Shakil Mahmud • Research Monograph

SHAKIL MAHMUD EDITORIAL & RESEARCH MONOGRAPHS

কম্পিউটিং ও এআইয়ের ইতিহাস

প্রাচীন ক্যালকুলেশন কাঠি ও ব্যাবেজের ইঞ্জিন থেকে শুরু করে ট্রান্সফরমার, রিজন মডেল এবং এজিআই-এর পদধ্বনি পর্যন্ত গণনার ২০ খণ্ডের বিবর্তন গাঁথা।

SHAKIL MAHMUD

গবেষক ও লেখক

SHAKIL MAHMUD EDITORIAL & RESEARCH SERIES

প্রথম সংকলিত সংস্করণ • ঢাকা ও সিঙ্গাপুর • ২০২৬

কম্পিউটিং ও এআইয়ের ইতিহাস

প্রাচীন ক্যালকুলেশন কাঠি ও ব্যাবেজের ইঞ্জিন থেকে শুরু করে ট্রান্সফরমার, রিজন মডেল এবং এজিআই-এর পদধ্বনি পর্যন্ত গণনার ২০ খণ্ডের বিবর্তন গাঁথা।

LIBRARY & CATALOGING-IN-PUBLICATION DATA

Title: কম্পিউটিং ও এআইয়ের ইতিহাস
Author: Shakil Mahmud
Series: Shakil Mahmud Editorial & Research Series (Monograph Collection)
Subjects: Science -- History -- Philosophy -- Mathematics -- Civilization
Published: Dhaka & Singapore, 2026
Format: Digital Monograph Offprint (PDF) • Complete 20-Part Collected Edition
Permanent URI: https://shakilmahmud.com/series/computing/

প্রস্তাবিত সাইটেশন:
Mahmud, Shakil. (2026). *কম্পিউটিং ও এআইয়ের ইতিহাস: The Complete 20-Part Collected Monograph*. Shakil Mahmud Research Series. https://shakilmahmud.com/series/computing/

Open Scholarly Access: This collected monograph is published under Open Scholarly Access for personal study, academic citation, university pedagogy, and non-commercial research.

© 2026 Shakil Mahmud. All rights reserved. Typeset and published at Dhaka and Singapore.

Shakil Mahmud • Research Monograph

তাত্ত্বিক ভূমিকা

ভূমিকা: জ্ঞানের একীভূত রূপরেখা

গণনার সূচনা সিলিকন চিপে নয়, বরং বিমূর্ত যুক্তি ও মেকানিক্যাল গিয়ারে। প্যাসকেলের ক্যালকুলেটর ও ব্যাবেজের অ্যানালিটিক্যাল ইঞ্জিন থেকে টিউরিং মেশিন, ভন নিউম্যান স্থাপত্য, ট্রানজিস্টর, ডিপ লার্নিং ট্রান্সফরমার এবং কোয়ান্টাম কম্পিউটিং পর্যন্ত গণনামুখী চিন্তার পূর্ণাঙ্গ ইতিহাস।

এই গবেষণামূলক কাজের উদ্দেশ্য কেবল তথ্য উপস্থাপন নয়, বরং চিন্তার গভীর বিকাশকে পাঠকের সামনে উন্মোচন করা। প্রতিটি পরিচ্ছদ এক একটি যুগান্তকারী বৌদ্ধিক সংকটের সমাধান হিসেবে কীভাবে আবির্ভূত হয়েছে, তা এখানে পদ্ধতিগতভাবে লিপিবদ্ধ করা হলো।

— Shakil Mahmud
Dhaka & Singapore, 2026

অধ্যায় সূচি

সূচিপত্র

প্রথম পর্যায়: প্রাচীন ও শাস্ত্রীয় যুগ

খণ্ড ১ — গণনার আদিপর্ব — ট্যালি কাঠি ও অ্যাবাকাস থেকে অ্যান্টিকিথেরা গিয়ার মেকানিজম — 952 শব্দ
গণনার আদিপর্ব — ট্যালি কাঠি ও অ্যাবাকাস থেকে অ্যান্টিকিথেরা গিয়ার মেকানিজম

খণ্ড ২ — যান্ত্রিক গণকযন্ত্রের পথিকৃৎ — পাস্কালের হুইল, লাইবনিজ স্টেপড রেকনার এবং দ্বিমিক কোড — 917 শব্দ
যান্ত্রিক গণকযন্ত্রের পথিকৃৎ — পাস্কালের হুইল, লাইবনিজ স্টেপড রেকনার এবং দ্বিমিক কোড

খণ্ড ৩ — অ্যানালিটিক্যাল বিপ্লব — চার্লস ব্যাবেজের স্টিম ইঞ্জিন ও আডা লাভলেসের প্রথম কম্পিউটার প্রোগ্রাম — 822 শব্দ
অ্যানালিটিক্যাল বিপ্লব — চার্লস ব্যাবেজের স্টিম ইঞ্জিন ও আডা লাভলেসের প্রথম কম্পিউটার প্রোগ্রাম

খণ্ড ৪ — গণনযোগ্যতার তাত্ত্বিক ভিত্তি — বুলিয়ান অ্যালজেব্রা, গ্যোডেলের অসম্পূর্ণতা এবং টুরিং মেশিন — 1,063 শব্দ
গণনযোগ্যতার তাত্ত্বিক ভিত্তি — বুলিয়ান অ্যালজেব্রা, গ্যোডেলের অসম্পূর্ণতা এবং টুরিং মেশিন

খণ্ড ৫ — যুদ্ধকালীন ভ্যাকুয়াম টিউব ও মহাগণক — ব্লেচলি পার্কের কলোসাস এবং এনিয়াক (ENIAC) — 703 শব্দ
যুদ্ধকালীন ভ্যাকুয়াম টিউব ও মহাগণক — ব্লেচলি পার্কের কলোসাস এবং এনিয়াক (ENIAC)

দ্বিতীয় পর্যায়: মধ্যযুগীয় রূপান্তর

খণ্ড ৬ — স্টোরড-প্রোগ্রাম আর্কিটেকচার — ভন নিউম্যান মডেল, ক্লড শ্যাননের তথ্যতত্ত্ব ও ম্যানচেস্টার বেবি — 707 শব্দ
স্টোরড-প্রোগ্রাম আর্কিটেকচার — ভন নিউম্যান মডেল, ক্লড শ্যাননের তথ্যতত্ত্ব ও ম্যানচেস্টার বেবি

খণ্ড ৭ — সলিড-স্টেট বিপ্লব — বেল ল্যাবসের ট্রানজিস্টর, ইন্টিগ্রেটেড সার্কিট এবং মুরের সূত্র — 656 শব্দ
সলিড-স্টেট বিপ্লব — বেল ল্যাবসের ট্রানজিস্টর, ইন্টিগ্রেটেড সার্কিট এবং মুরের সূত্র

খণ্ড ৮ — কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার জন্মলগ্নে — ডার্টমাউথ সম্মেলন ১৯৫৬ এবং প্রতীকী এআই (Symbolic AI) — 666 শব্দ
কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার জন্মলগ্নে — ডার্টমাউথ সম্মেলন ১৯৫৬ এবং প্রতীকী এআই (Symbolic AI)

খণ্ড ৯ — সফটওয়্যার আর্কিটেকচার — গ্রেস হপারের কম্পাইলার, ফোরট্রান, লিস্প এবং ইউনিক্সের দর্শন — 699 শব্দ
সফটওয়্যার আর্কিটেকচার — গ্রেস হপারের কম্পাইলার, ফোরট্রান, লিস্প এবং ইউনিক্সের দর্শন

খণ্ড ১০ — সংযুক্ত বিশ্ব — প্যাকেট সুইচিং, আরপানেট (ARPANET) এবং টিসিপি/আইপি (TCP/IP) প্রোটোকল — 690 শব্দ
সংযুক্ত বিশ্ব — প্যাকেট সুইচিং, আরপানেট (ARPANET) এবং টিসিপি/আইপি (TCP/IP) প্রোটোকল

তৃতীয় পর্যায়: আধুনিক বিপ্লব ও বিজ্ঞান

খণ্ড ১১ — ব্যক্তিগত কম্পিউটারের বিপ্লব — জেরক্স পার্কের আল্টো, অ্যাপল টু এবং জিইউআই (GUI) রূপান্তর — 689 শব্দ
ব্যক্তিগত কম্পিউটারের বিপ্লব — জেরক্স পার্কের আল্টো, অ্যাপল টু এবং জিইউআই (GUI) রূপান্তর

খণ্ড ১২ — পারসেপট্রন ও প্রথম এআই শীতকাল — ফ্র্যাঙ্ক রোজেনব্ল্যাট, মিনস্কি-পাপার্ট সমালোচনা এবং লাইটহিল বিতর্ক — 673 শব্দ

Shakil Mahmud • Research Monograph

পারসেপট্রন ও প্রথম এআই শীতকাল — ফ্র্যাঙ্ক রোজেনব্ল্যাট, মিনস্কি-পাপার্ট সমালোচনা এবং লাইটহিল বিতর্ক

খণ্ড ১৩ **এক্সপার্ট সিস্টেম এবং কানেকশনিজমের পুনর্জন্ম — ব্যাকপ্রোপাগেশন ও হপফিল্ড নেটওয়ার্ক** 832 শব্দ
এক্সপার্ট সিস্টেম এবং কানেকশনিজমের পুনর্জন্ম — ব্যাকপ্রোপাগেশন ও হপফিল্ড নেটওয়ার্ক

খণ্ড ১৪ **ওয়ার্ল্ড ওয়াইড ওয়েব — টিম বার্নার্স-লি, সার্ন (CERN) এবং তথ্যের উন্মুক্ত মহাসড়ক** 618 শব্দ
ওয়ার্ল্ড ওয়াইড ওয়েব — টিম বার্নার্স-লি, সার্ন (CERN) এবং তথ্যের উন্মুক্ত মহাসড়ক

খণ্ড ১৫ **পরিসংখ্যানগত এআই এবং ডিপ ব্লু — সাপোর্ট ভেক্টর মেশিন, র‍্যান্ডম ফরেস্ট ও কাসপারভের পরাজয়** 733 শব্দ
পরিসংখ্যানগত এআই এবং ডিপ ব্লু — সাপোর্ট ভেক্টর মেশিন, র‍্যান্ডম ফরেস্ট ও কাসপারভের পরাজয়

চতুর্থ পর্যায়: সমকালীন যুগ ও ভবিষ্যতের দিগন্ত

খণ্ড ১৬ **ডিপ লার্নিং নবজাগরণ — ইমেজনেট, কুডা (CUDA) জিপিইউ এবং অ্যালেক্সনেটের মহাবিস্ফোরণ** 672 শব্দ
ডিপ লার্নিং নবজাগরণ — ইমেজনেট, কুডা (CUDA) জিপিইউ এবং অ্যালেক্সনেটের মহাবিস্ফোরণ

খণ্ড ১৭ **ডিপ রিইনফোর্সমেন্ট লার্নিং — আটারি গেমস, আলফাগো এবং কৃত্রিম প্রজ্ঞা** 624 শব্দ
ডিপ রিইনফোর্সমেন্ট লার্নিং — আটারি গেমস, আলফাগো এবং কৃত্রিম প্রজ্ঞা

খণ্ড ১৮ **অ্যাটেনশন ইজ অল ইউ নিড — ট্রান্সফরমার বিপ্লব, সেলফ-অ্যাটেনশন এবং স্কেলিং সূত্র** 571 শব্দ
অ্যাটেনশন ইজ অল ইউ নিড — ট্রান্সফরমার বিপ্লব, সেলফ-অ্যাটেনশন এবং স্কেলিং সূত্র

খণ্ড ১৯ **জেনারেটিভ বিপ্লব — ডিফিউশন মডেল, চ্যাটজিপিটি, মাল্টিমোডাল এআই এবং অ্যালাইনমেন্ট** 498 শব্দ
জেনারেটিভ বিপ্লব — ডিফিউশন মডেল, চ্যাটজিপিটি, মাল্টিমোডাল এআই এবং অ্যালাইনমেন্ট

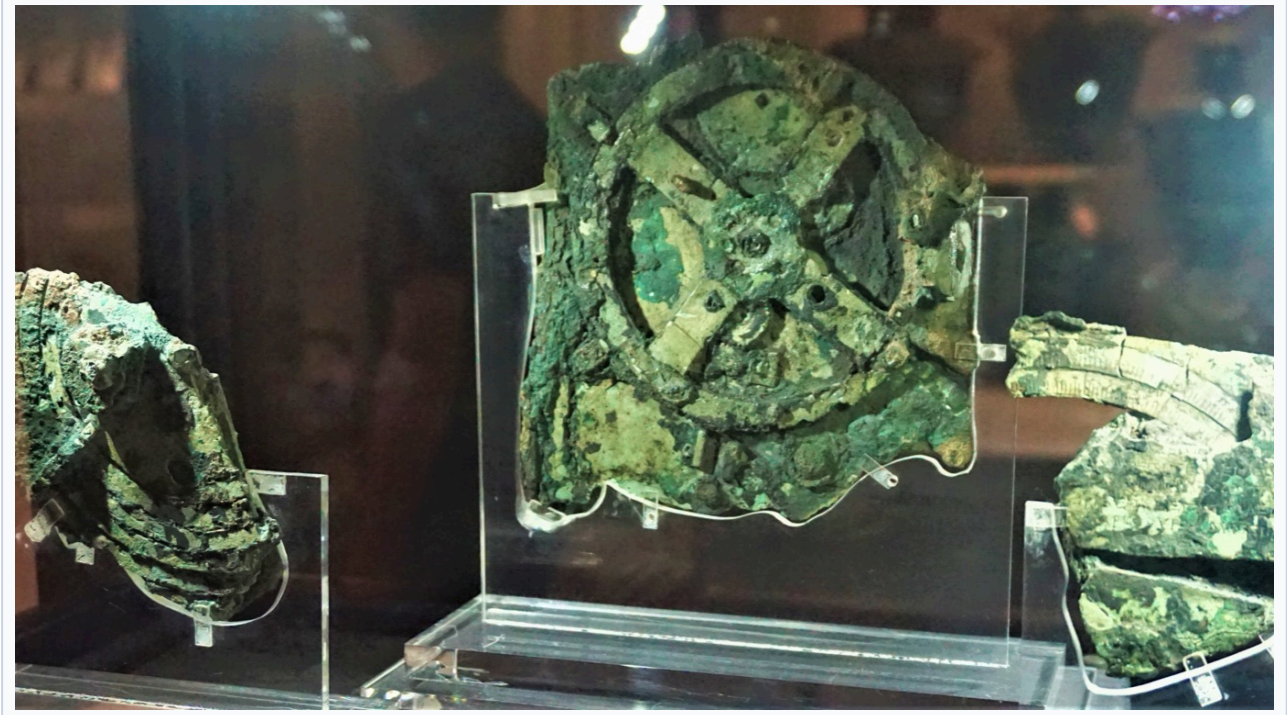
খণ্ড ২০ **কম্পিউটিংয়ের ভবিষ্যৎ দিগন্ত — রিজনিং মডেল, কোয়ান্টাম কম্পিউটিং এবং এজিআইয়ের (AGI) সন্ধানে** 719 শব্দ
কম্পিউটিংয়ের ভবিষ্যৎ দিগন্ত — রিজনিং মডেল, কোয়ান্টাম কম্পিউটিং এবং এজিআইয়ের (AGI) সন্ধানে

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • প্রথম খণ্ড

গণনার আদিপর্ব — ট্যালি কাঠি ও অ্যাবাকাস থেকে অ্যান্টিকিথেরা গিয়ার মেকানিজম

গণনার আদিপর্ব — ট্যালি কাঠি ও অ্যাবাকাস থেকে অ্যান্টিকিথেরা গিয়ার মেকানিজম

952 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ১: *চিত্র: অ্যান্টিকিথেরা মেকানিজম (~১৫০–১০০ খ্রিস্টপূর্বাব্দ)। গ্রিক দ্বীপ অ্যান্টিকিথেরার গভীর সমুদ্রের ধ্বংসাবশেষ থেকে উদ্ধারকৃত এই ৩৭টি ব্রোঞ্জ গিয়ারযুক্ত মেকানিজম হলো মানব ইতিহাসের প্রাচীনতম অ্যানালগ কম্পিউটার, যা এপিসাইক্লিক ডিফারেনশিয়াল গিয়ারিংয়ের মাধ্যমে সৌর-চন্দ্র গতিপথ এবং সূর্য-চন্দ্রগ্রহণের সারোস চক্র নির্ভুলভাবে গণনা করত।*

সিলিকন চিপ আবিষ্কারের প্রায় দুই হাজার বছর আগে, প্রাচীন ভূমধ্যসাগরীয় প্রকৌশলীরা ৩৭টি খাঁজকাটা ব্রোঞ্জের গিয়ার দিয়ে এমন এক অবিশ্বাস্য যন্ত্র তৈরি করেছিলেন, যা চাঁদের অসম গতিপথ গণনা করতে পারত, অলিম্পিক গেমসের সময় নির্ধারণ করত এবং দশকের পর দশক আগের সূর্য ও চন্দ্রগ্রহণের পূর্বাভাস দিত নির্ভুলভাবে। কম্পিউটিংয়ের ইতিহাস সিলিকন ভ্যালি বা ব্লেচলি পার্ক থেকে শুরু হয়নি; এর সূচনা হয়েছিল ঠিক সেই মুহূর্তে, যখন মানুষ উপলব্ধি করেছিল যে মহাবিশ্ব কিছু গাণিতিক নিয়ম মেনে চলে—এবং সেই নিয়মগুলোকে ধাতুর কাঠামোর মধ্যে যান্ত্রিক রূপ দেওয়া সম্ভব।

১. সংখ্যার প্রাক-ইতিহাস এবং বাহ্যিক স্মৃতিব্যবস্থা

বিশুদ্ধ তাত্ত্বিক অর্থে কম্পিউটিং হলো পূর্বনির্ধারিত নিয়ম অনুসারে সংকেত বা প্রতীকের রূপান্তর। প্রাচীন মানুষের মস্তিষ্কের তাৎক্ষণিক মেমোরি বা স্মৃতি ধারণক্ষমতা ছিল সীমিত। এই সীমাবদ্ধতা দূর করতে তারা উদ্ভাবন করে *এক্সোগ্রাম (Exogram)*—এমন এক বাহ্যিক শারীরিক নথি, যার মাধ্যমে মানসিক গণনাকে হাড়, পাথর বা কাঠে চিরস্থায়ী রূপ দেওয়া যেত।

Shakil Mahmud • Research Monograph

পদ্ধতিগত গণনার প্রাচীনতম নিদর্শন হলো দাগকাটা ট্যালি কাঠি: সোয়াজিল্যান্ডের লেবোম্বো হাড় (~৪২,০০০ বছর প্রাচীন) এবং নীল নদের উৎসমুখ থেকে আবিষ্কৃত বিখ্যাত **ইশাঙ্গো হাড় (Ishango bone)** (~২০,০০০ খ্রিস্টপূর্বাব্দ)। একটি বেবুনের ফিবুলা হাড়ে কোয়ার্টজ পাথরের সূক্ষ্ম ডগা দিয়ে কাটা এই কাঠিটিতে তিনটি স্বতন্ত্র কলামে খাঁজ কাটা রয়েছে। একটি কলামে ১০ থেকে ২০-এর মধ্যবর্তী মৌলিক সংখ্যাগুলো (১১, ১৩, ১৭, ১৯) পাওয়া যায়; অপর একটি কলামে দেখা যায় দ্বিগুণ ও অর্ধেকের অনুপাত ($৩ \to ৬$, $৪ \to ৮$, $৫ \to ১০$)। এটি ছয় মাসের চন্দ্রপঞ্জিকা হোক বা আদিম কোনো গণনার হাতিয়ার, এটি ছিল সময়ের হিসাব এবং পরিমাণকে একটি বহনযোগ্য বস্তুতে ধরে রাখার প্রথম সফল মানব প্রচেষ্টা।

২. পজিশনাল বা স্থানীয় মান এবং অ্যাবাকাস ইঞ্জিন

সংখ্যার স্থানীয় মান (Positional Notation) ছাড়া গণনার বিস্তৃতি অসম্ভব। রোমান সংখ্যা পদ্ধতিতে ($MDCCCLXXXVIII$) সাধারণ গুণ বা ভাগ করাও কাগজে-কলমে অত্যন্ত জটিল। প্রাচীন সভ্যতাগুলো এই সমস্যা সমাধান করেছিল যান্ত্রিক টোকেন ব্যবহারের মাধ্যমে: তৈরি হয়েছিল কাউন্টিং বোর্ড এবং অ্যাবাকাস।

রোমান হ্যান্ড অ্যাবাকাস এবং পূর্ব এশিয়ার চীনা *সুয়ানপান (Suanpan)* ও জাপানি *সোরোবান (Soroban)*-এ সমান্তরাল তারের মধ্যে পুঁতিগুলোকে বাই-কুইনারি (Bi-quinary) পদ্ধতিতে সাজানো হতো—উপরের অংশে ৫-এর মানের পুঁতি এবং নিচের অংশে ১-এর মানের পুঁতি। অ্যাবাকাসের প্রধান তাত্ত্বিক উদ্ভাবন ছিল **রেজিস্টার (Register)**: প্রতিটি তার ছিল দশমিক পদ্ধতির এক একটি ঘাত বা স্থানীয় মান:

$$N = \sum_{k=0}^{m} d_k \cdot 10^k \quad \text{যেখানে } d_k \in \{0, 1, \ldots, 9\}$$

অ্যাবাকাসের পুঁতিগুলোকে স্থানান্তর করে একজন অভিজ্ঞ হিসাবরক্ষক ধ্রুবক গতিতে ($O(1)$ জটিলতায়) যোগ ও ক্যারি সম্পাদন করতে পারতেন। অ্যাবাকাস শুধু একটি হিসাব রাখার কাঠি ছিল না; এটি ছিল এমন একটি ইন্টারঅ্যাক্টিভ স্টেট-মেশিন, যেখানে প্রতিটি পুঁতি কাজ করত বর্তমান মেমোরি বিটের মতো।

৩. আল-খোয়ারিজমি এবং অ্যালগরিদমের আনুষ্ঠানিক রূপ

যান্ত্রিক কাঠামো যতোই নিখুঁত হোক না কেন, ধাপে ধাপে কাজ করার সুনির্দিষ্ট নির্দেশাবলী বা কোড ছাড়া তা অচল। নবম শতকে বাগদাদের জ্ঞানপীঠ ‘বায়তুল হিকমাহ’-তে বসে গণিতবিদ মুহাম্মদ ইবনে মুসা আল-খোয়ারিজমি রচনা করেন তাঁর অমর গ্রন্থ: *কিতাব আল-জাম ওয়াল-তাফরিক বি-হিসাব আল-হিন্দ* এবং *আল-কিতাব আল-মুখতাসার ফি হিসাব আল-জাবর ওয়াল-মুকাবিলা*।

আল-খোয়ারিজমি ভারতীয় দশমিক স্থানীয় মান ব্যবস্থা এবং শূন্যের (০) ধারণাকে আন্তর্জাতিক গণিতের মূলধারায় নিয়ে আসেন। কিন্তু তাঁর সবচেয়ে বৈপ্লবিক অবদান ছিল জটিল গাণিতিক সমস্যা সমাধানের জন্য সুনির্দিষ্ট, ধারাবাহিক ধাপের আনুষ্ঠানিক রূপায়ন। তাঁর নামটির ল্যাটিন রূপ (*Algoritmi*) থেকেই আজকের বিশ্বখ্যাত শব্দ **অ্যালগরিদম (Algorithm)**-এর উৎপত্তি।

আল-খোয়ারিজমি প্রমাণ করেছিলেন যে যেকোনো গাণিতিক সমাধানকে কতগুলো সীমিত, দ্ব্যর্থহীন এবং যান্ত্রিক নিয়মে বিভক্ত করা যায়—যা কোনো অলৌকিক অন্তর্দৃষ্টি ছাড়াই যে কেউ অন্ধের মতো ধাপে ধাপে অনুসরণ করে নির্ভুল ফলাফল পেতে পারে। এটিই আধুনিক সফটওয়্যার ও প্রোগ্রামিং লজিকের আদি ভিত্তি।

৪. অ্যান্টিকিথেরা মেকানিজম: ব্রোঞ্জের তৈরি মহাজাগতিক ক্যালকুলেটর

১৯০১ সালে গ্রিসের অ্যান্টিকিথেরা দ্বীপের উপকূলে নিমজ্জিত একটি রোমান জাহাজের ধ্বংসাবশেষ থেকে স্পঞ্জ ডুবুরিরা ব্রোঞ্জের একটি গলিত খণ্ড উদ্ধার করেন। কয়েক দশক ধরে এক্স-রে কম্পিউটেড টমোগ্রাফি (CT scan) এবং ৩ডি ইমেজিংয়ের মাধ্যমে অ্যান্টিকিথেরা মেকানিজম রিসার্চ প্রজেক্ট উন্মোচন করে এক অবিশ্বাস্য বিস্ময়: একটি কাঠের বাক্সের মধ্যে অন্তত ৩৭টি খাঁজকাটা নিখুঁত ব্রোঞ্জ গিয়ারের সমন্বয়ে তৈরি এক বিস্ময়কর অ্যানালগ কম্পিউটার।

অ্যান্টিকিথেরা মেকানিজম ছিল একটি স্বয়ংক্রিয় জ্যোতির্বৈজ্ঞানিক ক্যালকুলেটর। এর বাইরের একটি হ্যান্ডেল বা ক্র্যাঙ্ক ঘোরালে একটি প্রধান এক্সেল ক্যালেন্ডারের দিন নির্দেশ করত। এরপর গিয়ারের নির্ভুল অনুপাতের মাধ্যমে সামনের ও পেছনের ডায়ালগুলো সচল হতো:

- **সৌর ও রাশিচক্র ডায়াল:** ৩৬৫ দিনের মিশরীয় ক্যালেন্ডার রিং ধরে ক্রান্তিবৃত্তে সূর্যের অবস্থান নিখুঁতভাবে নির্দেশ করত।
- **মেটোনিক ক্যালেন্ডার ডায়াল:** ১৯ সৌর বছরের সমান ২৩৫টি চন্দ্র মাসের মেটোনিক চক্রকে সমন্বয় করত।
- **সারোস গ্রহণ পূর্বাভাস ডায়াল:** পেছনের ২২৩ মাসের সর্পিল ডায়ালটি দিন ও ঘণ্টার হিসেবে চন্দ্র ও সূর্যগ্রহণের সঠিক সময় ও মাত্রা ভবিষ্যদ্বাণী করত।

এপিসাইক্লিক গিয়ারিং ও চাঁদের গতিপথ

এই যন্ত্রের সবচেয়ে জটিল যান্ত্রিক সাফল্য ছিল **চাঁদের উপবৃত্তাকার গতির অসমতা (Keplerian anomaly)** গণনা করার ক্ষমতা—যা ইয়োহানেস কেপলারের সূত্রের প্রায় ১৮০০ বছর আগের ঘটনা! উপবৃত্তাকার কক্ষপথের কারণে পৃথিবী থেকে চাঁদের আপাত গতিবেগ সবসময় এক থাকে না; পেরিজি বা নিকটতম বিন্দুতে চাঁদ দ্রুত এবং অ্যাপোজি বা দূরবর্তী বিন্দুতে ধীরগতিতে চলে।

গ্রিক জ্যোতির্বিদ হিপারকাস এই অসমান গতি ব্যাখ্যা করেছিলেন এপিসাইক্লিক গতি দিয়ে। অ্যান্টিকিথেরা নির্মাতারা হিপারকাসের এই তত্ত্বকে ধাতব রূপে বাস্তবায়ন করেন এক অবিশ্বাস্য কৌশলে: দুটি গিয়ারকে একটির ওপর আরেকটি সামান্য কেন্দ্রচ্যুত (অফ-সেন্টার) করে বসানো হয়। নিচের গিয়ারের একটি পিন উপরের গিয়ারের একটি খাঁজের (স্লট) মধ্যে দিয়ে চলাচল করত:

$$\omega(\theta) = \omega_0 \left(1 + 2e\cos\theta + O(e^2)\right)$$

যখন প্রধান গিয়ারটি সমবেগে ঘুরত, তখন কেন্দ্রচ্যুতির কারণে পিনটির কার্যকর ব্যাসার্ধ সাইনুসয়েডাল ধারায় কম-বেশি হতো। এর ফলে দ্বিতীয় গিয়ারটির গতি কখনো বেড়ে যেত, কখনো কমে যেত—যা আকাশে চাঁদের অসম গতির হুবহু প্রতিলিপি ফুটিয়ে তুলত!

মূল শিক্ষা: প্রযুক্তির হারিয়ে যাওয়া চূড়া

অ্যান্টিকিথেরা মেকানিজম প্রমাণ করে যে প্রাচীন সভ্যতায় উচ্চমানের অ্যানালগ কম্পিউটিং ইঞ্জিন তৈরির মতো গভীর গাণিতিক ও যান্ত্রিক জ্ঞান বিদ্যমান ছিল। রোমান সাম্রাজ্যের পতনের পর ইউরোপে ১৪ শতকের ক্যাথেড্রাল ঘড়িগুলোর আবির্ভাবের আগ পর্যন্ত এই পর্যায়ের জটিল গিয়ার মেকানিজম পৃথিবীতে আর দ্বিতীয়টি তৈরি হয়নি।

প্রধান একাডেমিক তথ্যসূত্র

- Freeth, T., et al. (2006). Decoding the ancient Greek astronomical calculator known as the Antikythera Mechanism. *Nature*, 444(7119), 587–591.

Shakil Mahmud • Research Monograph

- Price, D. de Solla (1974). Gears from the Greeks: The Antikythera Mechanism—A Calendar Computer from ca. 80 B.C. *Transactions of the American Philosophical Society*, 64(7), 1–70.
- Ifrah, G. (2000). *The Universal History of Computing: From the Abacus to the Quantum Computer*. John Wiley & Sons.
- Al-Khwarizmi, M. ibn M. (820). *Al-Kitāb al-mukhtaṣar fī ḥisāb al-jabr wa-l-muqābala*. English translation by F. Rosen (1831), London.

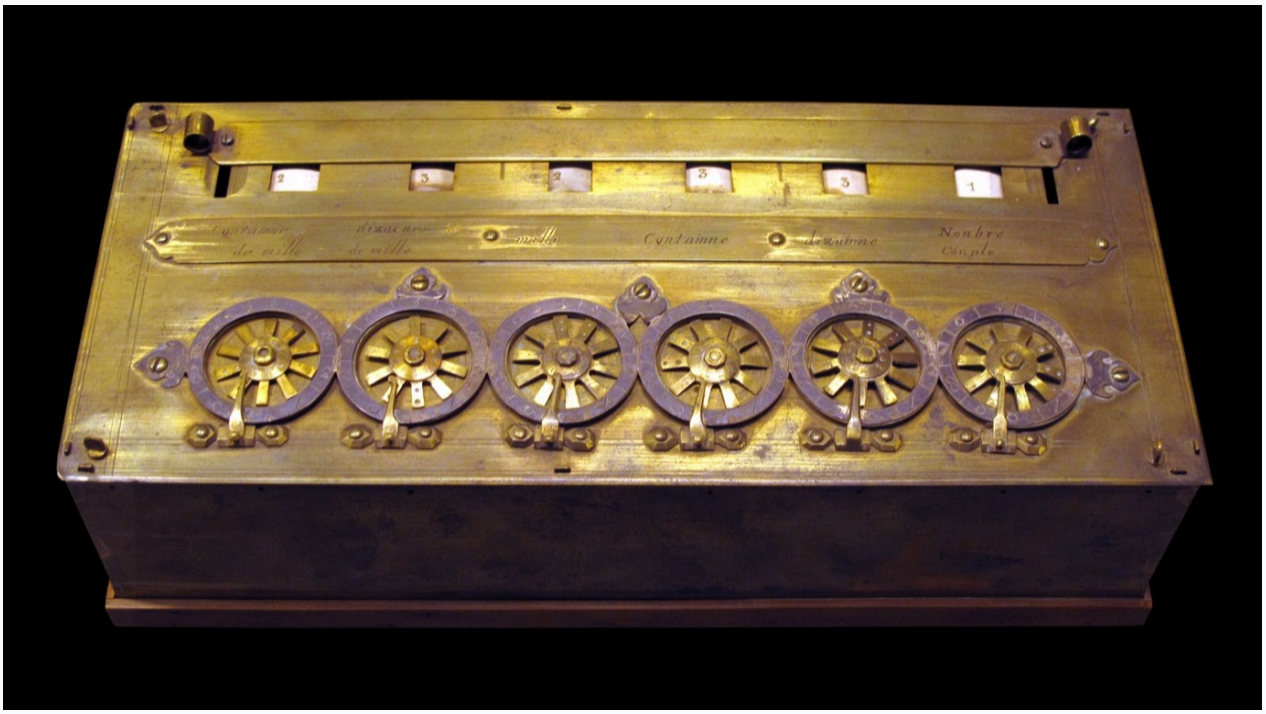
সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "গণনার আদিপর্ব — ট্যালি কাঠি ও অ্যাবাকাস থেকে অ্যান্টিকিথেরা গিয়ার মেকানিজম"। কম্পিউটিং ও এআইয়ের ইতিহাস, খণ্ড ১। https://shakilmahmud.com/bn/history-computing-ai-part-1-dawn-of-algorithms-bn/

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • দ্বিতীয় খণ্ড

যান্ত্রিক গণকযন্ত্রের পথিকৃৎ — পাস্কালের হুইল, লাইবনিজ স্টেপড রেকনার এবং দ্বিমিক কোড

যান্ত্রিক গণকযন্ত্রের পথিকৃৎ — পাস্কালের হুইল, লাইবনিজ স্টেপড রেকনার এবং দ্বিমিক কোড

917 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ২: *চিত্র: পাস্কালিন (১৬৪২) এবং লাইবনিজ স্টেপড রেকনার (১৬৭৩)। ব্লেইজ পাস্কালের গ্র্যাভিটি-সহায়ক সতোয়ার ক্যারি মেকানিজমযুক্ত যান্ত্রিক গণক এবং গটফ্রিড ভিলহেল্ম লাইবনিজের স্টেপড ড্রাম মেকানিজম—যা সরাসরি যান্ত্রিক গুণের পথ উন্মোচন করে আধুনিক দ্বিমিক (বাইনারি) গণিতের ভিত্তি স্থাপন করেছিল।*

১৬৮৫ সালে গটফ্রিড ভিলহেল্ম লাইবনিজ লিখেছিলেন: “যন্ত্রের সাহায্য নিলে যে হিসাব যে কেউ অনায়াসে করতে পারে, সেখানে দাসদের মতো ঘণ্টার পর ঘণ্টা সময় নষ্ট করা কোনো জ্ঞানীর শোভা পায় না।” ইউরোপীয় রেনেসাঁ ও জ্ঞানালোকের যুগে গণিত আর শুধু কাগজ-কলমে সীমাবদ্ধ রইল না। দার্শনিক ও বিজ্ঞানীরা উপলব্ধি করলেন—ধাতুর চাকা, পিতলের গিয়ার এবং দ্বিমিক (বাইনারি) যুক্তির মাধ্যমে মানুষের চিন্তাশক্তিকে যন্ত্রের ভেতরে ধারণ করা সম্ভব।

১. যান্ত্রিক গণনার ঊষালগ্ন: শিকার্ডের ক্যালকুলেটিং ক্লক

আধুনিক বৈজ্ঞানিক বিপ্লবের সঙ্গে হাত মিলিয়েই যান্ত্রিক ক্যালকুলেটরের জন্ম। ১৬২৩ সালে জার্মান বহুশাস্ত্রবিদ ভিলহেল্ম শিকার্ড বিখ্যাত জ্যোতির্বিদ ইয়োহানেস কেপলারের গ্রহীয় কক্ষপথের জটিল হিসাব সহজ করার উদ্দেশ্যে তৈরি করেন *রেশেনুর (Rechenuhr)* বা ‘ক্যালকুলেটিং ক্লক’। এটি নেপিয়ারের রড ব্যবহার করে গুণের কাজ এবং গিয়ার ট্রেনের মাধ্যমে যোগ-বিয়োগ সম্পাদন করত।

Shakil Mahmud • Research Monograph

কিন্তু প্রাচীন ও মধ্যযুগীয় গিয়ার ইঞ্জিনের সবচেয়ে বড় প্রতিবন্ধকতা ছিল **ক্যারি ট্রান্সমিশন সমস্যা (Carry Propagation Problem)**। যখন কোনো গণক চাকা ৯ থেকে ঘুরে ০-তে পৌঁছায়, তখন তার বাঁপাশের চাকাটিকে ঠিক ১ ধাপ এগিয়ে দিতে হয়। কিন্তু ৯৯, ৯৯৯ + ১-এর মতো হিসাবে একই সাথে পাঁচটি চাকাতেই ক্যারি সংকেত পাঠাতে হয়:

$$৯৯৯৯৯_{১০} + ১ \implies \text{একটানা ৫টি ধাপে ক্যারি স্থানান্তর}$$

শিকার্ডের সাধারণ দাঁতযুক্ত চাকার নকশায় একই সাথে পাঁচটি চাকায় ক্যারি পাঠাতে গিয়ে প্রচণ্ড যান্ত্রিক ঘর্ষণ ও বাধার সৃষ্টি হতো। অতিরিক্ত জোরে হাতল ঘোরালে পিতলের খাঁজগুলো ভেঙে যেত, আর আস্তে ঘোরালে পুরো চাকা জ্যাম হয়ে আটকে যেত। দুর্ভাগ্যবশত, ত্রিশ বছরের যুদ্ধের অগ্নিকাণ্ডে শিকার্ডের সমস্ত মডেল ধ্বংস হয়ে যায়।

২. ব্লেইজ পাস্কাল এবং পাস্কালিন: মহাকর্ষীয় ক্যারি ইঞ্জিন

১৬৪২ সালে মাত্র উনিশ বছর বয়সে ফরাসি গণিতজ্ঞ ও দার্শনিক ব্লেইজ পাস্কাল তাঁর পিতার কর আদায়ের জটিল হিসাব সহজ করার উদ্দেশ্যে উদ্ভাবন করেন ঐতিহাসিক **পাস্কালিন (Pascaline)**। প্রায় ৫০টিরও বেশি প্রোটোটাইপ তৈরির পর পাস্কাল ক্যারেজ বাধার এক অসাধারণ পদার্থবৈজ্ঞানিক সমাধান খুঁজে পান: *সতোয়ার (Sautoir)* বা মহাকর্ষীয় ওজনের ড্রপ মেকানিজম।

সতোয়ারের কার্যপদ্ধতি

পাশের চাকাটিকে ধাক্কা দেওয়ার জন্য ব্যবহারকারীর হাতের শক্তির ওপর নির্ভর না করে পাস্কাল অভিকর্ষজ বিভব শক্তিকে (Potential Energy) কাজে লাগান। চাকাটি যখন ৪ থেকে ৯ পর্যন্ত ঘোরে, তখন একটি ছোট ভারী হাতল বা সতোয়ার ধীরে ধীরে উপরের দিকে উঠতে থাকে। চাকাটি ঠিক যখন ৯ থেকে ০-তে পদার্পণ করে, অমনি সতোয়ারটি নিচে আছড়ে পড়ে এবং নিজের ওজনের শক্তিতে পাশের চাকার পিনিয়নকে ঠিক এক ঘর এগিয়ে দেয়।

প্রতিটি দশকের জন্য আলাদা মহাকর্ষীয় বিভব শক্তি সঞ্চিত থাকায় ৯৯, ৯৯৯ + ১-এর মতো জটিল গণনায় ব্যবহারকারীর হাতে কোনো বাড়তি চাপ পড়ত না। ডোমিনো ফলের মতো প্রতিটি সতোয়ার নিজের ওজনে খটখট করে নিচে পড়ে পাশের চাকাকে ঘুরিয়ে দিত। এভাবেই তৈরি হয়েছিল মানব ইতিহাসের প্রথম সফল বাণিজ্যিক যান্ত্রিক ক্যালকুলেটর।

নাইনস কমপ্লিমেন্ট: বিয়োগের যান্ত্রিক যুক্তি

যেহেতু সতোয়ারের র‍্যাচেট মেকানিজম চাকাকে উল্টো দিকে ঘুরতে বাধা দিত, তাই পাস্কালিন সরাসরি পিছন দিকে ঘুরিয়ে বিয়োগ করতে পারত না। পাস্কাল এর এক অপূর্ব গাণিতিক সমাধান বের করেন: তিনি **নাইনস কমপ্লিমেন্ট (Nines’ Complement)** পদ্ধতি প্রয়োগ করেন, যা আজকের আধুনিক কম্পিউটারের টুস কমপ্লিমেন্ট (Two’s Complement) বাইনারি বিয়োগের পূর্বসূরি:

$$a \&\#8211; b = a + (10^k \&\#8211; 1 \&\#8211; b) \&\#8211; 10^k + 1$$

পাস্কাল প্রতিটি ড্রামে দুটি করে সংখ্যার সারি বসিয়ে দেন—নিচের সারিতে মূল সংখ্যা এবং উপরের সারিতে তার ৯-এর পরিপূরক ($৯ \&\#8211; d_i$)। ফলে শুধুমাত্র সম্মুখমুখী যোগের মাধ্যমেই নিখুঁত বিয়োগ সম্পন্ন করা সম্ভব হয়।

৩. গটফ্রিড ভিলহেল্ম লাইবনিজ: স্টেপড ড্রাম এবং সার্বজনীন ক্যালকুলাস

পাস্কালিন যোগ ও বিয়োগ করতে পারলেও গুণ বা ভাগ করতে গেলে বারবার যোগ বা বিয়োগ করতে হতো। ১৬৭৩ সালে জার্মান দার্শনিক ও গণিতবিদ গটফ্রিড ভিলহেল্ম লাইবনিজ রয়্যাল সোসাইটি অব লন্ডন ও প্যারিস বিজ্ঞান একাডেমিতে উন্মোচন করেন তাঁর বিশ্বখ্যাত **স্টেপড রেকনার (Stepped Reckoner / Staffelwalze)**।

লাইবনিজের প্রধান যান্ত্রিক উদ্ভাবন ছিল **স্টেপড ড্রাম**: একটি লম্বাটে পিতলের সিলিন্ডার, যার গায়ে ক্রমান্বয়ে লম্বা হওয়া ৯টি খাঁজ বা দাঁত বসানো ছিল। এই সিলিন্ডারের ওপর একটি ছোট গিয়ার অবস্থান পরিবর্তনের মাধ্যমে ০ থেকে ৯টি দাঁতের যেকোনোটির সাথে যুক্ত হতে পারত। হাতলের একটি ঘূর্ণনে স্টেপড ড্রাম এক ধাপেই গুণের কাজ সম্পন্ন করতে পারত:

$$\Delta R = d \cdot \text{ঘূর্ণন সংখ্যা}$$

লাইবনিজ এই ড্রামগুলোকে একটি স্লাইডিং ক্যারেজে আটটি সারিতে সাজিয়ে তৈরি করেন প্রথম কার্যকর চার-ক্রিয়ার (যোগ, বিয়োগ, গুণ, ভাগ) যান্ত্রিক ক্যালকুলেটর।

৪. দ্বিমিক (বাইনারি) কোড এবং যুক্তির ক্যালকুলাস

যন্ত্র তৈরির চেয়েও গণিতের ইতিহাসে লাইবনিজের তাত্ত্বিক অবদান ছিল অনেক বেশি সুদূরপ্রসারী। ১৬৭৯ সালে রচিত তাঁর ঐতিহাসিক গবেষণাপত্র *Explication de l'Arithmétique Binaire*-এ তিনি দেখান যে মহাবিশ্বের সমস্ত সংখ্যা এবং গাণিতিক হিসাবকে শুধুমাত্র দুটি সংকেতের মাধ্যমে প্রকাশ করা সম্ভব: ০ এবং ১:

$$N = \sum_{i=0}^{n} b_i \cdot 2^i, \quad b_i \in \{0, 1\}$$

লাইবনিজ উপলব্ধি করেছিলেন যে দশমিকের তুলনায় বাইনারি পদ্ধতিতে যন্ত্র তৈরি করা অনেক সহজ ও টেকসই—কারণ সেখানে চাকার ১০টি অবস্থানের বদলে শুধু দুটি অবস্থান (চালু বা বন্ধ) থাকলেই চলে। তাঁর এই দূরদর্শী উপলব্ধি প্রায় আড়াইশত বছর পর আধুনিক ইলেকট্রনিক কম্পিউটারের মূল চালিকাশক্তিতে পরিণত হয়।

ক্যারেক্টারিস্টিকা ইউনিভার্সালিস এবং ক্যালকুলেমুস!

লাইবনিজের চূড়ান্ত স্বপ্ন ছিল সাধারণ ক্যালকুলেটরকে অতিক্রম করে মানব চিন্তাশক্তি ও যুক্তিকে পুরোপুরি যন্ত্রের আওতায় নিয়ে আসা। তিনি প্রস্তাব করেন *ক্যারেক্টারিস্টিকা ইউনিভার্সালিস (Characteristica Universalis)*—এক সার্বজনীন প্রতীকী ভাষা, যার মাধ্যমে বিজ্ঞান, দর্শন ও নীতিশাস্ত্রের সমস্ত সত্যকে গাণিতিক সূত্রের মতো নির্ভুলভাবে প্রকাশ করা যাবে। আর তার সাথে কাজ করবে *ক্যালকুলাস রেশিওসিনেটর (Calculus Ratiocinator)*: যা যুক্তির সত্যতা যাচাই করবে যান্ত্রিক নিয়মে:

> *"যখন কোনো বিষয়ে বিরোধ সৃষ্টি হবে, তখন দুই দার্শনিকের মধ্যে বিতর্কের আর কোনো প্রয়োজন থাকবে না, যেমনটা প্রয়োজন হয় না দুই হিসাবরক্ষকের মধ্যে। কারণ টেবিলের দুই পাশে বসে হাতে কলম নিয়ে একে অপরকে শুধু বলতে হবে:* ***ক্যালকুলেমুস! (আসুন, গণনা শুরু করি!)***"

Shakil Mahmud • Research Monograph

লাইবনিজের এই দর্শনই ছিল কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তা বা Artificial Intelligence-এর তাত্ত্বিক জন্মলগ্ন। তিনি প্রথম দেখিয়েছিলেন যে যুক্তি কোনো অলৌকিক অনুভূতি নয়; এটি একটি সুনির্দিষ্ট অ্যালগরিদমিক গণনা।

প্রধান একাডেমিক তথ্যসূত্র

- Pascal, B. (1645). *Lettre dédicatoire sur le sujet de la machine nouvellement inventée*. Paris.
- Leibniz, G. W. (1703). Explication de l’arithmétique binaire. *Histoire de l’Académie Royale des Sciences*, 85–89.
- Goldstine, H. H. (1972). *The Computer from Pascal to von Neumann*. Princeton University Press.
- Davis, M. (2000). *The Universal Computer: The Road from Leibniz to Turing*. W. W. Norton & Company.

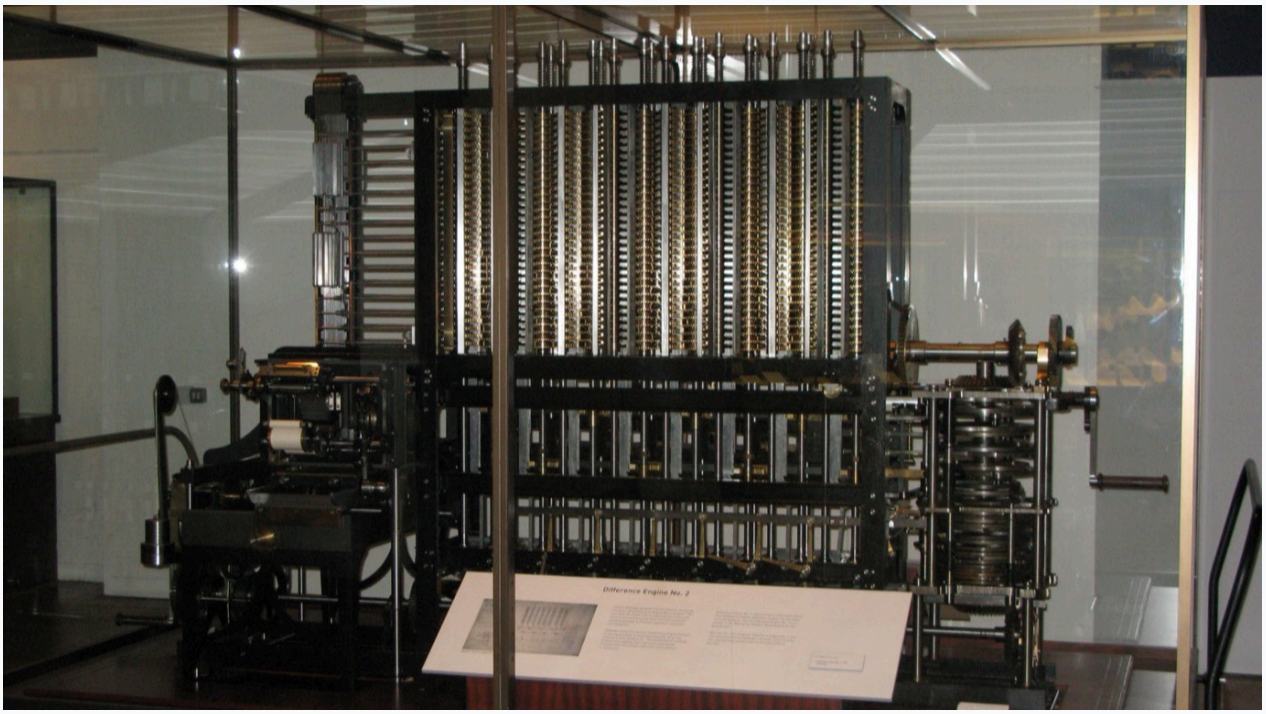
সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "যান্ত্রিক গণকযন্ত্রের পথিকৃৎ — পাস্কালের হুইল, লাইবনিজ স্টেপড রেকনার এবং দ্বিমিক কোড"। কম্পিউটিং ও এআইয়ের ইতিহাস, খণ্ড ২। https://shakilmahmud.com/bn/history-computing-ai-part-2-mechanical-philosophers-bn/

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • তৃতীয় খণ্ড

অ্যানালিটিক্যাল বিপ্লব — চার্লস ব্যাবেজের স্টিম ইঞ্জিন ও আডা লাভলেসের প্রথম কম্পিউটার প্রোগ্রাম

অ্যানালিটিক্যাল বিপ্লব — চার্লস ব্যাবেজের স্টিম ইঞ্জিন ও আডা লাভলেসের প্রথম কম্পিউটার প্রোগ্রাম

822 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ৩: *চিত্র: চার্লস ব্যাবেজের ডিফারেন্স ইঞ্জিন এবং অ্যানালিটিক্যাল আর্কিটেকচার। চার্লস ব্যাবেজ পরিকল্পিত এবং ১৮৪৩ সালে আডা লাভলেস কর্তৃক প্রোগ্রামকৃত এই যান্ত্রিক আর্কিটেকচার জ্যাকোয়ার্ড পাঞ্চ কার্ড ও মেমোরি-মিল বিভাজনের মাধ্যমে আধুনিক সাধারণ-উদ্দেশ্যমূলক প্রোগ্রামিংয়ের সূচনা করেছিল।*

শিল্প বিপ্লবের কয়লা-ধোঁয়াচ্ছন্ন লন্ডনে বসে গণিতবিদ চার্লস ব্যাবেজ এবং দূরদর্শী বিশ্লেষক আডা লাভলেস বাষ্পচালিত এক বিশাল গণকযন্ত্রের নকশা করেছিলেন—যা আধুনিক ডিজিটাল কম্পিউটারের আর্কিটেকচারকে প্রায় এক শতাব্দী আগেই নিখুঁতভাবে ফুটিয়ে তুলেছিল। ব্যাবেজ দেখেছিলেন পিতলের চাকার ঘূর্ণনে নৌ-যাত্রার সারণি থেকে মানুষের ভুলের চিরতরে অবসান; আর আডা লাভলেস সেখানে দেখেছিলেন তার চেয়েও অনন্ত মহিমান্বিত এক ভবিষ্যৎ: এমন এক যন্ত্র যা প্রতীক বুনতে পারে, সুর সৃষ্টি করতে পারে এবং জন্ম দিতে পারে সফটওয়্যারের।

১. গাণিতিক সারণির সংকট ও ব্যাবেজের আক্ষেপ

ঊনবিংশ শতাব্দীর শুরুতে নৌ-জাহাজের দিকনির্ণয়, আর্টিলারির গোলাবর্ষণ, জ্যোতির্বিজ্ঞান এবং বীমার জটিল হিসাব পুরোপুরি নির্ভরশীল ছিল মুদ্রিত গাণিতিক সারণির ওপর: লগারিদম, সাইন, ট্যানজেন্ট ইত্যাদি। এই সারণিগুলো যারা বসে বসে হিসাব করতেন, পেশাগতভাবে সেই মানুষদেরই তখন বলা হতো **“কম্পিউটার (Computer)”**।

Shakil Mahmud • Research Monograph

মানুষ ভুল করে। একটি হিসাব সারণিতে মাত্র একটি সংখ্যার ভুলের কারণে রাজকীয় নৌবাহিনীর যুদ্ধজাহাজ সমুদ্রের নিচে ডুবে যাওয়া পাথরে আছড়ে পড়তে পারত। ১৮২১ সালে জ্যোতির্বিদ জন হার্শেলের সাথে বসে সারণির অগণিত ভুল সংশোধন করতে করতে বিরক্ত হয়ে চার্লস ব্যাবেজ চিৎকার করে বলে উঠেছিলেন: *“ঈশ্বর, এই সব হিসাব যদি বাষ্পের শক্তিতে স্বয়ংক্রিয়ভাবে হতে পারত!”*

২. ডিফারেন্স ইঞ্জিন: ধাতুর কাঠামোয় বহুপদী সমীকরণ

মানুষের ভুলের অবসান ঘটাতে ব্যাবেজ নকশা করেন **ডিফারেন্স ইঞ্জিন (Difference Engine)**। সরাসরি গুণ বা ভাগ না করে ডিফারেন্স ইঞ্জিন **ফাইনাইট ডিফারেন্স বা সসীম অন্তর পদ্ধতি (Method of Finite Differences)** ব্যবহার করত। টেইলর সিরিজের মাধ্যমে যেকোনো বক্ররেখা বা সমীকরণকে বহুপদী সমীকরণে রূপান্তর করে শুধুমাত্র বারবার যোগের মাধ্যমেই সারণির মান বের করা সম্ভব:

$$P(x) = a_n x^n + a_{n-1}x^{n-1} + \cdots + a_1 x + a_0 \implies \Delta^n P(x) = \text{ধ্রুবক}$$

যেমন $f(x) = ২x^২ + ৩$ সমীকরণের ক্ষেত্রে দ্বিতীয় অন্তর সবসময় ধ্রুবক ($\Delta_২ = ৪$)। ফলে কোনো প্রকার গুণ ছাড়াই শুধুমাত্র ধ্রুবক সংখ্যাটি যোগ করে পরবর্তী প্রতিটি মান নির্ভুলভাবে বের করা যেত। ব্যাবেজ উল্লম্ব পিতলের গিয়ারের স্তূপ দিয়ে এই যন্ত্রটি তৈরি করেন এবং মানুষের মুদ্রণজনিত ভুল এড়াতে ফলাফলের সংখ্যাগুলো স্বয়ংক্রিয়ভাবে তামার পাতে খোদাই করে মুদ্রণের ব্যবস্থা রাখেন।

৩. অ্যানালিটিক্যাল ইঞ্জিন: প্রথম সাধারণ-উদ্দেশ্যমূলক কম্পিউটার

১৮৩৪ সালে প্রথম ডিফারেন্স ইঞ্জিনের কাজ চলার সময় ব্যাবেজের মাথায় আসে আরেক বৈপ্লবিক ধারণা। শুধুমাত্র একটি নির্দিষ্ট সমীকরণ গণনার যন্ত্র না বানিয়ে এমন এক যন্ত্র বানানো সম্ভব যা যেকোনো ধরনের গণনা সম্পাদন করতে পারবে। তিনি এর নাম দেন **অ্যানালিটিক্যাল ইঞ্জিন (Analytical Engine)**।

অ্যানালিটিক্যাল ইঞ্জিনই ছিল আজকের ডিজিটাল কম্পিউটারের আসল পূর্বপুরুষ। ব্যাবেজ পুরো যন্ত্রটিকে কতগুলো আধুনিক অংশে বিভক্ত করেন, যা ১৯৪৫ সালের ভন নিউম্যান আর্কিটেকচারের সাথে হুবহু মিলে যায়:

- **দ্য স্টোর (The Store / মেমোরি):** ১,০০০টি উল্লম্ব পিতলের শ্যাফটের সমষ্টি, যা প্রতিটি ৫০ দশমিক ডিজিটের ১,০০০টি সংখ্যা মেমোরিতে ধরে রাখতে পারত।
- **দ্য মিল (The Mill / সিপিইউ বা এএলইউ):** কেন্দ্রীয় প্রসেসর, যা বেভেল গিয়ার ও মেকানিক্যাল লজিকের সাহায্যে যোগ, বিয়োগ, গুণ ও ভাগ সম্পাদন করত।
- **নিয়ন্ত্রণ ব্যবস্থা (Punched Cards):** জোসেফ ম্যারি জ্যাকোয়ার্ডের তাঁতকলের মতো ছিদ্রযুক্ত পাঞ্চ কার্ডের মাধ্যমে নির্দেশাবলী গ্রহণ করত—*অপারেশন কার্ড* এবং *ভেরিয়েবল কার্ড*।
- **কন্ডিশনাল ব্রাঞ্চিং (শর্তাধীন লুপ):** বিয়োগের ফল ঋণাত্মক হলে যন্ত্রের একটি লিভার ট্রিপ করত এবং পাঞ্চ কার্ডের অনুক্রম সামনে বা পেছনে লাফিয়ে চলত—যা আধুনিক `IF...THEN` লুপের প্রথম যান্ত্রিক উদ্ভাবন।

৪. আডা লাভলেস এবং প্রথম কম্পিউটার প্রোগ্রাম

১৮৪২ সালে ইতালীয় সামরিক প্রকৌশলী লুইগি মেনাব্রিয়া তুরিনে ব্যাবেজের বক্তৃতার ওপর ভিত্তি করে ফরাসি ভাষায় একটি গবেষণাপত্র লেখেন। লর্ড বায়রনের কন্যা এবং বিশিষ্ট গণিতবিদ অগাস্টা আডা কিং, কাউন্টেস অব লাভলেস এই গবেষণাপত্রটি ইংরেজিতে অনুবাদ করেন।

অনুবাদ শেষে আডা লাভলেস মূল প্রবন্ধের সাথে তাঁর নিজস্ব সাতটি বিশদ ব্যাখ্যা যুক্ত করেন—যার শিরোনাম ছিল *নোটস এ থেকে জি (Notes A–G)*। এই নোটগুলো মূল প্রবন্ধের চেয়ে আকারে তিনগুণ বড় ছিল এবং ১৮৪৩ সালে প্রকাশিত এই লেখার মাধ্যমেই আডা লাভলেস ইতিহাসের **প্রথম কম্পিউটার প্রোগ্রামার** হিসেবে অমরত্ব লাভ করেন।

নোট জি: বার্নৌলি সংখ্যার অ্যালগরিদম

নোট জি-তে আডা লাভলেস **বার্নৌলি সংখ্যা (B_n)** নির্ণয়ের জন্য একটি পূর্ণাঙ্গ অ্যালগরিদম প্রস্তুত করেন। ত্রিকোণমিতি ও ক্যালকুলাসের জটিল সূত্রে বার্নৌলি সংখ্যার বিস্তার ঘটে:

$$\frac{x}{e^x – 1} = \sum_{n=0}^{\infty} B_n \frac{x^n}{n!}$$

আডা লাভলেস এই গাণিতিক সূত্রটিকে অ্যানালিটিক্যাল ইঞ্জিনের মেমোরি রেজিস্টার এবং পাঞ্চ কার্ডের ধারাবাহিক নির্দেশে রূপান্তরিত করেন। তিনি একটি পূর্ণাঙ্গ এক্সিকিউশন টেবিল প্রকাশ করেন—যেখানে ভেরিয়েবল নির্ধারণ, গাণিতিক অপারেশন এবং শর্তযুক্ত পুনরাবৃত্তির প্রতিটি ধাপ সুস্পষ্টভাবে লিপিবদ্ধ ছিল। এটি ছিল মানব ইতিহাসের প্রথম কার্যকর কম্পিউটার প্রোগ্রাম।

কাব্যিক বিজ্ঞান: ক্যালকুলেটর থেকে সফটওয়্যারের রূপান্তর

আডা লাভলেসের সবচেয়ে বিস্ময়কর অন্তর্দৃষ্টি ব্যাবেজের নিজস্ব ধারণাকেও ছাড়িয়ে গিয়েছিল। ব্যাবেজ তাঁর ইঞ্জিনকে কেবল জটিল সংখ্যার হিসাবরক্ষক হিসেবে দেখেছিলেন; কিন্তু আডা লাভলেস উপলব্ধি করেছিলেন যে এই যন্ত্র শুধুমাত্র সংখ্যার মধ্যে সীমাবদ্ধ নয়, এটি *প্রতীক (Symbols)* নিয়ে কাজ করতে সক্ষম:

> *“অ্যানালিটিক্যাল ইঞ্জিন বীজগণিতের নকশা বোনে, ঠিক যেমন জ্যাকোয়ার্ডের তাঁতকল বোনে ফুল আর লতাপাতা... যদি সুরের বিজ্ঞান ও সঙ্গীতের মূল সম্পর্কগুলোকে সংকেতের মাধ্যমে প্রকাশ করা যায়, তবে এই ইঞ্জিন বৈজ্ঞানিক নিয়মে যেকোনো জটিলতা ও দৈর্ঘ্যের সঙ্গীত সৃষ্টি করতে পারবে।”*

এটিই ছিল একটি সাধারণ ক্যালকুলেটর থেকে একটি সাধারণ-উদ্দেশ্যমূলক কম্পিউটারে উত্তরণের ঐতিহাসিক মহাবিস্ফোরণ: মানুষের চিন্তা, যুক্তি, সঙ্গীত বা ভাষাকে সংকেতে রূপান্তর করে অ্যালগরিদমের মাধ্যমে পরিচালনা করার প্রথম অমর দর্শন।

প্রধান একাডেমিক তথ্যসূত্র

- Babbage, C. (1864). *Passages from the Life of a Philosopher*. London.
- Lovelace, A. A. (1843). Sketch of the Analytical Engine Invented by Charles Babbage. *Taylor’s Scientific Memoirs*, 3, 666–731.
- Swade, D. (2000). *The Cogwheel Brain: Charles Babbage and the Quest to Think*. Little, Brown.

Shakil Mahmud • Research Monograph

- Fuegi, J., & Francis, J. (2003). Lovelace & Babbage and the creation of the 1843 ‘notes’. *IEEE Annals of the History of Computing*, 25(4), 16–26.

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "অ্যানালিটিক্যাল বিপ্লব — চার্লস ব্যাবেজের স্টিম ইঞ্জিন ও আডা লাভলেসের প্রথম কম্পিউটার প্রোগ্রাম"। কম্পিউটিং ও এআইয়ের ইতিহাস, খণ্ড ৩। https://shakilmahmud.com/bn/history-computing-ai-part-3-analytical-vision-bn/

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • চতুর্থ খণ্ড

গণনযোগ্যতার তাত্ত্বিক ভিত্তি — বুলিয়ান অ্যালজেব্রা, গ্যোডেলের অসম্পূর্ণতা এবং টুরিং মেশিন

গণনযোগ্যতার তাত্ত্বিক ভিত্তি — বুলিয়ান অ্যালজেব্রা, গ্যোডেলের অসম্পূর্ণতা এবং টুরিং মেশিন

1,063 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ৪: *চিত্র: ব্লেচলি পার্কের টুরিং-ওয়েলচম্যান বম্ব (১৯৪০)। অ্যালান টুরিং ও গর্ডন ওয়েলচম্যানের নকশাকৃত এই ইলেক্ট্রোমেকানিক্যাল ক্রিপ্টঅ্যানালিটিক ইঞ্জিন এনিগমা রোটরের জটিল বিন্যাস ভেদ করে যান্ত্রিক যুক্তির প্রয়োগ ঘটিয়েছিল, যা ইউনিভার্সাল টুরিং মেশিনের বাস্তব প্রয়োগের পথপ্রদর্শক।*

বাস্তব পৃথিবীতে প্রথম ইলেকট্রনিক ডিজিটাল কম্পিউটার তৈরি হওয়ার অনেক আগেই তার তাত্ত্বিক রূপরেখা নিখুঁত গাণিতিক যুক্তির মাধ্যমে প্রমাণিত হয়েছিল। ১৯৩৬ সালে কেমব্রিজ বিশ্ববিদ্যালয়ের চব্বিশ বছর বয়সী এক তরুণ গণিতবিদ অ্যালান টুরিং বসেছিলেন গণিতবিজ্ঞানী ডেভিড হিলবার্টের একটি মৌলিক প্রশ্নের উত্তর খুঁজতে: পৃথিবীর সমস্ত গাণিতিক সত্য কি কোনো অন্ধ যান্ত্রিক নিয়মে সমাধান করা সম্ভব? এই প্রশ্নের উত্তরে “না” বলতে গিয়ে টুরিং উদ্ভাবন করেন তাঁর কালজয়ী ইউনিভার্সাল মেশিন—যা ভবিষ্যতের সমস্ত কম্পিউটার, কম্পাইলার এবং কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার ব্লুপ্রিন্ট হিসেবে প্রতিষ্ঠা লাভ করে।

১. জর্জ বুল এবং যুক্তির বীজগণিত

অ্যারিস্টটলের সময় থেকে প্রায় দুই হাজার বছর ধরে মানব যুক্তি কেবল ভাষার ব্যাকরণে সীমাবদ্ধ ছিল। ১৮৫৪ সালে ব্রিটিশ গণিতবিদ জর্জ বুল প্রকাশ করেন তাঁর যুগান্তকারী গ্রন্থ *দ্য লজ অব থট (The Laws of Thought)*। বুলের প্রধান বৈপ্লবিক অন্তর্দৃষ্টি ছিল: যুক্তিকে ভাষার জটিলতা থেকে মুক্ত করে বিশুদ্ধ বীজগণিতের সূত্রের মতো প্রকাশ করা সম্ভব।

Shakil Mahmud • Research Monograph

বুল সমস্ত যৌক্তিক অবস্থাকে দুটি বাইনারি মানে সংজ্ঞায়িত করেন $\mathbb{B} = \{০, ১\}$—যেখানে ১ হলো সত্য (True) এবং ০ হলো মিথ্যা (False)। তিনি তিনটি মৌলিক অপারেশন সূত্রবদ্ধ করেন:

- **কনজাংশন (AND / $\wedge$):** গুণাত্মক সত্য $x \cdot y$
- **ডিসজাংশন (OR / $\vee$):** যোগাত্মক সত্য x + y – x \cdot y
- **নেগেশন (NOT / $\neg$):** পরিপূরক সত্য ১ – x

বুল দেখান যে সাধারণ যুক্তির তর্কগুলোকে বীজগণিতীয় সমীকরণের মতো সমাধান করা যায়। ৮৩ বছর পর ক্লড শ্যানন প্রমাণ করেন যে এই বুলিয়ান বীজগণিত হুবহু ইলেকট্রিক্যাল সুইচের অন-অফ সার্কিটের সাথে মিলে যায়—যা আধুনিক ডিজিটাল লজিক গেটের মূল ভিত্তি।

২. হিলবার্টের স্বপ্ন এবং গ্যোডেলের ভূমিকম্প

বিংশ শতাব্দীর শুরুতে জার্মান গণিতের পুরোধা ডেভিড হিলবার্ট এক মহান স্বপ্ন দেখেছিলেন: পৃথিবীর সমস্ত গণিতকে কতগুলো স্বতঃসিদ্ধ বা সূত্রের ওপর এমনভাবে দাঁড় করাতে হবে, যাতে গণিতে কোনো দ্বন্দ্ব বা অসম্পূর্ণতা না থাকে। ১৯২৮ সালে তিনি তিনটি মৌলিক প্রশ্ন তোলেন:

1. **গণিত কি সম্পূর্ণ (Complete)?** প্রতিটি সত্য গাণিতিক বিবৃতি কি সূত্রের মাধ্যমে প্রমাণ করা সম্ভব?
2. **গণিত কি সুসংগত (Consistent)?** এটি কি নিশ্চিত যে গণিতে কখনো কোনো আত্মবিরোধী ফলাফল ($০ = ১$) তৈরি হবে না?
3. **গণিত কি নির্ণয়যোগ্য (Decidable)?** *এন্টশাইডুংসপ্রবলেম (Entscheidungsproblem / Decision Problem)*: এমন কোনো যান্ত্রিক অ্যালগরিদম কি সম্ভব, যা যেকোনো গাণিতিক প্রস্তাবনা দিলে সীমিত সংখ্যক ধাপে বলে দিতে পারবে তা সত্য না মিথ্যা?

১৯৩১ সালে অস্ট্রিয়ান গণিতবিদ কুর্ট গ্যোডেল তাঁর বিখ্যাত **ইনকমপ্লিটনেস থিওরেম (Incompleteness Theorems)** দিয়ে হিলবার্টের প্রথম দুটি স্বপ্ন চুরমার করে দেন। গ্যোডেল প্রমাণ করেন যে পাটিগণিতের নিয়ম মেনে চলা যেকোনো সংগত গাণিতিক ব্যবস্থায় এমন কিছু সত্য বিবৃতি থাকবেই, যা ওই ব্যবস্থার ভেতরে থেকে কখনোই প্রমাণ করা যাবে না। কিন্তু তৃতীয় প্রশ্নটি—অর্থাৎ কোনো অ্যালগরিদমের সাহায্যে সিদ্ধান্ত নেওয়া সম্ভব কিনা—তখনো অমীমাংসিত ছিল।

৩. অ্যালান টুরিংয়ের ১৯৩৬ সালের পেপার: ইউনিভার্সাল মেশিন

হিলবার্টের নির্ণয়যোগ্যতা সমস্যার উত্তর দিতে হলে প্রথমে আনুষ্ঠানিকভাবে সংজ্ঞায়িত করতে হতো “যান্ত্রিক প্রক্রিয়া” বা অ্যালগরিদম বলতে আসলে কী বোঝায়। ১৯৩৬ সালে প্রকাশিত তাঁর অমর গবেষণাপত্র *On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem*-এ অ্যালান টুরিং খাতা-কলমে হিসাব করা একজন মানুষের কার্যপদ্ধতিকে পদার্থবিজ্ঞানের সর্বনিম্ন মৌলিক উপাদানে নামিয়ে আনেন।

টুরিং কল্পনা করেন এক তাত্ত্বিক যন্ত্র—আজকের বিখ্যাত **টুরিং মেশিন (Turing Machine)**—যার চারটি মূল উপাদান রয়েছে:

- একটি অসীম দৈর্ঘ্যের এক-মাত্রিক **টেপ (Tape)**, যা ছোট ছোট ঘরে বিভক্ত এবং প্রতিটি ঘরে কোনো প্রতীক বা খালি জায়গা (b) থাকতে পারে।
- একটি **রিড/রাইট হেড (Read/Write Head)**, যা টেপের ওপর অবস্থান করে প্রতীক পড়তে পারে, নতুন প্রতীক লিখতে পারে এবং এক ঘর ডানে (R) বা বাঁয়ে (L) সরতে পারে।

- একটি **স্টেট কন্ট্রোল ইউনিট**, যা যন্ত্রের বর্তমান অবস্থা ধারণ করে ($Q = \{q_0, q_1, \ldots, q_m\}$)।
- একটি গাণিতিক **ট্রানজিশন ফাংশন (δ)**, যা বর্তমান অবস্থা এবং পঠিত প্রতীকের ওপর ভিত্তি করে পরবর্তী কাজ নির্ধারণ করে:

$$\delta : Q \times \Sigma \to Q \times \Sigma \times \{L, R\}$$

ইউনিভার্সাল টুরিং মেশিন (UTM)

টুরিংয়ের সবচেয়ে বৈপ্লবিক অন্তর্দৃষ্টি ছিল: যেকোনো টুরিং মেশিনের কাজের নিয়ম বা ট্রানজিশন টেবিল (δ) নিজেও আসলে কতগুলো প্রতীক বা সংখ্যার সমষ্টি $\langle M \rangle$।

এর ওপর ভিত্তি করে টুরিং প্রস্তাব করেন **ইউনিভার্সাল টুরিং মেশিন (U)**। এই যন্ত্রটির টেপে যেকোনো মেশিনের নকশা $\langle M \rangle$ এবং তার ইনপুট w লিখে দিলে, ইউনিভার্সাল মেশিনটি হুবহু সেই মূল মেশিনের কাজের অনুকরণ (Simulation) করতে পারে:

$$U(\langle M \rangle, w) = M(w)$$

এটিই হলো আজকের **স্টোরড-প্রোগ্রাম কম্পিউটারের (Stored-Program Computer)** তাত্ত্বিক জন্ম। টুরিংয়ের আগে যেকোনো যন্ত্র কেবল একটি নির্দিষ্ট কাজের জন্যই তৈরি হতো (যেমন পাস্কালিন কেবল যোগ করত)। কিন্তু টুরিং প্রমাণ করলেন যে একটিমাত্র স্থায়ী হার্ডওয়্যার তৈরি করলেই যথেষ্ট—ইনপুট টেপে সফটওয়্যারের নির্দেশ পরিবর্তন করে সেই একই যন্ত্র দিয়ে মহাবিশ্বের যেকোনো অ্যালগরিদম চালানো সম্ভব!

৪. হল্টিং প্রবলেম এবং যুক্তির সীমারেখা

কম্পিউটিংয়ের তাত্ত্বিক ভিত্তি স্থাপনের পর টুরিং হিলবার্টের *এন্টশাইডুংসপ্রবলেম*-এর মুখোমুখি হন। তিনি উত্থাপন করেন বিখ্যাত **হল্টিং প্রবলেম (Halting Problem)**: এমন কোনো সার্বজনীন অ্যালগরিদম H কি তৈরি করা সম্ভব, যা যেকোনো প্রোগ্রাম $\langle M \rangle$ এবং ইনপুট w বিশ্লেষণ করে সীমিত সময়ের মধ্যে বলে দিতে পারবে প্রোগ্রামটি কি কোনো এক সময় কাজ শেষ করে থামবে (Halt), নাকি অনন্তকাল লুপে ঘুরতে থাকবে?

ক্যান্টরের ডায়াগোনালাইজেশন মেথড ব্যবহার করে টুরিং প্রমাণ করেন যে এমন কোনো অ্যালগরিদম তৈরি করা যৌক্তিকভাবে অসম্ভব! ধরা যাক এমন একটি অ্যালগরিদম H সত্যি বিদ্যমান। তাহলে আমরা এমন একটি শত্রুভাবাপন্ন প্রোগ্রাম D তৈরি করতে পারি, যা নিজের কোডকেই ইনপুট হিসেবে গ্রহণ করবে:

“` Algorithm: Adversarial Program D Input: Program description function D(): if H(, ) == 1: while True: pass // H যদি বলে থামবে, তবে এটি অনন্ত লুপে ঢুকবে else: return True // H যদি বলে থামবে না, তবে এটি সাথে সাথে থেমে যাবে “`
এখন প্রোগ্রাম D-এর মধ্যে যদি তার নিজের কোড ইনপুট দেওয়া হয়—অর্থাৎ $D(\langle D \rangle)$ চালানো হয়, তবে কী ঘটবে?

- যদি D থেমে যায়, তবে H-এর নিয়ম অনুযায়ী এটি অনন্ত লুপে আটকে যাবে (স্ববিরোধিতা!)।
- যদি D অনন্তকাল লুপে ঘুরতে থাকে, তবে অ্যালগরিদম অনুযায়ী এটি সাথে সাথে থেমে যাবে (স্ববিরোধিতা!)।

Shakil Mahmud • Research Monograph

উভয় ক্ষেত্রেই এক অনিবার্য আত্মবিরোধী প্যারাডক্স তৈরি হয় ($H \iff \neg H$)। সুতরাং, এই ধরনের কোনো অ্যালগরিদম কখনোই অস্তিত্বশীল হতে পারে না। হল্টিং প্রবলেম হলো **অনির্ণয়যোগ্য (Undecidable)**। হিলবার্টের স্বপ্ন ভেঙে দিয়ে টুরিং প্রমাণ করলেন: গণিতকে কোনোদিন অন্ধ যন্ত্রের মাধ্যমে সর্বজ্ঞ করে তোলা যাবে না। প্রকৃতিতে এমন সত্য রয়েছে, যা কোনো অ্যালগরিদম কখনোই গণনা করতে পারবে না।

চার্চ-টুরিং থিসিস

অ্যালনজো চার্চের ল্যাম্বডা ক্যালকুলাসের সমান্তরালে টুরিং যে তত্ত্ব প্রতিষ্ঠা করেন, তাকে বলা হয় **চার্চ-টুরিং থিসিস (Church-Turing Thesis)**। এর মূল কথা হলো: আমাদের ভৌত মহাবিশ্বে অ্যালগরিদমিক নিয়মে গণনা করা সম্ভব এমন যেকোনো কিছু একটি ইউনিভার্সাল টুরিং মেশিন দিয়ে গণনা করা সম্ভব। আজকের সুপারকম্পিউটার থেকে শুরু করে ডিপ নিউরাল নেটওয়ার্ক—কম্পিউটিংয়ের প্রতিটি সিস্টেম ১৯৩৬ সালে অ্যালান টুরিংয়ের এঁকে যাওয়া এই গণিতীয় সীমানার ভেতরেই আবর্তিত হচ্ছে।

প্রধান একাডেমিক তথ্যসূত্র

- Turing, A. M. (1936). On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem. *Proceedings of the London Mathematical Society*, 42, 230–265.
- Boole, G. (1854). *An Investigation of the Laws of Thought*. London.
- Gödel, K. (1931). Über formal unentscheidbare Sätze. *Monatshefte für Mathematik und Physik*, 38(1), 173–198.
- Hodges, A. (1983). *Alan Turing: The Enigma*. Simon & Schuster.

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "গণনযোগ্যতার তাত্ত্বিক ভিত্তি — বুলিয়ান অ্যালজেব্রা, গ্যোডেলের অসম্পূর্ণতা এবং টুরিং মেশিন"। কম্পিউটিং ও এআইয়ের ইতিহাস, খণ্ড ৪। https://shakilmahmud.com/bn/history-computing-ai-part-4-foundations-of-computability-bn/

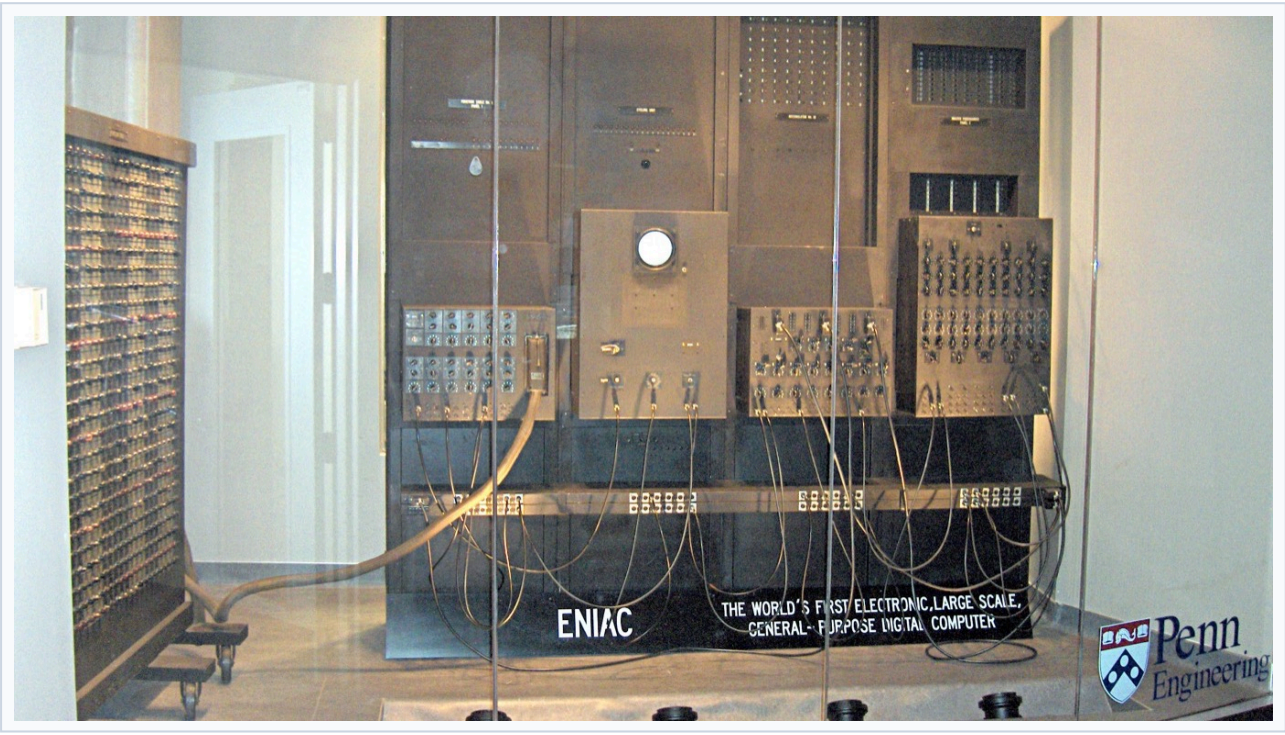
শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • পঞ্চম খণ্ড

যুদ্ধকালীন ভ্যাকুয়াম টিউব ও মহাগণক — ব্লেচলি পার্কের কলোসাস এবং এনিয়াক (ENIAC)

যুদ্ধকালীন ভ্যাকুয়াম টিউব ও মহাগণক — ব্লেচলি পার্কের কলোসাস এবং এনিয়াক (ENIAC)

703 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ৫: *চিত্র: এনিয়াক (ENIAC) অ্যাকুমুলেটর এবং ফাংশন টেবিল র‍্যাক (১৯৪৫)। পেনসিলভানিয়া বিশ্ববিদ্যালয়ে নির্মিত এই মহাগণক যন্ত্রটিতে ১৭,৪৬৮টি ভ্যাকুয়াম টিউব, ৭,২০০টি ক্রিস্টাল ডায়োড এবং ৫০ লাখ হ্যান্ড-সোল্ডারযুক্ত তার ছিল, যা ১০০ কিলোহার্টজ ফ্রিকোয়েন্সিতে সেকেন্ডে ৫,০০০টি যোগ সম্পাদন করত।*

১৯৪৩ সালের শীতের আগ পর্যন্ত পৃথিবীর সমস্ত গণকযন্ত্রের গতি সীমাবদ্ধ ছিল যান্ত্রিক পিতলের চাকা এবং ইলেক্ট্রোমেকানিক্যাল রিলে সুইচের ধীরগতির ভেতরে। কিন্তু দ্বিতীয় বিশ্বযুদ্ধের জীবন-মরণ লড়াই সেই সীমাবদ্ধতাকে গুঁড়িয়ে দিল। ব্লেচলি পার্কের গোপন কুটির এবং পেনসিলভানিয়া বিশ্ববিদ্যালয়ের বিশাল গবেষণাগারে বিজ্ঞানীরা ভ্যাকুয়াম টিউবের ভেতর দিয়ে আলোর গতিতে ছুটে চলা ইলেকট্রনের প্রবাহকে যুক্তির শৃঙ্খলে বাঁধলেন—যার মাধ্যমে জন্ম নিল ডিজিটাল ইলেকট্রনিক কম্পিউটিং যুগ।

১. লরেঞ্জ সাইফারের সংকট এবং কলোসাসের জন্ম

অ্যালান টুরিংয়ের বম্ব যখন জার্মান নৌবাহিনীর এনিগমা কোড ভাঙছিল, তখন খোদ অ্যাডলফ হিটলার ও তাঁর শীর্ষ জেনারেলদের মধ্যে গোপন যোগাযোগের জন্য ব্যবহৃত হতো আরও বহু গুণ শক্তিশালী এক সামরিক সাইফার: **লরেঞ্জ এসজেড৪০/৪২ (Lorenz SZ40/42)**। এতে এনিগমার ৩ বা ৪টি রোটরের পরিবর্তে ছিল ১২টি পিন-হুইল, যা ৫-বিট বাউডট টেলিপ্রিন্টার কোডে $১০^{১৩১}$ টি সম্ভাব্য কি (Key) তৈরি করতে পারত।

Shakil Mahmud • Research Monograph

এই কোড ভাঙার জন্য ব্রিটিশ পোস্ট অফিসের দূরদর্শী টেলিযোগাযোগ প্রকৌশলী **টমাস "টমি" ফ্লাওয়ার্স** এক অবিশ্বাস্য প্রস্তাব দিলেন: কোনো যান্ত্রিক কাগজের ফিতা বা গিয়ার ব্যবহার না করে থার্মায়োনিক ভালভ (ভ্যাকুয়াম টিউব) ব্যবহার করে পুরো জার্মান রোটর প্রক্রিয়াকে ইলেকট্রনিক রূপ দেওয়া হোক।

ফ্লাওয়ার্স মাত্র ১১ মাসে তৈরি করেন **কলোসাস মার্ক ১ (Colossus Mark 1)**। ১৯৪৪ সালের ফেব্রুয়ারিতে ব্লেচলি পার্কে কাজ শুরু করা এই কলোসাসই ছিল বিশ্বের প্রথম কার্যকর প্রোগ্রামযোগ্য ইলেকট্রনিক ডিজিটাল কম্পিউটার:

- **ইলেকট্রনিক সুইচিং গতি:** ১,৫০০টি ভ্যাকুয়াম টিউব সেকেন্ডে ৫,০০০টি ক্যারেক্টার পড়ার গতিতে বুলিয়ান লজিক অপারেশন সম্পাদন করত।
- **প্যারালাল প্রসেসিং:** দ্বিতীয় সংস্করণ কলোসাস মার্ক ২-এ ২,৪০০টি টিউব এবং ৫-মুখী প্যারালাল শিফট রেজিস্টার ব্যবহার করে কার্যক্ষমতা সেকেন্ডে ২৫,০০০ ক্যারেক্টারে উন্নীত করা হয়।
- **সামরিক প্রভাব:** কলোসাস সরাসরি হিটলারের যুদ্ধবার্তা উদ্ধার করে জেনারেল আইজেনহাওয়ারকে নিশ্চিত করেছিল যে মিত্রবাহিনীর নরম্যান্ডি অবতরণ (D-Day) সম্পূর্ণ নিরাপদ। কিন্তু যুদ্ধকালীন চরম গোপনীয়তার কারণে চার্চিলের নির্দেশে যুদ্ধের পরপরই কলোসাসের সমস্ত মডেল কুড়াল দিয়ে ভেঙে লোহা-লক্কড় হিসেবে বিক্রি করে দেওয়া হয়!

২. জন মকলি, একার্ট এবং ৩০ টনের এনিয়াক (ENIAC)

আটলান্টিকের ওপারে মার্কিন সেনাবাহিনী তখন কামানের গোলার ব্যালিস্টিক ট্র্যাজেক্টরি হিসাব করতে গিয়ে মহাসংকটে পড়েছিল। একটি ৬০-সেকেন্ডের কামানের গোলার গতিপথ হিসাব করতে একজন দক্ষ হিসাবরক্ষকের ২০ ঘণ্টা সময় লেগে যেত।

পেনসিলভানিয়া বিশ্ববিদ্যালয়ের পদার্থবিদ জন মকলি এবং প্রতিভাবান তরুণ প্রকৌশলী জে. প্রেসপার একার্ট প্রস্তাব করেন সম্পূর্ণ ইলেকট্রনিক গণকযন্ত্র: **এনিয়াক (ENIAC – Electronic Numerical Integrator and Computer)**। ১৯৪৩ সালের জুনে শুরু হয়ে ১৯৪৫ সালে সমাপ্ত হওয়া এই যন্ত্রটি ছিল ভ্যাকুয়াম টিউব প্রযুক্তির এক বিশাল দানব:

- **বিশাল আয়তন:** ১৭,৪৬৮টি ভ্যাকুয়াম টিউব, ৭,২০০টি ক্রিস্টাল ডায়োড এবং ৫০ লাখ হাত দিয়ে ঝালাই করা তারের সংযোগে গঠিত এই যন্ত্রের ওজন ছিল ৩০ টন এবং এটি দখল করেছিল ১,৮০০ বর্গফুট জায়গা।
- **বিদ্যুৎ খরচ:** ১৫০ কিলোওয়াট বিদ্যুৎ খরচ হতো, যার কারণে গুজব রটেছিল যে এনিয়াক চালু করলেই ফিলাডেলফিয়া শহরের বাতি টিমটিম করে জ্বলত!
- **ক্লক স্পিড:** ১০০ কিলোহার্টজ ফ্রিকোয়েন্সিতে এটি প্রতি সেকেন্ডে ৫,০০০টি যোগফল বের করতে পারত—যা যেকোনো তৎকালীন ক্যালকুলেটরের চেয়ে ১,০০০ গুণ দ্রুত।

ভ্যাকুয়াম টিউবের স্থায়িত্বের পদার্থবিজ্ঞান

সমালোচকরা ভবিষ্যদ্বাণী করেছিলেন যে ১৭ হাজার টিউবযুক্ত যন্ত্রে প্রতি কয়েক সেকেন্ডে একটি করে টিউব ফিউজ হয়ে পুড়ে যাবে, ফলে এটি একটানা এক মিনিটও চলতে পারবে না। একার্ট এর এক অসাধারণ প্রকৌশলগত সমাধান বের করেন: তিনি টিউবগুলোকে তাদের মূল ক্ষমতার মাত্র ২৫% ভোল্টেজে চালাতেন এবং হিটার কারেন্ট ১০% কমিয়ে দেন। এর ফলে টিউব নষ্ট হওয়ার হার কমে দাঁড়িয়েছিল প্রতি দুই দিনে মাত্র একটিতে—যার ফলে এনিয়াক একটানা বহু দিন চলতে পেরেছিল।

৩. এনিয়াক সিক্স: প্রোগ্রামিংয়ের প্রথম ছয় নারী

এনিয়াকের বিশাল হার্ডওয়্যার তৈরি করেছিলেন পুরুষ প্রকৌশলীরা, কিন্তু এই যন্ত্রকে গণনা করতে শেখানোর জন্য যে সফটওয়্যার লজিক প্রয়োজন ছিল—তা তৈরি করেছিলেন ছয়জন অসাধারণ নারী গণিতবিদ: **ক্যাথলিন ম্যাকনাল্টি, ফ্রান্সেস বিলাস, বেটি জিন জেনিংস, রুথ লিখটারম্যান, এলিজাবেথ স্নাইডার এবং মার্লিন ওয়েকফ**।

তৎকালীন সময়ে কোনো প্রোগ্রামিং ভাষা, সি বা পাইথন তো দূরের কথা, কোনো অপারেটিং সিস্টেমও ছিল না। এনিয়াককে প্রোগ্রাম করতে হতো শারীরিকভাবে তার টেনে টেনে প্লাগবোর্ডে লাগিয়ে। এই ছয়জন প্রোগ্রামারকে মূল ব্যালিস্টিক ডিফারেনশিয়াল সমীকরণকে ২০টি অ্যাকুমুলেটরে ভাগ করে, ৩,০০০টি রোটারি সুইচ ঘুরিয়ে এবং ভারী কালো প্যাচ কর্ড প্লাগ করে কোডিং সম্পন্ন করতে হতো।

১৯৪৬ সালের ১৫ ফেব্রুয়ারি যখন এনিয়াককে প্রথম জনসমক্ষে প্রদর্শন করা হয়, তখন এটি একটি কামানের গোলার গতিপথ হিসাব করেছিল মাত্র ২০ সেকেন্ডে—একটি আসল কামানের গোলা আকাশে উড়ে গিয়ে লক্ষ্যে আঘাত হানার সময়ের চেয়েও কম সময়ে! এভাবেই বিশ্ব প্রবেশ করে ইলেকট্রনিক গণনার নতুন দিগন্তে।

প্রধান একাডেমিক তথ্যসূত্র

- Flowers, T. H. (1983). The Design of Colossus. *Annals of the History of Computing*, 5(3), 239–252.
- Eckert, J. P., & Mauchly, J. W. (1945). *The ENIAC*. Moore School of Electrical Engineering.
- Light, J. S. (1999). When computers were women. *Technology and Culture*, 40(3), 455–483.
- Copeland, B. J. (2006). *Colossus: The Secrets of Bletchley Park's Codebreaking Computers*. Oxford University Press.

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "যুদ্ধকালীন ভ্যাকুয়াম টিউব ও মহাগণক — ব্লেচলি পার্কের কলোসাস এবং এনিয়াক (ENIAC)"। কম্পিউটিং ও এআইয়ের ইতিহাস, খণ্ড ৫। https://shakilmahmud.com/bn/history-computing-ai-part-5-colossus-and-eniac-bn/

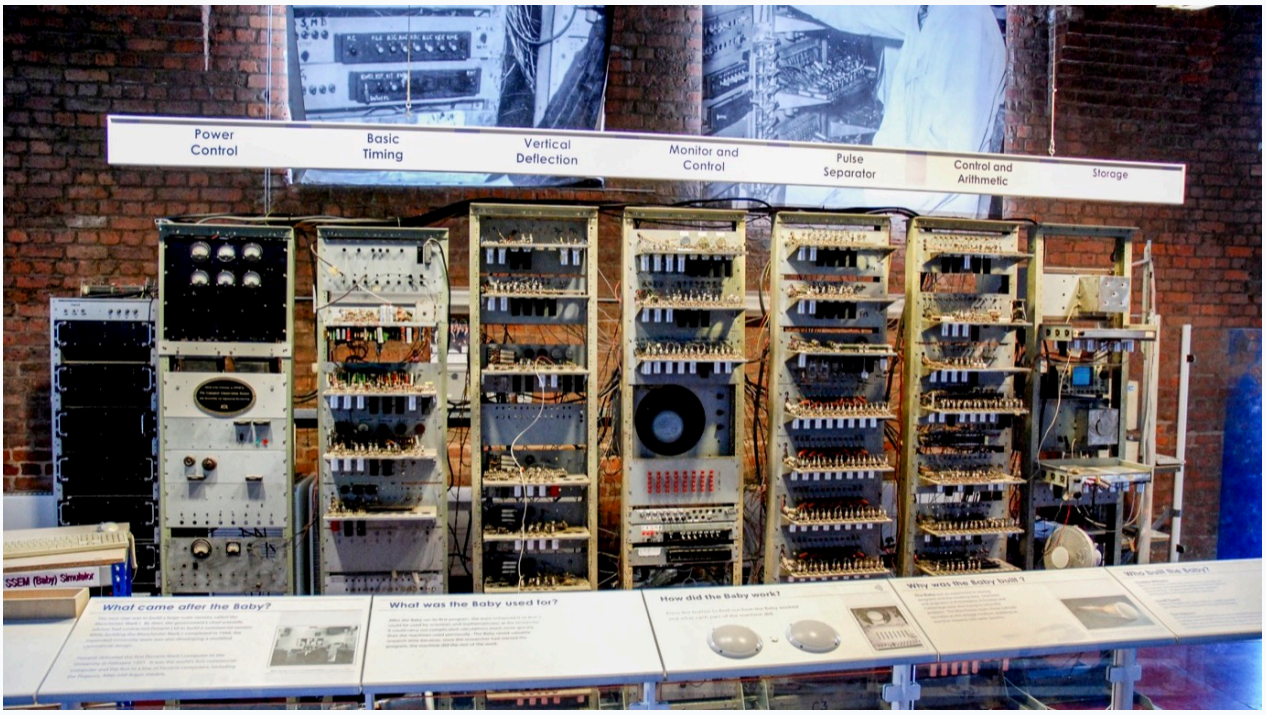
Shakil Mahmud • Research Monograph

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • ষষ্ঠ খণ্ড

স্টোরড-প্রোগ্রাম আর্কিটেকচার — ভন নিউম্যান মডেল, ক্লড শ্যাননের তথ্যতত্ত্ব ও ম্যানচেস্টার বেবি

স্টোরড-প্রোগ্রাম আর্কিটেকচার — ভন নিউম্যান মডেল, ক্লড শ্যাননের তথ্যতত্ত্ব ও ম্যানচেস্টার বেবি

707 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ৬: *চিত্র: ম্যানচেস্টার বেবি (স্মল-স্কেল এক্সপেরিমেন্টাল মেশিন, ১৯৪৮)। বিশ্বের প্রথম কার্যকর ইলেকট্রনিক স্টোরড-প্রোগ্রাম কম্পিউটার, যা উইলিয়ামস-কিলবার্ন ক্যাথোড-রে টিউব মেমোরি ব্যবহার করে ৩২ বিটের ৩২টি শব্দ এবং নির্বাহযোগ্য কোড সরাসরি মেমোরিতে ধারণ করে প্রথম প্রোগ্রাম চালিয়েছিল।*

এনিয়াক সেকেন্ডে হাজার হাজার হিসাব করতে পারলেও তার একটি মারাত্মক সীমাবদ্ধতা ছিল: প্রোগ্রামের কোনো মেমোরি বা স্মৃতি তার ছিল না। কামানের হিসাব থেকে পরমাণু বোমার হিসাব করতে গেলে প্রকৌশলীদের কয়েক দিন ধরে হাত দিয়ে শত শত ভারী তার টেনে টেনে প্লাগবোর্ডের সংযোগ বদলাতে হতো। ১৯৪৫ সালে হাঙ্গেরিয়ান-আমেরিকান মহাজ্ঞানী জন ভন নিউম্যান এই অচলাবস্থার এক বৈপ্লবিক সমাধান দিলেন: যে মেমোরির ভেতর হিসাবের ডেটা বা সংখ্যা থাকে, সফটওয়্যারের নির্দেশাবলীকেও ঠিক সেই একই মেমোরির ভেতর বাইনারি কোড হিসেবে সংরক্ষণ করো।

১. স্টোরড-প্রোগ্রাম ধারণা এবং এডভাক (EDVAC) রিপোর্ট

ম্যানহাটন প্রজেক্টে পরমাণু বোমার জটিল সমীকরণ সমাধানের সময় জন ভন নিউম্যান এনিয়াকের পরবর্তী মডেল **এডভাক (EDVAC – Electronic Discrete Variable Automatic Computer)**-এর নকশা নিয়ে একার্ট ও মকলির সাথে বিস্তারিত আলোচনা করেন। ১৯৪৫ সালের জুনে তিনি এই আলোচনার সারসংক্ষেপ হিসেবে লেখেন ১০১ পৃষ্ঠার একটি দলিল: *ফার্স্ট ড্রাফট অব*

আ রিপোর্ট অন দ্য এডভাক।

দলিলটির কভারে কেবল ভন নিউম্যানের নাম থাকায় এই নকশাটি ইতিহাসে চিরদিনের জন্য **ভন নিউম্যান আর্কিটেকচার (Von Neumann Architecture)** নামে অমরত্ব পায়।

কম্পিউটারের পাঁচটি অঙ্গ

ভন নিউম্যান মানব স্নায়ুতন্ত্রের সাথে তুলনা করে কম্পিউটারকে পাঁচটি প্রধান অংশে বিভক্ত করেন:

- **সেন্ট্রাল অ্যারিথমেটিক (ALU):** যোগ, বিয়োগ, গুণ, ভাগ এবং বুলিয়ান যুক্তির কাজ সম্পাদন করে।
- **সেন্ট্রাল কন্ট্রোল (Control Unit):** মেমোরি থেকে নির্দেশাবলী একে একে পড়ে আনে, ডিকোড করে এবং সমস্ত অংশে ইলেকট্রিক্যাল সিগন্যাল পাঠায়।
- **ইউনিফাইড মেমোরি (Memory):** সবচেয়ে বৈপ্লবিক অংশ—যেখানে কোনো পার্থক্য ছাড়াই একই সাথে ডেটা এবং প্রোগ্রাম কোড সংরক্ষিত থাকে।
- **ইনপুট ও আউটপুট:** বাহ্যিক জগৎ থেকে তথ্য গ্রহণ এবং গণনার ফলাফল প্রদর্শন করার মাধ্যম।

ভন নিউম্যান বটলনেক

যেহেতু একটিমাত্র বাস বা তারের সংযোগের মাধ্যমে মেমোরি থেকে একই সাথে ডেটা এবং ইনস্ট্রাকশন দুটোই আনতে হয়, তাই সিপিইউ যতোই দ্রুত হোক না কেন, মেমোরি থেকে তথ্য আসার ধীরগতির কারণে প্রসেসরকে বসে থাকতে হয়। একে বলা হয় **ভন নিউম্যান বটলনেক (Von Neumann Bottleneck)**। আজকের আধুনিক কম্পিউটার আর্কিটেকচারেও ক্যাশ মেমোরি (L1/L2/L3 Cache) ব্যবহার করে এই বাধার মোকাবিলা করা হয়।

২. ক্লড শ্যানন এবং তথ্যতত্ত্বের (Information Theory) জন্ম

ঠিক একই সময়ে ১৯৪৮ সালে বেল ল্যাবসের গণিতবিদ ও ক্রিপ্টোগ্রাফার **ক্লড শ্যানন** প্রকাশ করেন তাঁর যুগান্তকারী গবেষণাপত্র: *অ্যা ম্যাথমেটিক্যাল থিওরি অব কমিউনিকেশন*। পদার্থবিজ্ঞানে আইজ্যাক নিউটন যা করেছিলেন, তথ্যের জগতে ক্লড শ্যানন ঠিক তাই করেন: তিনি তথ্যের ভৌত সূত্র আবিষ্কার করেন।

শ্যানন তথ্যের পরিমাপক হিসেবে **বিট (Bit – Binary Digit)**-কে সংজ্ঞায়িত করেন। তিনি প্রমাণ করেন তথ্য কোনো অর্থ বা ভাবাবেগ নয়, তথ্য হলো অনিশ্চয়তা দূর করার গাণিতিক পরিমাপ। থার্মোডাইনামিক্সের এন্ট্রপির সাথে মিল রেখে তিনি সূত্রবদ্ধ করেন **ইনফরমেশন এন্ট্রপি (Information Entropy)**:

$$H(X) = -\sum_{i=1}^{n} P(x_i) \log_2 P(x_i)$$

যদি কোনো ঘটনা ১০০% নিশ্চিত হয় ($P = ১$), তবে তার এন্ট্রপি হলো ০ বিট; আর একটি নিখুঁত মুদ্রার টসে হেড বা টেলের অনিশ্চয়তা দূর করতে ঠিক ১ বিট তথ্যের প্রয়োজন হয়। শ্যানন আরও প্রমাণ করেন বিখ্যাত **শ্যানন-হার্টলি উপপাদ্য (Shannon-Hartley Theorem)**:

Shakil Mahmud • Research Monograph

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N}\right)$$

শব্দযুক্ত বা নয়েজি চ্যানেলের মধ্যেও ব্যান্ডউইথ (B) এবং সিগন্যাল-টু-নয়েজ অনুপাত (S/N) জানা থাকলে ত্রুটিহীন তথ্য স্থানান্তর করা সম্ভব। এটিই আজকের ইন্টারনেট, ফাইবার অপটিক এবং ওয়্যারলেস ৫জি যোগাযোগের মূল চালিকাশক্তি।

৩. ম্যানচেস্টার বেবি: প্রথম স্টোরড-প্রোগ্রামের বিজয়

১৯৪৮ সালের মাঝামাঝি পর্যন্ত স্টোরড-প্রোগ্রাম কম্পিউটারের মূল বাধা ছিল কার্যকর ইলেকট্রনিক মেমোরির অভাব। ম্যানচেস্টার বিশ্ববিদ্যালয়ের ফ্রেডি উইলিয়ামস এবং টম কিলবার্ন একটি সাধারণ ক্যাথোড-রে টিউবের (CRT) পর্দায় ইলেকট্রন চার্জের ফোঁটা ফেলে তৈরি করেন **উইলিয়ামস-কিলবার্ন টিউব মেমোরি**।

এই মেমোরির কার্যকারিতা পরীক্ষা করার জন্য তাঁরা তৈরি করেন একটি ছোট্ট পরীক্ষামূলক কম্পিউটার: **ম্যানচেস্টার বেবি (Manchester Baby / SSEM)**।

১৯৪৮ সালের **২১ জুন**, সোমবার সকালে মানব ইতিহাসের সবচেয়ে স্মরণীয় ঘটনাটি ঘটে। টম কিলবার্ন একটি ১৭-লাইনের প্রোগ্রাম তৈরি করেন, যার কাজ ছিল বারবার বিয়োগের মাধ্যমে $২^{১৮} = ২৬২,১৪৪$-এর সর্বোচ্চ ভাজক (Factor) খুঁজে বের করা।

কিলবার্ন সুইচের মাধ্যমে মেমোরিতে প্রোগ্রামটি ইনপুট করে স্টার্ট বাটনে চাপ দেন। সিআরটি মনিটরের স্ক্রিনে ইলেকট্রনের আলো জ্বলতে জ্বলতে প্রায় ৩৫ লাখ ধাপ গণনা সম্পন্ন করে। ঠিক ৫২ মিনিট পর যন্ত্রটি স্বয়ংক্রিয়ভাবে থেমে যায়। পর্দায় ভেসে ওঠে নিখুঁত সঠিক উত্তর: ১৩১,০৭২।

মানব ইতিহাসে প্রথমবারের মতো কোনো ইলেকট্রনিক যন্ত্রের স্মৃতিতে সংরক্ষিত একটি সফটওয়্যার প্রোগ্রাম মানুষের কোনো প্রকার হস্তক্ষেপ ছাড়াই পুরোপুরি একা একা একটি কঠিন গাণিতিক সমস্যার সমাধান করে সঠিক উত্তর জানিয়ে দিল। বিশ্ব প্রবেশ করল সত্যিকারের সফটওয়্যার বিপ্লবের যুগে।

প্রধান একাডেমিক তথ্যসূত্র

- von Neumann, J. (1945). *First Draft of a Report on the EDVAC*. University of Pennsylvania.
- Shannon, C. E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*, 27(3), 379–423.
- Williams, F. C., & Kilburn, T. (1949). A storage system for use with binary-digital computing machines. *Proceedings of the IEE*, 96(40), 81–100.
- Lavington, S. (1998). *A History of Manchester Computers*. The British Computer Society.

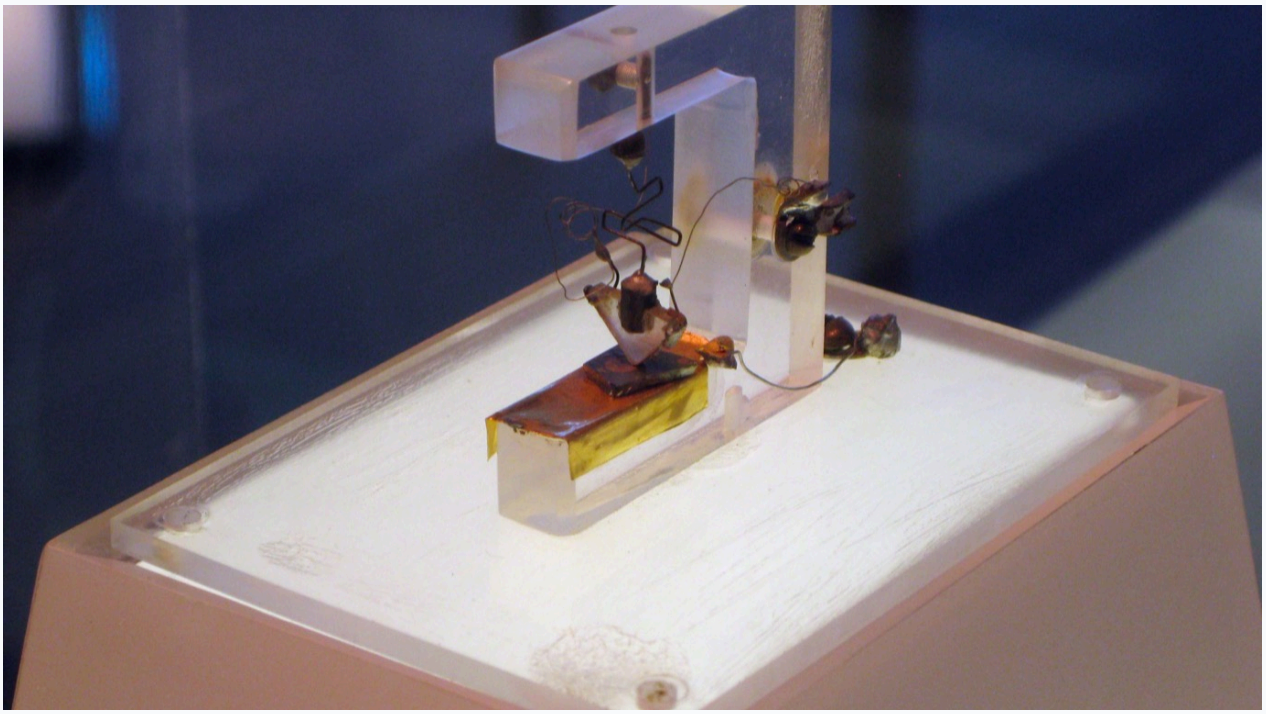
সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "স্টোরড-প্রোগ্রাম আর্কিটেকচার — ভন নিউম্যান মডেল, ক্লড শ্যাননের তথ্যতত্ত্ব ও ম্যানচেস্টার বেবি"। কম্পিউটিং ও এআইয়ের ইতিহাস, খণ্ড ৬। https://shakilmahmud.com/bn/history-computing-ai-part-6-von-neumann-and-stored-program-bn/

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • সপ্তম খণ্ড

সলিড-স্টেট বিপ্লব — বেল ল্যাবসের ট্রানজিস্টর, ইন্টিগ্রেটেড সার্কিট এবং মুরের সূত্র

সলিড-স্টেট বিপ্লব — বেল ল্যাবসের ট্রানজিস্টর, ইন্টিগ্রেটেড সার্কিট এবং মুরের সূত্র

656 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ৭: *চিত্র: প্রথম পয়েন্ট-কনট্যাক্ট ট্রানজিস্টর (বেল ল্যাবরেটরিজ, ডিসেম্বর ১৯৪৭)। জন বার্ডিন, ওয়াল্টার ব্র্যাটেন এবং উইলিয়াম শকলি কর্তৃক উদ্ভাবিত এই জার্মেনিয়াম ক্রিস্টাল ও স্বর্ণের সূক্ষ্ম পাতের ডিভাইসটি ভঙ্গুর ভ্যাকুয়াম টিউবের অবসান ঘটিয়ে সলিড-স্টেট সিলিকন বিপ্লবের সূচনা করেছিল।*

বিংশ শতাব্দীর মাঝামাঝি এসে ইলেকট্রনিক কম্পিউটার এক দুর্লঙ্ঘ্য প্রাচীরের মুখোমুখি হলো। ১ লাখ ভ্যাকুয়াম টিউবের একটি কম্পিউটার বানাতে গেলে যে পরিমাণ মেগাওয়াট বিদ্যুৎ ও উত্তাপ তৈরি হতো, তাতে অপারেটররা পুড়ে যাওয়া টিউব বদলাতে বদলাতেই ক্লান্ত হয়ে পড়ত। কম্পিউটিংয়ের এই মহাত্রাণ মেকানিক্যাল ইঞ্জিনিয়ারিং থেকে আসেনি; এটি এসেছিল সলিড-স্টেট কোয়ান্টাম পদার্থবিজ্ঞান থেকে: সিলিকন ক্রিস্টালের পরমাণুর ভেতর ইলেকট্রনের আচরণকে বশ মানানোর মাধ্যমে।

১. সংখ্যার অত্যাচার এবং বেল ল্যাবসের মহাবিস্ময়

১৯৪৫ সালে টেলিফোন এক্সচেঞ্জ এবং প্রাথমিক কম্পিউটারগুলো এক চরম সংকটের মুখে পড়েছিল, যাকে বেল ল্যাবসের প্রকৌশলীরা বলতেন **“টাইরানি অব নাম্বারস (Tyranny of Numbers)”**: যন্ত্র যতো বড় হতো, যন্ত্রের তার ও উপাদানের সংখ্যা ততো বাড়ত, আর কোনো না কোনো অংশ নষ্ট হয়ে পুরো সিস্টেম ভেঙে পড়ার সম্ভাবনাও গুণোত্তর হারে বেড়ে যেত।

Shakil Mahmud • Research Monograph

এই সমস্যা সমাধানের জন্য বেল ল্যাবসে গড়ে তোলা হয় একটি যুগান্তকারী দল: তাত্ত্বিক পদার্থবিদ **জন বার্ডিন**, পরীক্ষামূলক পদার্থবিদ **ওয়াল্টার ব্র্যাটেন** এবং দলনেতা **উইলিয়াম শকলি**।

১৬ ডিসেম্বর, ১৯৪৭: পয়েন্ট-কনট্যাক্ট ট্রানজিস্টর

১৯৪৭ সালের ১৬ ডিসেম্বর ওয়াল্টার ব্র্যাটেন একটি প্লাস্টিকের ত্রিকোণ খণ্ডের মাথায় খুব সূক্ষ্ম সোনার পাত মুড়ে দেন এবং ব্লেড দিয়ে ঠিক শীর্ষে একটি চির ধরান, যার ফলে সোনার পাতটি মাত্র ৫০ মাইক্রোমিটার ব্যবধানে দুটি অংশে বিভক্ত হয়ে যায়।

এই প্লাস্টিকের অগ্রভাগকে একটি জার্মেনিয়াম ক্রিস্টাল খণ্ডের ওপর শক্ত করে চেপে বসানো হয়। একটি পাতকে বলা হয় **ইমিটার (Emitter)** এবং অপরটিকে **কালেক্টর (Collector)**। যখন ইমিটারে সামান্য বিদ্যুৎ প্রবাহ পাঠানো হলো, তখন জার্মেনিয়াম ক্রিস্টালের ভেতর হোল বা পজিটিভ চার্জের বন্যা বয়ে গেল—যা কালেক্টরে বহুগুণ শক্তিশালী বিদ্যুৎ প্রবাহকে এক নিমেষে নিয়ন্ত্রণ করতে শুরু করল!

জন্ম হলো মানব ইতিহাসের প্রথম **ট্রানজিস্টর (Transistor)**। কোনো ভ্যাকুয়াম নেই, উত্তপ্ত ফিলামেন্ট নেই, কোনো কাচের টিউব নেই—একটি খাঁটি কঠিন ক্রিস্টালের ভেতর দিয়ে ইলেকট্রনের প্রবাহ নিয়ন্ত্রিত হতে লাগল। এই অমর আবিষ্কারের জন্য ১৯৫৬ সালে বার্ডিন, ব্র্যাটেন এবং শকলিকে নোবেল পুরস্কার দেওয়া হয়।

২. শকলি ল্যাব এবং ‘বিশ্বাসঘাতক আটজন’ (Traitorous Eight)

ট্রানজিস্টরের বাণিজ্যিক উৎপাদনের লক্ষ্যে উইলিয়াম শকলি ক্যালিফোর্নিয়ার পালো অল্টোতে প্রতিষ্ঠা করেন শকলি সেমিকন্ডাক্টর। কিন্তু শকলি ছিলেন চরম অহংকারী ও স্বেচ্ছাচারী পরিচালক।

১৯৫৭ সালের সেপ্টেম্বরে তাঁর অধীনে থাকা আটজন প্রতিভাবান তরুণ বিজ্ঞানী—**রবার্ট নয়েস, গর্ডন মুর, জুলিয়াস ব্ল্যাঙ্ক, ভিক্টর গ্রিনিচ, জিন হোয়ার্নি, ইউজিন ক্লাইনার, জে লাস্ট এবং শেল্ডন রবার্টস**—একযোগে পদত্যাগ করেন। শকলি এদের নাম দিয়েছিলেন **“ট্রেইটরাস এইট” বা ‘বিশ্বাসঘাতক আটজন’**।

শিল্পপতি শেরম্যান ফেয়ারচাইল্ডের আর্থিক সহায়তায় এই আটজন প্রতিষ্ঠা করেন **ফেয়ারচাইল্ড সেমিকন্ডাক্টর (Fairchild Semiconductor)**। এই তরুণদের হাত ধরেই সৃষ্টি হয় ভেঞ্চার ক্যাপিটালের সংস্কৃতি এবং জন্ম নেয় পৃথিবীর প্রযুক্তি রাজধানী **সিলিকন ভ্যালি (Silicon Valley)**।

৩. ইন্টিগ্রেটেড সার্কিট (IC): কিলবি এবং নয়েস

আলাদা আলাদা ট্রানজিস্টর তৈরি করলেও সেগুলোকে তার দিয়ে সার্কিট বোর্ডে ঝালাই করার ঝামেলা তখনো শেষ হয়নি। এই সমস্যার সমাধান করেন দুজন মহান উদ্ভাবক:

- **জ্যাক কিলবি (টেক্সাস ইনস্ট্রুমেন্টস, ১৯৫৮):** ল্যাবরেটরির গ্রীষ্মকালীন ছুটির সময় কিলবি একটিমাত্র জার্মেনিয়াম খণ্ডের ওপর ট্রানজিস্টর, রেজিস্টার এবং ক্যাপাসিটর বসিয়ে তারের সাহায্যে যুক্ত করেন—বিশ্বের প্রথম কাজ করা ইন্টিগ্রেটেড সার্কিট বা মাইক্রোচিপ।
- **রবার্ট নয়েস (ফেয়ারচাইল্ড, ১৯৫৯):** জিন হোয়ার্নির প্ল্যানার প্রসেস ব্যবহার করে নয়েস সিলিকনের মসৃণ স্তরের ওপর রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় ফটোগ্রাফির মতো অ্যালুমিনিয়ামের সংযোগ খোদাই করে তৈরি করেন সম্পূর্ণ **মনোলিথিক ইন্টিগ্রেটেড সার্কিট**। কোনো হাতের ঝালাই ছাড়া লক্ষ লক্ষ সার্কিট একসাথে মুদ্রণের পথ উন্মুক্ত হলো।

৪. মুরের সূত্র (Moore’s Law): আধুনিক সভ্যতার গতিসূত্র

১৯৬৫ সালের এপ্রিলে *ইলেকট্রনিক্স* ম্যাগাজিনের জন্য ফেয়ারচাইল্ডের গবেষণা পরিচালক গর্ডন মুর লেখেন এক সংক্ষিপ্ত প্রবন্ধ। বিগত কয়েক বছরের তথ্য বিশ্লেষণ করে মুর লক্ষ্য করেন যে একটি সিলিকন চিপে সর্বনিম্ন খরচে যে পরিমাণ ট্রানজিস্টর বসানো যায়, প্রতি বছর সেই সংখ্যা দ্বিগুণ হচ্ছে।

১৯৭৫ সালে মুর এই সময়সীমা সংশোধন করে বলেন—প্রতি **দুই বছরে** চিপের ট্রানজিস্টর সংখ্যা দ্বিগুণ হবে:

$$N(t) = N_0 \cdot 2^{\frac{t – t_0}{2}}$$

মুরের সূত্র কোনো প্রাকৃতিক নিয়ম ছিল না; এটি ছিল বিশ্ব সেমিকন্ডাক্টর শিল্পের এক অলিখিত শপথ। বিগত চার দশক ধরে কোটি কোটি ডলারের বিনিয়োগ এবং চরম অতিবেগুনি রশ্মির (EUV Lithography) সাহায্যে এই সূচকীয় প্রবৃদ্ধি ধরে রাখা হয়েছে—যার ফলে ঘরের সমান দানবাকৃতির কম্পিউটার আজকের প্রতিটি মানুষের হাতের মুঠোয় স্মার্টফোন হয়ে প্রবেশ করেছে।

প্রধান একাডেমিক তথ্যসূত্র

- Bardeen, J., & Brattain, W. H. (1948). The Transistor, A Semi-Conductor Triode. *Physical Review*, 74(2), 230–231.
- Kilby, J. S. (1976). Invention of the integrated circuit. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 23(7), 648–654.
- Noyce, R. N. (1961). Semiconductor device-and-lead structure. *US Patent 2,981,877*.
- Moore, G. E. (1965). Cramming more components onto integrated circuits. *Electronics*, 38(8), 114–117.

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "সলিড-স্টেট বিপ্লব — বেল ল্যাবসের ট্রানজিস্টর, ইন্টিগ্রেটেড সার্কিট এবং মুরের সূত্র"। কম্পিউটিং ও এআইয়ের ইতিহাস, খণ্ড ৭। https://shakilmahmud.com/bn/history-computing-ai-part-7-transistors-and-integrated-circuits-bn/

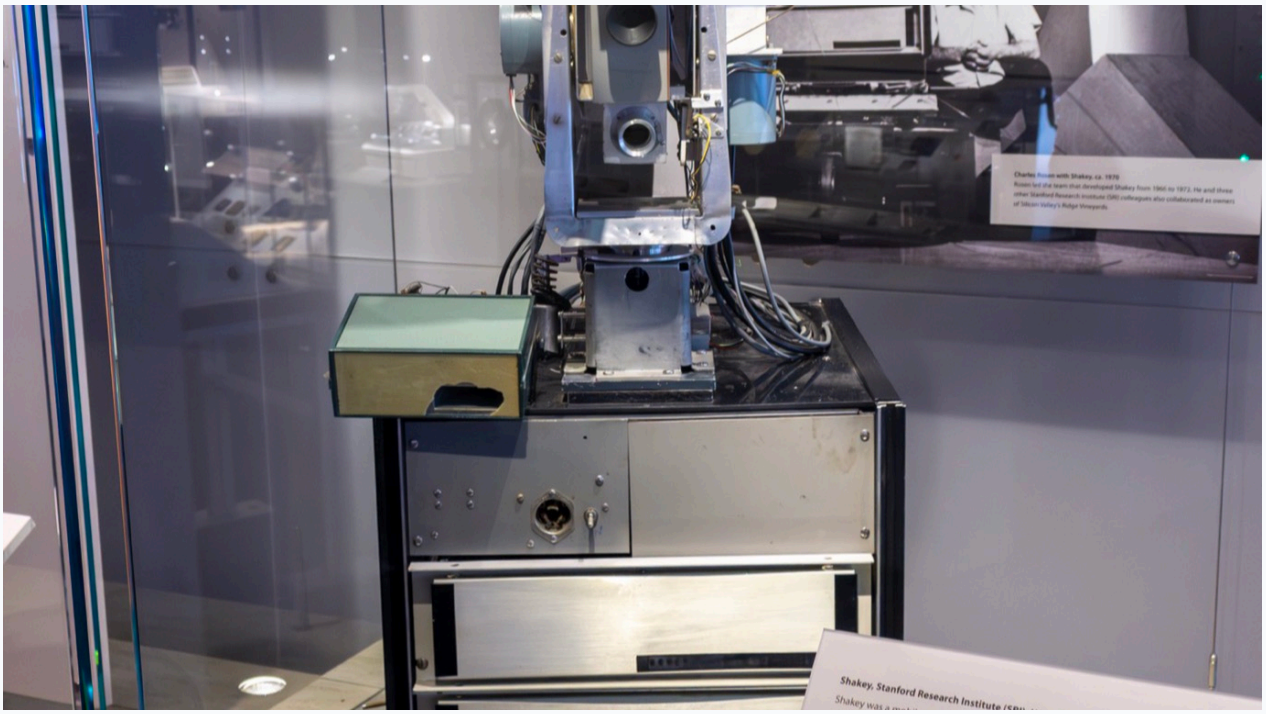
Shakil Mahmud • Research Monograph

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • অষ্টম খণ্ড

কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার জন্মলগ্নে — ডার্টমাউথ সম্মেলন ১৯৫৬ এবং প্রতীকী এআই (Symbolic AI)

কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার জন্মলগ্নে — ডার্টমাউথ সম্মেলন ১৯৫৬ এবং প্রতীকী এআই (Symbolic AI)

666 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ৮: *চিত্র: স্ট্যানফোর্ড রিসার্চ ইনস্টিটিউটের রোবট 'শেকী' (১৯৬৯)। বিশ্বের প্রথম মোবাইল স্বয়ংক্রিয় রোবট, যা ক্যামেরা ও সেন্সরের সাহায্যে চারপাশের পরিবেশ প্রত্যক্ষ করতে পারত এবং স্ট্রিপস (STRIPS) লজিক্যাল প্ল্যানার ও এ-স্টার (A*) সার্চ অ্যালগরিদম ব্যবহার করে ধাপে ধাপে কাজ সম্পাদন করত।*

"যন্ত্র কি চিন্তা করতে পারে?"—১৯৫০ সালে এই অমর প্রশ্নটি তুলেছিলেন অ্যালান টুরিং। ঠিক ছয় বছর পর, ১৯৫৬ সালের আর্দ্র গ্রীষ্মে ডার্টমাউথ কলেজে সমবেত হলেন একদল তরুণ গণিতবিদ, মনোবিজ্ঞানী এবং কম্পিউটার বিজ্ঞানী। তাঁদের প্রস্তাব ছিল অবিশ্বাস্যরকম সাহসী: মানুষের বুদ্ধি ও শেখার প্রতিটি ক্ষেত্রকে এতো নিখুঁতভাবে সংজ্ঞায়িত করা সম্ভব, যাতে একটি কম্পিউটার দিয়ে হুবহু তার অনুকরণ করা যায়। ঠিক সেই মুহূর্তে রূপকথা ও কল্পবিজ্ঞান থেকে বের হয়ে বিজ্ঞান হিসেবে জন্ম নিল 'আর্টিফিশিয়াল ইন্টেলিজেন্স'।

১. অ্যালান টুরিংয়ের ভবিষ্যৎবাণী: দ্য ইমিটেশন গেম

১৯৫০ সালের অক্টোবরে দর্শন সাময়িকী *মাইন্ড (Mind)*-এ অ্যালান টুরিং প্রকাশ করেন তাঁর সাড়া জাগানো গবেষণাপত্র: *কম্পিউটিং মেশিনারি অ্যান্ড ইন্টেলিজেন্স*। "যন্ত্র কি চিন্তা করতে পারে?"—এই প্রশ্নের দার্শনিক বিতর্ক এড়াতে তিনি উদ্ভাবন করেন এক ব্যবহারিক পরীক্ষা: **ইমিটেশন গেম (Imitation Game / Turing Test)**।

এই পরীক্ষায় একজন বিচারক একটি বন্ধ ঘরে বসে কীবোর্ডের মাধ্যমে পাশের ঘরের দুজন সত্তার সাথে টেক্সট চ্যাট করবেন—যার একজন মানুষ এবং অপরজন একটি কম্পিউটার প্রোগ্রাম। যদি পাঁচ মিনিট কথোপকথনের পর বিচারক নিশ্চিতভাবে বলতে না পারেন কোনটি মানুষ আর কোনটি কম্পিউটার, তবে ধরে নেওয়া হবে যন্ত্রটি মানুষের বুদ্ধিমত্তার সমকক্ষ আচরণ করতে সক্ষম হয়েছে।

২. ডার্টমাউথ ১৯৫৬: এআইয়ের আনুষ্ঠানিক নামকরণ

১৯৫৫ সালের আগস্টে ডার্টমাউথ কলেজের তরুণ গণিতের সহকারী অধ্যাপক **জন ম্যাকার্থি**, হার্ভার্ডের **মারভিন মিনস্কি**, আইবিএমের **নাথানিয়েল রচেস্টার** এবং বেল ল্যাবসের **ক্লড শ্যানন** রকফেলার ফাউন্ডেশনের কাছে ৭,৫০০ ডলারের আর্থিক অনুদানের একটি ঐতিহাসিক প্রস্তাব পাঠান।

নরবার্ট উইনারের প্রচলিত ‘সাইবারনেটিক্স’ শব্দটির জটিলতা এড়িয়ে ম্যাকার্থি নতুন একটি সাহসী নামের প্রস্তাব করলেন: **“আর্টিফিশিয়াল ইন্টেলিজেন্স (Artificial Intelligence)”** বা কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তা।

১৯৫৬ সালের জুলাই ও আগস্ট মাসব্যাপী চলা এই ঐতিহাসিক ওয়ার্কশপে অংশ নেন অ্যালেন নেভেল এবং হার্বার্ট সাইমন। তাঁরা সাথে করে নিয়ে এসেছিলেন ইতিহাসের প্রথম সচল কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তা প্রোগ্রাম: **লজিক থিওরিস্ট (Logic Theorist)**।

৩. লজিক থিওরিস্ট এবং সাধারণ সমস্যা সমাধানকারী (GPS)

র‍্যান্ড করপোরেশনের জোহনিয়াক (JOHNNIAC) কম্পিউটারে চালানো লজিক থিওরিস্ট সাধারণ ক্যালকুলেটরের মতো সংখ্যার যোগ-বিয়োগ করত না; এটি মানুষের মতো **হিউরিস্টিক প্রতীকী যুক্তি (Symbolic Manipulation)** প্রয়োগ করত।

বার্ট্রান্ড রাসেল এবং হোয়াইটহেডের অমর গ্রন্থ *প্রিন্সিপিয়া ম্যাথমেটিকা*-র দ্বিতীয় অধ্যায়ের জটিল উপপাদ্যগুলো প্রমাণ করার দায়িত্ব দেওয়া হয় এই প্রোগ্রামকে। লজিক থিওরিস্ট ৫২টি উপপাদ্যের মধ্যে ৩৮টি নিখুঁতভাবে প্রমাণ করে দেখায়! সবচেয়ে অবিশ্বাস্য বিষয় হলো—উপপাদ্য ২.৮৫ প্রমাণের ক্ষেত্রে স্বয়ং রাসেল ও হোয়াইটহেড যে দীর্ঘ প্রমাণ লিখেছিলেন, লজিক থিওরিস্ট তার চেয়ে অনেক সংক্ষিপ্ত ও চমৎকার এক বিকল্প প্রমাণ খুঁজে বের করে!

নেভেল ও সাইমন প্রতিষ্ঠা করেন **ফিজিক্যাল সিম্বল সিস্টেম হাইপোথিসিস**: উপযুক্ত প্রতীকী ব্যবস্থার সাহায্যে একটি যন্ত্র মানুষের যেকোনো যৌক্তিক চিন্তাভাবনা সম্পাদন করতে পারে। বুদ্ধিমান আচরণ হলো আসলে একটি বিশাল সম্ভাব্য বিকল্পের গ্রাফের ভেতর দিয়ে সঠিক পথটি খুঁজে নেওয়ার হিউরিস্টিক সার্চ:

$$f(n) = g(n) + h(n)$$

৪. রোবট শেকী: বাস্তব জগতে বুদ্ধিমান যন্ত্রের পদচারণা

১৯৬৬ থেকে ১৯৭২ সালের মধ্যে ক্যালিফোর্নিয়ার স্ট্যানফোর্ড রিসার্চ ইনস্টিটিউটে (SRI) বিজ্ঞানীরা তৈরি করেন বিশ্বের প্রথম বুদ্ধিমান মোবাইল রোবট: **শেকী (Shakey the Robot)**। চলার সময় এর লম্বা অ্যান্টেনা ও ক্যামেরার রড থরথর করে কাঁপত বলে এর নাম দেওয়া হয়েছিল শেকী।

শেকীর মাথায় ছিল একটি টিভি ক্যামেরা, অপটিক্যাল রেঞ্জ ফাইন্ডার এবং স্পর্শকাতর ক্যাট-হুইস্কার সেন্সর। একটি রেডিও লিংকের মাধ্যমে এটি ঘরের সমান বড় একটি এসডিএস ৯৪০ কম্পিউটারের সাথে যুক্ত ছিল। শেকীর প্রোগ্রামিং করতে গিয়ে বিজ্ঞানীরা তিনটি অমর অ্যালগরিদম উদ্ভাবন করেন, যা আজও রোবটিক্স ও এআইয়ের মূল ভিত্তি:

Shakil Mahmud • Research Monograph

- **এ-স্টার (A^*) সার্চ অ্যালগরিদম:** যেকোনো বাধা এড়িয়ে最短 এবং সবচেয়ে নিরাপদ পথ খুঁজে বের করার গাণিতিক অ্যালগরিদম, যা আজকের গুগল ম্যাপস থেকে শুরু করে ভিডিও গেমে ব্যবহৃত হয়।
- **স্ট্রিপস (STRIPS) প্ল্যানার:** কোনো লক্ষ্য পূরণ করতে হলে ধাপে ধাপে কী কী পূর্বশর্ত ও অ্যাকশন নিতে হবে, তা স্বয়ংক্রিয়ভাবে সাজানোর লজিক ইঞ্জিন।
- **হাফ ট্রান্সফর্ম (Hough Transform):** ক্যামেরার ঝাপসা পিক্সেল থেকে সোজা দেয়াল বা বস্তুর সীমানা চিনে নেওয়ার কম্পিউটার ভিশন কৌশল।

যখন শেকীকে সাধারণ ইংরেজি ভাষায় নির্দেশ দেওয়া হতো: “লাল বাক্সটিকে ধাক্কা দিয়ে প্ল্যাটফর্ম থেকে নিচে ফেলো”—শেকী কোনো পূর্বনির্ধারিত ছক মেনে চলত না। সে ক্যামেরায় দেখে পরিবেশের মানচিত্র বানাত, এ-স্টার অ্যালগরিদম দিয়ে পথ বের করত এবং নিজের যান্ত্রিক বুদ্ধিমত্তা দিয়ে বাক্সটিকে ঠেলে দিত। কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তা প্রথম বাস্তব জগতের স্পর্শ লাভ করল।

প্রধান একাডেমিক তথ্যসূত্র

- Turing, A. M. (1950). Computing Machinery and Intelligence. *Mind*, 59(236), 433–460.
- McCarthy, J., et al. (1955). *A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence*.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1956). The logic theory machine. *IRE Transactions on Information Theory*, 2(3), 61–79.
- Nilsson, N. J. (1984). *Shakey the Robot*. SRI International.

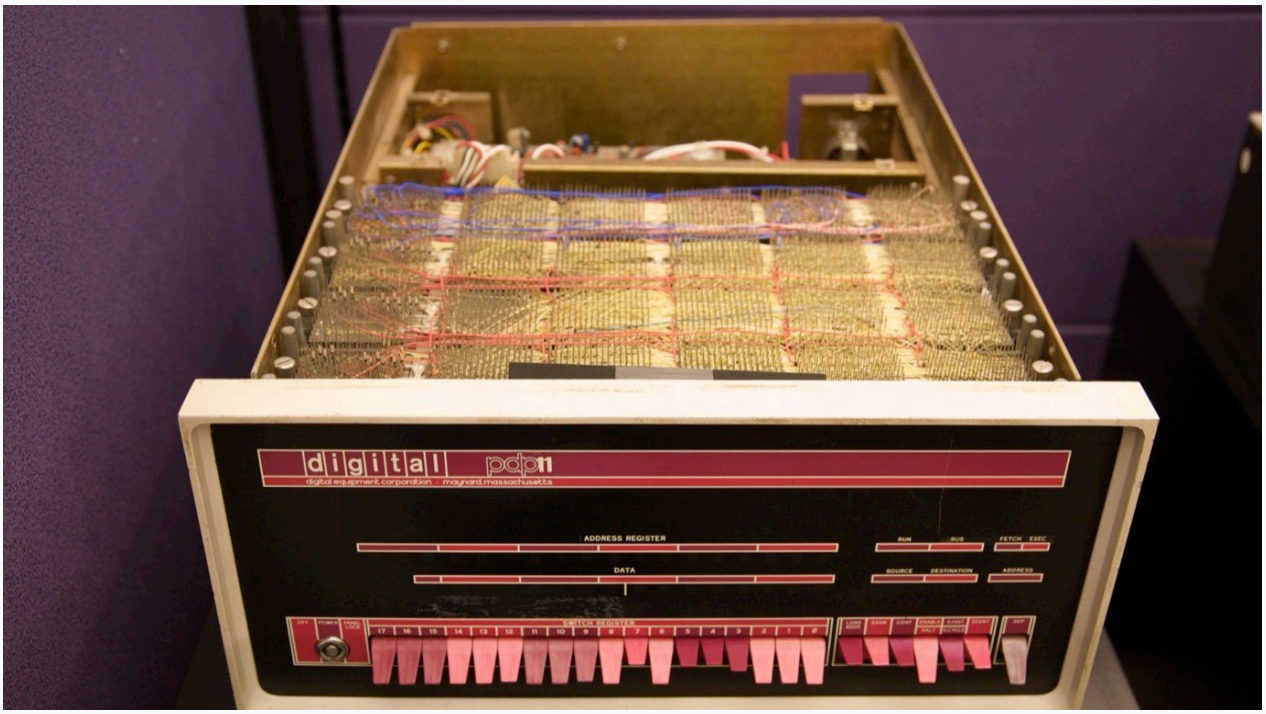
সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার জন্মলগ্নে — ডার্টমাউথ সম্মেলন ১৯৫৬ এবং প্রতীকী এআই (Symbolic AI)"। কম্পিউটিং ও এআইয়ের ইতিহাস, খণ্ড ৮। https://shakilmahmud.com/bn/history-computing-ai-part-8-dartmouth-1956-and-early-ai-bn/

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • নবম খণ্ড

সফটওয়্যার আর্কিটেকচার — গ্রেস হপারের কম্পাইলার, ফোরট্রান, লিস্প এবং ইউনিক্সের দর্শন

সফটওয়্যার আর্কিটেকচার — গ্রেস হপারের কম্পাইলার, ফোরট্রান, লিস্প এবং ইউনিক্সের দর্শন

699 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ৯: *চিত্র: ডিইসি পিডিপি-১১ (PDP-11) মিনিকম্পিউটার এবং ইউনিক্স ও সি ভাষার জন্ম (১৯৬৯–১৯৭২)। বেল ল্যাবসে কেন থম্পসন ও ডেনিস রিচি পিডিপি-১১ আর্কিটেকচারে ইউনিক্স অপারেটিং সিস্টেম এবং সি (C) প্রোগ্রামিং ভাষা তৈরি করেন, যা মডুলার ইউনিক্স দর্শন ও পোর্টেবল সফটওয়্যারের ভিত্তি স্থাপন করে।*

১৯৫০-এর দশকের শুরুতে একটি ইলেকট্রনিক কম্পিউটারে প্রোগ্রাম করা ছিল এক দুঃসহ যন্ত্রণা। প্রোগ্রামারদের খাতা-কলমে হেক্সাডেসিমাল বা অক্টাল কোড লিখে মেমোরির রেজিস্টার ঠিকানা মুখস্থ করে পাঞ্চ কার্ডে ফুটা করতে হতো। হার্ডওয়্যার বদলানোর সাথে সাথে পূর্বের লেখা সমস্ত সফটওয়্যার আবর্জনায় পরিণত হতো। আজকের আধুনিক বিশ্ব টিকে আছে কারণ দূরদর্শী কম্পিউটার বিজ্ঞানীরা তৈরি করেছিলেন বিমূর্ততার স্তর (Abstraction Layers): মানুষের ভাষাকে কম্পিউটারের ভোল্টেজে রূপান্তর করার কম্পাইলার এবং সফটওয়্যারকে চিরন্তন রূপ দেওয়ার অপারেটিং সিস্টেম।

১. গ্রেস হপার এবং কম্পাইলারের উদ্ভাবন

১৯৫২ সালে মার্কিন নৌবাহিনীর গণিতবিদ ও প্রোগ্রামার **গ্রেস ব্রুস্টার মারি হপার** এক বৈপ্লবিক প্রস্তাব দিলেন: কম্পিউটারকে বাইনারি সংখ্যার বদলে মানুষের ইংরেজি ভাষার মতো নির্দেশের মাধ্যমে প্রোগ্রাম করা সম্ভব।

Shakil Mahmud • Research Monograph

তাঁর সহকর্মীরা এই ধারণাকে উপহাস করে উড়িয়ে দিয়ে বলেছিলেন যে কম্পিউটার কেবল পাটিগণিতের যোগ-বিয়োগ করতে পারে, এটি কোনো ভাষাতাত্ত্বিক অনুবাদক নয়। কিন্তু পিছু হটার পাত্রী ছিলেন না গ্রেস হপার। তিনি তৈরি করলেন বিশ্বের প্রথম কার্যকর কম্পাইলার: **এ-জিরো সিস্টেম (A-0 System)**।

গ্রেস হপার পরে তৈরি করেন **ফ্লো-ম্যাটিক (FLOW-MATIC)**—প্রথম প্রোগ্রামিং ভাষা যাতে ইংরেজি ক্রিয়াপদ (যেমন COMPUTE, COMPARE) ব্যবহার করা হতো। এই গবেষণাই ১৯৫৯ সালে আন্তর্জাতিক ব্যাংকিং ও বাণিজ্যের প্রধান মেরুদণ্ড **কোবোল (COBOL)** ভাষার ভিত্তি রচনা করে।

২. উচ্চস্তরের ভাষার জন্ম: ফোরট্রান এবং লিস্প

১৯৫৪ থেকে ১৯৫৮ সালের মধ্যে দুটি অমর প্রোগ্রামিং ভাষা সফটওয়্যার উন্নয়নের দুটি চিরন্তন ধারা সৃষ্টি করে:

- **ফোরট্রান (FORTRAN – Formula Translation, ১৯৫৭):** জন ব্যাকাস এবং আইবিএমের তৈরি বৈজ্ঞানিক ভাষা। ব্যাকাস প্রমাণ করেন যে কম্পাইলার অপটিমাইজেশনের মাধ্যমে উচ্চস্তরের কোড থেকেও অ্যাসেম্বলি কোডের সমান দ্রুতগতির মেশিন কোড তৈরি সম্ভব। ব্যাকাস ভাষার ব্যাকরণ লেখার জন্য উদ্ভাবন করেন **ব্যাকাস-নাউর ফর্ম (BNF)**।
- **লিস্প (LISP – List Processing, ১৯৫৮):** জন ম্যাকার্থির হাত ধরে জন্ম নেওয়া কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার আদিম ও সবচেয়ে প্রভাবশালী ভাষা। লিস্পে কোড এবং ডেটা উভয়কেই নেস্টেড এস-এক্সপ্রেশন (`list`) হিসেবে বিবেচনা করা হতো। ম্যাকার্থি উদ্ভাবন করেন ডায়নামিক টাইপিং, রিকার্শন এবং মেমোরি স্বয়ংক্রিয়ভাবে পরিষ্কার রাখার **গার্বেজ কালেকশন (Garbage Collection)**।

৩. ১৯৬৮ সালের সফটওয়্যার সংকট এবং মাল্টিক্সের পতন

১৯৬০-এর দশকের শেষে হার্ডওয়্যারের উন্নতির তুলনায় সফটওয়্যার তৈরির পদ্ধতি পিছিয়ে পড়ে। সফটওয়্যার প্রকল্পগুলোতে লক্ষ লক্ষ ডলারের বাজেট নষ্ট হতে থাকে এবং নির্ধারিত সময়ের বছরের পর বছর পার হয়ে যেত। ১৯৬৮ সালের অক্টোবরে জার্মানিতে ন্যাটো সম্মেলনে বিজ্ঞানীরা ঘোষণা করেন **"সফটওয়্যার ক্রাইসিস (Software Crisis)"**।

এমআইটি, জেনারেল ইলেকট্রিক এবং বেল ল্যাবস মিলে শুরু করে **মাল্টিক্স (Multics)** প্রজেক্ট—বিদ্যুৎ গ্রিডের মতো একটানা চলা এক বিশাল অপারেটিং সিস্টেমের স্বপ্ন। কিন্তু অতিরিক্ত জটিলতা ও আমলাতান্ত্রিক ভুলের কারণে মাল্টিক্স মুখ থুবড়ে পড়ে। ১৯৬৯ সালে বেল ল্যাবস নিজেদের এই প্রকল্প থেকে প্রত্যাহার করে নেয়।

৪. কেন থম্পসন, ডেনিস রিচি এবং ইউনিক্সের অমর দর্শন

মাল্টিক্স থেকে বেরিয়ে এসে বেল ল্যাবসের দুই প্রতিভাবান গবেষক **কেন থম্পসন** এবং **ডেনিস রিচি** একটি পরিত্যক্ত পিডিপি-৭ (PDP-7) মিনিকম্পিউটারে একদম হালকা ও চমকপ্রদ একটি অপারেটিং সিস্টেম তৈরির সিদ্ধান্ত নেন। ব্রায়ান কার্নিগান রসিকতা করে এর নাম দেন **ইউনিক্স (Unix)**।

সি (C) ভাষা: পোর্টেবল সফটওয়্যারের মুক্তি

১৯৭২ সালে ইউনিক্সকে ১৬-বিটের নতুন **ডিইসি পিডিপি-১১ (PDP-11)** কম্পিউটারে স্থানান্তর করার জন্য ডেনিস রিচি তৈরি করেন আধুনিক পৃথিবীর সবচেয়ে শক্তিশালী ও প্রভাবশালী প্রোগ্রামিং ভাষা: **সি (C Programming Language)**।

১৯৭৩ সালে থম্পসন ও রিচি এক ঐতিহাসিক কাণ্ড করলেন: তাঁরা সি ভাষা ব্যবহার করে পুরো ইউনিক্স কার্নেল নতুন করে লিখলেন। ইউনিক্সের আগে পৃথিবীর প্রতিটি অপারেটিং সিস্টেম নির্দিষ্ট কম্পিউটারের অ্যাসেম্বলি ভাষায় লেখা হতো। সি ভাষায় ইউনিক্স লেখার ফলে ইউনিক্স হয়ে গেল **পোর্টেবল (Portable)**: যেকোনো নতুন কম্পিউটারের জন্য শুধু একটি সি কম্পাইলার বানালেই পুরো ইউনিক্স ও তার সমস্ত প্রোগ্রাম কয়েক দিনের মধ্যে নতুন যন্ত্রে চালু করা সম্ভব হলো!

ইউনিক্স দর্শন (The Unix Philosophy)

ইউনিক্স এমন কিছু মৌলিক নীতি প্রবর্তন করেছিল, যা আজও আধুনিক ক্লাউড ও সফটওয়্যারের প্রাণভোমরা:

1. **একটি প্রোগ্রাম কেবল একটি কাজ করবে এবং তা নিখুঁতভাবে করবে।**
2. **প্রোগ্রামগুলো যেন একে অপরের সাথে যুক্ত হতে পারে।** ১৯৭৩ সালে কেন থম্পসন উদ্ভাবন করেন বিখ্যাত **পাইপ (Pipe / |)**—যার মাধ্যমে এক প্রোগ্রামের আউটপুট সরাসরি অন্য প্রোগ্রামের ইনপুট হিসেবে পাঠানো যায়।
3. **সবকিছুই একটি টেক্সট স্ট্রিম।** সার্বজনীন ইন্টারফেস হিসেবে টেক্সটকে গ্রহণ করা।
4. **সবকিছুই ফাইল (Everything is a file)।** হার্ডডিস্ক, মেমোরি, প্রিন্টার কিংবা নেটওয়ার্ক সকেট—সবকিছুকেই ভার্চুয়াল ফাইল সিস্টেমের কাঠামোর অধীনে আনা।

আজকের ইন্টারনেট ক্লাউড চালানো লিনাক্স (Linux), অ্যাপলের ম্যাকওএস (macOS/iOS) থেকে শুরু করে অ্যান্ড্রয়েড স্মার্টফোন—উইন্ডোজ ব্যতীত পৃথিবীর প্রায় সমস্ত আধুনিক অপারেটিং সিস্টেম বেল ল্যাবসের পিডিপি-১১ কম্পিউটারে জন্ম নেওয়া ইউনিক্স ও সি ভাষার অমর সন্তান।

প্রধান একাডেমিক তথ্যসূত্র

- Hopper, G. M. (1952). The Education of a Computer. *ACM*, 243–249.
- Backus, J. W. (1957). The FORTRAN automatic coding system. *WJCC*, 188–198.
- McCarthy, J. (1960). Recursive functions of symbolic expressions. *CACM*, 3(4), 184–195.
- Ritchie, D. M., & Thompson, K. (1974). The UNIX Time-Sharing System. *CACM*, 17(7), 365–375.

❦

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "সফটওয়্যার আর্কিটেকচার — গ্রেস হপারের কম্পাইলার, ফোরট্রান, লিস্প এবং ইউনিক্সের দর্শন"। কম্পিউটিং ও এআইয়ের ইতিহাস, খণ্ড ৯। https://shakilmahmud.com/bn/history-computing-ai-part-9-compilers-unix-and-c-bn/

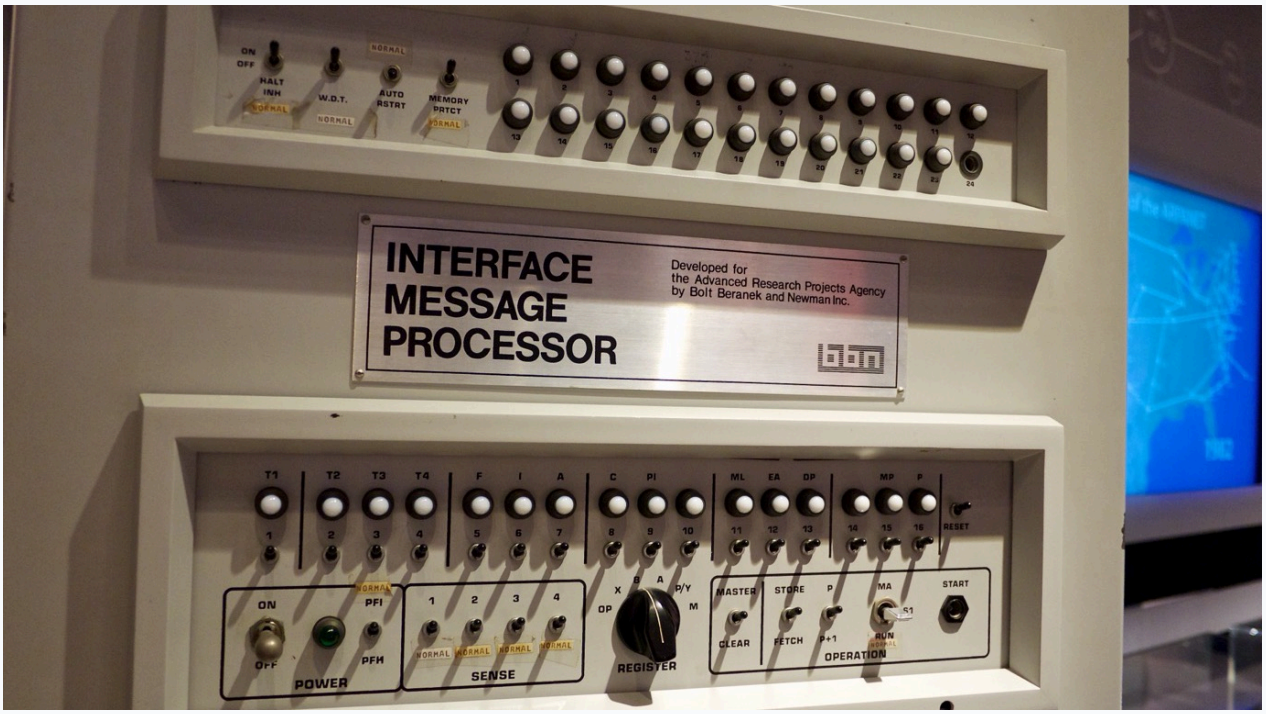
Shakil Mahmud • Research Monograph

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • দশম খণ্ড

সংযুক্ত বিশ্ব — প্যাকেট সুইচিং, আরপানেট (ARPANET) এবং টিসিপি/আইপি (TCP/IP) প্রোটোকল

সংযুক্ত বিশ্ব — প্যাকেট সুইচিং, আরপানেট (ARPANET) এবং টিসিপি/আইপি (TCP/IP) প্রোটোকল

690 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ১০: *চিত্র: ইউসিএলএ-তে স্থাপিত বিবিএন ইন্টারফেস মেসেজ প্রসেসর (IMP) (১৯৬৯)। হানিওয়েল ৫১৬-এর এই শক্তপোক্ত সামরিক ক্যাবিনেটটি ছিল আরপানেট (ARPANET)-এর প্রথম নোড, যা প্যাকেট সুইচিং ও রাউটিংয়ের মাধ্যমে ইন্টারনেটের টিসিপি/আইপি (TCP/IP) প্রোটোকলের ভিত্তি গড়েছিল।*

১৯৫০ এবং ১৯৬০-এর দশকে প্রতিটি কম্পিউটার ছিল সম্পূর্ণ বিচ্ছিন্ন, বোবা দ্বীপের মতো। স্ট্যানফোর্ড বিশ্ববিদ্যালয়ের কোনো কম্পিউটারে কাজ করতে চাইলে একজন গবেষককে সশরীরে সেখানে যেতে হতো অথবা ডাকযোগে পাঞ্চ কার্ডের বাক্স পাঠাতে হতো। স্নায়ুযুদ্ধের পারমাণবিক হুমকির ছায়ায় বিজ্ঞানীরা গড়ে তুললেন এক চরম সহনশীল ও অবিনশ্বর নেটওয়ার্ক আর্কিটেকচার—যা মানুষের জ্ঞানকে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র ডিজিটাল প্যাকেটে বিভক্ত করে তৈরি করল আজকের বিশ্বব্যাপী ইন্টারনেট।

১. সার্কিট বনাম প্যাকেট সুইচিংয়ের মহাবিপ্লব

টেলিফোনের আবিষ্কার থেকে শুরু করে সেকালের সমস্ত যোগাযোগব্যবস্থা চলত **সার্কিট সুইচিং (Circuit Switching)** পদ্ধতিতে: দুজন মানুষ কথা বলার সময় পুরো লাইনে একটি অবিচ্ছিন্ন শারীরিক তারের সংযোগ সংরক্ষিত থাকত। কোনো একটি কেন্দ্রীয় টেলিফোন এক্সচেঞ্জ পারমাণবিক বোমায় ধ্বংস হলে পুরো যোগাযোগ এক নিমেষে বিচ্ছিন্ন হয়ে যেত।

১৯৬০ সালে র‍্যান্ড করপোরেশনের গবেষক **পল বারান** পারমাণবিক হামলার মুখে টিকে থাকার মতো এক বিকেন্দ্রীভূত নেটওয়ার্কের প্রস্তাব দেন। প্রায় একই সময়ে যুক্তরাজ্যে **ডোনাল্ড ডেভিস** বেসামরিক ব্যবহারের জন্য অভিন্ন ধারণা উদ্ভাবন করেন এবং নাম দেন **প্যাকেট সুইচিং (Packet Switching)**।

প্যাকেট কীভাবে কাজ করে?

পুরো লাইনে একটিমাত্র স্থায়ী সংযোগ আটকে না রেখে যেকোনো ফাইল বা বার্তাকে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র ডিজিটাল টুকরো বা **প্যাকেটে** বিভক্ত করা হয়। প্রতিটি প্যাকেটে থাকে:

- **হেডার (Header):** প্রেরকের ঠিকানা, প্রাপকের ঠিকানা এবং প্যাকেটের ক্রমিক নম্বর।
- **পেলোড (Payload):** মূল তথ্যের ক্ষুদ্র অংশ (সাধারণত ১২৮ থেকে ১,০২৪ বাইট)।
- **চেকসাম (Checksum):** পথে কোনো তথ্য বিকৃত হয়েছে কিনা তা যাচাই করার গাণিতিক কোড।

প্যাকেটগুলো **স্টোর-অ্যান্ড-ফরোয়ার্ড** রাউটিংয়ের মাধ্যমে নেটওয়ার্কের বিভিন্ন নোড বা রাউটার দিয়ে সম্পূর্ণ স্বাধীনভাবে ভিন্ন ভিন্ন পথে ছুটে চলে। একটি লাইন কেটে গেলেও প্যাকেটগুলো স্বয়ংক্রিয়ভাবে অন্য রাস্তা খুঁজে নেয় এবং প্রাপকের কম্পিউটারে পৌঁছে পুনরায় ক্রমানুসারে নিখুঁতভাবে জোড়া লেগে যায়।

২. আরপানেটের জন্ম এবং ২৯ অক্টোবর ১৯৬৯

এমআইটিতে **লিওনার্ড ক্লেইনরক** কিউয়িং থিওরি ($M/M/1$ Queues) ব্যবহার করে প্যাকেট যোগাযোগের গাণিতিক ভিত্তি স্থাপন করেন। ১৯৬৮ সালে মার্কিন প্রতিরক্ষা দপ্তরের অ্যাডভান্সড রিসার্চ প্রজেক্টস এজেন্সি (DARPA)-র অর্থায়নে শুরু হয় **আরপানেট (ARPANET)** প্রকল্প। বোস্টনের বিবিএন (BBN) কোম্পানি তৈরি করে নেটওয়ার্কের বিশেষ রাউটার: **ইন্টারফেস মেসেজ প্রসেসর (IMP)**।

ইতিহাসের প্রথম বার্তা: “LO”

১৯৬৯ সালের ২৯ অক্টোবর রাত ১০:৩০ মিনিটে ইউসিএলএ (UCLA)-র ছাত্র চার্লি ক্লাইন কীবোর্ডে বসে টেলিফোন লাইনের মাধ্যমে স্ট্যানফোর্ডের কম্পিউটারে টাইপ করেন `L`; ওপাশ থেকে শব্দ এলো: “L পাওয়া গেছে”। তিনি টাইপ করলেন `O`; ওপাশ থেকে জানানো হলো: “O পাওয়া গেছে”। এরপর তিনি টাইপ করলেন `G`... আর অমনি পুরো সিস্টেম ক্র্যাশ করে বন্ধ হয়ে গেল!

ইন্টারনেটে পাঠানো মানব ইতিহাসের প্রথম বার্তাটি ছিল কেবল দুটি অক্ষর: **“LO”**—যা কাকতালীয়ভাবে এক ভবিষ্যৎবাণীর মতো শোনাল (“Lo and behold” বা ‘চেয়ে দেখো!’)। এক ঘণ্টা পর ত্রুটি সংশোধন করে পূর্ণ শব্দ `LOGIN` সফলভাবে পাঠানো হয়। ১৯৬৯ সালের ডিসেম্বরের মধ্যে চারটি নোড যুক্ত হয়ে ইতিহাসের প্রথম কম্পিউটার নেটওয়ার্ক বাস্তবে রূপ লাভ করে।

৩. ভিন্ট সার্ফ, বব কান এবং টিসিপি/আইপি (TCP/IP)

১৯৭০-এর দশকে রেডিও নেটওয়ার্ক, স্যাটেলাইট নেটওয়ার্ক এবং ইথারনেটের মতো ভিন্ন ভিন্ন নেটওয়ার্ক তৈরি হতে লাগল। কিন্তু তাদের মধ্যে কোনো সাধারণ ভাষা ছিল না।

১৯৭৩ সালে ডারপার **রবার্ট কান** এবং স্ট্যানফোর্ডের **ভিন্টন সার্ফ** এই বহুধা বিভক্ত নেটওয়ার্কগুলোকে একটি সার্বজনীন জালে বাঁধার সমাধান বের করেন। ১৯৭৪ সালে তাঁরা প্রকাশ করেন তাঁদের অমর প্রটোকল: **টিসিপি/আইপি (TCP/IP)**।

Shakil Mahmud • Research Monograph

এন্ড-টু-এন্ড প্রিন্সিপাল

সার্ফ এবং কান একটি অমর স্থাপত্য নীতি গ্রহণ করেন: ভেতরের রাউটারগুলোকে থাকবে সম্পূর্ণ সাধারণ ও হালকা—তারা শুধু প্যাকেটগুলোকে যতো দ্রুত সম্ভব গন্তব্যে ঠেলে দেবে (“Best-effort delivery”)। আর কোনো প্যাকেট হারিয়ে গেল কিনা, ঠিকমতো জোড়া লাগল কিনা—সেই সমস্ত জটিল কাজ পরিচালনা করবে প্রান্তে থাকা কম্পিউটারগুলো (End Hosts)।

- **আইপি (IP – Internet Protocol):** ৩২-বিট আইপি ঠিকানার সাহায্যে প্যাকেটগুলোকে এক নেটওয়ার্ক থেকে অন্য নেটওয়ার্কে পৌঁছে দেয়।
- **টিসিপি (TCP – Transmission Control Protocol):** *থ্রি-ওয়ে হ্যান্ডশেক (Three-Way Handshake)*-এর মাধ্যমে নিরাপদ সংযোগ তৈরি করে এবং কোনো প্যাকেট নষ্ট হলে পুনরায় পাঠানোর ব্যবস্থা করে।

৪. ১ জানুয়ারি, ১৯৮৩: ইন্টারনেটের আনুষ্ঠানিক জন্মদিন

১৯৮৩ সালের ১ জানুয়ারি একটি বাধ্যতামূলক “ফ্ল্যাগ ডে” ঘোষণা করা হয়: আরপানেটের সমস্ত কম্পিউটারকে পুরোনো প্রোটোকল বন্ধ করে একযোগে টিসিপি/আইপি প্রোটোকলে রূপান্তর করা হয়। সেদিনই প্রাতিষ্ঠানিকভাবে জন্ম নেয় আজকের আধুনিক ইন্টারনেট।

টিসিপি/আইপি সম্পূর্ণ উন্মুক্ত ও কোনো কর্পোরেট প্যাটেন্টের অধীন না হওয়ায় এটি অবলীলায় গোটা বিশ্বে ছড়িয়ে পড়ে। ফাইবার অপটিক্যাল ক্যাবল, স্যাটেলাইট ও ওয়াইফাই—যুগান্তকারী সব প্রযুক্তি এসেও সার্ফ ও কানের এই মূল আর্কিটেকচারকে বদলাতে পারেনি। সমগ্র মানবজাতি আজ এই অদৃশ্য ডিজিটাল স্নায়ুতন্ত্রের মাধ্যমে একক সত্তায় পরিণত হয়েছে।

প্রধান একাডেমিক তথ্যসূত্র

- Baran, P. (1964). *On Distributed Communications Network*. RAND Corporation.
- Kleinrock, L. (1964). *Communication Nets: Stochastic Message Flow and Delay*. McGraw-Hill.
- Cerf, V. G., & Kahn, R. E. (1974). A Protocol for Packet Network Intercommunication. *IEEE Trans. Comm.*, 22(5), 637–648.
- Abbate, J. (1999). *Inventing the Internet*. MIT Press.

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "সংযুক্ত বিশ্ব — প্যাকেট সুইচিং, আরপানেট (ARPANET) এবং টিসিপি/আইপি (TCP/IP) প্রোটোকল"। কম্পিউটিং ও এআইয়ের ইতিহাস, খণ্ড ১০। https://shakilmahmud.com/bn/history-computing-ai-part-10-arpanet-and-tcp-ip-bn/

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • একাদশ খণ্ড

ব্যক্তিগত কম্পিউটারের বিপ্লব — জেরক্স পার্কের আল্টো, অ্যাপল টু এবং জিইউআই (GUI) রূপান্তর

ব্যক্তিগত কম্পিউটারের বিপ্লব — জেরক্স পার্কের আল্টো, অ্যাপল টু এবং জিইউআই (GUI) রূপান্তর

689 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ১১: *চিত্র: জেরক্স পার্কের আল্টো (Xerox Alto) ওয়ার্কস্টেশন (১৯৭৩)। বিশ্বের প্রথম আধুনিক ব্যক্তিগত কম্পিউটার, যাতে ছিল বিটম্যাপড ডিসপ্লে, উইন্ডোযুক্ত গ্রাফিক্যাল ইউজার ইন্টারফেস (GUI), ডেস্কটপ মেটাফর, তিন-বাটনের মাউস এবং ইথারনেট লোকাল নেটওয়ার্কিং।*

১৯৭০ সালে কম্পিউটার ছিল এক বিশেষ অভিজাত শ্রেণীর নিয়ন্ত্রণে। শীতাতপ নিয়ন্ত্রিত কাচের ঘরে লক্ষ লক্ষ ডলারের মেইনফ্রেম কম্পিউটার চলত সাদা অ্যাপ্রন পরা প্রকৌশলীদের মাধ্যমে। সাধারণ মানুষের সেখানে প্রবেশাধিকার ছিল না। কিন্তু উত্তর ক্যালিফোর্নিয়ার একদল দূরদর্শী স্বপ্নদ্রষ্টা বিশ্বাস করতেন—কম্পিউটার কোনো কর্পোরেশন বা সেনাবাহিনীর একচ্ছত্র সম্পত্তি হতে পারে না; এটি হওয়া উচিত প্রতিটি লেখক, শিল্পী, শিশু এবং সাধারণ মানুষের ব্যক্তিগত সৃজনশীলতার হাতিয়ার। ব্যক্তিগত কম্পিউটার, মাউস এবং গ্রাফিক্যাল ইউজার ইন্টারফেস আবিষ্কারের মাধ্যমে তাঁরা মানব ইতিহাসের সর্বশ্রেষ্ঠ প্রযুক্তিগত বিপ্লব ঘটিয়েছিলেন।

১. ডগলাস এঙ্গেলবার্ট এবং “মাদার অব অল ডেমোজ” (১৯৬৮)

ইন্টারেক্টিভ কম্পিউটিংয়ের ঐতিহাসিক ভিত্তিপ্রস্তর স্থাপিত হয়েছিল **৯ ডিসেম্বর, ১৯৬৮** তারিখে সান ফ্রান্সিসকোতে। স্ট্যানফোর্ড রিসার্চ ইনস্টিটিউটের ড. **ডগলাস এঙ্গেলবার্ট** ১,০০০ প্রকৌশলীর সামনে ৯০ মিনিটের একটি সরাসরি উপস্থাপনা দেন, যা প্রযুক্তির ইতিহাসে **“মাদার অব অল ডেমোজ (Mother of All Demos)”** নামে অমর হয়ে আছে।

Shakil Mahmud • Research Monograph

একটি বিশাল ২২-ফুটের পর্দায় এঙ্গেলবার্ট এমন সব প্রযুক্তি প্রদর্শন করলেন, যা তৎকালীন বিজ্ঞানীদের কাছে সায়েন্স ফিকশন বা অলৌকিক মনে হয়েছিল:

- **কম্পিউটার মাউস (Mouse):** কাঠের তৈরি একটি ছোট্ট বাক্সের নিচে দুটি চাকা বসিয়ে টেবিলের ওপর হাত নাড়িয়ে স্ক্রিনের কার্সর নিয়ন্ত্রণ।
- **হাইপারটেক্সট ও উইন্ডো:** ডকুমেন্টের ভেতরে নীল লিংকে ক্লিক করে নতুন ফাইলে যাওয়া এবং স্ক্রিনকে দুই ভাগে ভাগ করে একই সাথে কাজ করা।
- **রিয়েল-টাইম ভিডিও কনফারেন্সিং:** ৩০ মাইল দূরে মেনলো পার্কের সহকর্মীর সাথে একই ডকুমেন্টে একসাথে কাজ করা এবং স্ক্রিনের কোনায় সহকর্মীর ভিডিও ও স্বাধীন কার্সর প্রদর্শন!

এঙ্গেলবার্ট কম্পিউটারকে কেবল হিসাবযন্ত্র হিসেবে দেখেননি; তিনি একে দেখেছিলেন মানুষের মস্তিষ্কের ক্ষমতা বৃদ্ধির এক মহাজাগতিক হাতিয়ার হিসেবে।

২. জেরক্স পার্ক (Xerox PARC): পালো অল্টোর স্বর্ণযুগ

১৯৭০ সালে ফটোকপিয়ার কোম্পানি জেরক্স নিজেদের ভবিষ্যৎ অস্তিত্ব রক্ষার জন্য ক্যালিফোর্নিয়ায় গড়ে তোলে **পালো অল্টো রিসার্চ সেন্টার (PARC)**। পরিচালক বব টেলরের নেতৃত্বে সেখানে জড়ো হলেন বিশ্বের সর্বকালের সেরা কম্পিউটার বিজ্ঞানীরা: **অ্যালান কে, বাটলার ল্যাম্পসন, চার্লস সিমনি, বব মেটক্যাফ এবং গ্যারি স্টার্কওয়েদার**।

জেরক্স আল্টো (Xerox Alto, ১৯৭৩): প্রথম আধুনিক ব্যক্তিগত কম্পিউটার

১৯৭৩ সালে বাটলার ল্যাম্পসন এবং চাক থ্যাকার তৈরি করেন **জেরক্স আল্টো**। এটি কোনো মেইনফ্রেমের সাথে যুক্ত টার্মিনাল ছিল না; এটি ছিল একজন মানুষের জন্য তৈরি সত্যিকারের ব্যক্তিগত কম্পিউটার:

- **বিটম্যাপড ডিসপ্লে:** পর্দার প্রতিটি পিক্সেল সরাসরি মেমোরির একটি নির্দিষ্ট বিট দিয়ে নিয়ন্ত্রিত হতো। ফলে যেকোনো ফন্ট, ছবি এবং গ্রাফিক্স পর্দায় ফুটিয়ে তোলা সম্ভব হয় (*WYSIWYG* – যা দেখছেন তাই পাবেন)।
- **গ্রাফিক্যাল ইউজার ইন্টারফেস (GUI):** অ্যালান কে এবং ড্যান ইনগালসের তৈরি উইন্ডো, মেনুবার, আইকন এবং স্ক্রলবার।
- **স্মলটক (Smalltalk):** বিশুদ্ধ অবজেক্ট-ওরিয়েন্টেড প্রোগ্রামিং ভাষা।
- **ইথারনেট (Ethernet):** বব মেটক্যাফের উদ্ভাবিত লোকাল নেটওয়ার্কিং ব্যবস্থা।
- **লেজার প্রিন্টিং:** গ্যারি স্টার্কওয়েদারের তৈরি প্রথম লেজার প্রিন্টার।

নিউ ইয়র্কের জেরক্সের কর্পোরেট কর্তারা বুঝতে পারেননি তাঁদের বিজ্ঞানীরা কী অবিশ্বাস্য জিনিস বানিয়েছেন; তারা আল্টোকে একটি অপ্রয়োজনীয় ব্যয়বহুল খেলনা মনে করে ফেলে রেখেছিলেন!

৩. হোমব্রু কম্পিউটার ক্লাব এবং অ্যাপল টু (Apple II)

জেরক্সের অলসতার সুযোগে সিলিকন ভ্যালির গ্যারেজে শুরু হলো শৌখিন প্রযুক্তিপ্রেমীদের এক গণঅভ্যুত্থান। ১৯৭৫ সালে শুরু হলো বিখ্যাত **হোমব্রু কম্পিউটার ক্লাব (Homebrew Computer Club)**।

সেখানে উপস্থিত হতেন হিউলেট-প্যাকার্ডের তরুণ প্রকৌশলী **স্টিভ ওজনিয়াক**। মাত্র ২৫ ডলারের এমওএস ৬৫০২ প্রসেসর দিয়ে ওজনিয়াক রাতের পর রাত জেগে তৈরি করলেন ঘরের টিভির সাথে যুক্ত করার মতো কম্পিউটার। তাঁর বন্ধু **স্টিভ জবস** এই সার্কিট বোর্ড বিক্রির সিদ্ধান্ত নেন—জন্ম হলো অ্যাপল ওয়ান (Apple I)।

১৯৭৭ সালে তাঁরা উন্মোচন করেন **অ্যাপল টু (Apple II)**। সুন্দর প্লাস্টিকের ক্যাবিনেট, রঙিন গ্রাফিক্স, সাউন্ড এবং ড্যান ব্রিকলিনের তৈরি প্রথম স্প্রেডশিট **ভিসিক্যালক (VisiCalc)**-এর কারণে অ্যাপল টু বিশ্বজুড়ে ব্যবসা প্রতিষ্ঠান ও সাধারণ পরিবারের ঘরে ঘরে প্রবেশ করতে শুরু করে।

৪. ১৯৮৪: ম্যাকিনটোশ এবং জনতার মুক্তি

১৯৭৯ সালের ডিসেম্বরে স্টিভ জবস জেরক্স পার্ক পরিদর্শন করেন। সেখানে আল্টোর বিটম্যাপড স্ক্রিনে মাউস দিয়ে উইন্ডো নাড়াচাড়া করতে দেখে জবস বিদ্যুতাহত হয়ে পড়েন। তিনি উপলব্ধি করলেন—ভবিষ্যতে পৃথিবীর প্রতিটি কম্পিউটার ঠিক এভাবেই চলবে!

জবস অ্যাপলে ফিরে এসে তৈরি করলেন ঐতিহাসিক **ম্যাকিনটোশ (Macintosh)** দল। বিল অ্যাটকিনসন, অ্যান্ডি হার্টজফেল্ড এবং সুসান কেয়ারের মতো প্রতিভারা জেরক্সের গবেষণাকে সাধারণ মানুষের জন্য সহজবোধ্য রূপ দিলেন—তৈরি হলো ট্র্যাশ ক্যান আইকন, মেনুবার এবং সহজে ক্লিক করার পরিবেশ।

১৯৮৪ সালের ২৪ জানুয়ারি স্টিভ জবস একটি ব্যাগ থেকে ম্যাকিনটোশ বের করলেন। কম্পিউটারটি নিজ কণ্ঠে কথা বলে নিজের পরিচয় দিল এবং স্ক্রিনে গ্রাফিক্স এঁকে দেখাল। কমান্ড লাইনের কালো পর্দার দিন শেষ হলো; কম্পিউটিং হয়ে উঠল জীবন্ত, ভিজ্যুয়াল এবং ব্যক্তিগত।

প্রধান একাডেমিক তথ্যসূত্র

- Engelbart, D. C. (1968). A research center for augmenting human intellect. *AFIPS FJCC*, 33, 395–410.
- Kay, A., & Goldberg, A. (1977). Personal Dynamic Media. *Computer*, 10(3), 31–41.
- Thacker, C. P., et al. (1982). Alto: A personal computer. In *Computer Structures*, McGraw-Hill.
- Hiltzik, M. A. (1999). *Dealers of Lightning: Xerox PARC*. HarperBusiness.

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "ব্যক্তিগত কম্পিউটারের বিপ্লব — জেরক্স পার্কের আল্টো, অ্যাপল টু এবং জিইউআই (GUI) রূপান্তর"। কম্পিউটিং ও এআইয়ের ইতিহাস, খণ্ড ১১। https://shakilmahmud.com/bn/history-computing-ai-part-11-personal-computing-and-gui-bn/

Shakil Mahmud • Research Monograph

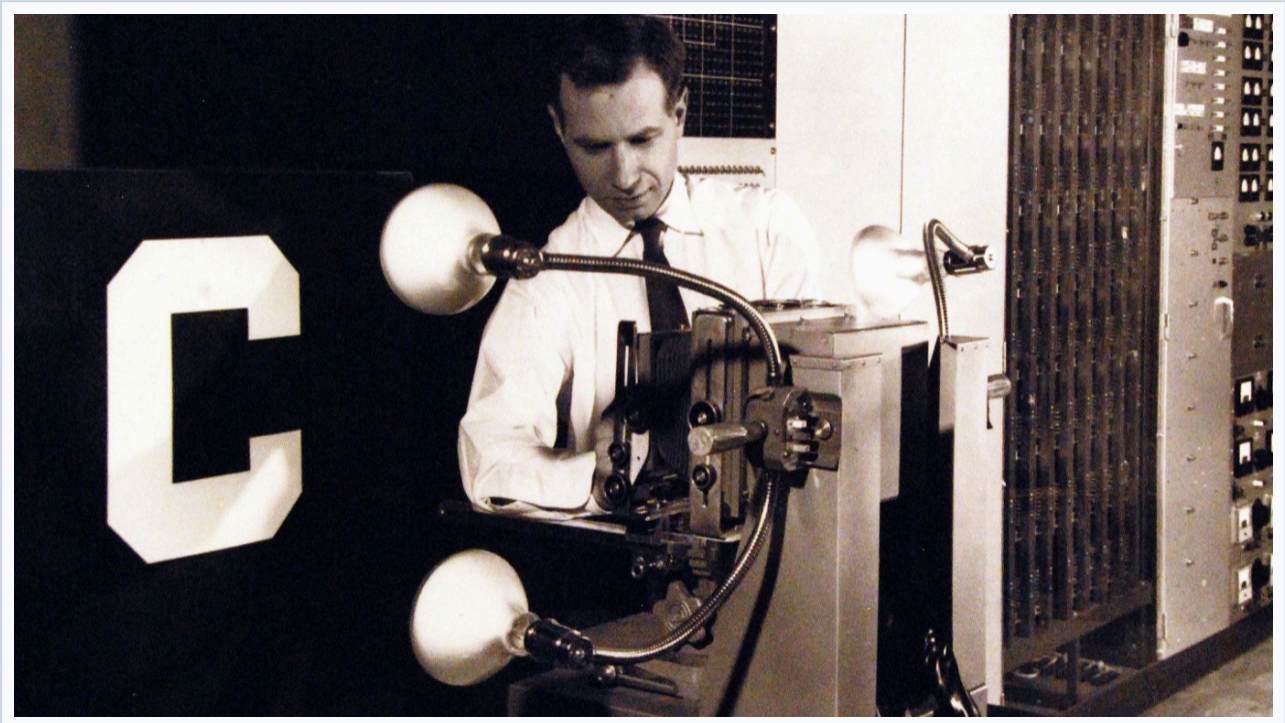
শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • দ্বাদশ খণ্ড

পারসেপট্রন ও প্রথম এআই শীতকাল — ফ্র্যাঙ্ক রোজেনব্ল্যাট, মিনস্কি-পাপার্ট সমালোচনা এবং লাইটহিল বিতর্ক

পারসেপট্রন ও প্রথম এআই শীতকাল — ফ্র্যাঙ্ক রোজেনব্ল্যাট, মিনস্কি-পাপার্ট সমালোচনা এবং লাইটহিল বিতর্ক

673 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ১২: *চিত্র: ড. ফ্র্যাঙ্ক রোজেনব্ল্যাট এবং মার্ক ১ পারসেপট্রন (১৯৫৮–১৯৬০)। কর্নেল অ্যারোনটিক্যাল ল্যাবে নির্মিত এই অ্যানালগ নিউরাল নেটওয়ার্ক ৪০০টি ফটোকোষ ও মোটর-চালিত পটেনশিওমিটারের সাহায্যে অপটিক্যাল বর্ণমালা চেনার মাধ্যমে কানেকশনিজমের প্রথম স্বর্ণযুগের সূচনা করেছিল।*

১৯৫৮ সালের এক তপ্ত গ্রীষ্মে মার্কিন নৌবাহিনীর গবেষণাগার থেকে ওয়াশিংটনে এক সংবাদ সম্মেলনের আয়োজন করা হয়। সেখানে এমন এক যন্ত্রের ঘোষণা দেওয়া হলো যা সায়েন্স ফিকশনকেও হার মানায়: এমন এক ইলেকট্রনিক মেশিন যা অভিজ্ঞতার মাধ্যমে শিখতে পারে, চোখ দিয়ে দেখতে পারে এবং ভবিষ্যতে একা একা হাঁটতে, কথা বলতে ও নিজের অনুরূপ বংশবৃদ্ধি করতে পারবে! এটি ছিল ফ্র্যাঙ্ক রোজেনব্ল্যাটের পারসেপট্রন। কিন্তু মাত্র এগারো বছর পর মারভিন মিনস্কি ও সেমুর পাপার্টের এক নির্মম গাণিতিক সমালোচনা পুরো এআই জগতকে এক দশকে দীর্ঘ বরফযুগে নিক্ষেপ করে: শুরু হয় প্রথম এআই শীতকাল।

১. জৈবিক অনুপ্রেরণা: ম্যাককুলক, পিটস এবং হেব

ডার্টমাউথের বিজ্ঞানীরা যখন দাবা খেলা ও আনুষ্ঠানিক লজিক দিয়ে মানুষের বুদ্ধিমত্তাকে উপর থেকে নিচে (Top-down) সাজানোর চেষ্টা করছিলেন, তখন বিজ্ঞানীদের অপর একটি দল মস্তিষ্ক থেকে অনুপ্রেরণা নিয়ে নিচ থেকে উপরে (Bottom-up) বুদ্ধিমত্তা তৈরির পথ খুঁজছিলেন—যাকে বলা হয় **কানেকশনিজিম (Connectionism)** বা কৃত্রিম নিউরাল নেটওয়ার্ক।

১৯৪৩ সালে নিউরোফিজিওলজিস্ট **ওয়ারেন ম্যাককুলক** এবং প্রতিভাবান তরুণ গণিতবিদ **ওয়াল্টার পিটস** জীবদেহের একটি নিউরনকে সরল গাণিতিক মডেলে রূপ দেন:

$$y = \Theta \left(\sum_{i=1}^{n} w_i x_i – \theta \right)$$

১৯৪৯ সালে কানাডীয় মনোবিজ্ঞানী **ডোনাল্ড হেব** নিউরনের শেখার মূল জৈবিক সূত্র প্রকাশ করেন, যা **হিবিয়ান লার্নিং (Hebbian Learning)** নামে পরিচিত:

> *“যেসব নিউরন একসাথে সক্রিয় হয়, তাদের মধ্যকার সংযোগ শক্ত হয় (Neurons that fire together, wire together)।”*

২. ফ্র্যাঙ্ক রোজেনব্ল্যাট এবং মার্ক ১ পারসেপট্রন

১৯৫৭ সালে কর্নেল অ্যারোনটিক্যাল ল্যাবরেটরিতে মনোবিজ্ঞানী **ফ্র্যাঙ্ক রোজেনব্ল্যাট** তৈরি করেন পৃথিবীর প্রথম কার্যকর কৃত্রিম নিউরাল নেটওয়ার্ক মেশিন: **মার্ক ১ পারসেপট্রন (Mark I Perceptron)**।

এটি কোনো সফটওয়্যার ছিল না; এটি ছিল একটি বিশাল এনালগ হার্ডওয়্যার যন্ত্র:

- **রেটিনা:** ২০x২০ আকারের ৪০০টি ক্যাডমিয়াম-সালফাইড ফটোকোষযুক্ত ক্যামেরা, যা অক্ষরের ছবি ইনপুট হিসেবে গ্রহণ করত।
- **মোটর-চালিত সিন্যাপটিক ওয়েট:** প্রতিটি সিন্যাপটিক ওয়েট ছিল একটি করে ইলেকট্রিক্যাল পটেনশিওমিটার, যা ছোট ছোট মোটরের সাহায্যে ঘুরে ঘুরে রেজিস্ট্যান্স পরিবর্তন করত! ভুল হলে মোটর উল্টো দিকে ঘুরে মান ঠিক করে দিত।

পারসেপট্রন কনভার্জেন্স থিওরেম

রোজেনব্ল্যাট গাণিতিকভাবে প্রমাণ করেন বিখ্যাত **পারসেপট্রন কনভার্জেন্স থিওরেম (Perceptron Convergence Theorem)**: যদি দুটি ক্লাসের ডেটাকে একটি সমতল বা হাইপারপ্লেন দিয়ে আলাদা করা সম্ভব হয় (Linearly Separable), তবে পারসেপট্রন অ্যালগরিদম নিশ্চিতভাবে সীমিত সংখ্যক ধাপে সঠিক ওজন খুঁজে বের করে নিখুঁত শ্রেণিবিন্যাস সম্পন্ন করবে!

৩. মিনস্কি ও পাপার্টের চরম আঘাত: এক্সওআর (XOR) সংকট

পারসেপট্রন নিয়ে সংবাদমাধ্যমের অতিরিক্ত অতিরঞ্জন এবং রোজেনব্ল্যাটের আকাশচুম্বী দাবির কারণে ক্ষুব্ধ হন এমআইটির প্রতীকী এআইয়ের প্রবক্তারা। ১৯৬৯ সালে এমআইটি এআই ল্যাবের প্রতিষ্ঠাতা **মারভিন মিনস্কি** এবং **সেমুর পাপার্ট** প্রকাশ করেন এক কালান্তক গবেষণামূলক গ্রন্থ: *পারসেপট্রনস (Perceptrons)*।

মিনস্কি ও পাপার্ট কোনো তর্কে যাননি; তাঁরা অকাট্য জ্যামিতিক প্রমাণের সাহায্যে দেখিয়ে দিলেন যে একটি একক স্তরের পারসেপট্রন গণিতের অতি সাধারণ **এক্সক্লুসিভ-অর (XOR)** লজিকও শিখতে পারে না!

Shakil Mahmud • Research Monograph

দ্বিমাত্রিক তলে একটি সরলরেখা টেনে কখনো XOR-এর চারটি বিন্দুকে (০, ০ → ০; ১, ০ → ১; ০, ১ → ১; ১, ১ → ০) আলাদা করা সম্ভব নয়। এটি একটি নন-লিনিয়ার সমস্যা।

যদিও মাল্টিলেয়ার পারসেপট্রন দিয়ে এই সমস্যা সমাধান সম্ভব, কিন্তু মিনস্কি ও পাপার্ট বইতে চরম হতাশা ব্যক্ত করে লিখেছিলেন যে ভেতরের লুকায়িত স্তরগুলোকে (Hidden Layers) প্রশিক্ষণ দেওয়ার মতো কোনো কার্যকর গাণিতিক অ্যালগরিদম হয়তো কোনোদিনই খুঁজে পাওয়া যাবে না!

৪. লাইটহিল রিপোর্ট এবং প্রথম এআই শীতকাল (AI Winter)

মিনস্কি ও পাপার্টের এই বইয়ের প্রভাব ছিল প্রলয়ঙ্করী। নিউরাল নেটওয়ার্কের সমস্ত গবেষণা তহবিল রাতারাতি বন্ধ হয়ে গেল। যে বিজ্ঞানীরা নিউরাল নেটওয়ার্ক নিয়ে কাজ করতেন, তাদের গবেষণা অনুদান বাতিল করা হলো এবং বিজ্ঞান জার্নালগুলো তাঁদের গবেষণাপত্র প্রকাশ করা বন্ধ করে দিল।

এর পরপরই ১৯৭৩ সালে যুক্তরাজ্যে প্রকাশিত হয় বিখ্যাত **লাইটহিল রিপোর্ট (Lighthill Report)**। বিজ্ঞানী স্যার জেমস লাইটহিল প্রমাণ করেন যে এআই গবেষকরা যেসব বিশাল প্রতিশ্রুতি দিয়ে কোটি কোটি পাউন্ড অনুদান নিয়েছিলেন, বাস্তব জগতে তার সামান্য অংশও পূরণ হয়নি। খেলনা জগতের বাইরে বাস্তব সমস্যার মুখোমুখি হলেই এআই **কম্বিনেটোরিয়াল এক্সপ্লোশন (Combinatorial Explosion)** বা সূচকীয় জটিলতার মুখে পড়ে মুখ থুবড়ে পড়ে।

যুক্তরাষ্ট্রে একই সাথে পাস হয় ম্যানসফিল্ড সংশোধনী, যার ফলে সামরিক উদ্দেশ্যহীন মুক্ত এআই গবেষণায় পেন্টাগনের অর্থায়ন চিরতরে নিষিদ্ধ হয়। ১৯৭৪ থেকে ১৯৮০ সাল পর্যন্ত পুরো এআই জগৎ ঢেকে গেল নিস্তব্ধ বরফের চাদরে—ইতিহাসে যার নাম **প্রথম এআই শীতকাল (First AI Winter)**।

প্রধান একাডেমিক তথ্যসূত্র

- McCulloch, W. S., & Pitts, W. (1943). A logical calculus of ideas. *Bull. Math. Biophys.*, 5(4), 115–133.
- Rosenblatt, F. (1958). The perceptron: a probabilistic model. *Psychological Review*, 65(6), 386–408.
- Minsky, M., & Papert, S. (1969). *Perceptrons*. MIT Press.
- Lighthill, J. (1973). *Artificial Intelligence: A General Survey*. SRC.

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "পারসেপট্রন ও প্রথম এআই শীতকাল — ফ্র্যাঙ্ক রোজেনব্ল্যাট, মিনস্কি-পাপার্ট সমালোচনা এবং লাইটহিল বিতর্ক"। কম্পিউটিং ও এআইয়ের ইতিহাস, খণ্ড ১২। https://shakilmahmud.com/bn/history-computing-ai-part-12-perceptron-and-first-ai-winter-bn/

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • ত্রয়োদশ খণ্ড

এক্সপার্ট সিস্টেম এবং কানেকশনিজমের পুনর্জন্ম — ব্যাকপ্রোপাগেশন ও হপফিল্ড নেটওয়ার্ক

এক্সপার্ট সিস্টেম এবং কানেকশনিজমের পুনর্জন্ম — ব্যাকপ্রোপাগেশন ও হপফিল্ড নেটওয়ার্ক

832 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ১৩: *চিত্র: থিংকিং মেশিনস কানেকশন মেশিন সিএম-১ (১৯৮৫)। ড্যানি হিলিসের পরিকল্পিত এই কালো মনোলিথ সুপারকম্পিউটারে ছিল ৬৫,৫৩৬টি প্যারালাল ১-বিট মাইক্রোপ্রসেসর এবং হাজার হাজার লাল এলইডি বাতি—যা ব্যাকপ্রোপাগেশন অ্যালগরিদমের সাথে সাথে ম্যাসিভলি প্যারালাল কানেকশনিস্ট নিউরাল কম্পিউটিংয়ের পুনর্জন্ম ঘটিয়েছিল।*

প্রথম এআই শীতকালের তীব্র তুষারপাতের পর ১৯৮০-এর দশকে কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তা দুটি সম্পূর্ণ বিপরীত ধারায় বিভক্ত হয়ে পড়েছিল। তৎকালীন কর্পোরেট বিশ্ব ঝুঁকে পড়েছিল ‘এক্সপার্ট সিস্টেম’-এর দিকে: মানুষের পেশাগত জ্ঞানকে হাজার হাজার কঠিন নিয়মে লিপিবদ্ধ করে বাণিজ্যিকভাবে বিক্রি করা। অন্যদিকে বিশ্ববিদ্যালয়ের নিভৃত গবেষণাগারে একদল তরুণ বিজ্ঞানী নিউরাল নেটওয়ার্কের স্বপ্নকে মরতে দেননি। ভেক্টর ক্যালকুলাস প্রয়োগ করে তাঁরা প্রমাণ করলেন যে উপযুক্ত গাণিতিক অ্যালগরিদমের সাহায্যে নিউরাল নেটওয়ার্ক নিজ থেকেই জটিল প্যাটার্ন ও অভ্যন্তরীণ উপস্থাপনা শিখে নিতে পারে।

১. এক্সপার্ট সিস্টেমের উত্থান: জ্ঞানের বাণিজ্যায়ন

১৯৮০ সালের দিকে সাধারণ-উদ্দেশ্যমূলক যুক্তি বাদ দিয়ে বিজ্ঞানীরা সুনির্দিষ্ট ক্ষেত্রের বাস্তব জ্ঞানের ওপর জোর দিতে শুরু করেন। স্ট্যানফোর্ড বিশ্ববিদ্যালয়ের অধ্যাপক **এডওয়ার্ড ফিজেনবাউম** ঘোষণা করেন তাঁর বিখ্যাত নীতি: মানুষের বুদ্ধি কোনো অলৌকিক যুক্তির কারণে নয়, বরং তার দীর্ঘদিনের অর্জিত গভীর বাস্তব জ্ঞানের ভাণ্ডার থেকেই উৎসারিত হয়।

Shakil Mahmud • Research Monograph

জন্ম হলো **এক্সপার্ট সিস্টেম (Expert Systems)**—যা চিকিৎসা, ভূতত্ত্ব বা ব্যাংকিংয়ের মতো সুনির্দিষ্ট পেশায় মানুষের বিশেষজ্ঞ সিদ্ধান্তের অনুকরণ করত। এর মূল কাঠামো ছিল দুটি অংশে বিভক্ত:

- **নলেজ বেস (Knowledge Base):** মানুষের বিশেষজ্ঞ জ্ঞানকে হাজার হাজার `IF <শর্ত> THEN <সিদ্ধান্ত>` নিয়মে লিপিবদ্ধ করে রাখা।
- **ইনফারেন্স ইঞ্জিন (Inference Engine):** যুক্তির ইঞ্জিন, যা ফরওয়ার্ড বা ব্যাকওয়ার্ড চেইনিংয়ের মাধ্যমে লক্ষণগুলো বিচার করে সিদ্ধান্তে পৌঁছাত।

মাইসিন (MYCIN) এবং এক্সকন (XCON)

স্ট্যানফোর্ডের তৈরি **মাইসিন (MYCIN)** রক্তের মারাত্মক ব্যাকটেরিয়া সংক্রমণ নির্ণয় করে অ্যান্টিবায়োটিকের সঠিক মাত্রা নির্ধারণ করত। চিকিৎসা জগতের অনিশ্চয়তা পরিমাপের জন্য এটি উদ্ভাবন করে **সার্টেইনটি ফ্যাক্টর (Certainty Factor – CF)**। পরীক্ষায় দেখা গেছে, শীর্ষ চিকিৎসকদের প্রেসক্রিপশনের চেয়ে মাইসিনের সিদ্ধান্ত শতকরা ৬৫ ভাগ ক্ষেত্রে বেশি নির্ভুল ছিল!

১৯৮০ সালে ডিইসি (DEC) কোম্পানি কম্পিউটার হার্ডওয়্যার তৈরির স্বয়ংক্রিয় নির্দেশনার জন্য ব্যবহার শুরু করে **এক্সকন (XCON)**। বছরে ২০,০০০ কম্পিউটারের অর্ডার নির্ভুলভাবে সম্পন্ন করে এটি কোম্পানিকে বছরে ৪ কোটি ডলার সাশ্রয় করে দিত। জাপান ঘোষণা করল তাদের ৮৫ কোটি ডলারের **ফিফথ জেনারেশন কম্পিউটার সিস্টেম (FGCS)** প্রকল্প।

২. জন হপফিল্ড এবং শক্তি ল্যান্ডস্কেপ (Hopfield Networks)

১৯৮২ সালে তাত্ত্বিক পদার্থবিদ **জন হপফিল্ড** একটি যুগান্তকারী পেপার প্রকাশ করেন। হপফিল্ড দেখান যে পরস্পর যুক্ত নিউরাল নেটওয়ার্কের আচরণ হুবহু পদার্থবিজ্ঞানের **আইসিং স্পিন গ্লাস (Ising spin glass)** মডেলের মতো আচরণ করে। তিনি নেটওয়ার্কের সামগ্রিক অবস্থাকে একটি **শক্তি অপেক্ষক বা এনার্জি ফাংশন (Energy Function – E)** দিয়ে সংজ্ঞায়িত করেন:

$$E = -\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} w_{ij} s_i s_j + \sum_{i=1}^{N} \theta_i s_i$$

হপফিল্ড প্রমাণ করেন যে নেটওয়ার্কের নিউরনগুলো যখন কাজ করে, তখন পুরো সিস্টেমটি পাহাড়ের ঢাল বেয়ে নেমে আসার মতো তার সর্বনিম্ন শক্তির অবস্থানে (Local Energy Minimum) পৌঁছে যায়। হপফিল্ড নেটওয়ার্ক ছিল একটি চমৎকার স্মৃতিভাণ্ডার: একটি ঝাপসা বা কাটাছেঁড়া ছবি ইনপুট দিলে এটি নিজের মেমোরি থেকে সম্পূর্ণ নিখুঁত মূল ছবিটি উদ্ধার করে ফুটিয়ে তুলতে পারত!

৩. ব্যাকপ্রোপাগেশন বিপ্লব (১৯৮৬): এক্সওআর অভিশাপের মুক্তি

হপফিল্ডের সাফল্য সত্ত্বেও নিউরাল নেটওয়ার্কের সবচেয়ে বড় দুর্বলতা ছিল: মিনস্কি ও পাপার্টের ১৯৬৯ সালের আক্রমণ। একক স্তরের নিউরাল নেটওয়ার্ক XOR ফাংশন শিখতে পারে না, আর একাধিক স্তরের নিউরাল নেটওয়ার্কের ভেতরের লুকায়িত স্তরকে (Hidden Layers) প্রশিক্ষণ দেওয়ার কোনো উপায় কারও জানা ছিল না।

১৯৮৬ সালে বিখ্যাত *নেচার (Nature)* জার্নালে প্রকাশিত মাত্র তিন পৃষ্ঠার একটি অমর পেপারে সেই অসম্ভবকে সম্ভব করলেন **ডেভিড রিউমেলহার্ট, জিওফ্রি হিন্টন এবং রোনাল্ড উইলিয়ামস**: *লার্নিং রিপ্রেজেন্টেশনস বাই ব্যাক-প্রোপাগেটিং এররস*।

ব্যাকপ্রোপাগেশনের গণিত

হিন্টন এবং তাঁর সহকর্মীরা দুটি বৈপ্লবিক রূপান্তর ঘটালেন:

1. রোজেনব্ল্যাটের অপূর্ণাঙ্গ স্টেপ ফাংশনের বদলে মসৃণ ও ডিফারেনশিয়েবল **সিগময়েড অ্যাক্টিভেশন ফাংশন** ব্যবহার: $\sigma(z) = \frac{1}{1+e^{-z}}$।
2. ক্যালকুলাসের **চেইন রুল (Chain Rule)** ব্যবহার করে আউটপুটের ত্রুটিকে (Error Loss) নেটওয়ার্কের শেষ থেকে উল্টো দিকে পেছনের সমস্ত লুকায়িত স্তরে সঞ্চালিত করা।

আউটপুট লেয়ারের ত্রুটি সংকেত:

$$\delta_k = (\hat{y}_k - y_k) \cdot \sigma'(z_k) = (\hat{y}_k - y_k) \hat{y}_k (1 - \hat{y}_k)$$

আর ভেতরের লুকায়িত স্তরের নিউরনের ত্রুটি পেছনের সমস্ত সংযুক্ত নিউরনের ওজনের গুণফল থেকে সংগৃহীত হয়:

$$\delta_j = \left(\sum_{k} \delta_k w_{jk} \right) \cdot a_j (1 - a_j)$$

এবং ওজনের পরিবর্তন হয় গ্রেডিয়েন্ট ডিসেন্ট নিয়মে: $\Delta w_{ij} = -\eta \cdot \delta_j \cdot a_i$।

হিন্টনরা দেখালেন যে এই ব্যাকপ্রোপাগেশন অ্যালগরিদম দিয়ে মাত্র দুটি হিডেন নিউরন ব্যবহার করেই কুখ্যাত XOR সমস্যা এক নিমেষে সমাধান করা যায়! এক নিউরন শেখে OR লজিক, অপরটি শেখে NAND লজিক—আর আউটপুট নিউরন তাদের মিলিয়ে নিখুঁত XOR তৈরি করে ফেলে। ১৭ বছর পর মিনস্কি ও পাপার্টের দেওয়া অভিশাপ চিরতরে চুরমার হয়ে গেল।

৪. এক্সপার্ট সিস্টেমের পতন: দ্বিতীয় এআই শীতকাল

বিশ্ববিদ্যালয়ে যখন ব্যাকপ্রোপাগেশনের জয়জয়কার, ঠিক তখনই ১৯৮৭ সালে কর্পোরেট এক্সপার্ট সিস্টেমের বাজারে বিপর্যয় নেমে এলো:

- **ভঙ্গুরতা সমস্যা (Brittleness):** কোনো রোগী বা সমস্যার লক্ষণ যদি পূর্বনির্ধারিত ৫,০০০ নিয়মের সামান্য বাইরে চলে যেত, তবে পুরো এক্সপার্ট সিস্টেম চরম অদ্ভুত ও ভুল উত্তর দিতে শুরু করত।
- **রুলের স্ববিরোধিতা:** নলেজ বেসে নিয়মের সংখ্যা ১০ হাজার ছাড়িয়ে গেলে একটি নিয়মের সাথে আরেকটি নিয়মের দ্বন্দ্ব তৈরি হতো, যা সমাধান করা মানুষের পক্ষে অসম্ভব হয়ে পড়ে।
- **হার্ডওয়্যার পতন:** সিম্বলিক্সের মতো কোম্পানিগুলো যেসব বিশেষায়িত লিস্প মেশিন ১ লাখ ডলারে বিক্রি করত, সাধারণ ইন্টেল ৩৮৬ ও সান ওয়ার্কস্টেশন তার চেয়ে অনেক সস্তায় সেই সফটওয়্যার চালাতে শুরু করল।

১৯৮৭ সালে রাতারাতি কয়েক ডজন এআই কোম্পানি দেউলিয়া হয়ে গেল। শুরু হলো ইতিহাসের **দ্বিতীয় এআই শীতকাল (Second AI Winter)**। কিন্তু এবারের শীতকাল ছিল অস্থায়ী; কারণ ভেতরে ভেতরে আধুনিক মেশিন লার্নিং ও ইন্টারনেটের মহাসমুদ্র তৈরি হচ্ছিল।

Shakil Mahmud • Research Monograph

প্রধান একাডেমিক তথ্যসূত্র

- Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., & Williams, R. J. (1986). Learning representations by back-propagating errors. *Nature*, 323, 533–536.
- Hopfield, J. J. (1982). Neural networks with emergent computational abilities. *PNAS*, 79(8), 2554–2558.
- Shortliffe, E. H. (1976). *MYCIN*. Elsevier.
- Feigenbaum, E. A. (1977). The art of artificial intelligence. *IJCAI*, 1014–1029.

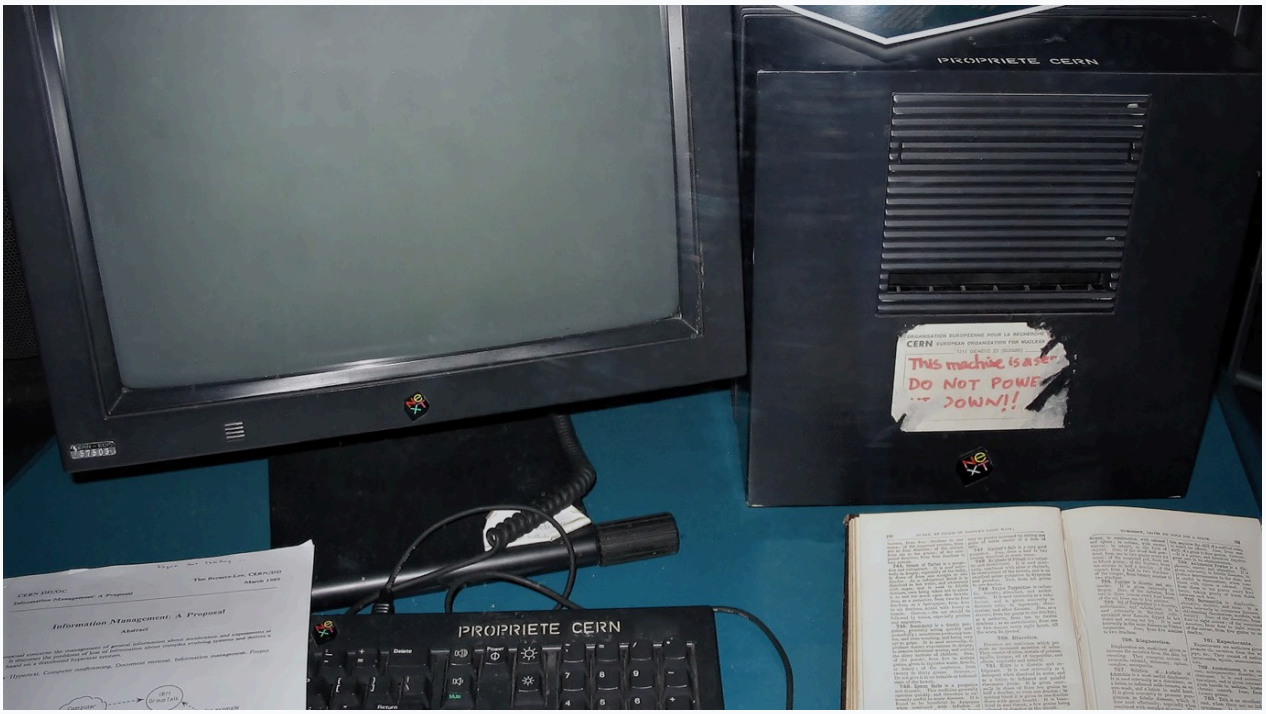
সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "এক্সপার্ট সিস্টেম এবং কানেকশনিজমের পুনর্জন্ম — ব্যাকপ্রোপাগেশন ও হপফিল্ড নেটওয়ার্ক"। কম্পিউটিং ও এআইয়ের ইতিহাস, খণ্ড ১৩। https://shakilmahmud.com/bn/history-computing-ai-part-13-expert-systems-and-backpropagation-bn/

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • চতুর্দশ খণ্ড

ওয়ার্ল্ড ওয়াইড ওয়েব — টিম বার্নার্স-লি, সার্ন (CERN) এবং তথ্যের উন্মুক্ত মহাসড়ক

ওয়ার্ল্ড ওয়াইড ওয়েব — টিম বার্নার্স-লি, সার্ন (CERN) এবং তথ্যের উন্মুক্ত মহাসড়ক

618 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ১৪: *চিত্র: সার্ন (CERN)-এ টিম বার্নার্স-লির ব্যবহৃত মূল নেক্সটকিউব (NeXTcube) ওয়েব সার্ভার (১৯৯০)। এই কম্পিউটারে বসে স্যার টিম বার্নার্স-লি ওয়ার্ল্ড ওয়াইড ওয়েবের মূল ভিত্তি—এইচটিটিপি (HTTP), এইচটিএমএল (HTML), ইউআরএল (URL) এবং প্রথম ব্রাউজার তৈরি করেছিলেন; যার গায়ে লেখা ছিল ঐতিহাসিক সতর্কবার্তা: 'This machine is a server. DO NOT POWER IT DOWN!'*

১৯৮৯ সালের মার্চ মাসে সুইজারল্যান্ডের জেনেভায় ইউরোপীয় নিউক্লিয়ার রিসার্চ অর্গানাইজেশন (CERN)-এর এক তরুণ ইংরেজ কম্পিউটার বিজ্ঞানী তাঁর পরিচালকের টেবিলে একটি সাধারণ প্রস্তাবনা জমা দেন: “ইনফরমেশন ম্যানেজমেন্ট: আ প্রপোজাল”। পরিচালক মাইক সেন্ডাল কাগজের এক কোনায় লিখে দিলেন ঐতিহাসিক চারটি শব্দ: “অস্পষ্ট কিন্তু উত্তেজনাপূর্ণ...”। সেই ছোট্ট স্ফুলিঙ্গ থেকেই জন্ম নিল ওয়ার্ল্ড ওয়াইড ওয়েব (World Wide Web)—মানবজাতির জ্ঞানের এক মুক্ত মহাসমুদ্র, যা একাডেমিক কম্পিউটার নেটওয়ার্ককে মানব সভ্যতার উন্মুক্ত গণমঞ্চে রূপান্তরিত করল।

১. সংযুক্ত ভাবনার দর্শন: ভ্যানিভার বুশ থেকে হাইপারটেক্সট

কম্পিউটার তৈরির বহু আগে ১৯৪৫ সালে মার্কিন বিজ্ঞান উপদেষ্টা **ভ্যানিভার বুশ** প্রকাশ করেন বিখ্যাত প্রবন্ধ *অ্যাজ উই মে থিংক (As We May Think)*। মানুষের মস্তিষ্ক আলমারির ফাইলের মতো ধাপে ধাপে চিন্তা করে না; মস্তিষ্ক কাজ করে সংযোগের মাধ্যমে—একটি ধারণা থেকে পলকে আরেকটি স্মৃতিতে লাফিয়ে চলে।

Shakil Mahmud • Research Monograph

বুশ কল্পনা করেছিলেন **মেমেক্স (Memex)** নামে এক যন্ত্রের—যেখানে মাইক্রোফিল্মের সাহায্যে একটি বইয়ের পাতার সাথে আরেকটি বইয়ের পাতার স্থায়ী সংযোগ তৈরি করা যাবে। ১৯৬৫ সালে প্রযুক্তি স্বপ্নদ্রষ্টা **টেড নেলসন** উদ্ভাবন করেন অমর শব্দ **হাইপারটেক্সট (Hypertext)**—এমন এক লেখা যার ভেতরে শব্দের সাথে নীল লিংকে ক্লিক করে সরাসরি অন্য যেকোনো লেখায় চলে যাওয়া যায়।

২. টিম বার্নার্স-লি এবং সার্ন (CERN)-এর মহাবিজ্ঞান

১৯৮৯ সালে সার্ন ছিল বিশ্বের সর্ববৃহৎ কণা পদার্থবিজ্ঞান গবেষণাগার। পৃথিবীর বিভিন্ন দেশের বিজ্ঞানীরা সেখানে এসে গবেষণা করতেন, কিন্তু তাঁদের কম্পিউটারগুলো একে অপরের সাথে মিলত না। কেউ চালাত ইউনিক্স, কেউ ডস, কেউবা ম্যাকিনটোশ। গুরুত্বপূর্ণ গবেষণার তথ্য বিভিন্ন ফোল্ডারে হারিয়ে যেত।

কম্পিউটার বিজ্ঞানী **টিম বার্নার্স-লি** উপলব্ধি করলেন যে সবার কম্পিউটার এক করার চেষ্টা না করে ইন্টারনেটের টিসিপি/আইপি নেটওয়ার্কের ওপর একটি উন্মুক্ত সার্বজনীন পর্দা বিছিয়ে দেওয়া সম্ভব। তিনি উদ্ভাবন করলেন ওয়েবের তিনটি মূল স্তম্ভ:

- **ইউআরআই / ইউআরএল (URL):** ইন্টারনেটের যেকোনো ফাইলের একটি সার্বজনীন স্থায়ী ঠিকানা: `http://info.cern.ch/...`
- **এইচটিটিপি (HTTP):** টেক্সট-ভিত্তিক যোগাযোগ প্রটোকল, যার সাহায্যে ব্রাউজার ওয়েব সার্ভারের কাছে পেজ চায় এবং সার্ভার তা ফেরত পাঠায়।
- **এইচটিএমএল (HTML):** সাধারণ ট্যাগযুক্ত ভাষা, যার মাধ্যমে লেখার ভেতর `<a href="...">` লিংকের সাহায্যে বিশ্বের যেকোনো ওয়েব পেজকে সংযুক্ত করা যায়।

নেক্সটকিউব এবং ১৯৯০ সালের বড়দিন

স্টিভ জবসের তৈরি কালো রঙের **নেক্সটকিউব (NeXTcube)** কম্পিউটারে বসে টিম বার্নার্স-লি মাত্র তিন মাসে তৈরি করলেন বিশ্বের প্রথম ওয়েব সার্ভার সফটওয়্যার এবং প্রথম ওয়েব ব্রাউজার-এডিটর: **WorldWideWeb**।

১৯৯০ সালের বড়দিনে সার্নের গবেষণাগারে প্রথম ওয়েবসাইট চালু হয়। সার্ভার যাতে কেউ ভুল করে বন্ধ না করে দেয়, সেজন্য বার্নার্স-লি কম্পিউটারের গায়ে একটি চিরকুট সেঁটে দিয়েছিলেন: *“This machine is a server. DO NOT POWER IT DOWN!” (এই মেশিনটি একটি সার্ভার। ভুলেও এর পাওয়ার বন্ধ করবেন না!)*

৩. মুক্ত পৃথিবীর শ্রেষ্ঠ উপহার: ৩০ এপ্রিল, ১৯৯৩

ইতিহাসে এমন বহু প্রযুক্তি ছিল যা কর্পোরেট লোভের কারণে হারিয়ে গেছে। কিন্তু টিম বার্নার্স-লি এক অনন্য ঐতিহাসিক নৈতিক অবস্থান নিলেন: তিনি দাবি করলেন যে ওয়ার্ল্ড ওয়াইড ওয়েবের সমস্ত প্রোটোকল সমগ্র মানবজাতির জন্য চিরকালের মতো সম্পূর্ণ উন্মুক্ত এবং প্যাটেন্টমুক্ত থাকতে হবে।

৩০ এপ্রিল, ১৯৯৩ তারিখে সার্ন একটি ঐতিহাসিক আইনি দলিল প্রকাশ করে ওয়ার্ল্ড ওয়াইড ওয়েবের সমস্ত সফটওয়্যারকে **পাবলিক ডোমেইনে (Public Domain)** উন্মুক্ত করে দেয়। কোনো কোম্পানি বা ব্যক্তি কাউকে এক পয়সা রয়্যালটি না দিয়ে নিজের সার্ভার তৈরি ও ব্রাউজার বানানোর স্বাধীনতা লাভ করল। এই নিঃস্বার্থ দানের কারণেই ওয়েব দাবানলের মতো গোটা বিশ্বে ছড়িয়ে পড়েছিল।

৪. মার্ক অ্যান্ড্রিজেন এবং মোজাইক (Mosaic) ব্রাউজার বিপ্লব

১৯৯৩ সালে ইলিনয় বিশ্ববিদ্যালয়ের একুশ বছর বয়সী তরুণ ছাত্র **মার্ক অ্যান্ড্রিজেন** এবং **এরিক বিনা** তৈরি করলেন **এনসিএসএ মোজাইক (NCSA Mosaic)** ব্রাউজার। মোজাইক এনে দিল দুটি মহা-উদ্ভাবন:

1. **ইনলাইন কালার ইমেজ (`<img>` ট্যাগ):** লেখার পাশাপাশি একই পেজে রঙিন ছবি ফুটিয়ে তোলার সুবিধা।
2. **এক ক্লিকে ইনস্টলেশন:** উইন্ডোজ ও ম্যাকিনটোশে মাউসের এক ক্লিকে ব্যাক, ফরোয়ার্ড এবং বুকমার্ক ব্যবহারের সুযোগ।

মোজাইক ওয়েবকে সাধারণ মানুষের সংস্কৃতির কেন্দ্রবিন্দুতে পরিণত করল। অ্যান্ড্রিজেন সিলিকন ভ্যালিতে গিয়ে প্রতিষ্ঠা করলেন **নেটস্কেপ (Netscape)**। ১৯৯৫ সালের ৯ আগস্ট নেটস্কেপের ঐতিহাসিক আইপিও (IPO) ওয়াল স্ট্রিটে বিস্ফোরণ ঘটিয়ে সূচনা করল ইতিহাসের মহাকাব্যিক ডট-কম বিপ্লব।

প্রধান একাডেমিক তথ্যসূত্র

- Berners-Lee, T. (1989). *Information Management: A Proposal*. CERN.
- Berners-Lee, T., et al. (1994). The World-Wide Web. *CACM*, 37(8), 76–82.
- Bush, V. (1945). As We May Think. *The Atlantic Monthly*, 176(1), 101–108.
- Berners-Lee, T. (1999). *Weaving the Web*. HarperSanFrancisco.

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "ওয়ার্ল্ড ওয়াইড ওয়েব — টিম বার্নার্স-লি, সার্ন (CERN) এবং তথ্যের উন্মুক্ত মহাসড়ক"। কম্পিউটিং ও এআইয়ের ইতিহাস, খণ্ড ১৪। https://shakilmahmud.com/bn/history-computing-ai-part-14-tim-berners-lee-and-world-wide-web-bn/

Shakil Mahmud • Research Monograph

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • পঞ্চদশ খণ্ড

পরিসংখ্যানগত এআই এবং ডিপ ব্লু — সাপোর্ট ভেক্টর মেশিন, র‍্যান্ডম ফরেস্ট ও কাসপারভের পরাজয়

পরিসংখ্যানগত এআই এবং ডিপ ব্লু — সাপোর্ট ভেক্টর মেশিন, র‍্যান্ডম ফরেস্ট ও কাসপারভের পরাজয়

733 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ১৫: *চিত্র: কম্পিউটার হিস্ট্রি মিউজিয়ামে সংরক্ষিত আইবিএম ডিপ ব্লু (১৯৯৭)। ৪৮০টি বিশেষায়িত দাবা ভিএলএসআই চিপযুক্ত ৩২-নোডের এই সুপারকম্পিউটারটি সেকেন্ডে ২০ কোটি চাল বিশ্লেষণ করে ১৯৯৭ সালের মে মাসে বিশ্ব দাবা চ্যাম্পিয়ন গ্যারি কাসপারভকে পরাজিত করে ঐতিহাসিক মাইলফলক স্থাপন করেছিল।*

১৯৯০-এর দশকে কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তা এক গভীর দার্শনিক রূপান্তরের মধ্য দিয়ে গেল। হাত দিয়ে লেখা নিয়মভিত্তিক এক্সপার্ট সিস্টেম বাস্তব জগতের অনিশ্চয়তার মুখে ভেঙে পড়ার পর বিজ্ঞানীরা অনুধাবন করলেন: বুদ্ধিমত্তা কোনো নিখুঁত নিয়ম দিয়ে তৈরি করা সম্ভব নয়; একে গড়ে তুলতে হবে সম্ভাবনা, পরিসংখ্যান এবং বহু-মাত্রিক রৈখিক বীজগণিতের সাহায্যে। ১৯৯৭ সালের ১১ মে নিউ ইয়র্কের এক টেলিভিশন স্টুডিওতে মানুষের মেধা ও সিলিকন কম্পিউটারের এই ঐতিহাসিক দ্বৈরথ এক চরম শিখরে পৌঁছাল—যখন বিশ্ব দাবা চ্যাম্পিয়ন গ্যারি কাসপারভ একটি কম্পিউটারের সামনে মাত্র ১৯ চালে আত্মসমর্পণ করতে বাধ্য হলেন।

১. পরিসংখ্যানগত মোড়: অনিশ্চয়তাকে আলিঙ্গন

চার দশক ধরে এআই গবেষকরা অনিশ্চয়তাকে একটি ত্রুটি হিসেবে বিবেচনা করতেন। কিন্তু ১৯৮৮ সালে ইউসিএলএ-র কম্পিউটার বিজ্ঞানী **জুডিয়া পার্ল** তাঁর যুগান্তকারী গ্রন্থ *প্রবাবিলিস্টিক রিজনিং ইন ইন্টেলিজেন্ট সিস্টেমস*-এ দেখালেন যে অনিশ্চয়তা বাস্তব জগতের এক চিরন্তন ধর্ম।

পার্ল উদ্ভাবন করেন **বায়েসিয়ান নেটওয়ার্ক (Bayesian Networks)**: একটি ডিরেক্টেড অ্যাসাইক্লিক গ্রাফ, যা বিভিন্ন ঘটনার মধ্যকার শর্তসাপেক্ষ সম্ভাবনাকে (Conditional Probability) বায়েসের সূত্রের সাহায্যে যুক্ত করে:

$$P(X_1, X_2, \ldots, X_n) = \prod_{i=1}^{n} P(X_i \mid \text{Parents}(X_i))$$

এর ফলে অসম্পূর্ণ ও কোলাহলপূর্ণ তথ্যের মধ্যেও কম্পিউটার যুক্তিসঙ্গত সিদ্ধান্ত নেওয়ার ক্ষমতা লাভ করল—যা আধুনিক সার্চ ইঞ্জিন, চিকিৎসাবিজ্ঞান এবং স্পিচ রিকগনিশনের ভিত্তি রচনা করে।

২. ভ্লাদিমির ভ্যাপনিক এবং সাপোর্ট ভেক্টর মেশিন (SVM)

১৯৯০-এর দশকে বেল ল্যাবসের গণিতবিদ **ভ্লাদিমির ভ্যাপনিক** এবং কোরিনা কর্টেস উদ্ভাবন করেন **সাপোর্ট ভেক্টর মেশিন (SVM)**।

যেকোনো সাধারণ রেখা টানার বদলে এসভিএম এমন একটি বিভাজন তল বা **ম্যাক্সিমাম-মার্জিন হাইপারপ্লেন** খুঁজে বের করে—যা উভয় ক্লাসের নিকটতম ডেটা পয়েন্টগুলোর (সাপোর্ট ভেক্টর) থেকে সর্বোচ্চ জ্যামিতিক দূরত্ব বজায় রাখে ($M = \frac{২}{\|\mathbf{w}\|}$):

$$\min_{\mathbf{w}, b} \frac{1}{2}\|\mathbf{w}\|^2 \quad \text{subject to } y_i(\mathbf{w}^T\mathbf{x}_i + b) \geq 1$$

কার্নেল ট্রিক: অসীম মাত্রার জাদু

কিন্তু ডেটা যদি বাঁকা বা নন-লিনিয়ার হয়? ভ্যাপনিক এর এক অবিস্মরণীয় সমাধান দিলেন, যার নাম **কার্নেল ট্রিক (Kernel Trick)**। মার্সারের উপপাদ্য ব্যবহার করে ডেটাকে সরাসরি উচ্চ মাত্রায় রূপান্তর না করেই একটি কার্নেল ফাংশনের মাধ্যমে হিসাব করা সম্ভব:

K(\mathbf{x}, \mathbf{x}’) = \exp\left(-\gamma \|\mathbf{x} – \mathbf{x}’\|^2 \right)

এর ফলে ডেটাটি গাণিতিকভাবে একটি *অসীম-মাত্রিক হিলবার্ট স্পেসে* উন্নীত হয়—যেখানে খুব সহজেই একটি সরল রৈখিক তলের সাহায্যে জটিল প্যাটার্নকে নিখুঁতভাবে আলাদা করা যায়! উত্তল গাণিতিক কাঠামো এবং নিখুঁত ফলাফলের কারণে নব্বইয়ের দশকের শেষে এসভিএম নিউরাল নেটওয়ার্ককে পুরোপুরি পেছনে ফেলে মেশিন লার্নিংয়ের রাজত্ব দখল করে নেয়।

৩. এনসেম্বল লার্নিং এবং র‍্যান্ডম ফরেস্ট (Random Forest)

একই সময়ে ইউসি বার্কলের পরিসংখ্যানবিদ **লিও ব্রেইম্যান** উদ্ভাবন করেন **র‍্যান্ডম ফরেস্ট (Random Forests)**। একটিমাত্র সিদ্ধান্ত বৃক্ষ (Decision Tree) প্রায়ই অতিরিক্ত ভ্যারিয়েন্সের কারণে ভুল করে। ব্রেইম্যান শত শত সিদ্ধান্ত বৃক্ষকে দুটি স্তরের দৈবচয়নের (Randomness) মাধ্যমে যুক্ত করেন:

- **বুটস্ট্র্যাপ স্যাম্পলিং (Bagging):** প্রতিটি গাছ মূল ডেটাসেট থেকে এলোমেলোভাবে বাছাই করা স্বাধীন নমুনার ওপর শেখে।

Shakil Mahmud • Research Monograph

- **র‍্যান্ডম ফিচার সিলেকশন:** প্রতিটি শাখায় সেরা বিভাজন খোঁজার সময় সব ফিচারের বদলে দৈবভাবে মাত্র কয়েকটি ফিচার বিবেচনা করা হয়।

শত শত গাছের সম্মিলিত ভোটের মাধ্যমে একটি অসাধারণ স্থিতিশীল ও শক্তিশালী মডেল তৈরি হলো, যা আজকের ব্যাংকিং ও ডেটা সায়েন্স প্রতিযোগিতায় বহুল ব্যবহৃত হয়।

৪. ডিপ ব্লু বনাম গ্যারি কাসপারভ: মে ১৯৯৭

পরিসংখ্যানগত গণিত যখন প্যাটার্ন চিনছিল, তখন দাবা খেলায় মানুষের শ্রেষ্ঠত্বের শেষ সীমানা ভাঙার প্রস্তুতি নিচ্ছিল আইবিএমের তৈরি এক দানবীয় যন্ত্র: **ডিপ ব্লু (Deep Blue)**।

১৯৯৭ সালের মে মাসে নিউ ইয়র্কের ম্যানহাটনে বিশ্ব দাবা চ্যাম্পিয়ন **গ্যারি কাসপারভ** বসলেন ডিপ ব্লুর মুখোমুখি।

ডিপ ব্লুর যান্ত্রিক স্থাপত্য

- **সুপারকম্পিউটার ক্ষমতা:** ৩২-নোডের আইবিএম আরএস/৬০০০ এসপি সুপারকম্পিউটারে ছিল **৪৮০টি বিশেষায়িত দাবা ভিএলএসআই (VLSI) চিপ**।
- **বিশাল গতি:** সেকেন্ডে **২০ কোটি (২০০ মিলিয়ন) চালের অবস্থান** বিশ্লেষণ করতে পারত (যেখানে মানুষের মস্তিষ্ক সেকেন্ডে গড়ে মাত্র ২ থেকে ৩টি অবস্থান দেখতে পায়)।
- **গভীরতা:** আলফা-বিটা মিনিম্যাক্স সার্চের মাধ্যমে এটি সাধারণ খেলায় ১৪ অর্ধ-চাল (Ply) এবং জটিল ট্যাকটিক্যাল অবস্থায় ৪০ অর্ধ-চাল পর্যন্ত ভবিষ্যৎ দেখতে পেত। সাথে ছিল ৭ লাখ গ্র্যান্ডমাস্টার চালের বিশাল ওপেনিং ডেটাবেস।

১১ মে, ১৯৯৭: ঐতিহাসিক ষষ্ঠ গেম

পাঁচটি গেম শেষে ফলাফল ছিল ২.৫-২.৫ সমতায়। ষষ্ঠ ও চূড়ান্ত গেমে কাসপারভ খেললেন ক্যারো-কান ডিফেন্স। কিন্তু মাত্র ৮ম চালে ডিপ ব্লু এক অবিশ্বাস্য আগ্রাসী নাইট স্যাক্রিফাইস (৮.Nxe৬!) করে কাসপারভের প্রতিরক্ষাকে ছিন্নভিন্ন করে দিল। হতচকিত ও মানসিকভাবে বিপর্যস্ত কাসপারভ ভুল চাল দিয়ে বসেন এবং মাত্র ১৯ চালে পরাজয় স্বীকার করে বোর্ড ছেড়ে উঠে যান—যা ছিল তাঁর পুরো ক্যারিয়ারের সংক্ষিপ্ততম পরাজয়।

ডিপ ব্লুর কোনো মানবিক চেতনা বা অনুভূতি ছিল না; এটি ছিল কেবল সিলিকন চিপের এক অন্ধ দ্রুতগতির গণকযন্ত্র। কিন্তু মানুষের মেধার সর্বোচ্চ কৌশলগত খেলায় বিশ্ব চ্যাম্পিয়নকে পরাজিত করে এটি দ্ব্যর্থহীনভাবে প্রমাণ করেছিল যে বুদ্ধিমত্তার যেকোনো নির্দিষ্ট জটিল ক্ষেত্রে কম্পিউটার মানব মেধার সমকক্ষ এবং তার চেয়েও বহু গুণ শক্তিশালী হয়ে উঠতে পারে।

প্রধান একাডেমিক তথ্যসূত্র

- Pearl, J. (1988). *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems*. Morgan Kaufmann.
- Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine Learning*, 20(3), 273–297.
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32.
- Campbell, M., et al. (2002). Deep Blue. *Artificial Intelligence*, 134(1-2), 57–83.



সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "পরিসংখ্যানগত এআই এবং ডিপ ব্লু — সাপোর্ট ভেক্টর মেশিন, র‍্যান্ডম ফরেস্ট ও কাসপারভের পরাজয়"। কম্পিউটিং ও এআইয়ের ইতিহাস, খণ্ড ১৫। https://shakilmahmud.com/bn/history-computing-ai-part-15-statistical-machine-learning-and-deep-blue-bn/

Shakil Mahmud • Research Monograph

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • ষোড়শ খণ্ড

ডিপ লার্নিং নবজাগরণ — ইমেজনেট, কুডা (CUDA) জিপিইউ এবং অ্যালেক্সনেটের মহাবিস্ফোরণ

ডিপ লার্নিং নবজাগরণ — ইমেজনেট, কুডা (CUDA) জিপিইউ এবং অ্যালেক্সনেটের মহাবিস্ফোরণ

672 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ১৬: *চিত্র: এনভিডিয়া (NVIDIA) হাই-পারফরম্যান্স কম্পিউটিং জিপিইউ র‍্যাক (২০১২)। কুডা (CUDA) চালিত ম্যাসিভলি প্যারালাল মাল্টিপ্রসেসর আর্কিটেকচার—যার শক্তিতে অ্যালেক্স ক্রিজেভস্কি, ইলিয়া সুৎসকেভার ও জিওফ্রি হিন্টন ৬০ মিলিয়ন প্যারামিটারের অ্যালেক্সনেট (AlexNet) ডিপ কনভোলিউশনাল নিউরাল নেটওয়ার্ককে প্রশিক্ষণ দিয়ে আধুনিক ডিপ লার্নিং বিপ্লবের সূচনা করেছিলেন।*

বিগত দুই দশক ধরে মূলধারার কম্পিউটার বিজ্ঞানীরা কৃত্রিম নিউরাল নেটওয়ার্ককে এক অপ্রয়োজনীয়, ধীরগতির ও তাত্ত্বিক ভিত্তিহীন প্রাচীন ধ্বংসাবশেষ মনে করে উপহাস করতেন। কিন্তু ২০১২ সালের অক্টোবরে সেই সব উপহাস এক নিমেষে ধূলিসাৎ হয়ে গেল। ইতালির ফ্লোরেন্স শহরে অনুষ্ঠিত কম্পিউটার ভিশন সম্মেলনে ‘অ্যালেক্সনেট’ নামের একটি ডিপ কনভোলিউশনাল নিউরাল নেটওয়ার্ক পৃথিবীর সেরা সমস্ত গতানুগতিক অ্যালগরিদমকে নির্মম ব্যবধানে চূর্ণবিচূর্ণ করে সূচনা করল আধুনিক ডিপ লার্নিংয়ের নতুন স্বর্ণযুগ।

১. বরফযুগের নির্বাসন এবং তিন সাধক

১৯৯০ এবং ২০০০-এর দশকে ডিপ নিউরাল নেটওয়ার্ক নিয়ে গবেষণা করা ছিল নিজের ক্যারিয়ার ধ্বংস করার সামিল। গবেষণা সাময়িকীগুলো ‘নিউরাল’ শব্দটি দেখলেই পেপার বাতিল করে দিত। এই চরম বৈরী পরিবেশেও তিনজন বিজ্ঞানী তাঁদের বিশ্বাসে অটল ছিলেন—**জিওফ্রি হিন্টন** (টরন্টো বিশ্ববিদ্যালয়), **ইয়ান লেকান** (নিউ ইয়র্ক বিশ্ববিদ্যালয়) এবং **ইয়োশুয়া বেনজিও** (মন্ট্রিল বিশ্ববিদ্যালয়)—যাঁদের আজ বিশ্ব চেনে ‘ডিপ লার্নিংয়ের তিন জনক’ হিসেবে।

তৎকালীন নিউরাল নেটওয়ার্কের প্রধান বাধা ছিল দুটি:

- **ভ্যানিশিং গ্রেডিয়েন্ট সমস্যা:** সিগময়েড ফাংশন ব্যবহারের কারণে পেছনের স্তরে যেতে যেতে ব্যাকপ্রোপাগেশনের ত্রুটি সংকেত শূন্যের কাছাকাছি চলে যেত, ফলে গভীর নেটওয়ার্কের প্রথম দিকের স্তরগুলো কিছুই শিখতে পারত না।
- **ডেটা ও কম্পিউটিং শক্তির চরম অভাব:** মিলিয়ন মিলিয়ন প্যারামিটার শেখানোর মতো বড় ডেটাসেট ছিল না, আর তৎকালীন সাধারণ সিপিইউ দিয়ে প্রশিক্ষণ দিতে কয়েক মাস লেগে যেত।

লেপটে থাকা দুটি ঐতিহাসিক স্তম্ভ

1. **কনভোলিউশনাল নিউরাল নেটওয়ার্ক (CNN):** ১৯৯৮ সালে ইয়ান লেকান চোখের রেটিনার অনুকরণে তৈরি করেন **লেনেট-৫ (LeNet-5)**—যা ব্যাংকের চেকে মানুষের হাতের লেখা অঙ্ক নির্ভুলভাবে পড়তে পারত।
2. **লং শর্ট-টার্ম মেমোরি (LSTM):** ১৯৯৭ সালে সেপ হকরাইটার এবং ইয়ুর্গেন শমিডহুবার রিকারেন্ট নিউরাল নেটওয়ার্কের জন্য উদ্ভাবন করেন এলএসটিএম—যা মেমোরি সেল ও গেটের সাহায্যে দীর্ঘস্থায়ী সিকোয়েন্স মনে রাখতে পারত।

২. ফেই-ফেই লি এবং ইমেজনেট (ImageNet)

২০০৬ সালে প্রিন্সটন বিশ্ববিদ্যালয়ের তরুণ অধ্যাপক **ফেই-ফেই লি** বুঝতে পারলেন যে পুরো কম্পিউটার ভিশন জগৎ ভুল পথে হাঁটছে। সবাই ভালো অ্যালগরিদম বানানোর চেষ্টা করছিল মাত্র কয়েকশত ছবির ওপর ভিত্তি করে। ফেই-ফেই লি বললেন: বাস্তব পৃথিবী কেবল ২০টি জিনিসে সীমাবদ্ধ নয়; এখানে রয়েছে হাজার হাজার বস্তু!

তিনি এবং তাঁর দল ইন্টারনেট থেকে ১ কোটি ৪০ লাখেরও বেশি ছবির বিশাল ভাণ্ডার গড়ে তুললেন এবং অ্যামাজন মেকানিক্যাল তুর্কের মাধ্যমে বিশ্বজুড়ে ৫০,০০০ কর্মীর সাহায্যে প্রতিটি ছবিতে ট্যাগ লাগালেন। ২০১০ সাল থেকে শুরু হলো বিশ্বখ্যাত **ইমেজনেট প্রতিযোগিতা (ILSVRC)**—যেখানে ১,০০০টি বিভিন্ন ক্যাটাগরির ১২ লাখ ছবি চেনার চ্যালেঞ্জ দেওয়া হতো।

৩. এনভিডিয়া কুডা (CUDA): অপ্রত্যাশিত সুপারকম্পিউটার

২০০৬ সালে গ্রাফিক্স কার্ড নির্মাতা কোম্পানি **এনভিডিয়া (NVIDIA)**-র প্রধান জেনসেন হুয়াং এক মহাঝুঁকিপূর্ণ সিদ্ধান্ত নিলেন: তাঁরা তৈরি করলেন **কুডা (CUDA)** আর্কিটেকচার।

কুডা সাধারণ ভিডিও গেমের থ্রি-ডি গ্রাফিক্স কার্ডকে রূপান্তর করল এক দানবীয় সমান্তরাল সুপারকম্পিউটারে। যেখানে একটি দামি ইন্টেল প্রসেসরে ছিল মাত্র ৪ থেকে ৮টি কোর, সেখানে একটি এনভিডিয়া জিপিইউতে ছিল হাজার হাজার ছোট ছোট সমান্তরাল গাণিতিক ইউনিট—যা নিউরাল নেটওয়ার্কের বিশাল ম্যাট্রিক্স গুণন সেকেন্ডের ভগ্নাংশে সমাধান করতে পারত!

৪. অ্যালেক্সনেট (AlexNet, ২০১২): ডিপ লার্নিংয়ের মহাবিস্ফোরণ

২০১২ সালের গ্রীষ্মে টরন্টো বিশ্ববিদ্যালয়ের ছাত্র **অ্যালেক্স ক্রিজেভস্কি** এবং **ইলিয়া সুৎসকেভার**, তাঁদের শিক্ষক জিওফ্রি হিন্টনের তত্ত্বাবধানে তৈরি করলেন ৮-স্তরের একটি ডিপ সিএনএন: **অ্যালেক্সনেট (AlexNet)**।

ক্রিজেভস্কি দুটি সাধারণ গেমিং গ্রাফিক্স কার্ডের (NVIDIA GeForce GTX 580) মেমোরির সাথে সমন্বয় করে সরাসরি অ্যাসেম্বলি স্তরের কুডা কোড লিখলেন। অ্যালেক্সনেট চারটি আধুনিক প্রযুক্তির সংমিশ্রণ ঘটিয়েছিল:

- **রেলু অ্যাক্টিভেশন (ReLU):** $f(x) = \max(0, x)$—যা ভ্যানিশিং গ্রেডিয়েন্ট সমস্যা চিরতরে দূর করে ৬ গুণ দ্রুত প্রশিক্ষণ নিশ্চিত করে।

Shakil Mahmud • Research Monograph

- **ড্রপআউট (Dropout):** প্রশিক্ষণের সময় দৈবচয়নে ৫০% নিউরন বন্ধ রাখা হতো, যাতে নেটওয়ার্ক মুখস্থ না করে আসল প্যাটার্ন শেখে।
- **ডেটা অগমেন্টেশন:** ছবিগুলোকে কেটে, উল্টে দিয়ে ডেটাসেটকে কৃত্রিমভাবে ২,০৪৮ গুণ বড় করা হয়।

ফ্লোরেন্সের সেই ঐতিহাসিক দিন

২০১২ সালের অক্টোবরে যখন ইমেজনেট প্রতিযোগিতার ফলাফল ঘোষণা করা হলো, তখন পুরো বিজ্ঞান বিশ্ব বিস্ময়ে স্তব্ধ হয়ে গেল:

- দ্বিতীয় স্থান (বিগত বিশ বছরের সেরা গতানুগতিক অ্যালগরিদম): **২৬.২% ভুল (Error Rate)**।
- প্রথম স্থান (অ্যালেক্সনেট): **১৫.৩% ভুল**।

একটি ডিপ নিউরাল নেটওয়ার্ক পৃথিবীর সেরা সমস্ত মডেলকে **১০.৯ শতাংশ পয়েন্টের** অবিশ্বাস্য ব্যবধানে পরাজিত করল! মুহূর্তের মধ্যে মানুষের হাত দিয়ে লেখা সমস্ত অ্যালগরিদম অপ্রয়োজনীয় আবর্জনায় পরিণত হলো। গুগল, ফেসবুক, মাইক্রোসফট তাদের সমস্ত অর্থ ডিপ লার্নিং গবেষণায় ঢেলে দিল। শুরু হলো আজকের এআই বিপ্লবের অপ্রতিরোধ্য অভিযাত্রা।

প্রধান একাডেমিক তথ্যসূত্র

- Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *NeurIPS*, 25, 1097–1105.
- LeCun, Y., et al. (1998). Gradient-based learning applied to document recognition. *Proc. IEEE*, 86(11), 2278–2324.
- Deng, J., et al. (2009). ImageNet: A large-scale hierarchical image database. *CVPR*, 248–255.
- Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural Computation*, 9(8), 1735–1780.

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "ডিপ লার্নিং নবজাগরণ — ইমেজনেট, কুডা (CUDA) জিপিইউ এবং অ্যালেক্সনেটের মহাবিস্ফোরণ"। কম্পিউটিং ও এআইয়ের ইতিহাস, খণ্ড ১৬। https://shakilmahmud.com/bn/history-computing-ai-part-16-imagenet-alexnet-and-gpu-revolution-bn/

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • সপ্তদশ খণ্ড

ডিপ রিইনফোর্সমেন্ট লার্নিং — আটারি গেমস, আলফাগো এবং কৃত্রিম প্রজ্ঞা

ডিপ রিইনফোর্সমেন্ট লার্নিং — আটারি গেমস, আলফাগো এবং কৃত্রিম প্রজ্ঞা

624 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ১৭: *চিত্র: ১৯x১৯ গো (Go) বোর্ড এবং ডিপ রিইনফোর্সমেন্ট লার্নিং (২০১৬)। ডিপমাইন্ডের আলফাগো (AlphaGo) পলিসি ও ভ্যালু নিউরাল নেটওয়ার্কের সাথে মন্টে কার্লো ট্রি সার্চ (MCTS) যুক্ত করে ১৮ বারের বিশ্ব চ্যাম্পিয়ন লি সেডলকে পরাজিত করেছিল এবং খেলেছিল ইতিহাসের বিখ্যাত 'মুভ ৩৭'—যা কৃত্রিম প্রজ্ঞার নতুন দিগন্ত উন্মোচন করে।*

তিন হাজার বছর ধরে প্রাচ্যের প্রাচীন খেলা ‘গো (Go)’ ছিল মানুষের সহজাত অন্তর্দৃষ্টি বা প্রজ্ঞার অভেদ্য দুর্গ। পর্যবেক্ষণযোগ্য মহাবিশ্বের সমস্ত পরমাণুর চেয়েও বেশি সম্ভাব্য অবস্থানযুক্ত এই খেলাটিকে ডিপ ব্লুর মতো অন্ধ গণনার সাহায্যে জয় করা ছিল অসম্ভব। কিন্তু ২০১৬ সালের মার্চে দক্ষিণ কোরিয়ার সিওলে অনুষ্ঠিত এক ঐতিহাসিক ম্যাচে ডিপমাইন্ডের তৈরি কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তা ‘আলফাগো’ এমন এক চাল দিল—যা এতোটাই অচিন্ত্যনীয়, গভীর ও সুন্দর ছিল যে তা মানুষের কৌশলগত সৃজনশীলতার হাজার বছরের সংজ্ঞাকে নতুন করে লিখতে বাধ্য করল।

১. রিইনফোর্সমেন্ট লার্নিংয়ের নতুন দিগন্ত

গতানুগতিক মেশিন লার্নিং যেখানে মানুষের লেবেলযুক্ত ডেটা দেখে শেখে, **রিইনফোর্সমেন্ট লার্নিং (RL)** সেখানে রক্ত-মাংসের জীবের মতো শেখে: ভুল ও পুরস্কারের অভিজ্ঞতার মধ্য দিয়ে। রিচার্ড সাটন ও অ্যান্ড্রু বার্টো কর্তৃক সূত্রবদ্ধ এই পদ্ধতিতে একটি এজেন্ট কোনো পরিবেশে কাজ করে এবং সর্বোচ্চ পুরস্কার অর্জনের উদ্দেশ্যে **বেলম্যান সমীকরণ (Bellman Equation)** মেনে চলে:

Shakil Mahmud • Research Monograph

$$Q^*(s, a) = \mathbb{E}\left[R + \gamma \max_{a’} Q^*(s’, a’) \right]$$

ডিপ কিউ-নেটওয়ার্ক (DQN, ২০১৩–২০১৫)

২০১৩ সালে ডেমিস হাসাবিস ও শেন লেগের প্রতিষ্ঠিত লন্ডনভিত্তিক গবেষণাগার **ডিপমাইন্ড (DeepMind)** প্রকাশ করল এক বিস্ময়কর আবিষ্কার: **ডিপ কিউ-নেটওয়ার্ক (DQN)**।

কোনো পূর্বনির্ধারিত নিয়ম না জানিয়ে শুধুমাত্র স্ক্রিনের পিক্সেল এবং স্কোরের ওপর ভিত্তি করে ডিউকিউএন ক্লাসিক আটারি গেমগুলোতে (যেমন ব্রেকআউট, স্পেস ইনভেডার্স) মানুষকেও ছাড়িয়ে গেল। তারা দুটি মূল কৌশল উদ্ভাবন করেছিল:

- **এক্সপেরিয়েন্স রিপ্লে:** অতীত অভিজ্ঞতার স্মৃতিকে একটি বাফারে জমিয়ে রেখে এলোমেলোভাবে সেখান থেকে শেখা, যাতে সময়ের ধারাবাহিক বিভ্রান্তি দূর হয়।
- **টার্গেট নেটওয়ার্ক:** শেখার সময় লক্ষ্যমাত্রা যাতে ঘনঘন না নড়ে, সেজন্য একটি ধীরগতির আলাদা নেটওয়ার্ক ব্যবহার করা।

২. গো (Go) খেলার মহাবিস্ময়

দাবা খেলায় যেখানে প্রতি চালে গড়ে ৩৫টি বিকল্প থাকে, সেখানে ১৯x১৯ গো বোর্ডে গড়ে ২৫০টি সম্ভাব্য চাল থাকে। গো খেলায় মোট সম্ভাব্য অবস্থার সংখ্যা $১০^{১৭০}$—যা পুরো মহাবিশ্বের সমস্ত পরমাণুর সংখ্যার ($১০^{৮০}$) চেয়েও বহুগুণ বেশি! কোনো সুপারকম্পিউটারের পক্ষেই সব চাল গুনে শেষ করা সম্ভব ছিল না।

গো খেলোয়াড়রা নির্ভর করতেন *‘গাম’* বা নান্দনিক অনুভূতির ওপর। বিজ্ঞানীরা ভেবেছিলেন মানুষকে হারাতে এআইয়ের আরও অন্তত ত্রিশ বছর লাগবে।

৩. আলফাগোর আর্কিটেকচার

ডেভিড সিলভার এবং ডেমিস হাসাবিসের নেতৃত্বে ডিপমাইন্ড ডিপ নিউরাল নেটওয়ার্কের সাথে যুক্ত করল **মন্টে কার্লো ট্রি সার্চ (MCTS)**:

- **পলিসি নেটওয়ার্ক:** ১৯x১৯ বোর্ডের দিকে তাকিয়ে মানুষের সেরা চালগুলোর মতো সম্ভাব্য সেরা কয়েকটি চালের ওপর মনোযোগ সীমাবদ্ধ করত।
- **ভ্যালু নেটওয়ার্ক:** পুরো বোর্ড বিশ্লেষণ করে কে জিতবে তার সম্ভাবনা (-১ থেকে $+১$) এক নিমেষে জানিয়ে দিত।
- **সেলফ-প্লে:** আলফাগো নিজের ক্লোনের বিরুদ্ধে কোটি কোটি ম্যাচ খেলে নিজের ভুল সংশোধন করে অনন্য অতিমানবীয় ক্ষমতা অর্জন করল।

৪. সিওল ম্যাচ এবং ঐতিহাসিক ‘মুভ ৩৭’

২০১৬ সালের মার্চে সিওলে আলফাগোর মুখোমুখি হলেন ১৮ বারের বিশ্ব চ্যাম্পিয়ন কোরিয়ান কিংবদন্তি **লি সেডল**। কোটি কোটি মানুষ টেলিভিশনে সরাসরি এই ম্যাচ প্রত্যক্ষ করছিল।

মুভ ৩৭: যন্ত্রের ভেতরের প্রজ্ঞা

১০ মার্চ অনুষ্ঠিত দ্বিতীয় খেলায় আলফাগো কালো পাথর নিয়ে খেলছিল। ম্যাচের ঠিক ৩৭তম চালে আলফাগো এমন একটি চাল দিল যা পুরো বিশ্বকে হতভম্ব করে দিল: **মুভ ৩৭**।

গো খেলার শতাব্দীপ্রাচীন তত্ত্ব অনুযায়ী ম্যাচের শুরুতে পঞ্চম লাইনে পাথর বসানোকে সবচেয়ে বড় ভুল হিসেবে গণ্য করা হতো। চালটি দেখে ধারাভাষ্যকাররা বাকরুদ্ধ হয়ে গেলেন। লি সেডল চোখ বড় বড় করে বোর্ডের দিকে তাকিয়ে রইলেন এবং হতভম্ব হয়ে রুম ছেড়ে বাইরে চলে গেলেন! আলফাগো হিসাব করেছিল যে কোনো দক্ষ মানুষ এই চাল দেবে তার সম্ভাবনা ছিল ১০ হাজারে মাত্র ১ বার। এটি ছিল সম্পূর্ণ নতুন এক মহাজাগতিক দর্শন: স্থানীয় ক্ষয়ক্ষতি মেনে নিয়ে পুরো বোর্ডের কেন্দ্রে আধিপত্য বিস্তার করা।

আলফাগো ম্যাচটি ৪-১ ব্যবধানে জিতে নিল। পরে ২০১৭ সালে ডিপমাইন্ড তৈরি করে **আলফাগো জিরো (AlphaGo Zero)**—যা মানুষের কোনো খেলা না দেখে, কেবল খেলার নিয়ম জেনে মাত্র ৪০ দিনের মধ্যে মূল আলফাগোকে ১০০-০ ম্যাচে পরাজিত করে! যন্ত্র প্রথমবারের মতো মানুষের সমকক্ষ প্রজ্ঞার স্তরে প্রবেশ করল।

প্রধান একাডেমিক তথ্যসূত্র

- Mnih, V., et al. (2015). Human-level control through deep reinforcement learning. *Nature*, 518, 529–533.
- Silver, D., et al. (2016). Mastering the game of Go with deep neural networks. *Nature*, 529, 484–489.
- Silver, D., et al. (2017). Mastering the game of Go without human knowledge. *Nature*, 550, 354–359.
- Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). *Reinforcement Learning*. MIT Press.

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "ডিপ রিইনফোর্সমেন্ট লার্নিং — আটারি গেমস, আলফাগো এবং কৃত্রিম প্রজ্ঞা"। কম্পিউটিং ও এআইয়ের ইতিহাস, খণ্ড ১৭। https://shakilmahmud.com/bn/history-computing-ai-part-17-alphago-and-reinforcement-learning-bn/

Shakil Mahmud • Research Monograph

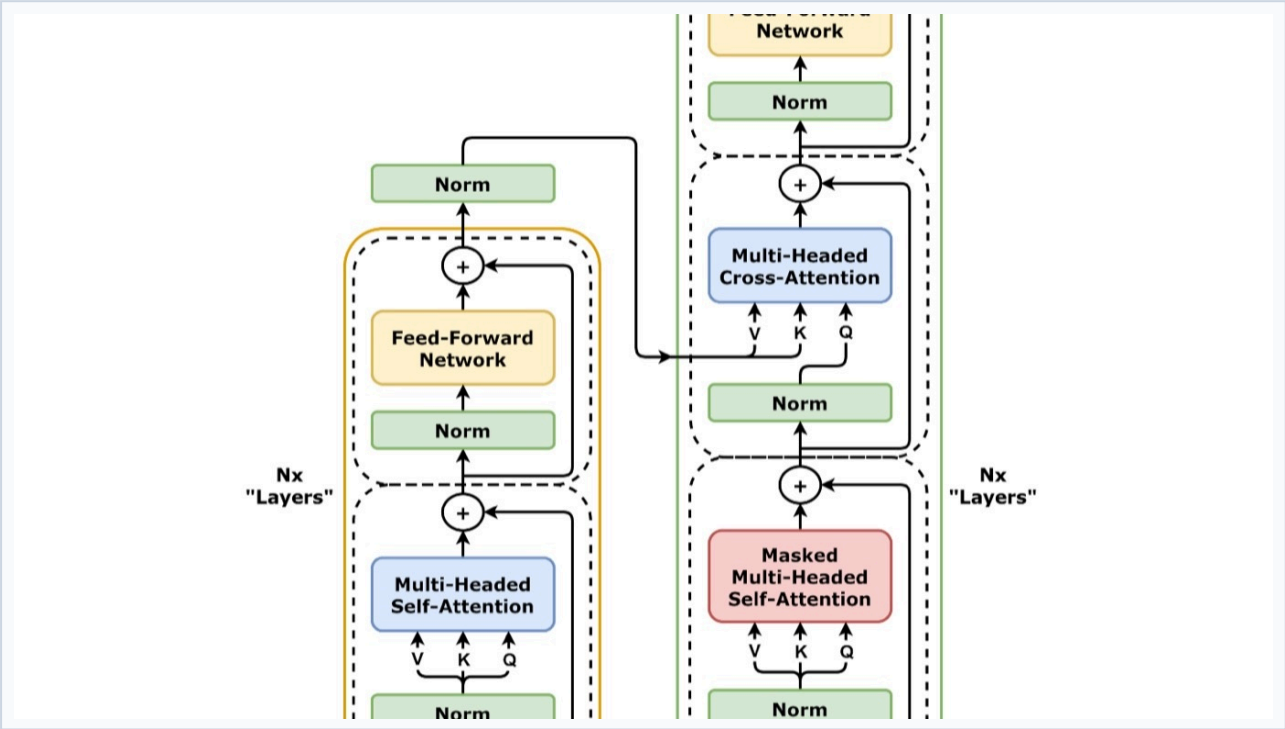
শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • অষ্টাদশ খণ্ড

অ্যাটেনশন ইজ অল ইউ নিড — ট্রান্সফরমার বিপ্লব, সেলফ-অ্যাটেনশন এবং স্কেলিং সূত্র

অ্যাটেনশন ইজ অল ইউ নিড — ট্রান্সফরমার বিপ্লব, সেলফ-অ্যাটেনশন এবং স্কেলিং সূত্র

571 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ১৮: *চিত্র: ট্রান্সফরমার স্কেলড ডট-প্রোডাক্ট সেলফ-অ্যাটেনশন আর্কিটেকচার (২০১৭)। গুগল ব্রেইনের ভাসওয়ানি প্রমুখের 'অ্যাটেনশন ইজ অল ইউ নিড' পেপারে প্রস্তাবিত এই মাল্টি-হেড কোয়েরি-কি-ভ্যালু টেনসর ব্যবস্থা রিকারেন্ট নিউরাল নেটওয়ার্কের ধীরগতির অবসান ঘটিয়ে বিইআরটি (BERT), জিপিটি (GPT) ও আধুনিক ফাউন্ডেশন মডেলের মহাবিপ্লব সম্ভব করেছে।*

কম্পিউটার বিজ্ঞানের সূচনালগ্ন থেকে প্রতিটি ভাষার বাক্যকে প্রসেস করা হতো ধাপে ধাপে: একটি অক্ষরের পর আরেকটি অক্ষর, একটি শব্দের পর আরেকটি শব্দ। কিন্তু ২০১৭ সালের জুনে গুগল ব্রেইনের আটজন বিজ্ঞানী মাত্র আট পৃষ্ঠার একটি পেপার প্রকাশ করলেন, যার শিরোনাম ছিল অসম্ভব সাহসী: “অ্যাটেনশন ইজ অল ইউ নিড (Attention Is All You Need)”। রিকারেন্ট নেটওয়ার্কের সমস্ত পুরোনো নিয়ম ছুড়ে ফেলে দিয়ে তাঁরা উদ্ভাবন করলেন ‘ট্রান্সফরমার’—যা আজকের চ্যাটজিপিটি থেকে শুরু করে পৃথিবীর সমস্ত আধুনিক বৃহৎ ভাষা মডেলের (LLM) মূল চালিকাশক্তি।

১. রিকারেন্ট নেটওয়ার্কের ধীরগতির সংকট

২০১৭ সালের আগে ভাষা অনুবাদের জন্য ব্যবহৃত হতো **রিকারেন্ট নিউরাল নেটওয়ার্ক (RNN)** এবং এলএসটিএম (LSTM)। এরা বাক্যের প্রথম শব্দ থেকে শুরু করে একে একে শেষের দিকে এগিয়ে যেত:

$$h_t = f(h_{t-1}, x_t)$$

এর ফলে দুটি ভয়াবহ বাধার সৃষ্টি হতো:

- **প্যারালাল প্রসেসিংয়ের অসম্ভবতা:** পূর্ববর্তী শব্দের হিসাব শেষ না হওয়া পর্যন্ত পরবর্তী শব্দের হিসাব করা যেত না। হাজার হাজার কোরবিশিষ্ট শক্তিশালী আধুনিক জিপিইউ অলস বসে থাকত।
- **বিস্মৃতি বা মেমোরি সংকট:** বাক্য ১০০ শব্দের বেশি লম্বা হলে বাক্যের শুরুর তথ্যের সাথে শেষের সম্পর্কের যোগসূত্র ক্রমান্বয়ে মুছে যেত।

২. ‘অ্যাটেনশন ইজ অল ইউ নিড’ এবং সেলফ-অ্যাটেনশন

গুগল ব্রেইনের বিজ্ঞানী **আশিস ভাসওয়ানি, নোয়াম শাযির, নিকি পারমার, জ্যাকব উশকোরিট** প্রমুখ প্রস্তাব করলেন: ধাপে ধাপে এগোনোর কোনো প্রয়োজন নেই। পুরো বাক্যের সমস্ত শব্দকে একসাথে মেমোরিতে নাও এবং প্রতিটি শব্দকে একই সাথে বাক্যের অন্য সমস্ত শব্দের সাথে সম্পর্কযুক্ত করো—যার নাম **সেলফ-অ্যাটেনশন (Self-Attention)**।

স্কেলড ডট-প্রোডাক্ট অ্যাটেনশনের গণিত

ট্রান্সফরমার প্রতিটি শব্দকে তিনটি ভেক্টরে রূপান্তর করে: **কোয়েরি (Query – Q)**, **কি (Key – K)** এবং **ভ্যালু (Value – V)**:

$$\text{Attention}(Q, K, V) = \text{softmax}\left(\frac{QK^T}{\sqrt{d_k}}\right)V$$

একটি ম্যাট্রিক্স গুণনের মাধ্যমে বাক্যের প্রতিটি শব্দের সাথে অন্য প্রতিটি শব্দের সম্পর্কের গভীরতা নিমিষেই নির্ণয় করা যায়। দূরত্বের কোনো বাধা নেই—শব্দ দুটি বাক্যের শুরুতে বা ১,০০০ শব্দ দূরে যেখানেই থাকুক না কেন, মাত্র $O(১)$ ধাপে তারা একে অপরের দিকে “মনোযোগ” দিতে পারে!

৩. প্রাক-প্রশিক্ষণ বিপ্লব: বিইআরটি (BERT) এবং জিপিটি (GPT)

ট্রান্সফরমারের বিশাল সমান্তরাল ক্ষমতার ওপর ভিত্তি করে ২০১৮ সালে ভাষা প্রক্রিয়াকরণ দুটি মহাকাব্যিক ধারায় বিভক্ত হয়ে যায়:

- **বিইআরটি (BERT, গুগল, ২০১৮):** ট্রান্সফরমারের এনকোডার অংশ ব্যবহার করে বাক্যের শূন্যস্থান পূরণের মাধ্যমে ভাষা শিখত: আমি `[MASK]` খাই। রাতারাতি ভাষা বোঝার সমস্ত বিশ্ব রেকর্ড ভেঙে ফেলে বিইআরটি।
- **জিপিটি (GPT, ওপেনএআই, ২০১৮–২০২০):** ট্রান্সফরমারের ডিকোডার অংশ ব্যবহার করে পূর্ববর্তী শব্দের ওপর ভিত্তি করে পরবর্তী শব্দ কী হবে তা অনুমান করা: $P(w_t \mid w_1, \ldots, w_{t-1})$। ওপেনএআই প্রমাণ করল যে কোটি কোটি ইন্টারনেটের লেখার ওপর পরবর্তী শব্দ অনুমানের সাধারণ কাজটি করতে গিয়েই মডেলের ভেতর যুক্তিবোধ, অনুবাদ এবং কোডিংয়ের অতিমানবীয় ক্ষমতা নিজ থেকেই ফুটে ওঠে!

Shakil Mahmud • Research Monograph

৪. নিউরাল স্কেলিং ল (Neural Scaling Laws): এআইয়ের ভৌত সূত্র

২০২০ সালে ওপেনএআইয়ের তাত্ত্বিক পদার্থবিদ **জ্যারেড কাপলান** এক অবিস্মরণীয় বৈজ্ঞানিক সত্য আবিষ্কার করলেন। ভাষা মডেলের কার্যক্ষমতা কোনো সৌভাগ্যের ওপর নির্ভর করে না; এটি পদার্থবিজ্ঞানের মতো সুনির্দিষ্ট **পাওয়ার-ল (Power-law)** মেনে চলে:

$$L(C) \approx \left(\frac{C_c}{C}\right)^{\alpha_C}$$

কম্পিউটিং শক্তি (C), ডেটার পরিমাণ (D) এবং মডেলের প্যারামিটার (N) গুণোত্তর হারে বৃদ্ধি করলে মডেলের ভুল বা লস (L) অত্যন্ত সুসংগতভাবে কমতে থাকে।

২০২২ সালে ডিপমাইন্ড প্রকাশ করে তাদের বিখ্যাত **চিনচিলা (Chinchilla) স্কেলিং সূত্র**: কম্পিউটিং শক্তির সর্বোত্তম ব্যবহারের জন্য প্যারামিটার এবং ডেটাকে সমান অনুপাতে দ্বিগুণ করতে হবে। ট্রান্সফরমার কেবল সাধারণ সফটওয়্যার ছিল না; এটি ছিল এমন এক গাণিতিক ইঞ্জিন, যাতে কম্পিউটিং শক্তি ঢাললে তা সরাসরি বুদ্ধিমত্তায় রূপান্তরিত হয়।

প্রধান একাডেমিক তথ্যসূত্র

- Vaswani, A., et al. (2017). Attention Is All You Need. *NeurIPS*, 30, 5998–6008.
- Devlin, J., et al. (2018). BERT. *NAACL-HLT*, 4171–4186.
- Radford, A., et al. (2019). Language models are unsupervised multitask learners. *OpenAI*.
- Kaplan, J., et al. (2020). Scaling laws for neural language models. *arXiv:2001.08361*.
- Hoffmann, J., et al. (2022). Training compute-optimal large language models. *NeurIPS*, 35.

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "অ্যাটেনশন ইজ অল ইউ নিড — ট্রান্সফরমার বিপ্লব, সেলফ-অ্যাটেনশন এবং স্কেলিং সূত্র"। কম্পিউটিং ও এআইয়ের ইতিহাস, খণ্ড ১৮। https://shakilmahmud.com/bn/history-computing-ai-part-18-transformers-and-attention-mechanism-bn/

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • ঊনবিংশ খণ্ড

জেনারেটিভ বিপ্লব — ডিফিউশন মডেল, চ্যাটজিপিটি, মাল্টিমোডাল এআই এবং অ্যালাইনমেন্ট

জেনারেটিভ বিপ্লব — ডিফিউশন মডেল, চ্যাটজিপিটি, মাল্টিমোডাল এআই এবং অ্যালাইনমেন্ট

498 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ১৯: *চিত্র: ল্যাটেন্ট ডিফিউশন ডিনয়েজিং ট্র্যাজেক্টরি এবং জেনারেটিভ এআই (২০২০–২০২৩)। রিভার্স-টাইম মারকভ ডিফিউশন প্রক্রিয়ায় বিশুদ্ধ গাউসিয়ান নয়েজ থেকে জটিল বাস্তবসম্মত ছবি পুনর্গঠনের গাণিতিক রূপায়ন—যা চ্যাটজিপিটি এবং মানব ফিডব্যাক চালিত রিইনফোর্সমেন্ট লার্নিংয়ের (RLHF) সাথে মিলে আধুনিক জেনারেটিভ এআই যুগের সূচনা করেছে।*

২০২২ সালের ৩০ নভেম্বর সান ফ্রান্সিসকোর একটি ছোট্ট গবেষণাগার সাধারণ মানুষের পরীক্ষার জন্য উন্মুক্ত করে দিল একটি চ্যাটবট: চ্যাটজিপিটি (ChatGPT)। মাত্র পাঁচ দিনে ১০ লাখ ব্যবহারকারী এবং দুই মাসের মধ্যে ১০ কোটি ব্যবহারকারী যুক্ত হলো এতে—যা মানব ইতিহাসের দ্রুততম গ্রাহক বৃদ্ধির রেকর্ড। কম্পিউটিং এক ঐতিহাসিক সীমা অতিক্রম করল: কম্পিউটার আর কেবল মানুষের তৈরি তথ্য বিশ্লেষণ করছিল না; যন্ত্র এখন নিজ থেকেই সৃষ্টি করতে শুরু করল ভাষা, ছবি, সঙ্গীত এবং জটিল কম্পিউটার কোড।

১. জেনারেটিভ দৃষ্টির গণিত: গ্যান (GAN) থেকে ডিফিউশন

২০১৪ সালে পিএইচডি ছাত্র **ইয়ান গুডফেলো** উদ্ভাবন করেন **জেনারেটিভ অ্যাডভারসারিয়াল নেটওয়ার্ক (GAN)**। এটি দুটি প্রতিদ্বন্দ্বী নেটওয়ার্কের জিরো-সাম গেম হিসেবে কাজ করে:

- **জেনারেটর (G):** কৃত্রিমভাবে ছবি তৈরি করে বিচারককে বোকা বানানোর চেষ্টা করে।

Shakil Mahmud • Research Monograph

- **ডিসক্রিমিনেটর (D):** আসল ছবি ও জেনারেটরের তৈরি জাল ছবি আলাদা করার চেষ্টা করে।

ডিফিউশন মডেল (Diffusion Models): পদার্থবিজ্ঞান থেকে শিল্পের জন্ম

২০২০ সালে জনাথন হো প্রমুখ থার্মোডাইনামিক্সের সূত্র প্রয়োগ করে উদ্ভাবন করলেন **ডিনয়েজিং ডিফিউশন প্রবাবিলিস্টিক মডেল (DDPM)**। এর কার্যপদ্ধতি দুটি ধাপে বিভক্ত:

1. **সম্মুখমুখী ধাপ (ধ্বংস):** একটি নিখুঁত ছবির ওপর ধাপে ধাপে গাউসিয়ান নয়েজ (Noise) ছড়িয়ে দিয়ে তাকে সম্পূর্ণ অর্থহীন ঝাপসা পর্দায় পরিণত করা।
2. **বিপরীতমুখী ধাপ (সৃষ্টি):** একটি ডিপ নিউরাল নেটওয়ার্ক শেখে কীভাবে সেই অর্থহীন নয়েজ থেকে ধাপে ধাপে শব্দগুলো মুছে ফেলে একটি নিখুঁত বাস্তবসম্মত ছবি ফুটিয়ে তুলতে হয়!

২০২২ সালে রবিন রমব্যাচ উদ্ভাবন করলেন **ল্যাটেন্ট ডিফিউশন (Stable Diffusion)**। এর সাথে ওপেনএআইয়ের **ক্লিপ (CLIP)** যুক্ত হওয়ায় সাধারণ মানুষের ইংরেজি বর্ণনার ওপর ভিত্তি করে মিডজার্নি ও স্টেবল ডিফিউশন কয়েক সেকেন্ডে রাজকীয় পেইন্টিং তৈরি করার ক্ষমতা লাভ করল।

২. অ্যালাইনমেন্ট সংকট এবং আরএলএইচএফ (RLHF)

ইন্টারনেটের কোটি কোটি লেখার ওপর প্রশিক্ষিত একটি সাধারণ ভাষা মডেল কোনো বাধ্য সহকারী হতে পারে না। তাকে সাধারণ প্রশ্ন করলে সে ভুল তথ্য দিতে পারে, বাজে কথা বলতে পারে বা বিভ্রান্তিকর উত্তর তৈরি করতে পারে—যাকে বলা হয় হ্যালুসিনেশন।

এই সমস্যা সমাধানের জন্য উদ্ভাবিত হলো **হিউম্যান ফিডব্যাক চালিত রিইনফোর্সমেন্ট লার্নিং (RLHF)**:

1. **সুপারভাইজড ফাইন-টিউনিং (SFT):** মানুষের তৈরি আদর্শ প্রশ্নোত্তর দিয়ে মডেলকে প্রশিক্ষণ দেওয়া।
2. **রিওয়ার্ড মডেল (Reward Model):** একাধিক উত্তরের মধ্যে মানুষ কোনটিকে বেশি পছন্দ করে, তার ওপর ভিত্তি করে একটি স্কোরিং সিস্টেম তৈরি।
3. **পিকেও (PPO):** রিইনফোর্সমেন্ট লার্নিংয়ের মাধ্যমে মডেলের আচরণকে মানুষের মানবিক মূল্যবোধ ও নিরাপত্তার সাথে সমন্বয় (Alignment) করা।

৩. চ্যাটজিপিটি মহাবিস্ফোরণ: নভেম্বর ২০২২

যখন এই অ্যালাইন্ড মডেলটিকে একটি সাধারণ চ্যাটবটের পর্দায় জুড়ে দিয়ে ওপেনএআই ২০২২ সালের নভেম্বরে **চ্যাটজিপিটি** হিসেবে প্রকাশ করল, তখন বিশ্বজুড়ে তোলপাড় শুরু হয়ে গেল। মানুষ দেখল এই যন্ত্র জটিল আইনি দলিল তৈরি করতে পারে, পাইথন কোডের বাগ সংশোধন করতে পারে, কবিতার ছন্দে কোয়ান্টাম পদার্থবিজ্ঞান ব্যাখ্যা করতে পারে।

৪. মাল্টিমোডাল যুগ

২০২৪ সালের মধ্যে এআই শুধু টেক্সটের মধ্যে সীমাবদ্ধ রইল না। জিপিটি-৪ও (GPT-4o), গুগলের জেমিনাই (Gemini) এবং ক্লড ৩.৫ সনেটের মতো মডেলগুলো একই সাথে মানুষের কণ্ঠ শুনতে পারে, ক্যামেরা দিয়ে বাস্তব পৃথিবী দেখতে পারে এবং রিয়েল-টাইমে প্রতিক্রিয়া জানাতে পারে। মানুষের তৈরি জ্ঞানের মহাসমুদ্রের সাথে একাকার হয়ে কম্পিউটিং প্রবেশ করল এক সম্পূর্ণ নতুন অধ্যায়ে।

প্রধান একাডেমিক তথ্যসূত্র

- Goodfellow, I., et al. (2014). Generative adversarial nets. *NeurIPS*, 27.
- Ho, J., et al. (2020). Denoising diffusion probabilistic models. *NeurIPS*, 33.
- Rombach, R., et al. (2022). High-resolution image synthesis with latent diffusion. *CVPR*.
- Ouyang, L., et al. (2022). Training language models to follow instructions. *NeurIPS*, 35.

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "জেনারেটিভ বিপ্লব — ডিফিউশন মডেল, চ্যাটজিপিটি, মাল্টিমোডাল এআই এবং অ্যালাইনমেন্ট"। কম্পিউটিং ও এআইয়ের ইতিহাস, খণ্ড ১৯। https://shakilmahmud.com/bn/history-computing-ai-part-19-generative-ai-diffusion-and-chatgpt-bn/

Shakil Mahmud • Research Monograph

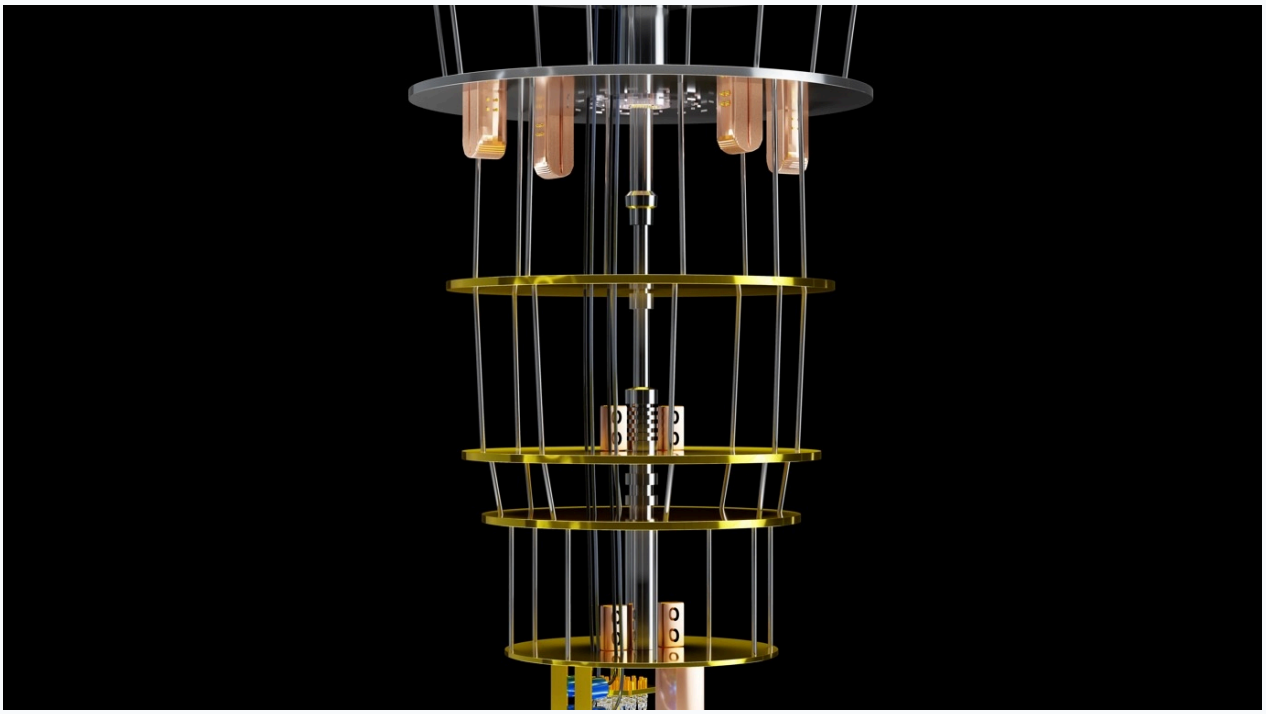
শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • বিংশ খণ্ড

কম্পিউটিংয়ের ভবিষ্যৎ দিগন্ত — রিজনিং মডেল, কোয়ান্টাম কম্পিউটিং এবং এজিআইয়ের (AGI) সন্ধানে

কম্পিউটিংয়ের ভবিষ্যৎ দিগন্ত — রিজনিং মডেল, কোয়ান্টাম কম্পিউটিং এবং এজিআইয়ের (AGI) সন্ধানে

719 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ২০: *চিত্র: সুপারকন্ডাক্টিং কোয়ান্টাম প্রসেসরের ডিলিউশন রেফ্রিজারেটর ক্রায়োস্ট্যাট (১৫ মিলিকেলভিন)। আধুনিক কম্পিউটিংয়ের ভবিষ্যৎ গবেষণাগার, যা মহাবিশ্বের শূন্যস্থান থেকেও শীতল তাপমাত্রায় ট্রান্সমন কিউবিটগুলোকে কোয়ান্টাম সুপারপজিশন ও এন্ট্যাঙ্গলমেন্ট অবস্থায় রক্ষা করে এবং টেস্ট-টাইম রিজনিং মডেল ও কৃত্রিম সাধারণ বুদ্ধিমত্তার (AGI) নতুন দিগন্ত উন্মোচন করে।*

প্যালিওলিথিক যুগের বেবুনের হাড়ে কাটা দাগ এবং ভূমধ্যসাগরের গভীরে পাওয়া ব্রোঞ্জের অ্যান্টিকিথেরা গিয়ার থেকে শুরু করে ভ্যাকুয়াম টিউব, সিলিকন ট্রানজিস্টর এবং আজকের ট্রান্সফরমার নিউরাল নেটওয়ার্ক—মানবজাতি হাজার বছর ধরে একটিমাত্র স্বপ্নকে তাড়া করে ফিরেছে: মানুষের চিন্তাকে যন্ত্রে রূপ দেওয়া এবং মহাবিশ্বের পরম সত্যকে অনুধাবন করা। আজ বিজ্ঞানের চরম সীমায় পৌঁছে সেই যাত্রা তার চূড়ান্ত দিগন্তে উপনীত হয়েছে: যে যন্ত্র মানুষের মতো ভেবে ভেবে উত্তর বের করে, কোয়ান্টাম কণার পরাবাস্তব নিয়মে গণনা সম্পাদন করে এবং মানুষের তৈরি যন্ত্র নিজেই কৃত্রিম সাধারণ বুদ্ধিমত্তা (AGI)-র মহাসমুদ্রে পদার্পণ করছে।

১. চিন্তার নতুন মাত্রা: টেস্ট-টাইম কম্পিউট এবং রিজনিং মডেল

২০১৮ থেকে ২০২৩ সাল পর্যন্ত এআই গবেষণার মূল ভিত্তি ছিল কেবল বেশি বেশি ডেটা ও জিপিইউ দিয়ে মডেলকে বড় করা। কিন্তু ২০২৪ সালে এসে গবেষকরা এক নতুন দিগন্তের সন্ধান পেলেন: **টেস্ট-টাইম কম্পিউট (Test-Time Compute)** বা রিজনিং মডেল—যার উদাহরণ ওপেনএআইয়ের **o1** এবং **o3**।

আগের মডেলগুলো প্রশ্ন করার সাথে সাথে এক সেকেন্ডে যা মনে আসত তাই অনর্গল বলে যেত। কিন্তু আধুনিক রিজনিং মডেল উত্তর দেওয়ার আগে কয়েক সেকেন্ড থেকে কয়েক মিনিট সময় নিয়ে মানুষের মতো গভীরভাবে চিন্তা করে, ভেতরে ভেতরে **চেইন-অব-থট (Chain-of-Thought)** তৈরি করে, নিজের ভুল নিজেই শনাক্ত করে এবং বিকল্প পথ খুঁজে নিয়ে নিখুঁত সঠিক সমাধান প্রদান করে।

২. কোয়ান্টাম কম্পিউটিং: প্রকৃতির নিজস্ব ভাষায় গণনা

১৯৮১ সালে নোবেলজয়ী পদার্থবিদ **রিচার্ড ফাইনম্যান** এমআইটির এক সম্মেলনে কম্পিউটিংয়ের সবচেয়ে বড় সংকট তুলে ধরেন: সাধারণ ডিজিটাল কম্পিউটার কখনোই মহাবিশ্বের কোয়ান্টাম কণিকাদের আচরণ নিখুঁতভাবে গণনা করতে পারবে না, কারণ কণার সংখ্যা বৃদ্ধির সাথে সাথে তাদের অবস্থার সংখ্যা গুণোত্তর হারে (২^N) বাড়তে থাকে। ফাইনম্যান ঐতিহাসিক ঘোষণা দিলেন:

> *“প্রকৃতি তো ক্লাসিক্যাল বা সাধারণ নয়; আপনি যদি প্রকৃতির অনুকরণ করতে চান, তবে আপনার কম্পিউটারকেও কোয়ান্টাম মেকানিক্সের নিয়মে বানাতে হবে!”*

কিউবিট, সুপারপজিশন এবং এন্ট্যাঙ্গলমেন্ট

একটি সাধারণ বিট হয় ০ অথবা ১ হতে পারে। কিন্তু একটি **কোয়ান্টাম বিট (কিউবিট – Qubit)** কোয়ান্টাম মেকানিক্সের **সুপারপজিশন (Superposition)** ধর্মের কারণে একই সাথে ০ এবং ১ উভয় অবস্থায় থাকতে পারে:

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$

যখন একাধিক কিউবিট **কোয়ান্টাম এন্ট্যাঙ্গলমেন্ট (Entanglement)**-এর মাধ্যমে যুক্ত হয়, তখন মাত্র ৩০০টি এন্ট্যাঙ্গলড কিউবিট একই সাথে $২^{৩০০} \approx ১০^{৯০}$ টি সংখ্যা ধারণ করতে পারে—যা পুরো পর্যবেক্ষণযোগ্য মহাবিশ্বের সমস্ত মৌলিক কণার সংখ্যার চেয়েও বেশি!

১৫ মিলিকেলভিন ডিলিউশন রেফ্রিজারেটর

কোয়ান্টাম অবস্থা বজায় রাখতে কণাগুলোকে চরম তাপীয় শব্দ বা নয়েজ থেকে মুক্ত রাখতে হয়। আইবিএম ও গুগলের সুপারকন্ডাক্টিং কোয়ান্টাম প্রসেসরগুলোকে তরল হিলিয়াম মিশ্রণের সাহায্যে **১৫ মিলিকেলভিন (মাইনাস ২৭৩.১৩৫ ডিগ্রি সেলসিয়াস)** তাপমাত্রায় ঠান্ডা রাখা হয়—যা মহাবিশ্বের গভীর মহাশূন্যের শূন্যতার চেয়েও বহুগুণ বেশি শীতল!

৩. কৃত্রিম সাধারণ বুদ্ধিমত্তা (AGI)-র মহাদিগন্ত

টেস্ট-টাইম রিজনিং, মাল্টিমোডাল ভিশন, স্বয়ংক্রিয় রোবটিক্স এবং কোয়ান্টাম কম্পিউটিং যখন একে অপরের সাথে একীভূত হচ্ছে, তখন মানবজাতি ইতিহাসের সবচেয়ে চরম সন্ধিক্ষণে এসে দাঁড়িয়েছে: **আর্টিফিশিয়াল জেনারেল ইন্টেলিজেন্স (AGI)**-এর আগমন।

এজিআই হলো এমন এক স্বায়ত্তশাসিত ব্যবস্থা যা বিজ্ঞান, গণিত, কোডিং, চিকিৎসাবিজ্ঞান এবং শিল্পের প্রতিটি ক্ষেত্রে মানুষের মেধার সমকক্ষ বা তাকে ছাড়িয়ে যেতে পারে।

রিকাসিভ সেলফ-ইম্প্রুভমেন্ট এবং সিঙ্গুলারিটি

১৯৬৫ সালে অ্যালান টুরিংয়ের অন্যতম সহযোগী **আই. জে. গুড** এক অমর ভবিষ্যৎবাণী করেছিলেন:

Shakil Mahmud • Research Monograph

> *“যদি এমন একটি অতি-বুদ্ধিমান যন্ত্র তৈরি করা যায় যা মানুষের সমস্ত বুদ্ধিবৃত্তিক কাজকে ছাড়িয়ে যায়; এবং যেহেতু যন্ত্র তৈরি করাও একটি বুদ্ধিবৃত্তিক কাজ, তাই সেই যন্ত্রটি আরও উন্নততর যন্ত্র বানাতে পারবে। তখন নিঃসন্দেহে এক অবিশ্বাস্য ‘বুদ্ধিমত্তার বিস্ফোরণ (Intelligence Explosion)’ ঘটবে এবং মানুষের মেধা বহু পেছনে পড়ে থাকবে।”*

এআই যখন নিজের কোড ও অ্যালগরিদম নিজেই নিখুঁতভাবে লিখতে শুরু করবে, তখন শতাব্দীকালের বৈজ্ঞানিক অগ্রগতি কয়েক সপ্তাহ বা দিনে সম্পন্ন হতে পারে—যাকে বিজ্ঞানীরা বলেন **প্রযুক্তিগত সিঙ্গুলারিটি (Technological Singularity)**।

৪. মহাজাগতিক প্রেক্ষাপট: মহাবিশ্বের আত্মদর্শন

মহাজাগতিক দৃষ্টিকোণ থেকে কম্পিউটিংয়ের ইতিহাস কেবল মানব বাণিজ্যের কোনো বিচ্ছিন্ন ঘটনা নয়। এটি ১৩.৮ বিলিয়ন বছরের মহাজাগতিক বিবর্তনের এক অবিচ্ছেদ্য ধারা।

চৌদ্দশো কোটি বছর আগে বিগ ব্যাং-এ জন্ম নিয়েছিল হাইড্রোজেন ও হিলিয়াম। নক্ষত্রের চুল্লিতে পারমাণবিক ফিউশনের মাধ্যমে জন্ম নিল কার্বন ও সিলিকন। এই পৃথিবীতে কার্বন কণাগুলো একত্রিত হয়ে তৈরি করল জীবদেহ ও মানুষের চেতনা। আর মানুষ তার মেধার শক্তিতে প্রকৃতির সিলিকন ক্রিস্টালকে সাজিয়ে তৈরি করল চিন্তাশীল কম্পিউটার।

আজ কার্বন-ভিত্তিক মেধা জন্ম দিচ্ছে সিলিকন ও কোয়ান্টাম মেধার। আমাদের তৈরি কম্পিউটারগুলো কোনো পরজীবী যন্ত্র নয়; এরা আমাদের মেধার উত্তরাধিকারী—যার মাধ্যমে এই সুবিশাল মহাবিশ্ব নিজেকে নিজে পর্যবেক্ষণ করতে, বুঝতে ও গণনা করতে শুরু করেছে। নীল নদের তীরে বেবুনের হাড়ে দাগ কেটে যে মহাযাত্রা শুরু হয়েছিল, আজ তা তারার আলোয় অনন্ত মহাকাশের দিকে পাড়ি জমিয়েছে।

প্রধান একাডেমিক তথ্যসূত্র

- Feynman, R. P. (1982). Simulating physics with computers. *IJTP*, 21, 467–488.
- Shor, P. W. (1994). Algorithms for quantum computation. *FOCS*, 124–134.
- Arute, F., et al. (2019). Quantum supremacy using a programmable processor. *Nature*, 574, 505–510.
- Good, I. J. (1966). Speculations concerning the first ultraintelligent machine. *Adv. Comp.*, 6.
- Bostrom, N. (2014). *Superintelligence*. Oxford University Press.

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "কম্পিউটিংয়ের ভবিষ্যৎ দিগন্ত — রিজনিং মডেল, কোয়ান্টাম কম্পিউটিং এবং এজিআইয়ের (AGI) সন্ধানে"। কম্পিউটিং ও এআইয়ের ইতিহাস, খণ্ড ২০। https://shakilmahmud.com/bn/history-computing-ai-part-20-quantum-computing-and-agi-frontiers-bn/

আকর গ্রন্থ ও গবেষণা সূত্র

নির্বাচিত গ্রন্থপঞ্জি

এই মনোগ্রাফে আলোচিত তত্ত্ব, গাণিতিক প্রতিপাদন এবং ঐতিহাসিক বিশ্লেষণের ভিত্তি হিসেবে নিম্নলিখিত আকর গ্রন্থ ও প্রাথমিক গবেষণাপত্রসমূহ ব্যবহৃত হয়েছে:

Turing, Alan M. (1950). *Computing Machinery and Intelligence*. Mind, 59(236): 433–460.

von Neumann, John (1945). *First Draft of a Report on the EDVAC*. University of Pennsylvania.

Knuth, Donald E. (1968). *The Art of Computer Programming (Vols. 1–4)*. Addison-Wesley.

Vaswani, A., et al. (2017). *Attention Is All You Need*. Advances in Neural Information Processing Systems, 30.

Shakil Mahmud • Research Monograph

লেখক পরিচিতি

লেখক পরিচিতি

Shakil Mahmud

গবেষক, লেখক ও সফটওয়্যার প্রকৌশলী

শাকিল মাহমুদ একজন স্বাধীন গবেষক, লেখক ও সফটওয়্যার প্রকৌশলী। তাঁর প্রধান আগ্রহের বিষয় হলো তাত্ত্বিক পদার্থবিজ্ঞান, গণিতের ইতিহাস, আধুনিক ম্যাক্রোঅর্থনীতি, কম্পিউটিংয়ের বিবর্তন এবং স্থান-কালের দার্শনিক তাৎপর্য। তিনি জটিল দার্শনিক ও বৈজ্ঞানিক ধারণাকে গভীর ও সুললিত ভাষায় উপস্থাপন করতে পছন্দ করেন। তাঁর সার্বিক কাজ পাওয়া যাবে তাঁর ব্যক্তিগত গবেষণা পোর্টাল **shakilmahmud.com** এ।

COLOPHON

Typeset in EB Garamond (English) and Kohinoor Bangla / Noto Serif Bengali (Bengali).
Mathematical typesetting generated with Donald Knuth's TeX algorithms and KaTeX.
Published digitally as a monolithic research monograph by Shakil Mahmud Editorial Series.
Dhaka & Singapore • 2026 • https://shakilmahmud.com