

# Wykorzystanie sztucznej inteligencji w grze Scrabble

Jakub Turek  
jkbturek@gmail.com

Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych

16 października 2013

## Scrabble

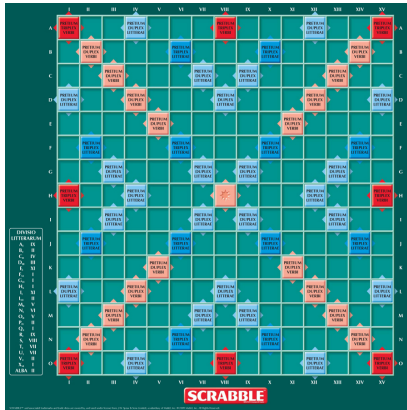
**Gra słowna polegająca na układaniu na określonej planszy wyrazów z losowanych liter.**

*Wielki słownik ortograficzny - PWN 2003, 2006, 2008 - E. Polański*

# Historia Scrabble

- ▶ 1938 r. - gra *Lexiko*, Alfred Mosher Butts.
- ▶ Lata 40. - *Criss-Crossword* - udoskonalona wersja *Lexiko*.
- ▶ 1948 r. - James Burnot, *Scrabble*.
- ▶ Lata 80. - Hasbro.
- ▶ Lata 80. - teleturniej *Scrabble*.
- ▶ Obecnie - 121 krajów, 29 różnych języków.
- ▶ Do chwili obecnej - 150 milionów sprzedanych egzemplarzy.

# Plansza



- ▶ Wymiary  $15 \times 15$ .
- ▶ Premie:
  - ▶ literowe:
    - ▶ podwójna,
    - ▶ potrójna.
  - ▶ słowne:
    - ▶ podwójna,
    - ▶ potrójna.
- ▶ Środek planszy:
  - ▶ pierwszy wyraz musi przechodzić przez pole,
  - ▶ podwójna premia słowna.

# Płytki (polska wersja)

Litera	Ilość płytek	Liczba punktów	A	9	1	M	3	2
			Ą	1	5	N	5	1
			B	2	3	Ń	1	7
			C	3	2	O	6	1
			Ć	1	6	Ō	1	5
			D	3	2	P	3	2
			E	7	1	R	4	1
			Ę	1	5	S	4	1
			F	1	5	Ś	1	5
			G	2	3	T	3	2
			H	2	3	U	2	3
			I	8	1	W	4	1
			J	2	3	Y	4	2
			K	3	2	Z	5	1
			L	3	2	Ż	1	9
			Ł	2	3	Ź	1	5

- ▶ 98 płytek z literami.
- ▶ Każda litera ma przyporządkowaną punktację.
- ▶ Ilość płytek proporcjonalna do częstotliwości występowania litery.
- ▶ Punktacja odwrotnie proporcjonalna do częstotliwości występowania litery.
- ▶ 2 *blanki*.

# Reguły

- ▶ Na stojaku 7 wylosowanych płytek.
- ▶ Naprzemienne ruchy.
- ▶ Prawidłowy ruch:
  - ▶ Płytki wyłożone w jednym wierszu (lub kolumnie) w sposób ciągły.
  - ▶ Wykorzystanie przynajmniej jednej litery znajdującej się już na planszy.
  - ▶ Tworzy poprawny wyraz czytany od lewej do prawej (lub od góry do dołu).
  - ▶ Wszystkie płytki przylegające tworzą poprawne wyrazy w układzie krzyżówkowym.
- ▶ Koniec gry - pierwszy gracz, który nie ma płytek na stojaku.
- ▶ Wygrywa gracz z największą liczbą punktów.

# Dopuszczalne słowa

Dopuszczalne jest wykorzystanie wszystkich słów znajdujących się w dowolnym słowniku języka polskiego (wraz z poprawnymi odmianami) z wyłączeniem:

- ▶ nazw własnych (wyrazów pisanych z wielkiej litery),
- ▶ skrótów,
- ▶ przedrostków, przyrostków,
- ▶ wyrazów wymagających użycia apostrofu lub łącznika.

# Słownik wyrazów do gier

**Słownik wyrazów do gier** to lista wszystkich słów, wraz ze wszystkimi poprawnymi odmianami, dopuszczalnych do wykorzystania w grach słownych.





# Porównanie OSPS i słownika alternatywnego

	<b>OSPS</b>	<b>Słownik alternatywny</b>
Wydawca	Polska Federacja Scrabble, Polskie Wydawnictwo Naukowe	Serwis z grami online Kurnik
Przeznaczenie	Gry turniejowe	Gra „Literaki”
Liczba słów	2 477 212	2 703 830
Źródło	Zamknięta lista słowników języka polskiego, ortograficznych, wyrazów obcych wydawnictwa PWN	Otwarta lista słowników języka polskiego, ortograficznych, wyrazów obcych
Przykładowe różnice	<ul style="list-style-type: none"><li>▶ basfu</li><li>▶ grał</li><li>▶ meru</li><li>▶ noblów</li><li>▶ późniżyż</li><li>▶ szwed</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▶ aeolipile</li><li>▶ donowi</li><li>▶ feroce</li><li>▶ geez</li><li>▶ tyiyn</li><li>▶ żad</li></ul>

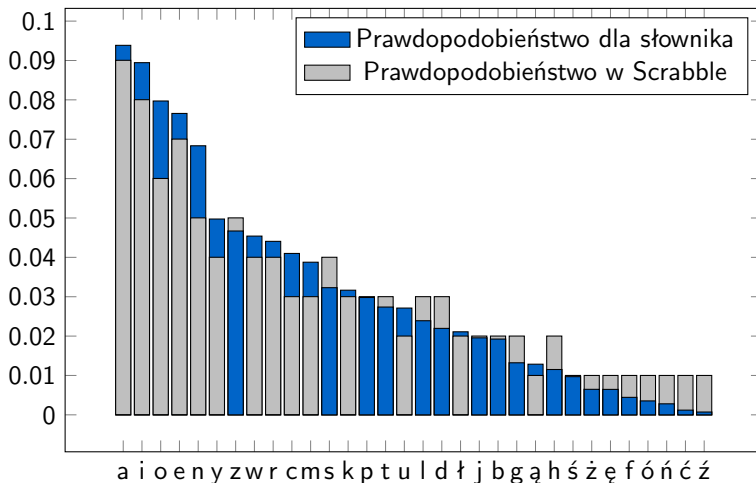
Dalsze rozważania przeprowadzane będą dla  
słownika alternatywnego.

# Statystyczny opis słownika

Na podstawie statystycznego opisu słownika można wyprowadzić szereg użytecznych heurystyk:

- ▶ Częstotliwość występowania liter.
- ▶ Najbardziej prawdopodobne n-gramy.
- ▶ Najlepsze otwarcia.
- ▶ Najlepsze kombinacje liter.

# Prawdopodobieństwo występowania liter



# Prawdopodobieństwo występowania bigramów

## N-gram

Sekwencja składająca się z  $n$  liter, znaków lub wyrazów.

- ▶ Unigram.
- ▶ Bigram.
- ▶ Trigram.
- ▶ 4-gram.
- ▶ ...
- ▶ N-gram.

Bigram	Wystąpienia
ni	1 077 436
ie	1 028 249
ow	645 018
an	507 205
wa	484 295
za	313 370
po	301 636
ch	296 749
ał	294 734
ia	284 247

# Prawdopodobieństwo występowania n-gramów

Trigram	Wystąpienia
nie	635 196
owa	307 277
ani	195 186
wan	180 460
cie	148 513
nia	142 201
jąc	131 792
prz	130 283
wał	126 134
rze	116 370

4-gram	Wystąpienia
owan	127 626
ował	88 130
wani	78 095
niep	77 449
prze	73 230
ując	67 062
ania	61 398
ając	59 499
ście	56 462
łaby	55 380


5-gram	Wystąpienia
owani	54 991
niepo	40 329
ałaby	37 581
yście	33 161
owała	28 175
niewy	26 193
owane	25 555
wania	25 551
owany	25 542
ałyby	25 282

## Prawdopodobieństwo występowania n-gramów (2)

6-gram	Wystąpienia
owania	17 609
wałaby	17 161
byście	16 821
liście	15 910
aniami	15 585
aniach	15 585
łyście	15 405
owanie	14 674
owałby	14 437
nieprz	14 328

7-gram	Wystąpienia
owałaby	12 401
libyśmy	12 267
łybyśmy	12 094
ałyście	9 902
aliście	9 304
ibyście	8 445
libyści	8 443
ybyście	8 317
łybyści	8 314
nieprze	8 111

## Najlepsze otwarcia

		x2								x2			
P	Ó	Ż	N	O	Ś	Ć				x2			126 punktów
		x2				B	Ł	Ą	D	Ż	Ż	E	124 punkty
		x2				U	B	O	D	Ż	Ż	E	124 punkty
		x2				P	Ó	J	D	Ż	K	Ę	124 punkty
		x2				G	Ł	Ó	D	Ż	Ż	E	124 punkty
		x2				U	B	Ą	D	Ż	Ż	E	124 punkty
		x2				U	G	Ó	D	Ż	Ż	E	124 punkty
		x2				B	L	U	Ż	Ń	Ż	E	124 punkty
		x2				P	Ó	J	D	Ż	K	Ą	124 punkty
		x2			U	G	R	Z	Ą	Ż	Ć		124 punkty

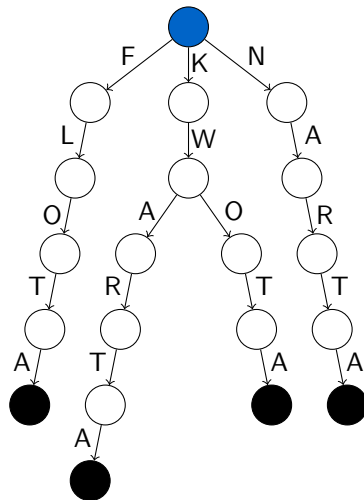


Najlepsze kombinacje liter to zawartość stojaka, która umożliwia ułożenie (niezależnie) jak największej ilości słów.

7 liter	Kombinacje
e, i, k, l, n, o, w	12 wyrazów
a, e, i, k, p, r, s	12 wyrazów
a, e, i, k, l, n, p	12 wyrazów
a, e, k, n, r, t, y	11 wyrazów
a, i, k, m, o, p, s	11 wyrazów
a, i, k, m, o, r, w	11 wyrazów
a, a, i, k, l, m, s	10 wyrazów
a, i, k, m, o, s, t	10 wyrazów
a, i, k, l, n, o, w	10 wyrazów
a, i, k, l, m, n, o	10 wyrazów

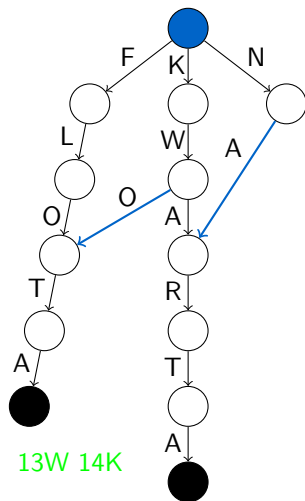
# Wyznaczanie wszystkich legalnych ruchów

- ▶ Algorytm opisany w pracy *The World's Fastest Scrabble Program* A. W. Appela i G. J. Jacobsona.
- ▶ Algorytm z nawrotami.
- ▶ Bazuje na skompresowanej, grafowej odmianie drzewa *trie* o nazwie **DAWG** (ang. **D**irected **A**cyclic **W**ord **G**raph).



[illegible]

20W 19K



13W 14K

# Algorytm Appela-Jacobsona (1)

## 1. Redukcja złożoności problemu do jednego wymiaru:

- ▶ rozpatrywanie ruchów wyłącznie poziomo,
- ▶ ograniczenie zbioru wyłącznie do jednego wiersza.

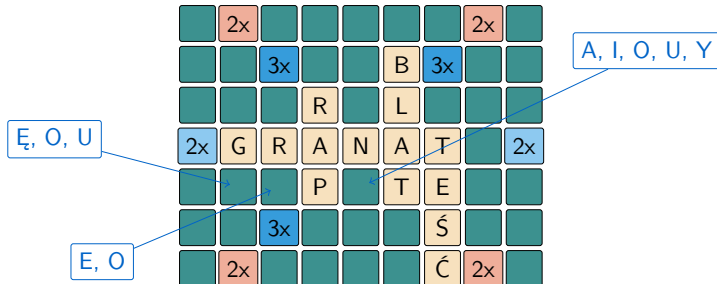
Rozumowanie należy powtórzyć dla wszystkich wierszy, a następnie transponować planszę i zastosować do ruchów w pionie.



## Algorytm Appela-Jacobsona (2)

### 2. Ograniczenie zbioru znaków możliwych do wstawienia w miejsce pustych płytek:

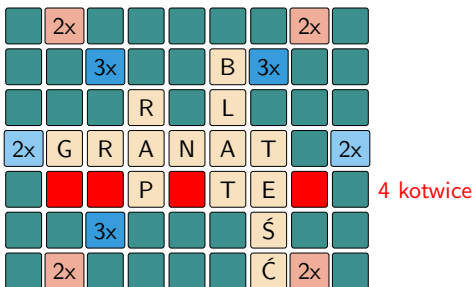
- ▶ ruch w danym kierunku może skutkować tworzeniem nowych słów w kierunku przeciwnym,
- ▶ słowa utworzone w kierunku przeciwnym powstają zawsze poprzez dodanie jednego znaku.



## Algorytm Appela-Jacobsona (3)

### 3. Wyznaczenie kotwic (ang. *anchors*):

- ▶ kotwica to najbardziej wysunięta na lewo płytki nowego słowa, która jest przyległa do płytki istniejącego już na planszy słowa,
- ▶ kotwicą może być każde puste miejsce przyległe do płytki znajdującej się na planszy.



## Algorytm Appela-Jacobsona (4)

4. Rozwinięcie słów, wychodząc od wyznaczonych kotwic, z uwzględnieniem ograniczeń.

### Lewa strona

- ▶ Obejmuje wszystkie płytki na lewo od kotwicy.
- ▶ Może:
  - ▶ Składać się wyłącznie z płytek już znajdujących się na planszy - przypadek trywialny.
  - ▶ Składać się wyłącznie z płytek znajdujących się na stojaku. Wymaga wyznaczenia wszystkich możliwych kombinacji płytek.
  - ▶ Być pusta.

### Prawa strona

- ▶ Obejmuje kotwicę oraz wszystkie płytki na prawo od niej.
- ▶ Wyznaczana poprzez dopełnianie lewej strony wyrazami ze słownika.
- ▶ Poszczególne litery muszą być dostępne na stojaku, a także spełniać ograniczenia wyznaczone dla poszczególnych pól planszy.

# Algorytm Appela-Jacobsona - wydajność

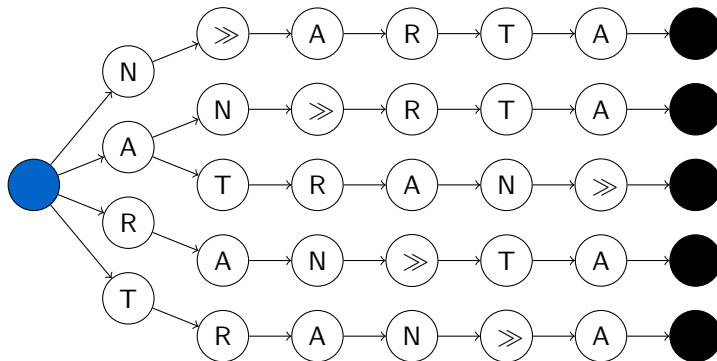
Potencjalnym problemem wydajnościowym jest wyznaczanie wszystkich możliwych kombinacji prefiksów:

- ▶ W pesymistycznym przypadku kotwica może być skrajnie prawą płytką wyrazu.
- ▶ Dla określonych liter na stojaku może istnieć do  $6! = 720$  lewostronnych kombinacji do zbadania.
- ▶ W przypadku, gdy na stojaku znajdują się dwa *blanki*, liczba kombinacji rośnie do  $\frac{4! \times 32^2}{2} = 12288$ .
- ▶ Nadmiarowość obliczeń - duża część badanych kombinacji może nie istnieć (lub nie posiadać rozwinięć) w słowniku.



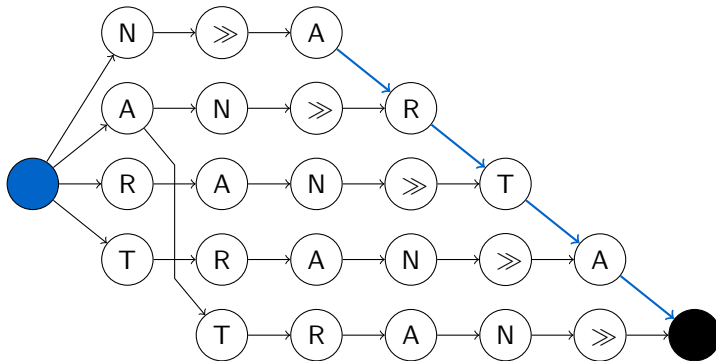
# GADDAG

- ▶ S. A. Gordon, *A Faster Scrabble Move Generation Algorithm*.
- ▶ Struktura nastawiona na szybkie prefiksowanie wyrazów.



## GADDAG - wady

- ▶ Duża złożoność pamięciowa.
- ▶ Można próbować minimalizować graf po węzłach zawierających  $\gg$ .



# Maven i Quackle - porównanie

	<b>Maven</b>	<b>Quackle</b>
Autorzy	Brian Sheppard	Jason Katz-Brown, John O'Laughlin
Źródło	Zamknięte	Otwarte (C++, Qt)
Struktura słownika	DAWG	GADDAG
Strategia	Zależna od fazy gry. Wykorzystanie heurystyk i symulacji do ewaluacji najbardziej korzystnych ruchów.	Zależna od fazy gry. Wykorzystanie heurystyk i symulacji do ewaluacji najbardziej korzystnych ruchów.
Wyniki przeciwko ludziom	▶ 9-5 vs Adam Logan (1997) ▶ 6-3 vs Joel Sherman (2006)	▶ 3-2 vs David Boys (2006)
„Bezpośrednie” starcie	▶ 30-6	▶ 32-4

„It's still better to be a human than to be a computer” - David Boys

# Fazy gry

## 1. **MG** - mid-game:

- ▶ Trwa od momentu rozpoczęcia gry, aż do osiągnięcia fazy pre-endgame.

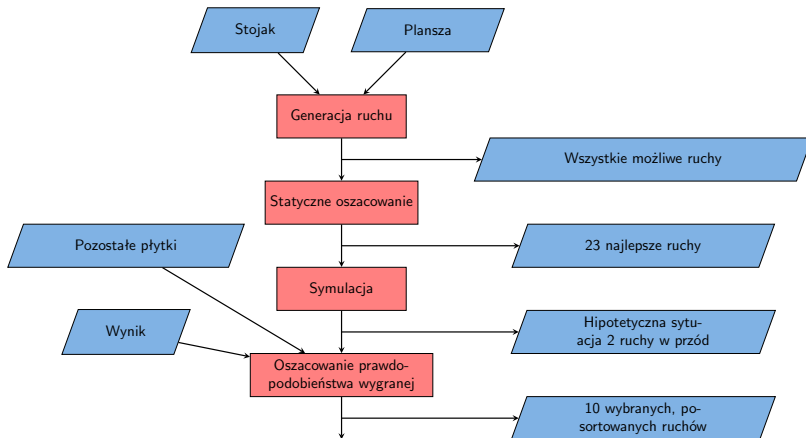
## 2. **PEG** - pre-endgame.

- ▶ Dzieli się na dwa etapy - PEG-1 oraz PEG-2.
- ▶ Występuje, gdy do pobrania pozostają odpowiednio jedna lub dwie płytki.
- ▶ Przez PEG przechodzi ponad połowa gier.

## 3. **EG** - endgame.

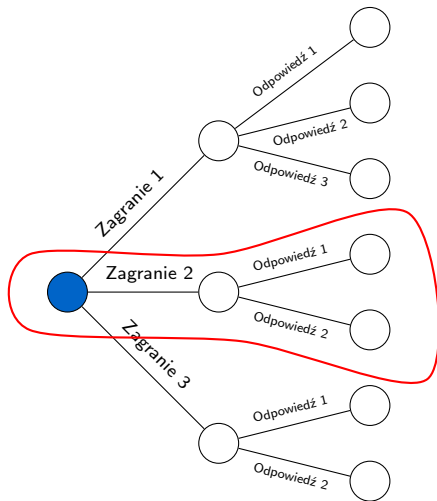
- ▶ Rozpoczyna się, gdy pobrane zostaną wszystkie płytki.
- ▶ Wiadomo jakimi literami dysponuje przeciwnik.

## Mid-game (Quackle)



## (Pre-)Endgame

- ▶ W fazach PEG, EG możliwe jest zastosowanie wyszukiwania wyczerpującego przestrzeni stanów.
- ▶ Algorytmy przeszukiwania  $\alpha - \beta$ ,  $A^*$ ,  $B^*$ .
- ▶ Obliczenia progresywne - przeszukiwanie rozpoczynane w miejscu, w którym można podjąć szybką i pewną decyzję.



# Dziękuję za uwagę!