न्यूरोमॉर्फिक कंप्यूटिंग: मस्तिष्क से प्रेरित चिप और मेमरिस्टर

विज्ञान-तकनीक और इलेक्ट्रॉनिकी (मुख्य परीक्षा: सामान्य अध्ययन-III) | समाचार संदर्भ: 28 मई 2026 (नेचर कम्युनिकेशन्स शोधपत्र; 27 मई पृथक शोध) | प्रकाशित: 24 अक्टूबर 2026

कृत्रिम बुद्धिमत्ता में केवल बेहतर सॉफ्टवेयर की जरूरत नहीं होती। उसे चलाने वाले उपकरण कितनी ऊर्जा लेते हैं और सूचना कितनी तेजी से पहुंचाते हैं, यह भी महत्वपूर्ण है। न्यूरोमॉर्फिक कंप्यूटिंग इसी प्रश्न का एक शोध-आधारित रास्ता है। इसमें मस्तिष्क के कुछ कार्य-सिद्धांतों से प्रेरणा लेकर हार्डवेयर और एल्गोरिदम बनाए जाते हैं। इसका अर्थ प्रयोगशाला में मानव मस्तिष्क की पूरी नकल या चेतना वाली मशीन तैयार हो जाना नहीं है।

मई 2026 में चर्चा का आधार

28 मई 2026 को नेचर कम्युनिकेशंस में प्रकाशित एक अध्ययन में होमियोस्टैटिक न्यूरॉन और प्रोग्राम किए जा सकने वाले डेंड्राइट-जैसे ढांचे को जोड़ने वाली प्रणाली प्रस्तुत की गई। शोध में वैनाडियम डाइऑक्साइड, प्रतिरोध-आधारित स्मृति और सीएमओएस परिपथों का उपयोग हुआ। उद्देश्य समय के साथ बदलते संकेतों में अलग-अलग समय-पैमाने के पैटर्न पहचानना था। औद्योगिक दोष पहचान और सीमित शब्द-पहचान जैसे कार्यों का परीक्षण इस दिशा की संभावना समझाने के लिए किया गया।

इस अध्ययन को पूरी तरह एक ही चिप पर बने स्वायत्त कृत्रिम मस्तिष्क की घोषणा नहीं समझना चाहिए। विस्तृत शोध-विवरण के अनुसार कुछ महत्वपूर्ण परिपथ बोर्ड स्तर पर बनाए और जांचे गए, जबकि होमियोस्टैटिक न्यूरॉन तथा नेटवर्क के कई परिणाम सिमुलेशन पर आधारित थे। कंप्यूटर और एफपीजीए नियंत्रक की भी भूमिका थी। यह अंतर शोध की उपयोगिता कम नहीं करता; यह बताता है कि कौन-सा दावा वास्तव में किस स्तर पर जांचा गया।

मस्तिष्क से प्रेरणा का अर्थ

जैविक तंत्रिका तंत्र में न्यूरॉन और उनके बीच के संपर्क मिलकर सूचना का प्रसंस्करण करते हैं। संपर्कों को सिनैप्स कहा जाता है। कृत्रिम प्रणालियों में इनसे प्रेरित सरल इकाइयां और संख्यात्मक भार बनाए जा सकते हैं। ये भार बताते हैं कि एक संकेत दूसरे घटक पर कितना प्रभाव डालेगा। परंतु एक संख्यात्मक भार को जैविक स्मृति या अनुभव के बराबर मानना गलत होगा। समानता सीमित कार्य-सिद्धांतों की है।

इस क्षेत्र का एक ही सार्वभौमिक डिजाइन नहीं है। कुछ शोध एनालॉग उपकरणों पर, कुछ डिजिटल परिपथों पर और कुछ दोनों के मिश्रण पर आधारित हैं। स्पाइक भेजने वाले नेटवर्क एक महत्वपूर्ण दिशा हैं, लेकिन सभी मस्तिष्क-प्रेरित कंप्यूटिंग को अनिवार्य रूप से उसी ढांचे में रखना उचित नहीं। आईबीएम की व्याख्या भी अलग-अलग डिजाइन और शब्दावली के बीच यही अंतर बताती है।

परंपरागत कंप्यूटिंग की बाधा

साधारण व्याख्या में परंपरागत कंप्यूटर में स्मृति और गणना के घटक अलग होते हैं। डेटा और मॉडल के भारों को इनके बीच बार-बार लाना-ले जाना पड़ सकता है। बड़े कृत्रिम बुद्धिमत्ता कार्यों में इस आवाजाही की ऊर्जा और समय लागत महत्वपूर्ण हो जाती है। इसे वॉन न्यूमैन बॉटलनेक की चर्चा से जोड़ा जाता है। हर आधुनिक कंप्यूटर बिल्कुल एक जैसा नहीं होता, लेकिन डेटा स्थानांतरण की लागत एक वास्तविक डिजाइन प्रश्न है।

इन-मेमरी या नियर-मेमरी कंप्यूटिंग में गणना को स्मृति के भीतर या उसके पास लाने का प्रयास होता है। यदि जरूरी मान उसी स्थान पर उपलब्ध हों जहां गणना हो रही है, तो कुछ आवाजाही कम की जा सकती है। इसका मतलब पूरे उपकरण में संचार समाप्त हो जाना नहीं है। परिणाम पढ़ने, संकेत बदलने, नियंत्रण और दूसरे हिस्सों तक सूचना पहुंचाने की लागत फिर भी रहती है।

स्पाइकिंग न्यूरल नेटवर्क क्या है?

स्पाइकिंग न्यूरल नेटवर्क में सूचना छोटे संकेतों या स्पाइक के रूप में भेजी जाती है। संकेत कब आया, उसकी आवृत्ति क्या रही और दूसरे संकेतों से उसका समय-संबंध कैसा था, ये सभी उपयोगी हो सकते हैं। सरल कृत्रिम न्यूरॉन आने वाले प्रभाव को जोड़ता है और एक सीमा पार होने पर स्पाइक दे सकता है। यह जैविक प्रक्रिया का सरलीकृत रूप है, मानव विचार का पूरा विवरण नहीं।

घटना-आधारित संचालन में कुछ गतिविधि जरूरत पड़ने पर होती है। जहां इनपुट विरल हों या समय-संबंधी सूचना महत्वपूर्ण हो, वहां यह ऊर्जा और प्रतिक्रिया-समय के लिए उपयोगी हो सकता है। लेकिन विरल गतिविधि का लाभ कार्य, नेटवर्क और वास्तविक हार्डवेयर पर निर्भर करता है। केवल नेटवर्क को स्पाइकिंग कह देने से हर कार्य में सामान्य प्रोसेसर से बेहतर परिणाम सुनिश्चित नहीं हो जाता।

मेमरिस्टर की भूमिका

मेमरिस्टर-आधारित उपकरणों में विद्युत प्रतिरोध या चालकता का बदला जा सकने वाला व्यवहार गणना के लिए उपयोग किया जाता है। कुछ प्रकारों में चालकता के कई स्तर रखे जा सकते हैं। इन स्तरों से कृत्रिम संपर्कों के भार दर्शाने की संभावना मिलती है। सभी उपकरणों में व्यवहार, पदार्थ और अवस्था टिकने की अवधि समान नहीं होती। इसलिए किसी एक प्रयोग की विशेषता को हर मेमरिस्टर पर लागू करना उचित नहीं है।

नॉन-वोलेटाइल उपकरण में उपयुक्त अवस्था कुछ समय तक बनी रह सकती है, जबकि वोलेटाइल उपकरण का परिवर्तन टिकाऊ स्मृति की तरह बना रहना जरूरी नहीं। मई के अध्ययन में इनकी भूमिकाएं अलग थीं। वैनाडियम डाइऑक्साइड के सीमा-आधारित स्विचिंग व्यवहार का उपयोग न्यूरॉन-जैसे संकेत बनाने में हुआ। नॉन-वोलेटाइल प्रतिरोध-आधारित स्मृति ने भार और प्रोग्राम किए जा सकने वाले विलंबों के लिए आधार दिया।

क्रॉसबार और समानांतर गणना

क्रॉसबार व्यवस्था को पंक्तियों और स्तंभों के जाल की तरह समझा जा सकता है। उनके संपर्क स्थानों पर उपकरण रखे जाते हैं। इनपुट विद्युत संकेत और चालकता के संयोजन से गुणा तथा धाराओं के जुड़ने से योग जैसी गणनाएं की जा सकती हैं। कृत्रिम बुद्धिमत्ता में उपयोग होने वाली मैट्रिक्स गणना से इसका संबंध है। यह सभी प्रकार की गणना का स्वतः पूर्ण विकल्प नहीं है।

वास्तविक परिपथ में तारों का प्रतिरोध, अवांछित धाराएं, उपकरणों के बीच अंतर और पढ़ने-लिखने वाले सहायक हिस्से भी होते हैं। इसलिए छोटे उपकरण की अच्छी विशेषता सीधे विशाल और दोषरहित प्रणाली का प्रमाण नहीं बनती। पदार्थ, परिपथ और एल्गोरिदम को साथ मिलाकर डिजाइन करना पड़ता है।

होमियोस्टैटिक न्यूरॉन और डेंड्राइट

होमियोस्टैसिस का सामान्य अर्थ गतिविधि को किसी अपेक्षाकृत स्थिर सीमा में वापस लाने का नियमन है। अध्ययन में फीडबैक वाले न्यूरॉन मॉडल से व्यवधान के बाद संकेत देने की दर को नियंत्रित करने का प्रयास किया गया। इसे मानव शरीर की सभी संतुलन प्रक्रियाओं की नकल नहीं माना जाना चाहिए। यहां एक सीमित परिपथ और उसके गणितीय व्यवहार की बात है।

डेंड्राइट-जैसी शाखाओं में अलग-अलग विलंब देकर समय के विभिन्न पैटर्न पहचानने की कोशिश की गई। उदाहरण के लिए एक ही क्रम में आने वाले संकेत और अलग समयांतराल पर आने वाले संकेत अलग सूचना दे सकते हैं। विलंब प्रोग्राम करने से नेटवर्क समय-संबंधी विशेषताओं पर प्रतिक्रिया सीख सकता है। इस प्रकार शोध केवल संपर्क का भार बदलने से आगे बढ़कर संकेत के समय को भी उपयोगी संसाधन बनाता है।

प्रयोग और सिमुलेशन अलग क्यों बताएं?

अध्ययन में बोर्ड स्तर पर कुछ परिपथों और उनके संकेतों को मापा गया। परंतु पूरे नेटवर्क की वर्गीकरण क्षमता के लिए उपकरणों और परिपथों से निकले मानों पर आधारित सिमुलेशन भी इस्तेमाल हुआ। किसी सिमुलेटेड नेटवर्क की पहचान दर को बिना सीमा बताए पूरे भौतिक उपकरण की सीधे मापी गई पहचान दर कहना गलत होगा। इसी तरह किसी एक स्पाइक की ऊर्जा और कंप्यूटर, नियंत्रक तथा डेटा-प्रसंस्करण सहित पूरी व्यवस्था की ऊर्जा अलग प्रश्न हैं।

किसी तकनीक की तुलना करते समय समान कार्य, समान सटीकता, डेटा-तैयारी, प्रशिक्षण और परिणाम निकालने की लागत देखनी चाहिए। प्रशिक्षण और इन्फरेंस भी अलग हैं। प्रशिक्षण में मॉडल के भार बदले जाते हैं; इन्फरेंस में सीखे हुए मॉडल से नया परिणाम निकाला जाता है। इन्फरेंस में लाभ मिलना अपने आप उसी उपकरण पर पूरा प्रशिक्षण संभव होने का प्रमाण नहीं है।

अन्य उदाहरणों से क्या सीख मिलती है?

27 मई 2026 के एक अलग अध्ययन में पेरोव्स्काइट नैनोवायर-आधारित मेमरिस्टर और क्रॉसबार के साथ बहुस्तरीय परसेप्ट्रॉन की दिशा पर काम बताया गया। यह सामग्री और उपकरण-स्तर पर दूसरी दिशा का उदाहरण है। इसे अगले दिन वाले डेंड्राइट अध्ययन का हिस्सा या उसके परिणामों की स्वतंत्र पुष्टि नहीं मानना चाहिए। दोनों को जोड़ने वाला व्यापक विषय मस्तिष्क-प्रेरित हार्डवेयर है, न कि एक ही तैयार उत्पाद।

इंटेल ने अप्रैल 2024 में हाला पॉइंट नामक लार्ज-स्केल शोध प्रणाली की घोषणा की थी, जिसमें लोइही 2 प्रोसेसर उपयोग हुए। यह भी बताता है कि न्यूरोमॉर्फिक शोध केवल एक पदार्थ या एक प्रयोगशाला तक सीमित नहीं है। उस घोषणा की अपनी परीक्षण-शर्तें और भविष्य की अपेक्षाएं थीं। उसे मई 2026 की नई खोज या सभी कार्यों में प्रमाणित ऊर्जा बचत के दावे की तरह नहीं पढ़ना चाहिए।

संभावित उपयोग और सीमाएं

समय के साथ बदलते संकेतों की पहचान, सेंसर डेटा, रोबोटिक्स और उपकरण के पास ही डेटा-प्रसंस्करण इस क्षेत्र के संभावित उपयोग हैं। स्थानीय प्रसंस्करण से कुछ मामलों में संचार की जरूरत घट सकती है। इससे गोपनीयता संबंधी जोखिम कम करने में मदद संभव है, लेकिन केवल नई चिप लगाने से डेटा अपने आप सुरक्षित नहीं हो जाता। सुरक्षा और अनुमति का प्रबंधन फिर भी जरूरी है।

उपकरणों के व्यवहार में अंतर, बार-बार लिखने की सहनशीलता, अवस्था टिकने की क्षमता, बड़े पैमाने पर निर्माण और सहायक परिपथों की लागत प्रमुख जांच-बिंदु हैं। पुराने शोध-समीक्षा लेख भी इन प्रश्नों पर ध्यान देते हैं। उनकी ऐतिहासिक चिंताओं को आज हर तकनीक की विफलता का प्रमाण नहीं मानना चाहिए। किसी नए डिजाइन को अपने माप और समान परिस्थितियों वाली तुलना से परखना होगा।

भारत के लिए अध्ययन का महत्व

यह विषय अर्धचालक, कृत्रिम बुद्धिमत्ता और ऊर्जा-कुशल कंप्यूटिंग के बीच संबंध समझाता है। डिजाइन और निर्माण के साथ पदार्थ-विज्ञान, प्रशिक्षण विधियों तथा परीक्षण की क्षमता भी जरूरी है। किसी विदेशी प्रयोग के आधार पर भारत में उत्पादन शुरू हो जाने या किसी सरकारी कार्यक्रम की सफलता का दावा नहीं किया जा सकता। भारतीय संदर्भ में इसका मूल्य एक उभरती तकनीकी दिशा और उसके लिए जरूरी शोध-कौशल समझने में है।

नीतिगत चर्चा में केवल गति का बड़ा आंकड़ा पर्याप्त नहीं है। वास्तविक ऊर्जा लागत, काम के लिए उपयुक्तता, विश्वसनीयता और स्वतंत्र तुलना जरूरी हैं। मस्तिष्क से प्रेरणा उपयोगी विचार हो सकती है, लेकिन प्रमाण हर विशिष्ट उपकरण और कार्य के स्तर पर देना होगा।

मुख्य परीक्षा अभ्यास प्रश्न

न्यूरोमॉर्फिक कंप्यूटिंग में स्मृति और गणना को पास लाने का महत्व समझाइए। मेमरिस्टर-आधारित प्रणालियों की संभावनाओं और प्रयोगशाला से व्यापक उपयोग तक की चुनौतियों पर चर्चा कीजिए। (250 शब्द, 15 अंक)

उत्तर की रूपरेखा:

भूमिका में: न्यूरोमॉर्फिक कंप्यूटिंग को मस्तिष्क के कुछ कार्य-सिद्धांतों से प्रेरित हार्डवेयर और एल्गोरिदम की शोध दिशा के रूप में समझाएँ। परंपरागत कंप्यूटर में स्मृति और गणना के अलग घटकों के बीच डेटा और भारों की आवाजाही की ऊर्जा और समय लागत की समस्या रखें, जिसे वॉन न्यूमैन बॉटलनेक से जोड़ा जाता है। साफ लिखें कि यह मानव मस्तिष्क की पूरी नकल या चेतना वाली मशीन नहीं है।

मुख्य भाग में: स्मृति और गणना को पास लाने का महत्व इन-मेमरी या नियर-मेमरी कंप्यूटिंग के आधार पर समझाएँ, पर यह भी लिखें कि पूरे उपकरण में संचार और नियंत्रण की लागत फिर भी रहती है। मेमरिस्टर की संभावना में बदले जा सकने वाली प्रतिरोध या चालकता, कृत्रिम संपर्कों के भार और क्रॉसबार से मैट्रिक्स गणना रखें। 28 मई 2026 को नेचर कम्युनिकेशंस में प्रकाशित अध्ययन का उल्लेख करें, जिसमें वैनाडियम डाइऑक्साइड, प्रतिरोध-आधारित स्मृति और सीएमओएस परिपथों से होमियोस्टैटिक न्यूरॉन और डेंड्राइट-जैसी संरचना जोड़ी गई, और औद्योगिक दोष पहचान तथा सीमित शब्द-पहचान जैसे कार्य परखे गए। 27 मई 2026 के पेरोव्स्काइट नैनोवायर वाले अलग अध्ययन को उसकी पुष्टि न बताएँ। चुनौतियों में प्रयोग और सिमुलेशन का अंतर रखें: कुछ परिपथ बोर्ड स्तर पर जांचे गए, जबकि कई परिणाम सिमुलेशन पर आधारित थे और कंप्यूटर तथा एफपीजीए नियंत्रक की भी भूमिका थी, इसलिए इसे एक ही चिप पर बने स्वायत्त कृत्रिम मस्तिष्क की घोषणा न कहें। उपकरणों के व्यवहार में अंतर, बार-बार लिखने की सहनशीलता, अवस्था टिकने की क्षमता, बड़े पैमाने पर निर्माण, सहायक परिपथों की लागत, तारों के प्रतिरोध और अवांछित धाराओं जैसी बाधाएं रखें। तुलना के लिए समान कार्य, समान सटीकता, डेटा-तैयारी, प्रशिक्षण और इन्फरेंस की लागत का अंतर रखें; पूरी व्यवस्था की ऊर्जा को एक स्पाइक की ऊर्जा से अलग रखें। स्थानीय प्रसंस्करण से गोपनीयता जोखिम घट सकते हैं, पर डेटा अपने आप सुरक्षित नहीं होता। भारत में उत्पादन या किसी सरकारी कार्यक्रम की सफलता के दावे या ऊर्जा-बचत के आंकड़े न गढ़ें।

निष्कर्ष में: निष्कर्ष में लिखें कि मस्तिष्क से प्रेरणा और स्मृति के पास गणना उपयोगी दिशा है, पर प्रयोगशाला से व्यापक उपयोग तक की दूरी बाकी है। वास्तविक ऊर्जा लागत, विश्वसनीयता और स्वतंत्र तुलना के प्रमाण को हर विशिष्ट उपकरण और कार्य के स्तर पर मांगने की बात रखें।

स्रोत

1. नेचर कम्युनिकेशंस: होमियोस्टैटिक न्यूरॉन और डेंड्राइट अध्ययन, 28 मई 2026
2. नेचर कम्युनिकेशंस: पेरोव्स्काइट नैनोवायर मेमरिस्टर अध्ययन, 27 मई 2026
3. आईबीएम रिसर्च: मस्तिष्क-प्रेरित कंप्यूटिंग की अलग दिशाएं, 2024
4. नेचर कम्युनिकेशंस: मेमरिस्टर हार्डवेयर की निर्माण और प्रदर्शन चुनौतियां, 2018
5. इंटेल: हाला पॉइंट शोध प्रणाली की घोषणा, 17 अप्रैल 2024
6. निस्ट: मेमरिस्टिव न्यूरोमॉर्फिक शोध का ऐतिहासिक परिचय, 2018

अक्सर पूछे जाने वाले प्रश्न (FAQ)

संक्षिप्त उत्तर: न्यूरोमॉर्फिक कंप्यूटिंग इसी प्रश्न का एक शोध-आधारित रास्ता है। इसमें मस्तिष्क के कुछ कार्य-सिद्धांतों से प्रेरणा लेकर हार्डवेयर और एल्गोरिदम बनाए जाते हैं।

प्रश्न: न्यूरोमॉर्फिक कंप्यूटिंग का अर्थ क्या है?

न्यूरोमॉर्फिक कंप्यूटिंग इसी प्रश्न का एक शोध-आधारित रास्ता है। इसमें मस्तिष्क के कुछ कार्य-सिद्धांतों से प्रेरणा लेकर हार्डवेयर और एल्गोरिदम बनाए जाते हैं। इसका अर्थ प्रयोगशाला में मानव मस्तिष्क की पूरी नकल या चेतना वाली मशीन तैयार हो जाना नहीं है।

प्रश्न: मई के शोध में किन उपकरणों को जोड़ा गया?

28 मई 2026 को नेचर कम्युनिकेशंस में प्रकाशित एक अध्ययन में होमियोस्टैटिक न्यूरॉन और प्रोग्राम किए जा सकने वाले डेंड्राइट-जैसे ढांचे को जोड़ने वाली प्रणाली प्रस्तुत की गई। शोध में वैनाडियम डाइऑक्साइड, प्रतिरोध-आधारित स्मृति और सीएमओएस परिपथों का उपयोग हुआ।

प्रश्न: परंपरागत कंप्यूटिंग में डेटा स्थानांतरण की बाधा क्या है?

साधारण व्याख्या में परंपरागत कंप्यूटर में स्मृति और गणना के घटक अलग होते हैं। डेटा और मॉडल के भारों को इनके बीच बार-बार लाना-ले जाना पड़ सकता है।