

Architektura komputerów

Wykład 10 Maszyna Turinga

Wojciech Kordecki

Collegium Witelona
Wydział Nauk Technicznych i Ekonomicznych
Zakład Informatyki

Semestr letni 2023/24



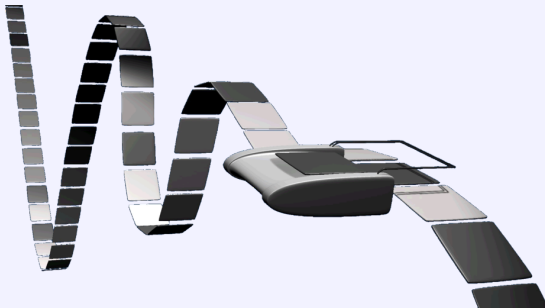
Alan M. Turing

Alan Mathison Turing (ur. 23 czerwca 1912 w Londynie, zm. 7 czerwca 1954 w Wilmslow) – angielski matematyk, kryptolog, twórca pojęcia maszyny Turinga i jeden z twórców informatyki.



Alan M. Turing

Alan Mathison Turing (ur. 23 czerwca 1912 w Londynie, zm. 7 czerwca 1954 w Wilmslow) – angielski matematyk, kryptolog, twórca pojęcia maszyny Turinga i jeden z twórców informatyki.



Wikipedia



Alan M. Turing – historia (1)

Gra tajemnic (ang. *The Imitation Game*, 2014) – amerykański dramat biograficzny z elementami dreszczowca w reżyserii Mortena Tylduma.

Adaptacja biografii Enigma. Życie i śmierć Alana Turinga autorstwa Andrew Hodgesa. Film przedstawia historię życia Alana Turinga, brytyjskiego matematyka i szyfrowca, który opracował urządzenie służące do łamania kodu Enigmy.

Pośrednio umożliwiło to wygranie przez Aliantów II wojny światowej.

Wikipedia



Alan M. Turing – historia (2)

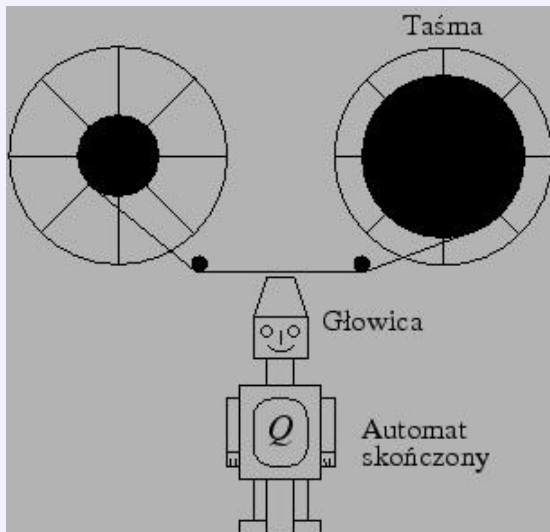
Światowa premiera filmu nastąpiła 29 sierpnia 2014 roku, podczas 41. Telluride Film Festival. Następnie film był prezentowany podczas Międzynarodowych Festiwali w Londynie i Toronto. Polska premiera filmu miała miejsce w ramach Międzynarodowego Festiwalu Sztuki Autorów Zdjęć Filmowych Camerimage w Bydgoszczy dnia 15 listopada 2014.

Do 2011 roku, scenariusz filmu znajdował się na Czarnej Liście Hollywood – liście najlepszych niezrealizowanych dotąd scenariuszy filmowych.

Wikipedia

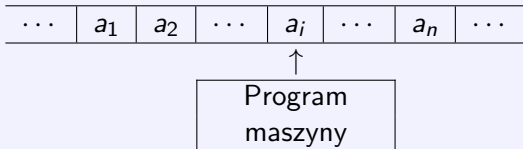


Maszyna Turinga



Schemat maszyny Turinga (1936)

- Taśma prawostronnie nieskończona z zaznaczonymi kwadratami.
- Ruchoma głowica odczytująco-zapisująca.



Złożoność obliczeniowa

Papadimitriou w książce *Złożoność obliczeniowa* pisze:

Niesamowite, jak niewiele trzeba, by mieć wszystko! Jako język programowania maszyna Turinga dysponuje jedną, dość prymitywną strukturą danych: ciągiem symboli. Dostępne są operacje umożliwiające programowi przesuwanie kursora po ciągu w prawo i w lewo w zależności od wartości bieżącego symbolu. Tak czy inaczej, jest to wyjątkowo ubogi i prymitywny język. Jednak (...) można w nim wyrazić dowolny algorytm i symulować dowolny język programowania.

C. H. Papadimitriou. *Złożoność obliczeniowa*. Warszawa 2002.



Elementy maszyny Turinga

Maszyna Turinga składa się z następujących elementów:

- skończonego alfabetu symboli;
- skończonego zbioru stanów;
- nieskończonej taśmy z zaznaczonymi kwadratami, z których każdy może zawierać pojedynczy symbol;
- ruchomej głowicy odczytująco–zapisującej, która może wędrować wzdłuż taśmy przesuając się na raz o jeden kwadrat
- diagramu przejść między stanami, zawierającego instrukcje, które powodują, że zmiany następują przy każdym zatrzymaniu się.



Opis działania

W zależności od obserwowanego symbolu przez głowicę taśmy oraz stanu sterowania skończonego, maszyna Turinga w pojedynczym ruchu:

- zmienia stan,
- wpisuje symbol w obserwowanej komórce taśmy, zastępując symbol tam wpisany,
- przesuwa głowicę o jedną komórkę w prawo lub w lewo albo nie przesuwa.



Definicja maszyny Turinga

$$M = \langle Q, \Sigma, \Gamma, \delta, q_0, B, F \rangle$$

gdzie:

- Q – skończony zbiór stanów,
- $q_0 \in Q$ – stan początkowy,
- F – zbiór stanów końcowych,
- Γ – skończony zbiór dopuszczalnych symboli taśmowych,
- B – symbol pusty nienależący do Σ ,
- Σ – podzbiór Γ nie zawierający B , zwany zbiorem symboli wejściowych,
- δ – funkcja następnego ruchu, odwzorowanie:

$$\delta : Q \times \Gamma \rightarrow Q \times \Gamma \times \{L, R, -\}.$$



Definicja maszyny Turinga c.d

Ruchy głowicy:

- L oznacza ruch w lewo
- R oznacza ruch w prawo,
- $-$ oznacza brak ruchu.



Reguły działania maszyny Turinga

Każda z komórek (pól) może znajdować się w jednym ze stanów. Maszyna zawsze jest ustawiona nad jednym polem i znajduje się w jednym ze stanów. Zależnie od kombinacji stanu maszyny i pola, maszyna zapisuje nowy symbol w polu, zmienia stan, a następnie może przesunąć się o jedno pole w prawo lub w lewo albo nie przesunąć.

Taka operacja nazywana jest rozkazem. Maszyna Turinga jest sterowana listą zawierającą dowolną liczbę takich rozkazów.

Lista rozkazów maszyny Turinga może być traktowana jako jej program.



Diagramy przejść

Węzły grafu – stany maszyny.

Od węzła do węzła prowadzą łuki grafu (strzałki), którym przypisane są etykiety postaci $(a/b, D)$.

Kiedy maszyna Turinga znajdzie się w stanie q i odczytowanym symbolem będzie $a \in \Gamma$ to nastąpi wpisanie w to miejsce $b \in \Gamma$ i przesunięcie o jedno pole w kierunku D , gdzie $D = L$ lub $D = P$ albo $D = -$.

Stan do którego nie prowadzą żadne łuki, to *stan początkowy*, a stan z którego nie wychodzą żadne łuki, to *stan końcowy*.

Z jednego węzła może wychodzić tylko jeden łuk z tym samym symbolem a .



Tabela stanów

Każda komórka tabeli zawiera w sobie instrukcje dla maszyny Turinga postaci $\begin{bmatrix} q \\ s, D \end{bmatrix}$, gdzie $q \in Q$, $s \in \Gamma$, $D \in \{L, R, -\}$.

Przykład.

	q_0	q_1	q_2	q_3	\dots
Φ	$\begin{bmatrix} q_0 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_0 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_3 \\ c, R \end{bmatrix}$	\dots	
a	$\begin{bmatrix} q_1 \\ b, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_4 \\ a, L \end{bmatrix}$	\dots		
b	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_0 \\ c, L \end{bmatrix}$	\dots		
c	$\begin{bmatrix} q_7 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ b, L \end{bmatrix}$	\dots		



Symulatory programowe maszyny Turinga

Symulator maszyny Turinga on-line:

<https://turingmachinesimulator.com>

Anthony Morphett – symulator (JavaScript)

<http://morphett.info>:

<http://morphett.info/turing/turing.html>

Alex Vinokur – symulator (C++)

<https://www.planet-source-code.com/vb/scripts/ShowCode.asp?txtCodeId=13744&lngWId=3>

Przykład w kursie języka Python:

http://www.python-course.eu/turing_machine.php



Visual Turing Machine

Symulator obrazkowy (dla kochających komiksy) Csaba Gajo

[https://sourceforge.net/projects/visualturing/
?source=directory](https://sourceforge.net/projects/visualturing/?source=directory)

– można samemu przetłumaczyć na polski.

Description

Visual Turing Machine is a tool for visually designing Turing machines. This means no coding in abstract scripting languages, but simple point&click design. It uses the a...z symbol set, plus the “empty” # symbol, and also simulates an infinite tape.



Sprawdzanie palindromów

Madam, I'm Adam – palindrom, po pominięciu spacji znaków przestankowych i bez uwzględnia wielkości liter.

madamimadam

- $Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7\}$
- $q_0 = q_0$
- $F = \{q_6, q_7\}$
- $\Gamma = \{\Phi, a, b\}$
- $B = \Phi$
- $\Sigma = \{a, b\}$



Algorytm opisowo

- 1 Odczytujemy symbol,
- 2 jeśli nie jest pusty, to go zapamiętujemy, wpisujemy pusty i idziemy w prawo aż do pustego,
- 3 jeśli ostatni jest inny niż pierwszy, to N,
- 4 jeśli ostatni taki jak pierwszy, to wpisujemy pusty i idziemy w lewo,
- 5 odczytujemy symbol,
- 6 jeśli pusty jest to Y,
- 7 jeśli nie jest pusty, to go zapamiętujemy wpisujemy pusty i idziemy w lewo aż do pustego,
- 8 wracamy do kroku 1.



Tabela stanów

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6	q_7
Φ	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_3 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_4 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_0 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	Y	N
a	$\begin{bmatrix} q_1 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ a, L \end{bmatrix}$		
b	$\begin{bmatrix} q_2 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ b, L \end{bmatrix}$		

 $\Phi aba\Phi$ 

Działanie 1

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6	q_7
Φ	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_3 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_4 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_0 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	Y	N
a	$\begin{bmatrix} q_1 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ a, L \end{bmatrix}$		
b	$\begin{bmatrix} q_2 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ b, L \end{bmatrix}$		

$$q_0 | \Phi \underline{a} b a \Phi$$


Działanie 2

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6	q_7
Φ	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_3 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_4 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_0 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	Y	N
a	$\begin{bmatrix} q_1 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ a, L \end{bmatrix}$		
b	$\begin{bmatrix} q_2 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ b, L \end{bmatrix}$		

$$q_1 | \Phi \Phi \underline{b} a \Phi$$


Działanie 3

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6	q_7
Φ	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_3 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_4 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_0 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	Y	N
a	$\begin{bmatrix} q_1 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ a, L \end{bmatrix}$		
b	$\begin{bmatrix} q_2 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ b, L \end{bmatrix}$		

$$q_1 | \Phi \Phi b \underline{a} \Phi$$


Działanie 4

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6	q_7
Φ	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_3 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_4 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_0 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	Y	N
a	$\begin{bmatrix} q_1 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ a, L \end{bmatrix}$		
b	$\begin{bmatrix} q_2 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ b, L \end{bmatrix}$		

$$q_1 | \Phi \Phi b a \underline{\Phi}$$


Działanie 5

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6	q_7
Φ	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_3 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_4 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_0 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	Y	N
a	$\begin{bmatrix} q_1 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ a, L \end{bmatrix}$		
b	$\begin{bmatrix} q_2 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ b, L \end{bmatrix}$		

$$q_3 | \Phi \Phi b \underline{a} \Phi$$


Działanie 6

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6	q_7
Φ	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_3 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_4 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_0 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	Y	N
a	$\begin{bmatrix} q_1 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ a, L \end{bmatrix}$		
b	$\begin{bmatrix} q_2 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ b, L \end{bmatrix}$		

$$q_5 | \Phi \Phi \underline{b} \Phi \Phi$$


Działanie 7

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6	q_7
Φ	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_3 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_4 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_0 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	Y	N
a	$\begin{bmatrix} q_1 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ a, L \end{bmatrix}$		
b	$\begin{bmatrix} q_2 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ b, L \end{bmatrix}$		

$$q_5 | \Phi \Phi b \Phi \Phi$$


Działanie 8

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6	q_7
Φ	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_3 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_4 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_0 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	Y	N
a	$\begin{bmatrix} q_1 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ a, L \end{bmatrix}$		
b	$\begin{bmatrix} q_2 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ b, L \end{bmatrix}$		

$$q_0 | \Phi \Phi \underline{b} \Phi \Phi$$


Działanie 9

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6	q_7
Φ	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_3 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_4 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_0 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	Y	N
a	$\begin{bmatrix} q_1 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ a, L \end{bmatrix}$		
b	$\begin{bmatrix} q_2 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ b, L \end{bmatrix}$		

$$q_2 | \Phi \Phi \Phi \underline{\Phi} \Phi$$


Działanie 10

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6	q_7
Φ	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_3 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_4 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_0 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	Y	N
a	$\begin{bmatrix} q_1 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ a, L \end{bmatrix}$		
b	$\begin{bmatrix} q_2 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ b, L \end{bmatrix}$		

$$q_4 | \Phi \Phi \Phi \Phi \Phi$$


Działanie 11

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6	q_7
Φ	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_3 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_4 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_0 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	Y	N
a	$\begin{bmatrix} q_1 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ a, L \end{bmatrix}$		
b	$\begin{bmatrix} q_2 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ b, L \end{bmatrix}$		

 $q_6 | \Phi \Phi \Phi \Phi \Phi \quad Y$


Tabela stanów

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6	q_7
Φ	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_3 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_4 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_0 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	Y	N
a	$\begin{bmatrix} q_1 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ a, L \end{bmatrix}$		
b	$\begin{bmatrix} q_2 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ b, L \end{bmatrix}$		

 $\Phi abb\Phi$ 

Działanie 1

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6	q_7
Φ	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_3 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_4 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_0 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	Y	N
a	$\begin{bmatrix} q_1 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ a, L \end{bmatrix}$		
b	$\begin{bmatrix} q_2 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ b, L \end{bmatrix}$		

$$q_0 | \Phi \underline{a} b b \Phi$$


Działanie 2

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6	q_7
Φ	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_3 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_4 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_0 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	Y	N
a	$\begin{bmatrix} q_1 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ a, L \end{bmatrix}$		
b	$\begin{bmatrix} q_2 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ b, L \end{bmatrix}$		

$$q_1 | \Phi \Phi \underline{b} b \Phi$$


Działanie 3

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6	q_7
Φ	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_3 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_4 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_0 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	Y	N
a	$\begin{bmatrix} q_1 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ a, L \end{bmatrix}$		
b	$\begin{bmatrix} q_2 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ b, L \end{bmatrix}$		

$$q_1 | \Phi \Phi b \underline{b} \Phi$$


Działanie 4

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6	q_7
Φ	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_3 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_4 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_0 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	Y	N
a	$\begin{bmatrix} q_1 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ a, L \end{bmatrix}$		
b	$\begin{bmatrix} q_2 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ b, L \end{bmatrix}$		

$$q_1 | \Phi \Phi b b \underline{\Phi}$$


Działanie 5

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6	q_7
Φ	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_3 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_4 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_0 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	Y	N
a	$\begin{bmatrix} q_1 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ a, L \end{bmatrix}$		
b	$\begin{bmatrix} q_2 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ b, L \end{bmatrix}$		

$$q_3 | \Phi \Phi b \underline{b} \Phi$$


Działanie 6

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6	q_7
Φ	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_3 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_4 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_6 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_0 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	Y	N
a	$\begin{bmatrix} q_1 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ a, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ a, L \end{bmatrix}$		
b	$\begin{bmatrix} q_2 \\ \Phi, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_2 \\ b, R \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_7 \\ -, - \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ \Phi, L \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} q_5 \\ b, L \end{bmatrix}$		

$$q_3 | \Phi \Phi \underline{b} b \Phi \quad N$$


Inne przykłady

- Podwajanie znaków, np. z *aba* na *aabbaa*.
- Zmiana znaku w kodzie U2: negujemy wszystkie bity i dodajemy 1.
- Sprawdzanie, czy ciąg znaków jest zgodny ze wzorcem, np. z ciągów trzyliterowych utworzonych z liter *a*, *b*, *c* poprawny jest tylko *abc*.



Wstęp

Przykład z książki:

J. Glenn Brookshear, Dennis Brylow. *Informatyka w ogólnym zarysie*. PWN 2022.

Rozdział 12.2, str. 663.



Wstęp

Przykład z książki:

J. Glenn Brookshear, Dennis Brylow. *Informatyka w ogólnym zarysie*. PWN 2022.

Rozdział 12.2, str. 663.

Stany: START, ADD, CARRY, OVERFLOW, RETURN, HALT.

Alfabet: 0,1.

Symbol pusty: Φ .

Stan początkowy: START.

Stan końcowy: HALT.

Stan początkowy taśmy:

$\Phi 101 \Phi$

Liczba 5, zwiększamy ją o 1.



Program

Stan	Zaw.	Zapis	Kier.	Nowy
START	Φ	Φ	P	ADD
ADD	0	1	L	RETURN
ADD	1	0	P	CARRY
ADD	Φ	Φ	L	HALT
CARRY	0	1	L	RETURN
CARRY	1	0	P	CARRY
CARRY	Φ	1	P	OVERFLOW
OVERFLOW	(?)	Φ	L	RETURN
RETURN	0	0	L	RETURN
RETURN	1	1	L	RETURN
RETURN	Φ	Φ	–	HALT

