

Maszyna Turinga

Piotr Fulmański

`piotr@fulmanski.pl`

30 maja 2018

- 1 Jak człowiek postrzega informacje
- 2 Czym myśli komputer
- 3 Procesor
- 4 Do czego można wykorzystać współczesny „komputer”
- 5 Maszyna Turinga

Jak człowiek postrzega informacje

Oblicz:

$$18 + 5 = \underline{\quad} \quad 2 + 9 = \underline{\quad}$$

$$3 + 4 = \underline{\quad} \quad 14 - 5 = \underline{\quad}$$

Chcesz

$$34 + 5 = \underline{\quad}$$

$$2 + 9 = \underline{\quad}$$

$$3 + 4 = \underline{\quad}$$

$$34 - 5 = \underline{\quad}$$

Oblicz:

$$34 + 5 = \underline{\quad}$$

$$2 + 9 = \underline{\quad}$$

$$3 + 4 = \underline{\quad}$$

$$34 - 5 = \underline{\quad}$$

Chcesz

$$18 + 5 = \underline{\quad}$$

$$2 + 9 = \underline{\quad}$$

$$3 + 4 = \underline{\quad}$$

$$14 - 5 = \underline{\quad}$$

Równoważność informacji

Przypadek strony tekstu

Chcesz

$$3 + 5 = \underline{\quad}$$

$$2 + 9 = \underline{\quad}$$

$$3 + 4 = \underline{\quad}$$

$$3 + 5 = \underline{\quad}$$

Równoważność informacji

Przypadek strony tekstu

Chwila

$$34 + 5 = \underline{\quad}$$

$$2 + 9 = \underline{\quad}$$

$$3 + 4 = \underline{\quad}$$

$$34 - 5 = \underline{\quad}$$

Różnice?

Równoważność informacji

Przypadek taśmy z tekstem

Oblicz: $18 + 5 = \underline{\quad}$ $3 + 4 = \underline{\quad}$ $2 + 9 = \underline{\quad}$ $15 - 5 = \underline{\quad}$

Równoważność informacji

Przypadek taśmy z tekstem

Oblicz: $18 + 5 = \underline{\quad}$ $3 + 4 = \underline{\quad}$ $2 + 9 = \underline{\quad}$ $15 - 5 = \underline{\quad}$

Równoważność informacji

Przypadek taśmy z tekstem

Oblicz: $10 + 5 = \underline{\quad}$ $3 + 4 = \underline{\quad}$ $2 + 9 = \underline{\quad}$ $15 - 5 = \underline{\quad}$

Równoważność informacji

Przypadek taśmy z tekstem

Oblicz: $18 + 5 = \underline{\quad}$ $3 + 4 = \underline{\quad}$ $2 + 9 = \underline{\quad}$ $15 - 5 = \underline{\quad}$

Równoważność informacji

Przypadek taśmy z tekstem

Oblicz: $18 + 5 = \underline{\quad}$ $3 + 4 = \underline{\quad}$ $2 + 9 = \underline{\quad}$ $15 - 5 = \underline{\quad}$

Równoważność informacji

Przypadek taśmy z tekstem

Oblicz: $18 + 5 = \underline{\quad}$ $3 + 4 = \underline{\quad}$ $2 + 9 = \underline{\quad}$ $15 - 5 = \underline{\quad}$

Różnice?

Równoważność informacji

Przypadek taśmy z okienkiem na znak tekstu

Oblicz: $18 + 5 = \underline{\quad}$ $3 + 4 = \underline{\quad}$ $2 + 9 = \underline{\quad}$ $15 - 5 = \underline{\quad}$

Równoważność informacji

Przypadek taśmy z okienkiem na znak tekstu

Oblicz: $18 + 5 = \underline{\hspace{1cm}}$ $3 + 4 = \underline{\hspace{1cm}}$ $2 + 9 = \underline{\hspace{1cm}}$ $15 - 5 = \underline{\hspace{1cm}}$

Równoważność informacji

Przypadek taśmy z okienkiem na znak tekstu

Odczyt: $10 + 5 = \underline{\quad}$ $3 + 4 = \underline{\quad}$ $2 + 9 = \underline{\quad}$ $15 - 5 = \underline{\quad}$

Równoważność informacji

Przypadek taśmy z okienkiem na znak tekstu

Oblicz: $18 + 5 = \underline{\quad}$ $3 + 4 = \underline{\quad}$ $2 + 9 = \underline{\quad}$ $15 - 5 = \underline{\quad}$

Równoważność informacji

Przypadek taśmy z okienkiem na znak tekstu

Oblicz: $18 + 5 = \underline{\quad}$ $3 + 4 = \underline{\quad}$ $2 + 9 = \underline{\quad}$ $15 - 5 = \underline{\quad}$

Równoważność informacji

Przypadek taśmy z okienkiem na znak tekstu

Oblicz: $18 + 5 = \underline{\quad}$ $3 + 4 = \underline{\quad}$ $2 + 9 = \underline{\quad}$ $15 - 5 = \underline{\quad}$

Równoważność informacji

Przypadek taśmy z okienkiem na znak tekstu

Oblicz: $18 + 5 = \underline{\quad}$ $3 + 4 = \underline{\quad}$ $2 + 9 = \underline{\quad}$ $15 - 5 = \underline{\quad}$

Równoważność informacji

Przypadek taśmy z okienkiem na znak tekstu

Oblicz: $18 + 5 = \underline{\quad}$ $3 + 4 = \underline{\quad}$ $2 + 9 = \underline{\quad}$ $15 - 5 = \underline{\quad}$

Równoważność informacji

Przypadek taśmy z okienkiem na znak tekstu

Oblicz: $18 + 5 = \underline{\quad}$ $3 + 4 = \underline{\quad}$ $2 + 9 = \underline{\quad}$ $15 - 5 = \underline{\quad}$

Różnice?

- Najprawdopodobniej stwierdzamy różnice w komforcie lub szybkości pobierania informacji, ale nie w samej informacji.
- Czy we wszystkich przypadkach udało się nam wykonać takie same działania?
- Kartka nie zawiera bogatszej informacji niż taśma. Inaczej mówiąc, „moc” przekazywania informacji w każdym przypadku jest taka sama.
- I wcale nie są tylko rozważania czysto teoretyczne.

- Najprawdopodobniej stwierdzamy różnice w komforcie lub szybkości pobierania informacji, ale nie w samej informacji.
- Czy we wszystkich przypadkach udało się nam wykonać takie same działania?
- Kartka nie zawiera bogatszej informacji niż taśma. Inaczej mówiąc, „moc” przekazywania informacji w każdym przypadku jest taka sama.
- I wcale nie są tylko rozważania czysto teoretyczne.

Równoważność informacji

- Najprawdopodobniej stwierdzamy różnice w komforcie lub szybkości pobierania informacji, ale nie w samej informacji.
- Czy we wszystkich przypadkach udało się nam wykonać takie same działania?
- Kartka nie zawiera bogatszej informacji niż taśma. Inaczej mówiąc, „moc” przekazywania informacji w każdym przypadku jest taka sama.
- I wcale nie są tylko rozważania czysto teoretyczne.

- Najprawdopodobniej stwierdzamy różnice w komforcie lub szybkości pobierania informacji, ale nie w samej informacji.
- Czy we wszystkich przypadkach udało się nam wykonać takie same działania?
- Kartka nie zawiera bogatszej informacji niż taśma. Inaczej mówiąc, „moc” przekazywania informacji w każdym przypadku jest taka sama.
- I wcale nie są tylko rozważania czysto teoretyczne.

Równoważność informacji

Przykłady z życia wzięte

$$\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (y_i - o_i)^2$$

$\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (y_i - o_i)^2$

W tym przypadku informacja przedstawiona „przestrzennie” równoważna jest informacji o charakterze liniowym.

$$\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (y_i - o_i)^2$$

$\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (y_i - o_i)^2$

W tym przypadku informacja przedstawiona „przestrzennie” równoważna jest informacji o charakterze liniowym.

$$\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (y_i - o_i)^2$$

$$\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (y_i - o_i)^2$$

W tym przypadku informacja przedstawiona „przestrzennie” równoważna jest informacji o charakterze liniowym.

Równoważność informacji

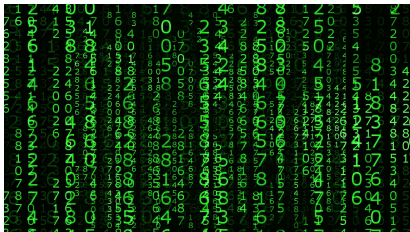
Przykłady z życia wzięte



Źródło: <https://depts.washington.edu/nwcenter/lessonplans/the-matrix/>

Równoważność informacji

Przykłady z życia wzięte



Źródło: <https://depts.washington.edu/nwcenter/lessonplans/the-matrix/>

- Czy to Matrix?
- Tak.
- Po co patrzysz na te kody?
- Muszę. Dekodery tworzą programy dla konstruktora, ale żeby włamać się do Matrixa, trzeba wiedzieć więcej. Przywykniesz. **Ja już nie widzę kodu, tylko: blondynki, brunetki, rude.**

Rozmowa Neo z Cypherem¹.

¹<http://cyberpunk.e-spin.pl/83,4/0/NULL/MATRIX-trylogia--podsumowanie,192.html>

Czym myśli komputer

- Procesor (ang. *central processing unit*, *CPU*) jest tą częścią komputera, która przetwarza instrukcje zapisane w programie komputerowym.
- Procesor generuje sygnały sterujące innymi podzespołami komputera na tej samej zasadzie, jak mózg generuje sygnały sterujące naszym ciałem.
- Procesor jest urządzeniem elektronicznym, którego głównym zadaniem jest przetwarzanie listy rzeczy do zrobienia nazywanych *instrukcjami*. Procesor czyta instrukcje a następnie je wykonuje upewniwszy się wcześniej, że są one możliwe do wykonania przez niego.
- Lista rzeczy do zrobienia nazywa się *programem*.
- W większości współczesnych procesorów wykonanie instrukcji możliwe jest dzięki współpracy pomiędzy wyspecjalizowanymi podzespołami: *jednostką sterującą*, *jednostką wykonawczą*, *rejestrami*, *pamięcią*, *układami wejścia / wyjścia*.

- Procesor (ang. *central processing unit*, *CPU*) jest tą częścią komputera, która przetwarza instrukcje zapisane w programie komputerowym.
- Procesor generuje sygnały sterujące innymi podzespołami komputera na tej samej zasadzie, jak mózg generuje sygnały sterujące naszym ciałem.
- Procesor jest urządzeniem elektronicznym, którego głównym zadaniem jest przetwarzanie listy rzeczy do zrobienia nazywanych *instrukcjami*. Procesor czyta instrukcje a następnie je wykonuje upewniwszy się wcześniej, że są one możliwe do wykonania przez niego.
- Lista rzeczy do zrobienia nazywa się *programem*.
- W większości współczesnych procesorów wykonanie instrukcji możliwe jest dzięki współpracy pomiędzy wyspecjalizowanymi podzespołami: *jednostką sterującą*, *jednostką wykonawczą*, *rejestrami*, *pamięcią*, *układami wejścia / wyjścia*.

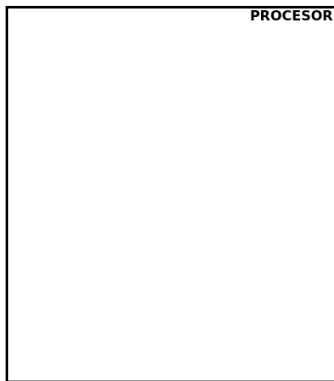
- Procesor (ang. *central processing unit*, *CPU*) jest tą częścią komputera, która przetwarza instrukcje zapisane w programie komputerowym.
- Procesor generuje sygnały sterujące innymi podzespołami komputera na tej samej zasadzie, jak mózg generuje sygnały sterujące naszym ciałem.
- Procesor jest urządzeniem elektronicznym, którego głównym zadaniem jest przetwarzanie listy rzeczy do zrobienia nazywanych *instrukcjami*. Procesor czyta instrukcje a następnie je wykonuje upewniwszy się wcześniej, że są one możliwe do wykonania przez niego.
- Lista rzeczy do zrobienia nazywa się *programem*.
- W większości współczesnych procesorów wykonanie instrukcji możliwe jest dzięki współpracy pomiędzy wyspecjalizowanymi podzespołami: *jednostką sterującą, jednostką wykonawczą, rejestrami, pamięcią, układami wejścia / wyjścia*.

- Procesor (ang. *central processing unit*, *CPU*) jest tą częścią komputera, która przetwarza instrukcje zapisane w programie komputerowym.
- Procesor generuje sygnały sterujące innymi podzespołami komputera na tej samej zasadzie, jak mózg generuje sygnały sterujące naszym ciałem.
- Procesor jest urządzeniem elektronicznym, którego głównym zadaniem jest przetwarzanie listy rzeczy do zrobienia nazywanych *instrukcjami*. Procesor czyta instrukcje a następnie je wykonuje upewniwszy się wcześniej, że są one możliwe do wykonania przez niego.
- Lista rzeczy do zrobienia nazywa się *programem*.
- W większości współczesnych procesorów wykonanie instrukcji możliwe jest dzięki współpracy pomiędzy wyspecjalizowanymi podzespołami: *jednostką sterującą, jednostką wykonawczą, rejestrami, pamięcią, układami wejścia / wyjścia*.

- Procesor (ang. *central processing unit*, *CPU*) jest tą częścią komputera, która przetwarza instrukcje zapisane w programie komputerowym.
- Procesor generuje sygnały sterujące innymi podzespołami komputera na tej samej zasadzie, jak mózg generuje sygnały sterujące naszym ciałem.
- Procesor jest urządzeniem elektronicznym, którego głównym zadaniem jest przetwarzanie listy rzeczy do zrobienia nazywanych *instrukcjami*. Procesor czyta instrukcje a następnie je wykonuje upewniwszy się wcześniej, że są one możliwe do wykonania przez niego.
- Lista rzeczy do zrobienia nazywa się *programem*.
- W większości współczesnych procesorów wykonanie instrukcji możliwe jest dzięki współpracy pomiędzy wyspecjalizowanymi podzespołami: *jednostką sterującą*, *jednostką wykonawczą*, *rejestrami*, *pamięcią*, *układami wejścia / wyjścia*.

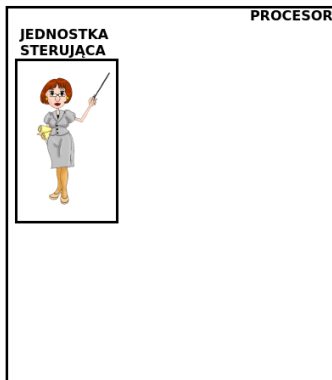
Procesor

Budowa i zasada działania



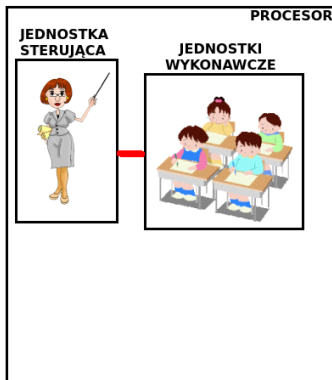
Procesor

Budowa i zasada działania



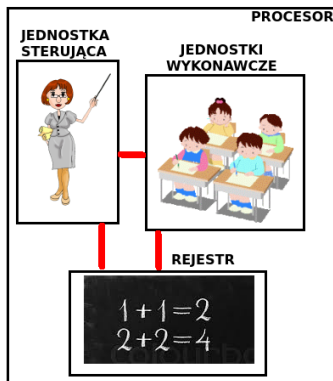
Procesor

Budowa i zasada działania



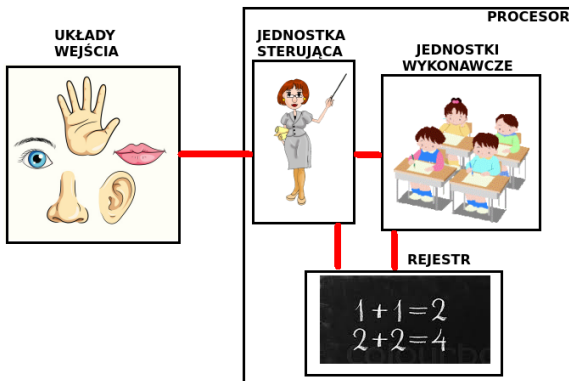
Procesor

Budowa i zasada działania



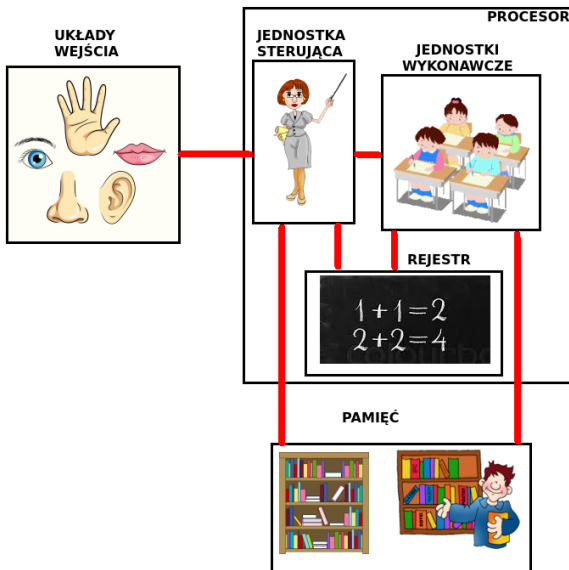
Procesor

Budowa i zasada działania



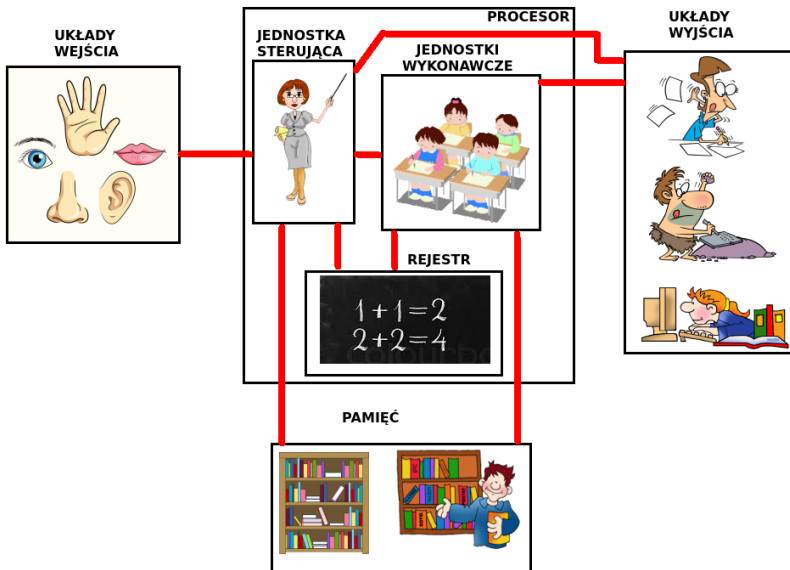
Procesor

Budowa i zasada działania



Procesor

Budowa i zasada działania



W funkcjonalnej strukturze procesora można wyróżnić:

- zespół rejestrów do przechowywania tymczasowych danych i wyników (odpowiednik tablicy szkolnej);
- jednostkę arytmetyczną (wykonawczą) do wykonywania operacji na danych (uczniowie);
- układ sterujący przebiegiem wykonywania programu (nauczyciel);
- pamięć (półka z książkami);
- układy wejścia / wyjścia (książka, słuch, węch, smak / zeszyt, rysunek);
- inne układy, w które producent wyposaża procesor w celu usprawnienia jego pracy.

W funkcjonalnej strukturze procesora można wyróżnić:

- zespół rejestrów do przechowywania tymczasowych danych i wyników (odpowiednik tablicy szkolnej);
- jednostkę arytmetyczną (wykonawczą) do wykonywania operacji na danych (uczniowie);
- układ sterujący przebiegiem wykonywania programu (nauczyciel);
- pamięć (półka z książkami);
- układy wejścia / wyjścia (książka, słuch, węch, smak / zeszyt, rysunek);
- inne układy, w które producent wyposaża procesor w celu usprawnienia jego pracy.

W funkcjonalnej strukturze procesora można wyróżnić:

- zespół rejestrów do przechowywania tymczasowych danych i wyników (odpowiednik tablicy szkolnej);
- jednostkę arytmetyczną (wykonawczą) do wykonywania operacji na danych (uczniowie);
- układ sterujący przebiegiem wykonywania programu (nauczyciel);
- pamięć (półka z książkami);
- układy wejścia / wyjścia (książka, słuch, węch, smak / zeszyt, rysunek);
- inne układy, w które producent wyposaża procesor w celu usprawnienia jego pracy.

W funkcjonalnej strukturze procesora można wyróżnić:

- zespół rejestrów do przechowywania tymczasowych danych i wyników (odpowiednik tablicy szkolnej);
- jednostkę arytmetyczną (wykonawczą) do wykonywania operacji na danych (uczniowie);
- układ sterujący przebiegiem wykonywania programu (nauczyciel);
- pamięć (półka z książkami);
- układy wejścia / wyjścia (książka, słuch, węch, smak / zeszyt, rysunek);
- inne układy, w które producent wyposaża procesor w celu usprawnienia jego pracy.

W funkcjonalnej strukturze procesora można wyróżnić:

- zespół rejestrów do przechowywania tymczasowych danych i wyników (odpowiednik tablicy szkolnej);
- jednostkę arytmetyczną (wykonawczą) do wykonywania operacji na danych (uczniowie);
- układ sterujący przebiegiem wykonywania programu (nauczyciel);
- pamięć (półka z książkami);
- układy wejścia / wyjścia (książka, słuch, węch, smak / zeszyt, rysunek);
- inne układy, w które producent wyposaża procesor w celu usprawnienia jego pracy.

W funkcjonalnej strukturze procesora można wyróżnić:

- zespół rejestrów do przechowywania tymczasowych danych i wyników (odpowiednik tablicy szkolnej);
- jednostkę arytmetyczną (wykonawczą) do wykonywania operacji na danych (uczniowie);
- układ sterujący przebiegiem wykonywania programu (nauczyciel);
- pamięć (półka z książkami);
- układy wejścia / wyjścia (książka, słuch, węch, smak / zeszyt, rysunek);
- inne układy, w które producent wyposaża procesor w celu usprawnienia jego pracy.

Procesor, CPU (ang. *central processing unit*) – **sekwencyjne** urządzenie cyfrowe, które

- pobiera dane z pamięci,
- interpretuje je i wykonuje jako rozkazy.

Wykonuje on ciąg prostych operacji wybranych ze zbioru operacji podstawowych określonych zazwyczaj przez producenta procesora jako lista rozkazów procesora.²

²<https://pl.wikipedia.org/wiki/Procesor>

Procesor, CPU (ang. *central processing unit*) – **sekwencyjne** urządzenie cyfrowe, które

- pobiera dane z pamięci,
- interpretuje je i wykonuje jako rozkazy.

Wykonuje on ciąg prostych operacji wybranych ze zbioru operacji podstawowych określonych zazwyczaj przez producenta procesora jako lista rozkazów procesora.²

²<https://pl.wikipedia.org/wiki/Procesor>

Procesor, CPU (ang. *central processing unit*) – **sekwencyjne** urządzenie cyfrowe, które

- pobiera dane z pamięci,
- interpretuje je i wykonuje jako rozkazy.

Wykonuje on ciąg prostych operacji wybranych ze zbioru operacji podstawowych określonych zazwyczaj przez producenta procesora jako lista rozkazów procesora.²

²<https://pl.wikipedia.org/wiki/Procesor>

Procesor, CPU (ang. *central processing unit*) – **sekwencyjne** urządzenie cyfrowe, które

- pobiera dane z pamięci,
- interpretuje je i wykonuje jako rozkazy.

Wykonuje on ciąg prostych operacji wybranych ze zbioru operacji podstawowych określonych zazwyczaj przez producenta procesora jako lista rozkazów procesora.²

²<https://pl.wikipedia.org/wiki/Procesor>

Najprostszy cykl pracy procesora składa się z dwóch faz

- pobrania z pamięci prostego polecenia,
- wykonania polecenia.

Polecenia muszą być proste. Zamiast polecenia: **upiecz ciasto** musimy powiedzieć

- 1 Miękką Kasię utrzyj mikserem z cukrem i cukrem waniliowym na puszystą masę.
- 2 Stopniowo wbijaj jajka, ciągle mieszając.
- 3 Do ubitej masy dodaj przesianą mąkę, mąkę ziemniaczaną i proszek do pieczenia, a następnie wymieszaj.
- 4 Formę do babek z kominkiem wysmaruj Kasią i obsyp mąką, a następnie wypełnij ciastem.
- 5 Piecz około godziny w 180 st. C.

<https://www.przepisy.pl/przepis/babka-piaskowa-889?query=babka-piaskowa>

Polecenia muszą być proste. Zamiast polecenia: **upiecz ciasto** musimy powiedzieć

- ➊ Miękką Kasię utrzyj mikserem z cukrem i cukrem waniliowym na puszystą masę.
- ➋ Stopniowo wbijaj jajka, ciągle mieszając.
- ➌ Do ubitej masy dodaj przesianą mąkę, mąkę ziemniaczaną i proszek do pieczenia, a następnie wymieszaj.
- ➍ Formę do babek z kominkiem wysmaruj Kasią i obsyp mąką, a następnie wypełnij ciastem.
- ➎ Piecz około godziny w 180 st. C.

<https://www.przepisy.pl/przepis/babka-piaskowa-889?query=babka-piaskowa>

A właściwie to nawet jeszcze prościej

❶ Idź do kuchni. W tym celu

- ❶ Postaw lewą nogę do przodu o 20cm.
- ❷ Przenieś ciężar na lewą nogę.
- ❸ Postaw prawą nogę do przodu o 20cm.
- ❹ Przenieś ciężar na prawą nogę.
- ❺ Powtórz 4 poprzednie kroki 20 razy.

❷ Otwórz lodówkę. W tym celu

- ❶ Podnieś lewą rękę na wysokość klatki piersiowej.
- ❷ Złap za uchwyt drzwi od lodówki.
- ❸ Cofnij lewą rękę trzymając uchwytu.

❸ ...

Do czego można wykorzystać
współczesny „komputer”

Do czego można wykorzystać współczesny „komputer”?

Hmmm...„Komputer” może dla nas

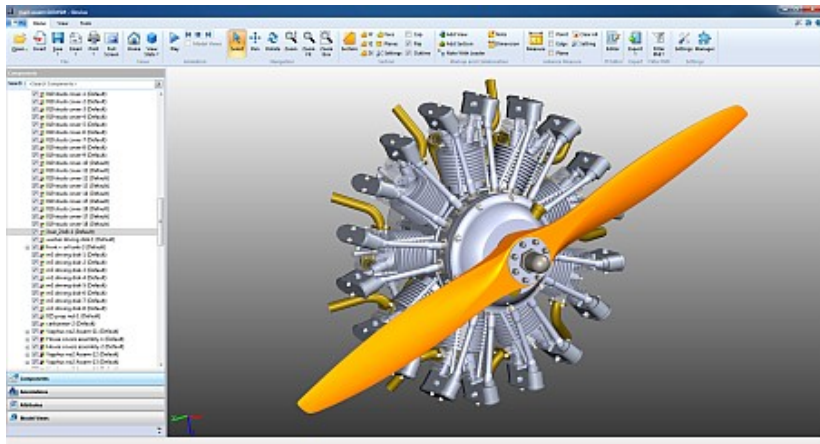
- ...
- ...
- ...



Źródło:

<https://www.techradar.com/news/gaming/10-best-pc-games-the-must-play-titles-you-can-t-afford-to-miss-1292327>

„Komputer”



Źródło: <http://productmfg.com/cad-designing-computer-aided-design/>

„Komputer”



Źródło: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Deep_Blue.jpg



Źródło: https://www.greencarreports.com/news/1090929_gas-mileage-displays-in-cars-accurate-or-optimistic

Microwave ovens use microprocessors to control their operation.



Źródło: <http://slideplayer.com/slide/3944263/>

„Komputer”

Który „komputer” jest „lepsz”?



Który „komputer” jest „lepsz” i dlaczego?

„Komputer”

Który „komputer” jest „lepszy”?

Co oznacza stwierdzenie: *ten komputer potrafi więcej?*

Pewne ograniczenia sprzętowe są naturalne i aby wyrównać szanse umówmy się, że

- każdy „komputer” ma dostęp do pamięci zewnętrznej o rozmiarze wymaganym do rozwiązania zadania,
- zapominamy o upływającym czasie.

Czy teraz, przy tak przyjętych założeniach, potrafimy określić (zmierzyć, obliczyć), który z „komputerów” jest lepszy?

Pewne ograniczenia sprzętowe są naturalne i aby wyrównać szanse umówmy się, że

- każdy „komputer” ma dostęp do pamięci zewnętrznej o rozmiarze wymaganym do rozwiązania zadania,
- zapominamy o upływającym czasie.

Czy teraz, przy tak przyjętych założeniach, potrafimy określić (zmierzyć, obliczyć), który z „komputerów” jest lepszy?

Pewne ograniczenia sprzętowe są naturalne i aby wyrównać szanse umówmy się, że

- każdy „komputer” ma dostęp do pamięci zewnętrznej o rozmiarze wymaganym do rozwiązania zadania,
- zapominamy o upływającym czasie.

Czy teraz, przy tak przyjętych założeniach, potrafimy określić (zmierzyć, obliczyć), który z „komputerów” jest lepszy?

Pewne ograniczenia sprzętowe są naturalne i aby wyrównać szanse umówmy się, że

- każdy „komputer” ma dostęp do pamięci zewnętrznej o rozmiarze wymaganym do rozwiązania zadania,
- zapominamy o upływającym czasie.

Czy teraz, przy tak przyjętych założeniach, potrafimy określić (zmierzyć, obliczyć), który z „komputerów” jest lepszy?

Maszyna Turinga

Istota postrzegania informacji przez człowieka

- Forma przekazu, rozumiana jako sposób rozmieszczenia symboli, ma wpływ jedynie na komfort lub szybkość pobierania informacji, ale nie na nią samą.

Istota działania procesora

- Pobiera dane z pamięci.
- Interpretuje część danych jako **rozказы** podlegające wykonaniu a część jako **argumenty** dla tychże rozkazów.
- Rozkazy to proste, elementarne, operacje.

Podsumowując:

procesor, w ściśle określony i całkowicie zautomatyzowany (bezmyślny) sposób, manipuluje symbolami bez wnikania w to, co sobą reprezentują.

Elementy modelu

Maszyna Turinga składa się z:

- **taśmy;**
- **głowicy;**
- **stanów;**
- **funkcji przejścia** (lub **tablicy przejść**).

Elementy modelu – taśma

- **Taśma** podzielona jest na przylegające do siebie **komórki**.
- Każda komórka zawiera jeden symbol (obiekt) z pewnego **skończonego alfabetu**. Alfabet zawiera zawsze co najmniej **symbol pusty** i **symbol końcowy** oraz opcjonalnie inne symbole.
- Taśma jest nieskończona. Oznacza to, że maszyna Turinga zawsze ma dostępnej tyle pamięci ile potrzebuje.

Elementy modelu – głowica

Głowica odczytuje i zapisuje symbole (obiekty) z taśmy (za jednym razem tylko z jednej komórki), oraz powoduje przemieszczanie taśmy w lewą stronę, prawą lub pozostawia ją nieprzemieszczoną. W niektórych elementem ruchomym jest głowica (to ona przesuwa się nad nieruchomą taśmą).

Przed rozpoczęciem pracy maszyny Turinga głowica jest zawsze ustawiana nad komórką taśmy zawierającą pierwszy symbol do przetworzenia.

Elementy modelu – stany

Stany opisują stany w jakich może znaleźć się maszyna Turinga – każdy stan utożsamiać można z wynikiem pewnej operacji, np. wypisanie czegoś na ekran, reakcja na naciśnięcie przycisku itp. Ilość wszystkich stanów jest skończona i istnieje jeden specjalny stan – **stan początkowy** – od którego rozpoczynamy analizę działania maszyny.

Elementy modelu – funkcja przejścia

Funkcja przejścia, określa, że będąc w pewnym stanie i odczytując pewien symbol powinniśmy:

- zapisać (albo nie) jakiś symbol w aktualnie odczytywanej komórce,
- przesunąć głowicę^a (w lewo – 'L', w prawo – 'R', pozostawić na miejscu – '_'),
- wskazać stan w jakim maszyna powinna się znaleźć (może to być ten sam stan).

W niektórych modelach w przypadku natrafienia na nieistniejącą kombinację (`stan`, `odczytany_symbol`) maszyna zatrzymuje się, w innych wymaga się określenia wszystkich możliwych kombinacji.

^aW naszych rozważaniach będziemy przesuwac głowicę zamiast taśmy ze względu na czytelniejszą postać otrzymywanych przykładów.

Elementy modelu – jak to działa?

Idea maszyny Turinga bazuje na **sekwencyjności elementarnych operacji polegających na zmianie według precyzyjnie i dobrze określonych reguł zawartości nieskończonej taśmy papieru „komórka po komórce”**.

Elementy modelu – jak to działa?

Opis postępowania jest bardzo prosty i sprowadza się do formuł postaci

„Jeśli jesteś w stanie X i odczytanym symbolem jest Y to zapisz symbol Z , przesunij się o jedną komórkę w prawo i przejdź do stanu (przyjmij, że jesteś w stanie) A .”

Maszyna Turinga – formalna definicja

Formalna definicja:

$$M = (Q, \Sigma, \delta, s),$$

gdzie:

- Q – skończony niepusty zbiór **stanów**;
- Σ – skończony niepusty zbiór dopuszczalnych **symboli taśmowych**, zwany również **alfabetem**; Zbiór ten musi zawierać co najmniej dwa specjalne symbole: $\sqcup$ (**symbol pusty**) i $\triangleright$ (**symbol końcowy**);
- δ – **funkcja następnego ruchu** (nazywana także **diagramem** lub **tablicą przejść**), która jest odwzorowaniem ze zbioru $\delta : Q \times \Sigma$ w zbiór $(Q \cup \{k, t, n\} \times \Sigma) \times \{\leftarrow, \rightarrow, -\}$,^a gdzie: k – **stan końcowy**, t – **stan akceptujący**, n – **stan odrzucający**, zaś $\leftarrow, \rightarrow, -$ oznaczają ruch głowicy odpowiednio w lewo, w prawo oraz pozostanie w miejscu; symbole $\leftarrow, \rightarrow, -$ nie należą do zbioru Q .
- s – **stan początkowy** (wyróżniony stan należący do zbioru Q).

^aFunkcja δ może nie być określona dla wszystkich argumentów.

Maszyna Turinga

Funkcja przejścia – sposób zapisu (1)

Funkcja przejścia może być zapisana w postaci tabeli postaci

Bieżący stan	Bieżący symbol	Następny stan	Następny symbol	Ruch głowicy
...	...	...	...	...

gdzie wiersz po wierszu opisujemy reakcje maszyny pod wpływem napotkania kreślonych kombinacji stanu i symbolu na wejściu.

Maszyna Turinga

Funkcja przejścia – sposób zapisu (1)

Inną możliwością jest przedstawienie funkcji przejścia w postaci macierzy, gdzie kolumny odpowiadają stanom a wiersze symbolom odczytywanym z taśmy

	Stan 1	Stan 2	...	Stan N
Symbol 1	...	Następn stan		
Następny symbol				
Ruch głowicy	...	...		
...	...	...	...	...
Symbol M	...	...	...	...

Maszyna Turinga

Przykład: zamiana 0 na 1 i 1 na 0

	S	K
0	S; 1; R	END
1	S; 0; R	
$\square$ $\triangleright$?	K; -; -	

Bieżący stan	Taśma	Bieżący symbol
S	?01[1]00?	1

Maszyna Turinga

Przykład: zamiana 0 na 1 i 1 na 0

	S	
1	S; 0; R	

Bieżący stan	Taśma	Bieżący symbol	Nowy stan	Następny symbol	Ruch głowicy
S	?0 1[1]0 0 ?	1	S	0	R
S	?0 1 0[0]0 ?	0	S	1	R
S	?0 1 0 1[0]?	0	S	1	R
S	?0 1 0 1 1[?]	?	K	-	-

Maszyna Turinga

Przykład: zamiana 0 na 1 i 1 na 0

	S	
1	S; 0; R	

Bieżący stan	Taśma	Bieżący symbol	Nowy stan	Następny symbol	Ruch głowicy
S	?0 1[1]0 0 ?	1	S	0	R
S	?0 1 0[0]0 ?	0	S	1	R
S	?0 1 0 1[0]?	0	S	1	R
S	?0 1 0 1 1[?]	?	K	-	-

Maszyna Turinga

Przykład: zamiana 0 na 1 i 1 na 0

	S	
0	S; 1; R	

Bieżący stan	Taśma	Bieżący symbol	Nowy stan	Następny symbol	Ruch głowicy
S	?0 1[1]0 0 ?	1	S	0	R
S	?0 1 0[0]0 ?	0	S	1	R
S	?0 1 0 1[0]?	0	S	1	R
S	?0 1 0 1 1[?]	?	K	-	-

Maszyna Turinga

Przykład: zamiana 0 na 1 i 1 na 0

	S	
0	S; 1; R	

Bieżący stan	Taśma	Bieżący symbol	Nowy stan	Następny symbol	Ruch głowicy
S	?0 1[1]0 0 ?	1	S	0	R
S	?0 1 0[0]0 ?	0	S	1	R
S	?0 1 0 1[0]?	0	S	1	R
S	?0 1 0 1 1[?]	?	K	-	-

Maszyna Turinga

Przykład: zamiana 0 na 1 i 1 na 0

	S	
0	S; 1; R	

Bieżący stan	Taśma	Bieżący symbol	Nowy stan	Następny symbol	Ruch głowicy
S	?0 1[1]0 0 ?	1	S	0	R
S	?0 1 0[0]0 ?	0	S	1	R
S	?0 1 0 1[0]?	0	S	1	R
S	?0 1 0 1 1[?]	?	K	-	-

Maszyna Turinga

Przykład: zamiana 0 na 1 i 1 na 0

	S	
0	S; 1; R	

Bieżący stan	Taśma	Bieżący symbol	Nowy stan	Następny symbol	Ruch głowicy
S	?0 1[1]0 0 ?	1	S	0	R
S	?0 1 0[0]0 ?	0	S	1	R
S	?0 1 0 1[0]?	0	S	1	R
S	?0 1 0 1 1[?]	?	K	-	-

Maszyna Turinga

Przykład: zamiana 0 na 1 i 1 na 0

		K
		END
□ ▷ ?	K; -; -	

Bieżący stan	Taśma	Bieżący symbol	Nowy stan	Następny symbol	Ruch głowicy
S	?0 1[1]0 0 ?	1	S	0	R
S	?0 1 0[0]0 ?	0	S	1	R
S	?0 1 0 1[0]?	0	S	1	R
S	?0 1 0 1 1[?]	?	K	-	-

Maszyna Turinga

Przykład: zamiana 0 na 1 i 1 na 0

		K
		END
□ ▷ ?	K; -; -	

Bieżący stan	Taśma	Bieżący symbol	Nowy stan	Następny symbol	Ruch głowicy
S	?0 1[1]0 0 ?	1	S	0	R
S	?0 1 0[0]0 ?	0	S	1	R
S	?0 1 0 1[0]?	0	S	1	R
S	?0 1 0 1 1[?]	?	K	-	-

Maszyna Turinga

Przykład: przesunięcie bitowe o 1 w lewo

	S	A	B	K
0	A; 0; L	A; 0; L	A; 1; L	END
1	B; 0; L	B; 0; L	B; 1; L	
□ ▷ ?	K; -; -	K; -; -	K; -; -	

Bieżący stan	Taśma	Bieżący symbol
S	? 0 1 1 0[1]?	1

Maszyna Turinga

Przykład: zamiana 0 na 1 i 1 na 0

	S			
1	B; 0; L			

Bieżący stan	Taśma	Bieżący symbol	Nowy stan	Następny symbol	Ruch głowicy
S	? 0 1 1 0[1]?	1	B	0	L
B	? 0 1 1[0]0 ?	0	A	1	L
A	? 0 1[1]1 0 ?	1	B	0	L
B	? 0[1]0 1 0 ?	1	B	1	L
B	?[0]1 0 1 0 ?	0	A	1	L
A	[?]1 1 0 1 0 ?	?	K	-	-

Maszyna Turinga

Przykład: zamiana 0 na 1 i 1 na 0

	S			
1	B; 0; L			

Bieżący stan	Taśma	Bieżący symbol	Nowy stan	Następny symbol	Ruch głowicy
S	? 0 1 1 0[1]?	1	B	0	L
B	? 0 1 1[0]0 ?	0	A	1	L
A	? 0 1[1]1 0 ?	1	B	0	L
B	? 0[1]0 1 0 ?	1	B	1	L
B	?[0]1 0 1 0 ?	0	A	1	L
A	[?]1 1 0 1 0 ?	?	K	-	-

Maszyna Turinga

Przykład: zamiana 0 na 1 i 1 na 0

			B	
0			A; 1; L	

Bieżący stan	Taśma	Bieżący symbol	Nowy stan	Następny symbol	Ruch głowicy
S	? 0 1 1 0[1]?	1	B	0	L
B	? 0 1 1[0]0 ?	0	A	1	L
A	? 0 1[1]1 0 ?	1	B	0	L
B	? 0[1]0 1 0 ?	1	B	1	L
B	?[0]1 0 1 0 ?	0	A	1	L
A	[?]1 1 0 1 0 ?	?	K	-	-

Maszyna Turinga

Przykład: zamiana 0 na 1 i 1 na 0

			B	
0			A; 1; L	

Bieżący stan	Taśma	Bieżący symbol	Nowy stan	Następny symbol	Ruch głowicy
S	? 0 1 1 0[1]?	1	B	0	L
B	? 0 1 1[0]0 ?	0	A	1	L
A	? 0 1[1]1 0 ?	1	B	0	L
B	? 0[1]0 1 0 ?	1	B	1	L
B	?[0]1 0 1 0 ?	0	A	1	L
A	[?]1 1 0 1 0 ?	?	K	-	-

Maszyna Turinga

Przykład: zamiana 0 na 1 i 1 na 0

		A		
1		B; 0; L		

Bieżący stan	Taśma	Bieżący symbol	Nowy stan	Następny symbol	Ruch głowicy
S	? 0 1 1 0[1]?	1	B	0	L
B	? 0 1 1[0]0 ?	0	A	1	L
A	? 0 1[1]1 0 ?	1	B	0	L
B	? 0[1]0 1 0 ?	1	B	1	L
B	?[0]1 0 1 0 ?	0	A	1	L
A	[?]1 1 0 1 0 ?	?	K	-	-

Maszyna Turinga

Przykład: zamiana 0 na 1 i 1 na 0

		A		
1		B; 0; L		

Bieżący stan	Taśma	Bieżący symbol	Nowy stan	Następny symbol	Ruch głowicy
S	? 0 1 1 0[1]?	1	B	0	L
B	? 0 1 1[0]0 ?	0	A	1	L
A	? 0 1[1]1 0 ?	1	B	0	L
B	? 0[1]0 1 0 ?	1	B	1	L
B	?[0]1 0 1 0 ?	0	A	1	L
A	[?]1 1 0 1 0 ?	?	K	-	-

Maszyna Turinga

Przykład: zamiana 0 na 1 i 1 na 0

			B	
1			B; 1; L	

Bieżący stan	Taśma	Bieżący symbol	Nowy stan	Następny symbol	Ruch głowicy
S	? 0 1 1 0[1]?	1	B	0	L
B	? 0 1 1[0]0 ?	0	A	1	L
A	? 0 1[1]1 0 ?	1	B	0	L
B	? 0[1]0 1 0 ?	1	B	1	L
B	?[0]1 0 1 0 ?	0	A	1	L
A	[?]1 1 0 1 0 ?	?	K	-	-

Maszyna Turinga

Przykład: zamiana 0 na 1 i 1 na 0

			B	
1			B; 1; L	

Bieżący stan	Taśma	Bieżący symbol	Nowy stan	Następny symbol	Ruch głowicy
S	? 0 1 1 0[1]?	1	B	0	L
B	? 0 1 1[0]0 ?	0	A	1	L
A	? 0 1[1]1 0 ?	1	B	0	L
B	? 0[1]0 1 0 ?	1	B	1	L
B	?[0]1 0 1 0 ?	0	A	1	L
A	[?]1 1 0 1 0 ?	?	K	-	-

Maszyna Turinga

Przykład: zamiana 0 na 1 i 1 na 0

			B	
0			A; 1; L	

Bieżący stan	Taśma	Bieżący symbol	Nowy stan	Następny symbol	Ruch głowicy
S	? 0 1 1 0[1]?	1	B	0	L
B	? 0 1 1[0]0 ?	0	A	1	L
A	? 0 1[1]1 0 ?	1	B	0	L
B	? 0[1]0 1 0 ?	1	B	1	L
B	?[0]1 0 1 0 ?	0	A	1	L
A	[?]1 1 0 1 0 ?	?	K	-	-

Maszyna Turinga

Przykład: zamiana 0 na 1 i 1 na 0

			B	
0			A; 1; L	

Bieżący stan	Taśma	Bieżący symbol	Nowy stan	Następny symbol	Ruch głowicy
S	? 0 1 1 0[1]?	1	B	0	L
B	? 0 1 1[0]0 ?	0	A	1	L
A	? 0 1[1]1 0 ?	1	B	0	L
B	? 0[1]0 1 0 ?	1	B	1	L
B	?[0]1 0 1 0 ?	0	A	1	L
A	[?]1 1 0 1 0 ?	?	K	-	-

Maszyna Turinga

Przykład: zamiana 0 na 1 i 1 na 0

		A		K
				END
□ ▷ ?		K; -; -		

Bieżący stan	Taśma	Bieżący symbol	Nowy stan	Następny symbol	Ruch głowicy
S	? 0 1 1 0[1]?	1	B	0	L
B	? 0 1 1[0]0 ?	0	A	1	L
A	? 0 1[1]1 0 ?	1	B	0	L
B	? 0[1]0 1 0 ?	1	B	1	L
B	?[0]1 0 1 0 ?	0	A	1	L
A	[?]1 1 0 1 0 ?	?	K	-	-

Maszyna Turinga

Przykład: zamiana 0 na 1 i 1 na 0

		A		K
				END
□ ▷ ?		K; -; -		

Bieżący stan	Taśma	Bieżący symbol	Nowy stan	Następny symbol	Ruch głowicy
S	? 0 1 1 0[1]?	1	B	0	L
B	? 0 1 1[0]0 ?	0	A	1	L
A	? 0 1[1]1 0 ?	1	B	0	L
B	? 0[1]0 1 0 ?	1	B	1	L
B	?[0]1 0 1 0 ?	0	A	1	L
A	[?]1 1 0 1 0 ?	?	K	-	-

- Należy pamiętać, że przedstawiony model jest przede wszystkim **modelem obliczeń**. Raczej nie jest on traktowany jako model procesora (komputera).

- Wszystko jedno jak by konstrukcja maszyny Turinga była złożona³ a ona sama realizowała nie wiadomo jak skomplikowane zadania, to cały problem można sprowadzić do bardzo elementarnych działań – manipulowania symbolami z pewnego ograniczonego alfabetu według ściśle określonych reguł.
- Na ile ten model się stosuje? Właściwie zawsze o czym mówi hipoteza Churcha-Turinga: *„Każdy problem, dla którego przy nieograniczonej pamięci oraz zasobach istnieje efektywny algorytm jego rozwiązywania, da się rozwiązać na maszynie Turinga”*. Hipoteza pozwala dokładniej sformułować pojęcie samego algorytmu, mówiąc jednocześnie, że komputery są w stanie go wykonać.

³Złożona w sensie ilości stanów i definicji funkcji przejścia, bo sama maszyna jest bardzo prosta.

- Wszystko jedno jak by konstrukcja maszyny Turinga była złożona³ a ona sama realizowała nie wiadomo jak skomplikowane zadania, to cały problem można sprowadzić do bardzo elementarnych działań – manipulowania symbolami z pewnego ograniczonego alfabetu według ściśle określonych reguł.
- Na ile ten model się stosuje? Właściwie zawsze o czym mówi hipoteza Churcha-Turinga: *„Każdy problem, dla którego przy nieograniczonej pamięci oraz zasobach istnieje efektywny algorytm jego rozwiązywania, da się rozwiązać na maszynie Turinga”*. Hipoteza pozwala dokładniej sformułować pojęcie samego algorytmu, mówiąc jednocześnie, że komputery są w stanie go wykonać.

³Złożona w sensie ilości stanów i definicji funkcji przejścia, bo sama maszyna jest bardzo prosta.

- W informatyce dowodzi się równoważności wielu różnych wariantów maszyny Turinga. Np. dość łatwo można pokazać, że maszyna Turinga z wieloma taśmami nie różni się istotnie od klasycznej maszyny jednotaśmowej. Również niedeterministyczne maszyny Turinga są równoważne deterministycznym.

W konsekwencji, procesor z wieloma rdzeniami (czy też komputer z wieloma procesorami) nie różni się istotnie od procesora z jednym rdzeniem (komputera z jednym procesorem) jeśli pod uwagę bierzemy zdolność do wykonania zadanego programu.

- W informatyce dowodzi się równoważności wielu różnych wariantów maszyny Turinga. Np. dość łatwo można pokazać, że maszyna Turinga z wieloma taśmami nie różni się istotnie od klasycznej maszyny jednotaśmowej. Również niedeterministyczne maszyny Turinga są równoważne deterministycznym.

W konsekwencji, procesor z wieloma rdzeniami (czy też komputer z wieloma procesorami) nie różni się istotnie od procesora z jednym rdzeniem (komputera z jednym procesorem) jeśli pod uwagę bierzemy zdolność do wykonania zadanego programu.

- Prawdą jest, że *struktury danych + algorytmy = program*. Jednakże należy pamiętać, że struktury danych **ułatwiają** napisanie pewnych algorytmów, ale tego **nie warunkują**. W ostateczności program, bez względu na to z jak zaawansowanych koncepcyjnie i technicznie struktur by nie korzystał i tak tłumaczony jest na ciąg elementarnych instrukcji maszynowych, które nie odbiegają swoją złożonością (na pewnym poziomie abstrakcji) od tego co definiuje funkcja przejścia z maszyny Turinga⁴.
- Wszystko co możemy obliczyć na dowolnym⁵ współczesnym komputerze możemy policzyć także za pomocą maszyny Turinga.

⁴A Turing machine can simulate any type of subroutine found in programming languages, including recursive procedures and any of the known parameter-passing mechanisms (Hopcroft and Ullman p. 157).

⁵Mówimy tutaj o komputerach będących urządzeniami elektronicznymi, używającymi logiki dwuwartościowej.

- Prawdą jest, że *struktury danych + algorytmy = program*. Jednakże należy pamiętać, że struktury danych **ułatwiają** napisanie pewnych algorytmów, ale tego **nie warunkują**. W ostateczności program, bez względu na to z jak zaawansowanych koncepcyjnie i technicznie struktur by nie korzystał i tak tłumaczony jest na ciąg elementarnych instrukcji maszynowych, które nie odbiegają swoją złożonością (na pewnym poziomie abstrakcji) od tego co definiuje funkcja przejścia z maszyny Turinga⁴.
- Wszystko co możemy obliczyć na dowolnym⁵ współczesnym komputerze możemy policzyć także za pomocą maszyny Turinga.

⁴A Turing machine can simulate any type of subroutine found in programming languages, including recursive procedures and any of the known parameter-passing mechanisms (Hopcroft and Ullman p. 157).

⁵Mówimy tutaj o komputerach będących urządzeniami elektronicznymi, używającymi logiki dwuwartościowej.

Wszystko co robią współczesne komputery to beznamienne, bezmyślne, bardzo elementarne manipulowanie symbolami. Realizowane odpowiednio szybko i w przemyślany sposób daje np. wrażenie inteligentnego zachowania / reagowania w określonych sytuacjach. Czy jednak jest to inteligencja? Między innymi na to odpowiedzieć miał test Turinga. To jednak zupełnie inna opowieść...

- Maszyna Turinga

http://eduinf.waw.pl/inf/prg/003_mt/index.php