of Mosul
College of Computer Science and
Mathematics
Department of Computer Science

A Framework for Measuring Drone Resource Consumption in Complex Network

**A Thesis Submitted to the Council of the College of
Computer Science and Mathematics
University of Mosul
as a Partial Fulfillment of Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy in
Computer Science**

By

Ahmed Yaseen Kamel Younis

Supervised by

Asst. Prof. Dr. Basim Mohammad Mahmood Ali

2025 A.D. **1446 A.H.**

Abstract

Autonomous coverage path planning is a critical challenge to drones' applications such as environmental monitoring, rescue operations, and infrastructure inspection. The ultimate goal of path planning is to ensure that an entire area is systematically and efficiently navigated and covered while minimizing drone resources consumption (e.g., energy and time). Traditional approaches such as Spiral and Boustrophedon have issues. For instance, spiral paths might leave gaps near the boundaries, while Boustrophedon paths can result in an excessive travel distance due to frequent turns. Additionally, the lack of integration with environmental network models often leads to suboptimal paths and inefficient coverage. Moreover, adopting approaches that are able to handle critical or emergency tasks is also considered an issue because most of the available approaches lack the integration with tasks scheduling algorithms.

This thesis designed an environment for drone simulations that imitated real-life situations in terms of geographical features and obstacles. The proposed design was transformed into a network model using concepts inspired by complex networks. The model alongside its calculations was embedded into the drones before missions. Moreover, the thesis suggested an algorithm for drone coverage path planning by combining concepts inspired by Boustrophedon, and Spiral algorithms as well as concepts inspired by complex networks. The proposed integrated algorithm alongside the other two algorithms were simulated using Unreal Engine, AirSim Anaconda, and Python programming. In the experiments, four drones were involved and used the algorithms considered in this thesis. For testing and optimization purposes, four different flying heights (10m, 20m, 30m, and 40m) were used. Since the simulations have a dynamic nature, each experiment was performed for five runs aiming at having more accurate results. Moreover, the assessment of the algorithms was performed using two indicator metrics namely; energy consumption, time consumption, coverage areas, and safety. For reflecting real-life situations, the proposed algorithm was assessed in a windy weather condition. Furthermore, this thesis introduced a framework that integrated the three drone path planning algorithms with three task scheduling algorithms (First Come First Serve (FCFS), Shortest Process First (SPF), and Priority). This combination was

assessed using four indicator metrics, namely, energy consumption, time consumption, stability, and frequency of missed deadline tasks.

This thesis's results and evaluation showed that the designed environment was highly useful due to its ability in providing real-life scenarios for drones during missions. Other findings proved that the suggested algorithm outperformed the benchmarking. The experiments also showed that the optimal flying height was 40m. Also, wind speed that is 20 and over caused the drone to be crashed. Yet, more results showed that high wind speed has a significant impact on the overall performance of the drones in terms of energy and time consumption. Furthermore, the proposed framework demonstrated that the combination of the proposed algorithm and SPF scheduling algorithm consistently excelled in performance, which makes it ideal for most applications including emergency drone applications. Finally, in the Priority algorithm, drone coverage path planning developers need to understand and comprehend the environment before assigning priorities to tasks aiming at not missing their deadlines.

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة الموصل
كلية علوم الحاسوب والرياضيات
قسم علوم الحاسوب

إطار عمل لقياس استهلاك موارد الطائرات بدون طيار في الشبكات المعقدة

اطروحة مقدمة
الى مجلس كلية علوم الحاسوب والرياضيات في جامعة الموصل
كجزء من متطلبات نيل شهادة دكتوراه فلسفة في
علوم الحاسوب

من قبل
احمد ياسين كامل يونس

بإشراف
أ.م. د. باسم محمد محمود علي

١٤٤٦هـ ٢٠٢٥م

الخلاصة

يُمثل تخطيط مسار التغطية المستقل تحديا بالغ الأهمية لتطبيقات الطائرات بدون طيار، مثل مراقبة البيئة وعمليات الإنقاذ وفحص البنية التحتية. ويتمثل الهدف النهائي من تخطيط المسار في ضمان التنقل في منطقة بأكملها وتغطيتها بشكل منهجي وفعال، مع تقليل استهلاك موارد الطائرات بدون طيار (مثل الطاقة والوقت). وتُواجه الأساليب التقليدية، مثل (Spiral) و(Boustrophedon)، بعض المشكلات. فعلى سبيل المثال، قد تُخلّف المسارات الحلزونية في الاولى فجوات بالقرب من الحدود، بينما قد تُؤدي مسارات الثانية إلى مسافة سفر طويلة جدا بسبب الانعطافات المتكررة. بالإضافة إلى ذلك، غالبا ما يؤدي عدم التكامل مع نماذج الشبكة البيئية إلى مسارات دون المستوى الأمثل وتغطية غير فعّالة. علاوة على ذلك، يُمثل اعتماد أساليب قادرة على التعامل مع المهام الطارئة مشكلة أيضا، لأن معظم الأساليب المتاحة تفتقر إلى التكامل مع خوارزميات جدولة المهام.

طورت هذه الأطروحة بيئة لمحاكاة الطائرات بدون طيار تُحاكي مواقف الحياة الواقعية من حيث المعالم الجغرافية والعوائق. وتم تحويل التصميم المقترح إلى نموذج شبكة باستخدام مفاهيم مستوحاة من الشبكات المعقدة. وتم طمر النموذج، إلى جانب حساباته، في الطائرات بدون طيار قبل المهام. علاوة على ذلك، اقترحت الرسالة خوارزمية لتخطيط مسار تغطية الطائرات بدون طيار من خلال الجمع بين المفاهيم المستوحاة من خوارزميات (Spiral) و (Boustrophedon) بالإضافة إلى المفاهيم المستوحاة من الشبكات المعقدة. تمت محاكاة الخوارزمية المدمجة المقترحة إلى جانب الخوارزميتين الأخريين باستخدام محرك Unreal Engine و AirSim وبرمجة Python. في التجارب، تم توظيف أربع طائرات بدون طيار واستخدمت الخوارزميات التي تمت مناقشتها في هذه الرسالة. لأغراض الاختبار والتحسين، تم استخدام أربعة ارتفاعات طيران مختلفة (١٠ أمتار و٢٠ مترا و٣٠ مترا و٤٠ مترا). نظرا لأن عمليات المحاكاة ذات طبيعة ديناميكية، فقد أجريت كل تجربة لخمس جولات بهدف الحصول على نتائج أكثر دقة. علاوة على ذلك، تم إجراء تقييم الخوارزميات باستخدام مقياسين للمؤشرات هما: استهلاك الطاقة واستهلاك الوقت ومناطق التغطية والسلامة. لتعكس مواقف الحياة الواقعية، تم تقييم الخوارزمية المقترحة في حالة طقس عاصف. علاوة على

ذلك، قدمت هذه الأطروحة إطار عمل يدمج خوارزميات تخطيط مسارات الطائرات بدون طيار الثلاث مع ثلاث خوارزميات لجدولة المهام(First Come First Serve (FCFS), Shortest Process First (SPF), and Priority). تم تقييم هذا المزيج باستخدام أربعة مقاييس مؤشرية، وهي استهلاك الطاقة واستهلاك الوقت والاستقرارية وتنفيذ المهام في الموعد النهائي (Deadline). أظهرت نتائج هذه الأطروحة وتقييمها أن البيئة المصممة كانت مفيدة للغاية نظرا لقدرتها على توفير سيناريوهات واقعية للطائرات بدون طيار أثناء المهام. أثبتت نتائج أخرى أن الخوارزمية المقترحة تفوقت في الأداء على معايير المقارنة. أظهرت التجارب أيضًا أن ارتفاع الطيران الأمثل كان ٤٠ مترا. كما تسببت سرعة الرياح التي تبلغ ٢٠ مترا فأكثر في تحطم الطائرة. ومع ذلك، أظهرت المزيد من النتائج أن سرعة الرياح العالية لها تأثير كبير على الأداء العام للطائرات بدون طيار من حيث استهلاك الطاقة والوقت. أظهر الإطار المقترح ايضا أن الجمع بين الخوارزمية المقترحة وخوارزمية جدولة SPF يتفوق باستمرار في الأداء، مما يجعله مثاليا لمعظم التطبيقات بما في ذلك تطبيقات حالات الطوارئ. أخيرا، في خوارزمية الأولوية، يحتاج مطورو تخطيط مسار تغطية الطائرات بدون طيار إلى فهم البيئة واستيعابها قبل تعيين الأولويات للمهام بهدف عدم تفويت المواعيد النهائية الخاصة بتنفيذ المهام.