

استخدام الروبوت الطائر في عمليات التوزيع

صلاح الهادي ابوحريبة

المعهد العالي للعلوم والتقنية بالزاوية

sabohrba@ymail.com

الملخص

في السنوات الأخيرة ازداد بشكل سريع استخدام الروبوت الطائر في بلدان العالم وذلك لاتجاه العالم نحو أتمتة العمليات المختلفة المحيطة بنا في كافة المجالات، ومن هذه المجالات عملية توزيع الأشياء من المخازن إلى الزبائن والتي تعرف بعملية التوزيع النهائي (Last mile delivery).

في هذه الورقة سيتم دراسة استخدام الروبوت الطائر في مجال التوزيع من جانب الأفضلية (Optimization)، حيث يتم تحديد المسارات الأفضل للروبوت أثناء عملية التوزيع ومقارنتها مع طريقة التوزيع التقليدية باستخدام عربة التوزيع. تم نمذجة المسألة رياضياً ومن ثم إيجاد الحل لها باستخدام خوارزمية الجار الأقرب. تم استخدام برنامج الماتلاب (MATLAB) لتنفيذ الخوارزمية وقد أظهرت النتائج المتحصل عليها أن استخدام الروبوت الطائر في عملية التوزيع يقلل من زمن التوزيع والذي بدوره يقلل من تكلفة التوزيع ويجعل عملية التوزيع تتم بطريقة آلية.

الكلمات المفتاحية: الروبوت الطائر -مسألة توجيه الروبوت -نظام التوزيع -خوارزمية الجار الأقرب

Abstract

In recent years, the use of flying robot is increasing speedy in everyday life due to movement to automated processes in various area of life. One of this field is the last mile delivery where, the goods distributed from the warehouse to the customers.

In this paper, we will study the use of flying robot in the delivery system considered as an optimization problem. The optimal route will be find when the flying robot do the delivery task and comparing with the delivery truck. The mathematic model of the

problem was derived and solved by nearest neighbor algorithm. The algorithm was implemented in MATLAB and the result show that the use of flying robot will decreasing the serves time, which will reduce the delivery, cost and make the delivery Process as an automated system.

Keywords: flying robot; Drone routing problem; delivery system; nearest neighbor algorithm.

المقدمة

بدأت في السنوات القليلة الماضية الطائرات بدون طيار (Unmanned Arial Vehicle) والتي يطلق عليها أيضا (Drone) وتسمى بالروبوت الطائر تلاقي اهتماما كبيرا من الدراسة والبحث في العديد من المجالات العسكرية والمدنية وذلك لما تتميز به من موثقيه وكفاءة عالية في التقليل من الوقت والجهد في أداء الأعمال المختلفة. بدأ استخدام هذه الطائرات فعليا في العديد من التطبيقات المدنية مثل مراقبة المناخ، و البحث و الإنقاذ، و مراقبة حركة المرور و كذلك إدارة و مراقبة الأماكن الخطرة و العديد من التطبيقات الأخرى [1][2][3]. ويمكن تعريف الروبوت الطائر بأنه عبارة عن طائرة تستطيع الطيران بدون طيار يقوم بقيادتها من داخلها وإنما يمكن التحكم فيها عن بعد بواسطة محطة أرضية يقوم بتشغيلها طيار ارضي أو يتم التحكم فيها آليا عن طريق حاسوب قابل للبرمجة مركب بداخلها[4].

تتميز هذه الطائرات بقدرتها على الطيران على ارتفاعات منخفضة مع إمكانية المناورة مما يجعلها تتجنب الاصطدام بالعوائق في طريقها.

إحدى أنواع الروبوتات الطائرة يطلق عليه متعدد المحركات (Multi-copter) كما هو موضح في الشكل (1) وهو من النوع الدوار (Rotary craft) ويتميز بعدة ميزات منها:

- بساطة التركيبة الميكانيكية
- المناورة العالية عند أداء العمل وعند الهبوط
- العلاقة المثالية ما بين حمولته والوزن الكلي للروبوت
- الإقلاع والهبوط بشكل عمودي في أماكن ضيقة



الشكل (1): الروبوت الطائر متعدد المحركات (Multi-copter)

هذه المميزات جعلت من الروبوت الطائر الخيار الأفضل للعديد من الشركات العاملة في مجال التوزيع لاستخدامه في نظام التوزيع (Delivery system) ، في المقابل فان العديد من الخطوات قد اتخذت من قبل هذه الشركات للتقليل من عملية التلوث البيئي بسبب أنظمة التوزيع التقليدية و ذلك باستخدام أنواع أخرى من مصادر الطاقة الخضراء و التي تكون آمنة في استخدامها على البيئة مثل استخدام العربات الكهربائية. أضف إلى ذلك فان الازدحام المروري وخاصة في فترة الذروة جعل العربات المستخدمة في التوزيع لا تستطيع الوصول إلى كل الأماكن بسهولة ويسر [5]. لتلك الأسباب المذكورة آنفاً فان استخدام الروبوت الطائر في عملية التوزيع يكون مناسباً عملياً ويساهم في تحسين عملية التوزيع وتقليل تكلفتها.

هناك العديد من شركات الخدمات البريدية في العالم تعمل اليوم على استخدام الروبوت الطائر في عملية التوزيع. فشرية DHL هي من الشركات العالمية في مجال الخدمات البريدية قامت باختبار الجيل الثالث من روبوتات التوزيع الطائرة والمسماة (Parcel-copter) كما هو موضح في الشكل (2). حيث يستطيع الطيران بسرعة تصل الي 70 Km/h ومسافة تصل 8.3 Km وبحمولة تصل الي 2.2 Kg. هذه الروبوتات تستطيع القيام بعملية التوزيع في زمن مقداره 8 min و الذي كان يستغرق 30 min عند استخدام عربات التوزيع التقليدية [6].



الشكل (2): الروبوت (Parcel-copter) لشركة DHL

شركة Amazon قامت باختبار روبوت طائر يستخدم في عملية التوزيع يستطيع الطيران على ارتفاع 122m وبحمولة تصل الي 2.3 Kg وسرعة حتى 88 Km/h ويستخدم هذا الروبوت نظام GPS لتحديد مواقع الزبائن ضمن مدى يصل إلي 24 Km [7]. في سنغافورة بدء اختبار استخدام الروبوت الطائر في عملية التوزيع عن طريق الشركة الوطنية للخدمات البريدية (National Postal Service) حيث تم استخدام الروبوت الطائر في خدمات توصيل الرسائل إلي جزيرة صغيرة تسمى (Pulau Vbin) تقع إلي الشمال الشرقي من الجزيرة الرئيسية لسنغافورة حيث استطاع الروبوت الطيران لمسافة 2.3 Km في رحلة استغرقت تقريباً 5 min [8].

في الصين فان شركة التجارة العملاقة قامت بتطوير واختبار سبعة أنواع مختلفة من الروبوتات لاستخدامها في مجال خدمات التوزيع شكل (3)، هذه الانواع من الروبوتات تستطيع توزيع حمولة ما بين 5-30 Kg و بسرعة طيران تصل الي 100 Km/hr [9].

في المقابل فان هناك بعض الدراسات قامت بإجراء بعض الحسابات للمقارنة بين استخدام الروبوت الطائر و الطريقة التقليدية المستخدمة منذ عقود في عملية التوزيع و خلصت إلي إن استخدام الروبوت يكلف تقريبا 10cents لكل 2 Kg في مدى 10 Km ، في

المقابل فان استخدام الطرق التقليدية يكلف تقريبا 60 cents لكل قطعة. لذلك فان استخدام الروبوت الطائر يعتبر ملائم اقتصاديا لأنظمة التوزيع [10].



الشكل (3) الروبوتات المختلفة للشركة التجارة الصينية

مسألة توجيه الروبوت:

تعتبر مسألة توجيه الروبوت من مسائل الأفضلية (Optimization) المهمة في مجال التوزيع و تشبه إلي حد ما مسألة توجيه العربة (Vehicle Routing Problem) [11] مع إضافة بعض القيود إلي مسألة توجيه الروبوت.

تعرف مسألة توجيه الروبوت بأنه يوجد عدد M من الروبوتات في مستودع التوزيع، و يوجد مجموعة N من الزبائن يراد زيارتها. كل زبون يتم زيارته مرة واحدة بواسطة روبوت واحد و له طلبه معينة g_i ، كل روبوت له حمولة معينة Q^m و كذلك أقصى زمن للطيران t^m ، المطلوب هو إيجاد أفضل مسار (المسار الأقصر) لكل روبوت و كذلك عدد الروبوتات المستخدم بحيث يتم زيارة كل الزبائن مرة واحدة و العودة إلي مستودع التوزيع. يتم دراسة مسألة توجيه الروبوت تحت الفرضيات التالية:

- الروبوتات المستخدمة تكون متماثلة.

- أقصى حمولة للروبوتات محدودة.
- طلبات الزبائن معروفه مسبقاً وهي متساوية.
- أما القيود فتتلخص في التالي:
- كل الروبوتات تبدأ رحلتها وتنتهي في مستودع التوزيع.
- كل زبون يتم زيارته مرة واحدة بواسطة روبوت واحد.
- الطلبية الكلية لكل مسار يجب ألا تتجاوز أقصى حمولة للروبوت.
- شحنة البطارية يجب أن تكون كافية لرجوع الروبوت إلى المخزن بعد عملية التوزيع.

النموذج الرياضي لمسألة توجيه الروبوت

لكي يتم الحصول علي النموذج الرياضي لمسألة توجيه الروبوت للحصول علي اقل زمن لخدمة الزبائن ، و يتم تمثيل المسألة بالمخطط $G = (V, A)$ حيث $V = (0, 1, \dots, N)$ تمثل العقد و هي هنا مواقع الزبائن المراد خدمتهم و العقدة 0 تمثل موقع مستودع التوزيع، بينما $A = \{(i, j) : i, j \in V, i \neq j\}$ تمثل الأضلاع ما بين العقد، و تمثل d_{ij} مصفوفة المسافات للانتقال بين العقد و هي مصفوفة متماثلة أي أن؛ $d_{ij} = d_{ji}$ ، و يمكن إيجاد دالة الهدف (1) للحصول علي اقل زمن للروبوت عندما ينطلق من المخزن إلي أن يصل إلي الزبائن المراد خدمتهم ثم الرجوع مرة أخرى إلي المخزن مع الأخذ في الاعتبار مجموعة من القيود:

$$\min \sum_{\substack{i \in N_0 \\ i \neq j}} \sum_{j \in N_0} t_{ij} x_{ij} = \min \sum_{\substack{i \in N_0 \\ i \neq j}} \sum_{j \in N_0} \left(\frac{d_{ij}}{v} + \lambda_j \right) x_{ij} \quad (1)$$

حيث t_{ij} تمثل الزمن الكلي المطلوب للإقلاع من المخزن ثم الوصول إلي الزبون و تقديم الخدمة له ثم الرجوع الي المخزن. و تمثل d_{ij} مصفوفة المسافات بين الزبائن بعضهم مع بعض و المخزن، و تمثل v سرعة الروبوت ، و تمثل λ_j الزمن المطلوب لخدمة الزبون و الذي يمثل الهبوط و الإقلاع عند الزبون و تقديم الخدمة. خاضعة للقيود التالية:

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n x_{ij} + x_{0j} = 1, \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n x_{ij} + x_{i0} = 1, \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0j} = 1 \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i0} = 1 \quad (5)$$

$$u_i - u_j + (n + 1)x_{ij} \leq n, \quad \forall (i, j) \in N_0 \quad (6)$$

$$\sum_{i=0}^n \frac{d_{0j}}{v} + \left(\frac{d_{ij}}{v} + \lambda_j \right) x_{ij} + \frac{d_{j0}}{v} \leq T, \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (7)$$

حيث

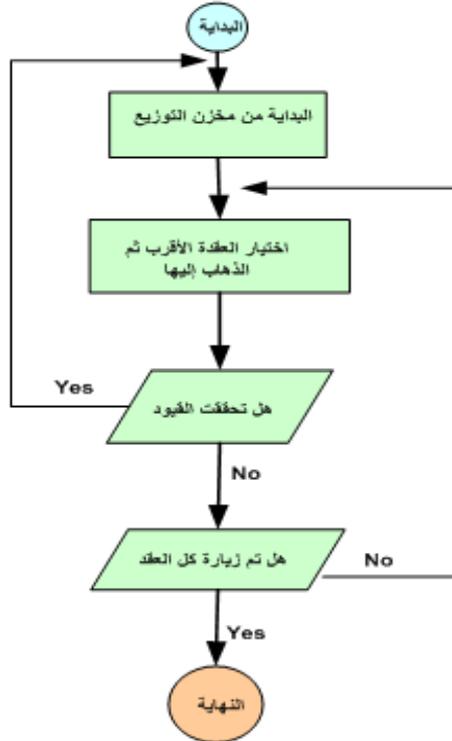
تمثل المعادلة (1) دالة الهدف والتي تقلل الزمن المطلوب لخدمة الزبائن.
والقيود (2) فيضمن أن كل زبون يمكن الوصول إليه من المخزن أو من أي زبون آخر.
والقيود (3) يضمن لكل زبون تتم المغادرة إلى المخزن أو إلى أي زبون آخر، كذلك فإن
القيدين (2) (3) يضمنان أن كل زبون يتم زيارته من قبل الروبوت مرة واحدة. أما القيود
(4) (5) فيضمنان أن الروبوت الذي يغادر المخزن لا بد أن يرجع إلي المخزن. والقيود
(6) يضمن أن عدد الزبائن الممكن زيارتهم في الرحلة الواحدة لا يمكن أن يزيد على عدد
الزبائن الذين يتم تحديدهم مسبقا لكل رحلة. والقيود (7) فيضمن أن الزمن المستغرق في
الوصول إلي كل الزبائن في المسار الواحد عندما يغادر الروبوت من المخزن و يقوم
بعملية التوزيع ثم الرجوع إلي المخزن مرة أخرى لا يمكن أن يزيد على أقصى زمن للطيران
(T). ويشمل الزمن المستغرق في المسار الواحد، زمن الطيران بين الزبائن ($\frac{d_{ij}}{v}$) وزمن
الخدمة (λ_j) و زمن الرجوع الي المخزن ($\frac{d_{j0}}{v}$). المتغيرات 0, 1 يتم تحديدهما كالتالي:

$X_{ij}^m = 1$ إذا كانت العربة m وصلت إلي الزبون j قادمة من الزبون i ، $X_{ij}^m = 0$ غير ذلك.

خوارزمية الجار الأقرب الإرشادية (Nearest neighbor heuristic)

تتلخص خطوات خوارزمية الجار الأقرب كما هو موضح في شكل (4) في الآتي:

- تكون البداية من العقدة التي تمثل مخزن التوزيع.
- يتم اختيار العقدة الأقرب ثم الذهاب إليها.
- ومن هذه العقدة يتم اختيار العقدة الأقرب وهكذا حتى يتم زيارة كل العقد.
- في كل مرة يتم اختيار العقدة الأقرب لابد أن يتم اختبار القيود، فإذا تحققت يتم الرجوع إلى عقدة البداية (مخزن التوزيع) ومن ثم البداية مرة آخر لباقي العقد التي لم يتم زيارتها.
- في نهاية الخوارزمية يتم الحصول على المسارات الأقل تكلفة (الأقل مسافة).



الشكل (4): يوضح خوارزمية الجار الأقرب

تمثل العقد مواقع الزبائن اما عقدة البداية فتمثل موقع مخزن التوزيع. البيانات التي يتم إدخالها إلى الخوارزمية هي مواقع الزبائن ومخزن التوزيع لذلك يتم حساب مصفوفة المسافات d_{ij} بناء على البيانات المدخلة وذلك بواسطة العلاقة التالية:

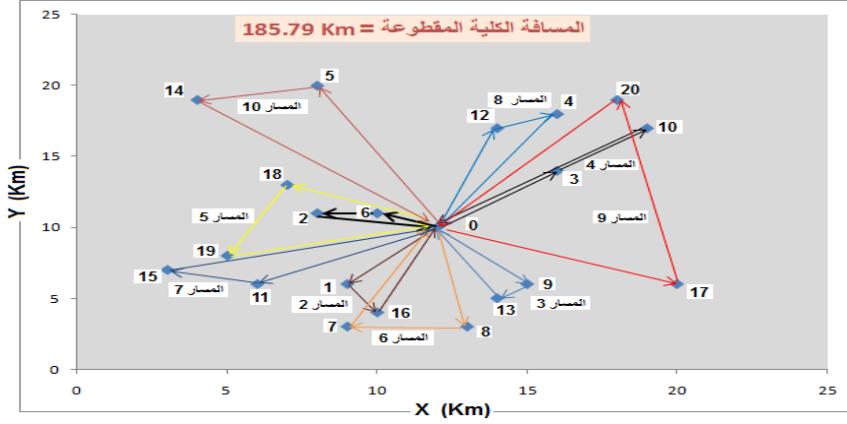
$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (8)$$

النتائج والمناقشة

تم تطبيق خوارزمية الجار الأقرب لحل مسألة توجيه الروبوت في برنامج الماتلاب (MATLAB)، البيانات التي تم استخدامها عبارة عن مواقع (Locations) لمجموعة من الزبائن مع مخزن التوزيع تم توليدها بطريقة عشوائية في مساحة 20 Km و كان الهدف هو الوصول إلي اقل زمن مطلوب لخدمة الزبائن و الرجوع إلي مخزن التوزيع الذي بدوره سيقبل من تكلفة التوزيع مع وجود مجموعة من القيود كأقصى حمولة للروبوت و أقصى زمن للطيران و اقل شحنة للبطارية تمكن الروبوت من الرجوع إلي المخزن ، و تتمثل خطوات الخوارزمية في أن الروبوت يخرج من مستودع التوزيع إلى اقرب زبون و منه إلى الزبون الأقرب حتى يكتمل كل الزبائن مع الأخذ في الاعتبار القيود السابق ذكرها. ولمقارنة النتائج المتحصل عليها تم حل المسألة مرة أخرى بحيث تتم عملية التوزيع عن طريق عربة التوزيع التقليدية.

بفرض أن سرعة الروبوت ثابت عندما ينتقل من الزبون i الي الزبون j و تساوي $v = 16 \frac{m}{sec}$ و كذلك الزمن الذي يستغرقه الروبوت عند كل زبون من اجل عملية التوزيع و الهبوط و الإقلاع هي $\lambda = 1min$ ، و كذلك فان الروبوت يستطيع خدمة عدد 2 من الزبائن في كل رحلة.

يوضح الشكل رقم (5) المسارات المتحصل عليها لمجموعة من الزبائن ($N=20$)، حيث كان عدد الزبائن في كل رحلة اثنان و بذلك كان عدد المسارات 10 ، بينما الجدول (1) يوضح زمن الخدمة و أرقام الزبائن في كل مسار و المساحة لكل مسار و متوسط زمن الخدمة.

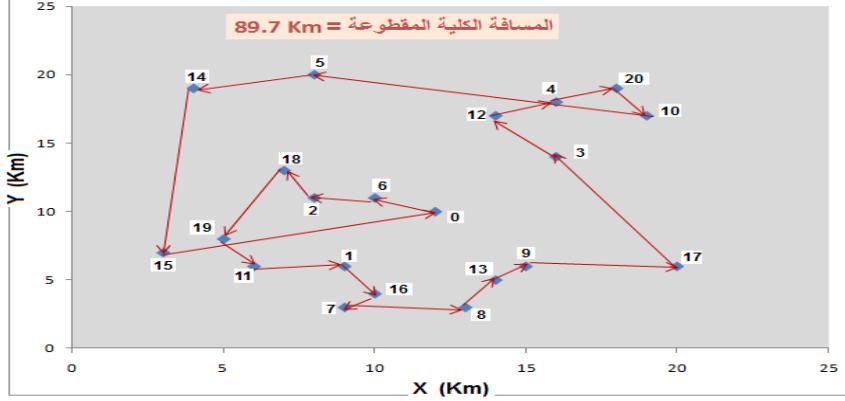


الشكل (5): يوضح المسافة الكلية المقطوعة ومسارات الروبوت لعدد 20 زيون المتحصل عليها من خوارزمية الجار الأقرب.

الجدول (1) يوضح أرقام المسارات وأرقام الزبائن والمسافة المقطوعة لكل مسار وزمن الخدمة ومتوسط زمن الخدمة.

رقم المسار	الزبائن	المسافة المقطوعة (Km)	زمن الخدمة (min)	متوسط زمن الخدمة لكل مسار (min)	متوسط زمن الخدمة (min)
1	0←2←6←0	8.36	6.41←3.33	4.87	10.49
2	0←16←1←0	13.56	9.54←6.21	7.88	
3	0←13←9←0	11.8	8.68←6.21	7.45	
4	0←10←3←0	16.54	11.65←6.89	9.27	
5	0←19←18←0	18.5	13.68←7.1	10.39	
6	0←7←8←0	18.69	13.53←8.37	10.95	
7	0←15←11←0	19.86	12.81←8.51	10.66	
8	0←4←12←0	21.99	13.65←10.32	11.99	
9	0←20←17←0	29.89	22.82←10.32	16.57	
10	0←14←5←0	26.94	17.51←12.22	14.87	

ولمقارنة النتائج بين استخدام الروبوت واستخدام عربة التوزيع التقليدية تم حل المسألة مرة أخرى باستخدام خوارزمية الجار الأقرب وكانت النتائج كما موضح في الشكل (6) والجدول (2).



الشكل (6): يوضح المسار لعربة التوزيع والمسافة الكلية المقطوعة والمتحصل عليها من خوارزمية الجار الأقرب.

جدول 2: مسار العربة والمسافة المقطوعة و زمن الخدمة لكل زبون و متوسط زمن الخدمة

الزبائن	المسافة المقطوعة (Km)	زمن الخدمة (min)	متوسط زمن الخدمة (min)
17←9←13←8←7←16←1←11←19←18←2←6←0	89.7 Km	42.9←37.63←31.13←25.78←15.70←10.35←5.35	70.59
0←15←14←5←10←20←4←12←3←		96.←89.48←74.1←64.57←60.45←55.1←47.1←8	
		←140.21←132.03←112.94←107.59←102.23←88	
		160.27	

نلاحظ من خلال الجدول (1) والجدول (2) ان متوسط زمن الخدمة في حالت استخدام الروبوت هو 10.49 min بينما في حالة استخدام عربة التوزيع هو 70.59 min أي انه قد قل بنسبة (85 %) وهذا يعني أن استخدام الروبوت الطائر قد قلل زمن الخدمة بشكل كبير والذي بدوره سيققل من تكلفة التوزيع ويجعل عملية التوزيع تتم بشكل آلي.

الاستنتاجات

تم في هذه الورقة دراسة استخدام الروبوت الطائر (Drone) في مجال توزيع الأشياء من المخازن إلى الزبائن. النتائج المتحصل عليها أثبتت أن استخدام الروبوت يقلل من زمن التوزيع مقارنة باستخدام عربات التوزيع التقليدية والذي بدوره يؤدي إلى تقليل تكلفة التوزيع وجعل عملية التوزيع تتم بطريقة آلية (أتمتة عملية التوزيع)، أضف إلى ذلك فان الروبوت المستخدم في عملية التوزيع يعتمد على البطاريات في تغذيته بالطاقة وبذلك فان استخدامه سيققل من التلوث البيئي مقارنة بالعربات التقليدية.

التوصيات

من خلال دراسة استخدام الروبوت الطائر في عملية التوزيع يمكن الخروج بالتوصيات التالية:

- 1- استخدام الروبوت الطائر في الأعمال المدنية مثل عمليات التوزيع أو المراقبة يحتاج إلى مزيد من البحث والدراسة وخاصة أن الموضوع مازال في بدايته.
- 2- استخدام الروبوت الطائر في عملية التوزيع يحتاج إلى سن القوانين المنظمة لحركة الطيران في المجالات الجوية المحلية حتى لا تحدث حوادث عند القيام بعملية التوزيع.
- 3- يمكن استخدام خوارزميات أخرى لحل مسألة توجيه الروبوت مثل خوارزميات الذكاء الاصطناعي.

المراجع

- [1] Naidoo, Y., R. Stopforth, and G. Bright. *Development of an UAV for search & rescue applications*. in *AFRICON, 2011*. 2011. IEEE.

- [2] Villa, T.F., et al., *An overview of small unmanned aerial vehicles for air quality measurements: Present applications and future prospectives*. Sensors, 2016. **16**(7): p. 1072.
- [3] Liu, X.-f., et al., *An optimization model of UAV route planning for road segment surveillance*. Journal of Central South University, 2014. **21**(6): p. 2501-2510.
- [4] Bendea, H., et al., *Low cost UAV for post-disaster assessment*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2008. **37**(B8): p. 1373-1379.
- [5] Imam, A. and R. Bicker, *State of the Art in Rotorcraft UAVs Research*. IJESIT, 2014. **3**: p. 221-233.
- [6] GmbH, D.I. *Successful Trial Integration of DHL Parcelcopter into Logistics Chain*. 2016, September, 05; Available from: http://www.dhl.com/en/press/releases/releases_2016/all/parcel_ecommerce/successful_trial_integration_dhl_parcelcopter_logistics_chain.html.
- [7] Inc., A.c. *Amazon Prime Air*. 2016, December, 07; Available from: www.amazon.com/primeair.
- [8] Mashable. *Singapore Post has started testing drone deliveries*. 2015; Available from: <https://mashable.com/2015/10/08/singapore-post-drone/#HfCzaHxhusqO>.
- [9] Patchara K. , *OPTIMIZATION MODELS AND ANALYSIS OF TRUCK-DRONE HYBRID ROUTING FOR LAST MILE DELIVERY*, Phd Thesis (2020).
- [10] D'Andrea, R., *Guest Editorial Can Drones Deliver?*. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, **11**(3), 647-648 (2014).
- [11] C. Barnhart and G. Laporte (Eds.), *Handbook in OR&MS*, Elsevier, 2007, Chapter 6, pp. 367-428.