# Metody Sztucznej Inteligencji

## Wykład 1: **Historia i podstawowe pojęcia**

dr inż. Paweł Ksieniewicz
Katedra Systemów i Sieci Komputerowych

*6 marca 2019*

— Pieniądze, które ci daję, to w gruncie rzeczy napiwek, nie mam obowiązku ci płacić!
— Jestem odmiennego zdania — odparły drzwi.

*Phillip K. Dick · Ubik,* 1969 *r.*

Jeśli badasz człowieka ze złamaniem w jego żuchwie, powinieneś położyć na niej rękę. Jeśli zauważysz, że złamanie chrzęści pod twoimi palcami, powinieneś o nim powiedzieć: ten ma złamanie w żuchwie, nad którym wytworzyła się rana, (...) i ma od tego gorączkę. Tej dolegliwości nie należy leczyć.

*Anonim · Papirus Edwina Smitha, przypadek 24., karta* VIII *wersy* 22–23 *oraz karta* IX, *wersy* 1–2, *ok. 3000 r. p.n.e.*

Wtedy gdy wyniknie spór pomiędzy dwoma filozofami, nie będzie już potrzebny trud naukowej dysputy większy niż trud dwóch rachmistrzów. Wystarczy, jeśli obaj siądą przed swoimi maszynami do liczenia i powiedzą do siebie (być może z przyjemnym uśmiechem): No to policzymy!

*Gottfried Leibniz* · 1680 *r.*

# Entscheidungsproblem

# Entscheidungsproblem

Entscheidungsproblem Hilberta, przedstawiony w roku 1928[1], jest problemem decyzyjnym dla teorii pierwszego rzędu, stanowiącym, że *"Istnieje efektywna procedura (algorytm), która dla danego zbioru aksjomatów i twierdzenia matematycznego, decyduje o jego dowiedzeniu z aksjomatów"*.

[1] D. Hilbert and W. Ackermann. *Grundzüge der Theoretischen Logik*. Springer Berlin Heidelberg, 1949.

# Entscheidungsproblem

Entscheidungsproblem Hilberta, przedstawiony w roku 1928[1], jest problemem decyzyjnym dla teorii pierwszego rzędu, stanowiącym, że *"Istnieje efektywna procedura (algorytm), która dla danego zbioru aksjomatów i twierdzenia matematycznego, decyduje o jego dowiedzeniu z aksjomatów"*.

*Czy istnieje algorytm zdolny do określenia czy dane stwierdzenie jest prawdziwe dla wszystkich modeli w obrębie teorii?*

[1] Hilbert and Ackermann, *Grundzüge der Theoretischen Logik*.

# Entscheidungsproblem

Entscheidungsproblem Hilberta, przedstawiony w roku 1928[1], jest problemem decyzyjnym dla teorii pierwszego rzędu, stanowiącym, że *"Istnieje efektywna procedura (algorytm), która dla danego zbioru aksjomatów i twierdzenia matematycznego, decyduje o jego dowiedzeniu z aksjomatów"*.

*Czy istnieje algorytm zdolny do określenia czy dane stwierdzenie jest prawdziwe dla wszystkich modeli w obrębie teorii?*

W latach 30. Hilbert, podobnie do Leibnitza, wyrażał przekonanie, że nie istnieje coś takiego jak problem nierozwiązywalny.

[1] Hilbert and Ackermann, *Grundzüge der Theoretischen Logik*.

# Entscheidungsproblem

Entscheidungsproblem Hilberta, przedstawiony w roku 1928[1], jest problemem decyzyjnym dla teorii pierwszego rzędu, stanowiącym, że *"Istnieje efektywna procedura (algorytm), która dla danego zbioru aksjomatów i twierdzenia matematycznego, decyduje o jego dowiedzeniu z aksjomatów"*.

*Czy istnieje algorytm zdolny do określenia czy dane stwierdzenie jest prawdziwe dla wszystkich modeli w obrębie teorii?*

W latach 30. Hilbert, podobnie do Leibnitza, wyrażał przekonanie, że nie istnieje coś takiego jak problem nierozwiązywalny.

W roku 1936. Church i Turing zaprzeczyli temu stwierdzeniu.

[1] Hilbert and Ackermann, *Grundzüge der Theoretischen Logik*.

# ON COMPUTABLE NUMBERS, WITH AN APPLICATION TO THE ENTSCHEIDUNGSPROBLEM

*By* A. M. Turing.

[Received 28 May, 1936.—Read 12 November, 1936.]

# Maszyny Turinga[2]

*Computing machines.*

If an $a$-machine prints two kinds of symbols, of which the first kind (called figures) consists entirely of 0 and 1 (the others being called symbols of the second kind), then the machine will be called a computing machine. If the machine is supplied with a blank tape and set in motion, starting from the correct initial $m$-configuration, the subsequence of the symbols printed by it which are of the first kind will be called the *sequence computed by the machine*. The real number whose expression as a binary decimal is obtained by prefacing this sequence by a decimal point is called the *number computed by the machine*.

[2] A. M. Turing. "On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem". In: *Proceedings of the London Mathematical Society* s2-42.1 (1937), pp. 230–265.

# MIND

A QUARTERLY REVIEW

OF

PSYCHOLOGY AND PHILOSOPHY

## I.—COMPUTING MACHINERY AND INTELLIGENCE

By A. M. Turing

# Computing machinery and intelligence[3]

"I PROPOSE to consider the question, *Can machines think?*. This should begin with definitions of the meaning of the terms *machine* and *think*'.

[3] A. M. TURING. "I.—COMPUTING MACHINERY AND INTELLIGENCE". In: *Mind* LIX.236 (1950), pp. 433–460.

# Computing machinery and intelligence[3]

"I PROPOSE to consider the question, *Can machines think?*. This should begin with definitions of the meaning of the terms *machine* and *think*'.

The definitions might be framed so as to reflect so far as possible the normal use of the words, but this attitude is dangerous. If the meaning of the words *machine* and *think* are to be found by examining how they are commonly used it is difficult to escape the conclusion that the meaning and the answer to the question, *Can machines think?* is to be sought in a statistical survey such as a Gallup poll. But this is absurd.

[3] TURING, "I.—COMPUTING MACHINERY AND INTELLIGENCE".

# Computing machinery and intelligence[3]

"I PROPOSE to consider the question, *Can machines think?*. This should begin with definitions of the meaning of the terms *machine* and *think*'.

The definitions might be framed so as to reflect so far as possible the normal use of the words, but this attitude is dangerous. If the meaning of the words *machine* and *think* are to be found by examining how they are commonly used it is difficult to escape the conclusion that the meaning and the answer to the question, *Can machines think?* is to be sought in a statistical survey such as a Gallup poll. But this is absurd.

Instead of attempting such a definition I shall replace the question by another, which is closely related to it and is expressed in relatively unambiguous words.

[3] TURING, "I.—COMPUTING MACHINERY AND INTELLIGENCE".

# Computing machinery and intelligence[3]

"I PROPOSE to consider the question, *Can machines think?*. This should begin with definitions of the meaning of the terms *machine* and *think*'.

The definitions might be framed so as to reflect so far as possible the normal use of the words, but this attitude is dangerous. If the meaning of the words *machine* and *think* are to be found by examining how they are commonly used it is difficult to escape the conclusion that the meaning and the answer to the question, *Can machines think?* is to be sought in a statistical survey such as a Gallup poll. But this is absurd.

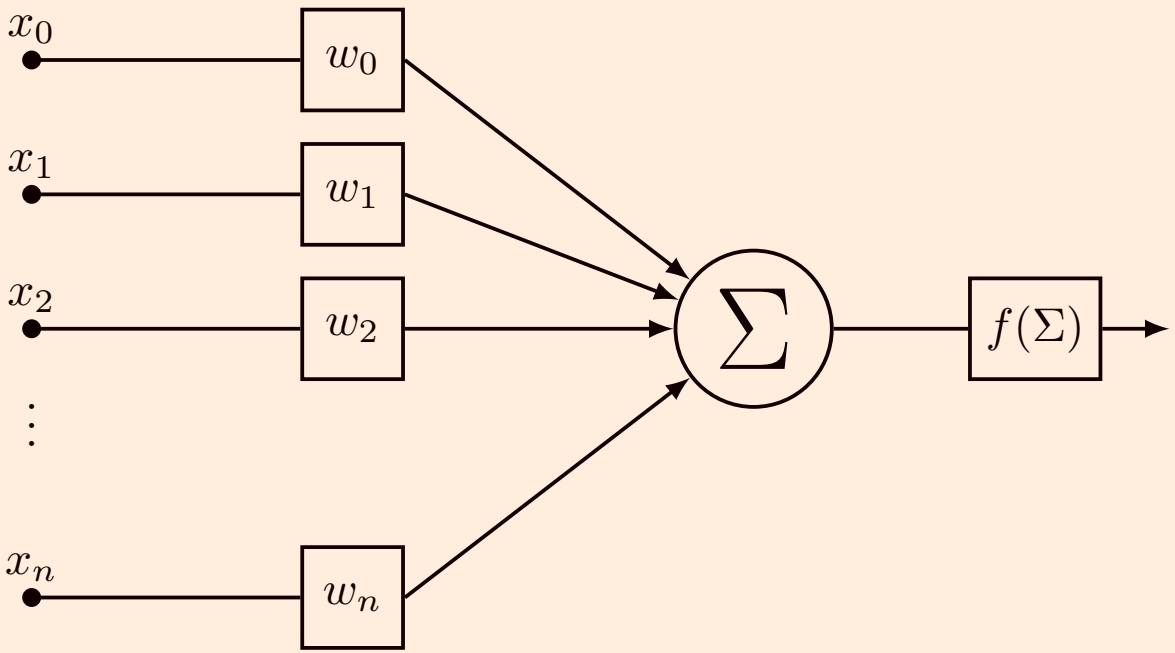
Instead of attempting such a definition I shall replace the question by another, which is closely related to it and is expressed in relatively unambiguous words. The new form of the problem can be described in terms of a game which we call the **imitation game**."

[3] TURING, "I.—COMPUTING MACHINERY AND INTELLIGENCE".

# 1939—1945

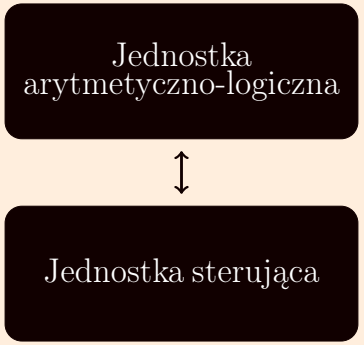
# Top Secret Rosies

# Neuron McCullocha-Pittsa[4]



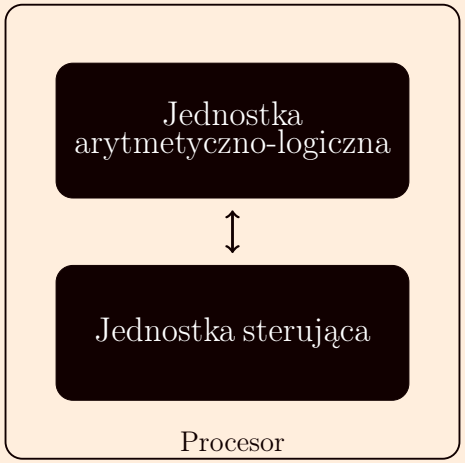

[4] Warren S. McCulloch and Walter Pitts. "A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity". In: *The Bulletin of Mathematical Biophysics* 5.4 (Dec. 1943), pp. 115–133.

# Architektura komputerów[5]



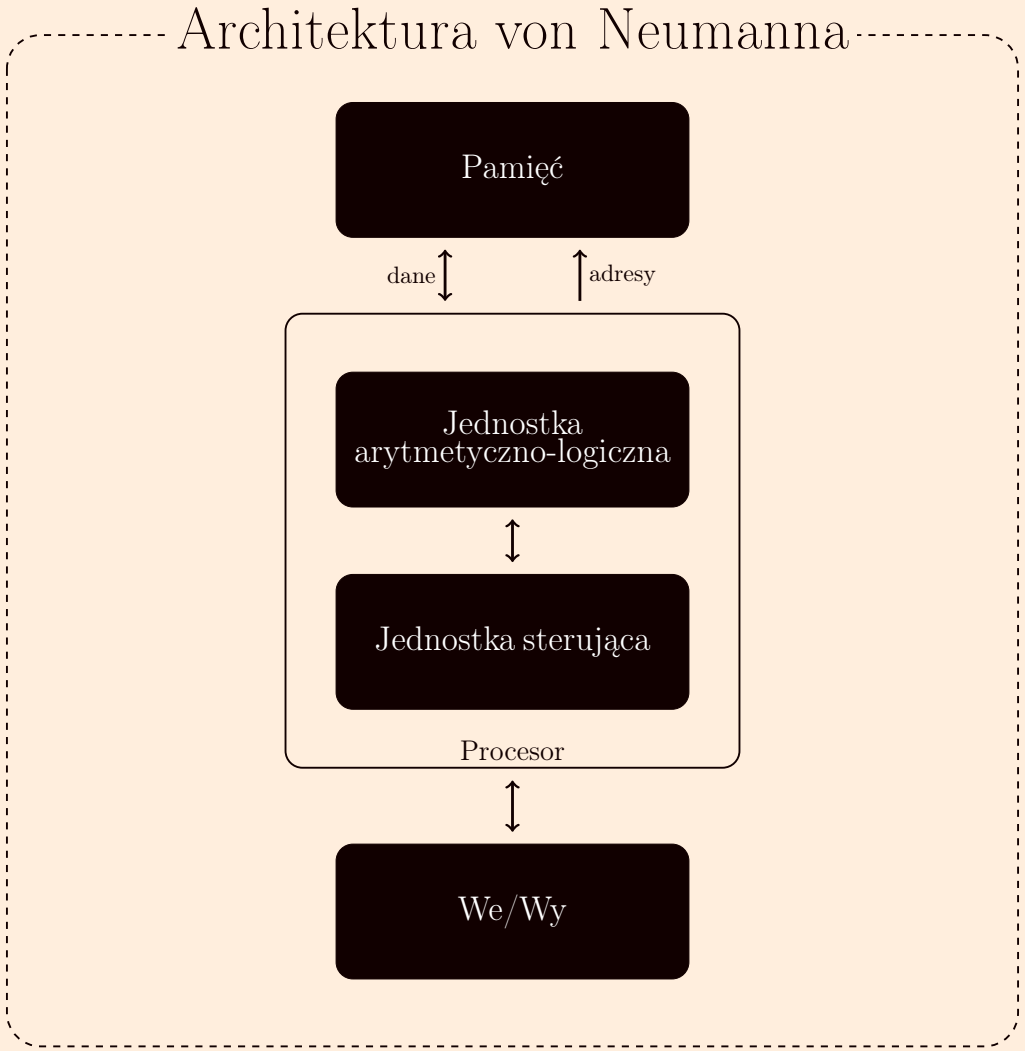

[5] J. von Neumann. "First draft of a report on the EDVAC". In: *IEEE Annals of the History of Computing* 15.4 (1993), pp. 27–75.

# Architektura komputerów[5]



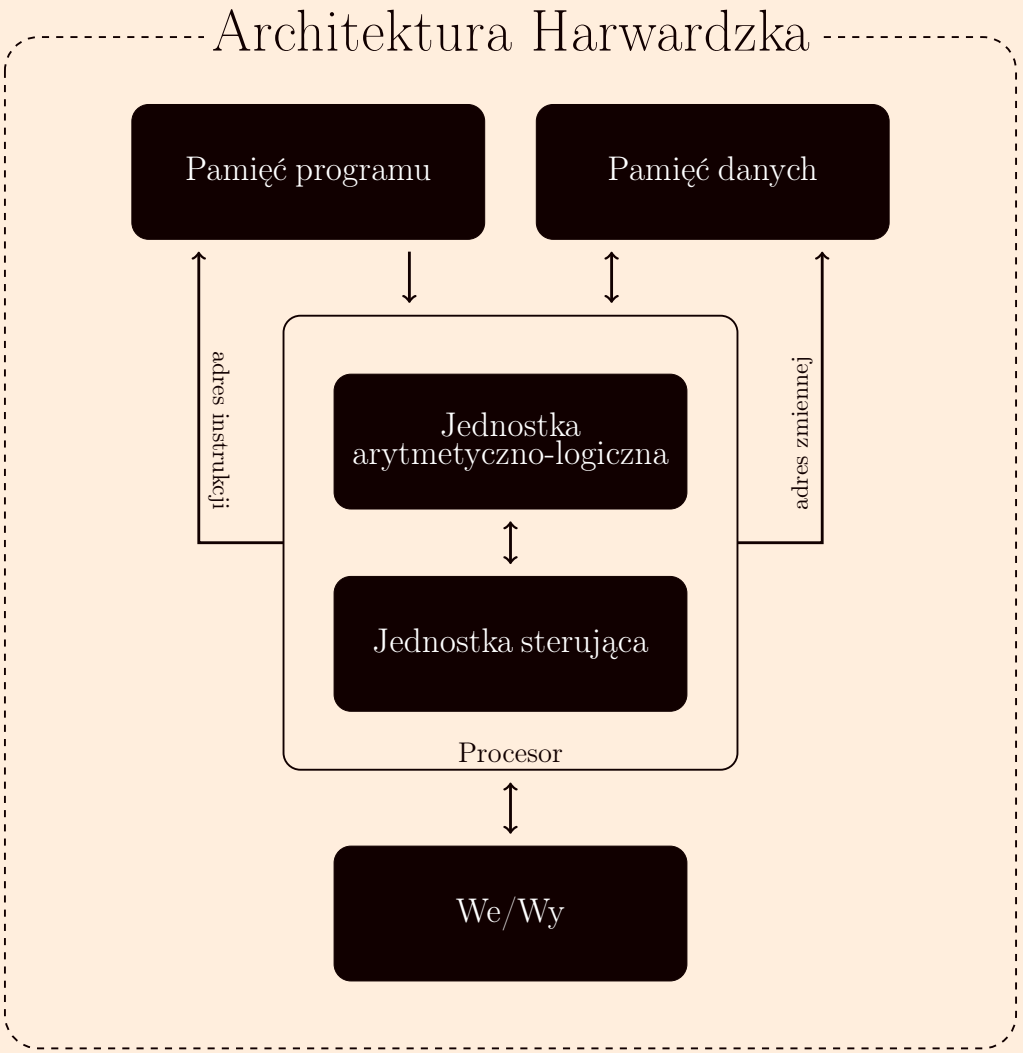

[5] Neumann, "First draft of a report on the EDVAC".

# Architektura komputerów[5]




[5] Neumann, "First draft of a report on the EDVAC".

# Architektura komputerów[5]




[5] Neumann, "First draft of a report on the EDVAC".

# Cybernetyka[6]

[6] Norbert Wiener. *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Technology Press, 1948.

# Cybernetyka[6]

- Scalenie nauk humanistycznych z przyrodniczymi.

[6] Wiener, *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine.*

# Cybernetyka[6]

- Scalenie nauk humanistycznych z przyrodniczymi.
  - Claude E. Shannon — matematyka,
  - Norbert Wiener — fizyka,

[6] Wiener, *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine.*

# Cybernetyka[6]

- Scalenie nauk humanistycznych z przyrodniczymi.
  - Claude E. Shannon — matematyka,
  - Norbert Wiener — fizyka,
- Wprowadzona przez Wienera,

[6] Wiener, *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine.*

# Cybernetyka[6]

- Scalenie nauk humanistycznych z przyrodniczymi.
  - Claude E. Shannon — matematyka,
  - Norbert Wiener — fizyka,
- Wprowadzona przez Wienera,

[6] Wiener, *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine.*

# Cybernetyka[6]

- Scalenie nauk humanistycznych z przyrodniczymi.
  - Claude E. Shannon — matematyka,
  - Norbert Wiener — fizyka,
- Wprowadzona przez Wienera,

[6] Wiener, *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine.*

# Cybernetyka[6]

- Scalenie nauk humanistycznych z przyrodniczymi.
  - Claude E. Shannon — matematyka,
  - Norbert Wiener — fizyka,
- Wprowadzona przez Wienera,

---

1. Działania systemu powodują zmianę w środowisku,

[6] Wiener, *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine.*

# Cybernetyka[6]

- Scalenie nauk humanistycznych z przyrodniczymi.
  - Claude E. Shannon — matematyka,
  - Norbert Wiener — fizyka,
- Wprowadzona przez Wienera,

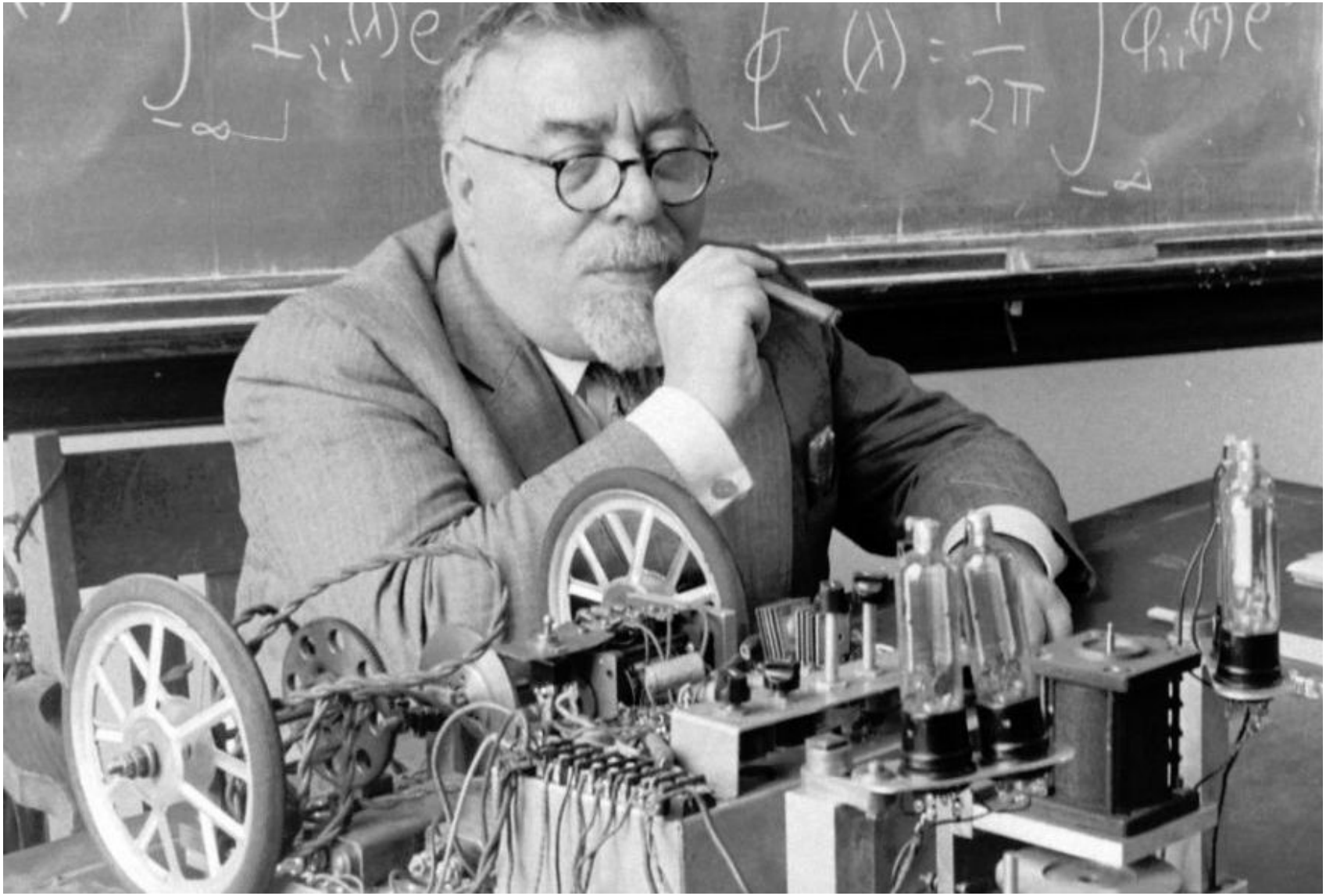
---

1. Działania systemu powodują zmianę w środowisku,
2. Zmiana w środowisku oddziaływuje wtórnie na system.

[6] Wiener, *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine.*

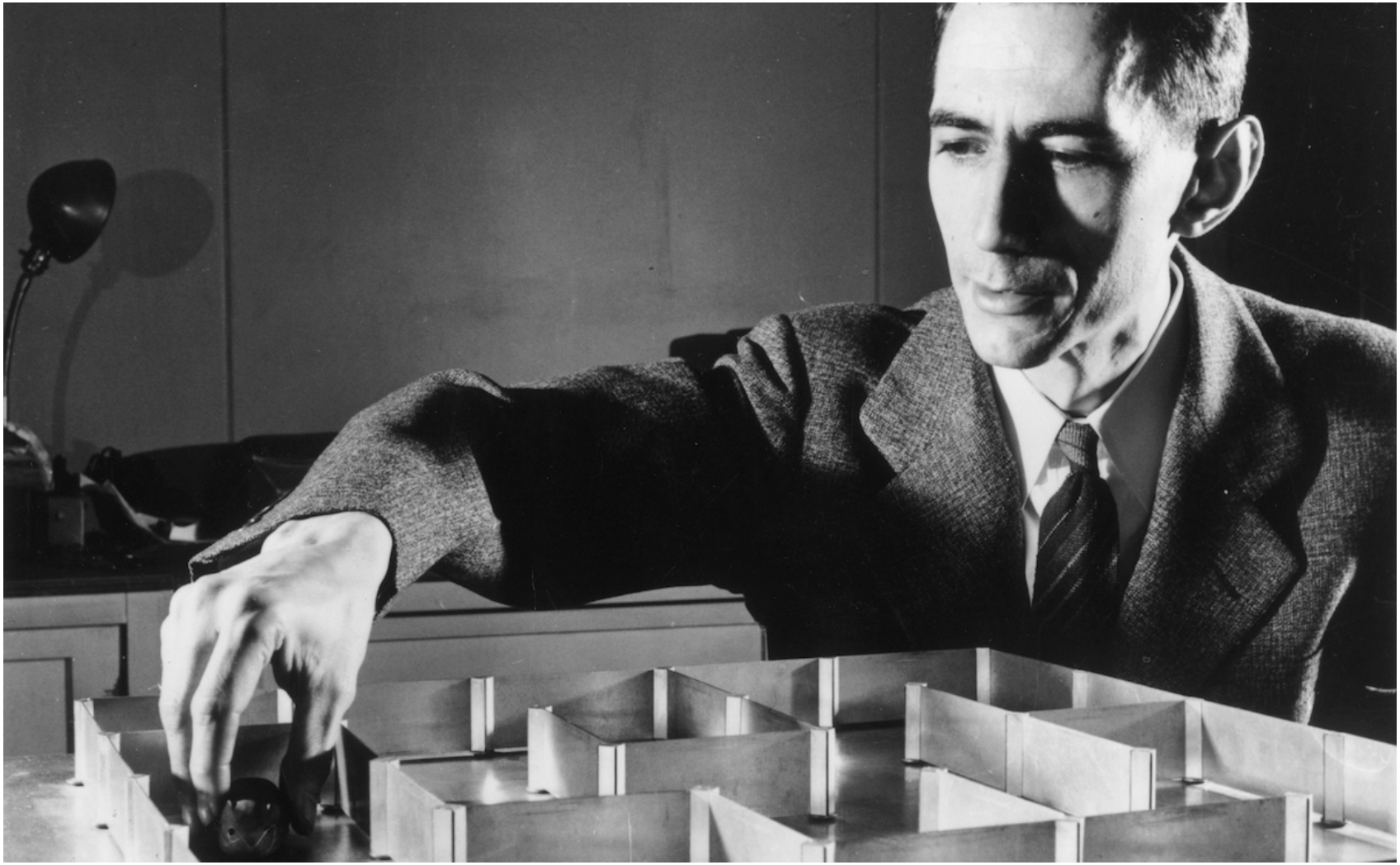
# Cybernetyczne ZOO

# Ćma Wienera [1949]



HISTORY

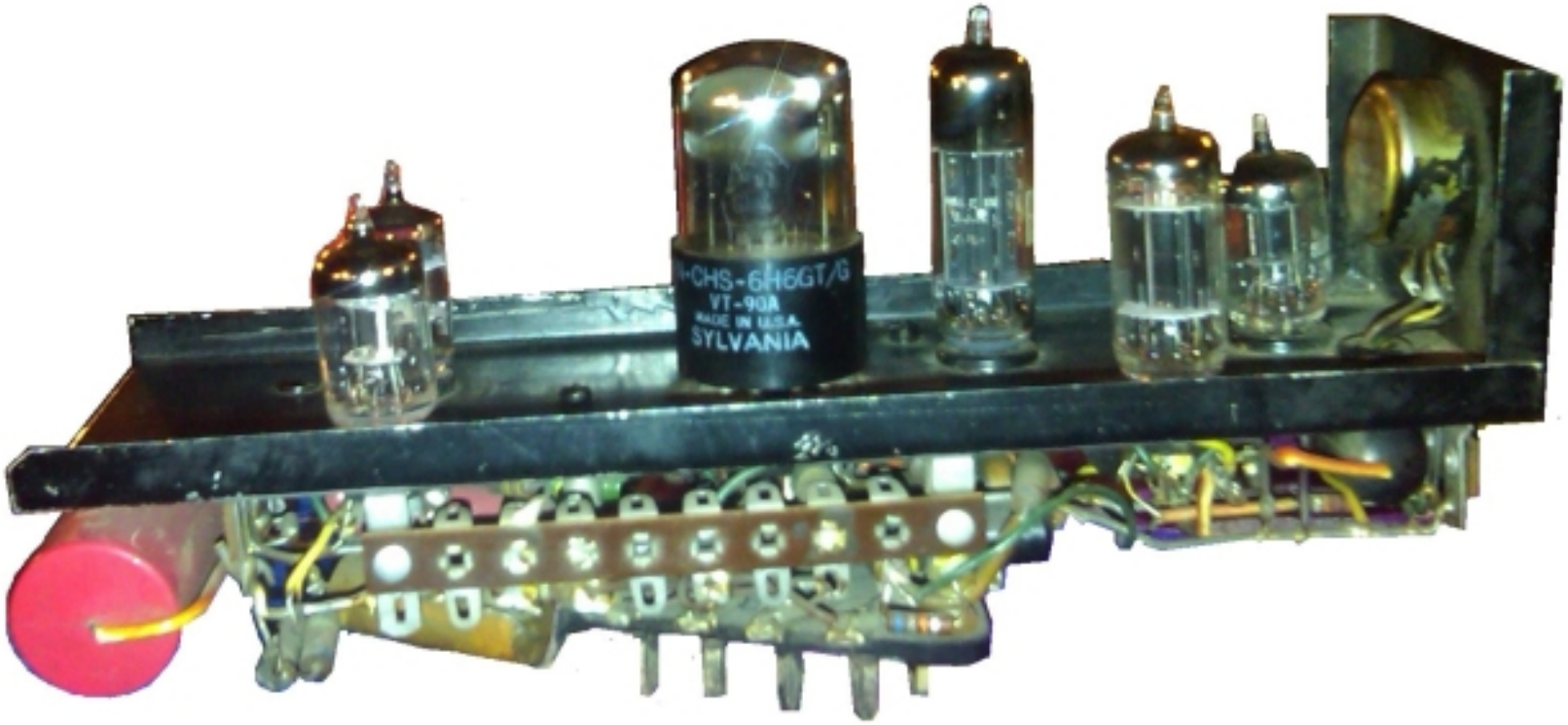
# Mysz Shannona [1950][7]



[7] Heinz Von Foerster. "Cybernetics; circular causal and feedback mechanisms in biological and social systems.". In: (1952).

# SNARC [1951]

# SNARC [1951]



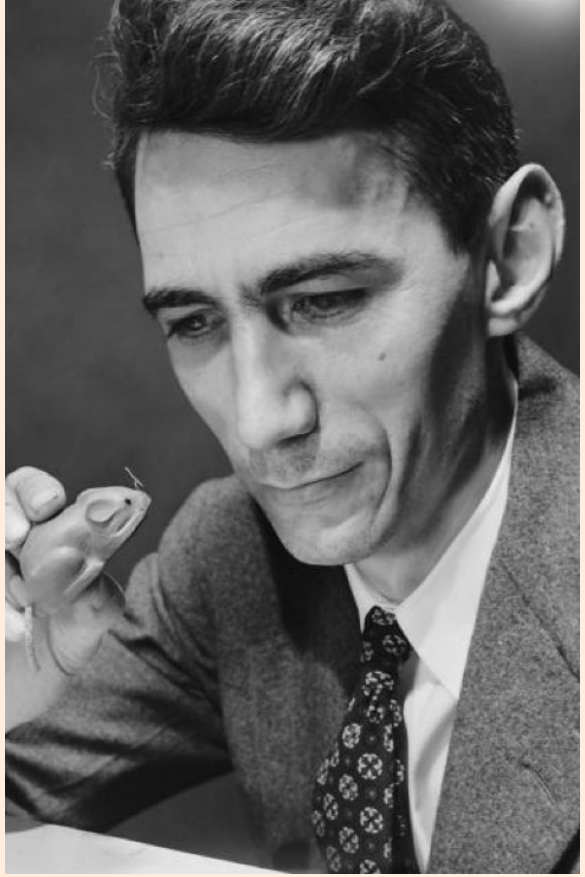
**Alan Turing**
**1912 — 1954**

**Alan Turing**
**1912 — 1954**

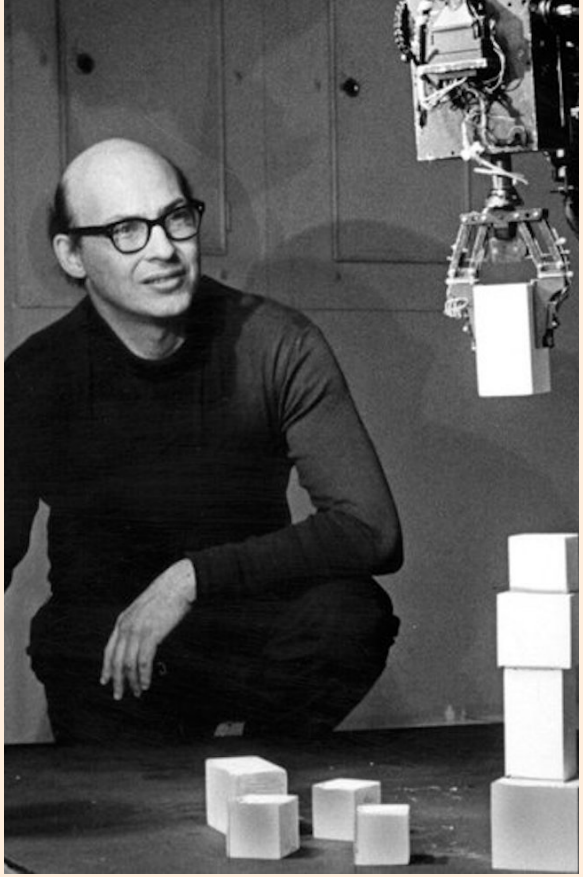
**Norbert Wiener**
**1894 — 1964**

**Alan Turing**
**1912 — 1954**

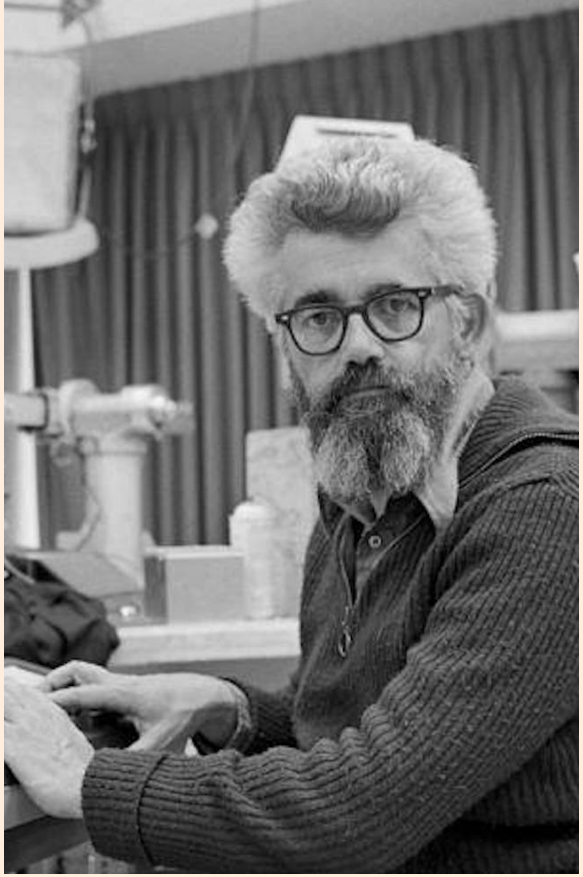
**Norbert Wiener**
**1894 — 1964**



**Claude Shannon**
**1916 — 2001**



**Marvin Minsky**
**1927 — 2016**

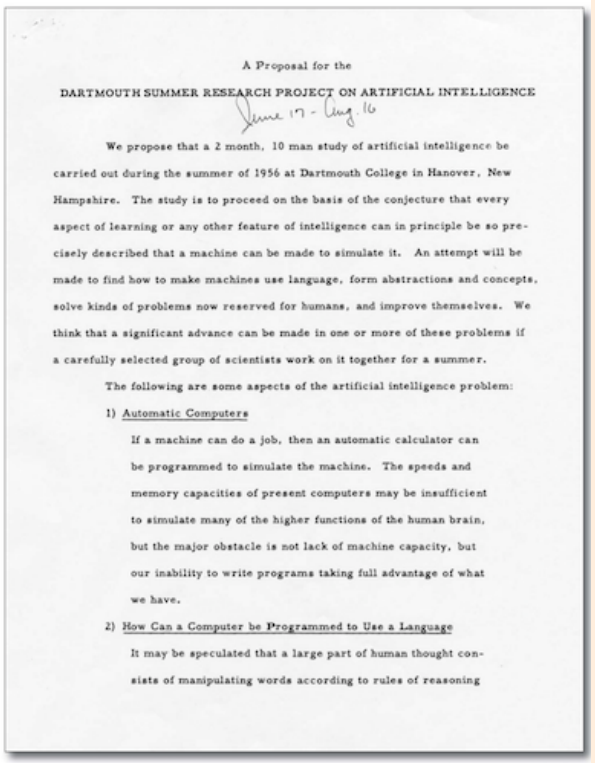


**John McCarthy**
**1927 — 2011**

We propose that a 2-month, 10-man study of artificial intelligence be carried out during the summer of 1956 at Dartmouth College in Hanover, New Hampshire.

The study is to proceed on the basis of the conjecture that every aspect of learning or any other feature of intelligence can in principle be so precisely described that a machine can be made to simulate it. An attempt will be made to find how to make machines use language, form abstractions and concepts, solve kinds of problems now reserved for humans, and improve themselves.
We think that a significant advance can be made in one or more of these problems if a carefully selected group of scientists work on it together for a summer.[8]

[8] John McCarthy et al. "A proposal for the dartmouth summer research project on artificial intelligence, august 31, 1955". In: *AI magazine* 27.4 (1955), p. 12.



A Proposal for the

DARTMOUTH SUMMER RESEARCH PROJECT ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE

June 17 - Aug. 16

We propose that a 2 month, 10 man study of artificial intelligence be carried out during the summer of 1956 at Dartmouth College in Hanover, New Hampshire. The study is to proceed on the basis of the conjecture that every aspect of learning or any other feature of intelligence can in principle be so precisely described that a machine can be made to simulate it. An attempt will be made to find how to make machines use language, form abstractions and concepts, solve kinds of problems now reserved for humans, and improve themselves. We think that a significant advance can be made in one or more of these problems if a carefully selected group of scientists work on it together for a summer.

The following are some aspects of the artificial intelligence problem:

1) Automatic Computers

If a machine can do a job, then an automatic calculator can be programmed to simulate the machine. The speeds and memory capacities of present computers may be insufficient to simulate many of the higher functions of the human brain, but the major obstacle is not lack of machine capacity, but our inability to write programs taking full advantage of what we have.

2) How Can a Computer be Programmed to Use a Language

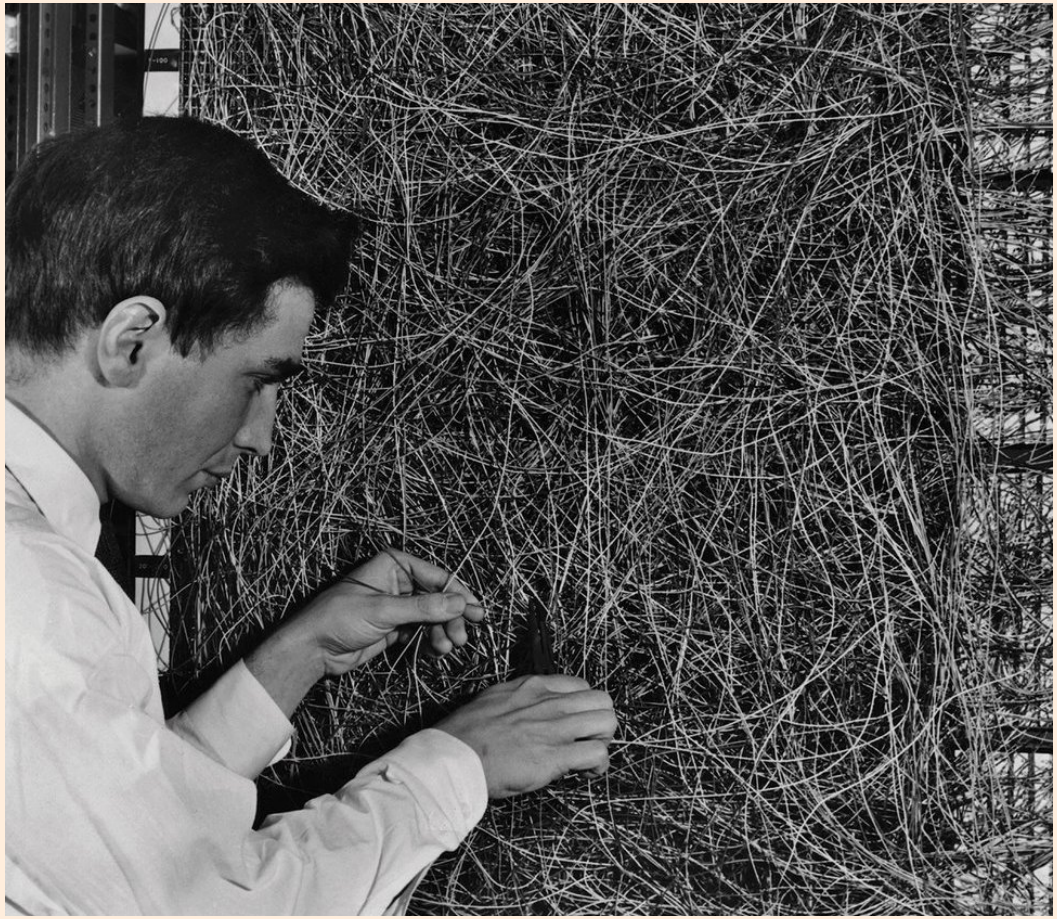
It may be speculated that a large part of human thought consists of manipulating words according to rules of reasoning

## Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence

Claude Shannon, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester, John McCarthy

1. Automatyczne komputery
2. Jak komputer może być zaprogramowany aby używać języka
3. Sieci neuronowe
4. Teoria wielkości obliczeń
5. Samodoskonalenie
6. Abstrakcje
7. Losowość i kreatywność

# 1957 — Perceptron[9]



[9] F. Rosenblatt. "The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain.". In: *Psychological Review* 65.6 (1958), pp. 386–408.

# NEW NAVY DEVICE LEARNS BY DOING

**Psychologist Shows Embryo of Computer Designed to Read and Grow Wiser**

WASHINGTON, July 7 (UPI) – The Navy revealed the embryo of an electronic computer today that it expects will be able to walk, talk, see, write, reproduce itself and be conscious of its existence.

# 1959 — General Problem Solver

```
L1   9-1 100
100  S4  101
101  S5  0
9-1  0   200
200  A1  201
201  V1  202
202  A2  203
203  V2  0
```

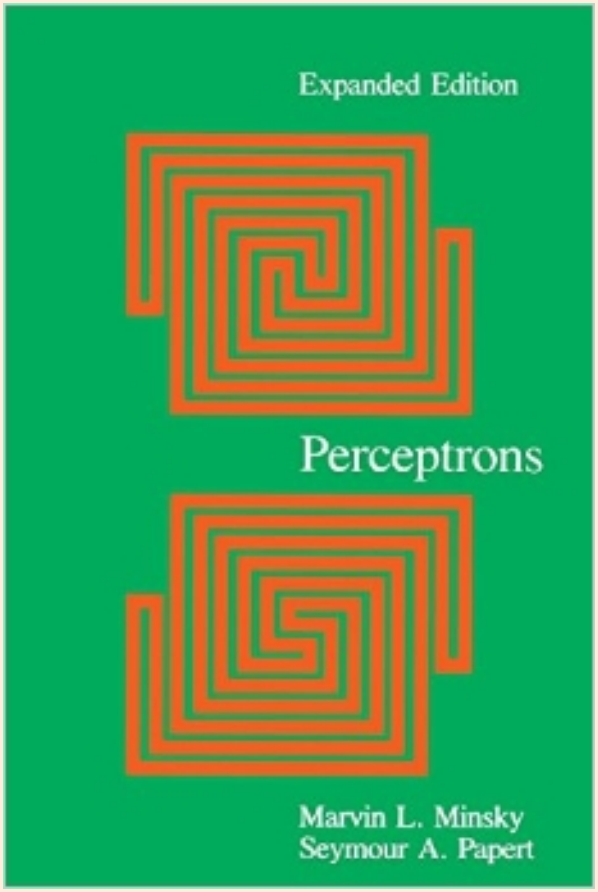
**General Problem Solver (GPS)** — program komputerowy stworzony przez Herberta Simona i Allena Newella dla udowadniania *teorematów*, bazujący na teoretycznych pracach tych naukowców dotyczących maszyn logicznych. Pozwolił on m.in. udowodnić prostsze, dające się sformalizować problemy, jak Wieże Hanoi, ale okazał się nieskuteczny w rozwiązywaniu rzeczywistych problemów.

# 1965 — DENDRAL

**Edward Feigenbaum**
**1936**

- Pierwszy system ekspertowy,
- Analiza chemiczna.

# 1969 — Koniec sieci neuronowych




**Perceptrons—An Introduction to Computational Geometry**

**Marvin Minsky, Seymour Papert**

# 1973 — Raport Lighthilla

**James Lighthill**
**1924 — 1998**

The Lighthill Debate (1973)
`youtube.com/watch?v=yReDbeY7ZMU`

# Historia SI I

- 1974 — MYCIN,
- 1977 — Automated Mathematician (*Lenat*),
- 1978 — META-DENDRAL (*Buchanan*), BACOM (*Langley*)
- 1980 — algorytm AQ do diagnostyki ziaren soi (*Michalski*),
- 1981 — Prospector,
- 1982 — Version Space (*Mitchell*),
- 1983 — ID3 – algorytm tworzenia drzew decyzyjnych (*Quinlan*),
- 1984 — PAC (*Valiant*)
- 1986 — Propagacja wsteczna, (*Rumelhart*),
- 1987 — COBWEB (*Fisher*).

*“Nauka o maszynach realizujących zadania, które wymagają inteligencji wówczas, gdy są wykonywane przez człowieka.”*

— Marvin Minsky

*“Nauka o maszynach realizujących zadania, które wymagają inteligencji wówczas, gdy są wykonywane przez człowieka.”*

— Marvin Minsky

*“Dziedzina informatyki dotycząca metod i technik wnioskowania symbolicznego przez komputer oraz symbolicznej reprezentacji wiedzy stosowanej podczas takiego wnioskowania.”*

— Edward Feigenbaum

# Rozpoznawanie wzorców

# Wzorzec

# Etykieta

# Zbiór danych

# Uczenie

# Predykcja

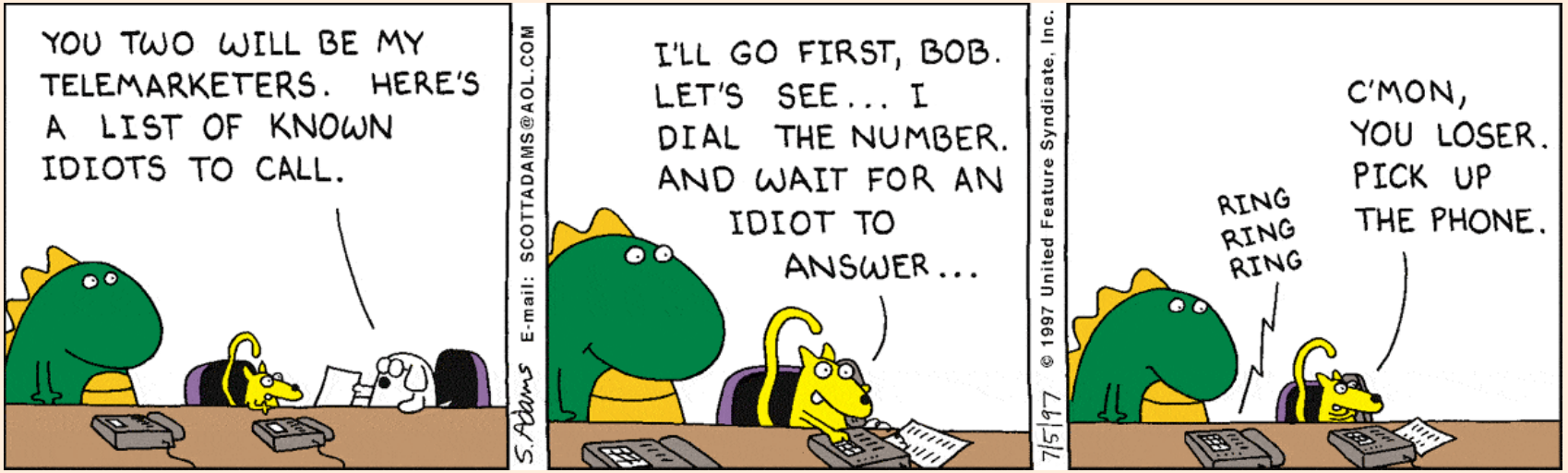
# Uczenie nadzorowane i nienadzorowane

# Klasyfikacja

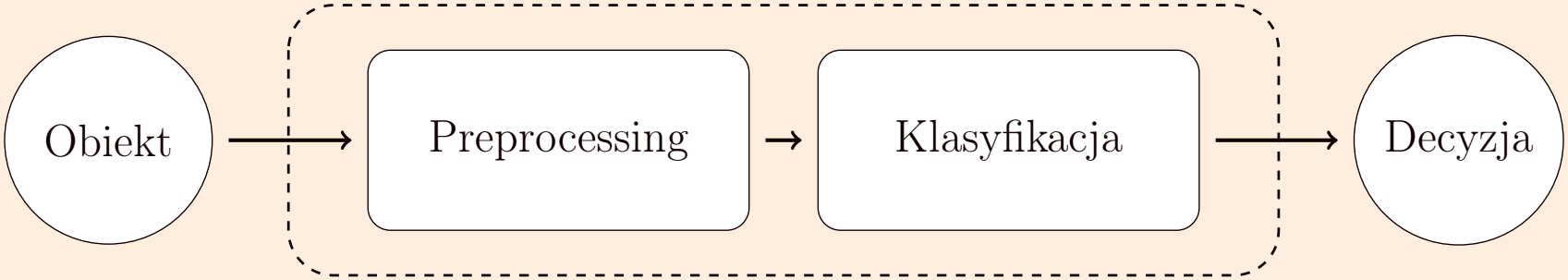
# Regresja

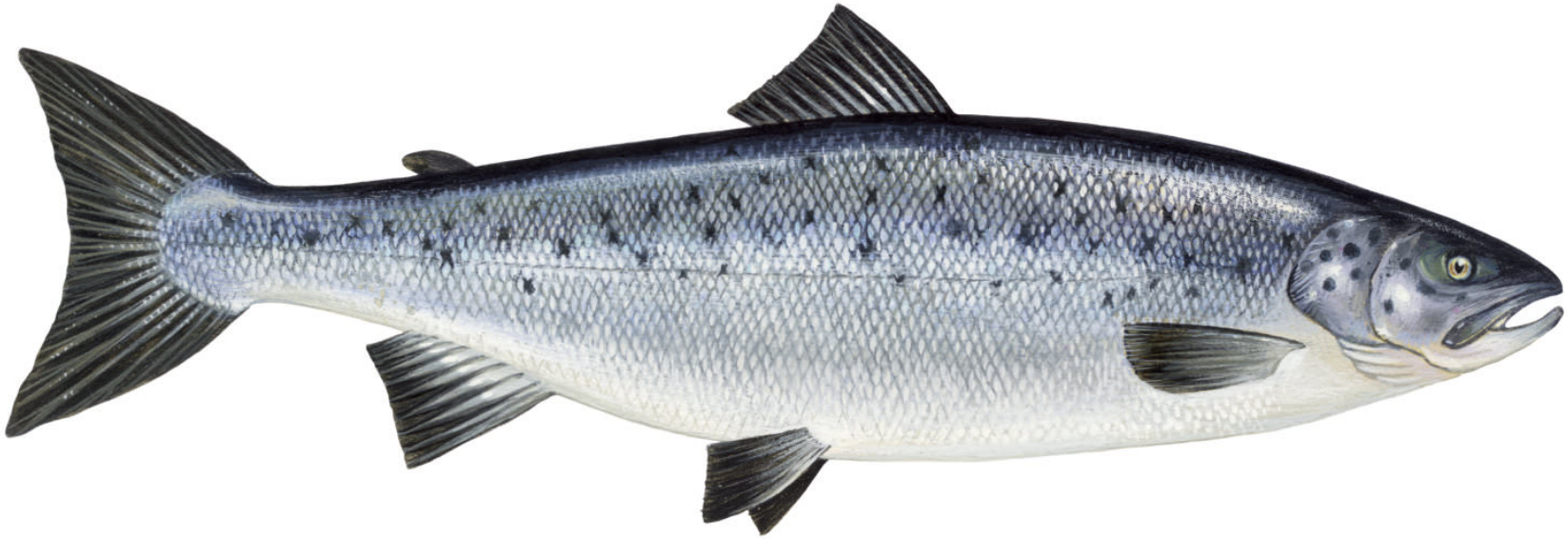
# Segmentacja

# Przykład zastosowania



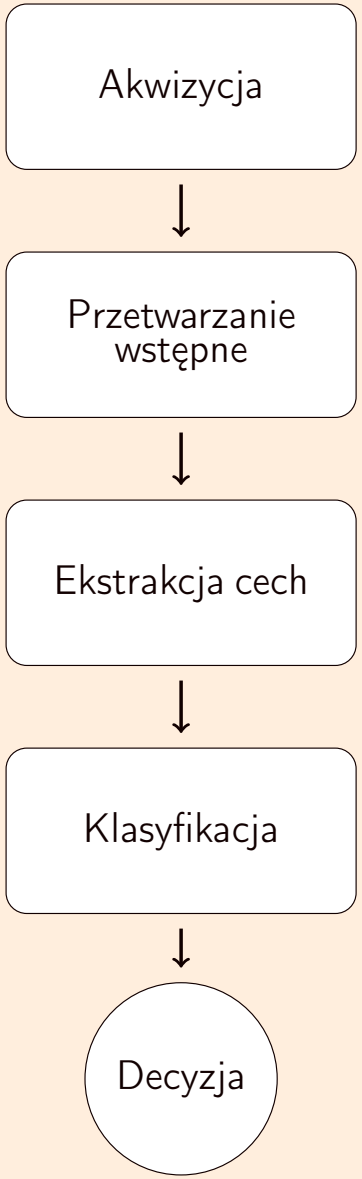
# Zadanie rozpoznawania wzorców



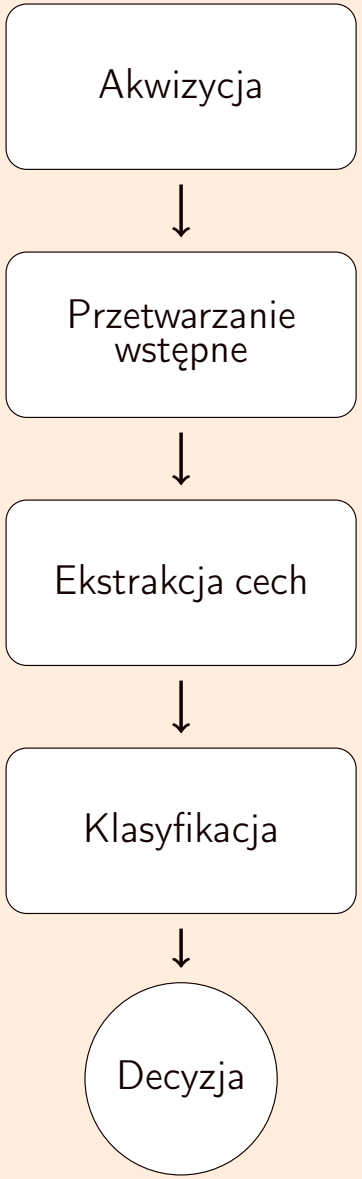


# Przykład rozpoznawania

Nasz system przyjmuje następujący projekt:



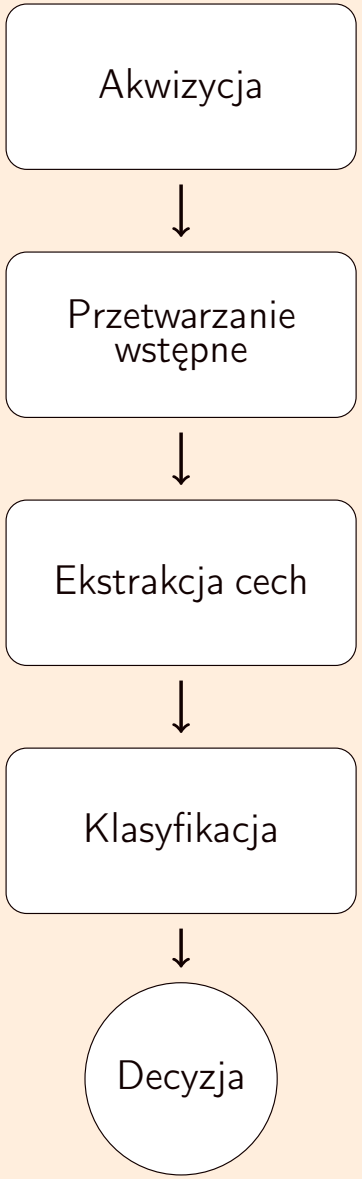
# Przykład rozpoznawania




Nasz system przyjmuje następujący projekt:

- Najpierw kamera rejestruje obraz ryby (martwej ryby na taśmie).

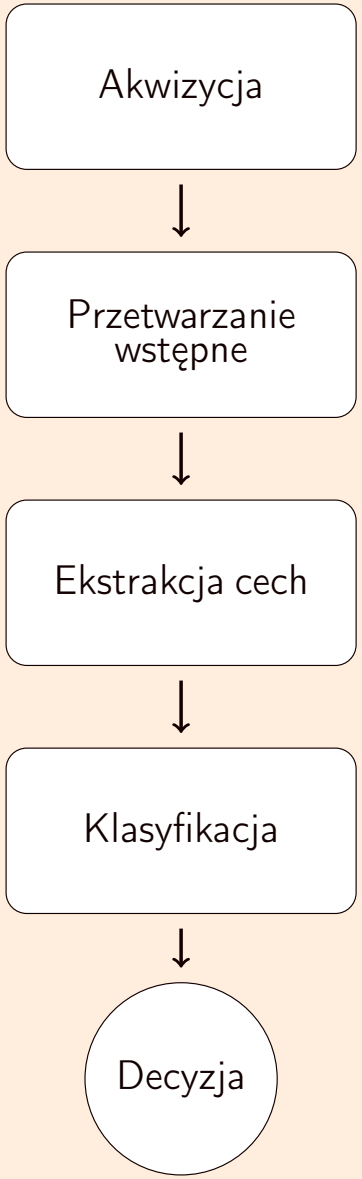
# Przykład rozpoznawania




Nasz system przyjmuje następujący projekt:

- Najpierw kamera rejestruje obraz ryby (martwej ryby na taśmie).
- Obraz z kamery jest przetwarzany wstępnie (*preprocessing*), aby uprościć go bez utraty istotnych informacji. Możemy użyć segmentacji aby odseparować dwie ryby na jednym zdjęciu albo oddzielić od tła.

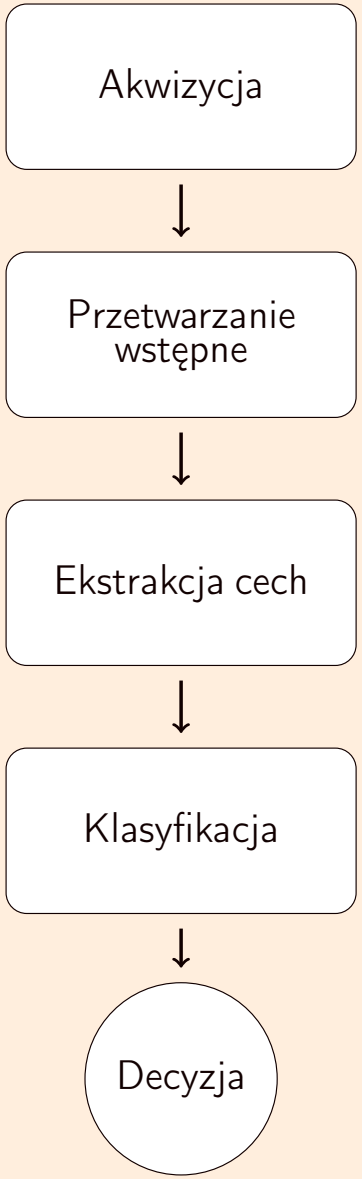
# Przykład rozpoznawania




Nasz system przyjmuje następujący projekt:

- Najpierw kamera rejestruje obraz ryby (martwej ryby na taśmie).
- Obraz z kamery jest przetwarzany wstępnie (*preprocessing*), aby uprościć go bez utraty istotnych informacji. Możemy użyć segmentacji aby odseparować dwie ryby na jednym zdjęciu albo oddzielić od tła.
- Przetworzony wstępnie obraz wysyłany jest do ekstraktora cech (*feature extractor*), który mierzy pewne cechy (*features*).

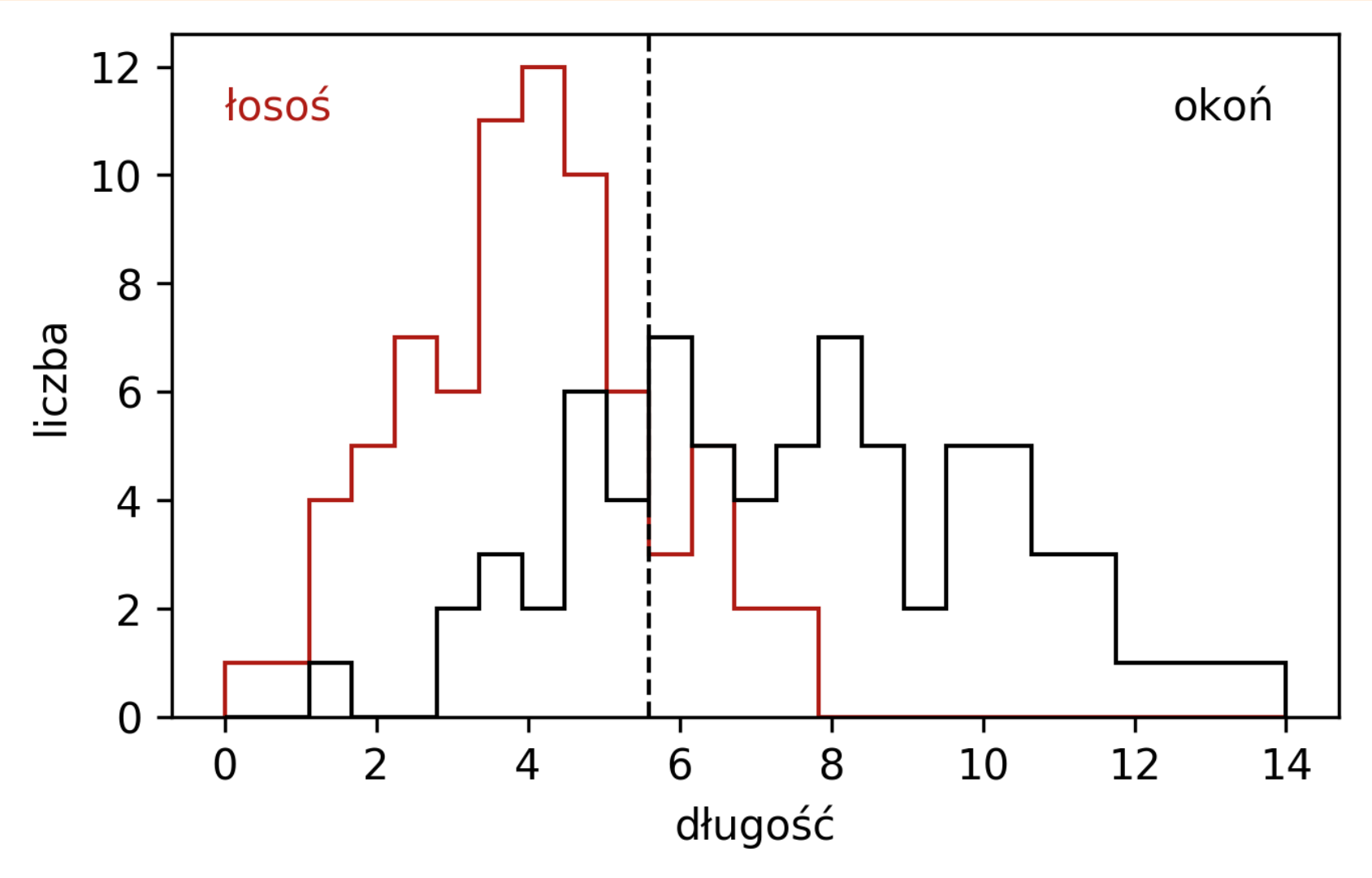
# Przykład rozpoznawania



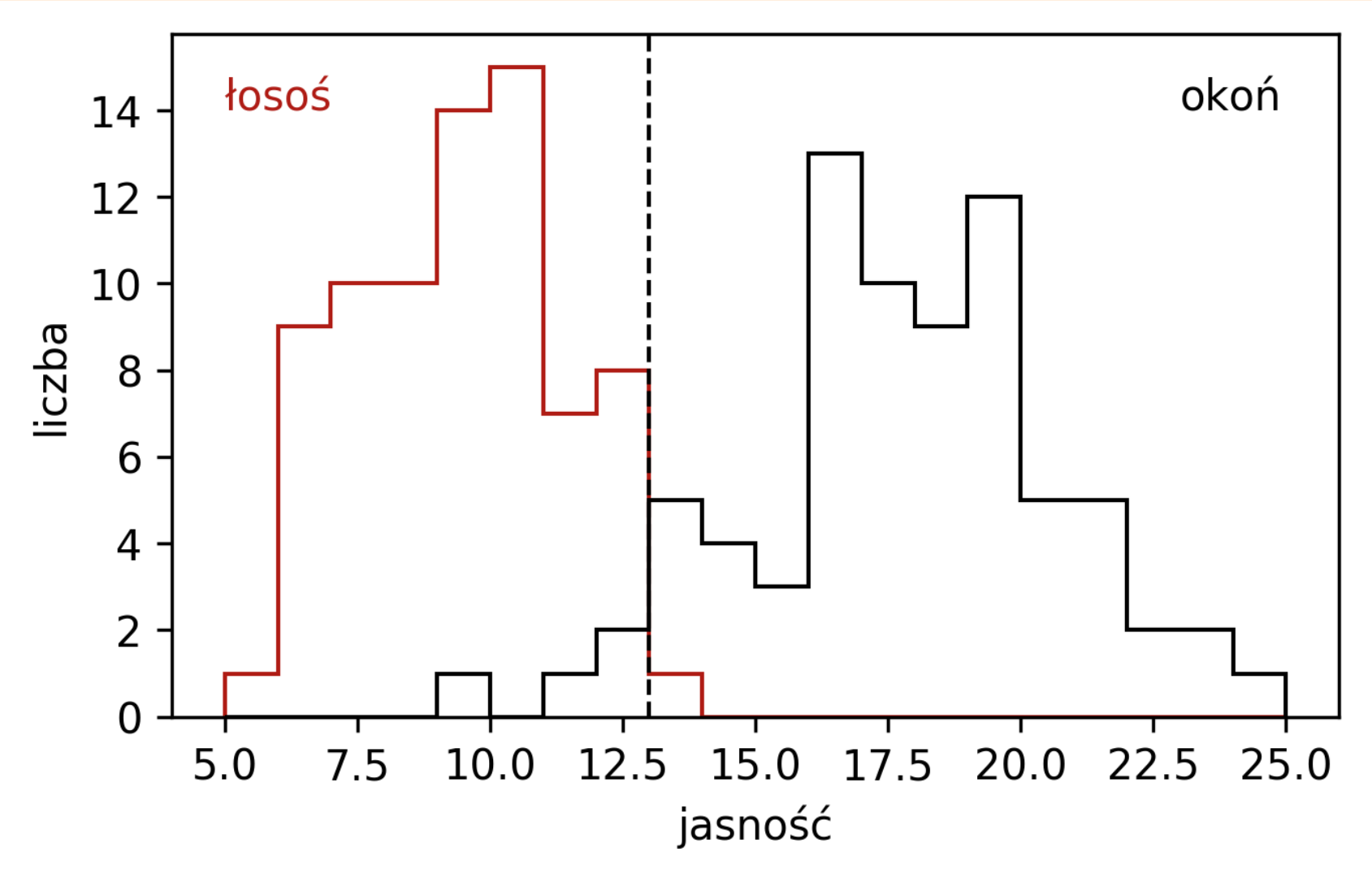

Nasz system przyjmuje następujący projekt:

- Najpierw kamera rejestruje obraz ryby (martwej ryby na taśmie).
- Obraz z kamery jest przetwarzany wstępnie (*preprocessing*), aby uprościć go bez utraty istotnych informacji. Możemy użyć segmentacji aby odseparować dwie ryby na jednym zdjęciu albo oddzielić od tła.
- Przetworzony wstępnie obraz wysyłany jest do ekstraktora cech (*feature extractor*), który mierzy pewne cechy (*features*).
- Wyekstrachowane cechy przesyłane są do klasyfikatora, który ocenia je i podejmuje decyzję (*to łosoś* lub *to okoń*).

# Przykład rozpoznawania



# Przykład rozpoznawania



# Koszt rozpoznawania

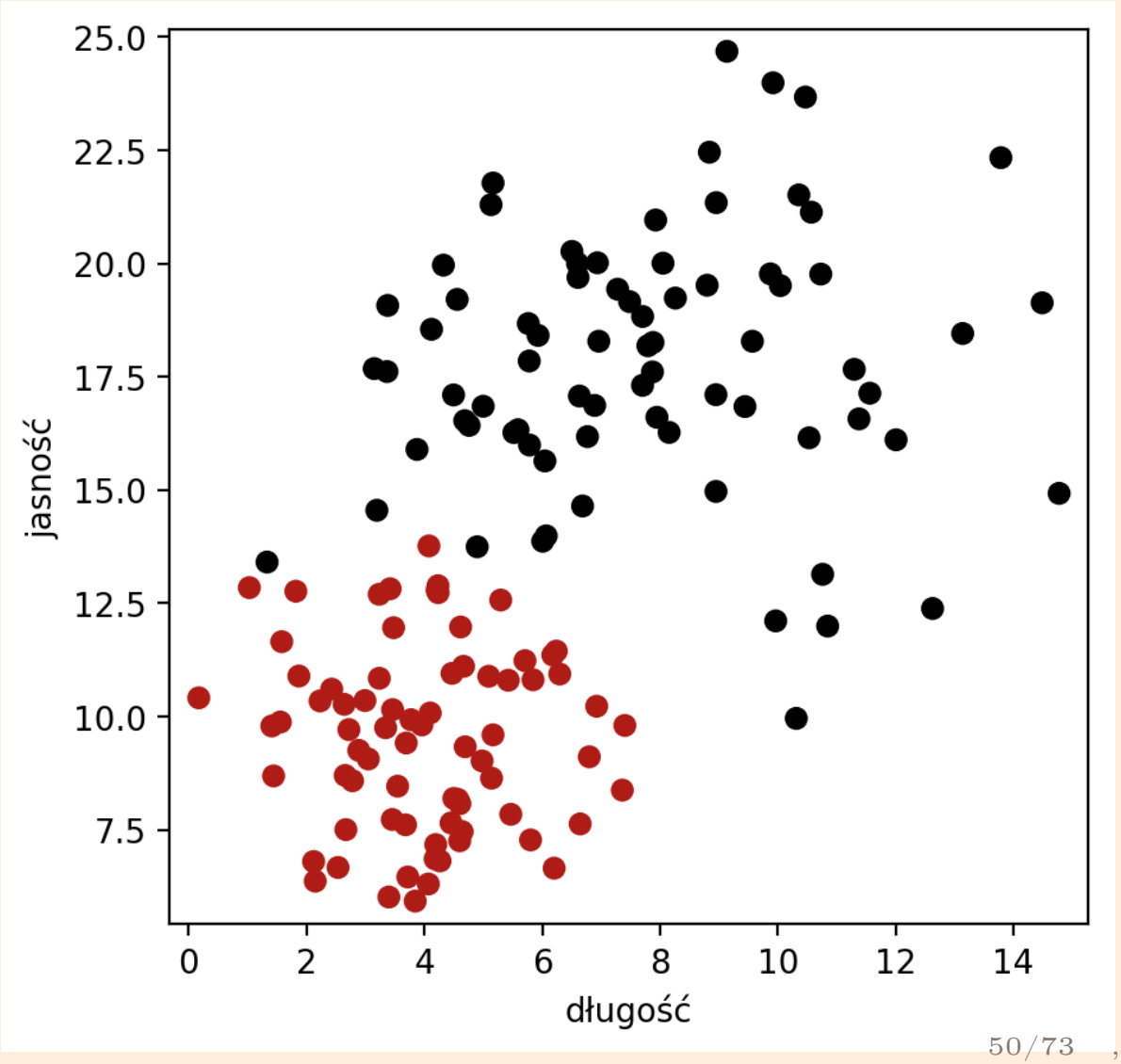
- Jaki jest cel decyzji oraz jej koszt?

# Koszt rozpoznawania

- Jaki jest cel decyzji oraz jej koszt?
- Głównym zadaniem teorii decyzji jest określenie metody podjęcia decyzji minimalizującej związany z nią koszt.

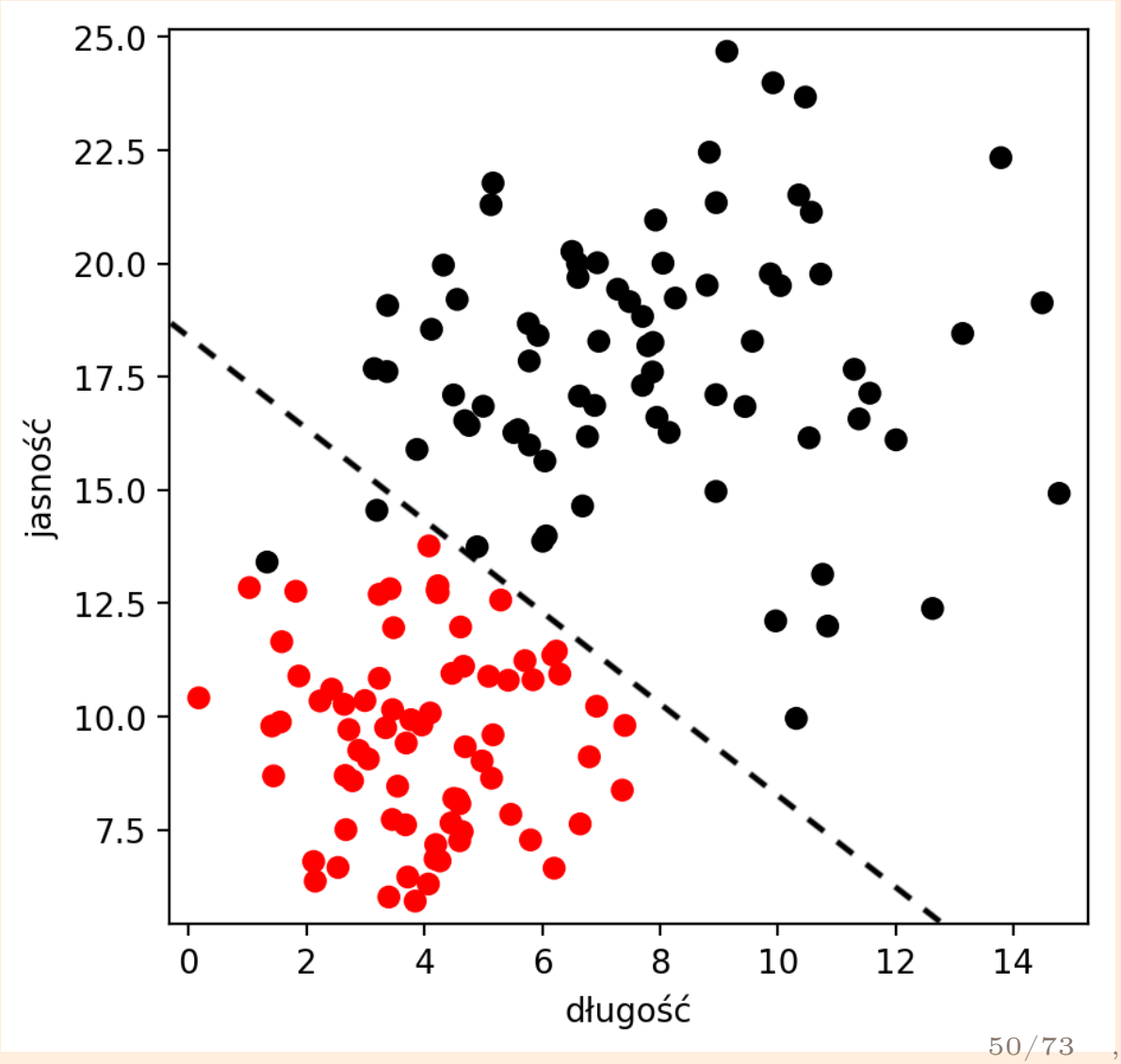
# Przykład rozpoznawania

- W naszym przykładzie celem jest znalezienie sposobu podziału przestrzeni cech na dwa obszary.
- Podział ten następuje w wyniku np. generalizacji na podstawie zbioru uczącego.
- Z reguły przyjmujemy pewne założenia co do płaszczyzny rozdzielającej, co jest związane przede wszystkim z kosztem skonstruowania klasyfikatora.



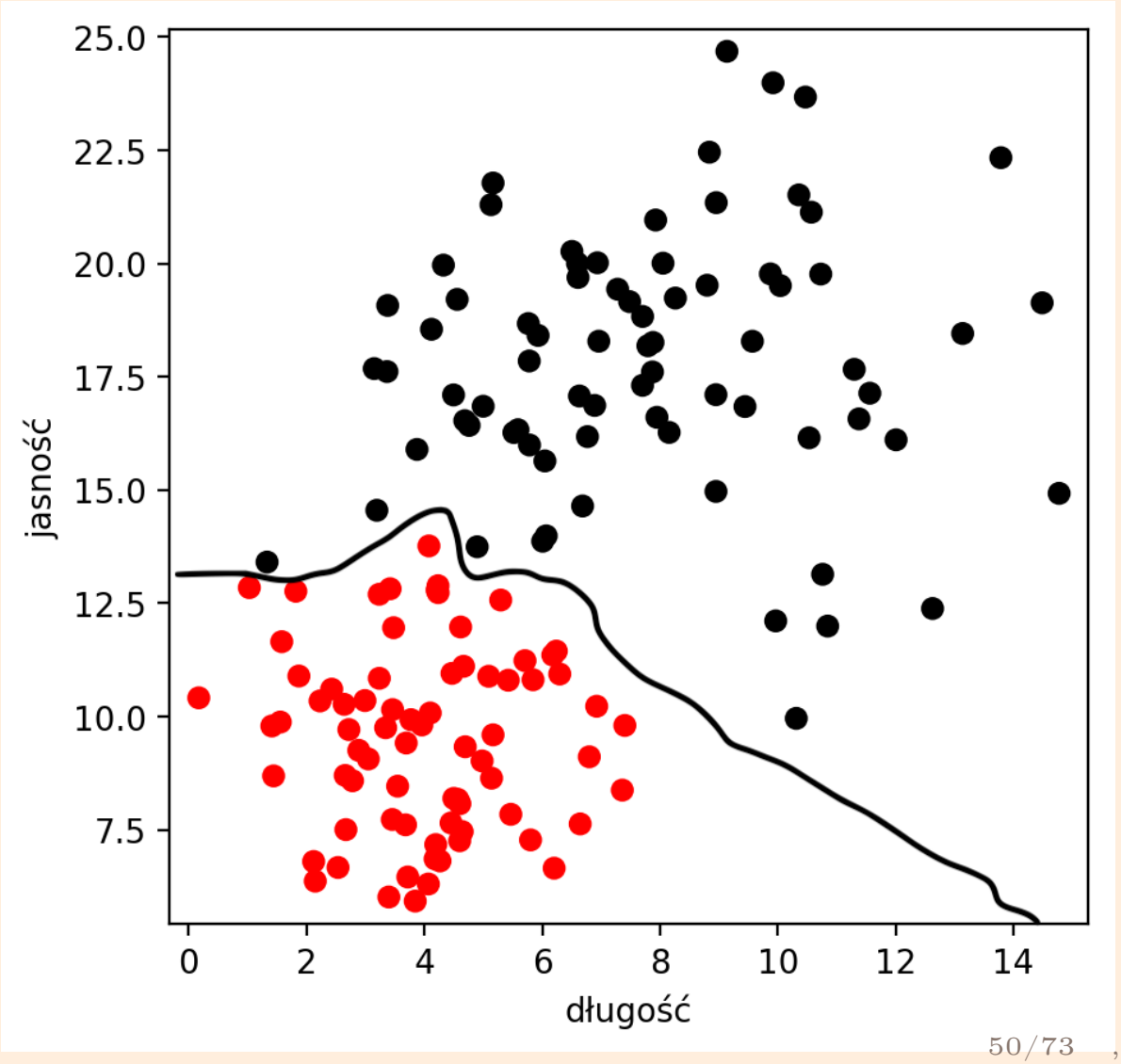
# Przykład rozpoznawania

- W naszym przykładzie celem jest znalezienie sposobu podziału przestrzeni cech na dwa obszary.
- Podział ten następuje w wyniku np. generalizacji na podstawie zbioru uczącego.
- Z reguły przyjmujemy pewne założenia co do płaszczyzny rozdzielającej, co jest związane przede wszystkim z kosztem skonstruowania klasyfikatora.



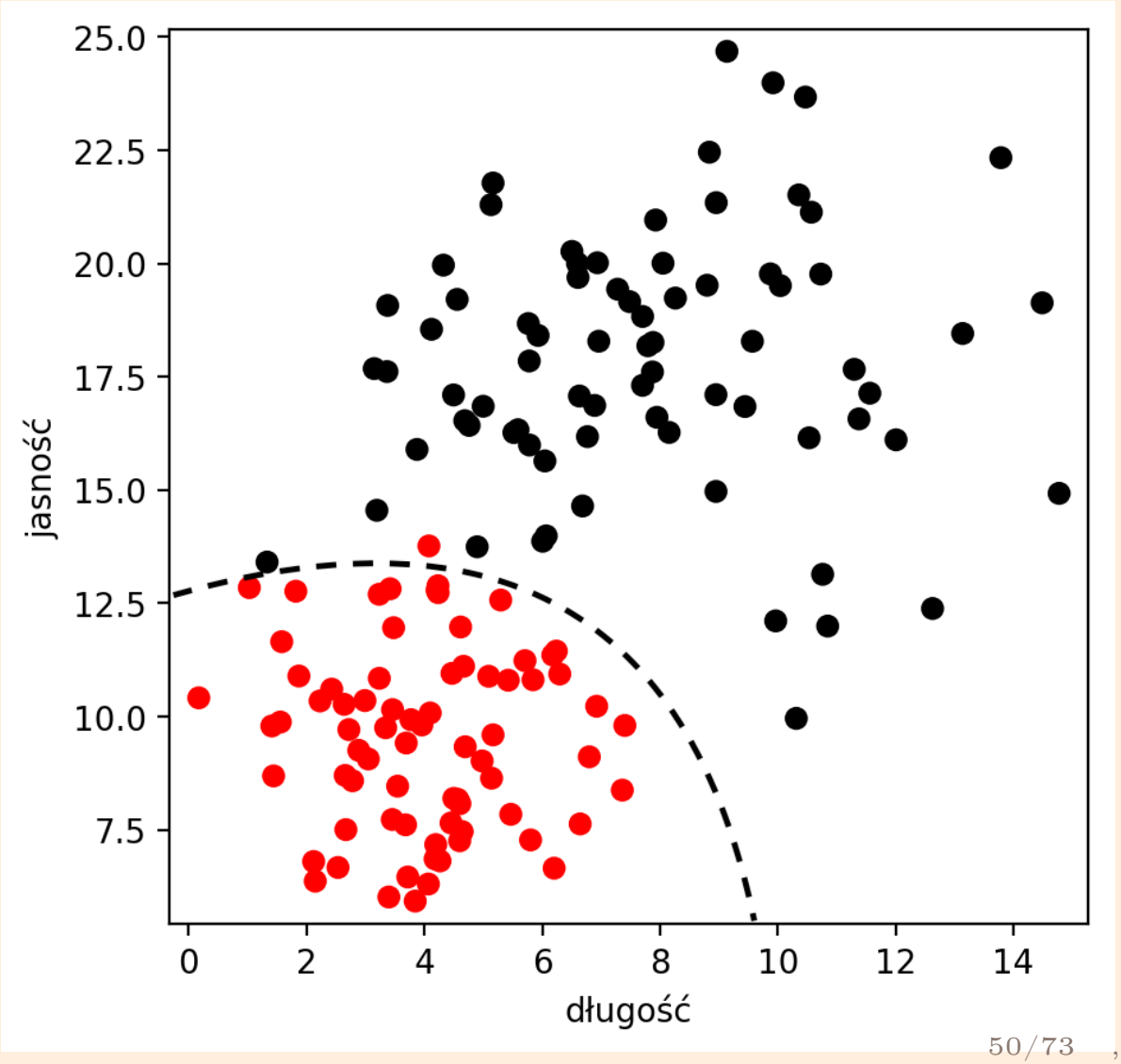
# Przykład rozpoznawania

- W naszym przykładzie celem jest znalezienie sposobu podziału przestrzeni cech na dwa obszary.
- Podział ten następuje w wyniku np. generalizacji na podstawie zbioru uczącego.
- Z reguły przyjmujemy pewne założenia co do płaszczyzny rozdzielającej, co jest związane przede wszystkim z kosztem skonstruowania klasyfikatora.



# Przykład rozpoznawania

- W naszym przykładzie celem jest znalezienie sposobu podziału przestrzeni cech na dwa obszary.
- Podział ten następuje w wyniku np. generalizacji na podstawie zbioru uczącego.
- Z reguły przyjmujemy pewne założenia co do płaszczyzny rozdzielającej, co jest związane przede wszystkim z kosztem skonstruowania klasyfikatora.



# Konstrukcja klasyfikatora

- Istotnym problemem przy konstruowaniu klasyfikatorów jest odpowiedni wybór zestawu cech, przede wszystkim cech o **dużej mocy różnicującej** dla danego problemu decyzyjnego.

# Konstrukcja klasyfikatora

- Istotnym problemem przy konstruowaniu klasyfikatorów jest odpowiedni wybór zestawu cech, przede wszystkim cech o **dużej mocy różnicującej** dla danego problemu decyzyjnego.
- W wielu wypadkach preferujemy modele problemów decyzyjnych, w których liczba cech jest niewielka, gdyż dzięki temu:

# Konstrukcja klasyfikatora

- Istotnym problemem przy konstruowaniu klasyfikatorów jest odpowiedni wybór zestawu cech, przede wszystkim cech o **dużej mocy różnicującej** dla danego problemu decyzyjnego.
- W wielu wypadkach preferujemy modele problemów decyzyjnych, w których liczba cech jest niewielka, gdyż dzięki temu:
  - powierzchnie rozdzielające mają prostszy kształt,

# Konstrukcja klasyfikatora

- Istotnym problemem przy konstruowaniu klasyfikatorów jest odpowiedni wybór zestawu cech, przede wszystkim cech o **dużej mocy różnicującej** dla danego problemu decyzyjnego.
- W wielu wypadkach preferujemy modele problemów decyzyjnych, w których liczba cech jest niewielka, gdyż dzięki temu:
  - powierzchnie rozdzielające mają prostszy kształt,
  - klasyfikator jest łatwiejszy do wytrenowania.

# Konstrukcja klasyfikatora

- Istotnym problemem przy konstruowaniu klasyfikatorów jest odpowiedni wybór zestawu cech, przede wszystkim cech o **dużej mocy różnicującej** dla danego problemu decyzyjnego.
- W wielu wypadkach preferujemy modele problemów decyzyjnych, w których liczba cech jest niewielka, gdyż dzięki temu:
  - powierzchnie rozdzielające mają prostszy kształt,
  - klasyfikator jest łatwiejszy do wytrenowania.
- Czasami istotnym względem jest późniejszy koszt wytworzenia takiego klasyfikatora.

# Rozpoznawanie — dziedziny skojarzone

- Rozpoznawanie wzorców nie jest zadaniem testowania hipotez, ani też przetwarzaniem obrazów (*ang. image processing*).

# Rozpoznawanie — dziedziny skojarzone

- Rozpoznawanie wzorców nie jest zadaniem testowania hipotez, ani też przetwarzaniem obrazów (*ang. image processing*).
- Związane z nią są:

# Rozpoznawanie — dziedziny skojarzone

- Rozpoznawanie wzorców nie jest zadaniem testowania hipotez, ani też przetwarzaniem obrazów (*ang. image processing*).
- Związane z nią są:
  - redukcja i selekcja cech,

# Rozpoznawanie — dziedziny skojarzone

- Rozpoznawanie wzorców nie jest zadaniem testowania hipotez, ani też przetwarzaniem obrazów (*ang. image processing*).
- Związane z nią są:
  - redukcja i selekcja cech,
  - metody regresji (szukające matematycznego opisu danych),

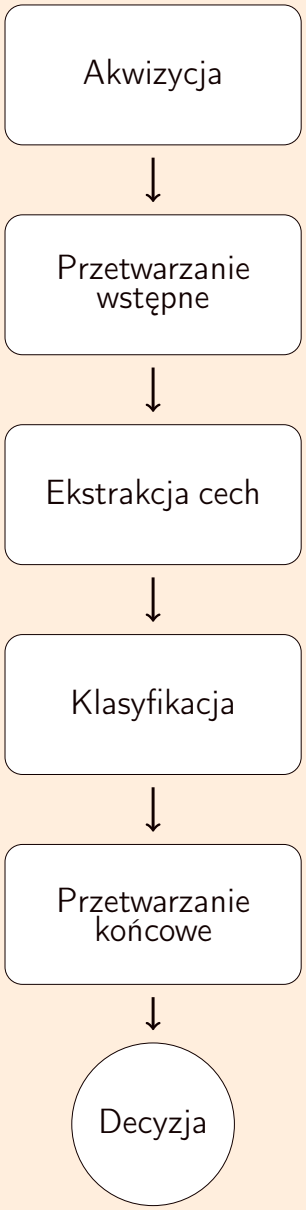
# Rozpoznawanie — dziedziny skojarzone

- Rozpoznawanie wzorców nie jest zadaniem testowania hipotez, ani też przetwarzaniem obrazów (*ang. image processing*).
- Związane z nią są:
  - redukcja i selekcja cech,
  - metody regresji (szukające matematycznego opisu danych),
  - metody interpolacji,

# Rozpoznawanie — dziedziny skojarzone

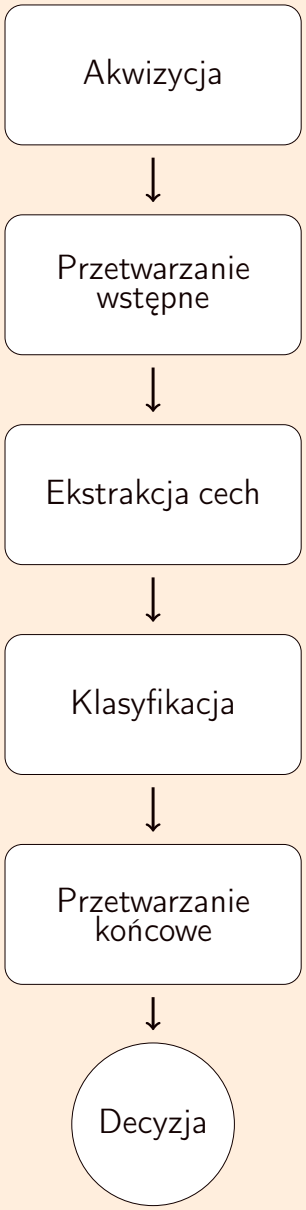
- Rozpoznawanie wzorców nie jest zadaniem testowania hipotez, ani też przetwarzaniem obrazów (*ang. image processing*).
- Związane z nią są:
  - redukcja i selekcja cech,
  - metody regresji (szukające matematycznego opisu danych),
  - metody interpolacji,
  - estymacja gęstości prawdopodobieństwa.

# Budowa systemu rozpoznawania



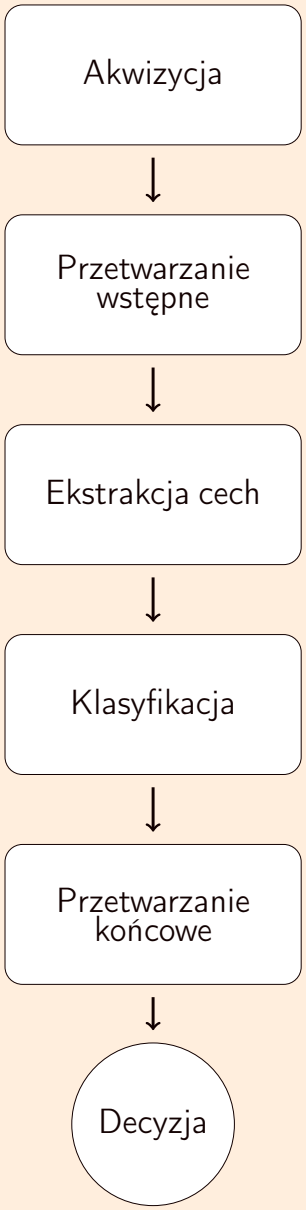

Zależność pomiędzy wyborem cech, a jakością klasyfikacji jest oczywista. Cechy powinny być tanie w pozyskaniu i niepodatne na zakłócenia. W wielu wypadkach, oprócz wyboru odpowiednich atrybutów, dokonuje się procesu zmniejszenia rozmiaru przestrzeni cech (*ang. feature reduction*).

# Budowa systemu rozpoznawania




Decyzja o przynależności obiektu do danej klasy z reguły nie jest podejmowana ze stuprocentową pewnością. W trakcie podejmowania decyzji zdarza się także, że nie wszystkie wartości atrybutów są nam dostępne, np. w omawianym przykładzie może się zdarzyć, że nie możemy określić długości rozpoznawanego obiektu, gdyż jest on częściowo przykryty przez inny obiekt. Pojawia się problem *„jak podjąć decyzję"* (ale także jak się uczyć) na podstawie niekompletnie opisanych obiektów.

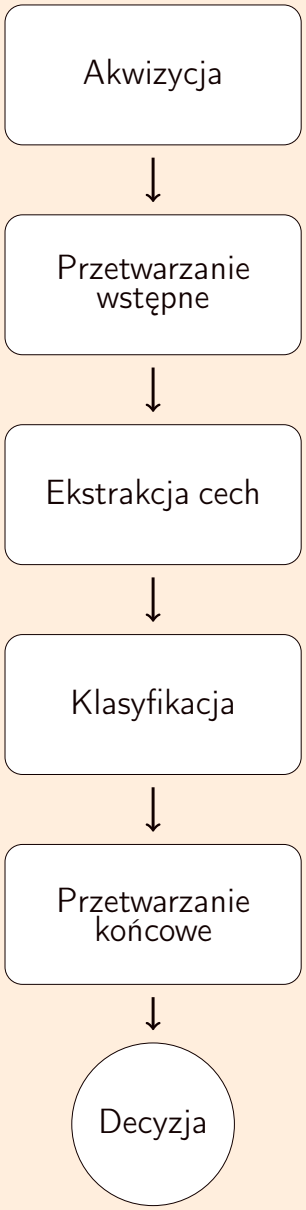
# Budowa systemu rozpoznawania




Po skonstruowaniu klasyfikatora należy określić jego **jakość** poprzez oszacowanie popełnianego przez niego **błędu**. Należy pamiętać o właściwym zaplanowaniu eksperymentu. Czasami nie interesuje nas globalny błąd, a błąd popełniany w poszczególnych klasach. Wiąże się to najczęściej z faktem, że błędna decyzja o przynależności obiektów do różnych klas obarczona jest różnym kosztem.

Można także zastanowić się nad problemem polepszenia jakości decyzji. Jednym z ważnych nurtów badań są tzw. **multiklasyfikatory** (klasyfikatory kombinowane) oraz metody **boostingu** oraz **baggingu**.

# Budowa systemu rozpoznawania




Istotnymi problemami są także **złożoność obliczeniowa** oraz problem **przeuczania się klasyfikatorów** (*ang. overfitting*).