

**ड्रोन-वृंदाचे कार्य सक्षम, स्वायत्त आणि कुशल करणार आयआयटी मुंबईचे नवीन तंत्र**  
आयआयटी मुंबईच्या संशोधकांनी विकसित केलेल्या तंत्रामुळे ड्रोन-वृंदातील सदस्य ड्रोनना जीपीएस किंवा आंतर-ड्रोन संवाद प्रक्रियेविना केवळ कॅमेरा मधून प्राप्त माहिती वापरून वृंदाचरणा कायम ठेवणे शक्य.



प्रतिमा श्रेय: रोमन बुलातोव [vecteezy](https://www.vecteezy.com/author/romano-bulatov) द्वारा

बरेच ड्रोन, उदाहरणार्थ छायाचित्रणासाठी वापरले जाणारे, जमिनीवर असलेल्या जागेवरून थेट सरळ वर उड्डाण करू शकतात. अशा वाहनांना व्हर्टिकल टेक-ऑफ अँड लँडिंग (व्हीटीओएल) मानवरहित हवाई वाहने (यूएव्ही), म्हणजेच उभ्या दिशेने उड्डाण करणारी मानवरहित हवाई वाहने म्हणतात. अशा वाहनांना उड्डाणासाठी धावपट्टीची गरज नसते, ती हवेत तरंगू शकतात व हवेतच स्थिरही राहू शकतात. त्यामुळे, पाळत ठेवणे, टेहळणी करणे आणि मर्यादित जागेत हालचाल आवश्यक आहे अशा कार्यांसाठी ती अत्यंत उपयुक्त असतात.

भारतीय तंत्रज्ञान संस्था मुंबई (आयआयटी मुंबई) येथील प्रा. द्वैपायन मुखर्जी आणि संशोधक चिन्मय गरनायक यांनी व्हीटीओएल मानवरहित हवाई वाहनांच्या वृंदा-नियंत्रणासाठी (ड्रोन-स्वॉर्म) एक योजना प्रस्तावित केली आहे. ह्यात प्रत्येक सदस्य ड्रोनने केवळ शेजारी असलेल्या ड्रोनची दिशा आणि कोन 'पाहून' आपले स्थान व मार्ग निश्चित केल्यास वृंदाची अपेक्षित रचना (फॉर्मेशन) कायम राखणे व अपेक्षित मार्गक्रमण करणे शक्य होते. त्यांनी प्रस्तावित केलेल्या नियंत्रण योजनेच्या स्थिरतेसाठी त्यांनी गणितीय पुरावा देखील दिला आहे.

रचना व दिशा नियंत्रणाच्या बहुतेक विद्यमान प्रणाली ग्लोबल पोजिशनिंग सिस्टम (जीपीएस) सारख्या बाह्य स्थान-निर्धारण प्रणालीवर किंवा सदस्य ड्रोनच्या हालचाली नियंत्रित करण्यासाठी मानवी ऑपरेटर किंवा केंद्रीय संगणकावर अवलंबून असतात. प्रा. मुखर्जी म्हणतात, “वृंदांमध्ये स्वायत्तता असणे (ऑटोनॉमी) महत्त्वाचे आहे. याचा अर्थ, समूहातील वाहनांनी त्यांच्या क्रिया-प्रतिक्रिया काय असाव्यात हे जागतिक (ग्लोबल) माहितीसाठ्यातून किंवा मानवी किंवा केंद्रीय संगणक नियंत्रणाद्वारे त्यांना दिल्या गेलेल्या माहितीवर अवलंबून ठरवण्याऐवजी, स्वतःकडे उपलब्ध असलेल्या संवेदकांद्वारे (ऑन-बोर्ड

सेन्सर) मोजता येणाऱ्या चलांवर आधारित ठरवणे योग्य आहे. येथेच आमचे प्रतिमान नेहमीच्या पद्धतीपेक्षा वेगळे ठरते.”

गरनायक आणि मुखर्जी यांनी एक अशी नियंत्रण योजना प्रस्तावित केली आहे, ज्यामध्ये प्रत्येक सदस्य-ड्रोन वृंदांमध्ये आपले स्थान कायम राखत इच्छित दिशेने जाण्यासाठी, त्याच्या जवळच्या शेजारील ड्रोनच्या सापेक्ष स्थानाचा म्हणजेच ‘बेअरिंग’ माहितीचा वापर करतो. या पद्धतीच्या योजनेला “बेअरिंग-ओन्ली” म्हणजेच केवळ-सापेक्षस्थान पद्धत म्हणतात. “केवळ सापेक्ष-स्थान नियंत्रण पद्धतीमध्ये एकमेकांदरम्यानच्या सापेक्षस्थानाचे मोजमाप वापरून ड्रोन-वृंदांच्या रचनेचे नियंत्रण साधणे हे उद्दिष्ट असते,” असे संशोधक सांगतात.

वृंदातील सदस्य-ड्रोन स्वतःचा ऑन-बोर्ड कॅमेरा वापरून काढलेल्या छायाचित्राच्या आधारे सापेक्षस्थानाचे गणन करू शकतो व त्याला याकरता जीपीएसची किंवा केंद्रीय संगणक अथवा शेजारील ड्रोन-सशी संवाद साधायची गरज पडत नाही. सामान्यतः कॅमेरा-आधारित मापन पारंपारिक अंतर-संवेदकांपेक्षा कोलाहलाकडे (नॉइज) दुर्लक्ष करण्यात अधिक सक्षम असतात. त्यामुळे ड्रोनची संवेदन प्रणाली सुलभ होते, ड्रोनला बॅटरी कमी लागते आणि ड्रोनचे एकूण वजन कमी होते. जिथे जीपीएस उपलब्ध नाही किंवा संदेशवहन करण्यात बाधा असू शकते, तिथे सदर नियंत्रण प्रणालीची उपयुक्तता अधोरेखित होते. ह्या नियंत्रण प्रणालीमुळे ड्रोन कार्यक्षम, विश्वासार्ह, मजबूत आणि स्वायत्त बनतो. शिवाय गुप्त पद्धतीने हाताळायचा (स्टेल्थ-मोड) कारवाया सुलभ होतात, ज्यामुळे ड्रोन गोपनीय लष्करी मोहिमांसाठी उपयुक्त ठरतो.

व्हिटीओएल वाहने सहसा वाहनाच्या वरच्या बाजूला असणाऱ्या अनेक रोटर्सद्वारे नियंत्रित केली जातात. सामान्यतः ड्रोन वर-खाली, डावी-उजवीकडे आणि पुढे-मागे जाऊ शकतो, तसेच वर-खाली, डावी-उजवीकडे झुकू शकतो आणि डावी-उजवीकडे वळू शकते. ड्रोन या सहा प्रकारे हालचाल करू शकत असल्यामुळे, त्याला स्वातंत्र्याच्या सहा कोटी (डिग्रीज ऑफ फ्रिडम) असल्याचे म्हटले जाते. व्हिटीओएल ड्रोनमध्ये केवळ त्यांची वर-खाली हालचाल आणि तीन अक्षांभोवतीच्या घूर्णन गती थेट नियंत्रित करण्याची यंत्रणा असते. डावी-उजवीकडे आणि पुढे-मागे होणाऱ्या हालचालींना अप्रत्यक्षपणे नियंत्रित करावे लागते. उपलब्ध असलेली थेट नियंत्रण यंत्रणा कशाप्रकारे नियंत्रित केल्यास हवी असलेली गती प्राप्त होईल याचे काळजीपूर्वक गणन करून नियंत्रण करावे लागते. अशा प्रणाली, ज्यांमध्ये थेट नियंत्रित हालचालींची संख्या स्वातंत्र्याच्या कोटीपेक्षा कमी असते, त्यांना अल्प-क्रियान्वित प्रणाली (अंडर-अॅक्च्युएटेड सिस्टिम्स) म्हणतात. अल्प-क्रियान्वित प्रणाली नियंत्रित करणे सोपे नसते आणि आवश्यक नियंत्रण प्रणाली गुंतागुंतीची असते.

प्रा. मुखर्जी स्पष्ट करतात, “आतापर्यंत प्रकाशित अभ्यासांमध्ये व्हिटीओएल वाहनांच्या अल्प-क्रियान्वित गतिकीचा (अंडर-अॅक्च्युएटेड डायनॅमिक्स) विचार केला गेलेला नाही आणि केवळ शुद्ध गतिकी प्रतिमानावर (कायनामॅटिक्स मॉडेल, ज्यात बल विचारात घेतले जात नाही) लक्ष केंद्रित केले आहे. यामुळे आम्हाला व्हिटीओएल मानवरहित वाहनांचे संपूर्ण अल्प-क्रियान्वित प्रतिमान विचारात घेण्याची आणि रचना नियंत्रणासाठी त्याची उपयुक्तता तपासण्याची प्रेरणा मिळाली.”

अल्प-क्रियान्वित प्रणालींचे प्रतिमान तयार करण्यासाठी गतिकी प्रतिमानाचा (डायनॅमिक मॉडेल्स) वापर करणे आवश्यक आहे, ज्यात स्थान (पोसिशन), अभिमुखता (ओरिएन्टेशन), वेग (व्हेलॉसिटी), तसेच बल, बल-आघूर्ण (टॉर्क) आणि जडत्व (इनर्शिया) ही माहिती समाविष्ट असते. पूर्वीच्या काही उपायांच्या स्थिरतेचे पुरावे अयशस्वी ठरले, तर काहींसाठी नियंत्रण यंत्रणा (कंट्रोल मेकॅनिजम) विशिष्ट परिस्थितीत कोलमडून पडल्या. गरनायक आणि मुखर्जी यांनी बारिक-सारिक तपशील लक्षात घेऊन, स्थिरतेची हमी असलेली एक नवीन नियंत्रण योजना परिश्रमपूर्वक विकसित केली आहे. अपूर्ण वृंदरचनेपासून सुरुवात केली तरीही, सदर नियंत्रण प्रणाली ड्रोनना त्यांच्या इच्छित रचनेत एकत्र आणेल आणि अपेक्षित रचना

कायम राखू शकेल. त्यांच्या प्रस्तावित नियंत्रण योजनेत स्थिरता प्राप्त होते, याचे सखोल गणितीय पुरावेही संशोधकांनी सादर केले आहेत.

गरनायक आणि मुखर्जी यांच्या कार्यामध्ये दोन मुख्य परिस्थितींचा विचार केला आहे: एक ज्यामध्ये ड्रोन-वृंदाचा वेग स्थिर असताना रचना कायम ठेवण्याची आवश्यकता आहे, आणि दुसरी ज्यामध्ये रचना आणि वेग कालानुरूप बदलतात. स्थिर-वेग परिस्थितीमध्ये, ड्रोन त्यांची रचना कायम ठेवण्यासाठी केवळ सापेक्षस्थान आणि ते बदलण्याचा दर विचारात घेतात. अधिक जटिल, कालानुरूप बदलणाऱ्या परिस्थितीमध्ये संरचनेचा आकार बदलण्याची आवश्यकता असू शकते अथवा नेतृत्व करणारा ड्रोन वेग कमी-जास्त करत असेल किंवा वळत असेल, तिथे सदस्य ड्रोन सापेक्षस्थानाच्या मोजमापांव्यतिरिक्त स्वतःच्या वेगाचे मोजमाप देखील समाविष्ट करतात. पूर्वीच्या संशोधनांच्या तुलनेत गरनायक आणि मुखर्जी यांच्या योजनेमुळे झालेली प्रमुख सुधारणा म्हणजे त्यांच्या नियंत्रण प्रणालीमध्ये कालानुरूप स्वैरपणे बदलणाऱ्या रचना (आरबीट्री टाइम-व्हेरिइंग कॉन्फिगरेशन) हाताळण्याची क्षमता आहे. अरुंद मार्गातून ड्रोन-वृंद जाणे, तात्पुरते सरळ ओळीत मार्गक्रमण करणे, किंवा मोहिमेच्या बदलत्या गरजांप्रमाणे रचना बदलणे यासारख्या वास्तविक परिस्थितींसाठी ही क्षमता अत्यंत महत्त्वपूर्ण आहे.

गरनायक आणि मुखर्जी यांनी एका व्यावहारिक समस्येवर सिद्धांत-आधारित (थिअरी-बॅकड) उपाय सादर केला आहे. त्यांच्या नियंत्रण योजनेची ड्रोन-वृंदाचा वापर करून प्रायोगिकरित्या चाचणी घेण्याची त्यांची योजना आहे. त्यांच्या भविष्यातील योजनांबद्दल माहिती देताना प्रा. मुखर्जी सांगतात, “बहुतेक विद्यमान अल्गोरिदम टक्कर टाळण्यासाठी कोणतीही सैद्धांतिक पुष्टी नसलेल्या तात्पुरत्या-अनियोजित योजनांवर (एँड-हॉक कोलिजन अवॉइडन्स स्कीम) अवलंबून असतात. ड्रोनची आपापसांत व आजूबाजूच्या वस्तूंशी होऊ शकणारी टक्कर टाळणे हे एक आव्हान आहे. ह्या समस्येची सैद्धांतिक स्तरावर उकल शोधण्याचा प्रयत्न आम्ही करत आहोत.”

अर्थसाहाय्य माहिती: या कामाला अनुसंधान नॅशनल रिसर्च फाउंडेशन (ANRF) च्या CRG/2023/002280 या प्रकल्प कोडच्या निधीतून अंशतः अर्थसाहाय्य मिळाले.

<b>VETTED / UNVETTED</b>	Vetted
<b>Title of Research Paper</b>	Bearing-Only Constant and Time-Varying Formation Tracking Control for Vertical Take-Off and Landing UAVs
<b>DOI of the Research Paper as a link</b>	International Journal of Robust and Nonlinear Control, 2025; 0:1–18 1 <a href="https://doi.org/10.1002/rnc.70095">https://doi.org/10.1002/rnc.70095</a>
<b>List of all researchers with affiliations</b>	Chinmay Garanayak, Dwaipayan Mukherjee Department of Electrical Engineering, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai, India
<b>Email of researcher/s</b>	<a href="mailto:dm@ee.iitb.ac.in">dm@ee.iitb.ac.in</a>
<b>Writer name</b>	Arati Halbe

<b>Transcreator name</b>	Arati Halbe
<b>Credits to Graphic:</b>	Roman Bulatov via <a href="#">vecteezy</a>
<b>Subject [FOR EDITOR] - Please Highlight in RED (Multiple allowed)</b>	Science/ <b>Technology/Engineering</b> /Ecology/Health/Society
<b>Article to be Sectioned Under [FOR EDITOR] - Please Highlight in RED</b>	<b>Deep Dive</b> /Friday Features/Fiction Friday/Joy of Science/News+Views/News/Scitoons/Catching up/OpEd/Featured/Sci-Qs/Infographics/Events
<b>Social Media TAGS separated by Comma</b>	
<b>Social Media Posts Suggestions/ Links to interesting relevant content [optional] [writer]</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. A novel and theoretically-backed scheme by IIT Bombay researchers to control drones in drone swarms, can enable complex formation flying using only camera data, without GPS or inter-drone communication. Details at &lt;link&gt;</li> <li>2. IIT Bombay researchers have proposed a control scheme that enables vertical take-off and landing unmanned aerial vehicles (VTOL UAVs) in swarms to maintain intended formations and navigate by merely 'looking' at their immediate neighbours. Read on for more at &lt;link&gt;</li> </ol>
<b>Social Media Handles to be added</b>	@IndiaDST, @iitbombay
<b>Social Media handles of writer</b>	LinkedIn : <a href="https://www.linkedin.com/in/arati-halbe-4573801/">https://www.linkedin.com/in/arati-halbe-4573801/</a> X : @Ar SH
<b>Social Media handles of researchers</b>	<a href="https://www.linkedin.com/in/dwaipayan-mukherjee-/">https://www.linkedin.com/in/dwaipayan-mukherjee-/</a>
<b>Funding information (Source: Research paper)</b>	ANRF
<b>Conflict of Interest/Competing Interest information (Source: Research paper)</b>	None
<b>Co-PI information (Source: Research paper)</b>	None
<b>Location:</b>	Mumbai