Amirkabir Journal of Mechanical Engineering

Amirkabir J. Mech. Eng., 53(6) (2021) 829-832
DOI: 10.22060/mej.2021.18760.6884

Modeling of the pilot's depth perception algorithm to avoid collisions with obstacles for commercial aircraft landing

M. Mobini, M. Sabzehparvar*

Aerospace Engineering Department, Amirkabir University of technology, Tehran, Iran

ABSTRACT: This paper proposes a novel method for depth perception based on the performance of the human eye in the landing phase navigation of a fixed-wing aircraft. The proposed system is designed for situations where visibility is limited, there is no necessary infrastructure at the airport or navigation instruments that have problems and provide incorrect information. The inertial measurement unit and digital elevation model data are integrated to estimate the position of the aircraft and simulate the landing area at more than 200 feet. Reducing the height to 200 feet, the forward-looking infrared camera data is added to the system input. So, the environment map is updated in real-time in landing. At this stage, to depth perception, accommodation cue of the human eye is added to the simulation. In this study, the post-rendering Gaussian method to implement depth of field is used. Simulation results evaluated by using the standard of quality measurement of the visual system of flight simulation training devices and the results confirm the accuracy of the proposed method in terms of resolution, the field of view, frame per second and latency.

Review History:

Received: Jul. 22, 2020
Revised: Jan. 20, 2021
Accepted: Jan. 22, 2021
Available Online: Jun. 01, 2021

Keywords:

Model of the pilot
Depth perception
Depth of field
Landing

1. Introduction

Today, aeronautical science seeks to overcome the problems associated with limited pilot visibility outside the cabin by introducing many new aviation systems. However, landing is still one of the most accident-prone flight phases, with a relatively high percentage of fatal and non-fatal air accidents [1]. It has been reported that almost half of plane crashes occur in the approach and final landing stages [2]. If visibility is limited, the pilot will land using navigation instruments. But if these devices are damaged or non-existent or in bad weather, this will mislead the pilots and lead to accidents on controlled flight into terrain. In commercial air transport alone, more than 30% of fatal accidents are classified in this category, where the aircraft hits the ground or obstacles because of the lack of external visual reference or knowledge of the ground/danger situation.

On the other hand, the weather conditions below the amount required for visual flight rule operations are the biggest factors influencing airport delays and reduced runway capacity [3]. In fact, low visibility is the main cause of flight accidents and disorder in flight planning [4]. Therefore, it is clear that the pilot needs help to land safely in any weather conditions and any area. Reports show the shortcomings of current navigation systems in perception of low-altitude, approach and landing distances. These represent visual-based landing navigation [5], so that the outside of the cabin is created to view the pilot virtually.

In creating and displaying images, the issue of depth perception is a concern of researchers. One way to depth perception is to accommodate the lens of the eye or change the muscle tension to adjust the focal length of the eye. Focusing the eye on the target is called depth of field and is similar to the camera's focusing performance.

The main purpose of this research is to create a system that, without installation on the pilot's head, without the need or dependence on natural vision, the landing environment is shown to help the pilot have a safe landing in the approach phase. This method will not take the pilot display out of normal mode. Since the important part of the landing is to observe the runway and objects, the main focus of this article will be on the approach section in landing. We use the IR sensor due to its proper performance in the variety of ambient light and all weather conditions to identify objects on the runway. The simulated environment is following the natural vision so that one of the cues of human depth perception has been implemented in it. The depth of field is a cue used by humans to distinguish between near and far objects. Finally, the simulation will be evaluated by visual standards of Flight Simulation Training Device (A) certification.

2. Method

- Overview of the method

The algorithm for accurate landing of commercial aircraft in all weather conditions is shown in Fig. 1.

*Corresponding author's email: Sabzeh@aut.ac.ir

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to Amirkabir University Press. The content of this article is subject to the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY-NC 4.0) License. For more information, please visit https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.

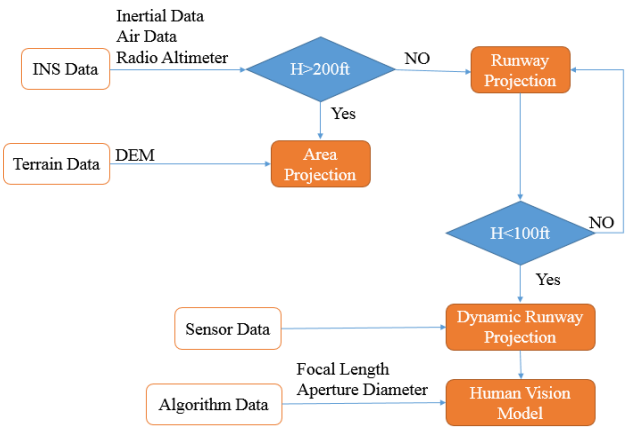


Fig. 1. Frame of proposed landing navigation

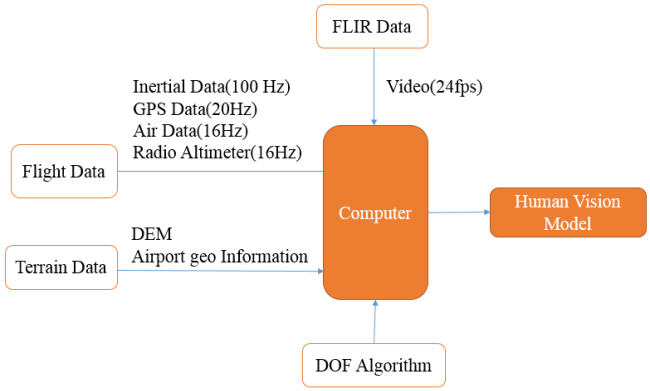


Fig. 3. Block diagram of the depth perception cue implement

- Depth of Field

There are two main approaches to implement depth of field in 3D rendering applications: the object-space and image-space. The image is first rendered with full focus, and the depth map is used to calculate the amount of blur to be applied to each pixel. Image-space approaches are much faster than object-space approaches, but they will not work well in all situations [6]. Because speed is important in our intended application and depth map of all situations is available, image space approaches are selected.

3. Simulation

Unity software has been used to simulate the approach. In this environment, the movement of the camera is in line with the movement of the aircraft. Fig. 2 shows the implementation of the algorithm.

The block diagram of the depth perception cue implement has been shown in Fig. 3.

An object on the runway will be visible with this method similar to human vision

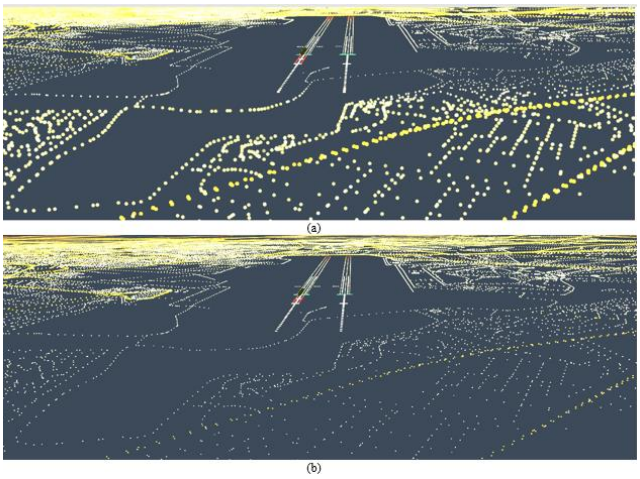


Fig. 2. Simulation of flight area: (a) with depth perception cue; (b) without depth of field

4. Validation of Results

In this section, items such as: field of view angle, number of frames per second and resolution in the simulation are evaluated.

- The visual field of view

The field of view in the simulated environment is all 360 degrees. According to Certification Specifications for Flight Simulation Training Device(A) (Classes A and B: 45 ° horizontal and 30 ° vertical viewing angles - Class C & D: 180 ° horizontal and 40 ° vertical), this constraint cannot be a problem Because this camera is used to complete the runway information at low altitudes.

- Frames per second

The frame rate in the flight simulator is 150 milliseconds. The camera's shooting rate per second and frames per second in the simulated environment is 24 frames, so this simulation satisfies Flight Simulation Training Device Certification.

- Resolution

According to the pixel resolution of 1366 768 for the 13-inch display, and assuming the distance to the display is 11.81 inches, we will have a pixel size of 0.00828 and an angle resolution of 0.04. Since the Flight Simulation Training Device certification standard say the maximum angular resolution is 2 arcmins, that hardware and software have been able to meet this requirement.

5. Conclusions

The paper proposed a new depth perception method in the landing phase of fixed-wing aircraft in all weather conditions. The proposed cue uses data from inertial instruments and onboard sensors. The implementation of the method was performed using Matlab/Simulink and Unity. The simulation results are evaluated using the visual standards of Flight Simulation Training Device certification. As Table 1 shows, the results confirm the accuracy of the proposed method.

However, this study has limitations that make it out of real-time. The idea is for a commercial aircraft; Due to human and financial costs, we cannot test this idea. In the virtual implementation, we also had constraints, including (1)

Table 1. Evaluate the results

Parameter	Flight Simulator	Suggested Method
	Vertical/Horizontal	Vertical/Horizontal
The visual field of view	30/45	40/180
Frames per second	6.6	24
Resolution	2>	0.04

the unavailability of real-time test equipment of the idea. (2) Impossibility of practical testing of the idea in the simulator due to the unavailability of the pilot.

References

[1] D.M. Jacobs, A.H. Morice, C. Camachon, G. Montagne, Eye position affects flight altitude in visual approach to landing independent of level of expertise of pilot, PloS one, 13(5) (2018) e0197585.

[2] A.F. Fadhil, R. Kanneganti, L. Gupta, H. Eberle, R. Vaidyanathan, Fusion of enhanced and synthetic vision system images for runway and horizon detection, Sensors, 19(17) (2019) 3802.

[3] L.J. Kramer, T.J. Etherington, K. Severance, R.E. Bailey, S.P. Williams, S.J. Harrison, Assessing dual-sensor enhanced flight vision systems to enable equivalent visual operations, Journal of Aerospace Information Systems, 14(10) (2017) 533-550.

[4] X. Sun, C.M. Christoudias, V. Lepetit, P. Fua, Real-time landing place assessment in man-made environments, Machine vision and applications, 25(1) (2014) 211-227.

[5] T.J. Etherington, R. Collins, L.J. Kramer, K. Severance, R.E. Bailey, S.P. Williams, S.J. Harrison, Enhanced flight vision systems operational feasibility study using radar and infrared sensors, (2018).[6] B.A. Barsky, T.J. Kosloff, Algorithms for rendering depth of field effects in computer graphics, in: Proceedings of the 12th WSEAS international conference on Computers, World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS), 2008.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

M. Mobini, M. Sabzehparvar, Modeling of the pilot's depth perception algorithm to avoid collisions with obstacles for commercial aircraft landing, *Amirkabir J. Mech. Eng., 53 (6) (2021) 829-832.*

DOI: 10.22060/mej.2021.18760.6884

This page intentionally left blank

نشریه مهندسی مکانیک امیرکبیر

نشریه مهندسی مکانیک امیرکبیر، دوره ۵۳، شماره ۶، سال ۱۴۰۰، صفحات ۳۴۹۷ تا ۳۵۱۰
DOI: 10.22060/mej.2021.18760.6884

مدل‌سازی الگوریتم درک عمق دید خلبان برای جلوگیری از برخورد به مانع در فاز فرود هواپیما تجاری

مریم مبینی بیدگلی، مهدی سبزه‌پرور *

مهندسی هوافضا، صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

خلاصه: این مقاله روش جدیدی برای درک عمق براساس عملکرد چشم انسان در ناوبری فاز فرود هواپیماهای تجاری ارائه می‌دهد. سیستم پیشنهاد شده برای شرایطی که دید محدود است، زیرساخت‌های لازم در فرودگاه وجود ندارند و یا ابزارهای ناوبری دچار مشکل شده‌اند و اطلاعات نادرست ارائه می‌دهند طراحی شده است. واحد اندازه‌گیری اینرسی و داده‌های مدل دیجیتالی ارتفاع در ارتفاع بالاتر از ۶۰ متر از سطح زمین با هم ترکیب شده و منطقه فرود شبیه‌سازی می‌شود. با رسیدن به ارتفاع زیر ۶۰ متر داده‌های دوربین مادون قرمز رو به جلو به ورودی سیستم اضافه می‌شود. در نتیجه نقشه محیط بصورت بلادرنگ هنگام فرود بروز می‌شود. در این مرحله برای درک عمق، روش تطبیق چشم به شبیه‌سازی اضافه می‌شود. در این بررسی از روش پسا رندر گوسی برای اجرای الگوریتم تاری تمرکز زدایی چشم استفاده شده است. نتایج شبیه‌سازی با استفاده از استانداردهای سنجش کیفی سیستم بصری شبیه‌ساز کامل پرواز ارزیابی شده است. نتایج بدست آمده بیانگر افزایش دقت روش پیشنهادی در زمینه‌های رزولوشن تصویر، زاویه دید خلبان، سرعت رندر فریم‌ها و تاخیر نمایش تصاویر است.

تاریخچه داوری:
دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۰۱
بازنگری: ۱۳۹۹/۱۱/۰۱
پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۰۳
ارائه آنلاین: ۱۴۰۰/۰۳/۱۱

کلمات کلیدی:
مدل‌سازی چشم خلبان
درک عمق
عمق میدان دید
فرود

۱- مقدمه

امروزه علم هوانوردی با معرفی بسیاری از سیستم‌های جدید هواپیمایی (به عنوان مثال، نشانگرهای وضعیت، مسیریابی رادیویی، سیستم‌های کمک ناوبری تقرب و سیستم‌های هشدار مجاورت زمین) به دنبال غلبه بر مشکلات مرتبط با دید محدود خلبان در خارج از کابین است [۱]؛ با این وجود هنوز فرود یکی از حادثه‌سازترین فازهای پرواز است که درصد نسبتاً بالایی از سوانح کشنده و غیرکشنده هوایی در آن رخ می‌دهد [۱و۲]. گزارش شده است که تقریبا نیمی از سوانح هواپیما درمراحل تقرب نهایی و فرود اتفاق می‌افتد [۳]. در صورتی که دید محدود باشد، خلبان با استفاده از ابزارهای کمک ناوبری فرود می‌آید. اما در صورتی که این دستگاه‌ها آسیب دیده باشند یا در شرایط بدی آب و هوا این امر خلبانان را گمراه کرده و منجر به سوانح در کنترل پرواز به سمت موانع زمینی خواهد شد. فقط در حمل و نقل هوایی تجاری، بیش از ۳۰٪ از سوانح مرگبار در سراسر جهان در این دسته طبقه بندی می‌شوند، جایی که هواپیما به زمین یا موانعی که خلبان به دلیل عدم وجود مرجع بصری خارجی یا آگاهی از وضعیت زمین / خطر، اصابت می‌کند.

از سویی دیگر، شرایط آب و هوایی کمتر از میزان ایمنی تعریف شده برای پرواز با قوانین بصری، بزرگترین عامل تاثیرگذار در تأخیر پروازها و کاهش ظرفیت باند است [۴] و در واقع دید کم، علت اصلی حوادث پرواز و اختلال در برنامه‌ریزی پرواز است [۵]. بنابراین واضح است که خلبان برای فرود ایمن در هر شرایط آب و هوایی و در هر منطقه نیاز به کمک ناوبری دارد. در گزارشی از خدمه پرواز، که در مرجع [۶] آمده است، خلبانان بیان می‌کنند که در زمان فرود بعد از مواجهه با نور خیره‌کننده، فلاش و مواردی از این دست، توانایی قضاوت درمورد فواصل (درک عمق) را نداشته‌اند. همچنین برخی خلبانان با بازتاب نور چراغ‌های روی باند در اثر وجود مه، غبار، باران، برف یا یخ زدگی به مشکل برخورده‌اند. چندین گزارش وجود دارد که خلبانان ادعا می‌کنند در هنگام تقرب تواناییشان را در قضاوت درباره ارتفاع و درک فاصله صحیح از دست می‌دهند که این امر به فرودهای

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: Sabzeh@aut.ac.ir

حقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیرکبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لیسانس، از آدرس https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode دیدن فرمائید.

کوتاه یا بلند و برخوردهایی با زمین یا موانع در انتهای باند منجر شده است. در نمونه‌ای دیگر، خلبانان در مانور فلیر زودتر یا دیرتر از زمان مقرر اقدام به تماس چرخ‌های اصلی هواپیما با باند فرود کرده و آسیب به ارابه‌های فرود را گزارش نموده‌اند. در پرواز هواپیمای ایرباس ۳۳، خلبان متوجه گودال در باند پرواز نبوده و این امر سبب آتش سوزی هواپیما شده است. تمامی این موارد که حتی برخی از آنها در سال‌های اخیر رخ داده‌اند نقص سیستم‌های ناوبری و مسیریابی فعلی در درک فواصل در ارتفاعات پایین، تقرب و فرود را نشان می‌دهند. این موارد پرداختن به ناوبری فرود مبتنی بر بینایی را مطرح می‌کنند [۷]، بطوری محیط بیرون کابین برای مشاهده خلبان بصورت مجازی ایجاد شود.

ناوبری فرود مبتنی بر بینایی که مزایای دقت، استقلال و کم هزینه بودن را دارد، برای دهه‌هاست در حمل و نقل هوایی مورد علاقه بوده و در حال تبدیل شدن به یک موضوع تحقیقاتی مورد توجه است. در این راستا تحولات بسیاری در فن آوری سنسوری، سخت‌افزار، پردازش و الزامات حمل و نقل هوایی رخ داده است [۸و۹]، مطالعات موجود در مورد فرود مبتنی بر بینایی برای هواپیمای تجاری به دو دسته مبتنی بر زمین و تعبیه شده روی پرنده تقسیم می‌شوند [۱۰]. در دسته ناوبری بصری فرود مبتنی بر پردازنده تعبیه شده در پرنده، روش‌های مبتنی بر سکوی در حال حرکت و روش‌های مبتنی بر باند فرودگاه را داریم. اگرچه تمام الگوریتم‌ها پیشرفت قابل توجهی در ناوبری فرود مبتنی بر بینایی را نشان می‌دهند. اما پرداختن به روش‌های درک عمق چشم انسان در این زمینه می‌تواند در فرود ایمن تاثیرگذار باشد. در صورتی که تصویر مجازی در پرواز به آنچه چشم می‌تواند مشاهده کند شباهت بیشتری داشته باشد، اتخاذ تصمیم بموقع و مناسب خواهد بود و این امر مستلزم فهم و سپس اجرای الگوریتم‌های بینایی انسان روی تصویرهای مجازی است.

در ساخت و نمایش تصاویر، مساله درک عمق برای مشاغلی همچون خلبانی، رانندگی و جراحی، دغدغه پژوهشگران است. یکی از روش های درک عمق، تطبیق عدسی چشم یا تغییر تنش ماهیچه‌ای (نیروی جسم مژگانی) برای تنظیم فاصله کانونی چشم است. متمرکز شدن چشم روی هدف، تاری تطبیق یا عمق میدان دید گفته می‌شود و مشابه عملکرد دوربین در فوکوس است. اگر لنز دوربین روی جسم متمرکز شود، تنها نواحی که با جسم احاطه می‌شوند بصورت واضح (فوکوس‌شده) نمایش داده می‌شوند و مواردی که خارج از این ناحیه باشند با درجاتی از تاری یا خارج از تمرکز دیده می‌شوند. مرکز عمق میدان[1] دید نقطه تمرکز یا جایی است که چشم‌ها تصویر را واضح مشاهده می‌کنند [۱۱].

هدف اصلی از انجام این تحقیق ایجاد سیستمی است که بدون نصب بر سر خلبان[2] بدون نیاز و یا وابستگی به دید طبیعی، محیط فرود را که ترکیبی از اطلاعات دینامیک و ایستا است روی نمایشگری داخل کابین مشابه آنچه چشم انسان می‌بیند، نشان دهد تا به خلبان کمک کند فرود ایمنی در فاز تقرب داشته باشد. در ارتفاع بالا با توجه به مختصات جغرافیایی، نقشه محیط و سپس برای ارتفاع پایین با توجه به داده‌های موجود و اطلاعات سنسوری، محیط شبیه‌سازی شده نمایش داده می‌شود. این روش نمایش خلبان را از حالت نرمال (بدون استفاده از عینک) خارج نخواهد کرد. از آنجاییکه بخش مهم فرود مشاهده باند و اجسام در مسیر حرکت است تمرکز اصلی این مقاله بر بخش گلاید در فرود خواهد بود. برای شناسایی اجسام روی باند از سنسور خارجی استفاده می‌کنیم. با توجه به مرجع [۸]، سنسور آی‌آر بدلیل عملکرد نسبتا مناسب در اغلب شرایط آب و هوایی(چرا که در شرایط گرد و غبار و وضعیت ابری، ضعف در عملکرد مشاهده می‌شود) و در تنوع نور محیط انتخاب شده است. محیط شبیه‌سازی شده مطابق دید طبیعی است بطوری که یکی از روش‌های دید عمق چشم انسان در آن پیاده‌سازی شده است. تاری تمرکززدایی، روشی است که انسان برای تمایز بین اجسام دور و نزدیک بکار می‌رود و در این تحقیق اجرا می‌شود. نهایتا با معرفی استانداردهای بصری برای دید خلبان شبیه‌سازی ارزیابی خواهد شد.

کارهای اخیر که به شدت به این مقاله مربوط می‌شوند شامل مطالعاتی است که سیستم بینایی پرواز[3] و سیستم بینایی مصنوعی[4] را ترکیب کرده‌اند [۳]، داده‌های دید مصنوعی برای تعیین دقیق موقعیت فرود و شناسایی اجسام متغیر – و حتی در حال حرکت – روی سطح باند بکار برده شده است [۱۲] و تلفیق اطلاعات واقعی و مجازی برای تقویت صحنه‌های فرودگاه استفاده شده است. هدف در تحقیقات پیشین استفاده از ترکیب اطلاعات حسگر واقعی و تصاویر

1 Depth of Field (DOF)
2 Helmet Display
3 Enhanced Flight Vision System(EFVS)
4 Synthetic Vision System(SVS)

مجازی بوده تا با یک سیستم مشابه سیستم بینایی مصنوعی اطلاعات بصری خلبان بهبود یابد. با توجه به اینکه خلبان تاثیر مستقیم در فاز تقرب و فرود دارد و خستگی، مهارت و حساسیت او روی تصمیم‌گیری تاثیرگذار است [۱۳]، بنابراین، بدنبال سیستمی هستیم که در اتخاذ تصمیم صحیح و کاهش بار کاری او اثر مثبت داشته باشد. تا به امروز مساله جایگزین نمودن چشم بطوریکه عملکرد آن در کابین خلبان مدل‌سازی شود مطرح نبوده است و شبیه‌سازی‌ها آنچه چشم خلبان مشاهده می‌کند را نمایش نداده‌اند. آنچه در این مقاله آمده است متفاوت از کارهای قبل است به این دلیل که: مدل‌سازی چشم خلبان بعنوان یک راه حل بصری برای حل مشکل درک عمق در حین فرود مطرح و پیاده‌سازی شده است. در این روش، عمق تصویر را با رزولوشن بالا در شرایط اضطراری داریم و ارزیابی کیفیت تصویر بر اساس استانداردهای تصاویر موجود درشبیه‌سازها انجام شده است.

در ادامه این مقاله به شرح زیر دسته بندی می‌شود: در بخش دو، کارهای قبلی مربوط به این موضوع آمده است. در بخش سوم روش پیاده‌سازی دید عمق بطور کامل ارائه شده و هندسه فرود شرح داده شده است؛ در بخش چهارم، شبیه‌سازی مدل دیجیتالی ارتفاع [1]، شبیه‌سازی باند، شبیه‌سازی اجسام استخراج شده از دوربین مادون قرمز رو به جلو[2] و روش پیاده‌سازی درک عمق آمده است. ارزیابی، نتیجه‌گیری و بیان محدودیت‌ها در بخش سوم شرح داده شده است.

۲- مروری بر کارهای وابسته

۲-۱- ابزارات کمک ناوبری بصری

در پروازهای امروزی، ادوات ناوبری و سیستم‌های هشداردهنده سیستم هشدار تقرب زمین[3] و سیستم هشدار زمین[4] در مسیر پرواز هواپیما و در ارتفاع پایینتر از شیب گلاید، سیستم فرود با ابزار[5] در کنار دید طبیعی خلبان، اطلاعات صحیحی را از موقعیت، وضعیت و محیط پرواز ارائه می‌دهند. این در حالی است که نبود دستگاه‌های پیشرفته روی باند بدلیل نیاز به زیر ساخت‌ها [۸] و هزینه زیاد [۵]، عدم ارائه اطلاعات درست توسط سنسورها در ارتفاع کم [۸] و همچنین نبود دید مناسب، موجب خطا در درک صحیح فاصله از موانع و ساخت‌وسازهای بشر در نزدیکی فرودگاه ها خواهد شد. در این شرایط خلبانی که شناخت درستی از محیط فرودگاه ندارد به احتمال زیاد و به طور بالقوه در تصمیم‌گیری خود دچار اشتباه می‌شود. تحقیقات اخیر نیز نشان داده‌اند که مشکلات ادراکی در بروز حوادث در مرحله فرود نقش بسزایی دارند [۲].

همانطور که اشاره شد فرود مبتنی بر بینایی برای هواپیمای تجاری در دو دسته مبتنی بر زمین و تعبیه شده روی پرنده انجام می‌شود [۱۰]. از سویی دیگر ناوبری بصری فرود مبتنی بر پردازنده تعبیه شده در پرنده مبتنی بر تصاویر رو به جلو و الگوریتم‌های دید کامپیوتری را می‌توان به دو نوع تقسیم کرد: روش‌های مبتنی بر سکوی در حال حرکت و روش‌های مبتنی بر باند فرودگاه. در زمینه هواپیمای تجاری غیر از پهپادها، لورنت و همکاران [۱۴] به منظور افزایش ایمنی پرواز هواپیمای مسافربری در طول عملیات‌های نزدیک به زمین، راه حل‌های هدایت، ناوبری و کنترل مبتنی بر دید را پیشنهاد دادند. از آنجایی که تست روش برای هواپیماهای دارای سرنشین خطرات و هزینه بسیار دارد برای آزمایش چنین تکنیک‌هایی در طی فازهای تقرب و فرود، از شبیه‌سازی‌ها قبل از آزمایش‌های پرواز بهره برده می‌شود [۱۵].

در سال‌های اخیر، سیستم بینایی پرواز و سیستم بینایی مصنوعی بعنوان مکمل دید طبیعی پیشنهاد شده‌اند [۵]. سیستم بینایی مصنوعی و سیستم بینایی پرواز تکنولوژی‌های مبتنی بر پرواز تعبیه شده درکابین هواپیما هستند. تصویر سیستم بینایی پرواز معمولاً در هنگام فرود می‌تواند توسط خلبانان مورد استفاده قرار گیرد اما کیفیت آن با شرایط نامساعد آب و هوا کاهش می‌یابد، و یک منطقه افق کوچکتری را نسبت به سیستم بینایی مصنوعی نشان می‌دهد. در مقابل، تصویر سیستم بینایی مصنوعی متاثر از آب و هوا نیست، اما از آنجاییکه یک تصویر واقعی از باند فرودگاه را نشان نمی‌دهد ویژگی‌هایی از قبیل اشیاء در حال حرکت در آن نشان داده نمی‌شود و خلبان با خیال راحت نمی‌تواند هواپیما را با استفاده از آن به تنهایی فرود آورد [۳]. فادهیل در تحقیقی در سال ۲۰۱۹، ساختار جدید ترکیب سنسوری برای شناسایی باند هواپیما و افق و همچنین افزایش آگاهی و شناخت از مناطق اطراف بر اساس تلفیق تصاویر سیستم بینایی پرواز و سیستم بینایی مصنوعی معرفی کرد.

اگرچه الگوریتم‌های بیان شده پیشرفت قابل توجهی در ناوبری

1 Digital Elevation Model(DEM)
2 Forward Looking Infrared(FLIR)
3 Ground Proximity Warning System(GPWS)
4 Terrain Avoidance and Warning System(TAWS)
5 Instrument Landing System(ILS)

فرود مبتنی بر بینایی را نشان می‌دهند. اما همچنان مشکلات اصلی در درک محیط فرود وجود دارد که باید با آنها مقابله کرد: (۱) به دلیل پایین بودن نرخ به روزرسانی تصویر سنسورها نمی توانند الزامات ناوبری زمان حقیقی فرود را برآورده کنند، این در حالی است که واحد اندازه گیری اینرسی[1] می‌توانند شتاب و سرعت چرخش را با سرعت بروزرسانی بالا اندازه‌گیری کنند. این دو نوع سنسور می‌توانند یکدیگر را در طبیعت تکمیل کرده و در یک چارچوب بهینه به خوبی ادغام شوند. (۲) عدم امکان مشاهده باند زمانی که دید محدود است. برای رفع این مشکل، یک دوربین مادون قرمز رو به جلو می‌تواند برای نمایش باند استفاده شود. ویژگی‌های کمی را می‌توان از تصاویر مادون قرمز، به ویژه در منطقه باند، به دلیل وضوح پایین و بافت ضعیف آنها استخراج کرد. بنابراین، لازم است الگوریتم‌های موجود برای تحقق الزامات استحکام و دقت تشخیص باند در تصاویر دوربین مادون قرمز رو به جلو بهبود یابد [۸]. (۳) با توجه به ایمنی پرواز، مشاهده سیستم ناوبری بصری-اینرسی پیشنهادی باید تجزیه و تحلیل شود. در نهایت با در نظر گرفتن اهمیت کیفیت دید انسان، پرداختن به جزییات دید خصوصا روش‌های درک عمق مورد توجه قرار گیرد. در ادامه روش‌های درک عمق انسان آمده‌اند تا از میان آنها یکی از روش‌ها انتخاب و پیاده‌سازی شود.

۲-۲- درک عمق

از آنجایی که واژه عمق ممکن است. گمراه کننده باشد، عمق را فاصله نسبی یا مدرج نشده بین اجسام در مسیر شعاعی تا بیننده تعریف می‌کنیم(به تفاوت دو واژه عمق و ارتفاع دقت شود). شناخت الگوریتم‌های بینایی راهی برای فهم مسیر درک و دید طبیعی انسان است. درک عمق از تنوع در الگوریتم‌های درک عمق نشات می‌گیرد. بطور کلی سه دسته بندی برای این الگوریتم‌ها داریم. در دسته بندی اول، الگوریتم‌های دو چشمی (درک اطلاعات سنسوری در سه بعد از دو چشم) و الگوریتم‌های تک چشمی (در دو بعد و تنها با یک چشم) قرار دارند. از سوی دیگر، در دسته بندی دوم، درک عمق به دو دسته الگوریتم‌های استاتیک و دینامیک تقسیم می‌شود. این تقسیم الگوریتم‌های عمق بصری می‌تواند با مسیرهای نورولوژی مجزا در مغز انسان ارتباط داشته باشد [۷]. در دسته بندی سوم، دو دسته الگوریتم فیزیولوژیک و تجسمی (ذهنی یا روانی) داریم [۱۶]. پرداختن به هر کدام از دسته‌های فوق در کاربرد خاص دارای اهمیت است.

در حالی که الگوریتم‌های تجسمی یا ذهنی برای درک تصاویر دو بعدی نیز استفاده می‌شوند، الگوریتم‌های عمق فیزیولوژیک تنها برای اجسامی که بطور حقیقی سه بعدی هستند کاربرد دارند [۱۶]. الگوریتم‌های تجسمی در درک عمق شامل: پرسپکتیو خطی، ارتفاع در میدان دید، چشم‌انداز هوایی، سایه، دانش قبلی از شکل/موقعیت اجسام و تکسچر می‌باشد. چهار الگوریتم فیزیولوژیک که ذهن انسان برای دریافت حس سه بعدی حقیقی استفاده می‌کند، عبارتند از پارالاکس حرکتی، همگرایی یا واگرایی چشم‌ها، دید دو چشمی و تطبیق چشم(تغییر در توان عدسی چشم). تحقیقات نشان می‌دهد با افزایش فاصله اثر الگوریتم‌های درک عمق فیزیولوژیکی کاهش می‌یابد؛ در حالی که الگوریتم‌های تجسمی اثر خود را حفظ می‌کنند [۱۶].

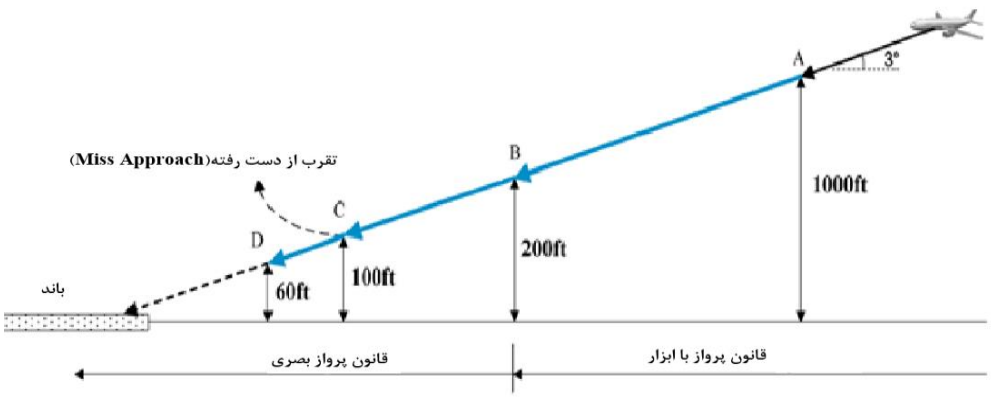
از میان الگوریتم‌های بیان شده، مواردی که مربوط به تجسم عمق هستند از سال‌ها قبل در تصویرسازی پیاده می‌شده‌اند. الگوریتم‌های فیزیولوژیک بدلیل ارتباط با ساختار چشم، کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. پیاده‌سازی این الگوریتم‌ها غالبا بصورت سخت‌افزاری و طراحی نمایشگر ممکن است. نمایشگر استریو، یکی از نمایشگرهای سه بعدی است که براساس الگوریتم فیزیولوژیک دید دوچشمی ساخته شده است. این نمایشگر بدلیل برد کوتاه، اضافه شدن دوربین و مساله پیچیدگی الگوریتم‌های تطابق و همگرایی چشم انسان استفاده محدود دارد. در نمایشگرهای استریو، فاصله کانونی لزوما برابر با فاصله همگرایی نیست. این نوع از پیچیدگی دیداری می‌تواند گیج کننده باشد و خستگی سیستم بصری انسان را در پی خواهد داشت [۱۷]. در صورتی که روش تطبیق چشم پیاده‌سازی شود این مشکل در نمایشگرهای استریو برطرف می‌شود. در این بررسی، از میان روش‌های درک عمق، مدل‌سازی عملکرد عدسی چشم در تطبیق و تاری تمرکززدایی پیشنهاد می‌شود.

همانطور که اشاره شد، وجود عمق میدان دید، واقعی بودن تصاویر رندر شده را افزایش می‌دهد و سبب درک عمق می‌شود [۱۸]. در تحقیقی که در زمینه سنجش کیفیت درک عمق در واقعیت مجازی[2] و واقعیت افزوده[3] انجام شده است، سه وضعیت (استاندارد، محو شدن

1 Inertial Measurement Unit (IMU)

2 Virtual Reality

3 Augmented Reality



شکل ۱. پروسه تقرب و فرود[۲۰]

Fig. 1. Approach and landing [21]

و تار بودن) با یکدیگر مقایسه شده‌اند تا نشان دهند کدام یک بهترین عملکرد را برای انجام یک کار مبتنی بر درک عمق محیط فراهم می‌کند. یافته‌ها نشان می‌دهد که اگرچه عملکرد مشاهده شده در واقعیت مجازی بهترین استفاده از جلوه‌های بصری را نشان می‌دهد اما در واقعیت افزوده بدون استفاده از جلوه‌های بصری عملکرد بهتری مشاهده می‌شود. همچنین با توجه به اینکه در این بررسی از عینک‌های واقعیت مجازی یا افزوده استفاده شده است، محو شدن یا تاری هم در واقعیت افزوده و هم واقعیت مجازی تأثیر منفی بر درک عمق دارند [۱۹]. در بررسی آنها اگرچه استفاده از عینک‌های دارای فیلتر تاری مناسب نبودند، ادعا می‌شود اعمال تاری روی نمایشگرهای موجود در کابین هواپیما، می‌تواند به درک عمق کمک کند.

۳- روش

۳-۱- بررسی اجمالی سیستم

فرود کامل یک هواپیمای تجاری در دو مرحله پرواز با ابزار و پرواز با دید طبیعی انجام می‌شود. بخش ابزاری در پروسه ی فرود در ارتفاع تصمیم‌گیری[1] به پایان می‌رسد و بخش بصری درست بعد از ارتفاع تصمیم‌گیری شروع می‌شود و تا باند ادامه دارد. قبل از رسیدن به ارتفاع تصمیم‌گیری، منابع اصلی خلبان برای مانور هواپیما ابزارهای هواپیما و سیستم ناوبری تعبیه شده روی پرنده است. مشاهده باند توسط خلبان در این قسمت دارای اهمیت است چرا که وقتی خلبان به ارتفاع تصمیم‌گیری نزدیک می‌شود، سیستم نوری تقرب، چراغ‌های آستانه باند و دیگر نشانه‌ها و سطوح به ما کمک خواهند کرد تا فرود ایمن داشته باشیم. با این منابع، هواپیما با باند فرودگاه هم تراز شده و اطلاعات موقعیت و فاصله باقیمانده نیز گزارش می‌شود. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود در این مرحله، شیب فرود ۳ درجه است و از ارتفاع ۶۰ متر فرود به کمک مشاهدات خلبان انجام می‌شود.

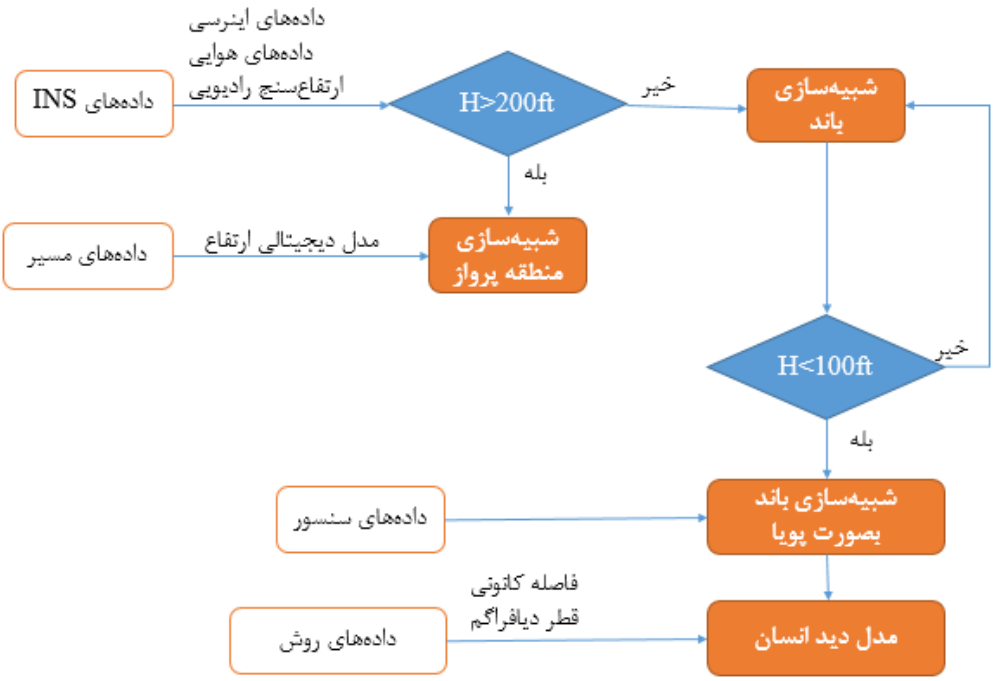
این اعداد در شرایطی معیار سنجش ارتفاع هستند که ما اطلاعات صحیحی از ارتفاع حقیقی نداریم چرا که معمولاً ارتفاع اندازه‌گیری شده توسط فشارسنج نادرست است و ارتفاع ضبط شده توسط سیستم موقعیت یاب جهانی[2] قابل اعتماد نیست. در سال‌های اخیر تحقیقاتی، ترکیب دوربین مادون قرمز رو به جلو و واحد اندازه‌گیری اینرسی در فیلتر کالمن توسعه یافته را برای دریافت ارتفاع صحیح پیشنهاد داده‌اند. در واقع در این سیستم مشاهده بصری و اندازه‌گیری‌های اینرسی برای تخمین حرکت فرود هواپیما ترکیب می‌شوند [۲۰]. در این بررسی نیز مدل دید خلبان روی سیستم ناوبری دیداری که حاصل ترکیب خروجی‌های دوربین مادون قرمز رو به جلو، واحد اندازه گیری اینرسی، فشارسنج ، ارتفاع سنج رادیویی و یک واحد پردازشی است، مد نظر قرار گرفته است.

با توجه به داده‌های واحد اندازه‌گیری اینرسی، سیستم فعال شده و از ارتفاع تعیین شده‌ای، نمایش محیط آغاز می‌شود؛ سپس محیط فرود یا باند در ارتفاع پایین شبیه‌سازی می‌شود. با استفاده از تصویر مادون قرمز رو به جلو محیط دینامیک شبیه‌سازی می‌شود و روش بینایی انسان در درک عمق روی محیط پیاده‌سازی می‌شود. الگوریتم فوق برای فرود دقیق هواپیمای تجاری در تمامی شرایط آب و هوایی و روی باندی فاقد سیستم‌های فرود با ابزار در شکل ۲ آمده است.

نمی‌توان نادیده گرفت که در مرحله تکمیل اطلاعات باند (شبیه‌سازی دینامیک باند که با ورود اطلاعات سنسور مادون قرمز

1 Decision Hight/Altitude

2 Globsl Position System (GPS)



شکل ۲. چارچوب ناوبری فرود پیشنهادی

Fig. 2. Frame of proposed landing navigation

انجام می‌شود) محاسباتی روی تصویر شبیه‌سازی شده و تصویر حقیقی سنسور انجام می‌شود. از آنجاییکه نوآوری این مقاله توجه به بحث مدل‌سازی دید و پیاده‌سازی روش درک عمق هنگام فرود است، از بیان و محاسبه این بخش صرف نظر شده است. برای پیاده‌سازی این ایده سه مرحله اصلی داریم: شبیه‌سازی محدوده پرواز با استفاده از داده‌های مدل دیجیتالی ارتفاع(۴-۱-)، حرکت در محدوده‌ای قابل مشاهده باند(۴-۲-) و در نهایت شبیه‌سازی باند با مواردی که در اطراف باند هستند(۴-۳-). در پیاده‌سازی مراحل دو و سه، الگوریتم دید عمق مدل‌سازی شده است. در ادامه پیاده‌سازی روش درک عمق و هندسه فرود شرح داده شده است.

۳-۲- پیاده‌سازی روش های درک عمق

بطور کلی دو روش اصلی برای پیاده‌سازی عمق میدان دید در کاربردهای رندرینگ سه بعدی وجود دارد. دسته اول از این روش‌ها در فضای جسم کار می‌کنند و عمق میدان دید را مستقیما با استفاده از نمایش سه بعدی صحنه محاسبه می‌کنند. این روش می‌تواند با استفاده از مدل‌های واقعی دوربین که روزنه و فاصله کانونی را مدل می‌کند، انجام شود. این روش تصویر حقیقی تشکیل می‌دهد و نتایج واقعی تولید می‌کند. روش فضای جسم روی تصاویری که در تمامی نقاط فوکوس دارند، اعمال شده و این تصاویر به کمک نقشه عمق تار می‌شوند. نقشه عمق همراه با مدل دوربین برای تعیین اینکه هر پیکسل چقدر باید تار دیده شود استفاده می‌شود. بطور کلی روش‌های فضای جسم نتایج واقعیتری نسبت به روش فضای تصویر تولید می‌کنند و آرتیفکت‌های آن را ندارند. تکنیک فضای جسم بسیار هزینه بر است و برای رندرینگ بلادرنگ مناسب نیست [۲۱]. دسته دوم از روش‌های پساپردازش استفاده می‌کنند. تصویر ابتدا با فوکوس کامل رندر می‌شود و نقشه عمق برای محاسبه مقدار تاری استفاده می‌شود تا به هر پیکسل اعمال شود. روش‌های فضای صحنه، بسیار سریعتر از روش‌های فضای جسم هستند اما در تمام شرایط نتایج خوبی نخواهند داشت [۲۱]. از آنجائیکه در کاربرد مورد نظر ما سرعت اهمیت دارد و در تمامی شرایط (تصاویر تولید شده روی باند یا نقشه‌های هوایی) نقشه عمق موجود است، روش‌های فضای تصویر یا پساپردازش انتخاب می‌شود.

سرعت عمق میدان در روش پسا پردازش به گونه ای که برای کاربرد های تعاملی مانند واقعیت مجازی مناسب است، روکیتا روشی را معرفی کرد که تصویر را با کرنل ۳×۳ کانوالو کرده و تاری ایجاد شود. اگرچه این روش سریعتر از فیلتر مستقیم است ولی تابع توزیع

نقاط[1] محدود به کرنل گوسی است [۲۱]. در این روش، هر نقطه موجود در آرایه ورودی یا تصویر با یک کرنل گوسی کانوالو می‌شود، سپس همه آنها برای به دست آوردن خروجی، جمع می‌شوند. اگر فرض کنیم تصویر مورد نظر ما یک بُعدی باشد، با توجه به کرنل گوسی یک بعدی، پیکسلی که در مرکز قرار گرفته بزرگترین وزن را خواهد داشت. با افزایش فاصله از پیکسل مرکزی، وزن‌ها نیز کمتر می‌شوند. کرنل گوسی دو بعدی به شکل معادله (۱) نوشته می‌شود:

$$Gaussian_Filter = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{\frac{-(x^2+y^2)}{2\sigma^2}} \quad (۱)$$

در شرایطی که کرنل ما ۳×۳ باشد و سیگما برابر ۰/۶ باشد، معادلات (۲) و (۳) را داریم:

$$Gaussian_Kernel = \frac{1}{2\pi\sigma^2} = \frac{1}{2\times 3.14\times 0.6\times 0.6} = \frac{1}{2.2619} \quad (۲)$$

$$X = 3 \rightarrow X = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, Y = 3 \rightarrow Y == \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (۳)$$

و کرنل گوسی برابر معادله (۴) خواهد بود.

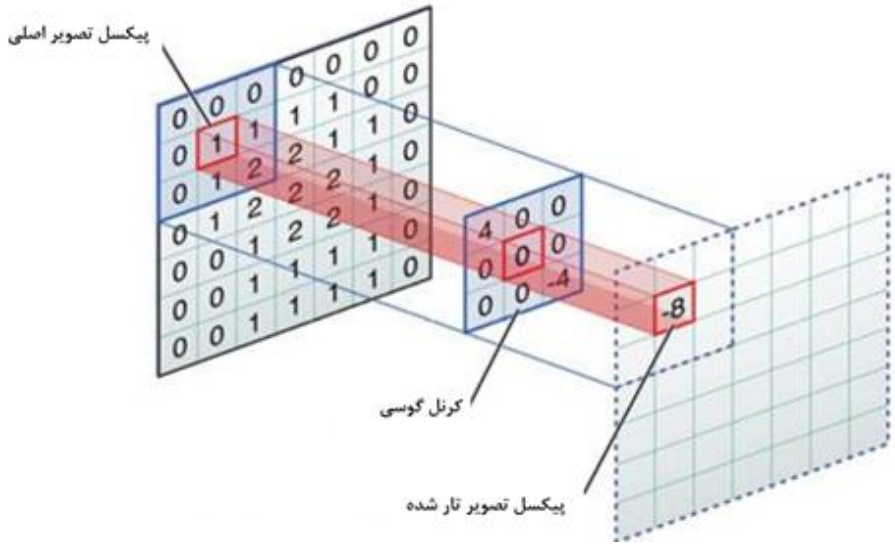
$$\frac{-(x^2+y^2)}{2\sigma^2} = \begin{bmatrix} -2.77 & -1.38 & -2.77 \\ -1.380 & 0 & -1.38 \\ -2.77 & -1.38 & -2.77 \end{bmatrix} \Rightarrow$$
$$Gaussian_Kernel = \begin{bmatrix} 0.027 & 0.11 & 0.027 \\ 0.11 & 0.44 & 0.11 \\ 0.027 & 0.11 & 0.027 \end{bmatrix} \quad (۴)$$

با اعمال کرنل فوق با عملیاتی مشابه شکل ۳، روش تاری عمق میدان پیاده‌سازی می‌شود.

در این بررسی با توجه به ایده هیلیر و همکارانش در تنظیم خودکارعمق دید یک منطقه مستطیل شکل شامل نقاطی که باید در مرکز توجه باشند در نظر گرفته شده است. وزن هر پیکسل بر اساس تابع گاوسی که در هر فریم از تصویر کانوالو می‌شود تعیین می‌شود. وزن بیشتر برای اشیاء مهم اختصاص داده شده است. به این ترتیب ، روی پیکسل های مهم متمرکز می‌شویم حتی اگر آنها فقط بخش کوچکی از پیکسل ها را داشته باشند [۲۱].

۳-۳- هندسه فرود

فرود معمولی سه مرحله: تقرب اولیه ، شیب فرود[2] و فلیر دارد. مطابق شکل در طی تقرب اولیه، خلبان از ارتفاع کروز به ارتفاع تقریبی ۴۲۰ متر از سطح زمین برای هواپیماهای سنگین یا کمتر از ۴۲۰ متر برای هواپیماهای سبک می‌رسد. سپس خلبان هواپیما را طوری قرار می‌دهد که هواپیما در حال حرکت به سمت خط مرکزی

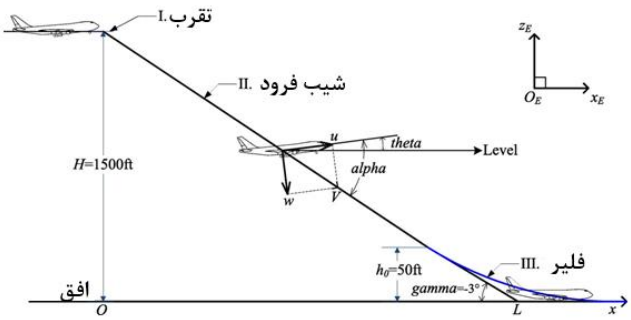


شکل ۳. کانوالو روی ماتریس ۷×۷ با ماتریس ۳×۳

Fig. 3. Convolution operation on a 7×7 matrix with a 3×3 kernel

1 Point Spread Function(PSF)

2 Glide Slope



شکل ۴. شیب فرود

Fig. 4. Landing slope

باند باشد. با پایین آمدن هواپیما در مسیر شیب زاویه پیچ، وضعیت و سرعت آن باید کنترل شود. هواپیما باید یک سرعت ثابت را در طول مسیر پرواز حفظ کند. نرخ کاهش ارتفاع، برای یک بوئینگ ۷۴۷، باید در حدود۳ متر بر ثانیه و زاویه پیچ بین ۵- تا ۵ درجه باشد. با کاهش ارتفاع هواپیما تا ۷ - ۳۰ متر بالاتر از سطح زمین (حداکثر مقدار آن برای بوئینگ ۷۴۷ است) ، سیستم کنترل زاویه شیب از حالت خاموش خارج شده و فلیر اجرا می‌شود در این مرحله زاویه پیچ بین ۰-۵ درجه خواهد بود.

در مرحله شیب فرود، ارتفاع فرمان(H_c) و ارتفاع واقعی(H) به ترتیب با معادلات (۵) و (۶) محاسبه می‌شوند:

$$\dot{H}_c = V_0 \sin\gamma_c \approx V_0\gamma_c \tag{۵}$$

$$\dot{H} = V_0 \sin\gamma \approx V_0\gamma = V_0(\theta-\alpha) \tag{۶}$$

در معادله فوق $\gamma = (\theta-\alpha)$ زوایه واقعی شیب مسیر فرود هواپیما و $\gamma_c = (\theta_c-\alpha)$ مقدار زاویه فرمان این زاویه در مرحله اولیه فرود است. V_0 سرعت نرمال پرواز، α زاویه حمله هواپیما و θزاویه پیچ است. از آنجایی که زوایا با رادیان بیان می‌شوند مقادیر کوچک است و می‌توان $\sin\gamma_c \approx \gamma_c$ و همچنین $\sin\gamma \approx \gamma$ را معادل زوایا فرض کرد.

در خطی‌سازی دینامیک هواپیما در صفحه طولی، مدل خطی با معادله (۷) بیان می‌شود:

$$\dot{x} = Ax + Bu + Gu_w \tag{۷}$$

که در آن x برداری با ۴ حالت $x=[u,w,q,\theta]^T$ و $u=[\delta_e,\delta_T]^T$ است. u_w بردار اغتشاش است که صفر فرض شده است. u و w سرعت طولی و عمودی هواپیما، q نرخ زاویه پیچ، θزاویه پیچ، δ_e تغییرات الویتور و δ_T فرمان موتور هستند. با فرض کوچک بودن سرعت عمودی در مقایسه با سرعت طولی داریم: $V=\sqrt{u^2+w^2}\cong u$. بنابراین مقدار سرعت نرمال هواپیما برابر است با $V_0 \cong u(0) = u_0$. ماتریس های A و B مشابه معادله (۸) فرض می‌شوند:

با توجه به معادلات مرجع [۲۲] برای $\frac{H}{V_0}$ و $\frac{\dot{H}}{V_0}$ معادلات (۹) را خواهیم داشت:

$$A=\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, B=\begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \\ b_{31} & b_{32} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{۸}$$

مقادیر پارامترها براساس ضرایب فرود هواپیمای بوئینگ ۷۴۷ و مطابق مرجع [۲۲] برای شیب فرود گذاشته شده است. شبیه‌سازی این بخش در نرم افزار متلب/سیمولینک شکل ۵ است.

$$\begin{aligned} &x=[\frac{u}{V_0},\alpha,q,\theta,\frac{H}{V_0},\frac{\dot{H}}{V_0},\delta_e] \\ &\frac{\dot{H}}{V_0} \cong \theta-\alpha \\ &\frac{\ddot{H}}{V_0} = -a_{21}\frac{u}{V_0} - a_{22}\alpha + (1-\frac{a_{23}}{V_0})q - \frac{a_{24}}{V_0}\theta - \frac{b_{21}}{V_0}\delta_e - \frac{b_{22}}{V_0}\delta_T \end{aligned} \tag{۹}$$

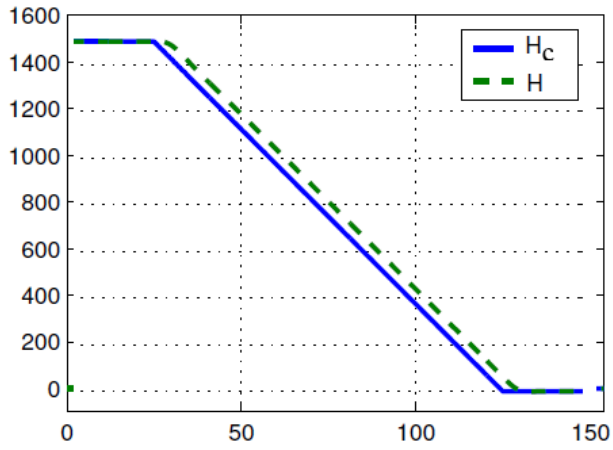
بر اساس معادلات فوق و مطابق شکل بالا، دوربین در محیط شبیه‌سازی شده حرکت می‌کند.

۴- شبیه‌سازی

۴-۱- شبیه‌سازی منطقه پرواز

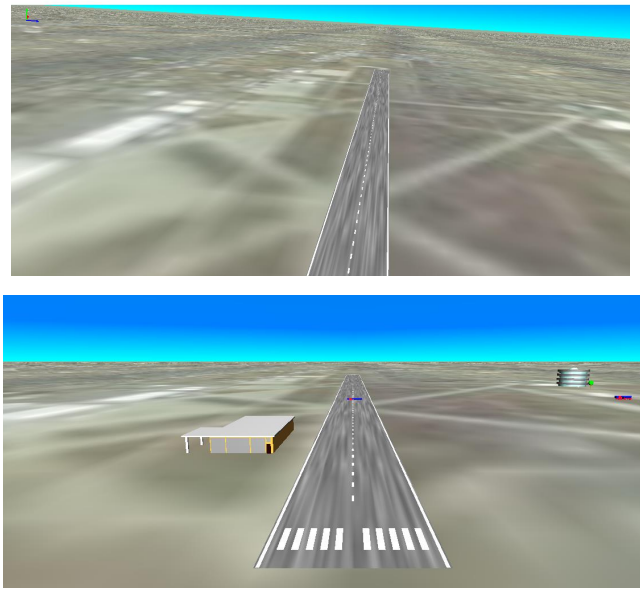
همانطور که در شکل ۱ آمده است در ارتفاع بالاتر از ۳۰۰متر(۱۰۰۰پا) که هنوز وارد فاز تقرب نشده است آنچه خلبان مشاهده می‌کند بر اساس اطلاعات ارتفاع محیط قابل پیاده‌سازی است. شبیه‌سازی این بخش با استفاده از سیمولینک متلب در شکل ۶ آمده است.

در این شرایط از اطلاعات گیج‌ها، فشارسنج و ارتفاع سنج رادیویی



شکل ۵. شیب فرود در نرم‌افزار متلب

Fig. 5. Glide slope in MATLAB



شکل ۷. اجرای الگوریتم عمق میدان در محدود باند شبیه‌سازی شده. تصویر بالا با عمق میدان، تصویر پایین بدون اجرای الگوریتم.

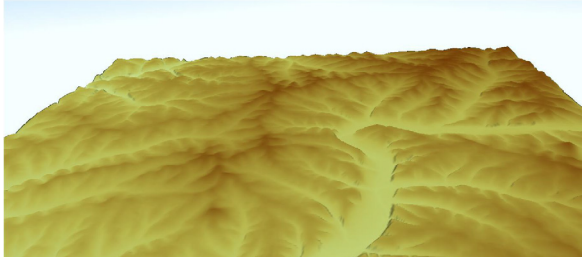
Fig. 7. Implementation of the depth of field algorithm in the simulated runway. Top image with depth of field and bottom image without algorithm

استفاده شده و منطقه پرواز شبیه‌سازی می‌شود.

۴-۲- شبیه‌سازی تقرب

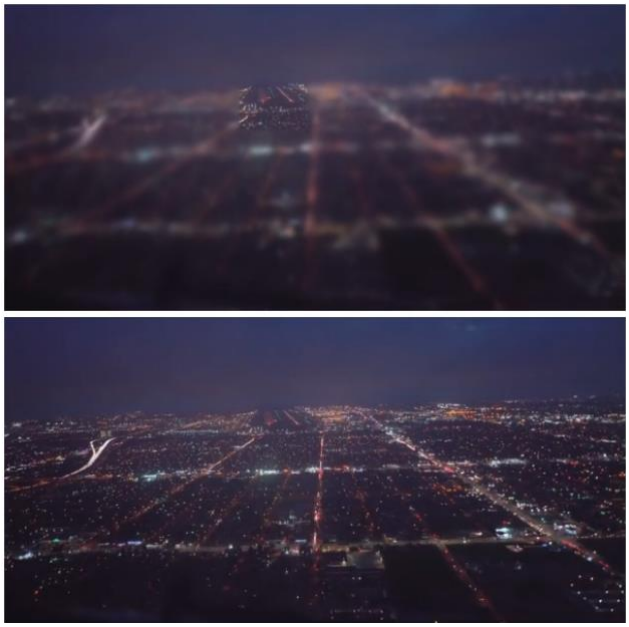
برای شبیه‌سازی تقرب از نرم افزار یونیتی استفاده شده است؛ در این محیط، معادله حرکت دوربین براساس معادله حرکت هواپیما که در بخش ۳-۳- آمده، نوشته شده است. باید دقت کرد که حرکت با اعمال کدام یک از متغیرهای مکانی محیط امکان پذیر است. حرکت در راستای محور x و z در نظر گرفته شده است.

در این مرحله از شبیه‌سازی از آنجایی که محدوده دید وسیع



شکل ۶. شبیه‌سازی نقشه مدل دیجیتالی ارتفاع

Fig. 6. Simulation of the flight area



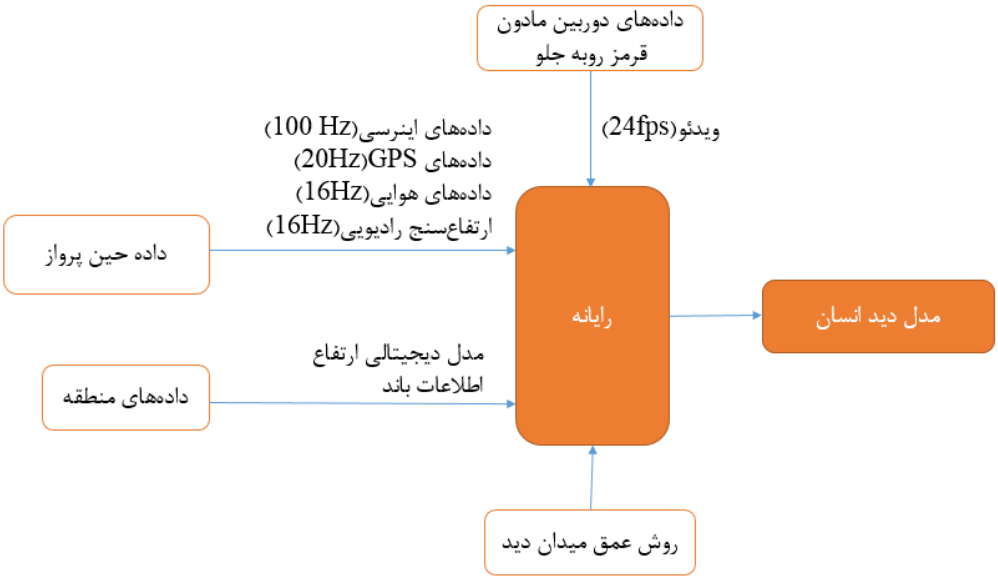
شکل ۸. اجرای الگوریتم عمق میدان دید در محدوده تقرب . تصویر بالا با عمق میدان، تصویر پایین بدون اجرای الگوریتم

Fig. 8. Implement of DOF in the actual image: (a) with DOF; (b) without depth perception

است الگوریتم عمق میدان دید اجرا شد تا نشان داده شود بیننده روی محدوده باند متمرکز شده است. شکل ۷ و شکل ۸، به ترتیب اجرای الگوریتم را در محیط شبیه‌سازی و روی فیلم واقعی فرود نشان می‌دهند.

۴-۳- شبیه‌سازی دینامیک باند

در ارتفاع کمتر از ۶۰ متر، در اغلب مواقع فرود با توجه به دید خلبان انجام می‌شود. در این بررسی برای ارتفاع پایین علاوه بر تجهیزاتی که در مراحل قبل استفاده شد دوربین مادون قرمز رو به جلو با نرخ ۲۴ فریم در ثانیه نیز بکار برده شده است تا اطلاعات مربوط به محدود فرود بصورت دینامیک بدست آید. از داده‌های دوربین مرجع [۲۰] که بصورت عملی نیز تست شده استفاده شده



شکل ۹. بلوک دیاگرام اجرای روش دید عمق در ارتفاع کمتر از ۳۰متر

Fig. 9. Block diagram of the depth perception cue implement

شکل ۱۰. تصویر خروجی مادون قرمز رو به جلو [۲۰]

Fig. 10. The output of a FLIR camera [20]

است. در صورتی که جسمی روی باند باشد به شکل مکعب به بیننده نمایش داده می‌شود. در این بخش نیز الگوریتم عمق میدان دید پیاده‌سازی شده است.

روش پیاده‌سازی این بخش همراه با نرخ بروز رسانی داده‌ها در شکل ۹ آمده است. برای رسیدن به نرخ بروزرسانی مورد نظر، داده های تکراری بعد از بافر کردن داده ها، در اختیار قرار می‌گیرند. مشخصات دوربین، نرخ بروز رسانی و دیگر اطلاعات سنسوری از مرجع [۲۰] گرفته شده است. خروجی دوربین مطابق شکل ۱۰ است.

شبیه‌سازی این بخش در شکل ۱۱ آمده است.

در صورتی که جسمی روی باند باشد با این روش و به کمک دوربین مادون قرمز رو به جلو مشابه دید انسان قابل رویت خواهد بود.

۵- اعتبارسنجی و نتیجه‌گیری

۵-۱- اعتبار سنجی نتایج

در این بخش مواردی از جمله: زاویه میدان دید، تعداد فریم در

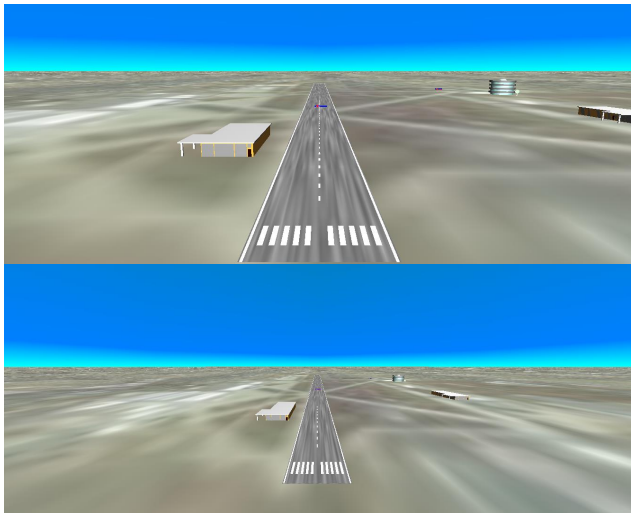
شکل ۱۱. شبیه‌سازی محدوده باند در لحظات فرود. تصویر بالا با الگوریتم عمق میدان دید. تصویر پایین قبل از اعمال الگوریتم برای فرود هواپیمای بویینگ

Fig. 11. Simulation of runway in landing. The image above with the depth of field algorithm. The image below .before applying the algorithm for landing the Boeing 777

ثانیه و رزولوشن در شبیه‌سازی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

- زاویه میدان دید

در محیط شبیه‌سازی شده، میدان دید تمام ۳۶۰ درجه را در برمی گیرد و دوربین برای نمایش فاز تقرب در محدوده ۴۵ درجه تنظیم شده است که استاندارد شبیه‌ساز پرواز را برآورده می‌کند.



شکل ۱۲. تغییر زاویه میدان دید در محیط شبیه‌سازی. تصویر بالا با زاویه دید ۴۵ درجه، تصویر پایین با زاویه دید ۹۰ درجه

Fig. 12. Change of the field of view angle in the simulation. Top image with 45 degree viewing angle, bottom image with 90 degree viewing angle

از طرفی دوربین مادون قرمز رو به جلو با توجه به مرجع [۲۰]، زاویه دید محدود ۲۰ درجه افقی و ۳۰ درجه عمودی دارد؛ این زوایا مشکلی در برآورده شدن استاندارد شبیه‌ساز ایجاد نمی‌کند چرا که در ارتفاع پایین و برای تکمیل اطلاعات مربوط به باند از این دوربین استفاده شده است. این زاویه دید، محدوده دید مربوط به FOV را پوشش می‌دهد. شکل ۱۲ باند را با زوایه دید ۴۵ و ۹۰ درجه به تصویر می‌کشد.

- تعداد فریم در ثانیه

در شبیه‌سازهای پرواز، نرخ بروز رسانی فریم‌ها و نمایش هر فریم ms ۱۵۰ است؛ در اینجا با توجه به نرخ تصویر برداری دوربین، یعنی ۲۴ فریم در ثانیه، استاندارد شبیه‌ساز برآورده می‌شود. در محیط شبیه‌سازی نیز نرخ ۲۴ فریم در ثانیه وجود دارد. الگوریتم پیشنهادی روی ویدیویی با نرخ ۳۵ فریم در ثانیه نیز پیاده‌سازی شده است.

- رزولوشن

معمولا رزولوشن با تراکم پیکسل بیان می‌شود اما کیفیتی که توسط چشم درک می‌شود فقط به چگالی پیکسل بستگی ندارد و فاصله مشاهده نیز در نظر گرفته می‌شود. هرچه به نمایشگر نزدیک تر باشیم، چشمانمان پیکسل‌های بیشتری را تمایز خواهد داد. این رزولوشن، رزولوشن زاویه‌ای نامیده می‌شود. طبق معادله ۱۰، کاهش زاویه S (بر حسب arcmin) کیفیت درک شده را بهبود می‌بخشد، و این می‌تواند با افزایش تراکم پیکسل یا s (کاهش سایز پیکسل؛ سایز پیکسل معکوس تراکم پیکسلی است) یا افزایش فاصله (d) برآورده شود.

دید طبیعی دید ۲۰/۲۰ است و در واقع توانایی دیدن زیر زاویه ۵ arcmin است (۱ arcmin برابر با ۱/۶۰ درجه است). باید توجه

$$S = 2\tan^{-1}(\frac{s}{2d}) \qquad (۱۰)$$

داشت که بررسی رزولوشن جز تست‌های نمایشگر در شبیه‌ساز پرواز است و در بررسی ما با در نظر گرفتن سخت‌افزار مورد استفاده، ارزیابی صورت گرفته است. با توجه به رزولوشن پیکسلی ۱۳۶۶×۷۶۸ نمایشگر ۱۳ اینچی مورد استفاده و با فرض فاصله تا نمایشگر برابر با ۳۰ سانتیمتر (۱۱٫۸۱ اینچ)، سایز پیکسل ۰٫۰۰۸۲۸ و رزولوشن زاویه ۰٫۰۴ را خواهیم داشت. از آنجاییکه در استاندارد شبیه‌ساز قید شده است که رزولوشن زاویه‌ای نباید بیشتر از ۲ arcmin باشد سخت‌افزار و نرم‌افزار مورد استفاده توانسته‌اند این مورد را برآورده‌سازند.

۵-۲- نتیجه‌گیری، محدودیت‌ها و کارهای آتی

در این مقاله یک روش درک عمق جدید در فاز فرود هواپیمای تجاری در تمامی شرایط آب و هوایی ارائه شد. الگوریتم پیشنهادی از داده‌های ابزار آلات اینرسی و سنسوری موجود در هواپیما استفاده می‌کند و وابستگی به باند فرود ندارد. پیاده‌سازی روش با استفاده نرم افزار سیمولینک متلب و یونیتی انجام شده است. روش درک عمق فیلتر گوسی پسارندر روی تصاویر حقیقی و شبیه‌سازی شده‌ی فرود اجرا شده است. نتایج شبیه‌سازی با استفاده از استانداردهای بصری شبیه‌ساز پرواز ارزیابی شده است. همانطور که جدول ۱ نشان می‌دهد، نتایج دقت روش پیشنهادی را تأیید می‌کند.

با این حال، این بررسی دارای محدودیت‌هایی است که آن را از حالت عملی و زمان حقیقی خارج کرد. ایده مطرح شده در اینجا برای هواپیمای دارای سرنشین است که با توجه به مطرح شدن هزینه‌های انسانی و مالی از تست عملی آن صرف نظر شده است. در پیاده‌سازی الگوریتم بصورت فضای مجازی نیز دارای محدودیت‌هایی بودیم از جمله (۱) در دسترس نبودن تجهیزات برای تست بلادرنگ ایده. (۲) عدم امکان تست عملی ایده در شبیه‌ساز بدلیل در دسترس نبودن خلبان و عدم بهره مندی از نظرات آنان.

جدول ۱. ارزیابی نتایج

Table 1. Evaluate the results

پارامتر	شبیه‌ساز پرواز	روش پیشنهادی	توضیحات شبیه‌ساز
	افقی/عمودی	افقی/عمودی	
زاویه میدان دید	۳۰/۴۵	۴۰/۱۸۰	برای کل کابین حداقل ۱۷۶درجه افقی و ۳۶درجه عمودی
تعداد فریم در ثانیه	۶,۶	۲۴	نرخ بروز رسانی ۱۵۰میلی ثانیه
رزولوشن	۲>	۰/۰۴	برحسب arcmin

در آینده، هنوز برخی کارهای تحقیقاتی برای بهبود بیشتر می‌تواند انجام شود. (۱) الگوریتم روی شبیه‌سازهای فعلی نظیر فلایت گیر و فلایت سیمولاتور که تمامی فازهای پرواز را دارا هستند اجرا شود. (۲) از دیگر روش‌های پیاده‌سازی عمق میدان دید استفاده شود و روش‌ها با یکدیگر مقایسه شده بهترین نتیجه از لحاظ برآورده شدن استانداردهای بصری شبیه شبیه‌ساز پرواز و همچنین درک بهتر عمق حاصل شود. (۳) الگوریتم بصورت زمان واقعی تست شود. (۴) پیاده‌سازی الگوریتم روی شبیه‌سازهایی که در مراحل نهایی برای آموزش خلبانان مورد استفاده قرار می‌گیرند، تست شود. این ایده پتانسیل ادغام در نمایشگرهای بالای سر برای کمک به خلبانان در فرود ایمن در شرایط مختلف آب و هوایی را داراست.

مراجع

[1] L.L.J. Prinzel III, K.E. Ellis, J.T.J. Arthur, S.N. Nicholas, C.D. Kiggins, Synthetic vision system commercial aircraft flight deck display technologies for unusual attitude recovery, in: 19th International Symposium on Aviation Psychology, 2017, pp. 148.

[2] D.M. Jacobs, A.H. Morice, C. Camachon, G. Montagne, Eye position affects flight altitude in visual approach to landing independent of level of expertise of pilot, PloS one, 13(5) (2018) e0197585.

[3] A.F. Fadhil, R. Kanneganti, L. Gupta, H. Eberle, R. Vaidyanathan, Fusion of enhanced and synthetic vision system images for runway and horizon detection, Sensors, 19(17) (2019) 3802.

[4] L.J. Kramer, T.J. Etherington, K. Severance, R.E. Bailey, S.P. Williams, S.J. Harrison, Assessing dual-sensor enhanced flight vision systems to enable equivalent visual operations, Journal of Aerospace Information Systems, 14(10) (2017) 533-550.

[5] X. Sun, C.M. Christoudias, V. Lepetit, P. Fua, Real-time landing place assessment in man-made environments, Machine vision and applications, 25(1) (2014) 211-227.

[6] V.B. Nakagawara, R.W. Montgomery, K.J. Wood, Aircraft accidents and incidents associated with visual effects from bright light exposures during low-light flight operations, Optometry-Journal of the American Optometric Association, 78(8) (2007) 415-420.

[7] B.T. Sweet, M.K. Kaiser, Choosing Your Poison: Optimizing Simulator Visual System Selection As a Function of Operational Tasks, (2013).

[8] L. Zhang, Z. Zhai, L. He, P. Wen, W. Niu, Infrared-inertial navigation for commercial aircraft precision landing in low visibility and gps-denied environments, Sensors, 19(2) (2019) 408.

[9] P. Hecker, M. Angermann, U. Bestmann, A. Dekiert, S. Wolkow, Optical Aircraft Positioning for Monitoring of the Integrated Navigation System during Landing Approach, Gyroscopy and Navigation, 10(4) (2019) 216-230.

[10] W. Kong, D. Zhou, D. Zhang, J. Zhang, Vision-based autonomous landing system for unmanned aerial vehicle: A survey, in: 2014 international conference on multisensor fusion and information integration for intelligent systems (MFI), IEEE, 2014, pp. 1-8.

[11] F. Barbuceanu, C. Antonya, Eye Tracking Applications, Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Engineering Sciences. Series I, 2 (2009) 17.

[12] R. Hamza, M.I. Mohamed, D. Ramegowda, V. Rao, Runway positioning and moving object detection prior to landing, in: Augmented Vision Perception in Infrared, Springer, 2009, pp. 243-269.

[13] M. Heiligers, T. Van Holten, M. Mulder, Seven Guidlines for Limiting Pilot Task Demand Load During Area Navigation Approaches, Journal of aircraft, 48(5) (2011) 1531-1552.

[14] F. Mazenc, L. Burlion, V. Gibert, Stabilization with imprecise measurements: application to a vision based landing problem, in: 2018 Annual American Control Conference (ACC), IEEE, 2018, pp. 2978-2983.

[15] Y. Watanabe, A. Manecy, A. Hiba, S. Nagai, S. Aoki, Vision-integrated navigation system for aircraft final approach in case of GNSS/SBAS or ILS failures, in: AIAA Scitech 2019 Forum, 2019, pp. 0113.

[16] J. Geng, Three-dimensional display technologies, Advances in optics and photonics, 5(4) (2013) 456-535.

[17] Y. Takaki, Development of super multi-view displays, ITE Transactions on Media Technology and Applications, 2(1) (2014) 8-14.

[18] R. Mantiuk, B. Bazyluk, A. Tomaszewska, Gaze-dependent depth-of-field effect rendering in virtual environments, in: International Conference on Serious Games Development and Applications, Springer, 2011, pp. 1-12.

[19] M.A. Cidota, R.M.S. Clifford, S.G. Lukosch, M. Billinghurst, Using Visual Effects to Facilitate Depth Perception for Spatial Tasks in Virtual and Augmented Reality, Adjunct Proceedings of the 2016 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR-Adjunct 2016, (2017) 172-177.

[20] L. Zhang, Z. Zhai, L. He, W. Niu, Infrared-based autonomous navigation for civil aircraft precision approach and landing, IEEE Access, 7 (2019) 28684-28695.

[21] B.A. Barsky, T.J. Kosloff, Algorithms for rendering depth of field effects in computer graphics, in: Proceedings of the 12th WSEAS international conference on Computers, World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS), 2008.

[22] R. Lungu, M. Lungu, Application of H2/H∞ and dynamic inversion techniques to aircraft landing control, Aerospace Science and Technology, 46 (2015) 146-158.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

M. Mobini, M. Sabzehparvar, Modeling of the pilot's depth perception algorithm to avoid collisions with obstacles for commercial aircraft landing, Amirkabir J. Mech. Eng., 53 (6) (2021) 3497-3510.

DOI: 10.22060/mej.2021.18760.6884

This page intentionally left blank