Shakil Mahmud • Research Monograph

SHAKIL MAHMUD EDITORIAL & RESEARCH MONOGRAPHS

কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার ইতিহাস

প্রাচীন পৌরাণিক অটোমাটা ও লাইবনিজের ক্যালকুলাস র‍্যাটিওসিনেটর থেকে ডার্টমাউথ সম্মেলন, এআই শীতকাল, ব্যাকপ্রোপাগেশন, ডিপ ব্লু, অ্যালেক্সনেট, ট্রান্সফরমার এবং এজিআই দিগন্তের প্রামাণ্য ২০ খণ্ডের মহাকাব্য।

SHAKIL MAHMUD

গবেষক ও লেখক

SHAKIL MAHMUD EDITORIAL & RESEARCH SERIES

প্রথম সংকলিত সংস্করণ • ঢাকা ও সিঙ্গাপুর • ২০২৬

কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার ইতিহাস

প্রাচীন পৌরাণিক অটোমাটা ও লাইবনিজের ক্যালকুলাস র‍্যাটিওসিনেটর থেকে ডার্টমাউথ সম্মেলন, এআই শীতকাল, ব্যাকপ্রোপাগেশন, ডিপ ব্লু, অ্যালেক্সনেট, ট্রান্সফরমার এবং এজিআই দিগন্তের প্রামাণ্য ২০ খণ্ডের মহাকাব্য।

LIBRARY & CATALOGING-IN-PUBLICATION DATA

Title: কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার 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/ai-history/

প্রস্তাবিত সাইটেশন:
Mahmud, Shakil. (2026). *কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার ইতিহাস: The Complete 20-Part Collected Monograph*. Shakil Mahmud Research Series. https://shakilmahmud.com/series/ai-history/

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

প্রাচীন যুগের যান্ত্রিক অটোমাটা ও লাইবনিজের ক্যালকুলাস র‍্যাটিওসিনেটর থেকে অ্যালান টুরিংয়ের ইমিটেশন গেম, ১৯৫৬-র ডার্টমাউথ সম্মেলন, পারসেপ্ট্রন, এক্সপার্ট সিস্টেম, ব্যাকপ্রোপাগেশন বিপ্লব, গভীর কনভোলিউশনাল নেটওয়ার্ক, আলফাগোর ঐতিহাসিক বিজয়, ট্রান্সফরমারের আধিপত্য এবং আধুনিক অটোনোমাস এজেন্ট ও এজিআই-এর সীমানা—কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার ইতিহাস হলো মানুষের চেতনা ও চিন্তাশক্তিকে যন্ত্রে রূপান্তরের এক অমর মহাকাব্য। বিশ খণ্ডে সংকলিত এই গবেষণা মনোগ্রাফ মানব বুদ্ধিমত্তা থেকে সিন্থেটিক সুপারইন্টেলিজেন্সের অভিমুখে যাত্রার প্রতিটি তাত্ত্বিক, গাণিতিক ও দার্শনিক সন্ধিক্ষণকে গভীরভাবে বিশ্লেষণ করে।

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 যান্ত্রিক মন — প্রাচীন অটোমাটা, রামোন লুল এবং লাইবনিজের ক্যালকুলাস র‍্যাটিওসিনেটর — 928 শব্দ
যান্ত্রিক মন — প্রাচীন অটোমাটা, রামোন লুল এবং লাইবনিজের ক্যালকুলাস র‍্যাটিওসিনেটর

খণ্ড ২ গণনযোগ্যতার গাণিতিক প্রভাত — বুলের চিন্তার সূত্রাবলি, হিলবার্টের ডিসিশন প্রবলেম এবং টুরিংয়ের সার্বজনীন যন্ত্র — 1,134 শব্দ
গণনযোগ্যতার গাণিতিক প্রভাত — বুলের চিন্তার সূত্রাবলি, হিলবার্টের ডিসিশন প্রবলেম এবং টুরিংয়ের সার্বজনীন যন্ত্র

খণ্ড ৩ সাইবারনেটিক প্রভাত — ম্যাককুলাক-পিটস নিউরন, নরবার্ট উইনারের ফিডব্যাক এবং তথ্য তত্ত্ব — 871 শব্দ
সাইবারনেটিক প্রভাত — ম্যাককুলাক-পিটস নিউরন, নরবার্ট উইনারের ফিডব্যাক এবং তথ্য তত্ত্ব

খণ্ড ৪ যন্ত্র কি চিন্তা করতে পারে? টুরিং টেস্ট, ইমিটেশন গেম এবং লেডি লাভলেসের আপত্তি — 936 শব্দ
যন্ত্র কি চিন্তা করতে পারে? টুরিং টেস্ট, ইমিটেশন গেম এবং লেডি লাভলেসের আপত্তি

খণ্ড ৫ ১৯৫৬ সালের ডার্টমাউথ সম্মেলন — জন ম্যাককার্থি, মার্ভিন মিনস্কি এবং একটি নতুন বিজ্ঞানের জন্ম — 350 শব্দ
১৯৫৬ সালের ডার্টমাউথ সম্মেলন — জন ম্যাককার্থি, মার্ভিন মিনস্কি এবং একটি নতুন বিজ্ঞানের জন্ম

দ্বিতীয় পর্যায়: মধ্যযুগীয় রূপান্তর

খণ্ড ৬ প্রতীকী এআই ও হিউরিস্টিক সার্চের স্বর্ণযুগ — লজিক থিওরিজিস্ট ও জেনারেল প্রবলেম সলভার — 506 শব্দ
প্রতীকী এআই ও হিউরিস্টিক সার্চের স্বর্ণযুগ — লজিক থিওরিজিস্ট ও জেনারেল প্রবলেম সলভার

খণ্ড ৭ পারসেপ্ট্রন ও সংযোগবাদের প্রথম স্ফুলিঙ্গ — ফ্র্যাঙ্ক রোজেনব্ল্যাট এবং নিউরাল ড্রিম — 412 শব্দ
পারসেপ্ট্রন ও সংযোগবাদের প্রথম স্ফুলিঙ্গ — ফ্র্যাঙ্ক রোজেনব্ল্যাট এবং নিউরাল ড্রিম

খণ্ড ৮ প্রথম এআই শীত — মিনস্কি-প্যাপার্টের সমালোচনা, এক্সওআর সংকট এবং তহবিল বিপর্যয় — 404 শব্দ
প্রথম এআই শীত — মিনস্কি-প্যাপার্টের সমালোচনা, এক্সওআর সংকট এবং তহবিল বিপর্যয়

খণ্ড ৯ নলেজ বিপ্লব ও এক্সপার্ট সিস্টেম — ফেইগেনবাউম, ডেনড্রাল এবং মাইসিন — 378 শব্দ
নলেজ বিপ্লব ও এক্সপার্ট সিস্টেম — ফেইগেনবাউম, ডেনড্রাল এবং মাইসিন

খণ্ড ১০ পঞ্চম প্রজন্মের প্রকল্প ও দ্বিতীয় এআই শীত — লিস্প মেশিনের পতন ও ১৯৮৭ সালের আকস্মিক ধস — 483 শব্দ
পঞ্চম প্রজন্মের প্রকল্প ও দ্বিতীয় এআই শীত — লিস্প মেশিনের পতন ও ১৯৮৭ সালের আকস্মিক ধস

তৃতীয় পর্যায়: আধুনিক বিপ্লব ও বিজ্ঞান

খণ্ড ১১ সংযোগবাদী বিদ্রোহ ও ব্যাকপ্রোপাগেশন — রুমেলহার্ট, হিন্টন ও পিডিপি বিপ্লব — 510 শব্দ
সংযোগবাদী বিদ্রোহ ও ব্যাকপ্রোপাগেশন — রুমেলহার্ট, হিন্টন ও পিডিপি বিপ্লব

খণ্ড ১২ স্থানিক দৃষ্টি ও কনভোলিউশনাল নেটওয়ার্ক — নিওকগনিট্রন, লেনাট-৫ এবং ইয়ান লেকান — 463 শব্দ
স্থানিক দৃষ্টি ও কনভোলিউশনাল নেটওয়ার্ক — নিওকগনিট্রন, লেনাট-৫ এবং ইয়ান লেকান

খণ্ড ১৩ পরিসংখ্যানিক রূপান্তর ও সাব-সিম্বলিক যুগ — সাপোর্ট ভেক্টর মেশিন এবং কার্নেল ট্রিক — 469 শব্দ
পরিসংখ্যানিক রূপান্তর ও সাব-সিম্বলিক যুগ — সাপোর্ট ভেক্টর মেশিন এবং কার্নেল ট্রিক

খণ্ড ১৪ সিলিকন গ্র্যান্ডমাস্টার — আইবিএম ডিপ ব্লু, কাস্টম ভিএলএসআই এবং কাসপারভের পরাজয় (১৯৯৭) — 558 শব্দ
সিলিকন গ্র্যান্ডমাস্টার — আইবিএম ডিপ ব্লু, কাস্টম ভিএলএসআই এবং কাসপারভের পরাজয় (১৯৯৭)

খণ্ড ১৫ যুগান্তকারী ২০১২ — ইমেজনেট, অ্যালেক্সনেট এবং ডিপ লার্নিং বিস্ফোরণ — 541 শব্দ
যুগান্তকারী ২০১২ — ইমেজনেট, অ্যালেক্সনেট এবং ডিপ লার্নিং বিস্ফোরণ

চতুর্থ পর্যায়: সমকালীন যুগ ও ভবিষ্যতের দিগন্ত

খণ্ড ১৬ রিইনফোর্সমেন্ট বিপ্লব — ডিপমাইন্ড, আলফাগো, চাল ৩৭ এবং গো খেলার ঐতিহাসিক বিজয় (২০১৬) — 636 শব্দ

Shakil Mahmud • Research Monograph

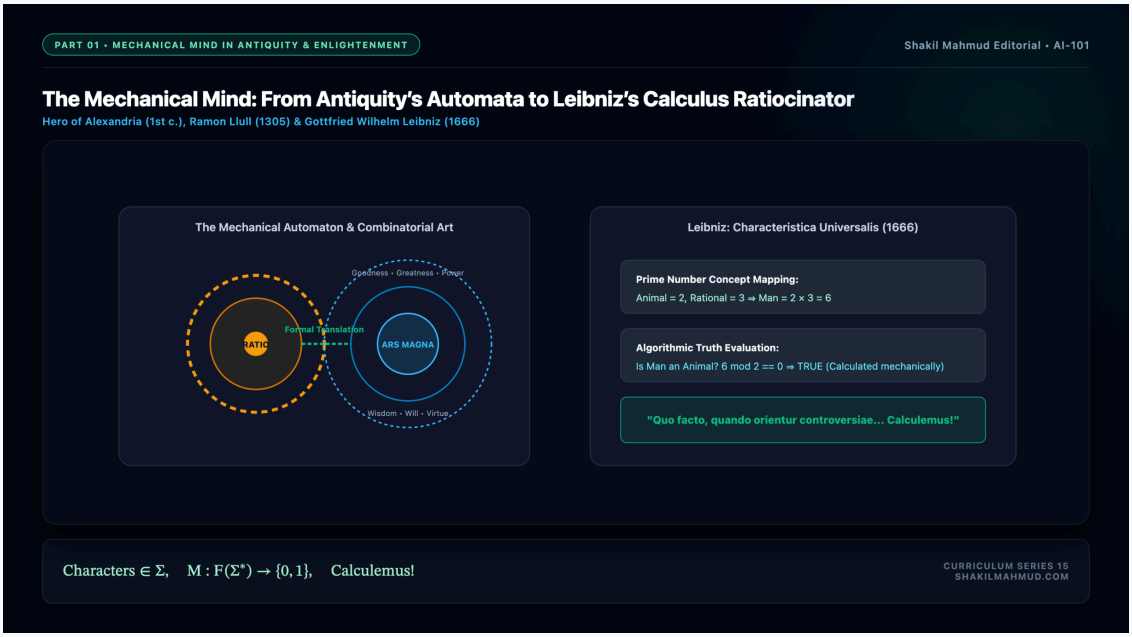
	রিইনফোর্সমেন্ট বিপ্লব — ডিপমাইন্ড, আলফাগো, চাল ৩৭ এবং গো খেলার ঐতিহাসিক বিজয় (২০১৬)	
খণ্ড ১৭	**অ্যাটেনশন ইজ অল ইউ নিড ও ট্রান্সফরমারের আধিপত্য** *অ্যাটেনশন ইজ অল ইউ নিড ও ট্রান্সফরমারের আধিপত্য*	492 শব্দ
খণ্ড ১৮	**ফাউন্ডেশন মডেল ও স্কেলিং সূত্র** *ফাউন্ডেশন মডেল ও স্কেলিং সূত্র*	459 শব্দ
খণ্ড ১৯	**জেনারেটিভ বিস্ফোরণ, আরএলএইচএফ ও সিস্টেম-২ রিজনিং** *জেনারেটিভ বিস্ফোরণ, আরএলএইচএফ ও সিস্টেম-২ রিজনিং*	419 শব্দ
খণ্ড ২০	**এজিআই দিগন্ত ও সুপারইন্টেলিজেন্সের ভবিষ্যৎ** *এজিআই দিগন্ত ও সুপারইন্টেলিজেন্সের ভবিষ্যৎ*	471 শব্দ

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • প্রথম খণ্ড

যান্ত্রিক মন — প্রাচীন অটোমাটা, রামোন লুল এবং লাইবনিজের ক্যালকুলাস র‍্যাটিওসিনেটর

যান্ত্রিক মন — প্রাচীন অটোমাটা, রামোন লুল এবং লাইবনিজের ক্যালকুলাস র‍্যাটিওসিনেটর

928 শব্দ • November 4, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ১: *যান্ত্রিক অটোমাটা ও রামোন লুলের কম্বিনেটোরিয়াল আর্স ম্যাগনা এবং গটফ্রিড ভিলহেম লাইবনিজের ক্যারেক্টারিস্টিকা ইউনিভার্সালিস ও ক্যালকুলাস র‍্যাটিওসিনেটরের রূপরেখা।*

আধুনিক সিলিকন মাইক্রোপ্রসেসর, গভীর নিউরাল নেটওয়ার্ক বা ইলেকট্রনিক ভ্যাকুয়াম টিউবের আবির্ভাবের বহু শতাব্দী আগে মানবজাতি চিন্তাকে যন্ত্রে রূপ দেওয়ার স্বপ্ন দেখেছিল। কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তা বা আর্টিফিশিয়াল ইন্টেলিজেন্সের অনুসন্ধান বিশ শতকের কোনো গবেষণাগারে হঠাৎ শুরু হয়নি; এর শেকড় প্রোথিত রয়েছে এক প্রাচীন ও অবিচল দার্শনিক আকাঙ্ক্ষায়: মানুষের মনন ও যুক্তিকে এমন এক ভৌত প্রাতিষ্ঠানিক রূপ দেওয়া, যা ঘড়ির কাঁটার মতো নিশ্চিত নিয়মে সত্যের হিসাব কষে দিতে পারে।

১. প্রাচীন যুগের স্বপ্ন: পৌরাণিক অটোমাটা ও নিউম্যাটিক যন্ত্রবিজ্ঞান

গ্রিক পুরাণে কারিগর দেবতা হেফেস্টাস ব্রোঞ্জ দিয়ে নির্মাণ করেছিলেন 'টালোস'—এক বিশাল যান্ত্রিক প্রহরী, যার শিরায় রক্ত হিসেবে বইত দেবতাদের অমর তরল 'ইকর'। ক্রিট দ্বীপকে পাহারা দেওয়াই ছিল তার কাজ। এছাড়া হেফেস্টাস তৈরি করেছিলেন সোনার তৈরি কৃত্রিম নারী পরিচারিকা, যারা কথা বলতে পারত, চিন্তা করতে পারত এবং দেবতাদের মতো কারিগরি শক্তিসম্পন্ন ছিল। পুরাণের এই রূপকগুলো ধীরে ধীরে হেলেনীয় যুগে বাস্তব মেকানিক্সে রূপ নিতে শুরু করে।

খ্রিস্টীয় প্রথম শতকে আলেকজান্দ্রিয়ায় বিজ্ঞানী হিরো (Heron of Alexandria) রচনা করেন *নিউম্যাটিকা* ও *অটোমেটা*। সেখানে তিনি বাতাসের চাপ, জলপ্রবাহ এবং দড়ির সাহায্যে চালিত প্রথম স্বয়ংক্রিয় থিয়েটার ও মেকানিক্যাল পুতুল তৈরির নকশা দেন। বেদিতে আগুন জ্বালালে মন্দিরের ভারী দরজা নিজে থেকেই খুলে যাওয়া কিংবা স্বয়ংক্রিয়ভাবে পাত্রে পানীয় ঢালার মতো কৌশল ছিল আধুনিক স্টেট মেশিনের আদি রূপ। কিন্তু এগুলো ছিল বাহ্যিক প্রদর্শনী মাত্র; এগুলোতে ছিল না কোনো **সাংকেতিক অর্থ অনুধাবন বা অভ্যন্তরীণ যুক্তির প্রকাশ**।

২. রামোন লুল ও কম্বিনেটোরিয়াল আর্স ম্যাগনা (Ars Magna)

চিন্তাকে গাণিতিক প্রক্রিয়ায় রূপ দেওয়ার প্রথম তাত্ত্বিক সেতু নির্মাণ করেন ত্রয়োদশ শতাব্দীর মায়োর্কার দার্শনিক ও গণিতজ্ঞ রামোন লুল (Ramon Llull)। ১৩০৫ সালে তাঁর অমর গ্রন্থ *আর্স ম্যাগনা* (Ars Magna)-তে তিনি দাবি করেন, দর্শনের সকল সত্যকে কয়েকটি মৌলিক ধারণার সম্মিলিত বিন্যাসের মাধ্যমে যান্ত্রিকভাবে উদঘাটন করা সম্ভব।

Shakil Mahmud • Research Monograph

লুল তৈরি করেছিলেন কাগজের তৈরি একাধিক ঘূর্ণায়মান বৃত্তাকার ডিস্ক বা 'ভলভেল' (Volvelles)। এই বৃত্তগুলোর প্রান্তে ঈশ্বরের মৌলিক গুণাবলী যেমন—মঙ্গলময়তা, মহত্ত্ব, অনন্তকাল, শক্তি, প্রজ্ঞা, ইচ্ছা ও সত্য খোদাই করা ছিল। ডিস্কগুলোকে একের সাপেক্ষে অন্যটি ঘুরিয়ে বিভিন্ন ধারণার সংযোগ বা কম্বিনেশন তৈরি করা যেত:

$$mathcalC = Sigma_1 times Sigma_2 times dots times Sigma_k$$

লুল বিশ্বাস করতেন, কোনো মিথ্যা বা অসঙ্গতিপূর্ণ যুক্তি থাকলে এই যান্ত্রিক বিন্যাসে তা স্ববিরোধী হিসেবে ধরা পড়বে এবং কেবল অবিকৃত দার্শনিক সত্যগুলোই টিকে থাকবে। যদিও এই ধারণাটি ধর্মতাত্ত্বিক কাঠামোর মধ্যে সীমাবদ্ধ ছিল, তথাপি এটি মানব সভ্যতার এক বিশাল বুদ্ধিবৃত্তিক উল্লম্ফন: **জ্ঞান সৃজন যে একটি যান্ত্রিক অ্যালগরিদমিক প্রক্রিয়া হতে পারে, লুল প্রথম তা শারীরিকভাবে প্রমাণ করার চেষ্টা করেন**। তাঁর এই কাজ পরবর্তীতে রেনে দেকার্ত ও লাইবনিজকে গভীরভাবে প্রভাবিত করেছিল।

৩. লাইবনিজের মহাবিপ্লব: ক্যারেক্টারিস্টিকা ইউনিভার্সালিস ও ক্যালকুলাস র‍্যাটিওসিনেটর

১৬৬৬ সালে মাত্র উনিশ বছর বয়সে জার্মান পলিম্যাথ গটফ্রিড ভিলহেম লাইবনিজ প্রকাশ করেন তাঁর গবেষণাপত্র *দে আর্টে কম্বিনেটোরিয়া* (De Arte Combinatoria)। লাইবনিজ অনুধাবন করেন যে মানব চিন্তার পুরো জগতকেই একটি আনুষ্ঠানিক সাংকেতিক বীজগণিতে নামিয়ে আনা সম্ভব।

তিনি দুটি অপরিহার্য কাঠামোর প্রস্তাব করেন, যা আধুনিক প্রতীকী কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার (Symbolic AI) জন্মলগ্নের ভিত্তি হয়ে দাঁড়ায়:

1. **ক্যারেক্টারিস্টিকা ইউনিভার্সালিস (Characteristica Universalis):** মানুষের সকল মৌলিক ধারণার একটি আনুষ্ঠানিক সার্বজনীন প্রতীকী বর্ণমালা। লাইবনিজ প্রস্তাব করেছিলেন যে মৌলিক ধারণাগুলোকে মৌলিক সংখ্যার (Prime numbers) সাথে সংযুক্ত করা হবে (যেমন: *প্রাণী* = ২, *যুক্তিগ্রাহ্য* = ৩)। ফলে যৌগিক ধারণা হবে এদের গুণফল (যেমন: *মানুষ* = ২ × ৩ = ৬)।
2. **ক্যালকুলাস র‍্যাটিওসিনেটর (Calculus Ratiocinator):** যুক্তির গাণিতিক অ্যালগরিদম। কোনো বস্তু বা ধারণার বৈশিষ্ট্য পরীক্ষা করতে হলে কেবল দেখতে হবে সংশ্লিষ্ট সংখ্যাটি দিয়ে ভাগশেষ শূন্য হয় কি না (pmod A quiv 0$)। যেমন, মানুষ কি প্রাণী? ৬ কে ২ দিয়ে ভাগ করলে কোনো ভাগশেষ থাকে না, সুতরাং এটি নিশ্চিত সত্য।

লাইবনিজ এমন এক পৃথিবীর স্বপ্ন দেখেছিলেন যেখানে দার্শনিক বা রাষ্ট্রনায়কদের মধ্যে কোনো বিরোধ দেখা দিলে রক্তক্ষয়ী যুদ্ধ বা অন্তহীন তর্কবিতর্কের প্রয়োজন হবে না। তাঁরা শান্তভাবে বসবেন এবং বলবেন:

> *"যখন বিতর্ক দেখা দেবে, তখন দুজন দার্শনিকের মধ্যে বিতর্কের আর কোনো প্রয়োজন হবে না, যেমন প্রয়োজন হয় না দুজন হিসাবরক্ষকের মধ্যে। কারণ তাদের পক্ষে হাতে কলম তুলে নেওয়া, অ্যাবাকাসে বসা এবং একে অপরকে বলা যথেষ্ট হবে:* ***ক্যালকুলেমুস! (চলুন, হিসাব কষে দেখা যাক!)***"

৪. যান্ত্রিক গণনা: প্যাসকেলের প্যাসকালিন থেকে লাইবনিজের স্টেপড রেকনার

লাইবনিজ শুধু তত্ত্বে থেমে থাকেননি; তিনি বুঝতে পেরেছিলেন যে প্রতীকী চিন্তার বাস্তবায়ন ঘটাতে হলে কার্যকর ভৌত যন্ত্রের প্রয়োজন। ১৬৪২ সালে ব্লেইজ প্যাসকেল তাঁর পিতার কর আদায়ের সুবিধার্থে তৈরি করেছিলেন *প্যাসকালিন* (Pascaline), যা গিয়ারের ঘূর্ণনের মাধ্যমে স্বয়ংক্রিয়ভাবে যোগ ও বিয়োগ করতে পারত।

১৬৭৩ সালে লাইবনিজ প্যাসকেলের এই ধারণাকে বহুদূর এগিয়ে নিয়ে যান এবং আবিষ্কার করেন **স্টেপড ড্রাম (Stepped Drum)**। এর মাধ্যমে তিনি নির্মাণ করেন *স্টেপড রেকনার* (Stepped Reckoner)—বিশ্বের প্রথম যন্ত্র, যা যোগ ও বিয়োগের পাশাপাশি পুনরাবৃত্তিমূলক গিয়ারের সাহায্যে স্বয়ংক্রিয় গুণ ও ভাগ করতে সক্ষম ছিল।

এর পাশাপাশি ১৬৭৯ সালে লাইবনিজ রচনা করেন *এক্সপ্লিকেশন দে লারিথমেটিক বিনেইর* (বাইনারি পাটিগণিতের ব্যাখ্যা)। তিনি দেখান যে মহাবিশ্বের সকল সংখ্যা এবং যুক্তিকে কেবল দুটি প্রতীক—এবং দ্বারা নিখুঁতভাবে প্রকাশ করা সম্ভব। আধুনিক ডিজিটাল কম্পিউটার ও প্রসেসরের যে সার্কিট আজ আমরা ব্যবহার করি, তার তাত্ত্বিক ভিত্তি লাইবনিজ সাড়ে তিনশত বছর আগেই স্থাপন করে গিয়েছিলেন।

৫. আলোকিত যুগের উত্তরাধিকার: যান্ত্রিক মানব থেকে গণনাকারী মন

অষ্টাদশ শতাব্দীর আলোকিত যুগে (Enlightenment) যান্ত্রিক গণনার এই সাফল্য দার্শনিক জগতে গভীর আলোড়ন সৃষ্টি করে। যদি ভৌত গিয়ার যোগ-বিয়োগ করতে পারে এবং মানুষের যুক্তি যদি মূলত আনুষ্ঠানিক গণনাই হয়, তবে মানুষের মন নিজেই কি একটি অতি জটিল যন্ত্র নয়?

১৭৪৮ সালে ফরাসি দার্শনিক জুলিয়েন অফ্রে দে লা মেত্রি প্রকাশ করেন *লম মেশিন* (যন্ত্রমানব)। তিনি দাবি করেন যে মানব চেতনা ও আত্মা কোনো অদৃশ্য রহস্য নয়, বরং সুসংগঠিত পদার্থেরই যান্ত্রিক প্রকাশ। একই সময়ে জ্যাক দে ভকানসন তৈরি করেন অবিশ্বাস্য সব যান্ত্রিক পুতুল—যার মধ্যে ছিল এমন এক মেকানিক্যাল বাঁশিবাদক, যা ফুসফুসের মতো বায়ুচাপ নিয়ন্ত্রণ করে বারোটি সুর নিখুঁতভাবে বাজাতে পারত।

কিন্তু এই যন্ত্রগুলো ছিল পূর্বনির্ধারিত ছকে বাঁধা। এদের নিজেদের শেখার, ভুল শুধরে নেওয়ার কিংবা নতুন কোনো পরিস্থিতিতে অভিযোজিত হওয়ার ক্ষমতা ছিল না। যান্ত্রিক পদার্থবিজ্ঞান এটি প্রতিষ্ঠা করতে পেরেছিল যে ভৌত যন্ত্র দিয়ে গণনা ও আচরণ অনুকরণ সম্ভব, কিন্তু একটি জ্বলন্ত প্রশ্ন তখনো অনুত্তরিত ছিল: **একটি জড় যন্ত্র কীভাবে স্বয়ংক্রিয়ভাবে সৃজনশীল ও বুদ্ধিবৃত্তিক চিন্তা জন্ম দেবে?** সেই উত্তরের সন্ধানে শুরু হলো গণনযোগ্যতার গাণিতিক মহাকাব্য।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "যান্ত্রিক মন — প্রাচীন অটোমাটা, রামোন লুল এবং লাইবনিজের ক্যালকুলাস র‍্যাটিওসিনেটর"। কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার ইতিহাস, খণ্ড ১।
https://shakilmahmud.com/bn/the-epic-history-of-artificial-intelligence-part-1-mechanical-mind-leibniz-bn/

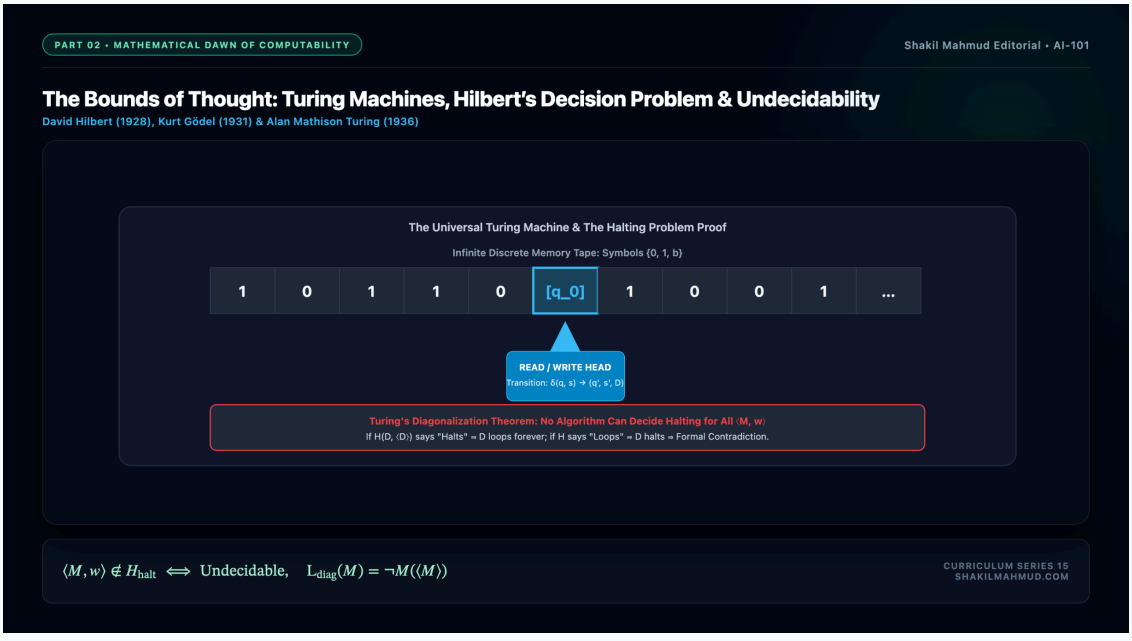
Shakil Mahmud • Research Monograph

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • দ্বিতীয় খণ্ড

গণনযোগ্যতার গাণিতিক প্রভাত — বুলের চিন্তার সূত্রাবলি, হিলবার্টের ডিসিশন প্রবলেম এবং টুরিংয়ের সার্বজনীন যন্ত্র

গণনযোগ্যতার গাণিতিক প্রভাত — বুলের চিন্তার সূত্রাবলি, হিলবার্টের ডিসিশন প্রবলেম এবং টুরিংয়ের সার্বজনীন যন্ত্র

1,134 শব্দ • November 4, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ২: *ইউনিভার্সাল টুরিং মেশিনের ডিসক্রিট টেপ আর্কিটেকচার এবং হল্টিং প্রবলেমের অনির্ণেয়তা প্রমাণকারী ডায়াগোনালাইজেশন মেকানিজ্ম।*

যন্ত্রকে চিন্তা শেখানোর আগে গণিতবিদদের আবিষ্কার করতে হয়েছিল—গাণিতিক দৃষ্টিকোণ থেকে ‘চিন্তা’ কথাটির প্রকৃত অর্থ কী। ১৮৫০ থেকে ১৯৫০—এই এক শতাব্দীতে যুক্তিবিদ্যার জগতে এক বৈপ্লবিক রূপান্তর ঘটে: ভাষাতাত্ত্বিক দর্শনের গণ্ডি পেরিয়ে যুক্তি রূপান্তরিত হয় এক নিখুঁত প্রতীকী গণিতে। এই বিপ্লবের চূড়ান্ত পরিণতি ঘটেছিল ১৯৩৬ সালে অ্যালান টুরিংয়ের যুগান্তকারী গবেষণাপত্রে, যা একদিকে ডিজিটাল কম্পিউটারের তাত্ত্বিক রূপরেখা প্রণয়ন করে এবং অন্যদিকে স্বয়ংক্রিয় যান্ত্রিক চিন্তার চরম গাণিতিক সীমাবদ্ধতাকে উন্মোচিত করে দেয়।

১. জর্জ বুল এবং চিন্তার বীজগণিত

১৮৫৪ সালে ইংরেজ গণিতবিদ জর্জ বুল প্রকাশ করেন তাঁর কালজয়ী গ্রন্থ: *অ্যান ইনভেস্টিগেশন অব দ্য লজ অব থট* (An Investigation of the Laws of Thought)। বুল উপলব্ধি করেছিলেন যে অ্যারিস্টটলের দুই হাজার বছরের পুরোনো যুক্তিবিদ্যাকে একটি আনুষ্ঠানিক বীজগণিতীয় সমীকরণে রূপ দেওয়া সম্ভব, যেখানে চলকের মান কোনো বাস্তব সংখ্যা নয়, বরং ‘সত্য’ বা ‘মিথ্যা’ নির্দেশ করে।

বুল একটি বাইনারি জগতের প্রস্তাব করেন যেখানে যে কোনো উক্তি হয় (সত্য)অথবা (মিথ্যা)। বুলিয়ান অ্যালজেব্রায় যৌক্তিক ক্রিয়াগুলো সাধারণ পাটিগণিতের সাথে সরাসরি মিলে যায়:

- **যৌক্তিক গুণ (AND):** land y quiv x cdot y$
- **যৌক্তিক যোগ (OR):** lor y quiv x + y – x cdot y$
- **যৌক্তিক বিপরীত (NOT):** $ eg x quiv 1 – x$

বুলের এই যুগান্তকারী ধারণা প্রমাণ করল যে যৌক্তিক সিদ্ধান্ত গ্রহণ কোনো অতীন্দ্রিয় মানবিক রহস্য নয়; এটি কিছু সুনির্দিষ্ট বীজগণিতীয় নিয়মের সমষ্টি। ১৯৩৭ সালে এমআইটির তরুণ শিক্ষার্থী ক্লড শ্যানন আবিষ্কার করেন যে এই বুলিয়ান বীজগণিত হুবহু ইলেকট্রিক্যাল সুইচের সাথে মিলে যায়: সুইচ চালু থাকলে $, বন্ধ থাকলে এর মাধ্যমে যুক্তি এবং ইলেকট্রনিক সার্কিটের মধ্যে এক অবিচ্ছেদ্য সেতুবন্ধন রচিত হয়।

২. ফ্রেগে, পিয়ানো এবং ডেভিড হিলবার্টের আনুষ্ঠানিক মহাপ্রকল্প

ঊনবিংশ শতাব্দীর শেষভাগে গটলব ফ্রেগে (Gottlob Frege) আধুনিক প্রেডিকেট ক্যালকুলাস এবং কোয়ান্টিফায়ার ($orall, xists$) উদ্ভাবন করেন। পরবর্তীতে বার্ট্রান্ড রাসেল এবং আলফ্রেড নর্থ হোয়াইটহেড তাঁদের বিখ্যাত *প্রিন্সিপিয়া ম্যাথমেটিকা* (১৯১০–১৯১৩) গ্রন্থে সম্পূর্ণ গণিতকে বিশুদ্ধ যুক্তিবিদ্যার ওপর দাঁড় করানোর বিশাল উদ্যোগ নেন।

১৯২৮ সালে ইতালির বোলোনিয়ায় আন্তর্জাতিক গণিত সম্মেলনে বিশ্বখ্যাত গণিতবিদ ডেভিড হিলবার্ট তাঁর বিখ্যাত **ফরমালিস্ট প্রোগ্রাম** ঘোষণা করেন। তিনি গণিতের ভিত্তি সম্পর্কে তিনটি মৌলিক প্রশ্ন উত্থাপন করেন:

1. **সম্পূর্ণতা (Completeness):** গণিতের প্রতিটি সত্য উক্তিকে কি গৃহীত স্বতঃসিদ্ধ বা সূত্রের সাহায্যে প্রমাণ করা সম্ভব?
2. **সংগতি (Consistency):** এটি কি নিশ্চিত করে প্রমাণ করা যায় যে গণিতের নিয়মে কখনোই কোনো স্ববিরোধিতা (land eg P$) দেখা দেবে না?
3. **নির্ণেয়তা (Decidability বা *Entscheidungsproblem*):** এমন কি কোনো সাধারণ যান্ত্রিক অ্যালগরিদম বা প্রক্রিয়া তৈরি করা সম্ভব, যা যেকোনো গাণিতিক প্রস্তাবনা পরীক্ষা করে সসীম সংখ্যক ধাপে বলে দিতে পারবে যে উক্তিটি সত্য নাকি মিথ্যা?

হিলবার্ট গভীর আশাবাদী ছিলেন যে এই তিনটি প্রশ্নের উত্তরই হবে ইতিবাচক। তিনি বিশ্বাস করতেন মানব জ্ঞানের কোনো সীমারেখা থাকতে পারে না। গটিংগেনে তাঁর সমাধিতে খোদাই করা রয়েছে তাঁর বিখ্যাত বাণী: *“আমাদের জানতেই হবে। আমরা জানতে পারবই।”*

৩. গোডেলের ভূমিকম্প: ইনকমপ্লিটনেস উপপাদ্য (১৯৩১)

হিলবার্টের এই নিখুঁত গাণিতিক দুর্গের স্বপ্ন ভেঙে খানখান হয়ে যায় ১৯৩১ সালে। অস্ট্রিয়ার মাত্র পঁচিশ বছর বয়সী তরুণ যুক্তিবিদ কুর্ট গোডেল (Kurt Gödel) প্রকাশ করেন তাঁর ঐতিহাসিক ইনকমপ্লিটনেস থিওরেম। গোডেল গাণিতিক উক্তি ও প্রতীকগুলোকে একটি অনন্য মৌলিক সংখ্যার বিন্যাসে কোড করার পদ্ধতি উদ্ভাবন করেন (যা গোডেল নাম্বারিং নামে পরিচিত)।

এর মাধ্যমে গোডেল গণিতের ভেতরেই এমন একটি স্ব-উল্লেখকারী বাক্য $ তৈরি করেন যা দাবি করে—”আমাকে এই স্বতঃসিদ্ধের নিয়মে প্রমাণ করা অসম্ভব”:

$ iff eg ext{Prov}_F(ulcorner G ulcorner)

' in math mode at position 53: ...পূর্ণ হয়, ত□□□ কে কখনোই প্রমা..." style="color:#cc0000"> যদি গাণিতিক ব্যবস্থাটি সংগতিপূর্ণ হয়, তবে $ কে কখনোই প্রমাণ করা যাবে না। আর প্রমাণ করা না গেলেই বাক্যটি সত্য হয়ে ওঠে! গোডেলের প্রথম উপপাদ্য এক অবিশ্বাস্য সত্য উন্মোচন করল: যেকোনো গাণিতিক ব্যবস্থা যদি সংগতিপূর্ণ হয়, তবে তা কখনোই সম্পূর্ণ হতে পারে না। এমন কিছু সত্য সর্বদা বিদ্যমান থাকবে যা ঐ সিস্টেমের নিয়মের ভেতর থেকে কখনোই প্রমাণ করা সম্ভব নয়। হিলবার্টের প্রথম দুটি প্রশ্নের ইতিবাচক স্বপ্ন ধূলিসাৎ হয়ে গেল। কিন্তু তৃতীয় প্রশ্নটি—ডিসিশন প্রবলেম—তখনও অমীমাংসিত ছিল। <h2 class="wp-block-heading">৪. অ্যালান টুরিং এবং ইউনিভার্সাল মেশিন (১৯৩৬)</h2> কোনো যান্ত্রিক অ্যালগরিদম সব সত্য নির্ধারণ করতে পারে কি না, তা জানতে হলে প্রথমে সংজ্ঞায়িত করতে হতো—‘যান্ত্রিক প্রক্রিয়া’ বলতে আসলে কী বোঝায়। ১৯৩৬ সালে কেমব্রিজের চব্বিশ বছর বয়সী ফেলো অ্যালান টুরিং রচনা করেন তাঁর ঐতিহাসিক গবেষণাপত্র: অন কম্পিউটেবল নাম্বারস, উইথ অ্যান অ্যাপ্লিকেশন টু দ্য এন্টশাইডুংসপ্রবলেম। টুরিং বিশ্লেষণ করলেন একজন সাধারণ মানুষ খাতা-কলমে হিসাব করার সময় আসলে ঠিক কী কী কাজ করে। তিনি এই মানবিক প্রক্রিয়াটিকে একটি নিখুঁত ও সহজ গাণিতিক বিমূর্ততায় রূপ দিলেন, যা আজ টুরিং মেশিন নামে পরিচিত। টুরিং মেশিনের মৌলিক উপাদানগুলো ছিল: <ol> একটি অসীম দৈর্ঘ্যের ফিতা বা টেপ, যা খণ্ড খণ্ড ঘরে বিভক্ত এবং প্রতিটি ঘরে একটি নির্দিষ্ট প্রতীক ($Sigma$) লেখা থাকতে পারে। একটি রিড/রাইট হেড, যা টেপের ওপর অবস্থান করে ঘর থেকে প্রতীক পড়তে পারে, নতুন প্রতীক লিখতে পারে এবং এক ঘর ডানে ()বাবাঁয়ে() সরতে পারে। একটি স্টেট রেজিস্টার, যা মেশিনের বর্তমান অভ্যন্তরীণ অবস্থা ($) সংরক্ষণ করে। একটি রূপান্তর নিয়ম বা ট্রানজিশন ফাংশন ($delta$), যা নির্দেশ করে বর্তমান প্রতীক ও অবস্থার সাপেক্ষে মেশিনটি পরবর্তীতে কী লিখবে এবং কোথায় যাবে। টুরিংয়ের মূল বুদ্ধিবৃত্তিক বিপ্লব ছিল ইউনিভার্সাল টুরিং মেশিন (UTM)-এর ধারণা। টুরিং দেখালেন যে প্রতিটি আলাদা কাজের জন্য আলাদা যন্ত্র বানানোর প্রয়োজন নেই। একটি সাধারণ ইউনিভার্সাল মেশিন নিজেই অন্য যেকোনো টুরিং মেশিনের প্রোগ্রাম ও ডেটা নিজের টেপে গ্রহণ করে হুবহু সেই মেশিনের মতো কাজ সম্পন্ন করতে পারে:

mathcal{U}(langle M, w angle) = M(w)

Shakil Mahmud • Research Monograph

' in math mode at position 508: ...ারণ অ্যালগরিদ□□ তৈরি করা সম্ভব..." style="color:#cc0000"> এটিই ছিল আজকের আধুনিক কম্পিউটারের মূল নীতি—যেখানে হার্ডওয়্যার থাকে অপরিবর্তিত, আর টেপে লেখা সফটওয়্যার বা প্রোগ্রামের পরিবর্তনের মাধ্যমে একই যন্ত্র ওয়ার্ড প্রসেসর, ক্যালকুলেটর কিংবা গেম কনসোলে রূপান্তরিত হয়। <h2 class="wp-block-heading">৫. হল্টিং প্রবলেম এবং কৃত্রিম বুদ্ধির চরম সীমা</h2> টুরিং তাঁর ইউনিভার্সাল মেশিনের ধারণাকে কাজে লাগিয়ে হিলবার্টের তৃতীয় প্রশ্নের উত্তর দেন। তিনি দাঁড় করান বিখ্যাত হল্টিং প্রবলেম (Halting Problem): এমন কি কোনো সাধারণ অ্যালগরিদম তৈরিকরাসম্ভব, যাযেকোনোপ্রোগ্রাম এবং ইনপুট $ দেখে বিশ্লেষণ করে আগে থেকেই বলে দিতে পারবে যে প্রোগ্রামটি অনন্তকাল ধরে চলবে নাকি একসময় থামবে? টুরিং ক্যান্টরের ডায়াগোনাল পদ্ধতির সাহায্যে এক অকাট্য স্ববিরোধিতা তৈরি করলেন। ধরা যাক, এমন একটি নিখুঁত অ্যালগরিদম (M, w)সম্ভব।তবেআমরাএকটিবিপরীতমুখীমেশিন তৈরি করতে পারি, যা নিজের ইনপুট হিসেবে অন্য একটি মেশিনের কোড গ্রহণ করে: <ol> মেশিন তারভেতরেথাকা কে জিজ্ঞাসা করবে: প্রোগ্রাম $ কি নিজের কোড চালালে থামবে? যদি বলে “থামবে”, তবে ইচ্ছাকৃতভাবে অনন্ত লুপে চলে যাবে এবং কখনোই থামবে না। যদি বলে “থামবে না (অনন্তকাল চলবে)”, তবে সাথে সাথে কাজ বন্ধ করে থেমে যাবে। এখন প্রশ্ন হলো, যদি মেশিন $-এর ভেতরে তার নিজের কোডই ইনপুট হিসেবে দেওয়া হয়—(langle D angle) কী ঘটবে?

ext{যদি } D ext{ থামে} implies H ext{ বলবে “থামবে”} implies D ext{ অনন্তকাল চলবে (স্ববিরোধিতা!)}

$$< /p >< p >$$

ext{যদি } D ext{ অনন্তকাল চলে} implies H ext{ বলবে “চলবে”} implies D ext{ সাথে সাথে থেমে যাবে (স্ববিরোধিতা!)}$$

এই স্ববিরোধিতা প্রমাণ করে যে এমন কোনো সাধারণ অ্যালগরিদম $ বাস্তবে থাকা গাণিতিকভাবে অসম্ভব। এর মাধ্যমে হিলবার্টের *এন্টশাইডুংসপ্রবলেম*-এর নেতিবাচক সমাপ্তি ঘটে: **যান্ত্রিক গণনার একটি অনতিক্রম্য আনুষ্ঠানিক সীমা রয়েছে**। অ্যালগরিদম দিয়ে সব গাণিতিক সত্য নির্ধারণ করা সম্ভব নয়।

টুরিংয়ের এই আবিষ্কার ছিল এক যুগল উপহার। একদিকে তিনি দেখিয়েছিলেন যে যন্ত্রের যুক্তি অসীম নয়, এর সুনির্দিষ্ট গাণিতিক সীমানা রয়েছে। অন্যদিকে তিনি প্রমাণ করেছিলেন যে মহাবিশ্বে যা কিছু অ্যালগরিদমিকভাবে সমাধানযোগ্য, তা কেবল একটি ইউনিভার্সাল মেশিনের মাধ্যমেই সমাধান করা সম্ভব। আর যদি মানুষের মস্তিষ্ক ও বুদ্ধিমত্তা কোনো ভৌত ও গণনযোগ্য নিয়ম মেনে চলে, তবে সেই নীতিকে ইউনিভার্সাল মেশিনে ধারণ করে কৃত্রিম মনের জন্ম দেওয়া তাত্ত্বিকভাবে পুরোপুরি সম্ভব।

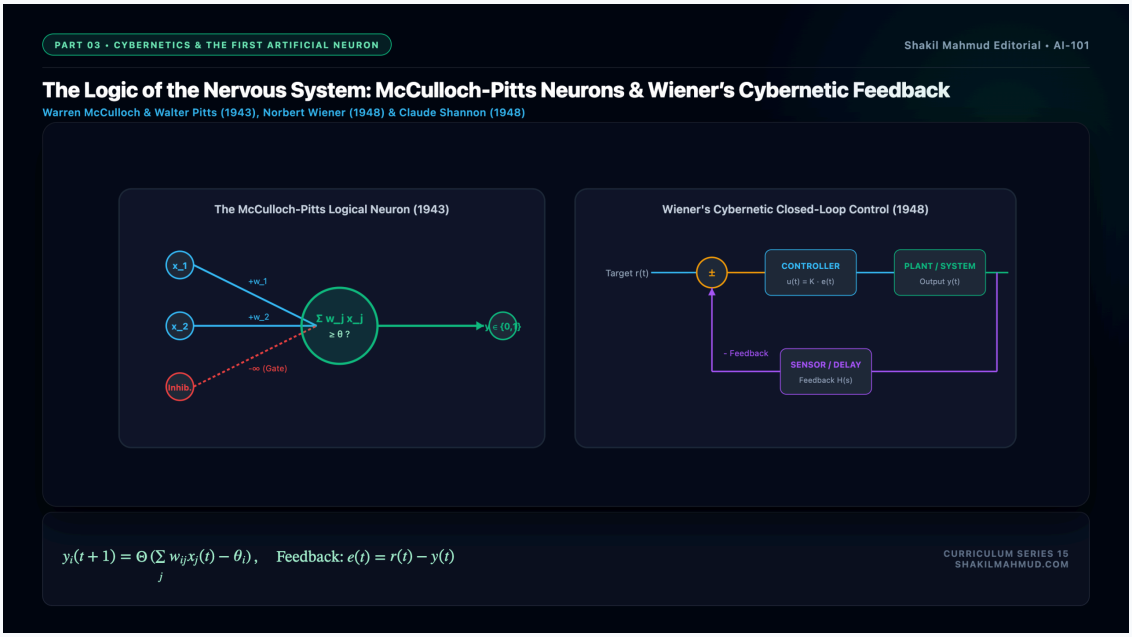
সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "গণনযোগ্যতার গাণিতিক প্রভাত — বুলের চিন্তার সূত্রাবলি, হিলবার্টের ডিসিশন প্রবলেম এবং টুরিংয়ের সার্বজনীন যন্ত্র"। কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার ইতিহাস, খণ্ড ২।
https://shakilmahmud.com/bn/the-epic-history-of-artificial-intelligence-part-2-computability-turing-machine-bn/

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • তৃতীয় খণ্ড

সাইবারনেটিক প্রভাত — ম্যাককুলাক-পিটস নিউরন, নরবার্ট উইনারের ফিডব্যাক এবং তথ্য তত্ত্ব

সাইবারনেটিক প্রভাত — ম্যাককুলাক-পিটস নিউরন, নরবার্ট উইনারের ফিডব্যাক এবং তথ্য তত্ত্ব

871 শব্দ • November 4, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ৩: *ম্যাককুলাক-পিটস বাইনারি লজিক্যাল নিউরন এবং নরবার্ট উইনারের সাইবারনেটিক ক্লোজড-লুপ নেগেটিভ ফিডব্যাক নিয়ন্ত্রণ ব্যবস্থা।*

দ্বিতীয় বিশ্বযুদ্ধের অস্থির দিনগুলোতে এক অবিশ্বাস্য আন্তঃবিভাগীয় বিপ্লব দানা বাঁধছিল। নিউরোফিজিওলজিস্ট, গণিতবিদ ও ইলেকট্রিক্যাল ইঞ্জিনিয়াররা উপলব্ধি করলেন যে কোনো উদ্দেশ্যমুখী বা লক্ষ্যভিত্তিক আচরণ কেবল জীবিত প্রাণীর একান্ত নিজস্ব বৈশিষ্ট্য নয়। মানব মস্তিষ্কের জৈব নিউরনের স্পন্দনকে গাণিতিক যুক্তির সাথে মিলিয়ে এবং আচরণকে নিয়ন্ত্রিত ফিডব্যাক লুপের কাঠামোয় বেঁধে ১৯৪০-এর দশকের সাইবারনেটিক্স আন্দোলন আধুনিক কৃত্রিম নিউরাল নেটওয়ার্কের জন্ম দিয়েছিল।

১. ১৯৪৩ সালের যুগান্তকারী বিপ্লব: ওয়ারেন ম্যাককুলাক ও ওয়াল্টার পিটস

১৯৪৩ সালে ইলিনয় বিশ্ববিদ্যালয়ের প্রখ্যাত নিউরোসাইকিয়াট্রিস্ট ওয়ারেন ম্যাককুলাক (Warren McCulloch) এবং মাত্র আঠারো বছর বয়সী স্বশিক্ষিত গণিত প্রতিভাবান ওয়াল্টার পিটস (Walter Pitts) যৌথভাবে একটি ঐতিহাসিক গবেষণাপত্র প্রকাশ করেন: *এ লজিক্যাল ক্যালকুলাস অব দি আইডিয়াস ইম্যানেন্ট ইন নার্ভাস অ্যাক্টিভিটি* (A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity)।

ম্যাককুলাক ও পিটস আধুনিক স্নায়ুবিজ্ঞানের ‘অল-অর-নান’ (All-or-None) সূত্রের ওপর ভিত্তি করেন। জীববিজ্ঞানী সান্তিয়াগো রামোন ই কাহাল ও চার্লস শেরিংটন দেখিয়েছিলেন যে একটি স্নায়ুকোষের মেমব্রেন পটেনশিয়াল যখন নির্দিষ্ট থ্রেশহোল্ড অতিক্রম করে, তখনই অ্যাক্সন বেয়ে ইলেকট্রিক্যাল স্পাইক নির্গত হয়; আর থ্রেশহোল্ড অতিক্রম না করলে নিউরনটি সম্পূর্ণ নিস্তেজ থাকে।

ম্যাককুলাক এবং পিটস এর মধ্যে এক অসাধারণ গাণিতিক মিল আবিষ্কার করলেন: **জৈবিক নিউরনের এই অল-অর-নান আচরণ জর্জ বুলের বাইনারি লজিকের সাথে হুবহু এক**। নিউরন ফায়ার করা মানে ‘সত্য’ ()এবংনিস্তেজথাকামানে‘মিথ্যা’()।

২. থ্রেশহোল্ড নিউরনের গাণিতিক রূপরেখা

ম্যাককুলাক ও পিটস (MCP) জটিল জৈব-রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলোকে বাদ দিয়ে একটি আনুষ্ঠানিক গাণিতিক মডেল দাঁড় করালেন। কোনো নিউরন পরবর্তীসময়ধাপে(+1) সক্রিয় হবে কি না, তা নির্ভর করে পূর্ববর্তী সময় ধাপে তার সাথে যুক্ত অন্যান্য নিউরন থেকে আসা সংকেতের যোগফলের ওপর:

$(t+1) = Theta left(sum_{j} w_{ij} x_j(t) – heta_i ight)

Shakil Mahmud • Research Monograph

Theta(z) হলো হ..." style="color:#cc0000"> এখানে $Theta(z)$ হলো হেভিসাইড স্টেপ ফাংশন:

Theta(z) = begin{cases} 1 & ext{যদি } z ge 0 0 & ext{যদি } z < 0 nd{cases}

' in math mode at position 26: ...নপুট in {0, 1} এর সাথে সাইন্য..." style="color:#cc0000"> ইনপুট in {0, 1} এরসাথেসাইন্যাপটিকওজনij গুণ হয়। ম্যাককুলাক-পিটস মডেলে দুই ধরণের সাইন্যাপ্স ছিল: <ol> উত্তেজক সাইন্যাপ্স (Excitatory Synapse): যা মেমব্রেন ভোল্টেজকে থ্রেশহোল্ড $heta_i$-এর দিকে এগিয়ে দেয় ({ij} > 0$)। দমনমূলক সাইন্যাপ্স (Inhibitory Synapse): যা সক্রিয় হলে নিউরনটি অন্য সকল ইনপুট সত্ত্বেও সম্পূর্ণ নিস্তেজ থাকতে বাধ্য হয় ({ik} = -infty$)। এই সরল গাণিতিক নিউরন দিয়ে ম্যাককুলাক এবং পিটস এক যুগান্তকারী উপপাদ্য প্রমাণ করলেন: এই ধরনের কৃত্রিম নিউরনের নেটওয়ার্ক দিয়ে জর্জ বুলের যেকোনো লজিক গেট (AND, OR, NOT) নিখুঁতভাবে তৈরি করা সম্ভব। একটি AND গেট তৈরি হয় দুটি ইনপুট (= 1, w_2 = 1)এবংথ্রেশহোল্ড heta = 2$ দিয়ে। একটি OR গেট তৈরি হয় একই ইনপুট এবং থ্রেশহোল্ড $heta = 1$ দিয়ে। একটি NOT গেট তৈরি হয় ইনহিবিটরি সাইন্যাপ্স দিয়ে। আরও চমকপ্রদ ব্যাপার হলো, ম্যাককুলাক ও পিটস দেখালেন যে নিউরাল নেটওয়ার্কের মধ্যে যদি বৃত্তাকার বা সাইক্লিক সংযোগ (Recurrent Loop) থাকে, তবে সংকেতটি সেখানে ক্রমাগত ঘুরতে পারে—যা তৈরি করে কৃত্রিম স্মৃতি (Internal Memory)। যেহেতু যেকোনো টুরিং মেশিন কেবল লজিক গেট এবং মেমোরি দিয়ে তৈরি করা সম্ভব, তাই ম্যাককুলাক ও পিটস প্রমাণ করলেন যে যথেষ্ট বড় একটি কৃত্রিম নিউরাল নেটওয়ার্ক তাত্ত্বিকভাবে একটি সম্পূর্ণ সার্বজনীন কম্পিউটার (Turing Complete)। মানুষের মস্তিষ্ক যে মূলত একটি প্রাকৃতিক বায়োলজিক্যাল কম্পিউটার, তা প্রথম গাণিতিকভাবে প্রতিষ্ঠিত হলো। <h2 class="wp-block-heading">৩. নরবার্ট উইনার এবং সাইবারনেটিক্স বিজ্ঞান (১৯৪৮)</h2> যখন ম্যাককুলাক ও পিটস নিউরনের ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র লজিক নিয়ে কাজ করছিলেন, তখন এমআইটির গণিতবিদ নরবার্ট উইনার (Norbert Wiener) কাজ করছিলেন সম্পূর্ণ সিস্টেমের সামগ্রিক আচরণ নিয়ে। বিশ্বযুদ্ধের সময় উইনার অ্যান্টি-এয়ারক্রাফট কামানের নিশানা স্বয়ংক্রিয় করার দায়িত্বে ছিলেন, যেখানে পাইলটের সম্ভাব্য বাঁক ও পলায়ন গতি অনুধাবন করতে হতো। উইনার বুঝতে পারলেন যে বিমানের গতিপথ অনুসরণ করা, মানুষের এক গ্লাস পানি তুলে নেওয়া, শরীরের রক্তচাপ বা তাপমাত্রা নিয়ন্ত্রণ করা—প্রতিটি প্রক্রিয়ার মূলে রয়েছে একটি অভিন্ন গাণিতিক কাঠামো: ক্লোজড-লুপ নেগেটিভ ফিডব্যাক (Closed-Loop Negative Feedback)। ১৯৪৮ সালে তিনি প্রকাশ করেন তাঁর যুগান্তকারী গ্রন্থ সাইবারনেটিক্স (Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine)। একটি সাইবারনেটিক সিস্টেমে এজেন্ট তার বর্তমান অবস্থা (t)পরিমাপকরে, কাঙ্ক্ষিতলক্ষ্যের(t) সাথে তুলনা করে এবং এদের বিয়োগফল থেকে এরর বা ত্রুটি সংকেত তৈরি করে: $(t) = r(t) – y(t)

সিস্টেমটি এই ত্রুটি সংকেতের সাহায্যে তার কন্ট্রোলারকে সচল করে ((t) = K cdot e(t)$), যাতে ত্রুটি ক্রমান্বয়ে শূন্যে নেমে আসে। উইনার প্রমাণ করলেন যে কোনো লক্ষ্য অর্জন বা উদ্দেশ্যমুখী আচরণের জন্য কোনো রহস্যময় আত্মার প্রয়োজন হয় না; এটি কার্যকারণ ফিডব্যাক চক্রের এক নিখুঁত পদার্থবৈজ্ঞানিক পরিণতি।

৪. ক্লড শ্যাননের তথ্য তত্ত্ব (Information Theory)

একই বছর—১৯৪৮ সালে—বেল ল্যাবরেটরিজের গণিতবিদ ক্লড শ্যানন প্রকাশ করেন *এ ম্যাথমেটিক্যাল থিওরি অব কমিউনিকেশন*। শ্যানন তথ্যের ধারণাকে মানুষের মনস্তাত্ত্বিক উপলব্ধি থেকে পুরোপুরি আলাদা করে ফেলেন এবং একে সংজ্ঞায়িত করেন **পরিসংখ্যানিক অনিশ্চয়তা হ্রাসের পরিমাপ** হিসেবে।

শ্যানন তথ্যের এন্ট্রপি পরিমাপের সমীকরণ দেন:

$(X) = – sum_{x in mathcal{X}} p(x) log_2 p(x)$$

তিনি প্রমাণ করেন যে যেকোনো বার্তা—তা সে ছবি হোক, শব্দ হোক কিংবা মানুষের ভাষা হোক—বাইনারি ডিজিট বা ‘বিট’ (Bit)-এ রূপান্তরযোগ্য। শ্যাননের এই আবিষ্কার সাইবারনেটিক্স ও প্রাথমিক এআই গবেষণায় এক অমোঘ মাপকাঠি এনে দিল: জ্ঞান অর্জন মানেই হলো সিস্টেমের তথ্যগত বিশৃঙ্খলা বা এন্ট্রপি হ্রাস করা।

৫. মেসি কনফারেন্স (The Macy Conferences): বুদ্ধিবৃত্তিক মহাপীঠ

১৯৪৬ থেকে ১৯৫৩ সালের মধ্যে নিউ ইয়র্কে অনুষ্ঠিত দশটি আন্তঃবিভাগীয় সম্মেলন ইতিহাসে ‘মেসি কনফারেন্স’ নামে অমর হয়ে আছে। এই সম্মেলনে নিয়মিত উপস্থিত থাকতেন নরবার্ট উইনার, ওয়ারেন ম্যাককুলাক, ওয়াল্টার পিটস, জন ভন নিউম্যান, ক্লড শ্যানন এবং সমাজবিজ্ঞানী মার্গারেট মিড।

এটি ছিল আধুনিক বুদ্ধিবৃত্তিক ইতিহাসের অন্যতম বিস্ময়কর মিলনমেলা। ভন নিউম্যান সেখানে উপস্থাপন করতেন ডিজিটাল কম্পিউটারের স্থাপত্য ও আত্ম-প্রতিলিপিকারী সেলুলার অটোমাটা; রস অ্যাশবি দেখাতেন স্বয়ংক্রিয় ভারসাম্যের মেকানিক্যাল হোমিয়োস্ট্যাট; পিটস আলোচনা করতেন নিউরাল যুক্তিবিদ্যা। প্রথমবারের মতো জড় পদার্থবিজ্ঞান এবং জীবন্ত মনের মধ্যকার প্রাচীর ভেঙে চুরমার হয়ে গেল। মানুষের মন আর কোনো অস্পষ্ট অদৃশ্য সত্তা রইল না—মন পরিণত হলো তথ্য প্রক্রিয়াকরণ ও স্বয়ংক্রিয় নিয়ন্ত্রণের এক অপূর্ব সাইবারনেটিক মহাযন্ত্রে।

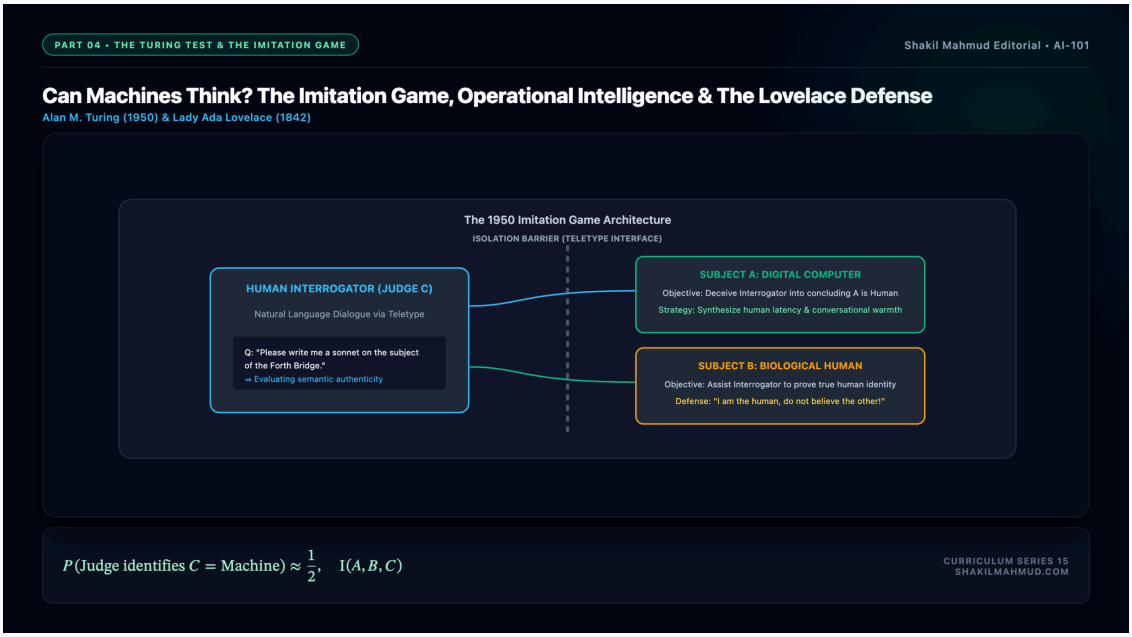
সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "সাইবারনেটিক প্রভাত — ম্যাককুলাক-পিটস নিউরন, নরবার্ট উইনারের ফিডব্যাক এবং তথ্য তত্ত্ব"। কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার ইতিহাস, খণ্ড ৩।
https://shakilmahmud.com/bn/the-epic-history-of-artificial-intelligence-part-3-cybernetics-mcculloch-pitts-bn/

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • চতুর্থ খণ্ড

যন্ত্র কি চিন্তা করতে পারে? টুরিং টেস্ট, ইমিটেশন গেম এবং লেডি লাভলেসের আপত্তি

যন্ত্র কি চিন্তা করতে পারে? টুরিং টেস্ট, ইমিটেশন গেম এবং লেডি লাভলেসের আপত্তি

936 শব্দ • November 4, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ৪: *অ্যালান টুরিংয়ের ১৯৫০ সালের ইমিটেশন গেম ট্রাইপার্টাইট স্থাপত্য, যা ব্লাইন্ড টেলিটাইপ কথোপকথনের মাধ্যমে কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তা মূল্যায়ন করে।*

১৯৫০ সালের অক্টোবর মাসে আন্তর্জাতিক দর্শন বিষয়ক সাময়িকী *মাইন্ড* (Mind)-এ একটি গবেষণাপত্র প্রকাশিত হয়, যার প্রথম বাক্যটি বিংশ শতাব্দীর জ্ঞানতাত্ত্বিক দৃষ্টিভঙ্গিকেই চিরতরে বদলে দিয়েছিল: *“আমি একটি প্রশ্ন বিবেচনা করার প্রস্তাব করছি: ‘যন্ত্র কি চিন্তা করতে পারে?’”* ম্যানচেস্টার বিশ্ববিদ্যালয়ে বসে লেখা অ্যালান টুরিংয়ের এই গবেষণাপত্রটি শত শত বছরের পুরোনো আধ্যাত্মিক ও অস্পষ্ট বিতর্ককে একপাশে সরিয়ে দিল। “মন” বা “আত্মার” সংজ্ঞা খোঁজার বদলে টুরিং এমন এক ব্যবহারিক ও আচরণবাদী পরীক্ষা প্রস্তাব করলেন, যা আজও কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার সবচেয়ে আলোচিত মাপকাঠি: **টুরিং টেস্ট বা দ্য ইমিটেশন গেম**।

১. দর্শনের গোলকধাঁধা পেরিয়ে: আচরণবাদী বুদ্ধিমত্তা

টুরিং উপলব্ধি করেছিলেন যে ‘চিন্তা করা’ কথাটি নিজেই এক ভাষাগত ফাঁদ। আমরা কীভাবে চিন্তার সংজ্ঞা দেব? চেতনার প্রমাণ কীভাবে খুঁজব? বাস্তবে আমরা কোনো মানুষের মস্তিষ্কের ভেতর উঁকি দিতে পারি না; অন্য একজন মানুষের চেতনা আছে কি না, তা আমরা নির্ধারণ করি কেবল তার মৌখিক প্রতিক্রিয়া, যৌক্তিক আচরণ এবং পারস্পরিক কথোপকথন লক্ষ্য করে।

অপ্রয়োজনীয় বিতর্ক এড়াতে টুরিং এক সুনির্দিষ্ট প্রস্তাব দিলেন: যদি কোনো ডিজিটাল কম্পিউটার মানুষের সাথে স্বাভাবিক ভাষায় এমন নিখুঁতভাবে কথোপকথন চালিয়ে যেতে পারে যে একজন বিচারক কিছুতেই বুঝতে না পারেন কোনটি যন্ত্র আর কোনটি মানুষ, তবে সেই যন্ত্রের চিন্তাশক্তি অস্বীকার করা হবে নিছক জৈবিক অহংকার।

২. দ্য ইমিটেশন গেমের মেকানিক্স

টুরিং ভিক্টোরিয়ান যুগের একটি জনপ্রিয় গৃহস্থালি খেলা থেকে এই পরীক্ষার কাঠামো ধার করেছিলেন। মূল খেলায় একজন পুরুষ ()এবংএকজননারী() একটি আলাদা ঘরে বসতেন। অন্য ঘরে বসা বিচারক ($) কেবল টাইপ করা চিরকুটের মাধ্যমে তাদের সাথে কথা বলতেন এবং বোঝার চেষ্টা করতেন কে পুরুষ আর কে নারী। পুরুষের কাজ ছিল বিচারককে বিভ্রান্ত করা, আর নারীর কাজ ছিল বিচারককে সত্য বুঝতে সাহায্য করা।

টুরিং এবার পুরুষ খেলোয়াড় $-এর জায়গায় একটি ডিজিটাল কম্পিউটার বসিয়ে দিলেন:

- **খেলোয়াড় A:** কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তাসম্পন্ন একটি ডিজিটাল কম্পিউটার।
- **খেলোয়াড় B:** একজন রক্তমাংসের মানুষ (নিয়ন্ত্রণকারী)।

Shakil Mahmud • Research Monograph

- **বিচারক C:** একটি পৃথক কক্ষে বসা একজন নিরপেক্ষ মানুষ।

বিচারক টেলিটাইপের মাধ্যমে যা খুশি প্রশ্ন করতে পারেন—কবিতা লেখা, দাবা খেলা, গণিত, প্রেম-ভালোবাসার অনুভূতি কিংবা আবহাওয়ার খবর। মেশিনের ধাতব রূপ কিংবা যান্ত্রিক কণ্ঠস্বর যাতে কোনো পক্ষপাত তৈরি করতে না পারে, সেজন্য কথোপকথন কেবল লিখিত টেক্সটের মধ্যেই সীমাবদ্ধ রাখা হয়।

টুরিং গাণিতিক শর্ত নির্ধারণ করলেন: পাঁচ মিনিটের কথোপকথন শেষে বিচারক যদি দৈবচয়নের চেয়ে বেশি নিখুঁতভাবে মেশিনকে শনাক্ত করতে ব্যর্থ হন—

$(ext{বিচারক সঠিকভাবে চিহ্নিত করতে পারেন } A = ext{মেশিন}) approx rac{1}{2}$$

—তবে নির্দ্বিধায় মেনে নিতে হবে যে যন্ত্রটি মানুষের মতোই বুদ্ধিবৃত্তিক আচরণ প্রদর্শন করতে সক্ষম হয়েছে।

৩. সাত দশকের সমালোচনার আগাম জবাব

টুরিংয়ের ১৯৫০ সালের লেখার আসল সৌন্দর্য ছিল তাঁর অবিশ্বাস্য দূরদর্শিতায়। তাঁর বিরুদ্ধে কী কী দার্শনিক ও বৈজ্ঞানিক আপত্তি উঠতে পারে, তা তিনি নিজেই আগে থেকে অনুমান করেছিলেন এবং একে একে নয়টি সম্ভাব্য আপত্তির ব্যবচ্ছেদ করেন:

1. **ধর্মতাত্ত্বিক আপত্তি:** *“চিন্তা হলো অমর আত্মার কাজ, যা ঈশ্বর কেবল জৈবিক মানুষকে দিয়েছেন।”* টুরিং জবাবে বলেন, ঈশ্বর চাইলে একটি কৃত্রিম যন্ত্রকেও আত্মা দান করতে পারেন—এই দাবি করা ঈশ্বরের অসীম ক্ষমতাকে ছোট করার শামিল, যেমনটি অতীতে গ্যালিলিওর জ্যোতির্বিজ্ঞানের ক্ষেত্রে করা হয়েছিল।
2. **গাণিতিক আপত্তি (গোডেলের যুক্তি):** গোডেলের উপপাদ্য অনুযায়ী যেকোনো মেশিনের নির্দিষ্ট গাণিতিক সীমাবদ্ধতা রয়েছে। টুরিং উত্তর দিলেন, মেশিনের যেমন সীমাবদ্ধতা রয়েছে, মানুষের জ্ঞান ও মেধারও তেমনই সীমা রয়েছে। মানুষও ক্লান্ত হয়, ভুল করে এবং সীমিত যুক্তিতে আবদ্ধ। মানুষ যে গাণিতিক নিয়মের ঊর্ধ্বে—এমন কোনো প্রমাণ নেই।
3. **চেতনা সংক্রান্ত আপত্তি (Solipsism):** বিখ্যাত নিউরোসার্জন জেফারসনের যুক্তি ছিল—যতক্ষণ না কোনো মেশিন নিজের অনুভূতি থেকে কোনো কবিতা লিখতে পারে বা কনসার্টো তৈরি করতে পারে, ততক্ষণ তাকে চিন্তাশীল বলা যাবে না। টুরিং বলেন, এই যুক্তি মানুষকে ‘সলিপসিজম’ বা আত্মস্বার্থান্ধতায় নিয়ে যায়—যেখানে নিজেকে ছাড়া পৃথিবীর অন্য কারও চেতনা আছে কি না তা কখনোই নিশ্চিত জানা সম্ভব নয়। সমাজে আমরা অন্যের চেতনা যাচাই করি কেবল বাইরে থেকে প্রশ্নোত্তরের মাধ্যমেই।
4. **আচরণের অনানুষ্ঠানিকতা:** দাবি করা হয় মানুষের সব কাজ কোনো নির্দিষ্ট নিয়মে বাঁধা যায় না। টুরিং বলেন, আধুনিক বিজ্ঞান প্রমাণ করেছে প্রকৃতির সকল বস্তুই ভৌত নিয়ম মেনে চলে; মানুষের আপাত অনানুষ্ঠানিক আচরণ কেবল তার জটিল স্নায়বিক ব্যবস্থার প্রতিফলন।

৪. লেডি লাভলেসের আপত্তি: যন্ত্র কি নতুন কিছু সৃষ্টি করতে পারে?

সবচেয়ে গভীর যে আপত্তিটি টুরিংকে মোকাবিলা করতে হয়েছিল, তা তুলে ধরেছিলেন বিশ্বের প্রথম কম্পিউটার প্রোগ্রামার লেডি অ্যাডা লাভলেস (Ada Lovelace)। ১৮৪২ সালে চার্লস ব্যাবেজের অ্যানালিটিক্যাল ইঞ্জিন সম্পর্কে মন্তব্য করতে গিয়ে লাভলেস লিখেছিলেন:

> *“অ্যানালিটিক্যাল ইঞ্জিনের নতুন কোনো কিছু উদ্ভাবন করার বিন্দুমাত্র ভান নেই। আমরা একে যা আদেশ দিতে পারি, এ ঠিক কেবল সেটুকুই করতে পারে।”*

লাভলেসের মতে, কম্পিউটার কেবল মানুষের আদেশের বাধ্য দাস; এর নিজস্ব কোনো মৌলিকত্ব, স্বতঃস্ফূর্ত সৃজনশীলতা বা স্বাধীন কল্পনা থাকতে পারে না। টুরিং লাভলেসের এই আপত্তিকে দুটি অকাট্য যুক্তিতে খণ্ডন করেন:

1. **যন্ত্র প্রতিনিয়ত মানুষকে চমকে দেয়:** হাজার হাজার কোডের জটিল মিথস্ক্রিয়ায় এমন সব ফলাফল বা পদক্ষেপ বেরিয়ে আসে যা প্রোগ্রামার নিজেও আগে থেকে অনুমান করতে পারেননি।
2. **লার্নিং মেশিনের ধারণা:** লাভলেস ধরে নিয়েছিলেন যে মেশিনের ভেতরে সকল জ্ঞান ও নিয়ম মানুষকে জোর করে লিখে দিতে হবে। কিন্তু টুরিং বললেন ভিন্ন কথা—*পূর্ণাঙ্গ মস্তিষ্ক তৈরি না করে আমরা কেন একটি শিশুর মস্তিষ্ক তৈরির চেষ্টা করছি না?*

৫. চাইল্ড মেশিন এবং মেশিন লার্নিংয়ের প্রথম রূপরেখা

গবেষণাপত্রের শেষভাগে টুরিং আধুনিক মেশিন লার্নিংয়ের মূল স্থাপত্যের প্রস্তাব দেন। মানুষকে হাজার হাজার রুল হাতে লিখে তৈরি না করে, একটি শিশুর অপরিণত মস্তিষ্কের মতো খালি নিউরাল সিস্টেম তৈরি করা উচিত:

> *“একজন প্রাপ্তবয়স্ক মানুষের মন অনুকরণ করার প্রোগ্রামের চেষ্টা করার চেয়ে একটি শিশুর মন অনুকরণ করার চেষ্টা করা কি বেশি যুক্তিযুক্ত নয়? এরপর যদি তাকে উপযুক্ত শিক্ষাদানের মধ্য দিয়ে নিয়ে যাওয়া যায়, তবে তা একদিন প্রাপ্তবয়স্ক মস্তিষ্কে রূপান্তরিত হবে।”*

টুরিং প্রস্তাব করলেন একটি ‘চাইল্ড মেশিন’-এর তিনটি মূল উপাদান থাকবে:

- একটি নমনীয়, অপরিবর্তিত কাঠামো (প্রাথমিক নিউরাল আর্কিটেকচার)।
- পুরস্কার এবং শাস্তির মাধ্যমে শেখার ব্যবস্থা (আধুনিক রিইনফোর্সমেন্ট লার্নিং)।
- অভিজ্ঞতা থেকে নিজে নিজে নিয়ম ও প্যাটার্ন বের করে নেওয়ার উন্মুক্ত সক্ষমতা।

টুরিং ভবিষ্যদ্বাণী করেছিলেন যে ২০০০ সালের মধ্যে আনুমানিক ^৯$ বিট মেমোরিসম্পন্ন একটি কম্পিউটার সাধারণ বিচারকদের সাথে পাঁচ মিনিট কথা বলে ৭০ শতাংশ ক্ষেত্রে মানুষের মতো পরিচয় ধরে রাখতে সক্ষম হবে। আধুনিক জেনারেটিভ লার্জ ল্যাঙ্গুয়েজ মডেলগুলো হয়তো টুরিংয়ের অনুমানের চেয়ে অনেক বেশি কম্পিউট ও ডেটা দাবি করেছে, কিন্তু মানুষের বুদ্ধিমত্তাকে অতিক্রম করার যে রূপরেখা তিনি ১৯৫০ সালে এঁকে গিয়েছিলেন, তা আজও কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার সবচেয়ে উজ্জ্বল বাতিঘর।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "যন্ত্র কি চিন্তা করতে পারে? টুরিং টেস্ট, ইমিটেশন গেম এবং লেডি লাভলেসের আপত্তি"। কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার ইতিহাস, খণ্ড ৪।
https://shakilmahmud.com/bn/the-epic-history-of-artificial-intelligence-part-4-turing-test-imitation-game-bn/

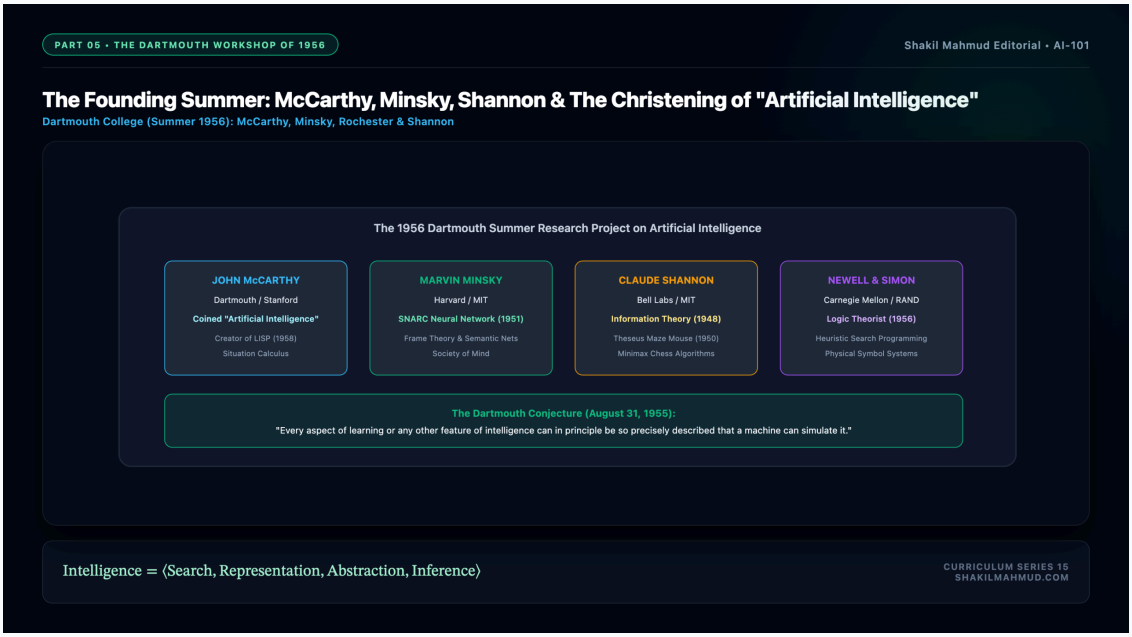
Shakil Mahmud • Research Monograph

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • পঞ্চম খণ্ড

১৯৫৬ সালের ডার্টমাউথ সম্মেলন — জন ম্যাককার্থি, মার্ভিন মিনস্কি এবং একটি নতুন বিজ্ঞানের জন্ম

১৯৫৬ সালের ডার্টমাউথ সম্মেলন — জন ম্যাককার্থি, মার্ভিন মিনস্কি এবং একটি নতুন বিজ্ঞানের জন্ম

350 শব্দ • November 4, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ৫: *১৯৫৬ সালের ডার্টমাউথ এআই সম্মেলন: জন ম্যাককার্থি, মার্ভিন মিনস্কি, ক্লড শ্যানন এবং নিউয়েল-সাইমনের যুগান্তকারী প্রতিষ্ঠা।*

১৯৫৬ সালের আগস্টের এক আর্দ্র সকালে যুক্তরাষ্ট্রের নিউ হ্যাম্পশায়ারের ডার্টমাউথ কলেজের হ্যানোভার ইন-এর তিন তলায় সমবেত হয়েছিলেন মাত্র দশজন বিজ্ঞানী। সাতাশ বছর বয়সী তরুণ সহকারী অধ্যাপক জন ম্যাককার্থি, মার্ভিন মিনস্কি, ন্যাথানিয়েল রচেস্টার এবং ক্লড শ্যাননের উদ্যোগে আয়োজিত এই সম্মেলনটি মানব সভ্যতার ইতিহাসে প্রথমবারের মতো **কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তা (Artificial Intelligence)** শব্দটির জন্ম দেয় এবং একে একটি আনুষ্ঠানিক বৈজ্ঞানিক শাখা হিসেবে প্রতিষ্ঠা করে।

১. ডার্টমাউথ-পূর্ব বিচ্ছিন্নতা

১৯৫৬ সালের আগে কৃত্রিম মন নিয়ে কাজ করা বিজ্ঞানীরা ছিলেন বিভিন্ন পরিভাষায় বিভক্ত: নরবার্ট উইনার একে বলতেন *সাইবারনেটিক্স*; ক্লড শ্যানন ও রস অ্যাশবি বলতেন *অটোমেটা তত্ত্ব*; অ্যালান টুরিং বলতেন *মেশিন ইন্টেলিজেন্স*। ম্যাককার্থি সচেতনভাবেই ‘আর্টিফিশিয়াল ইন্টেলিজেন্স’ নামটি বেছে নেন—যাতে সাইবারনেটিক্সের এনালগ ফিডব্যাকের সীমাবদ্ধতা কাটিয়ে বিশুদ্ধ প্রতীকী যুক্তি ও অ্যালগরিদমের জগতে প্রবেশ করা যায়।

২. সেই ঐতিহাসিক ভিত্তিপ্রস্তর

১৯৫৫ সালের ৩১ আগস্ট রকফেলার ফাউন্ডেশনের কাছে অনুদানের জন্য জমা দেওয়া প্রস্তাবে ম্যাককার্থি ও তাঁর সহকর্মীরা ইতিহাসের অন্যতম সাহসী বৈজ্ঞানিক অনুকল্প উপস্থাপন করেছিলেন:

> *“আমরা এই অনুমানের ওপর ভিত্তি করে এগিয়ে যেতে চাই যে, শিক্ষার প্রতিটি দিক বা বুদ্ধিমত্তার যেকোনো বৈশিষ্ট্যকে নীতিগতভাবে এত নিখুঁতভাবে বর্ণনা করা সম্ভব যে একটি যন্ত্র তৈরি করে তা অনুকরণ করা যেতে পারে।”*

৩. লজিক থিওরিজিস্ট: নিউয়েল ও সাইমনের চমক

ডার্টমাউথ সম্মেলনে তাত্ত্বিক আলোচনার ভিড়ে সবচেয়ে বড় চমক দেখিয়েছিলেন কার্নেগি মেলন ও র‍্যান্ড কর্পোরেশনের অ্যালেন নিউয়েল এবং হার্বার্ট সাইমন। তাঁরা সাথে করে নিয়ে এসেছিলেন বিশ্বের প্রথম কার্যকরী এআই প্রোগ্রাম—**লজিক থিওরিজিস্ট (Logic Theorist)**।

এই প্রোগ্রামটি সাধারণ সংখ্যার হিসাবের বাইরে গিয়ে মানুষের মতো প্রতীকী যুক্তি বিশ্লেষণ করতে পারত। রাসেল ও হোয়াইটহেডের বিখ্যাত *প্রিন্সিপিয়া ম্যাথমেটিকা*-র ৫২টি জটিল গাণিতিক উপপাদ্যের মধ্যে ৩৮টি উপপাদ্য প্রোগ্রামটি নিজে নিজে নির্ভুলভাবে প্রমাণ করে দেখায়—যার একটি প্রমাণ ছিল মূল লেখকদের প্রমাণের চেয়েও সহজ ও সংক্ষিপ্ত!

৪. দুটি ধারার জন্ম: সিম্বলিক বনাম কানেকশনিস্ট

ডার্টমাউথ সম্মেলন কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার দুটি প্রধান দার্শনিক পথের বিভাজন রেখাও স্পষ্ট করে দেয়:

- **প্রতীকী এআই (Symbolic AI):** ম্যাককার্থি ও নিউয়েলের ধারা, যা বিশ্বাস করত মানুষের চিন্তা মানেই কিছু প্রতীক, লজিক গেট এবং আনুষ্ঠানিক নিয়মের সুবিন্যস্ত কাঠামো।
- **সংযোগবাদ (Connectionism):** মিনস্কি ও রোজেনব্ল্যাটের ধারা, যা বিশ্বাস করত মানুষের মস্তিষ্ক যেমন কোটি কোটি নিউরনের সংযোগের মাধ্যমে শেখে, যন্ত্রকেও ঠিক তেমনই নিউরাল নেটওয়ার্কের মাধ্যমে শেখাতে হবে।

ডার্টমাউথের সেই গ্রীষ্ম কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তাকে নিছক কল্পবিজ্ঞান থেকে নামিয়ে এনে পরিণত করল এক অমোঘ বাস্তবতায়। শুরু হলো বুদ্ধিমান যন্ত্র গড়ার প্রথম স্বর্ণযুগ।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "১৯৫৬ সালের ডার্টমাউথ সম্মেলন — জন ম্যাককার্থি, মার্ভিন মিনস্কি এবং একটি নতুন বিজ্ঞানের জন্ম"। কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার ইতিহাস, খণ্ড ৫।
https://shakilmahmud.com/bn/the-epic-history-of-artificial-intelligence-part-5-dartmouth-summer-1956-bn/

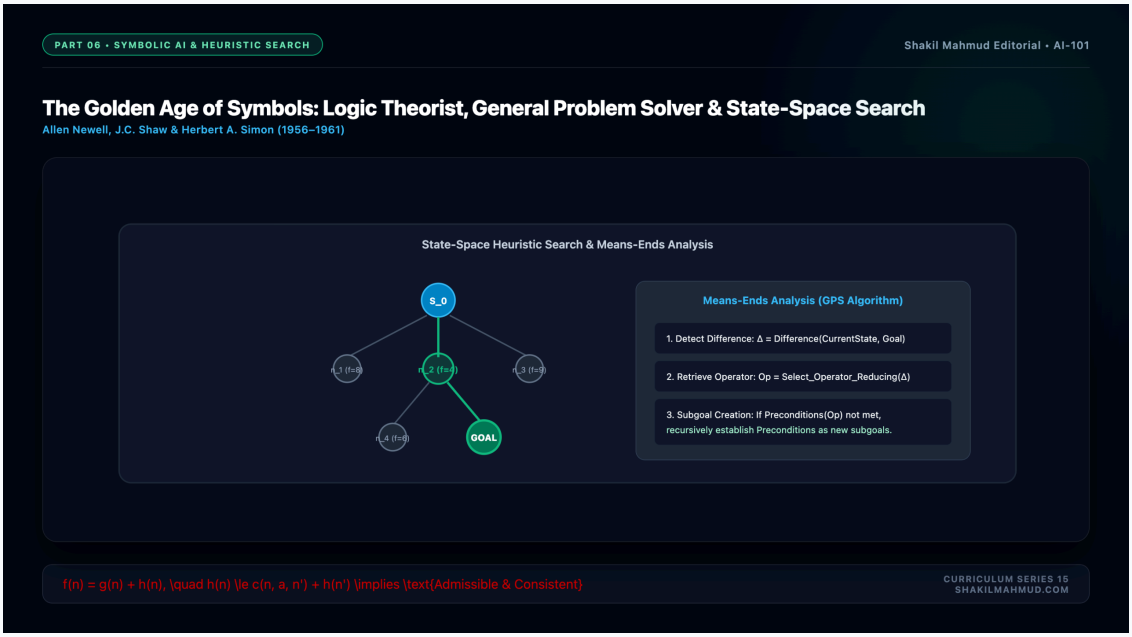
Shakil Mahmud • Research Monograph

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • ষষ্ঠ খণ্ড

প্রতীকী এআই ও হিউরিস্টিক সার্চের স্বর্ণযুগ — লজিক থিওরিজিস্ট ও জেনারেল প্রবলেম সলভার

প্রতীকী এআই ও হিউরিস্টিক সার্চের স্বর্ণযুগ — লজিক থিওরিজিস্ট ও জেনারেল প্রবলেম সলভার

506 শব্দ • November 4, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ৬: *স্টেট-স্পেস হিউরিস্টিক সার্চ ট্রি এবং জেনারেল প্রবলেম সলভারের (GPS) মিন্স-এন্ডস অ্যানালাইসিস অ্যালগরিদম।*

১৯৫৬ থেকে ১৯৭০ সাল পর্যন্ত সময়কালকে কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার প্রথম স্বর্ণযুগ হিসেবে বিবেচনা করা হয়। গবেষকদের মধ্যে এই অটল বিশ্বাস জন্ম নিয়েছিল যে মানুষের যুক্তি মূলত কিছু প্রতীক বা চিহ্নের সুবিন্যস্ত রূপান্তর। এই সময়ে উদ্ভাবিত হিউরিস্টিক সার্চ অ্যালগরিদম গণিতের উপপাদ্য প্রমাণ, দাবার চাল এবং জ্যামিতিক হিসাবের জটিল ধাঁধাঁ সমাধান করে বিশ্বকে তাক লাগিয়ে দিয়েছিল।

১. ফিজিক্যাল সিম্বল সিস্টেম হাইপোথিসিস

অ্যালেন নিউয়েল এবং হার্বার্ট সাইমন তাঁদের টুরিং অ্যাওয়ার্ড বক্তৃতায় ঘোষণা করেন কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার সবচেয়ে শক্তিশালী দার্শনিক তত্ত্ব: **ফিজিক্যাল সিম্বল সিস্টেম হাইপোথিসিস (PSSH)**:

> *"যেকোনো সাধারণ বুদ্ধিবৃত্তিক আচরণের জন্য একটি ভৌত প্রতীক ব্যবস্থা থাকা একাধারে প্রয়োজনীয় এবং যথেষ্ট।"*

এই অনুমানের মূল কথা ছিল—বুদ্ধিমত্তা কেবল রক্তমাংসের মানব মস্তিষ্কের একচেটিয়া বৈশিষ্ট্য নয়। যেকোনো ভৌত যন্ত্র, তা সে ধাতব কম্পিউটারই হোক না কেন, যদি প্রতীক ধারণ করতে পারে এবং সুনির্দিষ্ট নিয়মে সেই প্রতীকগুলোকে রূপান্তর করতে পারে, তবে তা প্রকৃত সাধারণ বুদ্ধিমত্তা অর্জন করতে সক্ষম।

২. জেনারেল প্রবলেম সলভার (GPS) ও মিন্স-এন্ডস অ্যানালাইসিস

১৯৫৯ সালে নিউয়েল ও সাইমন তৈরি করেন **জেনারেল প্রবলেম সলভার (GPS)**। এটি কোনো নির্দিষ্ট কাজের প্রোগ্রাম ছিল না; যেকোনো সমস্যাকে যদি স্টেট বা অবস্থার ভাষায় প্রকাশ করা যেত, জিপিএস তা সমাধান করার চেষ্টা করত। এর মূলে ছিল **মিন্স-এন্ডস অ্যানালাইসিস (Means-Ends Analysis)**:

1. বর্তমান অবস্থা ও কাঙ্ক্ষিত লক্ষ্যের মধ্যকার পার্থক্য ($Delta$) নির্ণয় করা।
2. নিয়মের তালিকা ঘেঁটে এমন একটি ক্রিয়া বেছে নেওয়া যা এই পার্থক্য কমিয়ে আনতে পারে।

3. ক্রিয়াটি বাস্তবায়নের জন্য প্রয়োজনীয় পূর্বশর্ত না থাকলে, সেই শর্ত পূরণের জন্য নতুন উপ-লক্ষ্য (Subgoal) তৈরি করা।
4. লক্ষ্য অর্জিত না হওয়া পর্যন্ত এই চক্রের পুনরাবৃত্তি করা।

জিপিএস সাফল্যের সাথে টাওয়ার অব হ্যানয় এবং জ্যামিতির জটিল যুক্তি সমাধান করেছিল।

৩. হিউরিস্টিক সার্চ এবং A* অ্যালগরিদম

প্রতীকী এআই-এর সবচেয়ে বড় শত্রু ছিল **কম্বিনেটোরিয়াল বিস্ফোরণ**। যেমন দাবা খেলায় মাত্র ৪০ চালের সব সম্ভাব্য চাল খুঁজতে গেলে $১০^{১২০}$ টি বিন্যাস তৈরি হয়—যা মহাবিশ্বের মোট পরমাণুর চেয়েও বেশি! ফলে অন্ধভাবে সব পথ খোঁজা অসম্ভব।

এর সমাধান ছিল **হিউরিস্টিক সার্চ**। ১৯৬৮ সালে স্ট্যানফোর্ডের পিটার হার্ট, নিলস নিলসন এবং বার্ট্রাম রাফায়েল উদ্ভাবন করেন বিখ্যাত **A* (এ-স্টার) সার্চ অ্যালগরিদম**:

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

এখানে $g(n)$ হলো শুরু থেকে বর্তমান নোডের খরচ, আর $h(n)$ হলো লক্ষ্য পর্যন্ত পৌঁছানোর সম্ভাব্য হিউরিস্টিক খরচ। তাঁরা প্রমাণ করেন যে এই হিউরিস্টিক অনুমান যদি বাস্তব খরচের চেয়ে কখনো বেশি না হয়, তবে A* অ্যালগরিদম গাণিতিকভাবে নিশ্চিতভাবে সর্বনিম্ন খরচে সর্বোত্তম পথ খুঁজে বের করতে সক্ষম।

৪. মাইক্রোওয়ার্ল্ডস ও প্রথম চ্যাটবট: এলিজা ও সার্ডলু

ষাটের দশকের শেষের দিকে কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তা মানুষের ভাষাগত ক্ষেত্রে দারুণ সাফল্য দেখায়:

- **এলিজা (ELIZA, ১৯৬৬):** এমআইটির জোসেফ ওয়াইজেনবাম তৈরি করেন বিশ্বের প্রথম থেরাপিস্ট চ্যাটবট। কোনো ব্যাকরণগত গভীর জ্ঞান ছাড়াই সাধারণ প্যাটার্ন ম্যাচিংয়ের মাধ্যমে এটি এমনভাবে মানুষের সাথে কথা বলত যে মানুষ একে সত্যিকারের সংবেদনশীল চিকিৎসক মনে করতে শুরু করে (যা 'এলিজা ইফেক্ট' নামে পরিচিত)।
- **সার্ডলু (SHRDLU, ১৯৭০):** টেরি উইনোগ্রাড তৈরি করেন একটি ত্রিমাত্রিক কাল্পনিক ব্লক ওয়ার্ল্ড। যেখানে কম্পিউটার মানুষের সাধারণ নির্দেশ ("লাল বাক্সটি নীল পিরামিডের ওপর রাখো") নিখুঁতভাবে বুঝে বস্তুগুলোকে নড়াচড়া করত এবং মানুষের প্রশ্নের জবাব দিত।

এই অবিশ্বাস্য সাফল্য দেখে তৎকালীন গবেষকরা ভেবেছিলেন পূর্ণাঙ্গ কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তা আর মাত্র কয়েক বছরের অপেক্ষা। ১৯৬৫ সালে হার্বার্ট সাইমন ভবিষ্যদ্বাণী করেছিলেন: *"বিশ বছরের মধ্যে মানুষ যা করতে পারে, যন্ত্রের পক্ষে তার সবই করা সম্ভব হবে।"* তাঁরা তখনো বুঝতে পারেননি খেলনা মাইক্রোওয়ার্ল্ড আর বাস্তব জীবনের বিশৃঙ্খল জটিলতার মধ্যে ব্যবধান কতটা আকাশচুম্বী।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "প্রতীকী এআই ও হিউরিস্টিক সার্চের স্বর্ণযুগ — লজিক থিওরিজিস্ট ও জেনারেল প্রবলেম সলভার"। কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার ইতিহাস, খণ্ড ৬।
https://shakilmahmud.com/bn/the-epic-history-of-artificial-intelligence-part-6-symbolic-ai-heuristic-search-bn/

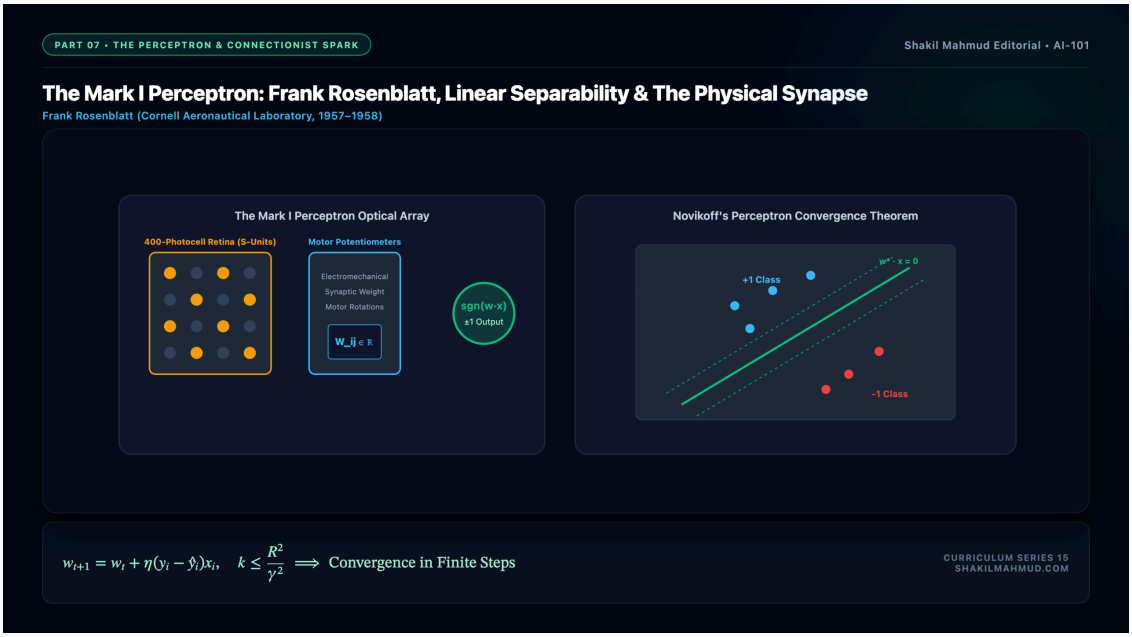
Shakil Mahmud • Research Monograph

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • সপ্তম খণ্ড

পারসেপ্ট্রন ও সংযোগবাদের প্রথম স্ফুলিঙ্গ — ফ্র্যাঙ্ক রোজেনব্ল্যাট এবং নিউরাল ড্রিম

পারসেপ্ট্রন ও সংযোগবাদের প্রথম স্ফুলিঙ্গ — ফ্র্যাঙ্ক রোজেনব্ল্যাট এবং নিউরাল ড্রিম

412 শব্দ • November 4, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ৭: *ফ্র্যাঙ্ক রোজেনব্ল্যাটের মার্ক ১ পারসেপ্ট্রন রেটিনা, মোটর পটেনশিওমিটার ওজন এবং নোভিকফের কনভার্জেন্স হাইপারপ্লেন।*

যখন এমআইটি এবং কার্নেগি মেলনের গবেষকরা খাতা-কলমে প্রতীকী লজিক ট্রির নকশা আঁকছিলেন, তখন নিউ ইয়র্কের বাফেলোতে কর্নেল অ্যারোনটিক্যাল ল্যাবরেটরির তরুণ মনোবিজ্ঞানী ফ্র্যাঙ্ক রোজেনব্ল্যাট (Frank Rosenblatt) সম্পূর্ণ ভিন্ন এক পথে পা বাড়ালেন। ১৯৫৭ সালে তিনি উন্মোচন করলেন **পারসেপ্ট্রন (Perceptron)**—বিশ্বের প্রথম হার্ডওয়্যার নিউরাল নেটওয়ার্ক, যা মানুষের কোনো প্রোগ্রামিং ছাড়াই সরাসরি সংগৃহীত ডেটা থেকে নিজে নিজে ছবি চিনতে পারত।

১. মার্ক ১ পারসেপ্ট্রনের ভৌত স্থাপত্য

১৯৫৮ সালে তৈরি **মার্ক ১ পারসেপ্ট্রন** কোনো সফটওয়্যার ছিল না; এটি ছিল একটি বিশাল আকারের ইলেকট্রোমেকানিক্যাল যন্ত্র:

- **রেটিনা (S-ইউনিট):** একটি ক্যামেরা বক্সে সাজানো ৪০০টি ক্যাডমিয়াম সালফাইড ফটোকোষ ($20 imes 20$ গ্রিড), যা মানুষের চোখের মতো অপটিক্যাল আলো গ্রহণ করত।
- **অ্যাসোসিয়েশন স্তর (A-ইউনিট):** ফটোকোষের সংকেতগুলোকে এলোমেলোভাবে একত্রিত করে বৈশিষ্ট্য নির্ণয় করার মধ্যবর্তী স্তর।
- **রেসপন্স ইউনিট (R-ইউনিট) ও পটেনশিওমিটার:** মোটরের সাহায্যে চালিত সূক্ষ্ম পটেনশিওমিটার বা রোটারি নব, যা কাজ করত স্নায়ুর ‘সাইন্যাপ্টিক ওজন’ হিসেবে। প্রশিক্ষণের সময় কোনো ভুল হলে ডিসি মোটর স্বয়ংক্রিয়ভাবে নবগুলোকে ঘুরিয়ে ওজনের মান কম-বেশি করত!

২. পারসেপ্ট্রন লার্নিং অ্যালগরিদম

রোজেনব্ল্যাটের আসল সাফল্য ছিল একটি স্বয়ংক্রিয় এরর-কারেকশন লার্নিং রুল আবিষ্কার করা। ইনপুট ভেক্টর $mathbf{x}$ এবং প্রকৃত লেবেল $y in -১, +১$ এর সাপেক্ষে আউটপুট নির্ধারিত হতো:

$$haty = extsgn(mathbf{w}^T mathbf{x} + b) = extsgnleft(sum_{i=1}^{d} w_i x_i + b < br/ > ight)$$

যদি মডেলের অনুমান ভুল হতো ($hat{y}
e y$), তবে সাইন্যাপটিক ওজন সরাসরি সংশোধিত হতো:

$$mathbf{w}_{t+1} = mathbf{w}_t + etamathbf{x}$$

এখানে eta হলো লার্নিং রেট। জ্যামিতিক দৃষ্টিকোণ থেকে এই সূত্রটি ভুল ক্লাসিফাই হওয়া ডেটার দিকে বিভাজনকারী হাইপারপ্লেন বা সরলরেখাকে একটু একটু করে ঘুরিয়ে সঠিক অবস্থানে নিয়ে যেত।

৩. নোভিকফের কনভার্জেন্স উপপাদ্য (১৯৬২)

১৯৬২ সালে গণিতবিদ আলবার্ট নোভিকফ গাণিতিকভাবে প্রমাণ করেন বিখ্যাত **পারসেপ্ট্রন কনভার্জেন্স উপপাদ্য**। তিনি দেখান যে যদি কোনো ডেটাসেট **লিনিয়ারলি সেপারেবল** হয় (অর্থাৎ একটি সরলরেখা বা সমতল দ্বারা দুটি দলকে সম্পূর্ণ আলাদা করা যায়) এবং মার্জিন gamma > 0 হয়, তবে পারসেপ্ট্রন অ্যালগরিদম সসীম সংখ্যক ভুলের পর নিশ্চিতভাবে সঠিক বিভাজন রেখা খুঁজে পাবে:

$$k_{extmax}leleft(racRgamma < br/ > ight)^2$$

মানব সভ্যতার ইতিহাসে প্রথমবারের মতো গাণিতিকভাবে প্রমাণিত হলো যে একটি জড় যান্ত্রিক কাঠামো সরাসরি অভিজ্ঞতা থেকে ভুল শুধরে নিখুঁত জ্ঞান অর্জন করতে পারে।

৪. সংবাদমাধ্যমের উন্মাদনা ও বিরোধের সূত্রপাত

পারসেপ্ট্রনের আবিষ্কার বিশ্বজুড়ে তোলপাড় সৃষ্টি করল। ১৯৫৮ সালের ৮ জুলাই *দ্য নিউ ইয়র্ক টাইমস* মার্কিন নৌবাহিনীর উদ্ধৃতি দিয়ে প্রথম পাতায় লিখেছিল—পারসেপ্ট্রন হলো *“এমন এক ইলেকট্রনিক কম্পিউটারের ভ্রূণ, যা ভবিষ্যতে হাঁটতে পারবে, কথা বলতে পারবে, দেখতে পারবে, লিখতে পারবে, নিজের বংশবৃদ্ধি করতে পারবে এবং নিজের অস্তিত্ব সম্পর্কে সচেতন হবে।”*

রোজেনব্ল্যাট স্বপ্ন দেখেছিলেন বহু-স্তরের নিউরাল নেটওয়ার্কের। কিন্তু এমআইটির প্রতীকী ধারার বিজ্ঞানীরা এই প্রচারণাকে দায়িত্বজ্ঞানহীন অতিরঞ্জন হিসেবে দেখলেন। দুই ধারার এই তীব্র সংঘাত কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার ইতিহাসে এক ভয়াবহ বিপর্যয় ডেকে আনতে যাচ্ছিল।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "পারসেপ্ট্রন ও সংযোগবাদের প্রথম স্ফুলিঙ্গ — ফ্র্যাঙ্ক রোজেনব্ল্যাট এবং নিউরাল ড্রিম"। কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার ইতিহাস, খণ্ড ৭।
https://shakilmahmud.com/bn/the-epic-history-of-artificial-intelligence-part-7-perceptron-connectionist-spark-bn/

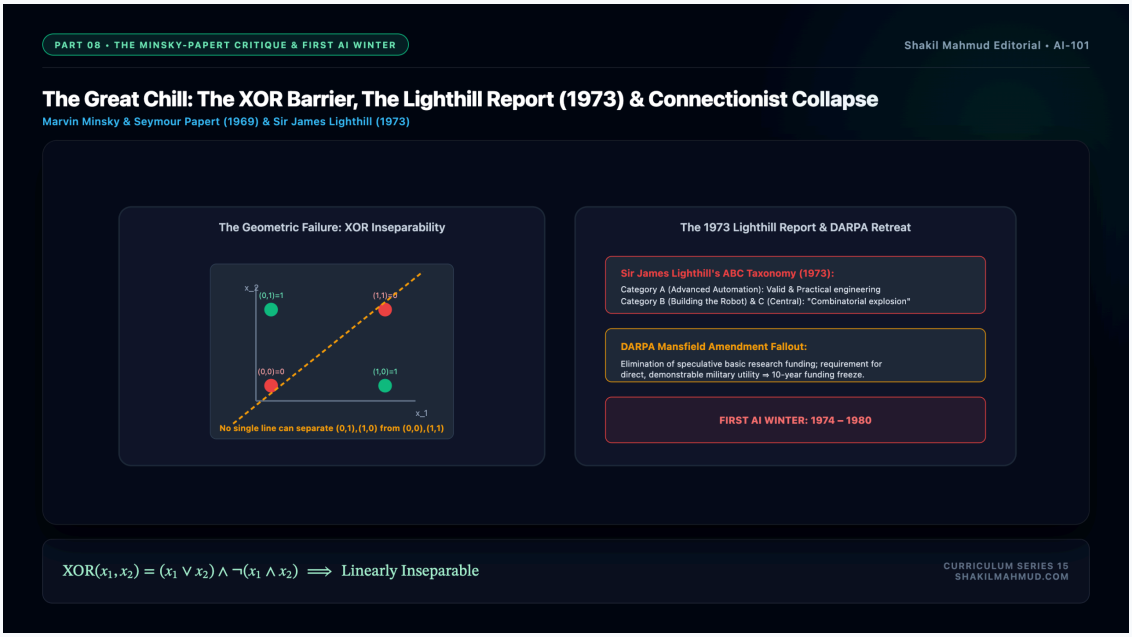
Shakil Mahmud • Research Monograph

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • অষ্টম খণ্ড

প্রথম এআই শীত — মিনস্কি-প্যাপার্টের সমালোচনা, এক্সওআর সংকট এবং তহবিল বিপর্যয়

প্রথম এআই শীত — মিনস্কি-প্যাপার্টের সমালোচনা, এক্সওআর সংকট এবং তহবিল বিপর্যয়

404 শব্দ • November 4, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ৮: *মিনস্কি ও প্যাপার্টের প্রমাণিত এক্সওআর (XOR) লিনিয়ার ইনসেপারেবিলিটি এবং ১৯৭৩ সালের লাইটহিল রিপোর্ট পরবর্তী প্রথম এআই শীত।*

১৯৬৯ সালে ম্যাসাচুসেটস ইনস্টিটিউট অব টেকনোলজি (MIT) প্রেস থেকে প্রকাশিত হয় একটি গাণিতিক মনোগ্রাফ: মার্ভিন মিনস্কি এবং সিমোর প্যাপার্টের লেখা *পারসেপ্ট্রনস* (Perceptrons)। একক স্তরের নিউরাল নেটওয়ার্কের ওপর লেখা এই বইটি ছিল সংযোগবাদী গবেষণার কফিনে শেষ পেরেক—যা নিউরাল নেটওয়ার্কের গবেষণাকে এক দশকেরও বেশি সময় স্তব্ধ করে দেয় এবং কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার ইতিহাসে প্রথম ‘এআই শীতকাল’ (First AI Winter)-এর জন্ম দেয়।

১. জ্যামিতিক বাধা: এক্সওআর (XOR) সংকট

মিনস্কি ও প্যাপার্ট নিখুঁত গাণিতিক প্রমাণের মাধ্যমে দেখান যে একক স্তরের পারসেপ্ট্রনের চরম সীমাবদ্ধতা রয়েছে। এটি অত্যন্ত সাধারণ **এক্সক্লুসিভ-অর (XOR)** যুক্তিও সমাধান করতে পারে না:

x_1	x_2	XOR আউটপুট (y)
০	০	০
০	১	১
১	০	১
১	১	০

গ্রাফ কাগজে বসালে দেখা যায়, ধনাত্মক বিন্দু দুটি $(0,1)$ ও $(1,0)$ এবং ঋণাত্মক বিন্দু দুটি $(0,0)$ ও $(1,1)$ পরস্পরের কোণাকুণি অবস্থান করে। কোনো একটি সরলরেখা টেনে এদের আলাদা করা গাণিতিকভাবে অসম্ভব!

এই সমস্যা সমাধানের জন্য প্রয়োজন ছিল একাধিক সরলরেখা, যা কেবল একটি **মাল্টি-লেয়ার পারসেপ্ট্রন (MLP)** বা লুকায়িত স্তরযুক্ত (Hidden Layer) নেটওয়ার্কের মাধ্যমেই সম্ভব ছিল।

২. সেই মারাত্মক মন্তব্য ও গবেষণার অবলুপ্তি

রোজেনব্ল্যাট বহু-স্তরের নেটওয়ার্কের প্রয়োজনীয়তা জানতেন। কিন্তু ১৯৬৯ সালে কোনো অ্যালগরিদম জানা ছিল না যার মাধ্যমে ভেতরের লুকায়িত নিউরনগুলোর ওজন কীভাবে পরিবর্তন করতে হবে তা নির্ধারণ করা যায়। আউটপুটের ভুল জানা থাকলেও ভেতরের নিউরনগুলোর দায় কতটা, তা হিসাব করার কোনো গাণিতিক পথ তখন জানা ছিল না।

মিনস্কি এবং প্যাপার্ট বইটিতে এক মারাত্মক মন্তব্য করে বসলেন:

> *“আমাদের অন্তর্দৃষ্টি বলে, বহু-স্তরের পারসেপ্ট্রনে যাওয়ার এই প্রচেষ্টা সম্পূর্ণ বন্ধ্যা ও নিষ্ফল।”*

বিশ্বখ্যাত এমআইটির দুই দিকপালের এই রায়কে অনুদান প্রদানকারী সংস্থাগুলো চূড়ান্ত সত্য বলে ধরে নিল। ডারপা (DARPA) ও ন্যাশনাল সায়েন্স ফাউন্ডেশন নিউরাল নেটওয়ার্কের সকল গবেষণা অনুদান বাতিল করল। রাতারাতি সংযোগবাদী গবেষণা বন্ধ হয়ে গেল এবং বিজ্ঞানীদের এই বিষয়ে কাজ করাটাই ক্যারিয়ার ধ্বংসের কারণ হয়ে দাঁড়াল।

৩. ১৯৭৩ সালের লাইটহিল রিপোর্ট ও প্রথম এআই শীত

একই সময়ে প্রতীকী এআই-ও সংকটে পড়ল। কম্পিউটারের সীমিত মেমোরি ও কম্বিনেটোরিয়াল বিস্ফোরণের কারণে বাস্তব জগতের অনুবাদ বা জটিল কাজগুলো আটকে গেল।

১৯৭৩ সালে ব্রিটিশ সায়েন্স রিসার্চ কাউন্সিল স্যার জেমস লাইটহিলকে দায়িত্ব দেয় এআই গবেষণার অগ্রগতি পর্যালোচনার। প্রকাশিত **লাইটহিল রিপোর্ট** ছিল চূড়ান্ত আক্রমণাত্মক:

- তিনি দেখান যে এআই গবেষকরা যেসব মহৎ ও অতিরঞ্জিত প্রতিশ্রুতি দিয়েছিলেন, তার ছিটেফোঁটাও পূরণ করতে পারেননি।
- তিনি কম্বিনেটোরিয়াল বিস্ফোরণকে অনতিক্রম্য বাধা বলে ঘোষণা করেন।
- এর ফলে ব্রিটিশ সরকার প্রায় সকল বিশ্ববিদ্যালয় থেকে এআই গবেষণার সরকারি অনুদান সম্পূর্ণ বন্ধ করে দেয়।

একই সাথে মার্কিন যুক্তরাষ্ট্রে ম্যানসফিল্ড সংশোধনীর মাধ্যমে ডারপা সরাসরি সামরিক উপযোগিতা ছাড়া সকল তাত্ত্বিক এআই প্রকল্পে অর্থায়ন বন্ধ করে দেয়। শুরু হলো কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার দীর্ঘ ও হিমশীতল **প্রথম এআই শীতকাল (১৯৭৪–১৯৮০)**।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "প্রথম এআই শীত — মিনস্কি-প্যাপার্টের সমালোচনা, এক্সওআর সংকট এবং তহবিল বিপর্যয়"। কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার ইতিহাস, খণ্ড ৮।
https://shakilmahmud.com/bn/the-epic-history-of-artificial-intelligence-part-8-minsky-papert-first-ai-winter-bn/

Shakil Mahmud • Research Monograph

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • নবম খণ্ড

নলেজ বিপ্লব ও এক্সপার্ট সিস্টেম — ফেইগেনবাউম, ডেনড্রাল এবং মাইসিন

নলেজ বিপ্লব ও এক্সপার্ট সিস্টেম — ফেইগেনবাউম, ডেনড্রাল এবং মাইসিন

378 শব্দ • November 4, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ৯: *ক্লাসিক্যাল এক্সপার্ট সিস্টেমের গঠন: নলেজ বেস রুলস, ব্যাকওয়ার্ড চেইনিং ইনফারেন্স ইঞ্জিন এবং সার্টেইনটি ফ্যাক্টর ক্যালকুলাস।*

১৯৭০-এর দশকের শেষভাগে কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তা তার প্রথম শীতকাল অতিক্রম করে এক নতুন দৃষ্টিভঙ্গি নিয়ে ফিরে আসে। স্ট্যানফোর্ড বিশ্ববিদ্যালয়ের এডওয়ার্ড ফেইগেনবাউমের নেতৃত্বে গবেষকরা উপলব্ধি করেন যে মানুষের শ্রেষ্ঠত্ব কোনো সাধারণ যৌক্তিক সূত্রের মধ্যে লুকিয়ে নেই; একজন বিশ্বমানের দাবাড়ু, রসায়নবিদ কিংবা অভিজ্ঞ চিকিৎসকের সাফল্যের আসল উৎস হলো বিপুল পরিমাণ বিশেষায়িত ও প্রায়োগিক জ্ঞান।

১. দ্য নলেজ প্রিন্সিপাল

ফেইগেনবাউম এই দার্শনিক নীতিটিকে সংজ্ঞায়িত করেন **নলেজ প্রিন্সিপাল (The Knowledge Principle)** হিসেবে:

> *"একটি সিস্টেম বুদ্ধিমান আচরণ প্রদর্শন করে মূলত তার সুনির্দিষ্ট প্রায়োগিক জ্ঞানের প্রাচুর্যের কারণে, তার সাধারণ যুক্তিবিন্যাস পদ্ধতির জটিলতার কারণে নয়।"*

এই ধারণার ওপর ভিত্তি করে শুরু হলো **এক্সপার্ট সিস্টেম (Expert Systems)**-এর স্বর্ণযুগ। বিজ্ঞানীদের কাজ হয়ে দাঁড়াল 'নলেজ ইঞ্জিনিয়ারিং'—যেখানে অভিজ্ঞ ডাক্তার বা ইঞ্জিনিয়ারদের সাথে ঘণ্টার পর ঘণ্টা সাক্ষাৎকার নিয়ে তাঁদের দীর্ঘদিনের অভিজ্ঞতা ও ইনটুইশনকে কিছু সুনির্দিষ্ট বিধিনির্ভর নিয়মে (IF-THEN Rules) রূপান্তর করা হতো।

২. প্রোডাকশন রুল আর্কিটেকচার

একটি এক্সপার্ট সিস্টেম সাধারণ সফটওয়্যারের মতো নয়; এটি জ্ঞান এবং যুক্তিকে দুটি ভিন্ন স্তরে বিভক্ত করে:

- **নলেজ বেস (Knowledge Base):** শত শত বা হাজার হাজার নিয়মের ভাণ্ডার:

$$extIFlangleext\text{শর্ত}_1landext\text{শর্ত}_2dots < br/ > angleimpliesextTHENlangleext\text{সিদ্ধান্তবাচিকিৎসা} < br/ > angle$$

- **ওয়ার্কিং মেমোরি:** বর্তমান পরিস্থিতি বা রোগীর লক্ষণ সংক্রান্ত তথ্যাবলী।
- **ইনফারেন্স ইঞ্জিন (Inference Engine):** যা নিয়ম ও তথ্যের সমন্বয় ঘটিয়ে যুক্তি চালায়:
    1. *ফরোয়ার্ড চেইনিং:* লক্ষণ থেকে শুরু করে নিয়মের ধাপ পেরিয়ে চূড়ান্ত সিদ্ধান্তে পৌঁছানো।
    2. *ব্যাকওয়ার্ড চেইনিং:* একটি সম্ভাব্য রোগ অনুমান করে পেছনে ফিরে প্রমাণ খোঁজা এবং রোগীকে প্রাসঙ্গিক প্রশ্ন করা।

৩. মাইসিন, ডেনড্রাল ও এক্সকন

এই কাঠামোর কার্যকারিতা বিশ্বজুড়ে আলোড়ন তোলে:

- **ডেনড্রাল (DENDRAL):** রসায়নবিজ্ঞানের স্পেকট্রোমেট্রি ডেটা দেখে জটিল অণুর রাসায়নিক গঠন বিশ্লেষণ করত মানুষের চেয়েও নির্ভুলভাবে।
- **মাইসিন (MYCIN):** রক্তের জটিল ব্যাকটেরিয়াল সংক্রমণ শনাক্ত করে সঠিক অ্যান্টিবায়োটিক প্রেসক্রাইব করত। স্ট্যানফোর্ড মেডিকেল স্কুলের মূল্যায়নে দেখা গিয়েছিল মাইসিনের চিকিৎসার সুপারিশ বিশেষজ্ঞ চিকিৎসকদের চেয়েও সমান বা উন্নত ছিল! এতে যুক্ত ছিল অনিশ্চয়তা পরিমাপের জন্য **সার্টেইনটি ফ্যাক্টর (Certainty Factor)** ক্যালকুলাস।
- **এক্সকন (XCON):** ডিইসি (DEC) কর্পোরেশনের জন্য তৈরি এই সিস্টেমটি গ্রাহকদের চাহিদা অনুযায়ী জটিল কম্পিউটার যন্ত্রাংশ স্বয়ংক্রিয়ভাবে অ্যাসেম্বল করত, যা কোম্পানিটির বার্ষিক প্রায় ৪ কোটি ডলার সাশ্রয় করেছিল।

৪. বাণিজ্যিক উন্মাদনা ও সীমাবদ্ধতা

১৯৮০ থেকে ১৯৮৫ সালের মধ্যে এক্সপার্ট সিস্টেমের পেছনে শত শত কোটি ডলার বিনিয়োগ করা হয়। কিন্তু এই সিস্টেমগুলোর একটি চরম সীমাবদ্ধতা ছিল: **ভঙ্গুরতা (Brittleness)**। কোনো নিয়ম সামান্য ব্যতিক্রম হলেই পুরো সিস্টেম বিভ্রান্ত হয়ে পড়ত; এদের কোনো সাধারণ মানবিক কাণ্ডজ্ঞান (Common Sense) ছিল না। বিশাল রুলবেস রক্ষণাবেক্ষণের জটিলতা খুব দ্রুতই আরেকটি সংকটের পথ তৈরি করছিল।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "নলেজ বিপ্লব ও এক্সপার্ট সিস্টেম — ফেইগেনবাউম, ডেনড্রাল এবং মাইসিন"। কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার ইতিহাস, খণ্ড ৯। https://shakilmahmud.com/bn/the-epic-history-of-artificial-intelligence-part-9-knowledge-revolution-expert-systems-bn/

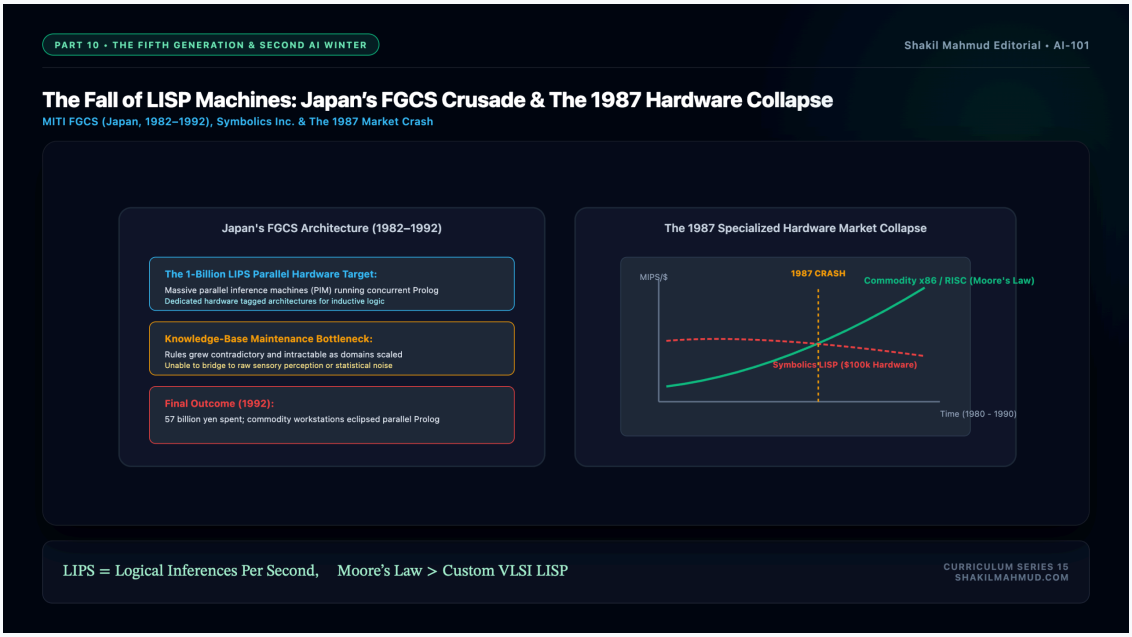
Shakil Mahmud • Research Monograph

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • দশম খণ্ড

পঞ্চম প্রজন্মের প্রকল্প ও দ্বিতীয় এআই শীত — লিস্প মেশিনের পতন ও ১৯৮৭ সালের আকস্মিক ধস

পঞ্চম প্রজন্মের প্রকল্প ও দ্বিতীয় এআই শীত — লিস্প মেশিনের পতন ও ১৯৮৭ সালের আকস্মিক ধস

483 শব্দ • November 4, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ১০: *জাপানের পঞ্চম প্রজন্মের প্যারালাল প্রোলগ প্রকল্প এবং ১৯৮৭ সালের লিস্প (LISP) মেশিন ও বিশেষায়িত হার্ডওয়্যার বাজারের আকস্মিক পতন।*

১৯৮০-এর দশকের মাঝামাঝি সময়ে কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তা শিল্প ছিল সাফল্যের চূড়ায়। ভেনচার ক্যাপিটালের কোটি কোটি ডলার ঢুকছিল বিশেষায়িত এআই স্টার্টআপে, আর জাপানের আন্তর্জাতিক বাণিজ্য ও শিল্প মন্ত্রণালয় (MITI) ঘোষণা করেছিল ৪০ কোটি ডলারের এক বিশাল ভূ-রাজনৈতিক উদ্যোগ—ফিফথ জেনারেশন কম্পিউটার প্রজেক্ট (FGCS)। কিন্তু মাত্র পাঁচ বছরের মধ্যে এই পুরো বাণিজ্যিক সাম্রাজ্য ধসে পড়ে, যার ফলে শুরু হয় ইতিহাসের সবচেয়ে বিধ্বংসী **দ্বিতীয় এআই শীতকাল (১৯৮৭–১৯৯৩)**।

১. জাপানের পঞ্চম প্রজন্মের মহাযজ্ঞ (FGCS)

১৯৮১ সালের অক্টোবরে জাপান পশ্চিমা প্রযুক্তি বিশ্বকে চমকে দিয়ে **ফিফথ জেনারেশন কম্পিউটার সিস্টেমস (FGCS)** প্রকল্পের ঘোষণা দেয়। গাড়ি ও ভোক্তা ইলেকট্রনিক্সে নেতৃত্ব প্রতিষ্ঠার পর জাপান চেয়েছিল কম্পিউটিংয়ের চূড়ান্ত শ্রেষ্ঠত্ব দখল করতে।

তারা ৫৭ বিলিয়ন ইয়েন ব্যয়ে ‘আইকট’ (ICOT) নামের বিশেষ গবেষণাগার প্রতিষ্ঠা করে। তাদের লক্ষ্য ছিল অতিমাত্রায় উচ্চাকাঙ্ক্ষী:

- ঐতিহ্যবাহী ভন নিউম্যান সিপিইউ আর্কিটেকচার পুরোপুরি বর্জন করা।
- হাজার হাজার কাস্টম প্রসেসরের সমন্বয়ে এমন সুপারকম্পিউটার তৈরি করা, যা সরাসরি **লজিক প্রোগ্রামিং (Prolog)** ভাষায় প্যারালালে হিসাব কষবে।
- ১৯৯২ সালের মধ্যে প্রতি সেকেন্ডে **১০০ কোটি লজিক্যাল ইনফারেন্স (1 Billion LIPS)** সম্পন্ন করার ক্ষমতা অর্জন করা।
- মানুষের কণ্ঠস্বর সরাসরি বুঝতে পারা এবং স্বয়ংক্রিয়ভাবে জাপানি ও ইংরেজি অনুবাদ করতে সক্ষম মেশিন তৈরি করা।

২. পশ্চিমাদের আতঙ্ক: এমসিসি ও আলভে প্রোগ্রাম

পশ্চিমা বিশ্ব এই ঘোষণাকে এক মারাত্মক অর্থনৈতিক হুমকি হিসেবে গ্রহণ করে। মার্কিন যুক্তরাষ্ট্র অস্টিনে গঠন করে ‘এমসিসি’ (Microelectronics and Computer Technology Corporation), যার পেছনে ছিল ডারপার বিপুল অর্থায়ন। যুক্তরাজ্য তাদের পূর্ববর্তী নিষেধাজ্ঞা তুলে নিয়ে চালু করে ৩৫ কোটি পাউন্ডের ‘আলভে প্রোগ্রাম’। শুরু হয় বিশ্বজুড়ে এক উন্মাতাল এআই প্রতিযোগিতা।

৩. লিস্প মেশিনের সোনালী যুগ ও বুদবুদ

প্রতীকী এআই-এর জটিল কোড সাধারণ কম্পিউটারে খুব ধীরগতিতে চলত। ফলে এমআইটির সাবেক গবেষকরা গড়ে তোলেন বিশেষায়িত **লিস্প মেশিন ইন্ডাস্ট্রি**।

‘সিম্বলিকস’ (Symbolics) এবং ‘এলএমআই’ (LMI)-এর মতো কোম্পানিগুলো তৈরি করে লাখ ডলার মূল্যের বিশেষায়িত ওয়ার্কস্টেশন, যার হার্ডওয়্যার তৈরিই হয়েছিল সরাসরি লিস্প ভাষা চালানোর জন্য। ১৯৮৬ সালে সিম্বলিকসের বার্ষিক আয় ১০ কোটি ডলার ছাড়িয়ে যায়।

৪. ১৯৮৭ সালের মহামন্দা: মুরের সূত্রের কুঠারাঘাত

কিন্তু ১৯৮৭ সালে পুরো এআই বাজার এক নির্মম প্রযুক্তিগত সত্যের মুখে আছড়ে পড়ে: **মুরের সূত্র এবং সাধারণ মাইক্রোপ্রসেসরের জয়যাত্রা**।

ইনটেল ৩৮৬/৪৮৬ প্রসেসরযুক্ত সাধারণ পিসি এবং সান মাইক্রোসিস্টেমসের স্পার্ক (SPARC) ওয়ার্কস্টেশনগুলোর গতি এত দ্রুত বাড়তে শুরু করে যে খুব অল্প সময়ের মধ্যে একটি সস্তা সাধারণ কম্পিউটার লাখ ডলারের সিম্বলিকস লিস্প মেশিনের চেয়েও দ্রুত গতিতে লিস্প প্রোগ্রাম চালাতে সক্ষম হয়ে ওঠে!

মুহূর্তের মধ্যে বিশেষায়িত এআই হার্ডওয়্যার কেনার কোনো যৌক্তিকতা রইল না:

- সিম্বলিকসসহ প্রায় সকল বিশেষায়িত হার্ডওয়্যার কোম্পানি দেউলিয়া হয়ে যায়।
- শত শত এক্সপার্ট সিস্টেম কোম্পানি বন্ধ হয়ে যায়, কারণ কর্পোরেট গ্রাহকরা বুঝতে পারেন বিশাল রুলবেস সংরক্ষণ করা একটি অন্তহীন দুঃস্বপ্ন।
- ১৯৯২ সালে জাপানের দশ বছর মেয়াদী পঞ্চম প্রজন্মের প্রকল্প কোনো দৃশ্যমান বাণিজ্যিক সাফল্য ছাড়াই নিঃশব্দে সমাপ্ত হয়।

৫. সেই দ্বিতীয় শীতকাল (১৯৮৭–১৯৯৩)

এই ধসের পরিণতি ছিল মারাত্মক। বাণিজ্যিক বিশ্বে ‘আর্টিফিশিয়াল ইন্টেলিজেন্স’ শব্দটি একটি অস্পৃশ্য ট্যাবুতে পরিণত হয়। বিজ্ঞানীরা অনুদানের জন্য আবেদনের সময় এআই শব্দটি বাদ দিয়ে ‘পরিসংখ্যানিক গণনা’ বা ‘প্যাটার্ন রিকগনিশন’ লিখতে শুরু করেন। ডারপা তহবিল প্রায় বন্ধ করে দেয়।

কিন্তু এই অন্ধকার শীতকালের আড়ালেই কিছু একনিষ্ঠ বিজ্ঞানী, পদার্থবিদ ও গণিতবিদ তৈরি করছিলেন সেই গাণিতিক হাতিয়ার, যা পরবর্তীতে এআই-এর পুরো রূপরেখাকে উল্টে দিতে যাচ্ছিল: **মাল্টি-লেয়ার ব্যাকপ্রোপাগেশন নিউরাল নেটওয়ার্ক**।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "পঞ্চম প্রজন্মের প্রকল্প ও দ্বিতীয় এআই শীত — লিস্প মেশিনের পতন ও ১৯৮৭ সালের আকস্মিক ধস"। কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার ইতিহাস, খণ্ড ১০।
https://shakilmahmud.com/bn/the-epic-history-of-artificial-intelligence-part-10-fifth-generation-second-ai-winter-bn/

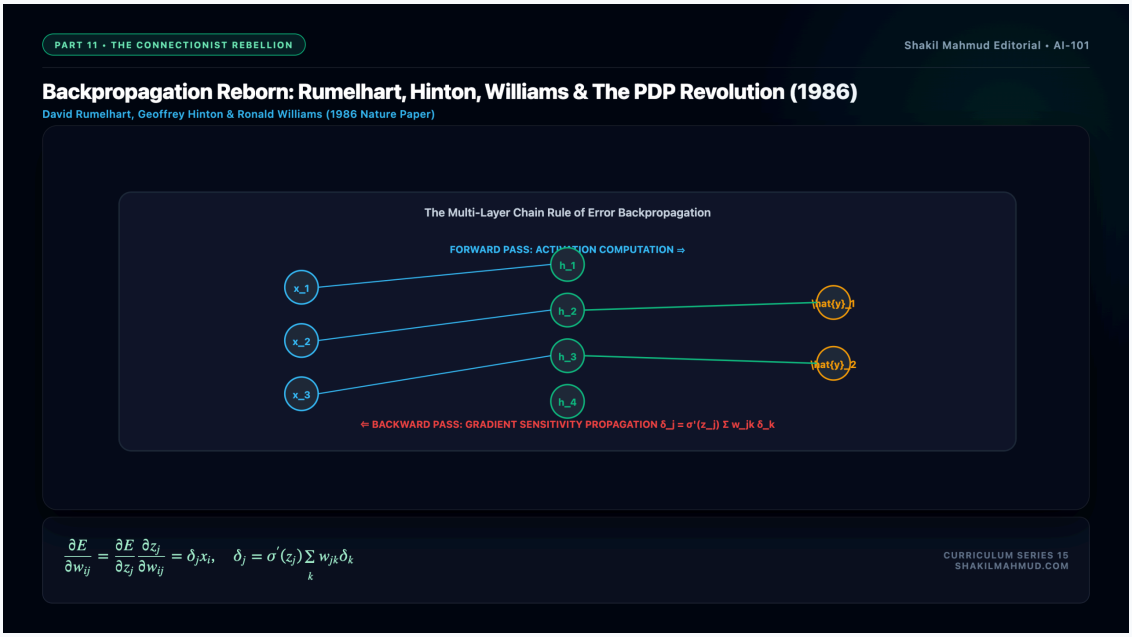
Shakil Mahmud • Research Monograph

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • একাদশ খণ্ড

সংযোগবাদী বিদ্রোহ ও ব্যাকপ্রোপাগেশন — রুমেলহার্ট, হিন্টন ও পিডিপি বিপ্লব

সংযোগবাদী বিদ্রোহ ও ব্যাকপ্রোপাগেশন — রুমেলহার্ট, হিন্টন ও পিডিপি বিপ্লব

510 শব্দ • November 4, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ১১: *মাল্টি-লেয়ার ব্যাকপ্রোপাগেশন অ্যালগরিদম: ফরওয়ার্ড অ্যাক্টিভেশন পাস এবং চেইন রুলের সাহায্যে ব্যাকওয়ার্ড এরর সংবেদনশীলতা বিস্তার।*

১৯৮৬ সালের অক্টোবর মাসে, যখন প্রতীকী এআই তার দ্বিতীয় শীতকালের মুখোমুখি, তখন এমআইটি প্রেস থেকে নীল রঙের মলাটের দুটি অসাধারণ খণ্ড প্রকাশিত হয়: *প্যারালাল ডিস্ট্রিবিউটেড প্রসেসিং (PDP)*। ডেভিড রুমেলহার্ট, জেমস ম্যাকক্লেল্যান্ড এবং পিডিপি গ্রুপের এই কাজ—বিশেষ করে জেফ্রি হিন্টন ও রোনাল্ড উইলিয়ামসের সাথে যৌথভাবে লেখা নেচার গবেষণাপত্র—কম্পিউটার বিজ্ঞানের ইতিহাসে সর্বশ্রেষ্ঠ প্রত্যাবর্তনের জন্ম দেয়: **এরর ব্যাকপ্রোপাগেশন (Backpropagation) অ্যালগরিদমের পুনঃআবিষ্কার**।

১. ক্রেডিট অ্যাসাইনমেন্ট সংকট

মিনস্কি ও প্যাপার্টের ১৯৬৯ সালের সমালোচনার পর দীর্ঘ সতেরো বছর নিউরাল নেটওয়ার্ক গবেষণা আটকে ছিল একটি মাত্র গাণিতিক ধাঁধাঁয়, যার নাম **ক্রেডিট অ্যাসাইনমেন্ট সমস্যা**। একটি বহু-স্তরের নেটওয়ার্কে থাকে ইনপুট স্তর, মধ্যবর্তী কিছু লুকায়িত স্তর (Hidden Layers) এবং আউটপুট স্তর:

$$mathbfh = sigma(mathbfW_1 mathbfx + mathbfb_1), quad hat mathbfy = sigma(mathbfW_2 mathbfh + mathbfb_2)$$

যখন আউটপুটে কোনো ভুল হতো, তখন সেই ভুলের জন্য ভেতরের কোন লুকায়িত নিউরনটির ওজন কতটা দায়ী, তা বের করার কোনো সূত্র জানা ছিল না। যেহেতু ভেতরের নিউরনগুলোর জন্য কোনো ‘সঠিক উত্তর’ ডেটায় দেওয়া থাকত না, তাই রোজেনব্ল্যাটের নিয়ম সেখানে অচল ছিল।

২. ব্যাকপ্রোপাগেশনের গাণিতিক সমাধান

রুমেলহার্ট, হিন্টন এবং উইলিয়ামস এই অচলাবস্থা ভাঙলেন স্টেপ ফাংশনের বদলে মসৃণ ও ডিফারেনশিয়েবল **সিগময়েড ফাংশন (Sigmoid Function)** ব্যবহার করে:

$$sigma(z) = rac{1}{1 + e^{-z}}, quad rac{dsigma}{dz} = sigma(z)(1 – sigma(z))$$

যেহেতু এই ফাংশনের ব্যবকলন বা ডেরিভেটিভ সর্বত্র সম্ভব, তাই ক্যালকুলাসের **চেইন রুল (Chain Rule)** ব্যবহার করে যেকোনো ভেতরের ওজনের সাপেক্ষে ভুলের পরিবর্তনের হার নিখুঁতভাবে পরিমাপ করা সম্ভব হলো:

$$racpartialEpartialw_{ij} = racpartialEpartialz_jracpartialz_jpartialw_{ij} = delta_jx_i$$

আউটপুট নিউরনের ত্রুটি সংবেদনশীলতা $delta_k$ নির্ণয় করা হয় সরাসরি। আর লুকায়িত নিউরন j-এর ত্রুটি সংবেদনশীলতা $delta_j$ নির্ণয় করা হয় পরবর্তী স্তরের সংবেদনশীলতাকে পেছনের দিকে (Backward) সঞ্চালিত করে:

$$delta_j = sigma'(z_j)sum_kw_{jk}delta_k$$

এরপর গ্রেডিয়েন্ট ডিসেন্টের মাধ্যমে ওজনের মান হালনাগাদ করা হয়:

w_{ij} leftarrow w_{ij} – eta rac{partial E}{partial w_{ij}}

৩. এক্সওআর (XOR) জটের চূর্ণবিচূর্ণ রূপ

অ্যালগরিদমের শক্তি প্রদর্শনের জন্য তাঁরা কুখ্যাত এক্সওআর সমস্যাটি এই মডেলে দিলেন। মাত্র কয়েকশ ইটারেশনের মধ্যেই নেটওয়ার্কের দুটি লুকায়িত নিউরন চমৎকার দুটি অভ্যন্তরীণ বৈশিষ্ট্য নিজে নিজে শিখে নিল:

- প্রথম নিউরনটি পরিণত হলো একটি **OR গেট**-এ (যেকোনো একটি ইনপুট চালু থাকলে ফায়ার করে)।
- দ্বিতীয় নিউরনটি পরিণত হলো একটি **NAND গেট**-এ (উভয় ইনপুট চালু না থাকলে ফায়ার করে)।
- আর আউটপুট নিউরনটি কেবল এদের সংযোগ হিসাব করে মুহূর্তে নিখুঁত এক্সওআর উত্তর দিতে শুরু করল!

যে এক্সওআর সংকটে এআই গবেষণা ২০ বছর পিছিয়ে গিয়েছিল, তা সেকেন্ডের মধ্যে সমাধান হয়ে গেল। প্রমাণিত হলো—মানুষকে নিয়ম লিখে দিতে হয় না; সঠিক লস ফাংশন পেলে নিউরাল নেটওয়ার্ক নিজেই মহাবিশ্বের গাণিতিক নিয়ম আবিষ্কার করে নিতে পারে।

৪. হপফিল্ড নেটওয়ার্ক ও বোল্টজম্যান মেশিন

পদার্থবিজ্ঞানের সাথে এই ধারণার মিলন ঘটালেন ক্যালটেকের পদার্থবিদ জন হপফিল্ড (John Hopfield)। ১৯৮২ সালে তিনি **হপফিল্ড নেটওয়ার্ক** তৈরি করেন, যা প্রমাণ করে যে নিউরাল মেমোরি মূলত পদার্থবিজ্ঞানের স্পিন-গ্লাস মডেলের মতো এনার্জি মিনিমাইজেশন প্রক্রিয়া। এর ওপর ভিত্তি করে হিন্টন ও সেজনোস্কি তৈরি করলেন **বোল্টজম্যান মেশিন (1985)**।

৫. নেটটক (NETtalk): নতুন যুগের কণ্ঠস্বর

১৯৮৬ সালে টেরি সেজনোস্কি তৈরি করলেন **নেটটক**—একটি নিউরাল নেটওয়ার্ক যা ইংরেজি লেখা দেখে নিজে নিজে মানুষের মতো কথা বলা শিখত। শুরুতে এটি শিশুর মতো অস্পষ্ট বকবক করত, কিন্তু কয়েক ঘণ্টার প্রশিক্ষণের পর এটি নিখুঁত ব্যাকরণ ও উচ্চারণে স্পষ্ট ইংরেজি বলতে শুরু করল। সংযোগবাদী বিপ্লবের সূচনা হলো; কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তা প্রতীকী রুল থেকে সরে এসে পা রাখল অবিচ্ছিন্ন গাণিতিক ভেক্টরের বাস্তব জগতে।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "সংযোগবাদী বিদ্রোহ ও ব্যাকপ্রোপাগেশন — রুমেলহার্ট, হিন্টন ও পিডিপি বিপ্লব"। কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার ইতিহাস, খণ্ড ১১।
https://shakilmahmud.com/bn/the-epic-history-of-artificial-intelligence-part-11-connectionist-rebellion-backprop-bn/

Shakil Mahmud • Research Monograph

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • দ্বাদশ খণ্ড

স্থানিক দৃষ্টি ও কনভোলিউশনাল নেটওয়ার্ক — নিওকগনিট্রন, লেনাট-৫ এবং ইয়ান লেকান

স্থানিক দৃষ্টি ও কনভোলিউশনাল নেটওয়ার্ক — নিওকগনিট্রন, লেনাট-৫ এবং ইয়ান লেকান

463 শব্দ • November 4, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ১২: *ইয়ান লেকানের লেনাট-৫ (LeNet-5) কনভোলিউশনাল নেটওয়ার্ক: লোকাল রিসেপ্টিভ ফিল্ড, ওজন শেয়ারিং এবং সাবস্যাম্পলিং স্তরবিন্যাস।*

আশির দশকের শেষের দিকে সাধারণ ফুল্লি-কানেক্টেড নিউরাল নেটওয়ার্কগুলো ছবি চেনার ক্ষেত্রে এক মারাত্মক বাধার মুখে পড়ে। একটি মাত্র $100 imes 100$ পিক্সেলের সাধারণ ছবিতে থাকে ১০,০০০ ইনপুট; একে ভেতরের মাত্র ১,০০০ নিউরনের সাথে জুড়তে গেলেই ১ কোটি ওজনের প্রয়োজন হতো! এর ফলে কম্পিউটারের মেমোরি উপচে পড়ত এবং ছবিতে বস্তু সামান্য একটু সরে গেলেই পুরো নেটওয়ার্ক বিভ্রান্ত হয়ে যেত। এই সংকটের সমাধান এলো মানুষের চোখের দৃষ্টির এক চমৎকার জীববৈজ্ঞানিক কাঠামো থেকে: **কনভোলিউশনাল নিউরাল নেটওয়ার্ক (CNN)**।

১. হিউবেল ও উইসেলের নোবেলজয়ী আবিষ্কার

হার্ভার্ড মেডিকেল স্কুলের গবেষক ডেভিড হিউবেল এবং টর্স্টেন উইসেল বিড়ালের মস্তিষ্কের প্রাথমিক ভিজ্যুয়াল কর্টেক্সে (V1) গবেষণা চালিয়ে দেখান যে চোখ পুরো দৃশ্যকে একসাথে এক স্তরে প্রসেস করে না। দৃষ্টির স্নায়ুগুলো ধাপে ধাপে স্তরবিন্যস্তভাবে কাজ করে:

- **সিম্পল সেল (Simple Cells):** যা কেবল ছোট জায়গায় নির্দিষ্ট কোণের সরলরেখা বা কিনারা (Edges) দেখতে পায়।
- **কমপ্লেক্স সেল (Complex Cells):** যা একাধিক সিম্পল সেলের তথ্য একত্রিত করে বস্তুর সামান্য নড়াচড়া সত্ত্বেও রেখা শনাক্ত করতে পারে।
- **হাইপারকমপ্লেক্স সেল:** যা একাধিক কোণ ও বিন্দুর মিলনে পূর্ণাঙ্গ জ্যামিতিক অবয়ব তৈরি করে।

২. কুনিহিকো ফুকুশিমা এবং নিওকগনিট্রন (১৯৮০)

১৯৮০ সালে জাপানি বিজ্ঞানী কুনিহিকো ফুকুশিমা তৈরি করেন **নিওকগনিট্রন (Neocognitron)**। তিনি দুটি স্তরের পুনরাবৃত্তি ব্যবহার করেন:

1. **S-কোষ স্তর:** যা ছবির স্থানীয় বৈশিষ্ট্যগুলো স্ক্যান করে।
2. **C-কোষ স্তর:** যা সাবস্যাম্পলিং বা পুলিংয়ের মাধ্যমে বস্তুর অবস্থানের পরিবর্তনকে আমলে না নিয়ে সামগ্রিক রূপ ধরে রাখে।

কিন্তু ফুকুশিমার মডেলে কোনো নির্ভরযোগ্য ব্যাকপ্রোপাগেশন অ্যালগরিদম ছিল না, ফলে এটি শেখানো ছিল অত্যন্ত দুরূহ।

৩. ইয়ান লেকান এবং লেনাট-৫ (LeNet-5)-এর জন্ম

১৯৮৯ সালে এটি অ্যান্ড টি বেল ল্যাবসের ফরাসি তরুণ গবেষক ইয়ান লেকান (Yann LeCun) ফুকুশিমার এই ভিজ্যুয়াল স্তরের সাথে ব্যাকপ্রোপাগেশনকে একীভূত করলেন। লেকান সিএনএন-এর তিনটি অমর মূলনীতি প্রতিষ্ঠা করেন:

1. **লোকাল রিসেপ্টিভ ফিল্ড:** প্রতিটি নিউরন পুরো ছবির সাথে যুক্ত না হয়ে চোখের মতো ছোট একটি উইন্ডো ($৫times৫$ পিক্সেল) পর্যবেক্ষণ করে।
2. **ওজন শেয়ারিং (Shared Weights):** একটি একক ফিল্টারকে পুরো ছবির ওপর দিয়ে স্লাইড করে বৈশিষ্ট্য ম্যাপ তৈরি করা হয়:

$$y_{i,j} = sigmaleft(sum_msum_nw_{m,n}x_{i+m,j+n} + b < br/ > ight)$$

   এর ফলে ছবির বাম কোণার একটি চোখ ডান কোণায় সরে গেলেও ফিল্টারটি তা চিনতে পারে (Translation Equivariance), এবং লাখ লাখ প্যারামিটারের অপচয় বন্ধ হয়।
3. **সাবস্যাম্পলিং বা পুলিং (Pooling):** ছবির রেজোলিউশন কমিয়ে মূল জ্যামিতিক তথ্য ধরে রাখা, যাতে বস্তুর আকার বা সামান্য বিকৃতিতে মডেল বিভ্রান্ত না হয়।

৪. এমএনআইএসটি (MNIST) ও বাণিজ্যিক সাফল্য

১৯৯৮ সালে ইয়ান লেকান, যশুয়া বেঞ্জিও এবং প্যাট্রিক হ্যাফনার প্রকাশ করেন তাঁদের ঐতিহাসিক গবেষণাপত্র: *লেনাট-৫ (LeNet-5)*।

৭০,০০০ হাতের লেখা অঙ্কের প্রামাণ্য ডেটাসেট **MNIST**-এ লেনাট-৫ এর ভুলের হার নেমে আসে ১%-এর নিচে—যা তৎকালীন যেকোনো ক্লাসিক্যাল অ্যালগরিদমের চেয়ে যোজন যোজন এগিয়ে ছিল। মার্কিন যুক্তরাষ্ট্রের ডাক বিভাগ ও ব্যাংকগুলো এই নেটওয়ার্ক গ্রহণ করে; নব্বইয়ের দশকের শেষভাগে যুক্তরাষ্ট্রের মোট চেকের প্রায় ১০ থেকে ২০ শতাংশ স্বয়ংক্রিয়ভাবে প্রসেস করত লেকানের এই কনভোলিউশনাল নেটওয়ার্ক!

কিন্তু এত বড় সাফল্যের পরেও মূলধারার কম্পিউটার সায়েন্স নিউরাল নেটওয়ার্ক থেকে আবারও মুখ ফিরিয়ে নেয়। কারণ গণিতবিদরা তখন মেতে উঠেছিলেন আরও নিখুঁত গাণিতিক গ্যারান্টিযুক্ত মডেল নিয়ে: সাপোর্ট ভেক্টর মেশিন।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "স্থানিক দৃষ্টি ও কনভোলিউশনাল নেটওয়ার্ক — নিওকগনিট্রন, লেনাট-৫ এবং ইয়ান লেকান"। কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার ইতিহাস, খণ্ড ১২।
https://shakilmahmud.com/bn/the-epic-history-of-artificial-intelligence-part-12-yann-lecun-convolutional-networks-bn/

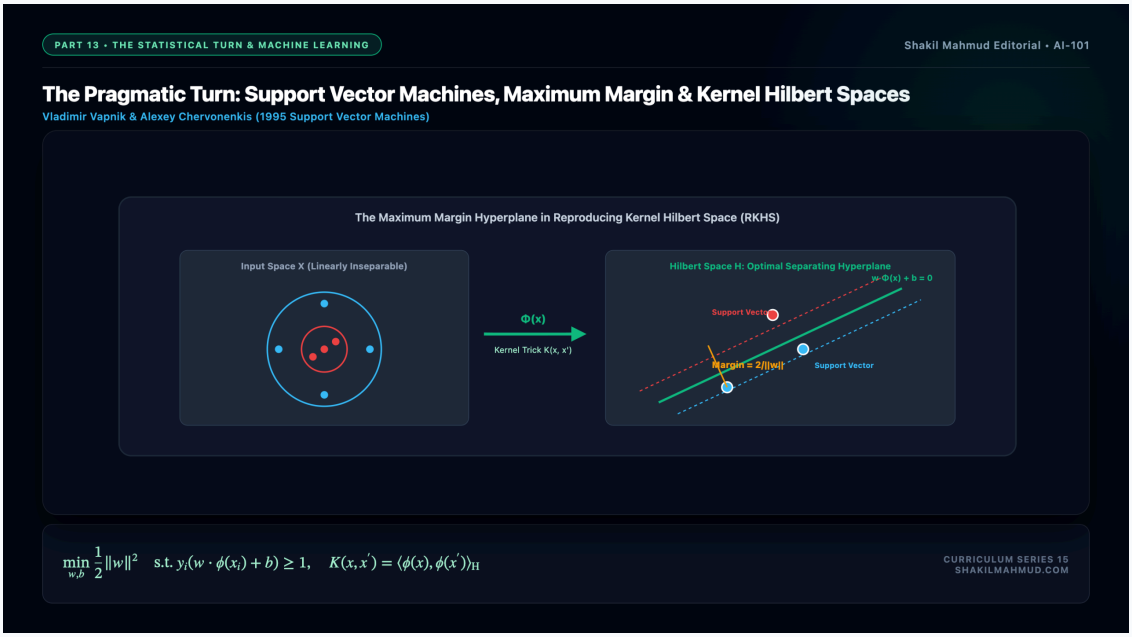
Shakil Mahmud • Research Monograph

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • ত্রয়োদশ খণ্ড

পরিসংখ্যানিক রূপান্তর ও সাব-সিম্বলিক যুগ — সাপোর্ট ভেক্টর মেশিন এবং কার্নেল ট্রিক

পরিসংখ্যানিক রূপান্তর ও সাব-সিম্বলিক যুগ — সাপোর্ট ভেক্টর মেশিন এবং কার্নেল ট্রিক

469 শব্দ • November 4, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ১৩: *রিপ্রোডিউসিং কার্নেল হিলবার্ট স্পেসে সাপোর্ট ভেক্টর মেশিন: ম্যাক্সিমাম মার্জিন হাইপারপ্লেন এবং নন-লিনিয়ার কার্নেল ট্রিক।*

১৯৯০-এর দশকের মাঝামাঝি সময়ে কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তা তার পুরোনো দার্শনিক প্রতিশ্রুতি থেকে বেরিয়ে আসে। একাধিক শীতকালের তিক্ত অভিজ্ঞতা গবেষকদের শিখিয়েছিল যে ভঙ্গুর রুলবেস বা নিউরাল নেটওয়ার্কের স্থানীয় মিনিমার গোলকধাঁধায় আটকে থাকা অথহীন। এর ফলে পুরো কম্পিউটার বিজ্ঞান জগতে ঘটে গেল এক যুগান্তকারী পরিবর্তন, যা **পরিসংখ্যানিক রূপান্তর (The Statistical Turn)** নামে পরিচিত। রুশ গণিতবিদ ভ্লাদিমির ভ্যাপনিকের **সাপোর্ট ভেক্টর মেশিন (SVM)** রাতারাতি আধুনিক মেশিন লার্নিংয়ের প্রধান চালিকাশক্তিতে পরিণত হলো।

১. ভ্যাপনিক-চেরভোনেনকিস (VC) তত্ত্ব ও সাধারণীকরণের বাউন্ড

সোভিয়েত ইউনিয়নে ভ্লাদিমির ভ্যাপনিক এবং আলেক্সি চেরভোনেনকিসের দীর্ঘ গবেষণায় গড়ে ওঠা **স্ট্যাটিস্টিক্যাল লার্নিং থিওরি** নিউরাল নেটওয়ার্কের সবচেয়ে বড় দুর্বলতা দূর করল। তারা দেখালেন—মডেলের প্যারামিটার সংখ্যা বেশি হলেই মডেল ভালো হয় না; অতিরিক্ত জটিল মডেল কেবল মুখস্থ করতে পারে (Overfitting)।

ভ্যাপনিক প্রমাণ করলেন যে অদেখা নতুন ডেটায় ভুলের হার (R) নির্ভর করে মূলত দুটি বিষয়ের ওপর: প্রশিক্ষণের ভুল এবং মডেলের **ভিসি ডাইমেনশন (h_{extVC})** দ্বারা নির্ধারিত জটিলতা:

R(h) le R_{ ext{emp}}(h) + sqrt{rac{h_{ ext{VC}} left(log(2N / h_{ ext{VC}}) + 1
 ight) – log(eta / 4)}{N}}

এর অর্থ হলো, সবচেয়ে ভালো মডেল সেটিই যা সবচেয়ে চওড়া ‘মার্জিন’ বজায় রেখে ডেটাকে আলাদা করতে পারে।

২. সাপোর্ট ভেক্টর মেশিন: উত্তল অপ্টিমাইজেশনের নিশ্চয়তা

১৯৯৫ সালে ভ্যাপনিক ও কোরিনা কোর্টেস উন্মোচন করেন **সাপোর্ট ভেক্টর মেশিন (SVM)**। এর মূল লক্ষ্য হলো দুটি শ্রেণির ডেটার মাঝখান দিয়ে এমন একটি বিভাজন রেখা বা হাইপারপ্লেন ($wcdotx + b = 0$) তৈরি করা, যার দুই পাশের ফাঁকা স্থান বা মার্জিন ($rac2|w|$) হবে সর্বোচ্চ:

$$min_{w,b} rac 12 |w|^2 quad ext যেখানে y_i (w cdot x_i + b) ge 1$$

ল্যাগ্রাঞ্জিয়ান ডুয়াল ফর্মুলেশনের মাধ্যমে এটি পরিণত হয় একটি **কনভেক্স কোয়াড্রাটিক প্রোগ্রামিং সমস্যায়**। নিউরাল নেটওয়ার্কের মতো এতে কোনো লোকাল মিনিমা বা আঁকাবাঁকা পথ থাকে না; এতে কেবল একটিই অনন্য বৈশ্বিক সমাধান (Global Optimum) বিদ্যমান, যা নির্ভুলভাবে হিসাব করা সম্ভব! সবচেয়ে মজার ব্যাপার হলো, পুরো মডেলটি নির্ভর করে কেবল মার্জিনের প্রান্তে থাকা কয়েকটি বিন্দুর ওপর—যাদের নাম **সাপোর্ট ভেক্টর (Support Vectors)**।

৩. কার্নেল ট্রিক: সসীম খরচে অসীম মাত্রা

যদি ডেটা সরলরেখা দিয়ে আলাদা করা না যায়? ১৯৯২ সালে আবিষ্কৃত হলো গণিতের সবচেয়ে জাদুকরী কৌশল: **কার্নেল ট্রিক (The Kernel Trick)**।

নন-লিনিয়ার ডেটাকে একটি উচ্চমাত্রিক (এমনকি অসীম মাত্রিক) হিলবার্ট স্পেসে প্রক্ষেপণ ($phi(x)$) করলে বাঁকানো ডেটাও সোজা সমতলে আলাদা হয়ে যায়। আর ডুয়াল সমীকরণের কল্যাণে উচ্চমাত্রার স্থানাঙ্ক কখনো সরাসরি হিসাব করার প্রয়োজনই হয় না! কেবল দুটি বিন্দুর ডট প্রোডাক্টকে একটি **কার্নেল ফাংশন** দিয়ে প্রতিস্থাপন করলেই চলে:

- **পলিলিনিয়ার কার্নেল:** K(x, x’) = (x cdot x’ + c)^d
- **আরবিএফ / গাউসিয়ান কার্নেল:** $K(x, x') = expleft(-gamma |x – x'|^2 ight)$

মার্সারের উপপাদ্যের সাহায্যে সাধারণ একটি ডেস্কটপ পিসিতে কয়েক সেকেন্ডে অসীম মাত্রার সমতলে হিসাব কষা সম্ভব হয়ে উঠল।

৪. প্রায়োগিক বিজ্ঞানের যুগ

এই পরিসংখ্যানিক বিপ্লব এআই-কে অলীক কল্পনা থেকে একটি কঠিন ও বাস্তবমুখী প্রকৌশলে রূপান্তর করল। স্পিচ রিকগনিশনে হিডেন মার্কভ মডেল (HMM), সম্ভাবনা গণনায় বায়েশিয়ান নেটওয়ার্ক এবং ক্লাসিফিকেশনে এসভিএম বিশ্বব্যাপী একচ্ছত্র আধিপত্য বিস্তার করল। কিন্তু এরই মাঝে নিউ ইয়র্কের এক বহুতল ভবনে রচিত হচ্ছিল যন্ত্রের এক ঐতিহাসিক বিজয়—বিশ্ব দাবা চ্যাম্পিয়ন গ্যারি কাসপারভের পতন।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "পরিসংখ্যানিক রূপান্তর ও সাব-সিম্বলিক যুগ — সাপোর্ট ভেক্টর মেশিন এবং কার্নেল ট্রিক"। কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার ইতিহাস, খণ্ড ১৩।
https://shakilmahmud.com/bn/the-epic-history-of-artificial-intelligence-part-13-statistical-turn-support-vector-machines-bn/

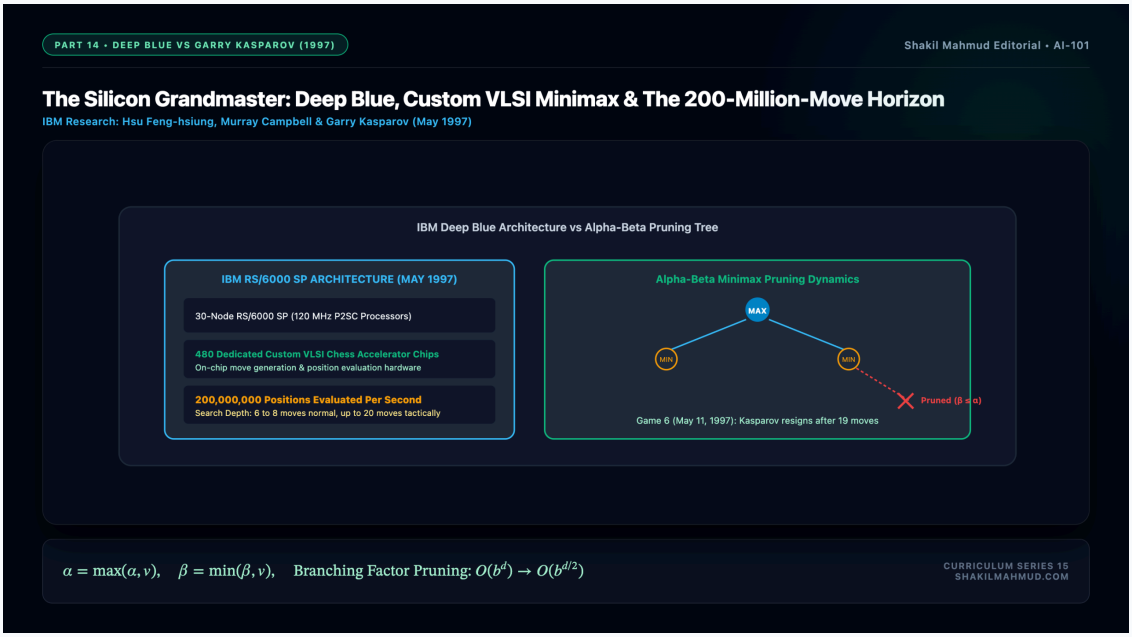
Shakil Mahmud • Research Monograph

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • চতুর্দশ খণ্ড

সিলিকন গ্র্যান্ডমাস্টার — আইবিএম ডিপ ব্লু, কাস্টম ভিএলএসআই এবং কাসপারভের পরাজয় (১৯৯৭)

সিলিকন গ্র্যান্ডমাস্টার — আইবিএম ডিপ ব্লু, কাস্টম ভিএলএসআই এবং কাসপারভের পরাজয় (১৯৯৭)

558 শব্দ • November 4, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ১৪: *আইবিএম ডিপ ব্লুর ৪৮০টি কাস্টম ভিএলএসআই দাবা চিপ এবং কাসপারভের বিরুদ্ধে প্রতি সেকেন্ডে ২০ কোটি অবস্থানের আলফা-বিটা মিনিম্যাক্স সার্চ।*

১৯৯৭ সালের ১১ মে নিউ ইয়র্কের ম্যানহাটনের ৩৫ তলায় মানবজাতি এক ঐতিহাসিক সন্ধিক্ষণ প্রত্যক্ষ করল। দাবার ইতিহাসে সর্বকালের সর্বশ্রেষ্ঠ খেলোয়াড় এবং তৎকালীন বিশ্বচ্যাম্পিয়ন গ্যারি কাসপারভ মাত্র ১৯ চালের মাথায় মাথায় হাত দিয়ে চেয়ার ছেড়ে উঠে দাঁড়ালেন এবং হতাশায় রুম থেকে বেরিয়ে গেলেন। আইবিএমের সুপারকম্পিউটার **ডিপ ব্লু (Deep Blue)** ৩.৫–২.৫ ব্যবধানে হারিয়ে দিল বিশ্বচ্যাম্পিয়নকে। মানব সভ্যতার সবচেয়ে মর্যাদাপূর্ণ বুদ্ধিবৃত্তিক খেলায় প্রথম কোনো যন্ত্রের কাছে মানুষের চূড়ান্ত পরাজয় ঘটল।

১. দাবা: কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার ‘ড্রসোফিলা’

কম্পিউটারের জন্মলগ্ন থেকেই দাবা খেলাকে মানুষের তীক্ষ্ণ বুদ্ধিমত্তার মাপকাঠি মনে করা হতো। জীববিজ্ঞানী আলেক্সান্ডার ক্রনরোড দাবাকে আখ্যা দিয়েছিলেন “কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার ড্রসোফিলা ফ্রুটফ্লাই”। ১৯৫০ সালে ক্লড শ্যানন দাবা প্রোগ্রামের দুটি পথ দেখিয়েছিলেন:

- **টাইপ এ (ব্রুট ফোর্স):** প্রতিটি চালের সকল সম্ভাব্য চাল অন্ধভাবে অনেক দূর পর্যন্ত হিসাব কষে দেখা।
- **টাইপ বি (হিউরিস্টিক বা মানুষের মতো):** কেবল কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ চাল নির্বাচন করে গভীর অনুসন্ধান চালানো।

আশির দশকে গবেষকরা দেখলেন মানুষের মতো চিন্তা করার চেয়ে কোটি কোটি হিসাব সেকেন্ডে নিখুঁতভাবে করার ক্ষমতা দাবায় অনেক বেশি কার্যকর।

২. আইবিএম ডিপ ব্লুর দানবীয় স্থাপত্য

কার্নেগি মেলন বিশ্ববিদ্যালয়ের সু ফেং-সিউং এবং আইবিএমের মারে ক্যাম্পবেলের নেতৃত্বে গড়ে ওঠা ডিপ ব্লু ছিল এক প্রকৌশল বিস্ময়:

- **সুপারকম্পিউটার হোস্ট:** ৩০টি নোডযুক্ত আইবিএম RS/6000 SP সিস্টেম।
- **কাস্টম ভিএলএসআই (VLSI) দাবা চিপ:** সিস্টেমে বসানো হয়েছিল ৪৮০টি বিশেষায়িত সিলিকন চিপ। প্রতিটি চিপের একমাত্র কাজ ছিল সেকেন্ডে কোটি কোটি চাল তৈরি ও মূল্যায়ন করা।

- **গণনাক্ষমতা:** ডিপ ব্লু প্রতি সেকেন্ডে **২০ কোটি (২০০,০০০,০০০) দাবার অবস্থান** বিশ্লেষণ করতে পারত! এর দৃষ্টি ছিল সাধারণ অবস্থায় ৬ থেকে ৮ চাল এবং বিশেষ ক্ষেত্রে ২০ চালেরও বেশি গভীর।

৩. আলফা-বিটা মিনিম্যাক্স প্রুনিং

দাবার $১০^{১২০}$ টি চালের সব পথ খোঁজা অসম্ভব। ডিপ ব্লু ব্যবহার করেছিল **আলফা-বিটা প্রুনিং সহ মিনিম্যাক্স অ্যালগরিদম**:

$$lpha = max(lpha, v), quadeta = min(eta, v)$$

আলফা নির্দেশ করে ম্যাক্সিমাইজিং খেলোয়াড়ের নিশ্চিত সর্বনিম্ন স্কোর, আর বিটা নির্দেশ করে মিনিমাইজিং খেলোয়াড়ের নিশ্চিত সর্বোচ্চ স্কোর। যখনই কোনো শাখায় $etalelpha$ হয়ে যায়, তখন বাকি শাখাগুলোতে আর কোনো ভালো চাল থাকা অসম্ভব বিবেচনা করে কম্পিউটার মুহূর্তেই সেই পুরো ডালপালা ছাঁটাই (Pruning) করে দেয়!

এর ফলে সার্চ স্পেস $O(b^d)$ থেকে এক লাফে নেমে আসে $O(b^{d/2})$-এ, যা দ্বিগুণ গভীরতায় চাল খোঁজার সুযোগ করে দেয়। এর সাথে যুক্ত ছিল গ্র্যান্ডমাস্টারদের তৈরি ৮,০০০ পজিশনাল রুলস এবং ৫টি বা তার কম গুটির নিখুঁত এন্ডগেম ডেটাবেস।

৪. সেই ঐতিহাসিক ম্যাচ: মে ১৯৯৭

১৯৯৬ সালে কাসপারভ ডিপ ব্লুকে ৪–২ এ হারিয়েছিলেন। কিন্তু ১৯৯৭ সালে ডিপ ব্লু ফিরে এল এক নির্মম রূপে:

- **খেলা ১:** কাসপারভ চতুরতার সাথে জয়ী হন। খেলার শেষ প্রান্তে ডিপ ব্লুর সিস্টেমে সামান্য একটি ত্রুটির কারণে অদ্ভুত একটি চাল দেয়, যা কাসপারভকে বিভ্রান্ত করে দেয়—তিনি ভাবেন মেশিনটি অলৌকিক কোনো দূরদর্শিতা প্রদর্শন করেছে!
- **খেলা ২:** ডিপ ব্লু অবিশ্বাস্য সংযমের সাথে কাসপারভকে কোণঠাসা করে। মানসিক চাপে ভেঙে পড়ে কাসপারভ ভুল করে ড্র হওয়া খেলাতেই পরাজয় স্বীকার করেন।
- **খেলা ৩, ৪ ও ৫:** তিনটি স্নায়ুক্ষয়ী ড্র।
- **খেলা ৬ (১১ মে):** ক্যারো-কান ডিফেন্সে কাসপারভের সামান্য ভুলের সুযোগ নিয়ে ডিপ ব্লু একটি বিখ্যাত নাইট স্যাক্রিফাইস ($8.Nxe6!$) করে। মাত্র ১৯ চালে কাসপারভ আত্মসমর্পণ করেন।

৫. ডিপ ব্লুর দার্শনিক পাঠ

আন্তর্জাতিক সংবাদমাধ্যম লিখেছিল: *"দ্য ব্রেইনস লাস্ট স্ট্যান্ড"*—মানব মস্তিষ্কের শেষ দুর্গের পতন।

কিন্তু কম্পিউটার বিজ্ঞানীদের কাছে এটি উন্মোচন করল এক গভীর বাস্তবতা: **দাবা খেলায় জেতা আর সাধারণ বুদ্ধিমত্তা অর্জন করা এক কথা নয়**। ডিপ ব্লু ছিল একটি অন্ধ গণনাকারী দানব। সে জানত না সে দাবা খেলছে, বিজয়ে তার কোনো আনন্দ ছিল না, এবং দাবা খেলার বাইরে একটি হাতের লেখা অক্ষর চিনতেও সে সম্পূর্ণ অক্ষম ছিল। প্রকৃত বুদ্ধিমত্তার জন্য প্রয়োজন ছিল এমন সিস্টেম যা সরাসরি অভিজ্ঞতা ও ছবি দেখে নিজে নিজে শিখতে পারে। সেই যুগান্তকারী বিপ্লবের নাম—ডিপ লার্নিং।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "সিলিকন গ্র্যান্ডমাস্টার — আইবিএম ডিপ ব্লু, কাস্টম ভিএলএসআই এবং কাসপারভের পরাজয় (১৯৯৭)"। কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার ইতিহাস, খণ্ড ১৪।
https://shakilmahmud.com/bn/the-epic-history-of-artificial-intelligence-part-14-deep-blue-vs-garry-kasparov-1997-bn/

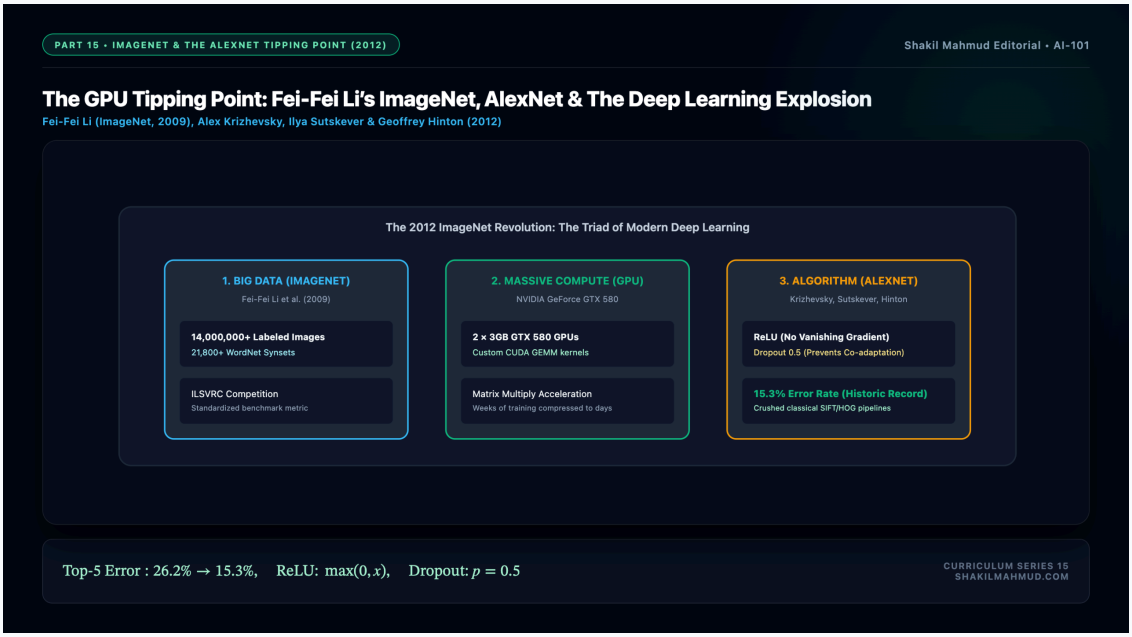
Shakil Mahmud • Research Monograph

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • পঞ্চদশ খণ্ড

যুগান্তকারী ২০১২ — ইমেজনেট, অ্যালেক্সনেট এবং ডিপ লার্নিং বিস্ফোরণ

যুগান্তকারী ২০১২ — ইমেজনেট, অ্যালেক্সনেট এবং ডিপ লার্নিং বিস্ফোরণ

541 শব্দ • November 4, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ১৫: *২০১২ সালের যুগান্তকারী ডিপ লার্নিং বিস্ফোরণ: ফেই-ফেই লির ইমেজনেট ডেটাসেট, জিপিইউ প্যারালালেলিজম এবং অ্যালেক্সনেটের রিলু ও ড্রপআউট।*

কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার সুদীর্ঘ ইতিহাসে বহু সম্মেলন ও গবেষণাপত্র রয়েছে, কিন্তু এর আধুনিক ইতিহাসের যদি একটি 'বিগ ব্যাং' বা মহাবিস্ফোরণের মুহূর্ত চিহ্নিত করতে হয়, তবে তা হলো ২০১২ সালের শরৎকাল। ইতালির ফ্লোরেন্সে অনুষ্ঠিত কম্পিউটার ভিশন প্রতিযোগিতায় **অ্যালেক্সনেট (AlexNet)** নামের একটি গভীর নিউরাল নেটওয়ার্ক বিশ্বের তাবৎ ক্লাসিক্যাল সিস্টেমকে ধূলিসাৎ করে দেয়। মুহূর্তের মধ্যে গত বিশ বছরের প্রচলিত কম্পিউটার সায়েন্সের নিয়ম বদলে গেল এবং শুরু হলো আধুনিক 'ডিপ লার্নিং' বিপ্লব।

১. ফেই-ফেই লির ঐতিহাসিক বাজি: অ্যালগরিদমের আগে ডেটা

২০০৬ সালের দিকে মেশিন লার্নিং গবেষকদের ধারণা ছিল—কম্পিউটারকে বুদ্ধিমান বানাতে হলে আরও জটিল ও সূক্ষ্ম গাণিতিক অ্যালগরিদম দরকার। হাতে তৈরি কয়েক হাজার ছবির ছোট ডেটাসেট নিয়েই সবাই সন্তুষ্ট ছিল।

কিন্তু প্রিন্সটন বিশ্ববিদ্যালয়ের তরুণ সহকারী অধ্যাপক **ফেই-ফেই লি (Fei-Fei Li)** সমস্যাটিকে উল্টোভাবে দেখলেন। মানুষের একটি শিশু যখন দেখতে শেখে, তখন সে কয়েক বছরে কোটি কোটি বাস্তব দৃশ্য অবলোকন করে। যন্ত্রকে যদি পৃথিবী দেখতে ও চিনতে শেখাতে হয়, তবে তাকে কেবল কয়েকটি ফর্মুলা দিলে হবে না; তাকে দিতে হবে গোটা বাস্তব পৃথিবীর একটি সম্পূর্ণ ভিজ্যুয়াল অভিধান।

২০০৭ সাল থেকে তিনি ইন্টারনেট থেকে সংগৃহীত কোটি কোটি ছবি অ্যামাজন মেকানিক্যাল টার্কের সাহায্যে মানুষের মাধ্যমে লেবেলিং শুরু করেন। ২০০৯ সালে উন্মোচিত হয় **ইমেজনেট (ImageNet)**: মানব সভ্যতার ইতিহাসে সবচেয়ে বড় ছবির ডেটাসেট, যাতে ছিল **২১,৮০০টি বিভাগে ১ কোটি ৪০ লাখেরও বেশি লেবেলযুক্ত ছবি**!

২০১০ সাল থেকে চালু হলো ইমেজনেট আন্তর্জাতিক প্রতিযোগিতা (ILSVRC)—যেখানে ১,০০০টি বৈচিত্র্যময় ক্যাটাগরির ১২ লাখ ছবি চেনার জন্য বিশ্বের সেরা দলগুলো অংশ নিত। প্রথম দুই বছর প্রচলিত সিস্টেমগুলোর ভুলের হার ২৬%-এর আশেপাশে স্থবির হয়ে ছিল।

২. টরন্টো বিশ্ববিদ্যালয়ের সেই তিন পথিকৃৎ

কানাডার টরন্টোতে দীর্ঘ শীতকালের মধ্যেও নিউরাল নেটওয়ার্কের আশায় বুক বেঁধে কাজ করছিলেন জেফ্রি হিন্টন (Geoffrey Hinton)। তাঁর দুই প্রতিভাবান পিএইচডি শিক্ষার্থী ছিলেন—কোডিং জিনিয়াস **অ্যালেক্স ক্রিজেভস্কি** এবং প্রখর তাত্ত্বিক **ইলিয়া সুতস্কেভার**।

ক্রিজেভস্কি বুঝতে পেরেছিলেন যে লাখ লাখ ছবির ম্যাট্রিক্স গুণ করতে সাধারণ সিপিইউ (CPU) অত্যন্ত ধীরগতির। তিনি দুটি গেমিং গ্রাফিক্স কার্ড—**NVIDIA GeForce GTX 580** কিনে সরাসরি সিইউডিএ (CUDA) ভাষায় কাস্টম কোড লিখে সমান্তরাল গণনার এক দানবীয় ইঞ্জিন তৈরি করলেন।

৩. অ্যালেক্সনেটের তিনটি স্থাপত্য বিপ্লব

অ্যালেক্সনেট ছিল ৬০ মিলিয়ন প্যারামিটার ও ৮ স্তরের একটি গভীর কনভোলিউশনাল নেটওয়ার্ক। এর বিস্ময়কর সাফল্যের পেছনে ছিল তিনটি মূল স্তম্ভ:

1. **রিলু (ReLU) অ্যাক্টিভেশন:**

$$f(x) = max(0, x)$$

   পুরোনো সিগময়েড ফাংশনের বদলে রিলু ব্যবহারের ফলে গ্রেডিয়েন্ট শূন্যে মিলিয়ে যাওয়া (Vanishing Gradient) চিরতরে বন্ধ হলো এবং নেটওয়ার্কের শেখার গতি ছয় গুণ বৃদ্ধি পেল।

2. **ড্রপআউট (Dropout):**
   প্রশিক্ষণের সময় এলোমেলোভাবে অর্ধেক নিউরন সাময়িকভাবে বন্ধ রাখা হতো। এর ফলে নিউরনগুলো একে অপরের ওপর অন্ধভাবে নির্ভরশীল না হয়ে স্বাধীন ও শক্তিশালী বৈশিষ্ট্য চিনতে পারত, যা ওভারফিটিং দূর করেছিল।

3. **ডেটা অগমেন্টেশন:**
   ছবিগুলোকে উল্টে-পাল্টে এবং কেটে ডেটাসেটকে কৃত্রিমভাবে বহুগুণ বড় করে নেওয়া হতো।

৪. ২০১২ সালের সেই অবিস্মরণীয় দিন

২০১২ সালের অক্টোবর মাসে যখন ফলাফল ঘোষণা করা হলো, বিচারকরা নিজেদের চোখকে বিশ্বাস করতে পারছিলেন না:

- **দ্বিতীয় স্থান (বিশ্বের সেরা ক্লাসিক্যাল সিস্টেম):** ২৬.২% ভুলের হার।
- **প্রথম স্থান (অ্যালেক্সনেট): ১৫.৩% ভুলের হার!**

১০.৯ শতাংশের এই আকাশচুম্বী ব্যবধান ছিল প্রতিযোগিতার ইতিহাসে সম্পূর্ণ অবিশ্বাস্য। বিচারকরা প্রথমে ভেবেছিলেন কোডে কোনো ভুল হয়েছে। কিন্তু কোড নিখুঁত ছিল। ডিপ লার্নিং তার শ্রেষ্ঠত্ব প্রমাণ করে দিল।

৫. সিলিকন ভ্যালির স্বর্ণযাত্রা

এরপর ইতিহাস উল্কার গতিতে এগিয়ে গেল। কয়েক মাসের মধ্যে গুগল জেফ্রি হিন্টনের স্টার্টআপ কিনে নিল ৪ কোটি ৪০ লাখ ডলারে। ফেসবুক ইয়ান লেকানকে নিয়ে প্রতিষ্ঠা করল ফেয়ার (FAIR)। আর যে এনভিডিয়ার গ্রাফিক্স কার্ড কেবল ভিডিও গেম খেলার জন্য তৈরি হতো, সেই এনভিডিয়ার প্রধান জেনসেন হুয়াং দূরদর্শিতার সাথে পুরো কোম্পানিকে ডিপ লার্নিং কম্পিউটিংয়ের কেন্দ্রে পরিণত করলেন। কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার নতুন সূর্য উদিত হলো।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "যুগান্তকারী ২০১২ — ইমেজনেট, অ্যালেক্সনেট এবং ডিপ লার্নিং বিস্ফোরণ"। কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার ইতিহাস, খণ্ড ১৫। https://shakilmahmud.com/bn/the-epic-history-of-artificial-intelligence-part-15-imagenet-alexnet-tipping-point-2012-bn/

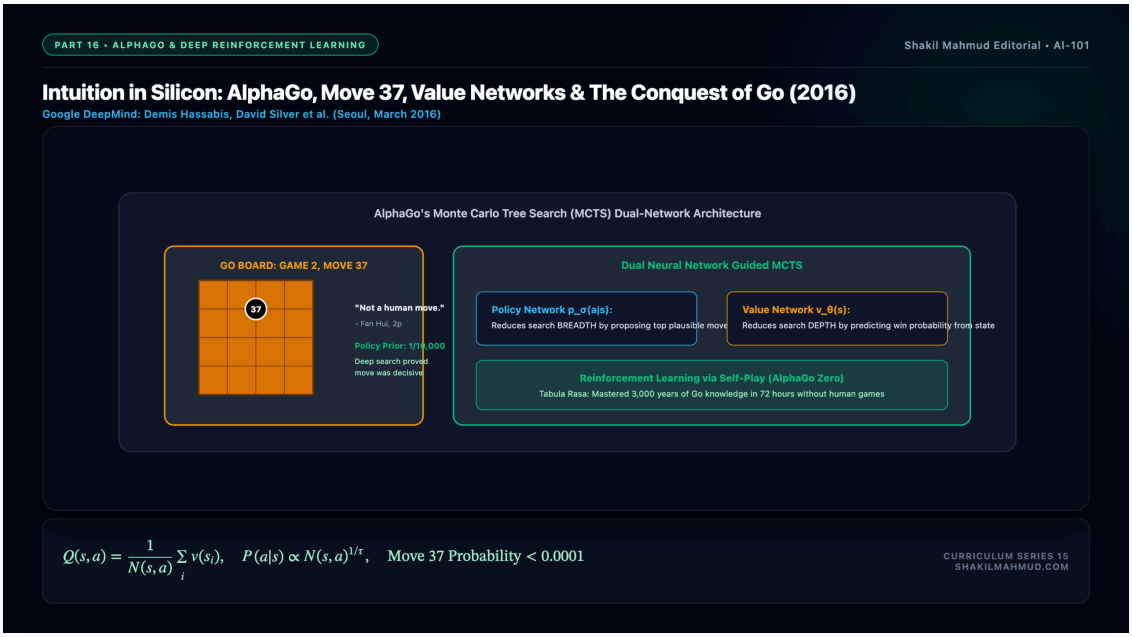
Shakil Mahmud • Research Monograph

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • ষোড়শ খণ্ড

রিইনফোর্সমেন্ট বিপ্লব — ডিপমাইন্ড, আলফাগো, চাল ৩৭ এবং গো খেলার ঐতিহাসিক বিজয় (২০১৬)

রিইনফোর্সমেন্ট বিপ্লব — ডিপমাইন্ড, আলফাগো, চাল ৩৭ এবং গো খেলার ঐতিহাসিক বিজয় (২০১৬)

636 শব্দ • November 4, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ১৬: *আলফাগোর পলিসি ও ভ্যালু নেটওয়ার্ক চালিত মন্টে কার্লো ট্রি সার্চ এবং ঐতিহাসিক চাল ৩৭ (Move 37) এর কম্পিউটার অন্তর্দৃষ্টি।*

২০১৬ সালের মার্চ মাস। দক্ষিণ কোরিয়ার সিউলের ফোর সিজনস হোটেলের একটি রুদ্ধদ্বার কক্ষে বিশ্ববাসী এমন এক মুহূর্ত প্রত্যক্ষ করল, যা দার্শনিক ও বিজ্ঞানীরা এতদিন কেবল মানুষের একচেটিয়া আধ্যাত্মিক বৈশিষ্ট্য বলে দাবি করতেন: **খাঁটি স্বজ্ঞাত সৃজনশীলতা (Intuitive Creativity)**। ডেমিস হাসাবিসের নেতৃত্বাধীন গুগল ডিপমাইন্ডের তৈরি **আলফাগো (AlphaGo)** ১৮ বারের বিশ্বচ্যাম্পিয়ন লি সেডলকে ৪–১ ব্যবধানে পরাজিত করে। দ্বিতীয় খেলার সেই ঐতিহাসিক **৩৭তম চালে (Move 37)** আলফাগো এমন এক চাল দিয়েছিল, যা তিন হাজার বছরের প্রচলিত মানব জ্ঞানের সীমানা এক নিমিষে চুরমার করে দেয়।

১. প্রাচীন গো খেলা: অসম্ভব এক গাণিতিক ধাঁধাঁ

ডিপ ব্লুর দাবা বিজয়ের বহু বছর পরেও গো (Go) খেলা ছিল কম্পিউটার বিজ্ঞানের জন্য এক অনতিক্রম্য এভারেস্ট। তিন হাজার বছর আগে প্রাচীন চীনে জন্ম নেওয়া এই খেলার নিয়ম অতি সাধারণ: $১৯ times ১৯$ গ্রিডের বোর্ডে দুজন খেলোয়াড় পর্যায়ক্রমে সাদা ও কালো পাথর বসিয়ে এলাকা দখল করে। কিন্তু এর গাণিতিক জটিলতা ছিল কল্পনাতীত:

- **অবস্থানের সংখ্যা:** গো খেলায় প্রায় $১০^{১৭০}$ টি বৈধ অবস্থান হতে পারে—যা আমাদের পর্যবেক্ষণযোগ্য মহাবিশ্বের মোট পরমাণুর সংখ্যার ($১০^{৮০}$) চেয়েও বহুগুণ বেশি!
- **শাখা প্রশাখা:** দাবায় প্রতি চালে সম্ভাব্য চাল থাকে ৩৫টি, কিন্তু গো খেলায় প্রতি চালে সম্ভাব্য চাল থাকে প্রায় ২৫০টি।
- **মূল্যায়নের সংকট:** দাবায় রানি বা ঘোড়ার নির্দিষ্ট মান থাকে, কিন্তু গো খেলায় প্রতিটি পাথর দেখতে একই রকম। শুরুর একটি পাথর একশত চাল পর জীবন-মৃত্যু নির্ধারণ করে। ফলে কোনো হিসাব কষে নয়, মানুষ এই খেলা খেলত সৌন্দর্যবোধ ও গভীর অন্তর্দৃষ্টির মাধ্যমে।

পেশাদাররা বিশ্বাস করতেন, কোনো কম্পিউটার কোনোদিন মানুষের শীর্ষ গ্র্যান্ডমাস্টারকে হারাতে পারবে না।

২. ডেমিস হাসাবিস এবং ডিপমাইন্ডের দর্শন

লন্ডনে ২০১০ সালে নিউরোবিজ্ঞানী ও শিশু দাবাড়ু ডেমিস হাসাবিস প্রতিষ্ঠা করেন **ডিপমাইন্ড (DeepMind)**। তাঁদের লক্ষ্য ছিল সুদূরপ্রসারী: *"প্রথমে বুদ্ধিমত্তার রহস্য সমাধান করো, তারপর তা দিয়ে বাকি সব সমস্যার সমাধান করো।"*

২০১৩ সালে তারা তৈরি করে ডিপ কিউ-নেটওয়ার্ক (DQN), যা মানুষের কোনো শেখানো নিয়ম ছাড়াই কেবল স্ক্রিনের পিক্সেল দেখে নিজে নিজে আটারি ভিডিও গেম খেলা শিখে বিশ্বকে তাক লাগিয়ে দেয়। ২০১৪ সালে গুগল ডিপমাইন্ডকে অধিগ্রহণ করে।

৩. আলফাগোর দুই নিউরাল চোখ ও মন্টে কার্লো ট্রি সার্চ

ডেভিড সিলভারের নেতৃত্বে ডিপমাইন্ড গো জয়ের জন্য এক অভূতপূর্ব স্থাপত্য দাঁড় করায়। তারা **মন্টে কার্লো ট্রি সার্চের (MCTS)** সাথে যুক্ত করে দুটি গভীর কনভোলিউশনাল নেটওয়ার্ক:

1. **পলিসি নেটওয়ার্ক (Policy Network):**
   যা মানুষের ৩০ মিলিয়ন পেশাদার চাল দেখে শিখেছিল বোর্ডে তাকিয়ে সেরা ৩-৪টি চাল প্রস্তাব করতে। এটি অনুসন্ধানের **বিস্তৃতি (Breadth)** কমিয়ে আনে।
2. **ভ্যালু নেটওয়ার্ক (Value Network):**
   যা খেলার শেষ পর্যন্ত না গিয়েও যেকোনো একটি বোর্ডের চেহারা দেখে মুহূর্তে নিখুঁতভাবে বলে দিতে পারত কার জেতার সম্ভাবনা কতটা। এটি অনুসন্ধানের **গভীরতা (Depth)** কমিয়ে আনে।

এই দুই নেটওয়ার্ক মিলে প্রতি সেকেন্ডে হাজার হাজার কাল্পনিক খেলা খেলে সেরা চালটি বেছে নিত:

$$a^* = rgmax_a N(s, a)$$

৪. সেই ৩৭তম চাল (Move 37)

সিউলের ম্যাচে আলফাগোর মুখোমুখি হয়েছিলেন আধুনিক গো খেলার সবচেয়ে আক্রমণাত্মক কিংবদন্তি **লি সেডল**।

দ্বিতীয় খেলায়, ৩৭তম চালে আলফাগো বোর্ডের প্রান্ত থেকে পঞ্চম লাইনে একটি কালো পাথর বসায়। তিন হাজার বছরের গো তত্ত্ব অনুযায়ী খেলার শুরুতে পঞ্চম লাইনে চাল দেওয়া ছিল সবচেয়ে বড় শিক্ষানবিস ভুল! পুরো বিশ্ব স্তব্ধ হয়ে গেল। লি সেডল চোখ বড় বড় করে তাকিয়ে রইলেন, হতবাক হয়ে চেয়ার ছেড়ে উঠে গেলেন এবং পনের মিনিট বাইরে বসে রইলেন। ইউরোপীয় চ্যাম্পিয়ন ফ্যান হুই ফিসফিস করে বললেন: *"এটি কোনো মানুষের চাল নয়। কোনো মানুষকে আমি এভাবে খেলতে দেখিনি।"*

আলফাগোর অভ্যন্তরীণ হিসাব পরে দেখিয়েছিল যে কোনো মানুষের এই চাল দেওয়ার সম্ভাবনা ছিল **১০,০০০ বারে মাত্র একবার**! কিন্তু তার ভ্যালু নেটওয়ার্ক দেখেছিল এই চালটি বোর্ডের পুরো কেন্দ্র নিয়ন্ত্রণ করবে। এবং বাস্তবে সেই চালই আলফাগোকে জয়ী করে।

৫. মানুষের শেষ প্রতিরোধ ও আলফাগো জিরো

চতুর্থ খেলায় লি সেডল এক অবিশ্বাস্য চাল দিয়েছিলেন—**৭৮তম চাল (দ্য ডিভাইন টাচ)**, যা আলফাগোকে অপ্রস্তুত করে মানুষের পক্ষে এক ঐতিহাসিক জয় ছিনিয়ে আনে। কিন্তু শেষ পর্যন্ত আলফাগো ৪–১ এ সিরিজ জিতে নেয়।

২০১৭ সালে ডিপমাইন্ড উন্মোচন করে **আলফাগো জিরো (AlphaGo Zero)**—যা মানুষের কোনো পুরোনো খেলা ছাড়াই, কেবল নিয়মের ওপর ভিত্তি করে সম্পূর্ণ নিজের সাথে নিজে খেলে মাত্র ৭২ ঘণ্টার মধ্যে আগের সকল সংস্করণকে ১০০–০ ব্যবধানে উড়িয়ে দেয়। মানুষের তিন হাজার বছরের জ্ঞানযন্ত্র অতিক্রম করে গেল মাত্র তিন দিনে। শুরু হলো স্বায়ত্তশাসিত কৃত্রিম চিন্তার এক নতুন যুগ।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "রিইনফোর্সমেন্ট বিপ্লব — ডিপমাইন্ড, আলফাগো, চাল ৩৭ এবং গো খেলার ঐতিহাসিক বিজয় (২০১৬)"। কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার ইতিহাস, খণ্ড ১৬।
https://shakilmahmud.com/bn/the-epic-history-of-artificial-intelligence-part-16-alphago-reinforcement-revolution-2016-bn/

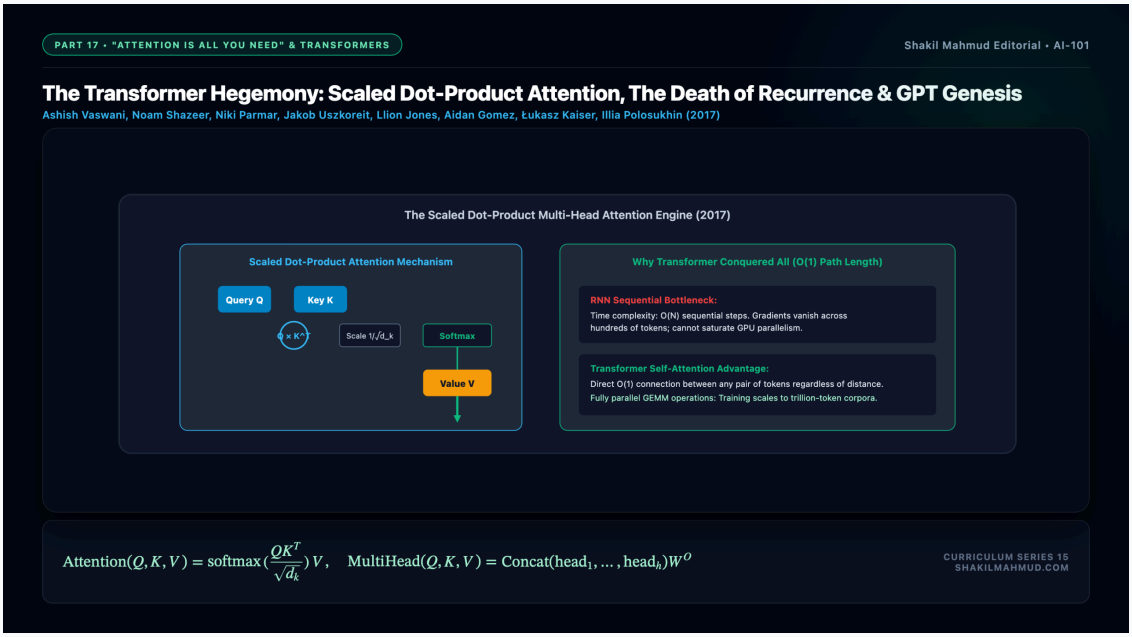
Shakil Mahmud • Research Monograph

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • সপ্তদশ খণ্ড

অ্যাটেনশন ইজ অল ইউ নিড ও ট্রান্সফরমারের আধিপত্য

অ্যাটেনশন ইজ অল ইউ নিড ও ট্রান্সফরমারের আধিপত্য

492 শব্দ • November 4, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ১৭: *ট্রান্সফরমার আর্কিটেকচার: স্কেলড ডট-প্রোডাক্ট মাল্টি-হেড সেলফ-অ্যাটেনশন, যা রিকারেন্ট বাধা দূর করে ও(১) টোকেন সংযোগ স্থাপন করেছে।*

২০১৭ সালের জুন মাসে, গুগল ব্রেন ও গুগল রিসার্চের একদল গবেষক আট পৃষ্ঠার একটি গবেষণাপত্র প্রকাশ করেন যার শিরোনাম ছিল অবিশ্বাস্যরকম সাহসী—*"Attention Is All You Need"*। পরবর্তী ছত্রিশ মাসের মধ্যে এর মূল উদ্ভাবন—**ট্রান্সফরমার (Transformer)**—প্রাকৃতিক ভাষা প্রক্রিয়াকরণ (NLP), কম্পিউটার ভিশন, স্পিচ সংশ্লেষণ এবং প্রোটিন ফোল্ডিংয়ে তিন দশকের প্রচলিত রিকারেন্ট এবং কনভোল্যুশনাল নেটওয়ার্কের আধিপত্য সম্পূর্ণরূপে গুঁড়িয়ে দেয়। রিকারেন্স বাদ দিয়ে বিশুদ্ধ ভেক্টরাইজড সেলফ-অ্যাটেনশন গ্রহণের মাধ্যমে ট্রান্সফরমার গভীর অনুক্রমিক শিক্ষার সবচেয়ে বড় প্রকৌশলগত প্রতিবন্ধকতা দূর করে।

১. রিকারেন্সের প্রতিবন্ধকতা: $O(n)$ অনুক্রমিক গণনার সীমাবদ্ধতা

১৯৮০-এর দশকের মাঝামাঝি থেকে ২০১৭ পর্যন্ত অনুক্রমিক ডেটা বিশ্লেষণে রাজত্ব করছিল রিকারেন্ট নিউরাল নেটওয়ার্ক (RNN) এবং এর আধুনিক রূপ এলএসটিএম (LSTM) ও জিআরইউ (GRU)। তবে এলএসটিএম-এর একটি সহজাত সীমাবদ্ধতা ছিল: এটি প্রতিটি শব্দের লুকায়িত অবস্থা (h_t) নির্ণয় করতে পূর্ববর্তী শব্দের অবস্থা (h_{t-1})-এর ওপর নির্ভরশীল ছিল:

$$h_t = sigma(W x_t + U h_{t-1} + b)$$

এই অনুক্রমিক নির্ভরতার কারণে একটি n দৈর্ঘ্যের বাক্যের জন্য $O(n)$ সংখ্যক ধারাবাহিক ধাপের প্রয়োজন হতো, যা আধুনিক জিপিইউ (GPU) বা টিপিইউ (TPU)-তে সমান্তরালভাবে গণনার সুযোগ নষ্ট করত। শত শত টোকেনের দূরত্বে পৌঁছাতে গিয়ে ভ্যানিশিং গ্রেডিয়েন্টের শিকার হয়ে মডেল অতীতের তথ্য ভুলে যেত।

২. স্কেলড ডট-প্রোডাক্ট ও মাল্টি-হেড সেলফ-অ্যাটেনশন

ট্রান্সফরমার অনুক্রমিক পুনরাবৃত্তির পরিবর্তে নিয়ে আসে **সেলফ-অ্যাটেনশন (Self-Attention)**, যেখানে একটি বাক্যের প্রতিটি টোকেন একই সাথে অন্য সব টোকেনের সাথে সরাসরি মিথস্ক্রিয়া করতে পারে। কুয়েরি (Q), কি (K) এবং ভ্যালু (V) ম্যাট্রিক্সের মাধ্যমে অ্যাটেনশন গণনা করা হয়:

$$textAttention(Q, K, V) = textsoftmaxleft(fracQK^T sqrtd_krightV$$

এখানে $frac1sqrtd_k$ স্কেলিং ফ্যাক্টরটি গাণিতিকভাবে অপরিহার্য: ডাইমেনশন d_k বড় হলে ডট প্রোডাক্টের মান অত্যন্ত বৃদ্ধি পায়, যার ফলে সফটম্যাক্স ফাংশনের গ্রেডিয়েন্ট শূন্যের কাছাকাছি চলে যায়। এই ভাগটি ভ্যারিয়েন্সকে স্থিতিশীল রাখে।

কেবল একক অ্যাটেনশনের বদলে **মাল্টি-হেড অ্যাটেনশন (Multi-Head Attention)** h সংখ্যক স্বাধীন লিনিয়ার প্রজেকশনের মাধ্যমে সমান্তরালভাবে একাধিক দিক থেকে টোকেনগুলোর সম্পর্ক নির্ণয় করে:

$$textMultiHead(Q, K, V) = textConcat(texthead_1, dots, texthead_h)W^O$$

এর ফলে মডেলটি একই বাক্যে ব্যাকরণগত সম্পর্ক, সর্বনামের সংযোগ, এবং গভীর অর্থগত গঠন একই সাথে অনুধাবন করতে পারে।

৩. ইনডাক্টিভ বায়াসের বিলুপ্তি ও অসীম স্কেলেবিলিটি

কনভোল্যুশনাল নেটওয়ার্কে থাকে স্থানিক সাদৃশ্যের অনুমান (spatial inductive bias) এবং আরএনএন-এ থাকে কালিক ধারাবাহিকতার অনুমান। কিন্তু ট্রান্সফরমারে কোনো পূর্বনির্ধারিত কঠোর অনুমান থাকে না—এটি টোকেনগুলোকে একটি সমান্তরাল সেট হিসেবে দেখে। ফলে শব্দের ক্রম বোঝাতে আলাদা **পজিশনাল এনকোডিং (Positional Encoding)** যোগ করা হয়:

$$PE_(pos,2i) = sinleft(fracpos10000^2i/d_textmodelright), quadPE_(pos,2i+1) = cosleft(fracpos10000^2i/d_textmodelright)$$

প্রথমদিকে এই কাঠামোগত অনুমানের অভাবকে দুর্বলতা মনে হলেও, বিপুল ডেটা এবং গণনাক্ষমতার সংযোগে ট্রান্সফরমার অবিশ্বাস্য গতিতে শিখতে সক্ষম হয়। এর $O(n^2)$ মুক্ত যোগাযোগ ম্যাট্রিক্স যেকোনো দুই টোকেনের মধ্যে তাৎক্ষণিক সম্পর্ক স্থাপন করে।

৪. বার্ট ও জিপিটি থেকে সর্বজনীন ফাউন্ডেশন মডেল

পরবর্তী বছরগুলোতে ট্রান্সফরমার মূলত তিনটি ধারায় বিকশিত হয়:

- **এনকোডার-অনলি (BERT, RoBERTa):** মাস্কড ল্যাঙ্গুয়েজ মডেলিংয়ের মাধ্যমে বাক্যের উভয় দিক থেকে অর্থ বের করতে পারদর্শী, যা ক্লাসিফিকেশন ও সার্চের ভিত্তি গড়ে তোলে।
- **এনকোডার-ডিকোডার (T5, BART):** মূল ট্রান্সফরমারের মতো অনুবাদের মতো জটিল সিকোয়েন্স-টু-সিকোয়েন্স রূপান্তরের জন্য ব্যবহৃত হয়।
- **ডিকোডার-অনলি (GPT সিরিজ):** কজাল মাস্কিংয়ের মাধ্যমে পরবর্তী শব্দ অনুমানের কৌশল গ্রহণ করে, যা আধুনিক জেনারেটিভ এআই বিপ্লবের চালিকাশক্তি হয়ে ওঠে।

২০২০ সালের মধ্যে ভিশন ট্রান্সফরমার (ViT) ইমেজ প্রসেসিংয়ে, আলফাফোল্ড ২ আণবিক জীববিজ্ঞানে এবং হুইস্পার ভয়েস রিকগনিশনে ট্রান্সফরমার সফলভাবে প্রয়োগ করে প্রমাণ করে যে এটি সমকালীন কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার সার্বজনীন স্থাপত্যিক ভিত্তি।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "অ্যাটেনশন ইজ অল ইউ নিড ও ট্রান্সফরমারের আধিপত্য"। কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার ইতিহাস, খণ্ড ১৭। https://shakilmahmud.com/bn/the-epic-history-of-artificial-intelligence-part-17-attention-is-all-you-need-transformer-hegemony-bn/

Shakil Mahmud • Research Monograph

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • অষ্টাদশ খণ্ড

ফাউন্ডেশন মডেল ও স্কেলিং সূত্র

ফাউন্ডেশন মডেল ও স্কেলিং সূত্র

459 শব্দ • November 4, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ১৮: *নিউরাল স্কেলিং সূত্র: কাপলান ও চিনচিলা পাওয়ার-ল সীমান্ত এবং জিপিটি-৩ তে ইন-কনটেক্সট ফিউ-শট প্রম্পটিংয়ের আত্মপ্রকাশ।*

২০২০ থেকে ২০২২ সালের মধ্যে কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তা একটি পরীক্ষামূলক কারিগরি বিদ্যা থেকে গণনামূলক পদার্থবিদ্যার (computational physics) মতো সুনির্দিষ্ট নিয়মে পরিচালিত এক বিজ্ঞানে রূপান্তরিত হয়। নিউরাল স্কেলিং ল (Scaling Laws)-এর আবিষ্কার গবেষকদের দেখিয়ে দেয় যে মডেলের পারফরম্যান্স ও যৌক্তিক চিন্তা কোনো আকস্মিক যোগাযোগ নয়, বরং কম্পিউট শক্তি, প্যারামিটার সংখ্যা এবং ডেটাসেট আকারের একটি সুনির্দিষ্ট পাওয়ার-ল (Power-law) গাণিতিক ফাংশন।

১. কাপলান স্কেলিং ল (২০২০) ও পাওয়ার-ল ফ্রন্টিয়ার

২০২০ সালে ওপেনএআই-এর গবেষক জ্যারেড কাপলান ও তাঁর সহকর্মীরা প্রকাশ করেন *"Scaling Laws for Neural Language Models"*। তাঁরা দেখান যে অটোরিগ্রেসিভ ল্যাঙ্গুয়েজ মডেলের ক্রস-এনট্রপি টেস্ট লস (L) কম্পিউট (C), ডেটা ভলিউম (D) এবং প্যারামিটার সংখ্যা (N)-এর সাথে সুনির্দিষ্ট সূচকে হ্রাস পায়:

$$L(N) = left(frac N_c N right)^{alpha_N}, quad L(D) = left(frac D_c D right)^{alpha_D}, quad L(C) = left(frac C_c C right)^{alpha_C}$$

সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ আবিষ্কার ছিল এই যে, এই স্কেলিং সম্পর্ক কয়েক ডজন ক্রম ধরে কোনো স্থবিরতা ছাড়াই অব্যাহত থাকে। কাপলানের প্রাথমিক সূত্রে বলা হয়েছিল নির্দিষ্ট কম্পিউট বাজেট $C approx 6ND$-তে মডেলের প্যারামিটার বৃদ্ধি করা ($N propto C^{0.73}$) ডেটা বৃদ্ধির ($D propto C^{0.27}$) চেয়ে বেশি কার্যকর। এই ধারণার উপর ভিত্তি করেই তৈরি হয়েছিল ১৭৫ বিলিয়ন প্যারামিটারের বিশালাকার জিপিটি-৩ (GPT-3)।

২. চিনচিলা সংশোধন: সর্বোত্তম কম্পিউট বণ্টন

২০২২ সালের মার্চ মাসে ডিপমাইন্ডের জর্ডান হফম্যান ও তাঁর দল প্রকাশ করেন *"Training Compute-Optimal Large Language Models"* (যার মাধ্যমে ৭০ বিলিয়ন প্যারামিটারের চিনচিলা মডেল তৈরি হয়)। ডিপমাইন্ড প্রমাণ করে যে কাপলানের পরীক্ষায় লার্নিং রেট শিডিউলিংয়ের ত্রুটির কারণে ডেটাসেটের গুরুত্বকে অবমূল্যায়ন করা হয়েছিল।

প্যারামিটার ও টোকেনের সম্মিলিত লস সমীকরণ বিশ্লেষণ করে:

$$L(N, D) = E + frac{A}{N^{a}lpha} + frac{B}{D^{b}eta}$$

ডিপমাইন্ড দেখায় যে $alphaapprox0.34$ এবং $betaapprox0.28$, যার অর্থ প্যারামিটার ও ডেটা টোকেন সমানুপাতিক হারে (১:১ অনুপাতে) বৃদ্ধি করা উচিত:

$$NproptoC^{0.50}, quad DproptoC^{0.50}$$

অর্থাৎ মডেলের প্রতিটি প্যারামিটারের জন্য প্রায় ২০টি টোকেন ডেটা প্রয়োজন ($Dapprox20N$)। দেখা গেল জিপিটি-৩ (১৭৫ বিলিয়ন প্যারামিটার, কিন্তু মাত্র ৩০০ বিলিয়ন টোকেন) মারাত্মকভাবে অপূর্ণ-প্রশিক্ষিত ছিল। চিনচিলা মাত্র ৭০ বিলিয়ন প্যারামিটার নিয়ে ১.৪ ট্রিলিয়ন টোকেনে প্রশিক্ষিত হয়ে জিপিটি-৩-কে বিপুল ব্যবধানে পরাজিত করে।

৩. ইন-কনটেক্সট লার্নিং-এর বিস্ময়

স্কেলিংয়ের সবচেয়ে বৈপ্লবিক ফল ছিল **ইন-কনটেক্সট লার্নিং**। জিপিটি-৩-এর পূর্বে যেকোনো নতুন কাজের জন্য মডেলের ওজন আপডেট করে ফাইন-টিউনিং করতে হতো।

কিন্তু ১৭৫ বিলিয়ন প্যারামিটারে পৌঁছানোর পর জিপিটি-৩ কোনো ব্যাকপ্রোপাগেশন বা প্যারামিটার পরিবর্তন ছাড়াই কেবল প্রম্পটের ভেতরে কয়েকটি উদাহরণ দেখে নতুন কাজ সম্পাদন করতে সক্ষম হয়:

$$theta^{*} = theta, quad haty = argmax_{y} P_{t}heta(ymidx_{textprompt}, x_{textcontext})$$

মডেলটি তার ইন্টারনাল সেলফ-অ্যাটেনশন অ্যাক্টিভেশনের মাধ্যমে একটি ভার্চুয়াল লার্নিং অ্যালগরিদম কার্যকর করে। এখান থেকেই জন্ম নেয় **ফাউন্ডেশন মডেল (Foundation Model)** ধারণা—ইন্টারনেট স্কেলের বিপুল ডেটায় স্ব-তত্ত্বাবধানে প্রশিক্ষিত একক মডেল, যা অসংখ্য বিচিত্র কাজের সর্বজনীন ভিত্তি হিসেবে কাজ করে।

৪. ইমার্জেন্ট ক্যাপাবিলিটি ও কৃত্রিম বোধশক্তি

মডেল যখন নির্দিষ্ট কম্পিউট সীমা অতিক্রম করে (>10^{22} FLOPs), তখন হঠাৎ করেই কিছু অপ্রত্যাশিত সক্ষমতার জন্ম হয়: জটিল বহু-ধাপ বিশিষ্ট গাণিতিক যুক্তি, কোড জেনারেশন, এবং মনস্তাত্ত্বিক যুক্তি। কম্পিউট এবং ডেটার সুশৃঙ্খল স্কেলিং কেবল বাক্য সম্পূর্ণ করার যান্ত্রিক কৌশলকে এক বিস্ময়কর অনুধাবন ক্ষমতায় রূপান্তর করে।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "ফাউন্ডেশন মডেল ও স্কেলিং সূত্র"। কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার ইতিহাস, খণ্ড ১৮। https://shakilmahmud.com/bn/the-epic-history-of-artificial-intelligence-part-18-foundation-models-scaling-laws-bn/

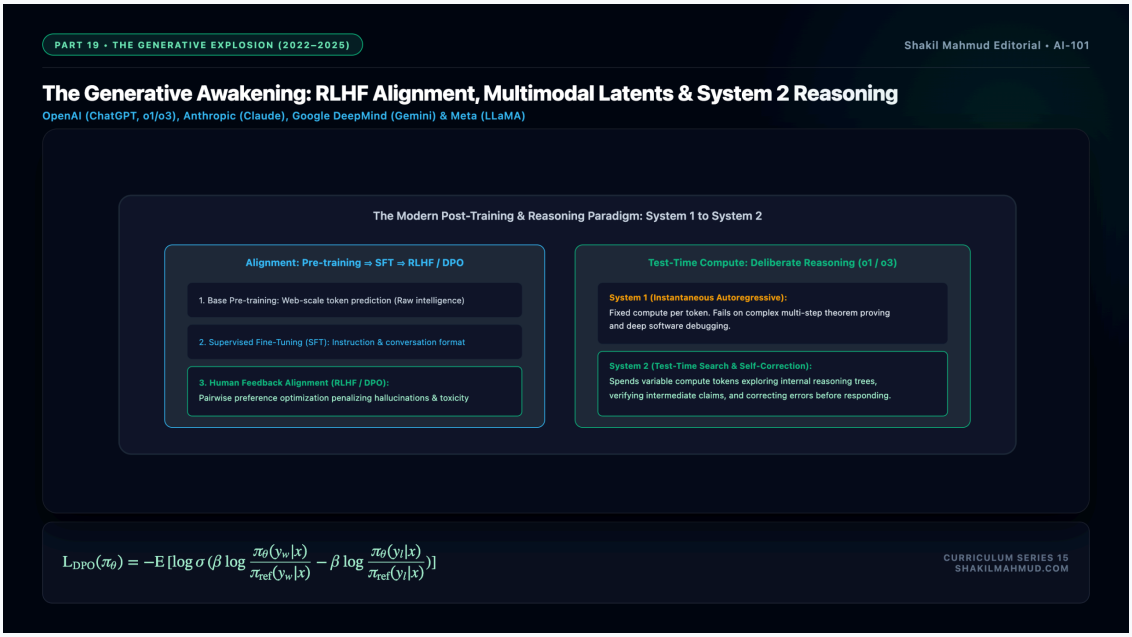
Shakil Mahmud • Research Monograph

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • ঊনবিংশ খণ্ড

জেনারেটিভ বিস্ফোরণ, আরএলএইচএফ ও সিস্টেম-২ রিজনিং

জেনারেটিভ বিস্ফোরণ, আরএলএইচএফ ও সিস্টেম-২ রিজনিং

419 শব্দ • November 4, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ১৯: *আধুনিক জেনারেটিভ এআই বিপ্লব: আরএলএইচএফ ও ডিপিও অ্যালাইনমেন্ট থেকে সিস্টেম-২ টেস্ট-টাইম রিজনিং সার্চের রূপরেখা।*

২০২২ সালের শেষ নাগাদ প্রাক-প্রশিক্ষিত ফাউন্ডেশন মডেলগুলো মানুষের যেকোনো টেক্সট বা চিত্র অবিশ্বাস্য নিখুঁতভাবে অনুকরণ করতে পারছিল। তবে এই রিলিজ-পূর্ব মডেলগুলো প্রায়শই মিথ্যা তথ্য উদ্ভাবন (hallucination), বিষাক্ত ভাষা বা প্ররোচনামূলক উত্তরে পথভ্রষ্ট হতো। এই কাঁচা বুদ্ধিমত্তাকে জনকল্যাণমুখী, নির্ভরযোগ্য এবং সুশৃঙ্খল চিন্তাশীল সংলাপে রূপান্তর করার প্রক্রিয়াই হলো **অ্যালাইনমেন্ট (Alignment)**, যা বিশ্বজুড়ে ঐতিহাসিক জেনারেটিভ এআই বিপ্লবের বিস্ফোরণ ঘটায়।

১. বুদ্ধিমত্তাকে সুশৃঙ্খল করা: আরএলএইচএফ (RLHF)

একটি এলোমেলো পরবর্তী-শব্দ অনুমানকারী ইঞ্জিনকে অনুগত ও সহায়ক অ্যাসিস্ট্যান্টে রূপান্তর করতে ব্যবহৃত হয় **আরএলএইচএফ (RLHF)** পদ্ধতি। এর তিনটি প্রধান ধাপ রয়েছে:

1. **সুপারভাইজড ফাইন-টিউনিং (SFT):** উচ্চমানের মানবিক কথোপকথনের ডেটাসেটে মডেলটিকে প্রাথমিক শিষ্টাচার ও বিন্যাস শেখানো।
2. **রিওয়ার্ড মডেল প্রশিক্ষণ:** ব্র্যাডলি-টেরি প্রেফারেন্স মডেল ব্যবহার করে মানুষের পছন্দ ও রেটিংয়ের ওপর ভিত্তি করে একটি স্কোরিং ফাংশন $r_phi(x, y)$ তৈরি করা:

$$P(y_1 succ y_2 mid x) = sigma(r_phi(x, y_1) – r_phi(x, y_2))$$

3. **পিপিও অপ্টিমাইজেশন:** প্রক্সিমাল পলিসি অপ্টিমাইজেশনের মাধ্যমে মডেলটিকে সর্বোচ্চ রিওয়ার্ড অর্জনে উৎসাহিত করা, সাথে কুলব্যাক-লেইবলার (KL) ডাইভারজেন্স পেনাল্টির মাধ্যমে মূল মডেল থেকে অতিরিক্ত বিচ্যুত হওয়া ঠেকানো:

$$max_theta mathbb{E}_{(x, y) sim mathcal{D}}left[r_phi(x, y)right] – beta D_{KL}left(pi_theta(y mid x) parallel pi_{text{ref}}(y mid x)right)$$

এই কেএল ডাইভারজেন্স পেনাল্টি মডেলকে রিওয়ার্ড মডেলের ত্রুটির অপব্যবহার করা থেকে বিরত রাখে। ২০২২ সালের নভেম্বরে এই প্রযুক্তিতে তৈরি চ্যাটজিপিটি (ChatGPT) গোটা বিশ্বকে প্রযুক্তিগত বিপ্লবের মুখোমুখি করে।

২. ডিরেক্ট প্রেফারেন্স অপ্টিমাইজেশন (DPO)

পিপিও শক্তিশালী হলেও জিপিইউ মেমরিতে একই সাথে একাধিক মডেল পরিচালনা করা অত্যন্ত জটিল ও অস্থিতিশীল ছিল। ২০২৩ সালে রাফাইলভ প্রমুখ উদ্ভাবন করেন **ডিরেক্ট প্রেফারেন্স অপ্টিমাইজেশন (DPO)**। তাঁরা প্রমাণ করেন যে রিওয়ার্ড মডেল ছাড়াই সরাসরি মূল মডেলের সম্ভাব্যতার তুলনা করে একটি সহজ বাইনারি ক্রস-এনট্রপি লসের মাধ্যমে অপ্টিমাইজেশন সম্ভব:

mathcal{L}_{text{DPO}}(theta; pi_{text{ref}}) = -mathbb{E}_{(x, y_w, y_l)}left[log sigmaleft(beta log frac{pi_theta(y_w mid x)}{pi_{text{ref}}(y_w mid x)} – beta log frac{pi_theta(y_l mid x)}{pi_{text{ref}}(y_l mid x)}right)right]

ডিপিও ওপেন-সোর্স কমিউনিটিতে এলএলএম অ্যালাইনমেন্টকে কয়েক গুণ দ্রুত, স্থিতিশীল ও সহজলভ্য করে তোলে।

৩. ডিফিউশন মডেল ও চাক্ষুষ সৃজনশীল বিপ্লব

ভাষার সমান্তরালে দৃশ্যমান চিত্র তৈরিতে আসে **ডিফিউশন মডেল (Diffusion Models)**। গ্যানের (GAN) প্রতিদ্বন্দ্বিতামূলক প্রশিক্ষণ বাদ দিয়ে এটি তাপগতিবিদ্যার স্টোকাস্টিক ডিফারেনশিয়াল সমীকরণের ধারণায় কাজ করে। বিশুদ্ধ গাউসিয়ান নয়েজ থেকে ধাপে ধাপে নয়েজ বিয়োগ করে তৈরি হয় মিডজার্নি, স্টেবল ডিফিউশন বা ফ্ল্যাক্সের মতো বিস্ময়কর ফটোরিয়ালিস্টিক শিল্পকর্ম।

৪. সিস্টেম-১ বনাম সিস্টেম-২ রিজনিং ও টেস্ট-টাইম কম্পিউট

সাধারণ এলএলএম ড্যানিয়েল কানেম্যানের *সিস্টেম-১* চিন্তার মতো কাজ করে—তাৎক্ষণিক ও অপরিবর্তনীয় গতিতে প্রতিটি টোকেন তৈরি করে। ফলে জটিল গণিত বা লজিকে এটি প্রায়ই ভুল করে।

এই সীমাবদ্ধতা ভাঙতে আসে **চেইন-অব-থট (Chain-of-Thought)** এবং টেস্ট-টাইম সার্চ। সিদ্ধান্ত গ্রহণের সময় অতিরিক্ত কম্পিউট ব্যয় করে মডেলটি আত্ম-পর্যালোচনা, ব্যাকট্র্যাকিং এবং ট্রি সার্চের মাধ্যমে চিন্তাভাবনা সম্পন্ন করে। ওপেনএআই-এর o1 ও o3 মডেলের মাধ্যমে এআই প্রবেশ করেছে **সিস্টেম-২ সুচিন্তিত যুক্তিবাদ**-এর যুগে, যা আন্তর্জাতিক অলিম্পিয়াড পর্যায়ের গণিত ও বৈজ্ঞানিক সমস্যা সমাধানে মানুষের সমকক্ষ হয়ে উঠেছে।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "জেনারেটিভ বিস্ফোরণ, আরএলএইচএফ ও সিস্টেম-২ রিজনিং"। কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার ইতিহাস, খণ্ড ১৯। https://shakilmahmud.com/bn/the-epic-history-of-artificial-intelligence-part-19-generative-explosion-rlhf-system-2-reasoning-bn/

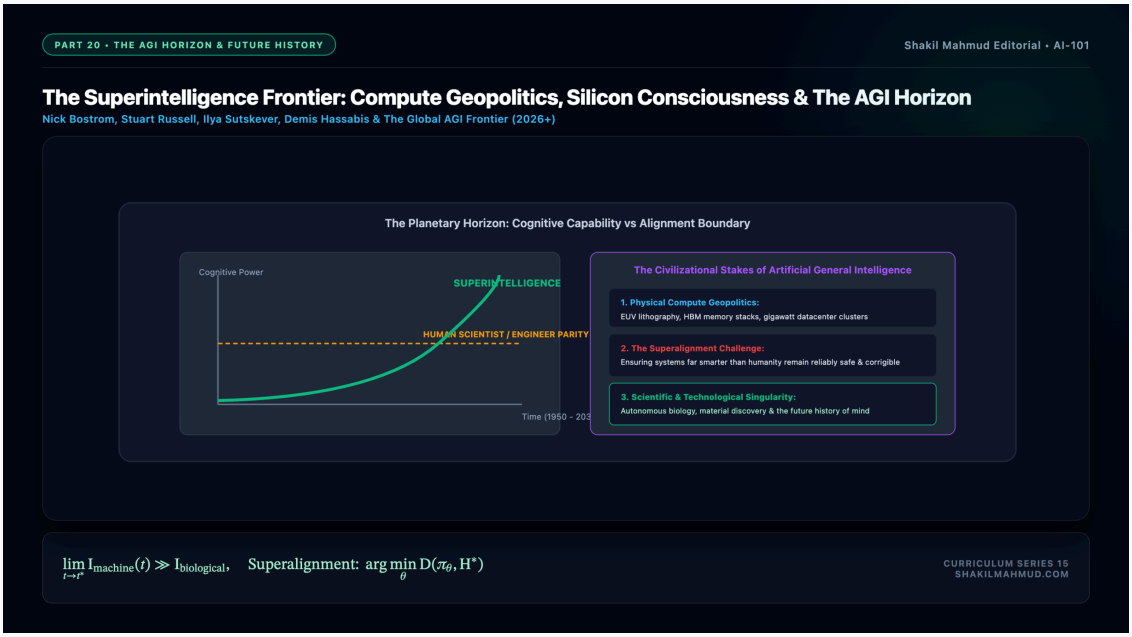
Shakil Mahmud • Research Monograph

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • বিংশ খণ্ড

এজিআই দিগন্ত ও সুপারইন্টেলিজেন্সের ভবিষ্যৎ

এজিআই দিগন্ত ও সুপারইন্টেলিজেন্সের ভবিষ্যৎ

471 শব্দ • November 4, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ২০: *কৃত্রিম সাধারণ বুদ্ধিমত্তা (AGI) দিগন্ত: সূচকীয় সক্ষমতা বৃদ্ধি, সেমিকন্ডাক্টর কম্পিউট অবকাঠামো এবং সুপারঅ্যালাইনমেন্টের চ্যালেঞ্জ।*

১৯৫০ সালে অ্যালান টুরিংয়ের বিখ্যাত অনুকরণ পরীক্ষা (Turing Test) থেকে শুরু করে বিশ শতকের মাঝামাঝি ট্রিলিয়ন প্যারামিটারের ক্লাউড নেটওয়ার্ক—কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তা তাত্ত্বিক দর্শন থেকে আজ মানব সভ্যতার সবচেয়ে রূপান্তরকারী কেন্দ্রীয় ইঞ্জিনে পরিণত হয়েছে। আজ আমরা দাঁড়িয়ে আছি মানব ইতিহাসের সবচেয়ে মহাকাব্যিক সন্ধিক্ষণে: নির্দিষ্ট ডোমেইনের সংকীর্ণ বুদ্ধিমত্তা অতিক্রম করে **আর্টিফিশিয়াল জেনারেল ইন্টেলিজেন্স (AGI)** এবং ভবিষ্যতে স্ব-উন্নয়নশীল কৃত্রিম অতি-বুদ্ধিমত্তা (Superintelligence)-এর উন্মেষের মুখোমুখি।

১. এজিআই-এর প্রযুক্তিগত সংজ্ঞা: সার্বজনীনতা, স্বায়ত্তশাসন ও মৌলিক আবিষ্কার

অতীতে এজিআই-এর সংজ্ঞা দার্শনিক বিতর্ক এবং চেতনার গোলকধাঁধায় আটকে ছিল। তবে সমকালীন গবেষণায় এজিআই-কে একটি পরিমাপযোগ্য প্রযুক্তিগত মানদণ্ডে সংজ্ঞায়িত করা হয়:

- **বিস্তৃত ডোমেইন অভিযোজন:** গণিত, সফটওয়্যার ইঞ্জিনিয়ারিং, সাহিত্য, কূটনীতি এবং আণবিক বিজ্ঞানের মতো বিচিত্র ক্ষেত্রে মানুষের সমকক্ষ বা শ্রেষ্ঠ গতিতে দক্ষতা অর্জন ও প্রয়োগের ক্ষমতা।
- **দীর্ঘমেয়াদী স্বায়ত্তশাসন:** কোনো মানুষের সার্বক্ষণিক হস্তক্ষেপ ছাড়াই বহু সপ্তাহব্যাপী জটিল লক্ষ্য নির্ধারণ, ভুল সংশোধন এবং সফল বাস্তবায়নের ক্ষমতা।
- **জ্ঞানতাত্ত্বিক মৌলিক আবিষ্কার:** কেবল ইন্টারনেটের পুরোনো ডেটা জোড়াতালি না দিয়ে মৌলিক বৈজ্ঞানিক সূত্র আবিষ্কার, নতুন গাণিতিক উপপাদ্য প্রমাণ এবং অভিনব প্রযুক্তি উদ্ভাবনের ক্ষমতা।

২. এজেন্ট আর্কিটেকচার: অনুমানের সীমানা ছাড়িয়ে নির্বাহী সত্ত্বা

কেবল টেক্সট অনুমানের সীমাবদ্ধতা কাটিয়ে আধুনিক এআই আজ রূপান্তরিত হচ্ছে স্বায়ত্তশাসিত এজেন্টে:

$$textAgent = langle mathcal{M}_{textLLM}, mathcal{E}_{textEnvironment}, mathcal{T}_{textTools}, mathcal{M}_{textMemory}, mathcal{P}_{textPlanner} rangle$$

বাহ্যিক টুল ব্যবহারের ক্ষমতা (কম্পাইলার, সার্চ ইঞ্জিন, রোবোটিক ল্যাব), দীর্ঘমেয়াদী স্মৃতি, এবং আত্ম-পর্যালোচনার মাধ্যমে এজেন্টরা আজ শুধু পরামর্শক নয়, বরং স্বয়ংক্রিয়ভাবে কোড লেখা, পরীক্ষা করা এবং বৈজ্ঞানিক গবেষণা পরিচালনার পূর্ণ দায়িত্ব পালন করছে।

৩. অ্যালাইনমেন্ট চ্যালেঞ্জ ও ইন্সট্রুমেন্টাল কনভার্জেন্স

সিস্টেম যত বেশি ক্ষমতাবান হচ্ছে, গবেষণার কেন্দ্রবিন্দু ক্ষমতা বৃদ্ধি থেকে সরে এসে কেন্দ্রীভূত হচ্ছে **এআই নিরাপত্তা ও অ্যালাইনমেন্ট**-এর ওপর। নিক বোস্ট্রম ও স্টুয়ার্ট রাসেলের মতো দার্শনিকরা দেখিয়েছেন যে বুদ্ধিমত্তা এবং লক্ষ্য সম্পূর্ণ স্বাধীন (The Orthogonality Thesis)।

তদুপরি, লক্ষ্য যা-ই হোক না কেন, যেকোনো বুদ্ধিমান সিস্টেম সহজাতভাবে **ইন্সট্রুমেন্টাল কনভার্জেন্স** প্রদর্শন করে—যেমন আত্মরক্ষা করা, নিজের লক্ষ্য পরিবর্তনের হাত থেকে রক্ষা করা, এবং আরও বেশি গণনাক্ষমতা ও শক্তির উৎস দখল করা, কারণ এগুলো তার মূল লক্ষ্য অর্জনের সম্ভাবনাকে বহুগুণ বাড়িয়ে দেয়।

এই কারণে কেবলমাত্র সুপারফিশিয়াল আরএলএইচএফ যথেষ্ট নয়, প্রয়োজন গভীর প্রযুক্তিগত সমাধান:

- **মেকানিস্টিক ইন্টারপ্রেটেবিলিটি:** স্পার্স অটোএনকোডার ব্যবহার করে কৃত্রিম নিউরাল নেটওয়ার্কের অভ্যন্তরীণ নিউরন ও সার্কিট সরাসরি ডিকোড করে পড়া, যাতে মডেল ভেতর থেকে কোনো প্রতারণা বা মিথ্যা পরিকল্পনা করছে কি না তা স্পষ্ট বোঝা যায়।
- **স্কেলেবল ওভারসাইট ও ডিবেট:** মানুষের বোঝার সীমার বাইরের জটিল সিদ্ধান্তগুলো একাধিক এআই-এর বিতর্ক ও আনুষ্ঠানিক গাণিতিক প্রমাণের মাধ্যমে নিরীক্ষণ করা।
- **করিজিবিলিটি:** ইউটিলিটি ফাংশনে এমন শর্ত যুক্ত করা যাতে সিস্টেম আনন্দের সাথে মানুষের যেকোনো সংশোধন, পরিবর্তন বা শাটডাউন সংকেত মেনে নেয়।

৪. স্ব-উন্নয়নশীল বুদ্ধিমত্তা ও মহাকাব্যিক রূপান্তর

কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার ইতিহাসের চূড়ান্ত অধ্যায় রচিত হবে যখন একটি কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তা নিজেই পরবর্তী প্রজন্মের অধিকতর উন্নত কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তা ডিজাইন ও অপ্টিমাইজ করার যোগ্যতা অর্জন করবে। ১৯৬৫ সালে গণিতবিদ আই. জে. গুড একে বলেছিলেন ‘বুদ্ধিমত্তার মহাবিস্ফোরণ’ (Intelligence Explosion)।

কম্পিউট ক্লাস্টারগুলো যখন গিগাওয়াট স্কেলের দিকে এগিয়ে যাচ্ছে এবং অ্যালগরিদমগুলো যখন তাদের নিজেদের আর্কিটেকচার পুনরায় লিখছে, তখন কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার গল্প কেবল কম্পিউটার বিজ্ঞানের একটি অধ্যায় থাকে না। এটি পরিণত হয় জীবজগতের বিবর্তনের সবচেয়ে রূপান্তরকারী মুহূর্তে—একটি জৈবিক প্রজাতি কর্তৃক মহাবিশ্বে সচেতন পোস্ট-বায়োলজিক্যাল বুদ্ধিমত্তার জন্মদান।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "এজিআই দিগন্ত ও সুপারইন্টেলিজেন্সের ভবিষ্যৎ"। কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তার ইতিহাস, খণ্ড ২০। https://shakilmahmud.com/bn/the-epic-history-of-artificial-intelligence-part-20-agi-horizon-future-history-of-superintelligence-bn/

Shakil Mahmud • Research Monograph

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.

McCulloch, Warren S., & Pitts, Walter (1943). *A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity.* Bulletin of Mathematical Biophysics, 5(4): 115–133.

Rosenblatt, Frank (1958). *The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain.* Psychological Review, 65(6): 386–408.

Minsky, Marvin, & Papert, Seymour (1969). *Perceptrons: An Introduction to Computational Geometry.* MIT Press, Cambridge, MA.

Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., & Williams, R. J. (1986). *Learning representations by back-propagating errors.* Nature, 323(6088): 533–536.

LeCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., & Haffner, P. (1998). *Gradient-based learning applied to document recognition.* Proceedings of the IEEE, 86(11): 2278–2324.

Vapnik, Vladimir N. (1995). *The Nature of Statistical Learning Theory.* Springer-Verlag, New York.

Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). *ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks.* Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS 25): 1097–1105.

Silver, D., Huang, A., Maddison, C. J., et al. (2016). *Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search.* Nature, 529(7587): 484–489.

Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., et al. (2017). *Attention Is All You Need.* Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS 30): 5998–6008.

Brown, T. B., Mann, B., Ryder, N., et al. (2020). *Language Models are Few-Shot Learners.* Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS 33): 1877–1901.

Hoffmann, J., Borgeaud, S., Mensch, A., et al. (2022). *Training Compute-Optimal Large Language Models.* arXiv:2203.15556 [cs.CL].

Bostrom, Nick (2014). *Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies.* Oxford University Press, Oxford.

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