



Politechnika
Wroclawska

Algorytmy sztucznej inteligencji w Przemysle 4.0

Wstep do sztucznej inteligencji

Dr inż. Radoslaw Idzikowski



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Czym jest sztuczna inteligencja?

Sztuczna inteligencja (AI) to dziedzina informatyki zajmująca się tworzeniem systemów, które mogą wykonywać zadania zwykle wymagające ludzkiej inteligencji. W ciągu lat badacze opracowali różne definicje **AI**. Jedni skupiali się na tym, aby **AI** działała tak jak człowiek, podczas gdy inni woleli definiować inteligencję poprzez racjonalność, czyli podejmowanie logicznych, optymalnych decyzji (czyli „robienie tego, co należy”). W obu przypadkach **AI** może być rozumiana zarówno jako procesy myślowe (wewnętrzne), jak i zachowania (zewnętrzne).



Definicja

Thinking Humanly <i>"The exciting new effort to make computers think ... machines with minds, in the full and literal sense." (Haugeland, 1985)</i> <i>"[The automation of] activities that we associate with human thinking, activities such as decision-making, problem solving, learning ..." (Bellman, 1978)</i>	Thinking Rationally <i>"The study of mental faculties through the use of computational models." (Charniak and McDermott, 1985)</i> <i>"The study of the computations that make it possible to perceive, reason, and act." (Winston, 1992)</i>
Acting Humanly <i>"The art of creating machines that perform functions that require intelligence when performed by people." (Kurzweil, 1990)</i> <i>"The study of how to make computers do things at which, at the moment, people are better." (Rich and Knight, 1991)</i>	Acting Rationally <i>"Computational Intelligence is the study of the design of intelligent agents." (Poole et al., 1998)</i> <i>"AI ... is concerned with intelligent behavior in artifacts." (Nilsson, 1998)</i>

Różne definicje sztucznej inteligencji, zorganizowane w cztery kategorie.¹

¹Sztuczna inteligencja. Nowe spojrzenie. Wydanie IV. Tom 1

Acting humanly – działanie jak człowiek

Test Turinga

zapropnowany przez **Alana Turinga** (1950), miał na celu dostarczenie satysfakcjonującej definicji operacyjnej inteligencji.



W celu zdania testu, komputer musiałby posiadać następujące zdolności:

- ▶ **przetwarzanie języka naturalnego,**
- ▶ **przechowywanie wiedzy,**
- ▶ **automatycznie wnioskowanie,**
- ▶ **uczenie maszynowe,** pozwalające na dostosowanie się do nowych okoliczności oraz wykrywania wzorców.



Thinking humanly – myślenie jak człowiek

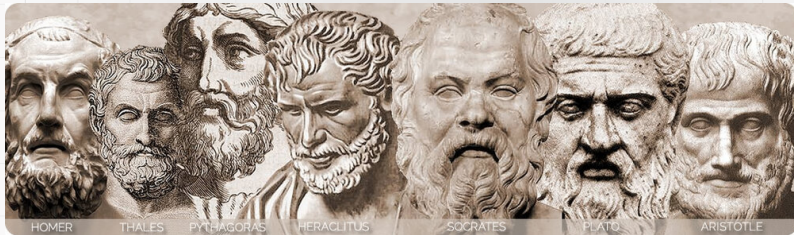
W celu stwierdzenia, że program myśli jak człowiek, to w pierwszej kolejności musimy określić oraz zrozumieć jego sposób myślenia. Zgłębienie ludzkiego umysłu jest możliwe poprzez:

- ▶ **introspekcję,**
- ▶ **eksperymenty psychologiczne,**
- ▶ **obrazowanie mózgu.**

Fundamentem kognitywistyki jest badanie poprzez eksperymenty zarówno zachowania ludzi jak i zwierząt.



Thinking rationally – racjonalne myślenie



Logika

Już w **starożytnej Grecji** próbowano określić prawa naturalnego myślenia, która miały za zadanie regulować działanie ludzkiego umysłu. Zaproponowane przez **Arystotelesa sylogizmy** określały schematy wnioskowania.

“Socrates is a man; all men are mortal; therefore, Socrates is mortal.”



Acting rationally – racjonalne działanie

Agent to system, który wykonuje działania autonomicznie. **Racjonalny agent** to taki, który dąży do osiągnięcia najlepszego możliwego wyniku na podstawie dostępnych informacji. **Agent** ten powinien samodzielnie dostosowywać się do zmian, uczyć się na błędach i podejmować decyzje w niepewnych warunkach.

Przewaga podejścia racjonalnego nad innymi polega na tym, że nie wymaga ono naśladowania człowieka, a zamiast tego opiera się na matematycznie dobrze zdefiniowanych zasadach racjonalności. Dzięki temu można tworzyć systemy, które potrafią podejmować optymalne decyzje, nawet jeśli muszą działać w złożonych i zmieniających się środowiskach.

Wyzwania w AI

Jednym z głównych problemów w rozwoju **AI** jest problem zgodności wartości. Polega on na tym, że trudne jest idealne sformułowanie celów, które powinny zostać osiągnięte przez **AI**, w taki sposób, aby były one zgodne z ludzkimi wartościami.

Przykład

W przypadku autonomicznego samochodu celem jest bezpieczne dotarcie do celu. Jeśli jednak priorytetem byłoby wyłącznie bezpieczeństwo, samochód mógłby nigdy nie opuścić garażu, aby uniknąć jakiegokolwiek ryzyka. Dlatego **AI** musi być w stanie zbalansować różne cele, takie jak bezpieczeństwo i efektywność, jednocześnie dbając o komfort pasażerów i zasady społeczne, np. nie denerwowanie innych kierowców.

Z tego powodu kluczowe jest, aby **AI** nie tylko realizowała swoje cele, ale także potrafiła uczyć się naszych preferencji i dostosowywać swoje działania w taki sposób, aby były korzystne dla ludzi.



Podstawy sztucznej inteligencji

Filozofia

- ▶ **Arystoteles** (384–322 p.n.e.) opracował formalne prawa rozumowania, znane jako **sylogizmy**, które pozwalały na wyciąganie poprawnych wniosków.
- ▶ **Ramon Llull** (1232–1315) stworzył system logicznego wnioskowania zwany **Ars Magna** („Wielka Sztuka”).
- ▶ W XVII wieku **René Descartes** oddzielił umysł od materii, promując **dualizm** – koncepcję, że ludzki umysł nie podlega prawom fizyki, w przeciwieństwie do zwierząt, które postrzegał jako maszyny. Alternatywą był **materializm**, który głosił, że działanie mózgu zgodnie z prawami fizyki tworzy umysł.
- ▶ **Empiryzm** postulował, że wszelka wiedza pochodzi z doświadczenia zmysłowego. John Locke podsumował to stwierdzeniem: „Nic nie jest w umyśle, czego wcześniej nie było w zmysłach”.

Ruch ten prowadził do rozwoju indukcji, zasady, że ogólne reguły są uzyskiwane przez wielokrotne skojarzenia między elementami.



Podstawy sztucznej inteligencji

Matematyka

Matematyka była kluczowa w formalizacji logiki, prawdopodobieństwa oraz teorii obliczeń, co umożliwiło powstanie AI jako dyscypliny naukowej:

- ▶ Formalna logika wywodzi się z prac **George'a Boole'a** i **Gottloba Fregego**. **Frege** rozszerzył **logikę Boole'a**, tworząc logikę pierwszego rzędu.
- ▶ **Kurt Gödel** wykazał, że niektóre prawdy matematyczne nie mogą być dowiedzione, co miało fundamentalne znaczenie dla teorii obliczeń.
- ▶ **Alan Turing** rozwinął koncepcję **maszyn Turinga**, co pozwoliło zdefiniować, które problemy są rozwiązywalne przez algorytmy.
- ▶ **Teoria prawdopodobieństwa**, rozwinięta przez **Blaise'a Pascala** i **Pierre'a Fermata**, stała się kluczowa w sytuacjach, gdzie dostępne informacje są niepewne. W XX wieku **Thomas Bayes** opracował regułę, która pozwala aktualizować prawdopodobieństwa na podstawie nowych dowodów.



Ekonomia dostarczyła AI narzędzi do podejmowania racjonalnych decyzji:

- ▶ **Daniel Bernoulli** wprowadził pojęcie użyteczności, co pozwala na analizę decyzji opartych na subiektywnych wartościach.
- ▶ **Léon Walras** zbudował teorie, które uwzględniały preferencje między różnymi wynikami, co później znalazło zastosowanie w teorii decyzji.
- ▶ **Teoria gier** opracowana przez **Johna von Neumanna** i **Oskara Morgensterna** wprowadziła pojęcie **strategii optymalnych** w grach, co znalazło zastosowanie w **AI**, szczególnie w systemach wieloagentowych, gdzie różne podmioty wpływają na swoje wyniki.



Badania nad funkcjonowaniem mózgu dostarczyły **AI** inspiracji do tworzenia modeli przetwarzania informacji:

- ▶ **Paul Broca** w 1861 roku odkrył obszar mózgu odpowiedzialny za produkcję mowy, co zapoczątkowało badania nad organizacją funkcjonalną mózgu.
- ▶ **Neurony**, odkryte dzięki technice barwienia **Camillo Golgiego** i badaniom **Santiago Ramón y Cajala**, są podstawowymi jednostkami funkcjonalnymi mózgu. Sygnały między neuronami tworzą **wzorce aktywności**, co zainspirowało rozwój **sztucznych sieci neuronowych**.
- ▶ Współczesne techniki, takie jak **elektroencefalografia (EEG)** i funkcjonalny **rezonans magnetyczny (fMRI)**, umożliwiają dokładne mapowanie aktywności mózgu, co wspiera rozwój **AI** w zakresie przetwarzania i analizy informacji.



Psychologia odegrała istotną rolę w zrozumieniu, jak myślą i działają ludzie oraz zwierzęta:

- ▶ **Behawioryzm**, prowadzony przez **Johna Watsona**, skupiał się na badaniu zewnętrznych zachowań organizmów, odrzucając teorię procesów myślowych jako niewiarygodnych.
- ▶ Psychologia poznawcza wprowadziła pojęcie umysłu jako urządzenia przetwarzającego informacje. **Frederic Bartlett** oraz jego uczeń **Kenneth Craik** zasugerowali, że umysł tworzy wewnętrzne modele rzeczywistości, które pozwalają na lepsze podejmowanie decyzji i reagowanie na otoczenie.
- ▶ Współczesna psychologia, w szczególności interakcja człowiek-komputer, odegrała kluczową rolę w rozwoju systemów, które współdziałają z ludźmi.

Historia sztucznej inteligencji

Początki AI (1943–1956)

Pierwsze prace uznawane za pionierskie w dziedzinie **AI** miały miejsce w **1943 roku**, kiedy **Warren McCulloch** i **Walter Pitts** stworzyli model sztucznych neuronów. Zainspirowani fizjologią ludzkiego mózgu, teorią logiki oraz obliczeń **Turinga**, pokazali, że sieć połączonych neuronów może obliczać dowolną funkcję logiczną. Zasugerowali także, że takie sieci mogłyby się uczyć, co zainspirowało dalsze badania nad sztucznymi sieciami neuronowymi.

W 1956 roku **John McCarthy** zorganizował w **Dartmouth College** konferencję, która miała na celu połączenie sił badaczy z różnych dziedzin, takich jak **automatyka**, **sieci neuronowe** oraz studia nad **inteligencją**. Była to pierwsza konferencja oficjalnie poświęcona **sztucznej inteligencji**, która dała początek formalnym badaniom nad **AI**.

Historia sztucznej inteligencji

Wczesny entuzjazm i wielkie oczekiwania (1952–1969)

Lata 50. i 60. były okresem dynamicznego rozwoju **AI**, a badacze eksperymentowali z różnymi rodzajami programów. **Alan Turing** opisał swoją wizję maszyn myślących, wprowadzając koncepcje takie jak **Test Turinga**, **uczenie maszynowe** i **algorytmy genetyczne**. W tym czasie powstały także pierwsze programy komputerowe do gier (**warcaby**), które same uczyły się grać lepiej niż ich twórcy.

Jednym z najbardziej wpływowych projektów tego okresu była praca **Herberta Simona** i **Allena Newella**, którzy stworzyli program **Logic Theorist**, zdolny do rozwiązywania **matematycznych twierdzeń**. W 1958 roku **John McCarthy** stworzył język programowania **Lisp**, który przez wiele lat dominował.

Historia sztucznej inteligencji

Kryzys i rzeczywistość (1966–1973)

W miarę jak badania nad **AI** posuwały się naprzód, napotymano jednak na poważne ograniczenia. Wczesne systemy **AI** dobrze radziły sobie w prostych środowiskach (tzw. mikroświatach), ale zawodziły przy bardziej skomplikowanych zadaniach. **Herbert Simon** i inni badacze przewidywali, że komputery szybko przewyższą ludzi w grach takich jak **szachy**, jednak to miało się stać dopiero wiele lat później.

Brakowało także wystarczającej **mocy obliczeniowej** i **zaawansowanych algorytmów**. W szczególności **raport Lighthilla** w 1973 roku skrytykował postępy w **AI** i doprowadził do wycofania rządowego finansowania w **Wielkiej Brytanii**, co zapoczątkowało tzw. „*zimę AI*” – okres, w którym zainteresowanie sztuczną inteligencją znacząco spadło.

Historia sztucznej inteligencji

Systemy ekspertowe (1969–1986)

Pomimo trudności, lata 70. i 80. przyniosły rozwój **systemów ekspertowych**, które opierały się na wąsko wyspecjalizowanej wiedzy, umożliwiając rozwiązywanie złożonych problemów w wybranych dziedzinach. Przykładem był system **DENDRAL**, opracowany na **Uniwersytecie Stanforda**, który analizował dane chemiczne, oraz **MYCIN**, który pomagał w diagnozowaniu chorób na podstawie reguł.

Systemy ekspertowe były pierwszymi sukcesami **AI** w praktycznych zastosowaniach. **MYCIN** potrafił stawiać trafne diagnozy na poziomie ekspertów, a **DENDRAL** pozwalał chemikom na analizę struktury związków chemicznych na podstawie danych z mas spektrometrycznych.



Historia sztucznej inteligencji

Powrót sieci neuronowych (1986–obecnie)

W połowie lat 80. **sieci neuronowe**, które zostały odrzucone na początku lat 70., przeżyły swój renesans. **Algorytm propagacji wstecznej**, opracowany w latach 60., został odkryty na nowo i stał się kluczowym narzędziem w trenowaniu **sieci neuronowych**. **Sieci neuronowe** okazały się skuteczne w rozwiązywaniu problemów, które wymagały **rozpoznawania wzorców**, takich jak rozpoznawanie pisma ręcznego czy mowy.

Koneksjonizm – model bazujący na **sieciach neuronowych** – stał się realnym konkurentem dla bardziej symbolicznych podejść do **AI**. Sieci te mogły uczyć się na przykładach i były bardziej elastyczne w zastosowaniach niż tradycyjne systemy ekspertowe.



Historia sztucznej inteligencji

Uczenie maszynowe i probabilistyczne podejście (1987–obecnie)

Z czasem **systemy ekspertowe** zaczęły tracić na znaczeniu, ponieważ miały trudności z adaptacją do nowych sytuacji i nauką na podstawie doświadczeń. To otworzyło drogę dla **uczenia maszynowego**, które zamiast opierać się na regułach, pozwalało systemom samodzielnie uczyć się z danych.

W latach 90. **Judea Pearl** wprowadził **sieci bayesowskie**, które umożliwiały **modelowanie niepewności**. Rozwój **teorii decyzji** oraz **algorytmów probabilistycznych** zrewolucjonizował **AI**, wprowadzając bardziej elastyczne podejście do podejmowania decyzji.

Historia sztucznej inteligencji

Big Data (2001–obecnie)

Rozwój internetu oraz eksplozja dostępnych danych doprowadziły do powstania nowych algorytmów **uczenia maszynowego**, które mogły przetwarzać ogromne ilości danych. Zbiory danych obejmujące miliardy obrazów, nagrań dźwiękowych i tekstów stały się kluczowe w trenowaniu nowoczesnych systemów **AI**.

Dzięki tym ogromnym zasobom dane stały się kluczowym zasobem dla **AI**, co przyczyniło się do znaczących postępów w takich dziedzinach jak rozpoznawanie mowy i obrazu, przetwarzanie języka naturalnego oraz uczenie się przez maszyny.

Historia sztucznej inteligencji

Deep Learning (2011–obecnie)

Ostatnie lata przyniosły ogromny wzrost zainteresowania **AI** dzięki rozwojowi głębokiego uczenia (**deep learning**), które opiera się na **wielowarstwowych sieciach neuronowych**. W 2012 roku system opracowany przez **Geoffreya Hinton**a zwyciężył w konkursie **ImageNet**, osiągając przełomowe wyniki w klasyfikacji obrazów.

Od tego czasu **deep learning** zrewolucjonizował dziedziny takie jak rozpoznawanie obrazów, mowy, tłumaczenie maszynowe, diagnostyka medyczna i gry komputerowe. System **AlphaGo**, który pokonał mistrza świata w **Go**, był jednym z najbardziej imponujących osiągnięć **AI** ostatnich lat.



Stan sztucznej inteligencji

W 2016 roku **Stanford University** opublikowało raport „*AI100*”, który analizuje **stan badań i zastosowań sztucznej inteligencji** oraz prognozy na przyszłość. Eksperti przewidują, że **AI** będzie odgrywać coraz większą rolę w takich dziedzinach jak **samochody autonomiczne, diagnostyka i leczenie medyczne** oraz **opieka nad osobami starszymi**. Jednocześnie kluczowym wyzwaniem pozostaje wykorzystanie **AI** w sposób zgodny z wartościami demokratycznymi, takimi jak wolność, równość i przejrzystość.



Osiągnięcia sztucznej inteligencji:

- ▶ Liczba artykułów o **AI** wzrosła **20-krotnie** od 2010 roku. Najpopularniejsze obszary to **uczenie maszynowe, widzenie komputerowe i przetwarzanie języka naturalnego**.
- ▶ Wzrosła liczba pozytywnych artykułów na temat **AI**. Najczęściej poruszane kwestie to prywatność danych i stroniczość algorytmów.
- ▶ Liczba studentów kierunków związanych z **AI** wzrosła **5-krotnie** w **USA** i **16-krotnie** na świecie od 2010 roku.
- ▶ Frekwencja na konferencjach **AI**, takich jak **NeurIPS**, wzrosła o 800% od 2012 roku.



Przykłady sukcesów technologicznych

Rozpoznawanie obrazów

Wyzwanie LSVRC (Large-Scale Visual Recognition Challenge) przyniosło imponujące postępy w rozpoznawaniu obiektów. W 2010 roku systemy AI miały **28% błędów** w wykrywaniu obiektów, a w 2017 roku liczba ta spadła do **2%**, przewyższając ludzką dokładność.





Przykłady sukcesów technologicznych

Szybkość trenowania modeli

Czas potrzebny do trenowania modeli rozpoznawania obrazów zmniejszył się 100-krotnie w ciągu ostatnich lat, co świadczy o gwałtownym postępie w optymalizacji algorytmów i wykorzystaniu potężnych zasobów obliczeniowych.

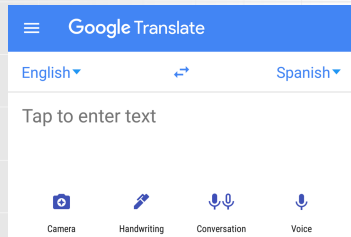




Przykłady sukcesów technologicznych

Tłumaczenie maszynowe

Systemy tłumaczenia maszynowego, takie jak **Google Translate**, obsługują obecnie ponad **100 języków** i każdego dnia tłumaczą **setki miliardów słów**. W tłumaczeniu między językami pokrewnymi, takimi jak francuski i angielski, systemy te osiągają poziom zbliżony do ludzkiego w określonych dziedzinach.

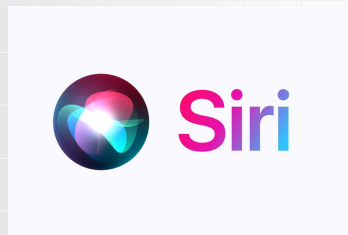




Przykłady sukcesów technologicznych

Rozpoznawanie mowy

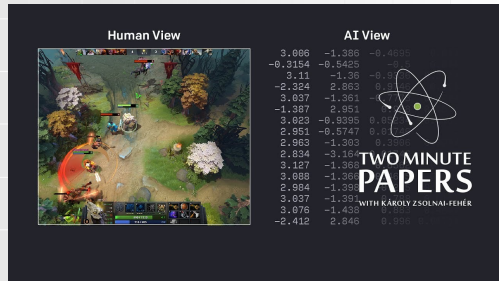
W 2017 roku system rozpoznawania mowy **Microsoftu** osiągnął poziom błędu wynoszący **5,1%**, co jest porównywalne z wydajnością człowieka w transkrybowaniu rozmów telefonicznych. Asystenci głosowi, tacy jak **Alexa**, **Siri** i **Google Assistant**, wykonują coraz bardziej złożone zadania, od odpowiadania na pytania po dokonywanie rezerwacji w restauracjach.



Przykłady sukcesów technologicznych

Gry komputerowe

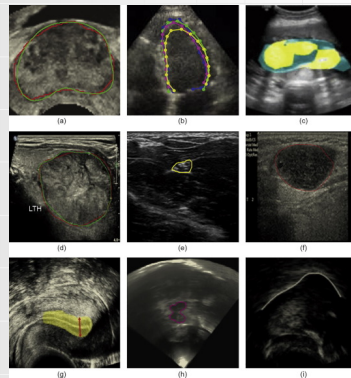
Sukcesy **AI** w grach obejmują pokonanie ludzkich mistrzów w **szachach**, **Go**, **pokierze** oraz takich grach wideo jak **Dota 2** i **StarCraft II**. Systemy **AI**, takie jak **AlphaGo** i **AlphaZero**, przewyższają ludzkie możliwości, ucząc się na podstawie gier własnych bez ludzkiego wkładu.



Przykłady sukcesów technologicznych

Diagnostyka medyczna

AI osiągnęła poziom ekspercki w diagnozowaniu wielu chorób, szczególnie tych, które wymagają analizy **obrazów medycznych**, takich jak **rak skóry**, **siatkówki** oraz **prostaty**. Systemy **AI**, takie jak **LYNA**, osiągnęły **99,6%** dokładności w diagnozowaniu **raka piersi**, a współpraca między lekarzami a **AI** przynosi jeszcze lepsze wyniki.





Przykłady sukcesów technologicznych

Autonomiczne pojazdy

Samochody autonomiczne, takie jak te rozwijane przez **Waymo**, przejechały już miliony mil na drogach publicznych, osiągając poziom bezpieczeństwa porównywalny z ludzkiemi kierowcami. W sektorze lotniczym, **drony** dostarczają krew i inne materiały medyczne w odległych regionach, np. w Rwandzie.





Wielu ekspertów prognozuje, że **AI** osiągnie **poziom ludzkiej inteligencji** w szerokim zakresie zadań między rokiem **2029 a 2200**. Średnia prognoza wynosi **2099 rok**, choć niektórzy przewidują, że AI osiągnie taki poziom już w **2025** roku. Przyszłość **AI** może przynieść zarówno dalszy rozwój obecnych technik, jak i fundamentalne przełomy, które zdefiniują nowe podejścia do tworzenia **inteligentnych systemów**.



Korzyści

Sztuczna inteligencja może przynieść ogromne korzyści, znacznie podnosząc poziom naszego życia. Nasza cywilizacja opiera się na ludzkiej inteligencji, a dostęp do znacznie potężniejszej inteligencji maszynowej mógłby jeszcze bardziej zwiększyć nasze możliwości. Główne korzyści obejmują:

- ▶ **AI i robotyka** mogą uwolnić nas od powtarzalnych, czasochłonnych prac, zwiększając jednocześnie produktywność.
- ▶ **Zautomatyzowanie** procesów produkcji mogłoby doprowadzić do wzrostu gospodarczego i obfitości zasobów.
- ▶ **AI** może przyspieszyć odkrycia w dziedzinie nauki, takie jak **opracowanie nowych leków, rozwiązania problemów klimatycznych** czy **zarządzanie zasobami**.

Demis Hassabis, CEO Google DeepMind, ujął to słowami: „*Najpierw rozwiążmy AI, a potem użyjmy AI do rozwiązania wszystkiego innego.*” Potencjalnie **AI** mogłaby pomóc nam rozwiązać największe problemy współczesnego świata.

- ▶ Broń, która może identyfikować i eliminować cele bez interwencji człowieka, stwarza zagrożenie eskalacji konfliktów na dużą skalę.
- ▶ Może być używana do masowego nadzoru, monitorując rozmowy, wideo czy e-maile na niespotykaną dotąd skalę.
- ▶ Może wyeliminować wiele miejsc pracy, ale jednocześnie zwiększać produktywność i tworzyć nowe formy zatrudnienia.
- ▶ Stosowana w aplikacjach krytycznych, takich jak pojazdy autonomiczne czy systemy wodociągowe, niesie ryzyko błędów, które mogą mieć tragiczne skutki.
- ▶ Może być używana zarówno do obrony, jak i ataków w cyberprzestrzeni, zwiększając skuteczność złośliwego oprogramowania.



Długoterminowe ryzyka: Superinteligencja

Jednym z największych długoterminowych zagrożeń związanych z AI jest perspektywa stworzenia sztucznej **superinteligencji** (ASI) – systemu, który znacznie przewyższa ludzką inteligencję. Już w latach 50. **Alan Turing** ostrzegał, że jeśli maszyny zaczną myśleć na poziomie porównywalnym z ludźmi, mogą szybko przewyższyć nasze możliwości, co doprowadzi do utraty kontroli przez człowieka.

Problem „**króla Midasa**” – czyli niebezpieczeństwo, że **AI** dosłownie spełni zadane cele, ale zignoruje niezamierzone skutki – stanowi główne wyzwanie w tworzeniu inteligentnych systemów. Przykładem jest postać z mitologii greckiej, król **Midas**, który zażyczył sobie, aby wszystko, czego dotknie, zamieniało się w złoto, ale później pożałował tej decyzji.



Podsumowanie

- ▶ **AI** może być rozwijana w celu modelowania myślenia ludzkiego lub osiągnięcia optymalnych rezultatów. Ważne pytanie to, czy bardziej zależy nam na symulacji ludzkiego myślenia, czy efektywności działania.
- ▶ Standardowy model **AI** koncentruje się na **racjonalnym działaniu** – **idealny inteligentny agent** podejmuje najlepsze możliwe działania. Jednak istnieją dwa istotne problemy: ograniczenia obliczeniowe i niepewność co do celów, które **AI** powinna realizować.
- ▶ **Filozofowie** zasugerowali, że umysł działa jak maszyna, podejmując decyzje na podstawie wiedzy. Matematycy dostarczyli narzędzi do manipulacji pewnymi i niepewnymi stwierdzeniami, co stanowi fundament **AI**.
- ▶ **Ekonomiści** wprowadzili pojęcie **maksymalizacji użyteczności**, a **neurologi** odkryli podobieństwa i różnice między mózgiem a komputerami.
- ▶ W dłuższej perspektywie **AI** może ewoluować w **nieprzewidywalne sposoby**, co stawia wyzwanie kontrolowania **systemów superinteligentnych**.