

लॅपरोस्कोपिक शस्त्रक्रियेत भूमितीची किमया: आयआयटी संशोधकांचे अभिनव तंत्रज्ञान

भारतीय तंत्रज्ञान संस्थांच्या संशोधकांनी केवळ सामान्य द्विमितीय व्हिडिओ आणि भूमितीच्या तत्वांचा वापर करून शस्त्रक्रियेच्या उपकरणांच्या त्रिमितीय हालचालींचा मागोवा घेणारी एक संगणकीयदृष्ट्या कार्यक्षम पद्धत विकसित केली आहे.



प्रतिमा श्रेय: तातियाना माकारोवा [vecteezy](#) द्वारा

शल्यचिकित्सक आणि रुग्ण आता 'लॅपरोस्कोपिक', म्हणजे दुर्बिणीद्वारे केलेल्या शस्त्रक्रियेला वाढती पसंती देत आहेत कारण यामध्ये रुग्णांना कमी वेदना होतात आणि ते लवकर बरे होतात. या प्रकारच्या शस्त्रक्रियेला की-होल म्हणजे लहानशा छिद्राद्वारे केली जाणारी शस्त्रक्रिया असेही म्हटले जाते. एका लहानशा छिद्रातून शस्त्रक्रियेच्या ठिकाणी आत घातलेल्या एका छोट्याशा कॅमेऱ्याने टिपलेल्या द्विमितीय व्हिडिओचा आधार घेत रोबोटिक आर्म वापरून, शरीराच्या आतील त्रिमितीय (३डी) जागेमध्ये सूक्ष्म उपकरणाने सर्जरी करण्यासाठी शल्यचिकित्सकांना त्यांचा अनुभव आणि कौशल्य पणाला लावावे लागते. भारतातील मोठ्या शहरांमधील काही प्रगत इस्पितळांमध्ये ३डी दृश्ये दाखवणारी उच्च दर्जाची रोबोटिक शस्त्रक्रिया यंत्रणा उपलब्ध असली, तरी अश्या सुविधा अजून तरी अत्यंत महागड्या आणि मर्यादित आहेत.

शल्यक्रियेदरम्यान खोलीचा अंदाज म्हणजेच एखाद्या वस्तूचे कॅमेऱ्यापासून नेमके अंतर किती आहे हे ओळखण्याची क्षमता (डेपथ परसेप्शन) आणि ३डी दृश्य मिळवण्यासाठी सध्याच्या शस्त्रक्रिया प्रणालींमध्ये दोन कॅमेरा वापरणारी यंत्रणा किंवा महागडे सेन्सर्स, किंवा शल्य साधनांवर विशिष्ट खुणा अथवा लेबल वापरली जातात. दुसरा एक पर्याय आहे डीप लर्निंग तंत्रज्ञानाचा वापर, परंतु त्यासाठी अतिशय गुंतागुंतीच्या संगणन प्रक्रियेची आवश्यकता असते. या सर्व पद्धती खुप खर्चिक असून त्यासाठी अत्यंत प्रगत साधनसामग्री लागते. अर्थातच अश्या प्रगत प्रणाली लहान व प्राथमिक आरोग्य केंद्रांच्या आवाक्याच्या बाहेर असतात.

भारतीय तंत्रज्ञान संस्था (आयआयटी) मुंबईच्या डॉ. शुभांगी नेमा आणि प्राध्यापिका लीना वाच्छानी, तसेच आयआयटी गोवा येथील अभिषेक माथूर यांनी एक नवीन सॉफ्टवेअर तंत्र विकसित केले आहे जे महागडे सेन्सर्स किंवा प्रचंड संगणकीय क्षमतेशिवाय केवळ भूमितीच्या मूलभूत संकल्पनांच्या आधारे शस्त्रक्रियेच्या साधनांचा त्रिमितीय मागोवा (ट्रॅकिंग) घेते. त्यांचे हे सॉफ्टवेअर शरीराच्या आतील कॅमेरा मधून मिळणाऱ्या व्हिडिओचा वापर करून शस्त्रक्रियेच्या उपकरणांचे स्थान आणि त्यांची दिशा यांचा अचूक अंदाज लावू शकते. त्रिमितीय जागेत उपकरणांचा मागोवा घेण्याच्या या किफायतशीर पद्धतीमुळे 'व्हर्च्युअल रिव्हॅलिटी' म्हणजेच आभासी वास्तव यावर आधारित शस्त्रक्रिया प्रशिक्षण प्रणाली अधिक सक्षम होऊ शकते. शिवाय, भविष्यात प्रत्यक्ष शस्त्रक्रियेदरम्यान लागणाऱ्या त्रिमितीय दृश्य प्रणालींचा खर्च लक्षणीयरीत्या कमी होऊ शकेल.

“आम्ही भूमितीय दृष्टिकोन निवडला कारण भूमिती मूलभूतपणे विश्वासाई आणि अर्थ लावण्यासाठी सोपी आहे. आम्ही यामध्ये पर्सपेक्टिव्ह प्रोजेक्शन (मानवी दृष्टीप्रमाणे ३डी माहितीवरून वरून ती वस्तू २डी पडद्यावर कशी दिसेल ते चित्र उभे करणे), उपकरणांच्या आकारावरील मर्यादा आणि इंटरवल-बेस्ड मॉडेलिंग (उपकरणांच्या नेमक्या स्थानाऐवजी संभाव्य स्थानांच्या कक्षांचा मॉडेल मध्ये वापर) यांसारख्या भूमितीय संकेतांचा प्रभावी वापर केला आहे,” असे डॉ. नेमा यांनी सांगितले.

संशोधकांना असे आढळले की शस्त्रक्रियेच्या उपकरणांना एकमेकांशी जोडलेल्या भूमितीय आकारांचा संच मानल्यास, द्विमितीय व्हिडिओ फ्रेम्समध्ये होणाऱ्या बदलांवरून त्या उपकरणांच्या स्थानाची खोली व उपकरणाची हालचाल आणि फिरण्याची दिशा यांची थेट गणना करता येते. त्यांनी उपकरणांच्या प्रत्येक भागासाठी, उदाहरणार्थ दांडा आणि त्याला जोडलेली पकड (क्लॅस्पर), स्वतंत्र 'बाउंडिंग बॉक्सेस' म्हणजे वस्तूच्या भोवती चौकोनी सीमा संगणकीय प्रणालीद्वारे तयार करण्यासाठी एक अल्गोरिदम विकसित केला. प्रत्येक फ्रेममध्ये या सीमादर्शी चौकोनांचा आकार, विस्तार आणि त्यांच्यातील कोनांमध्ये होणारे बदल पाहून, संशोधक उपकरणांच्या भागांच्या सापेक्ष आणि निरपेक्ष स्थानांचा तसेच त्यांच्या हालचालींचा अंदाज लावतात.

हा अल्गोरिदम परिदृश्य (पर्सपेक्टिव्ह) तत्वाचा वापर करतो : जसजशी एखादी वस्तू कॅमेऱ्यापासून दूर जाते, तसतशी ती आकाराने लहान भासू लागते आणि फिरताना तिचा प्रक्षेपित (प्रोजेक्टेड) आकार विशिष्ट पद्धतीने बदलतो. या सीमादर्शी चौकोनाच्या क्षेत्रफळातील बदलाचे मोजमाप करून हा अल्गोरिदम उपकरणांच्या हालचालीची गणना करतो. जर हा चौकोन आकुंचन पावत असेल, तर याचा अर्थ ते साधन शरीराच्या आत आणखी खोल जात आहे; आणि जर तो विस्तारत असेल, तर ते साधन मागे खेचले जात आहे. हा अल्गोरिदम एकाच वेळी स्क्रीनवरील चौकोनाच्या केंद्रबिंदूच्या हालचालीचा मागोवा घेतो, आणि प्रत्येक अक्षाभोवती फिरण्याची गती निश्चित करण्यासाठी सीमादर्शी चौकोनाच्या अंतर्गत कोनांमधील बदलांचे विश्लेषण करतो.

द्विमितीय प्रतिमांवरून त्यातील खोलीचा अचूक अंदाज लावणे हे आव्हानात्मक असू शकते. अपुरा प्रकाश, कॅमेऱ्यातील अस्पष्टता किंवा जलद हालचालींमुळे निर्माण होणारी पुसट प्रतिमा (मोशन ब्लर) यांमुळे उपकरणाची बाह्यरेखा कधीकधी स्पष्ट दिसू शकत नाही. डॉ. नेमा स्पष्टीकरण देताना म्हणाल्या, “एकच कॅमेरा वापरणाऱ्या प्रणाली मध्ये भिन्न त्रिमितीय रचनांच्या द्विमितीय प्रतिमा एकसारख्याच दिसू शकतात. यामध्ये संभाव्य त्रिमितीय रचनेच्या शक्य तितक्या जवळ जाण्यासाठी भूमितीय निर्बंध आणि इंटरवल-बेस्ड मर्यादा वापरून आम्ही त्रिमितीय रचना कशी असेल याचा अंदाज लावायचा प्रयत्न केला.” उपकरणाचे टोक नेमके अमुक एका बिंदूवर आहे असे सांगण्याऐवजी, हा अल्गोरिदम ज्यामध्ये ते टोक असू शकते अशी कक्षा निश्चित करतो. “उपकरणांचे ज्ञात आकारमान आणि त्यांच्या हालचालीतील सलगता यांचा समावेश करून, आम्ही त्रिमितीय रचना समजण्यामधील संदिग्धता कमी

केली आहे. या पद्धतीमुळे त्रिमितीय अंदाजाची प्रक्रिया अधिक स्थिर आणि भक्कम होते.” असे डॉ. नेमा पुढे म्हणाल्या.

संशोधकांच्या अनुरूपण (सिम्युलेशन) आणि प्रयोगांतून असे सिद्ध झाले की त्यांची सदर पद्धत कमालीची अचूक आहे. या पद्धतीमध्ये उपकरणाच्या विस्थापनाच्या अंदाजातील त्रुटी एक मिलिमीटर किंवा त्यापेक्षाही कमी आढळल्या, आणि उपकरणाच्या दिशेमधील त्रुटी तर नगण्य होती. विशेष म्हणजे, ही प्रणाली कोणत्याही विशेष ग्राफिक्स हार्डवेअरशिवाय एखाद्या सामान्य संगणकाच्या प्रोसेसरवर आवश्यक कार्यक्षमतेने चालू शकते. ही प्रणाली प्रति सेकंद अंदाजे ५० फ्रेम्स या वेगाने व्हिडिओवर प्रक्रिया करते, आणि हा वेग रिअल-टाइम म्हणजेच प्रत्यक्ष वेळेत विनाविलंब करायच्या अनुप्रयोगांसाठी पुरेसा आहे.

सदर पद्धतीची पडताळणी करण्यासाठी संशोधकांनी एका प्रयोगाची प्रत्यक्ष मांडणी केली, ज्यामध्ये अत्यंत अचूकपणे हालचाल टिपणारी प्रणाली (मोशन कॅप्चर सिस्टिम) आणि एका स्थिर वेबकॅमचा वापर करून एका लहान प्रायोगिक मॉडेलच्या ज्ञात हालचालींची नोंद करण्यात आली. त्यांनी वेबकॅमनी दिलेल्या व्हिडीओ वर स्वतःचा भूमिती-आधारित अल्गोरिदम वापरून निर्धारित केलेल्या माहितीची तुलना प्रायोगिक मांडणीतील हालचाल टिपणाऱ्या संवेदकांनी (मोशन कॅप्चर सेन्सर्स) दिलेल्या प्रत्यक्ष माहितीशी केली. त्यांना असे आढळले की त्यांच्या पद्धतीतील त्रुटी अत्यंत नगण्य आहेत, ज्यामुळे भविष्यातील प्रगत उपयोगांसाठी या पद्धतीचा वापर उपकरणांचे लेबलिंग आणि त्यांच्या हालचालींचा मागोवा घेण्यासाठी निश्चितपणे करता येईल.

संशोधकांनी असे नमूद केले आहे की त्रिमितीय म्हणजे ३डी मागोवा घेण्याची अचूकता थेट सुरुवातीच्या द्विमितीय म्हणजे २डी प्रतिमेतील ‘सेगमेंटेशन’च्या (प्रतिमेचे वेगवेगळे अर्थपूर्ण भाग पडणे) अचूकतेवर अवलंबून असते; जर संगणकाने उपकरणाची बाह्यरेखा चुकीची तयार केली, तर त्रिमितीय अंदाजाची अचूकता देखील कमी होईल. शिवाय, सध्याचे गणितीय मॉडेल असे गृहीत धरते की कॅमेऱ्याचे फोकल लेंथ म्हणजेच नाभीय अंतर ज्ञात आणि स्थिर आहे. संशोधक त्यांच्या पुढील सुधारित आवृत्तीमध्ये स्वयंचलित कॅलिब्रेशनचा समावेश करणे योजत आहेत.

संशोधक आता शल्यचिकित्सकांना शास्त्रक्रियेमध्ये विनाविलंब प्रत्यक्ष घडत असलेल्या वेळेत (रिअल-टाइम) प्रशिक्षण किंवा सहाय्य देण्यासाठी एका प्रायोगिक मांडणीत आपल्या या पद्धतीचा उपयोग करून बघण्याची योजना आखत आहेत. “हे संशोधन असे सिद्ध करते की सध्या उपलब्ध असलेल्या मोनॉक्युलर (एकच लेन्स असलेला द्विमितीय प्रतिमा घेणारा सामान्य कॅमेरा) लॅपरोस्कोपिक कॅमेऱ्याचा वापर करून शल्यचिकित्सकांना त्रिमितीय दृश्याचा अनुभव मिळू शकतो. दुर्बिणीद्वारे केल्या जाणाऱ्या शस्त्रक्रियांमध्ये दृश्यातील खोलीचा अचूक अंदाज घेण्यासाठी हा एक किफायतशीर आणि व्यावहारिक मार्ग आहे.” असे प्रा. वाच्छानी यांनी सांगितले.

निधीविषयक माहिती: भारतातील उच्च शिक्षण संस्थांमध्ये संशोधन करण्यासाठी भारत सरकारच्या प्रधानमंत्री रिसर्च फेलोज (पीएमआरएफ) योजनेद्वारे (पीएमआरएफ आयडी क्रमांक १३००२२९, दिनांक मे २०१९) या अभ्यासाला आर्थिक सहाय्य प्रदान करण्यात आले होते.

VETTED / UNVETTED	Vetted
Title of Research Paper	From 2D to 3D surgical instrument tracking: a technique based on

	intervals and geometric cues
DOI of the Research Paper as a link	https://doi.org/10.1007/s00138-025-01773-x
List of all researchers with affiliations	Shubhangi Nema, Leena Vachhani Systems and Control, Indian Institute of Technology Bombay, Powai, Mumbai, Maharashtra 400076, India Abhishek Mathur Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology, Goa, Ponda, Goa 403401, India
Email of researcher/s	leena.vachhani@iitb.ac.in ; nemashubhangi94@gmail.com
Writer name	Arati Halbe
Transcreator name	Shilpa Inamdar-Joshi
Credits to Graphic:	Image credits: Tatyana Makarova via vecteezy
Subject [FOR EDITOR] - Please Highlight in RED (Multiple allowed)	Science/ Technology/Engineering /Ecology/ Health /Society
Article to be Sectioned Under [FOR EDITOR] - Please Highlight in RED	Deep Dive /Friday Features/Fiction Friday/Joy of Science/News+Views/News/Scitoons/Catching up/OpEd/Featured/Sci-Qs/Infographics/Events
Social Media TAGS separated by Comma	#laparoscopicsurgery, #roboticsurgery
Social Media Posts Suggestions/ Links to interesting relevant content [optional] [writer]	1. IIT Bombay's Prof Leena Vacchani's work on 3D visualisation from a 2D camera feed demonstrates that a three-dimensional visual experience for surgeons can be achieved using the existing monocular laparoscopic camera itself, offering a cost-effective and practical pathway toward improved depth perception in minimally invasive surgery.
Social Media Handles to be added	@IndiaDST, @iitbombay

Social Media handles of writer	X : Ar_SH LinkedIn : www.linkedin.com/in/aratihabe
Social Media handles of researchers	https://www.linkedin.com/in/leenavachhani/ www.linkedin.com/in/dr-shubhangi-nema-b08650b4
Funding information (Source: Research paper)	Financial support for this study was provided by the Prime Minister's Research Fellows (PMRF) scheme, India (PMRF Id no. 1300229 dated May 2019) for pursuing research in higher educational institutions in India.
Conflict of Interest/Competing Interest information (Source: Research paper)	None
Co-PI information (Source: Research paper)	None
Location:	Mumbai