

## कंप्यूटर संगठन - संवाद

मुझे कंप्यूटर संगठन के मूल सिद्धांतों को फिर से देखने का मौका मिला है, और यह हैरतंगेज है कि वॉन न्यूमैन आर्किटेक्चर अभी भी अधिकांश आधुनिक प्रणालियों के आधार पर है। लेकिन विशेष आर्किटेक्चर जैसे हार्वर्ड के उदय के साथ, क्या आप सोचते हैं कि वॉन न्यूमैन का मॉडल पुराना हो रहा है?

□: यह एक अच्छा बिंदु है। वॉन न्यूमैन का आर्किटेक्चर निश्चित रूप से आधारभूत है, लेकिन इसमें सीमाएं भी हैं। संयुक्त बस के लिए निर्देश और डेटा के लिए बॉटलनेक्स हो सकते हैं, विशेष रूप से उच्च प्रदर्शन प्रणालियों में। हार्वर्ड आर्किटेक्चर, जिसमें अलग-अलग पथ हैं, इस समस्या को हल करने में मदद करता है, क्योंकि यह निर्देश और डेटा को एक साथ पहुंचने की अनुमति देता है। क्या आप सोचते हैं कि यह हार्वर्ड को स्वाभाविक रूप से बेहतर बनाता है, या क्या इसमें भी ट्रेड-ऑफ हैं?

□: ट्रेड-ऑफ, बिल्कुल। हार्वर्ड आर्किटेक्चर प्रदर्शन-प्रधान अनुप्रयोगों जैसे एम्बेडेड सिस्टम या डीएसपी के लिए फंतास्टिक है, लेकिन इसे लागू करना अधिक जटिल है और सामान्य-उद्देश्य कंप्यूटिंग के लिए ओवरकिल हो सकता है। प्रदर्शन के बारे में बात करते हुए, आप आधुनिक सीपीयू में एएलयू (□□□) के भूमिका को कैसे देखते हैं, विशेष रूप से पैरलल प्रोसेसिंग की ओर बढ़ते हुए?

□: एएलयू अभी भी सीपीयू का दिल है, लेकिन इसका काम निश्चित रूप से बढ़ गया है। मल्टीकोर प्रोसेसर और एसआईएमडी आर्किटेक्चर के साथ, एएलयू को कई ऑपरेशन को एक साथ संभालने के लिए डिजाइन किया गया है। यह विशेष रूप से मशीन लर्निंग और वैज्ञानिक कंप्यूटिंग जैसे कार्य के लिए उपयोगी है, जहां आप बड़े डेटासेट को प्रोसेस करते हैं। लेकिन कंट्रोल यूनिट के बारे में क्या सोचते हैं? क्या आप सोचते हैं कि इसके काम में इन प्रगतियों के साथ कोई बदलाव हुआ है?

□: कंट्रोल यूनिट अभी भी निर्देश को डिकोड करने और डेटा की प्रवाह को प्रबंधित करने के लिए महत्वपूर्ण है, लेकिन मुझे लगता है कि इसका जटिलता बढ़ गई है। पाइपलाइनिंग, सुपरस्केलर एक्सेक्यूशन और आउट-ऑफ-ऑर्डर एक्सेक्यूशन जैसे तकनीकों के साथ, कंट्रोल यूनिट को अपने कार्यक्रम और कार्य को निर्देशित करने में अधिक बुद्धिमान होना होगा। पाइपलाइनिंग के बारे में बात करते हुए, आप सोचते हैं कि डेटा या कंट्रोल हेज़ आधुनिक सीपीयू पर कैसे प्रभाव डालते हैं?

□: हेज़ एक बड़ा चुनौती है, खासकर जब पाइपलाइन गहरे और अधिक जटिल होते हैं। डेटा हेज़, जहां निर्देश पहले के परिणामों पर निर्भर होते हैं, अगर सही तरह से संभाल नहीं किए जाते हैं, तो वे महत्वपूर्ण देरी पैदा कर सकते हैं। फॉरवर्डिंग और ब्रांच प्रेडिक्शन जैसे तकनीक हेज़ के मुद्दों को कम करने में मदद करते हैं, लेकिन वे कंट्रोल यूनिट की जटिलता को बढ़ाते हैं। क्या आप सोचते हैं कि स्पेक्युलेटिव एक्सेक्यूशन के लिए जोखिम उठाना, हाल के वर्षों में देखे गए सुरक्षा खतरे के साथ, उचित है?

□: यह एक कठिन सवाल है। स्पेक्युलेटिव एक्सेक्यूशन एक बड़ा प्रदर्शन बूस्टर है, लेकिन स्पेक्ट्रे और मेल्टडाउन खतरे दिखाते हैं कि इसमें गंभीर जोखिम शामिल हैं। मुझे लगता है कि संतुलन खोजने की आवश्यकता है—शायद बेहतर हार्डवेयर-स्तर सुरक्षा या अधिक संवेदनशील स्पेक्युलेशन एल्गोरिथम के माध्यम से। थोड़ा बदलते हुए, आप सोचते हैं कि मेमरी हायरार्की कैसे विकसित होगी ताकि तेज सीपीयू के साथ कदम मिला सके?

□: मेमरी हायरार्की सीपीयू और मुख्य मेमरी के बीच गति की खाई को पार करने के लिए महत्वपूर्ण है। हमने कैश डिजाइन में प्रगति देखी है, जैसे बड़े एल3 कैश और बुद्धिमान प्रतिस्थापन नीति, लेकिन मुझे लगता है कि भविष्य में 3डी-स्टैक मेमरी और नॉन-वोलेटाइल राम जैसे तकनीक में है। ये लैटेंसी को काफी कम कर सकते हैं और बैंडविड्थ को बेहतर बना सकते हैं। एनयूएमए आर्किटेक्चर इस संदर्भ में आपका क्या विचार है?

□: एनयूएमए दिलचस्प है क्योंकि यह मल्टीप्रोसेसर सिस्टम में मेमरी बॉटलनेक्स को हल करने के लिए प्रत्येक प्रोसेसर को अपना स्थानीय मेमरी देता है। लेकिन यह मेमरी एक्सेस पैटर्न और कंसिस्टेंसी मॉडल में जटिलता भी लाता है। क्या आप सोचते हैं कि एनयूएमए भविष्य के सिस्टम के लिए पर्याप्त रूप से स्केल हो सकता है, या हमें पूरी तरह से नए पैराडाइम की आवश्यकता होगी?

□: एनयूएमए कुछ हद तक स्केल हो सकता है, लेकिन जब सिस्टम बड़े होते हैं, तो मेमरी एक्सेस को प्रबंधित करने की ओवरहेड एक चुनौती बन जाती है। मैं सोचता हूँ कि हम हाइब्रिड एप्रोच देखेंगे, एनयूएमए को डिस्ट्रीब्यूटेड मेमरी सिस्टम या फोटोनिक इंटरकनेक्ट के साथ मिलाकर, तेज संचार के लिए। भविष्य के बारे में बात करते हुए, आप क्वांटम कंप्यूटिंग और न्यूरोमॉर्फिक आर्किटेक्चर जैसे उभरते हुए ट्रेंड के बारे में क्या सोचते हैं?

□: क्वांटम कंप्यूटिंग अभी भी अपने बालकपन में है, लेकिन यह कुछ समस्याओं जैसे क्रिप्टोग्राफी और ऑप्टिमाइजेशन को कैसे हमारी दृष्टि बदलने की क्षमता रखता है, जैसे कि हमारी दृष्टि बदलने की क्षमता रखता है। दूसरी ओर, न्यूरोमॉर्फिक आर्किटेक्चर पहले से ही एआई अनुप्रयोगों में मानव दिमाग के संरचना को

नकल करने में सफल हो रहे हैं। यह सोचना रोमांचक है कि इन तकनीकों ने कंप्यूटर संगठन को अगले दशक में कैसे बदल दिया।

□: बिलकुल। क्षेत्र इतना तेजी से विकसित हो रहा है, और भविष्य के बारे में सोचना मुश्किल है। लेकिन एक बात निश्चित है—चाहे यह क्वांटम, न्यूरोमॉर्फिक हो या कुछ पूरी तरह से नया, कंप्यूटर संगठन के सिद्धांत हमेशा हमारी डिजाइन और ऑप्टिमाइजेशन को कैसे मार्गदर्शित करते हैं, यह समझने में मदद करेंगे। यह इस क्षेत्र में होने का एक रोमांचक समय है!

□: ऑप्टिमाइजेशन के बारे में बात करते हुए, मैं हाल ही में कैश मेमरी के बारे में काफी सोच रहा हूँ। सीपीयू तेज हो रहे हैं, कैश डिजाइन अब कभी से ज्यादा महत्वपूर्ण लग रहा है। आप कैश मैपिंग तकनीकों जैसे डायरेक्ट-मैड, फुली एसोसिएटिव और सेट-एसोसिएटिव को कैसे विकसित होते देखते हैं ताकि इन माँगों को पूरा किया जा सके?

□: कैश डिजाइन निश्चित रूप से एक संतुलन है। डायरेक्ट-मैड कैश सरल और तेज हैं, लेकिन वे अधिक संघर्ष से हानि उठाते हैं। फुली एसोसिएटिव कैश हानि को कम करते हैं, लेकिन जटिल और ऊर्जा-ग्राहक हैं। सेट-एसोसिएटिव कैश मध्यम में हैं, और मैं सोचता हूँ कि वे बुद्धिमान प्रतिस्थापन नीति जैसे एलआरयू और एडाप्टिव एल्गोरिथम के साथ आगे बढ़ेंगे, खासकर। कैश प्रदर्शन में प्रीफेचिंग और इसका भूमिका के बारे में आपका क्या विचार है?

□: प्रीफेचिंग एक गेम-चेंजर है, खासकर जब मेमरी एक्सेस पैटर्न प्रेक्षणीय हैं। डेटा को कैश में लोड करने से पहले, आप मेमरी लैटेंसी को छिपा सकते हैं और सीपीयू को व्यस्त रख सकते हैं। लेकिन इसमें भी जोखिम हैं—अग्रेसिव प्रीफेचिंग कैश को अनावश्यक डेटा से दूषित कर सकता है। क्या आप सोचते हैं कि मशीन लर्निंग प्रीफेचिंग रणनीतियों को ऑप्टिमाइज करने में मदद कर सकता है?

□: यह एक रोचक विचार है! मशीन लर्निंग निश्चित रूप से प्रीफेचिंग को बेहतर बना सकता है, क्योंकि यह एक्सेस पैटर्न को अधिक सटीक रूप से भविष्यवाणी कर सकता है। हम पहले से ही एआई-ड्राइव ऑप्टिमाइजेशन में अन्य क्षेत्रों में देख रहे हैं, जैसे ब्रांच प्रेडिक्शन और पावर मैनेजमेंट। पावर के बारे में बात करते हुए, आप सोचते हैं कि पावर एफिशेंसी आधुनिक सीपीयू डिजाइन को कैसे प्रभावित कर रही है?

□: पावर एफिशेंसी बहुत बड़ा है। जब घड़ी की गति प्लेटो में पहुंच जाती है, तो ध्यान केंद्रित होता है कि कम पावर से अधिक करना। डायनामीक वोल्टेज और फ्रिक्वेंसी स्केलिंग (डीवीएफएस) और एडवांस्ड पावर गेटिंग जैसे तकनीक अब स्टैंडर्ड हो रहे हैं। लेकिन मुझे लगता है कि वास्तविक ब्रेकथ्रू आर्किटेक्चरल नवाचार में होगा, जैसे एआरएम के बिग.लिटल डिजाइन या एप्पल के एम-सीरीज चिप्स। थर्मल डिजाइन और कूलिंग सॉल्यूशन के बारे में आपका क्या विचार है?

□: थर्मल डिजाइन विशेष रूप से महत्वपूर्ण है, खासकर जब हम अधिक ट्रांजिस्टर को छोटे स्थानों में पैक कर रहे हैं। पारंपरिक कूलिंग सॉल्यूशन जैसे हिट सिंक्स और फैन्स अपनी सीमाओं तक पहुंच रहे हैं, इसलिए हम अधिक अजीब तरीकों जैसे लिक्विड कूलिंग और फेज-चेंज मेटेरियल्स देख रहे हैं। क्या आप सोचते हैं कि हम एक दीवार तक पहुंच जाएंगे जहाँ हम सीपीयू को प्रभावी ढंग से ठंडा नहीं कर सकते?

□: यह संभव है। जब हम सिलिकॉन के भौतिक सीमाओं के करीब पहुंचते हैं, तो हिट डिसिपेशन एक बड़ा बॉटलनेक्स बन जाएगा। यही कारण है कि मैं वैकल्पिक मेटेरियल जैसे ग्राफीन और नए आर्किटेक्चर जैसे 3डी चिप स्टैकिंग के बारे में उत्साहित हूँ। ये हिट को अधिक समान रूप से फैलाने में मदद कर सकते हैं और थर्मल प्रदर्शन को बेहतर बना सकते हैं। थोड़ा बदलते हुए, आप सोचते हैं कि आई/ओ सिस्टम कैसे विकसित होंगे ताकि तेज सीपीयू और मेमरी के साथ कदम मिला सके?

□: आई/ओ कई प्रणालियों में एक बॉटलनेक्स है। तेज इंटरफेस जैसे पीसीआईई 5.0 और यूएसबी4 मदद कर रहे हैं, लेकिन मुझे लगता है कि भविष्य में सीएक्सएल (कंप्यूट एक्सप्रेस लिंक) जैसे तकनीक में है, जो सीपीयू, मेमरी और एक्सीलरेटर्स के बीच अधिक तंग संयोजन की अनुमति देता है। डीएमए (डायरेक्ट मेमरी एक्सेस) इस संदर्भ में अभी भी प्रासंगिक है?

□: डीएमए अभी भी डेटा ट्रांसफर कार्य को सीपीयू से ऑफलोड करने के लिए आवश्यक है, लेकिन यह विकसित हो रहा है। सीएक्सएल और स्मार्ट एनआईसी (नेटवर्क इंटरफेस कार्ड) जैसे तकनीकों के साथ, डीएमए तेज और अधिक दक्ष डेटा मूवमेंट को संभव बना रहा है। इंटरप्स के बारे में क्या सोचते हैं? क्या आप सोचते हैं कि वे अभी भी असिंक्रोनस घटनाओं को संभालने के लिए प्राथमिक तरीका रहेगा?

□: इंटरप्स यहां रहेगा, लेकिन उनमें भी चुनौतियां हैं। उच्च इंटरप्स रेट सीपीयू को ओवरहेलम कर सकते हैं, जिससे प्रदर्शन में समस्याएं हो सकती हैं। मैं सोचता हूँ कि हम अधिक हाइब्रिड एप्रोच देखेंगे, जो इंटरप्स को पोलिंग और इवेंट-ड्राइव मॉडल के साथ मिलाकर, वर्कलोड के आधार पर निर्देशित होगा। वर्कलोड-विशिष्ट ऑप्टिमाइजेशन के बारे में बात करते हुए, आप सोचते हैं कि इंस्ट्रक्शन सेट आर्किटेक्चर (आईएसए) कैसे विकसित होंगे?

- : आईएसए अधिक विशेष हो रहे हैं। आरआईएससी आर्किटेक्चर जैसे एआरएम मोबाइल और एम्बेडेड बाजार में अपनी दक्षता के कारण डोमिनेट हो रहे हैं जबकि सीआईएससी आर्किटेक्चर जैसे एक्स86 सामान्य-उद्देश्य कंप्यूटिंग में अभी भी उत्कृष्ट हैं। लेकिन मुझे लगता है कि वास्तविक नवाचार डोमेन-विशिष्ट आईएसए में हो रहा है, जैसे कि एआई या क्रिप्टोग्राफी के लिए। आप सोचते हैं कि ओपन-सोर्स आईएसए जैसे आरआईएस-वी इंडस्ट्री को विचलित करेंगे?
- : आरआईएस-वी निश्चित रूप से एक विचलितक है। इसका ओपन-सोर्स स्वभाव इसे बिना लाइसेंसिंग फीस के अनुकूलित और नवीन बनने की अनुमति देता है। मैं सोचता हूँ कि हम अधिक कंपनियों को आरआईएस-वी को अपनाने के लिए देखेंगे, खासकर निचे बाजार में। लेकिन यह केवल आईएसए के बारे में नहीं है—यह भी टूलचेन और सॉफ्टवेयर समर्थन के बारे में है। आप सोचते हैं कि आरआईएस-वी के लिए टूलचेन और सॉफ्टवेयर समर्थन आरएम और एक्स86 के साथ मिल जाएगा?
- : यह पहले से हो रहा है। आरआईएस-वी इकोसिस्टम तेजी से बढ़ रहा है, जिसमें बड़े खिलाड़ी कंपाइलर, डिबगर्स और ऑपरेटिंग सिस्टम समर्थन में निवेश कर रहे हैं। यह कुछ और साल लग सकते हैं, लेकिन मैं सोचता हूँ कि आरआईएस-वी एक गंभीर प्रतियोगी होगा। इकोसिस्टम के बारे में बात करते हुए, आप सोचते हैं कि फर्मवेयर और बीओएस/यूईएफआई कैसे विकसित होंगे ताकि इन नए आर्किटेक्चर को समर्थन दिया जा सके?
- : फर्मवेयर अधिक बुद्धिमान और मॉड्यूलर बन रहा है ताकि विभिन्न हार्डवेयर कॉन्फिगरेशन को समर्थन दिया जा सके। यूईएफआई, जो अब बीओएस को काफी हद तक बदल चुका है, फीचर्स जैसे सिक्कुर बूट और तेज स्टार्टअप टाइम्स प्रदान करता है। मैं सोचता हूँ कि भविष्य में फर्मवेयर में अधिक फर्मवेयर-स्तर एब्सट्रैक्शन होंगे ताकि हार्डवेयर प्रबंधन को सरल बनाया जा सके, खासकर हेटेरोजीनस सिस्टम में। बूट प्रोसेस में आधुनिक सिस्टम में आपका क्या विचार है?
- : बूट प्रोसेस तेज और अधिक सुरक्षित हो रहा है, यूईएफआई और सिक्कुर बूट जैसे तकनीकों के कारण। लेकिन मुझे लगता है कि वास्तविक नवाचार इंस्टेंट-ऑन सिस्टम में है, जहां ऑएस और एप्लिकेशन लगभग तुरंत तैयार होते हैं। यह विशेष रूप से एज डिवाइस और आईओटी के लिए महत्वपूर्ण है। आप सोचते हैं कि हम कभी एक पूरी तरह से इंस्टेंट बूट प्रोसेस देखेंगे?
- : यह संभव है, खासकर नॉन-वोलेटाइल मेमरी और इन-मेमरी कंप्यूटिंग में प्रगति के साथ। अगर हम ऑएस को स्टोरेज से लोड करने की आवश्यकता को हटा सकते हैं, तो बूट टाइम्स को नगण्य बना सकते हैं। लेकिन सुरक्षा एक चुनौती बनी रहेगी—आप कैसे सुनिश्चित करेंगे कि तेज बूट बिना सुरक्षा को कम करने के?
- : यह एक अच्छा बिंदु है। सुरक्षा और गति अक्सर एक-दूसरे के विरुद्ध होते हैं, लेकिन मुझे लगता है कि हार्डवेयर-स्तर सुरक्षा फीचर्स जैसे टीपीएम (ट्रस्टेड प्लेटफॉर्म मॉड्यूल) और सिक्कुर एनक्लेव्स इस गैप को भर सकते हैं। आगे देखते हुए, आप सोचते हैं कि अगले दशक में कंप्यूटर संगठन में सबसे बड़ा चुनौती क्या होगी?
- : मुझे लगता है कि सबसे बड़ा चुनौती जटिलता को प्रबंधित करना होगा। जब सिस्टम अधिक हेटेरोजीनस बनते हैं—सीपीयू, जीपीयू, एफपीजीए और विशेष एक्सीलरेटर्स को एक साथ काम करने के लिए—अधिक दक्ष और स्केलेबल आर्किटेक्चर डिजाइन करना बहुत मुश्किल होगा। लेकिन यह भी नवाचार के लिए एक अवसर है। आपका क्या विचार है? आपको भविष्य के कंप्यूटर संगठन में सबसे रोमांचक क्या लगता है?
- : मेरे लिए, यह पूरी तरह से नए पैराडिगम जैसे क्वांटम कंप्यूटिंग और फोटोनिक प्रोसेसरों की संभावना है। ये तकनीकें हमारी कंप्यूटेशन और संगठन की दृष्टि को पूरी तरह से बदल सकते हैं। लेकिन पारंपरिक सिस्टम में भी बहुत कमरोम है—चाहे यह बेहतर मेमरी हायरार्की, बुद्धिमान कैश या अधिक दक्ष पावर मैनेजमेंट हो। यह इस क्षेत्र में होने का एक रोमांचक समय है!
- : बिलकुल सहमत हूँ। नवाचार की गति अद्भुत है, और भविष्य के बारे में सोचना प्रेरित करता है। कंप्यूटर संगठन के भविष्य के लिए—मुझे उम्मीद है कि यह अपने अतीत की तरह ही क्रांतिकारी होगा!
- : मुझे याद आया, मुझे हाल ही में याद आया कि मेमरी मैनेजमेंट तकनीकों जैसे पेजिंग और सेगमेंटेशन कैसे विकसित हो रहे हैं। बड़े और अधिक दक्ष मेमरी सिस्टम की बढ़ती माँग के साथ, क्या आप सोचते हैं कि ये पारंपरिक तरीके अभी भी पर्याप्त हैं?
- : यह एक अच्छा सवाल है। पेजिंग और सेगमेंटेशन कई दशकों से मेमरी मैनेजमेंट के आधार हैं, लेकिन उनमें भी सीमाएं हैं। पेजिंग, उदाहरण के लिए, फ्रैगमेंटेशन को पैदा कर सकता है, जबकि सेगमेंटेशन को प्रबंधित करना जटिल हो सकता है। मैं सोचता हूँ कि हम अधिक उन्नत तकनीकों जैसे वर्चुअल मेमरी एक्स्टेंशन और मेमरी कम्प्रेसन की ओर बढ़ रहे हैं। क्या आप सोचते हैं कि ये नए तरीके पेजिंग और सेगमेंटेशन को पूरी तरह से बदल देंगे?
- : यह कहना मुश्किल है। पेजिंग और सेगमेंटेशन आधुनिक ऑपरेटिंग सिस्टम में गहरे जड़ें हैं, इसलिए पूरी तरह से बदलना एक बड़ा काम होगा। लेकिन मैं सोचता हूँ कि हम हाइब्रिड एप्रोच देखेंगे जो दोनों दुनिया का बेहतर हिस्सा लेगा। उदाहरण के लिए, पेजिंग को सामान्य मेमरी मैनेजमेंट के लिए उपयोग किया

जा सकता है जबकि सेगमेंटेशन को विशेष कार्य जैसे सुरक्षा आइसोलेशन के लिए उपयोग किया जा सकता है। वर्चुअल मेमरी और इसके आधुनिक सिस्टम में भूमिका के बारे में आपका क्या विचार है?

□: वर्चुअल मेमरी बिलकुल आवश्यक है, खासकर जब एप्लिकेशन और डेटासेट बड़े होते हैं। डिस्क स्टोरेज पर मेमरी को बढ़ाने से, वर्चुअल मेमरी सिस्टम को संभालने में मदद करता है जो अन्यथा असंभव हो सकता है। लेकिन इसमें भी चुनौतियां हैं—पेज फॉल्ट और थ्रैशिंग प्रदर्शन को काफी प्रभावित कर सकते हैं। मैं सोचता हूँ कि भविष्य में स्मार्ट पेज रिप्लेसमेंट एल्गोरिथम और एसएसडी के लिए अधिक दक्ष उपयोग में है। क्या आप सोचते हैं कि नॉन-वोलेटाइल मेमरी (एनवीएम) वर्चुअल मेमरी के लिए खेल बदल देगा?

□: बिलकुल। एनवीएम तकनीक जैसे इंटेल के ऑप्टेन पहले से ही मेमरी और स्टोरेज के बीच रेखा को धुंधला कर रहे हैं। एनवीएम के साथ, हम बड़े, तेज और स्थायी मेमरी के साथ हो सकते हैं जो पारंपरिक वर्चुअल मेमरी योजनाओं की आवश्यकता को कम कर सकते हैं। यह पूरी तरह से नए मेमरी हायरार्की और मैनेजमेंट तकनीकों को ला सकता है। मेमरी हायरार्की के बारे में बात करते हुए, आप सोचते हैं कि कैश कोहेरेंस मल्टीकोर और मल्टीप्रोसेसर सिस्टम में कैसे विकसित होगा?

□: कैश कोहेरेंस मल्टीकोर सिस्टम में एक बड़ा चुनौती है, खासकर जब कोर की संख्या बढ़ती है। प्रोटोकॉल जैसे एमईएसआई (मॉडिफाइड, एक्सक्लूसिव, शेयर, इनवैलिड) प्रभावी रहे हैं, लेकिन वे उच्च-परलल सिस्टम में बॉटलनेक्स बन सकते हैं। मैं सोचता हूँ कि हम अधिक वितरित और स्केलेबल कोहेरेंस प्रोटोकॉल देखेंगे, साथ ही कैश कोहेरेंस प्रबंधन के लिए हार्डवेयर समर्थन भी। क्या आप सोचते हैं कि सॉफ्टवेयर-आधारित कोहेरेंस सॉल्यूशन भविष्य में एक बड़ा भूमिका निभाएंगे?

□: सॉफ्टवेयर-आधारित कोहेरेंस एक रोचक विचार है, लेकिन इसमें काफी ओवरहेड है। जबकि यह अधिक लचीलापन प्रदान करता है, मैं सोचता हूँ कि हार्डवेयर-आधारित सॉल्यूशन प्रदर्शन-प्रधान अनुप्रयोगों के लिए डोमिनेट रहेगा। लेकिन मैं सोचता हूँ कि सॉफ्टवेयर को उच्च स्तर के एब्सट्रैक्शन में काम करने में मदद करने में एक भूमिका निभाएगा, जैसे वितरित सिस्टम में। थोड़ा बदलते हुए, आप सोचते हैं कि इंस्ट्रक्शन-स्तर परललिज्म (आईएलपी) आधुनिक सीपीयू में कैसे विकसित होगा?

□: आईएलपी कई दशकों से सीपीयू प्रदर्शन में सुधार करने में एक प्रेरक शक्ति रही है, लेकिन हम अब कम रिटर्न देख रहे हैं। सुपरस्केलर एक्सिक्यूशन, आउट-ऑफ-ऑर्डर एक्सिक्यूशन और स्पेक्युलेटिव एक्सिक्यूशन जैसे तकनीकों के साथ, आईएलपी अपने सीमाओं तक पहुंच गया है। मैं सोचता हूँ कि भविष्य में आईएलपी को थ्रेड-स्तर परललिज्म (टीएलपी) और डेटा-स्तर परललिज्म (डीएलपी) के साथ मिलाकर अधिक प्रदर्शन प्राप्त किया जाएगा। क्या आप सोचते हैं कि वीएलआईडब्ल्यू (वेरी लॉग इंस्ट्रक्शन वर्ड) आर्किटेक्चर वापस आएंगे?

□: वीएलआईडब्ल्यू एक रोचक मामला है। यह सामान्य-उद्देश्य कंप्यूटिंग में कभी भी नहीं उभरा, क्योंकि यह जटिल था और कंपाइलर ऑप्टिमाइजेशन पर निर्भर था। लेकिन मैं सोचता हूँ कि यह विशेष अनुप्रयोगों जैसे डीएसपी और एआई एक्सीलरेटर्स में एक निचे बाजार पा सकता है, जहां वर्कलोड अधिक प्रेक्षणीय हैं। एआई के बारे में बात करते हुए, आप सोचते हैं कि एसआईएमडी (सिंगल इंस्ट्रक्शन, मल्टीपल डेटा) और एमआईएमडी (मल्टीपल इंस्ट्रक्शन, मल्टीपल डेटा) आर्किटेक्चर एआई और मशीन लर्निंग में कैसे विकसित होंगे?

□: एसआईएमडी एआई वर्कलोड के लिए बहुत शक्तिशाली है, खासकर मैट्रिक्स मल्टीप्लिकेशन और कॉन्वोल्यूशन जैसे कार्य में, जो न्यूरल नेटवर्क में आम हैं। दूसरी ओर, एमआईएमडी अधिक लचीलापन प्रदान करता है, जो विभिन्न वर्कलोड के लिए है। मैं सोचता हूँ कि हम एसआईएमडी और एमआईएमडी को मिलाकर अधिक प्रदर्शन और लचीलापन के लिए ऑप्टिमाइज करने वाले हाइब्रिड आर्किटेक्चर देखेंगे। क्या आप सोचते हैं कि भविष्य में एआई के लिए अधिक डोमेन-विशिष्ट आर्किटेक्चर होंगे?

□: बिलकुल। डोमेन-विशिष्ट आर्किटेक्चर जैसे गूगल के टीपीयू (टेंसर प्रोसेसिंग यूनिट) पहले से ही एआई अनुप्रयोगों में कुछ समस्याओं को हल करने की क्षमता दिखा रहे हैं। मैं सोचता हूँ कि हम इन आर्किटेक्चर को विशेष कार्य के लिए देखेंगे, चाहे यह ट्रेनिंग, इंफेरेंस हो या विशेष मॉडल जैसे ट्रांसफॉर्मर्स। परलल प्रोसेसिंग के बारे में आपका क्या विचार है?

□: परलल प्रोसेसिंग भविष्य है, बिलकुल। जब मूअर की कानून धीमा हो जाता है, तो प्रदर्शन को बढ़ाने का एकमात्र तरीका अधिक कोर जोड़ना और परललिज्म के लिए ऑप्टिमाइज करना है। यह केवल सीपीयू के लिए नहीं है, बल्कि जीपीयू, एफपीजीए और एक्सीलरेटर्स के लिए भी है। मैं सोचता हूँ कि हम परलल कोड लिखने के लिए प्रोग्रामिंग मॉडल और टूल्स पर अधिक ध्यान केंद्रित करने को देखेंगे। क्या आप सोचते हैं कि हम कभी एक ऐसी दुनिया देखेंगे जहां सभी सॉफ्टवेयर स्वाभाविक रूप से परलल होगा?

□: यह एक ऊंची लक्ष्य है, लेकिन मुझे लगता है कि हम उस दिशा में जा रहे हैं। पैरलल प्रोग्रामिंग फ्रेमवर्क जैसे सीयूडीए, ओपनसीएल और उच्च-स्तर भाषाओं के साथ, जो परललिज्म को एब्स्ट्रैक्ट करते हैं, परलल कोड लिखना आसान हो रहा है। लेकिन हमेशा कुछ कार्य होंगे जो स्वाभाविक रूप से सीक्वेंशियल होंगे। संतुलन खोजने की आवश्यकता है। पावर एफिशेंसी के बारे में बात करते हुए, आप सोचते हैं कि पावर एफिशेंसी आधुनिक सीपीयू डिजाइन को कैसे प्रभावित कर रही है?

□: पावर एफिशेंसी अब एक प्राथमिकता बन गई है, खासकर मोबाइल और एज कंप्यूटिंग के उदय के साथ। डायनामीक वोल्टेज और फ्रिक्वेंसी स्केलिंग (डीवीएफएस) और पावर गेटिंग जैसे तकनीक पावर उपयोग को कम करने में मदद करते हैं। मैं सोचता हूँ कि हम पावर डिजाइन में और नवाचार देखेंगे, ट्रांजिस्टर स्तर से सिस्टम स्तर तक। क्या आप सोचते हैं कि हम कभी सीपीयू देखेंगे जो पूरी तरह से अपने पावर डिलीवरी को प्रबंधित करेंगे?

□: यह संभव है। हम पहले से ही कुछ स्तर के एकीकरण के साथ देख रहे हैं, जैसे इंटेल के एफआईवीआर (फुली इंटीग्रेटेड वोल्टेज रेगुलेटर), जहां सीपीयू अपने पावर डिलीवरी को प्रबंधित करता है। यह लैटेंसी को कम करता है और दक्षता को बेहतर बनाता है, लेकिन यह सीपीयू डिजाइन में जटिलता को बढ़ाता है। मुझे लगता है कि भविष्य में और अधिक एकीकरण होगा, जहां पावर मैनेजमेंट ट्रांजिस्टर स्तर पर संभाला जाएगा। मदरबोर्ड और चिपसेट के बारे में आपका क्या विचार है?

□: मदरबोर्ड और चिपसेट अधिक मॉड्यूलर और लचीलापन बन रहे हैं ताकि अधिक घटकों और कॉन्फिगरेशन को समर्थन दिया जा सके। पीसीआईई 5.0 और उससे आगे, चिपसेट को अधिक बैंडविड्थ और अधिक डिवाइसों को संभालना होगा। मैं सोचता हूँ कि हम चिपसेट और सीपीयू के बीच अधिक एकीकरण देखेंगे, जो दोनों के बीच रेखा को धुंधला कर देगा। क्या आप सोचते हैं कि हम कभी एक पूरी तरह से चिपसेट-लेस डिजाइन देखेंगे?

□: यह एक रोचक विचार है। सिस्टम-ऑन-चिप (एसओसी) डिजाइन अब अधिक आम हो रहे हैं, खासकर मोबाइल और एम्बेडेड सिस्टम में, जहां पारंपरिक चिपसेट सीपीयू में ही समाहित हो रहा है। लेकिन उच्च-प्रदर्शन सिस्टम के लिए, मुझे लगता है कि हम अभी भी कुछ स्तर के चिपसेट फंक्शनलिटी की आवश्यकता होगी ताकि आई/ओ और पेरिफेरल्स को प्रबंधित किया जा सके। आई/ओ के बारे में बात करते हुए, आप सोचते हैं कि बस जैसे पीसीआईई और यूएसबी कैसे विकसित होंगे?

□: पीसीआईई और यूएसबी तेज सीपीयू और स्टोरेज डिवाइसों की माँगों को पूरा करने के लिए विकसित हो रहे हैं। पीसीआईई 5.0 और 6.0 प्रत्येक पीढ़ी में बैंडविड्थ को दोगुना कर रहे हैं, जबकि यूएसबी4 थंडरबोल्ट-स्तर की गति को मैनस्ट्रीम में ला रहा है। मैं सोचता हूँ कि हम अलग-अलग बस स्टैंडर्ड के बीच अधिक एकीकरण भी देखेंगे, एक अधिक एकीकृत आई/ओ इकोसिस्टम बनाने के लिए। क्या आप सोचते हैं कि सीरियल कम्युनिकेशन पूरी तरह से पैरलल कम्युनिकेशन को बदल देगा?

□: सीरियल कम्युनिकेशन पहले से ही कई क्षेत्रों में पैरलल कम्युनिकेशन को बदल चुका है, इसकी सरलता और स्केलेबिलिटी के कारण। लेकिन अभी भी कुछ निचे बाजार हैं जहां पैरलल कम्युनिकेशन का उपयोग करना उचित है, जैसे तेज मेमरी इंटरफेस। मुझे लगता है कि भविष्य में हाइब्रिड एप्रोच में है, जहां सीरियल और पैरलल कम्युनिकेशन को एक साथ उपयोग किया जाएगा ताकि प्रदर्शन और दक्षता को ऑप्टिमाइज किया जा सके। बड़े पैमाने पर सिस्टम में इंटरकनेक्ट नेटवर्क के भविष्य के बारे में आपका क्या विचार है?

□: इंटरकनेक्ट नेटवर्क बड़े पैमाने पर सिस्टम में स्केलेबिलिटी के लिए महत्वपूर्ण हैं, चाहे वे डेटा सेंटर या सुपरकंप्यूटर में हों। हम अधिक लचीलापन और स्केलेबल टोपोलॉजी जैसे मेश और टोरस नेटवर्क की ओर बढ़ रहे हैं, साथ ही नए तकनीक जैसे फोटोनिक इंटरकनेक्ट्स। मैं सोचता हूँ कि भविष्य में नेटवर्क बनाएंगे जो विभिन्न वर्कलोड के लिए अनुकूलित होंगे और कम लैटेंसी और उच्च बैंडविड्थ संचार प्रदान करेंगे। क्या आप सोचते हैं कि हम कभी पूरी तरह से ऑप्टिकल इंटरकनेक्ट नेटवर्क देखेंगे?

□: यह संभव है। ऑप्टिकल इंटरकनेक्ट्स गति और पावर एफिशेंसी में बड़े फायदे प्रदान करते हैं, लेकिन अभी भी महंगा और जटिल हैं। मैं सोचता हूँ कि हम एक धीमी ट्रांजिशन देखेंगे, जहां ऑप्टिकल इंटरकनेक्ट्स तेज लिंक के लिए उपयोग किए जाएंगे जबकि पारंपरिक इलेक्ट्रिकल इंटरकनेक्ट्स छोटे दूरी के लिए काम करेंगे। आगे देखते हुए, आप सोचते हैं कि अगले दशक में कंप्यूटर संगठन में सबसे बड़ा ब्रेकथ्रू क्या होगा?

□: मुझे लगता है कि सबसे बड़ा ब्रेकथ्रू हेटेरोजीनस कंप्यूटिंग में होगा, जहां सीपीयू, जीपीयू, एफपीजीए और विशेष एक्सीलरेटर्स एक साथ सीलीस रूप से काम करेंगे। यह मेमरी हायरार्की से लेकर इंटरकनेक्ट नेटवर्क तक सभी चीजों में नवाचार की आवश्यकता होगी, लेकिन संभावित प्रदर्शन लाभ बहुत बड़े हैं। आपका क्या विचार है? अगले बड़े चीज के बारे में आपका भविष्यवाणी क्या है?

□: मैं सोचता हूँ कि अगला बड़ा चीज क्वांटम कंप्यूटिंग और क्लासिकल सिस्टम के एकीकरण होगा। हम पहले से ही क्वांटम-क्लासिकल हाइब्रिड सिस्टम के

शुरुआती उदाहरण देख रहे हैं, और मैं सोचता हूँ कि यह क्वांटम तकनीक के साथ बढ़ते हुए अधिक आम हो जाएगा। यह इस क्षेत्र में होने का एक रोमांचक समय है, और मैं नहीं जानता कि भविष्य में क्या होगा!

□: बिलकुल सहमत हूँ। नवाचार की गति अद्भुत है, और भविष्य के बारे में सोचना प्रेरित करता है। कंप्यूटर संगठन के भविष्य के लिए—मुझे उम्मीद है कि यह अपने अतीत की तरह ही क्रांतिकारी होगा!