क्वांटम परिपथ की डिजाइन में आनुवंशिक एल्गोरिदम का उपयोग

विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी / क्वांटम संगणना (मुख्य परीक्षा: सामान्य अध्ययन-III) | शोध संदर्भ: फिजिकल रिव्यू ए, 23 मार्च 2026 | प्रकाशित: 24 अक्टूबर 2026

खबरों में क्यों

क्वांटम कंप्यूटर की उपयोगिता केवल अधिक क्यूबिट बनाने पर निर्भर नहीं है। उन क्यूबिट पर किस क्रम में क्रियाएँ की जाएँ, यह भी महत्त्वपूर्ण है। भारतीय विज्ञान शिक्षा एवं अनुसंधान संस्थान, भोपाल के मनीष मल्लापुर, रोनित राज और अंकुर रैना ने सीमित गहराई वाले उपयोगी क्वांटम परिपथ खोजने के लिए आनुवंशिक एल्गोरिदम आधारित ढाँचा प्रस्तुत किया है। फिजिकल रिव्यू ए में इसके प्रकाशन की तिथि 23 मार्च 2026 दर्ज है। अध्ययन की सार्वजनिक पूर्वप्रकाशित पांडुलिपि में छोटे अणुओं और स्पिन मॉडल पर संगणकीय परीक्षण हैं। मुख्य विचार ऐसा परिपथ ढूँढ़ना है जिसकी संरचना अलग समस्याओं में फिर उपयोग हो सके। यह व्यावसायिक क्वांटम लाभ, सभी समस्याओं का समाधान या वास्तविक बड़े क्वांटम कंप्यूटर पर सार्वभौमिक सफलता का प्रमाण नहीं है। योगदान परिपथ की संरचना चुनने के एक विशिष्ट तरीके में है।

क्वांटम परिपथ की गहराई क्या है?

क्यूबिट पर होने वाली मूल क्रियाओं को क्वांटम गेट कहा जाता है। इन क्रियाओं के क्रम से परिपथ बनता है। गहराई क्रमिक परतों का एक माप है; यह कुल गेट संख्या या दीवार-घड़ी के समय का पर्याय नहीं। कुछ क्रियाएँ समानांतर हो सकती हैं, जबकि दूसरे क्रम में उनका इंतजार करना पड़ता है। वर्तमान उपकरणों में त्रुटियाँ और शोर लंबे परिपथ की उपयोगिता सीमित कर सकते हैं। इसलिए कम गहराई आकर्षक है। लेकिन बहुत छोटा परिपथ इच्छित उत्तर दर्शाने में असमर्थ भी हो सकता है। चुनौती केवल गेट घटाना नहीं, पर्याप्त क्षमता और विश्वसनीय अनुकूलन का संतुलन है। किसी परिपथ की गहराई कम होने से पूरा कार्य उतने ही अनुपात में तेज हो, यह जरूरी नहीं। मापन, संचार, दोहराव और पारंपरिक कंप्यूटर पर अनुकूलन भी कुल समय का हिस्सा होते हैं।

परिवर्ती एल्गोरिदम कैसे काम करता है?

PCSMANTRA.COM

इस क्षेत्र में एक सामान्य तरीका क्वांटम और पारंपरिक कंप्यूटर को मिलाकर काम करना है। क्वांटम परिपथ से किसी लक्ष्य-माप का अनुमान लिया जाता है और पारंपरिक अनुकूलक परिपथ के समायोज्य मान बदलता है। यह क्रम बेहतर उत्तर की खोज में दोहराया जाता है। अणु की न्यूनतम ऊर्जा-अवस्था ढूँढ़ना इसका एक उदाहरण है। इस खोज में उपयोग किए जाने वाले परिपथ के चुने रूप को अंसात्ज कहा जाता है। रूप में गेट का प्रकार और उनका क्रम शामिल है; उन गेट के समायोज्य मान अलग होते हैं। अच्छी संरचना मिलने पर भी नई समस्या के लिए इन मानों का अनुकूलन करना पड़ सकता है। इसलिए परिपथ का पुनः उपयोग और बिना कोई नई गणना किए उत्तर मिल जाना अलग बातें हैं। ढाँचा दोनों तरह के कंप्यूटर के सहयोग की जरूरत समाप्त नहीं करता।

आनुवंशिक एल्गोरिदम का विचार क्या है?

आनुवंशिक एल्गोरिदम जैविक विकास से प्रेरित खोज-विधि है, वास्तविक जीव या डीएनए का प्रयोग नहीं। इसमें संभावित समाधानों की आबादी बनाई जाती है। बेहतर प्रदर्शन वाले रूप चुने जाते हैं, उनके हिस्से मिलाकर नए रूप बनते हैं और छोटे बदलाव से विविधता आती है। अध्ययन में संभावित क्वांटम परिपथ ऐसे उम्मीदवार हैं। क्यूबिट संख्या और अधिकतम गहराई जैसी सीमाओं के भीतर बेहतर संरचना खोजी जाती है। यह खोज पारंपरिक संगणन का चरण है। केवल नाम में आनुवंशिक शब्द होने से इसे जैवप्रौद्योगिकी नहीं मानना चाहिए। इस तरह की खोज बहुत बड़े विकल्प-क्षेत्र को परखने में मदद कर सकती है, लेकिन हर संभव परिपथ में वैश्विक सर्वोत्तम मिलने की गारंटी नहीं देती। आबादी का आकार, अनुमत गेट और मूल्यांकन के तरीके जैसे निर्णय नतीजे प्रभावित करते हैं। इसलिए परिणाम को परीक्षण की डिजाइन से अलग करके नहीं पढ़ना चाहिए।

अभिव्यंजकता और सीखने की क्षमता में अंतर

अभिव्यंजकता बताती है कि परिपथ अपने समायोज्य मान बदलकर कितनी विविध क्वांटम अवस्थाएँ दर्शा सकता है। अध्ययन इसके लिए परिपथ से बने अवस्था-साम्य वितरण और एक संदर्भ यादृच्छिक वितरण की दूरी मापता है। दूरी कम होने पर प्रयुक्त कसौटी के अनुसार अभिव्यंजकता अधिक है। लेकिन अधिक विविध अवस्थाएँ बना सकना किसी खास समस्या का उत्तर आसानी से खोज पाने की गारंटी नहीं। अनुकूलन का परिदृश्य बहुत सपाट हो जाए तो सही दिशा में सुधार कठिन हो सकता है। स्वतंत्र पूर्व शोध भी अभिव्यंजकता और प्रशिक्षण की कठिनाई के बीच संबंध बताता है। इस अध्ययन में कुछ गेट समूह अधिक अभिव्यंजक होते हुए भी अंतिम ऊर्जा-खोज में कमजोर रहे। इसलिए एक अच्छे मध्यवर्ती अंक को पूरे एल्गोरिदम की सफलता नहीं मानना चाहिए। अंतिम समस्या पर परीक्षण और संसाधन-खपत का आकलन साथ करना जरूरी है।

अणुओं पर तुलना ने क्या दिखाया?

सार्वजनिक पांडुलिपि में हाइड्रोजन, लिथियम हाइड्राइड, बेरिलियम हाइड्राइड और पानी जैसे छोटे आणविक उदाहरण हैं। इन्हें सीमित गणनात्मक आधार में निरूपित करके ऊर्जा के संदर्भ परिणाम से तुलना की गई। कुछ बड़े उदाहरणों में विकसित परिपथ की गहराई 48 थी, जबकि तुलना की एक स्थापित विधि में यह 1,400 से अधिक थी। लेकिन ऊर्जा के अनुमान सभी मामलों में बिल्कुल समान नहीं थे। छोटे हाइड्रोजन उदाहरण में रासायनिक शुद्धता का स्तर मिला, जबकि दूसरे उदाहरणों के परिणाम उसी अर्थ में समान स्तर का सार्वभौमिक दावा नहीं देते। इसलिए लगभग तीस गुना कम गहराई को तीस गुना तेज कंप्यूटर या हर अणु में समान शुद्धता नहीं कहना चाहिए। परिणाम चुने मॉडल, गेट समूह, आधार और संदर्भ विधि के भीतर संसाधन तथा अनुमान के संतुलन का उदाहरण है। यह जटिल औद्योगिक रसायन की पूरी समस्या हल होने का प्रमाण नहीं।

PCSMANTRA.COM

पुनः उपयोग और शोर पर क्या प्रमाण हैं?

लेखक विकसित संरचना को अलग हैमिल्टोनियन, यानी प्रणाली की ऊर्जा का गणितीय वर्णन, पर लगाते हैं। नई समस्या के लिए संरचना की आनुवंशिक खोज फिर न करना लागत बचाने की संभावना देता है। फिर भी समायोज्य मानों को नई समस्या पर अनुकूलित करना रहता है। स्पिन प्रणालियों के उदाहरण भी सीमित आकारों पर हैं। शोर वाले परीक्षण में हाइड्रोजन की गणना सिमुलेशन में दोहराई गई और ऐतिहासिक उपकरण-त्रुटि आँकड़ों से बना मॉडल उपयोग हुआ। यह

वर्तमान वास्तविक हार्डवेयर पर हर समस्या का परीक्षण नहीं है। चुना शोर मॉडल सभी उपकरणों, समय के साथ बदलती त्रुटियों या सभी प्रयोगगत कठिनाइयों का प्रतिनिधि नहीं होगा। किसी खास मॉडल में बेहतर परिणाम भविष्य के उपयोग की दिशा दिखाता है, लेकिन व्यापक त्रुटि-सहनशीलता या त्रुटि-सुधारित क्वांटम संगणना सिद्ध नहीं करता।

भारत के लिए इसका महत्त्व

क्वांटम अनुसंधान में हार्डवेयर के साथ एल्गोरिदम, अनुकूलन और संसाधन-मापन की क्षमता जरूरी है। यह काम परिपथ की डिजाइन को शोध का स्वतंत्र विषय बनाता है। सार्वजनिक भंडार में संरचनाएँ, खोज के अभिलेख और कार्यान्वयन सामग्री दूसरे समूहों को विधि समझने में मदद कर सकती हैं। उपलब्ध सामग्री अपने आप स्वतंत्र पुनरुत्पादन का प्रमाण नहीं है। अलग संगणन व्यवस्था और परीक्षण समूहों में पुष्टि करनी होगी। संभावित उपयोग क्वांटम रसायन और अन्य अनुकरण समस्याओं में है; इसे तुरंत नई दवा या उद्योग के लिए तैयार समाधान का दावा नहीं बनाना चाहिए। भारतीय शोध क्षमता बढ़ने का अर्थ हर प्रस्तावित क्वांटम अनुप्रयोग में लाभ मिलना भी नहीं है। उपयोगिता तय करने के लिए समस्या-विशिष्ट शुद्धता, कुल संसाधन और अच्छे पारंपरिक विकल्प के मुकाबले प्रदर्शन देखना होगा।

मूल्यांकन में कौन सी सावधानियाँ चाहिए?

केवल अंतिम क्वांटम परिपथ की गहराई बताना पर्याप्त नहीं। उसे खोजने में लगा पारंपरिक समय, अलग-अलग उम्मीदवारों की जाँच और बाद के अनुकूलन की लागत भी गिननी चाहिए। खोज का समय क्यूबिट संख्या, गेट समूह और गहराई से प्रभावित होता है। छोटे उदाहरणों में सफलता से बहुत बड़ी प्रणालियों पर कुशल विस्तार अपने आप सिद्ध नहीं होता। अलग हार्डवेयर पर उपलब्ध गेट और क्यूबिटों के संपर्क की सीमाएँ परिपथ को बदल सकती हैं। जरूरी है कि तुलना समान संसाधन और स्पष्ट त्रुटि-सीमा पर हो। एक विधि कम गहराई में थोड़ा अलग ऊर्जा अनुमान दे तो निर्णय वास्तविक उपयोग की जरूरत के अनुसार होगा। उच्च अभिव्यंजकता, कम गहराई, कम कुल समय और क्वांटम लाभ अलग दावे हैं। इनके लिए अलग प्रमाण माँगना आलोचना नहीं, वैज्ञानिक तकनीक के उचित मूल्यांकन की शर्त है।

आगे क्या देखना होगा?

अगला प्रश्न अधिक बड़े मॉडल, अलग त्रुटि परिस्थितियों और वास्तविक उपकरणों पर संरचना के पुनः उपयोग का है। क्या आनुवंशिक खोज की शुरुआती लागत कई उपयोगों में सचमुच कम पड़ती है? क्या लक्ष्य शुद्धता बनाए रखते हुए कुल समय और मापन की जरूरत घटती है? अलग समूहों का पुनरुत्पादन इन प्रश्नों को स्पष्ट कर सकता है। मुख्य परीक्षा में इसे क्वांटम संगणना की सीमाओं, मिश्रित संगणन और एल्गोरिदम आधारित संसाधन-बचत से जोड़ें। निष्कर्ष यह है कि अच्छी डिजाइन सीमित उपकरण से अधिक उपयोगी काम लेने की संभावना बढ़ा सकती है। लेकिन छोटा परिपथ बनाना और व्यावहारिक क्वांटम लाभ सिद्ध करना एक ही उपलब्धि नहीं है। इस अंतर के साथ शोध का योगदान समझना उचित होगा।

PCSMANTRA.COM

अभ्यास प्रश्न: क्वांटम संगणना में परिपथ की अभिव्यंजकता, गहराई और प्रशिक्षण की क्षमता के बीच संतुलन क्यों आवश्यक है? आनुवंशिक एल्गोरिदम आधारित डिजाइन के उदाहरण से शोध की संभावनाओं और सीमाओं की चर्चा कीजिए। (250 शब्द)

स्रोत: प्रकाशकीय अभिलेख; सार्वजनिक पांडुलिपि; संस्थागत विवरण; लेखकों का कार्यान्वयन भंडार; स्वतंत्र समीक्षा; प्रशिक्षण की कठिनाई पर पूर्व शोध।