UNIWERSYTET GDAŃSKI
Wydział Matematyki, Fizyki i Informatyki

Szymon Rękawek
nr albumu: 206288

Gra Thuego

Praca magisterska na kierunku:
INFORMATYKA
Promotor:
prof. dr hab. T. Dzido

Gdańsk 01.01.2016

Streszczenie

Słowa kluczowe

Thue

Spis treści

Wprowadzenie

Tematem niniejszej pracy jest Gra Thuego. Axel Thue był norweskim matematykiem żyjącym w latach 1863 - 1922, znanym z prac z zakresu kombinatoryki.

Thue pracował nad problemami, powstałymi w wyniku badań nad sekwencjami symboli. Praca Thue [1] opisywała problem, który autor nazwał *nieredukowalne słowa* (*irreducible words*). Poświęca w niej szczególną uwagę dwu i trzy literowym przypadkom. W skrócie wprowadza pojęcie znane obecnie jako *Thue-Morse word* i pokazuje, że nieskończone słowa bez nasunięć (*Overlap-free*) są pochodnymi tej sekwencji. W swoich pracach definiuje kolejną strukturę, a mianowicie infinite *Square-Free word*, oraz przedstawia sposoby generowania nieskończenie długich słów wolnych zarówno od kwadratów jak i nasunięć.

Gra która powstała na podstawie teorii Thuego w skrócie polegała będzie na utworzeniu jak najdłuższego ciągu znaków nad określonym z góry alfabetem. Zależnie od trybu gry, kończyć się ona będzie w momencie gdy pojawi się zdefiniowany na początku rodzaj powtórzenia w tworzonym przez nas, bądź algorytm ciągu. Jednym z trybów gry jest walka komputera przeciwko niemu samemu, po takiej rozgrywce przedstawione zostaną złożoności czasowe oraz wnioski wynikające z obranej przez oponentów taktyki.

Ostatnia część pracy poświęcona jest analizie algorytmów zarówno pod względem czasu ich wykonywania jak i zdolności do przewidywania ruchów przeciwnika.

ROZDZIAŁ 1

Teorie Axela Thue na temat sekwencji symboli

lbaldsaldsal dsadsa asdkdsak sadkdsa dsadsadsak dsak dsa dsajdsajdas

1.1. Definicje

- Alfabet jest skończonym zbiorem symboli lub liter.
- Słowo alfabetu A jest skończoną sekwencją elementów z A.
- Długość słowa ω jest reprezentowana przez $|\omega|$.
- Puste słowo o długości 0 jest reprezentowane przez ε.
- Czynnik (factor) słowa ω jest słowem u, które występuje wewnątrz ω formie $\omega = xuy$, podczas gdy x oraz y również są słowami tego alfabetu.
- Kwadrat (square) jest niepustym słowem w formie uu, gdzie u jest niepuste.
- Square-free, słowo jest wolne od kwadratów, jeśli żaden z jego czynników nie jest kwadratem.
- Nasunięcie (Overlap) jest słowem w formie $xuxux$, gdzie x jest niepuste. Nazwa pojęcia wzięła się z tego, że xux występuje dwa razy w $xuxux$. Pierwszy raz jako prefiks (początkowy czynnik) oraz jako sufiks (końcowy czynnik) i te dwa wystąpienia mają wspólną część - centralne x, a więc *nasuwają* się na siebie.

- Overlap-free - słowo w którym żaden z czynników nie nasuwa się na siebie. W definicji Axela Thue słowo ω w alfabecie długości n jest nieredukowalne jeśli jakiekolwiek dwa wystąpienia tego samego słowa jako czynnik wewnątrz ω są zawsze oddzielone od siebie przez $n-2$ liter. Oznacza to, że nieredukowalne dwuliterowe słowo jest bez nasunięć i nieredukowalne trzyliterowe słowo jest bez kwadratów.
- Morfizm - mapowanie obiektu z jednej matematycznej struktury w inną.

1.2. Thue-Morse word

Rozważmy nieskończone słowo

$$01101001100101101001011001101001...$$

Zostało ono nazwane po Thue, który badał jego właściwości w referacie z 1906 roku, oraz Morsie, który odkrył je na nowo w latach 20 XIX wieku. Słowo Thue-Morse'a występuje również o wiele wcześniej w wiadomościach Prouheta[200] z Francuską Akademią Nauk w 1851 roku. Rzeczywiście Prouhet podał więcej ogólnych konstrukcji, uzyskując nie tylko słowo Thue-Morse'a, ale całą rodzinę słów na większych alfabetach mających inne interesujące właściwości. Słowa te czasami odnoszą się do ogólnych słow Thue-Morse'a lub słów Prouheta.

Niech $A = \{a, b\}$ będzie dwuliterowym alfabetem. Rozważmy morfizm μ z monoidu $A*$, który definiuje się następująco:

$$\mu(a) = ab, \qquad \mu(b) = ba$$

Dla $n \geq 0$:

$$u_n = \mu^n(a), \qquad v_n = \mu^n(b)$$

Wtedy:

$$u_0 = a \qquad v_0 = b$$
$$u_1 = ab \qquad v_1 = ba$$
$$u_2 = abba \qquad v_2 = baab$$
$$u_3 = abbabaab \qquad v_3 = baababba$$

Wzór ogólny:

$$u_{n+1} = u_n v_n, \qquad v_{n+1} = v_n u_n$$

oraz:

$$u_n = \overline{v}_n, \qquad v_n = \overline{u}_n$$

gdzie $\overline{\omega}$ jest uzyskiwane z ω przez zamianę a oraz b. Słowa u_n i v_n są często nazywane *Blokami morsa*. Można łatwo zauważyc że u_{2n} oraz v_{2n} są palindromami oraz to że $u_{2n+1} = \neg v_{2n+1}$, gdzie $\neg w$ jest negacją w. Morfizm μ może być rozszerzony do nieskończonych słow, które mają dwa stałe punkty:

$$t = abbabaabbaababbabaab... = \mu(t)$$
$$t = baababbaabbabaababba... = \mu(\ t)$$

Przedstawione powyżej słowo t jest sekwencją Thue-Morse'a. Jest wiele innych sposobów na stworzenie tego słowa. Niech t_n będzie n-tym symbolem w t, zaczynając od $n = 0$. Wtedy można pokazać, że:

$$t_n = \left\{ \begin{array}{l} a\ if\ d_1(n) \equiv (mod\ 2) \\ a\ if\ d_1(n) \equiv (mod\ 2) \end{array} \right\}$$

gdzie $d_1(n)$ jest liczbą bitów równych 1 w binarnej reprezentacji n.

Dla $n \leq 12$ oraz $n \in \mathbb{N}$ generowane jest następujące słowo:

$$\begin{array}{llll} bin(0) & = 0, & d_1(0) & = 0\ mod\ 2 = 0 \rightarrow a \\ bin(1) & = 1, & d_1(1) & = 1\ mod\ 2 = 1 \rightarrow b \\ bin(2) & = 10, & d_1(2) & = 1\ mod\ 2 = 1 \rightarrow b \\ bin(3) & = 11, & d_1(3) & = 2\ mod\ 2 = 0 \rightarrow a \\ bin(4) & = 100, & d_1(4) & = 1\ mod\ 2 = 1 \rightarrow b \\ bin(5) & = 101, & d_1(5) & = 2\ mod\ 2 = 0 \rightarrow a \\ bin(6) & = 110, & d_1(6) & = 2\ mod\ 2 = 0 \rightarrow a \\ bin(7) & = 111, & d_1(7) & = 3\ mod\ 2 = 1 \rightarrow b \\ bin(8) & = 1000, & d_1(8) & = 1\ mod\ 2 = 1 \rightarrow b \\ bin(9) & = 1001, & d_1(9) & = 2\ mod\ 2 = 0 \rightarrow a \end{array}$$

$$\begin{aligned} bin(10) &= 1010, & d_1(10) &= 2\ mod\ 2 = 0 \to a \\ bin(11) &= 1011, & d_1(11) &= 3\ mod\ 2 = 1 \to b \\ bin(12) &= 1100, & d_1(12) &= 2\ mod\ 2 = 0 \to a \end{aligned}$$

$$t = abbabaabbaaba$$

W konsekwencji istnieje skończony automat obliczający wartości t_n. Automat ten ma dwa stany końcowe 0 oraz 1. Na początku czyta łańcuch znaków $bin(n)$ od lewej do prawej, zaczynając od $n = 0$. Ostateczny stan równy jest 0 lub 1 i definiuje czy t_n jest równe a lub b. W skrócie obliczenie jakie wykonuje automat to $d_1(n)\ modulo\ 2$.

1.3. Square-free word

Łatwo można zauważyc, że jedynymi słowami bez kwadratów w alfabecie $A = \{a, b\}$ są: a, b, ab, ba, aba, bab. Istnieje jednak dowolnie długi ciąg znaków wolny od kwadratów dla słów nad alfabetem trzyliterowym. By stworzyć dowolne słowo wolne od kwadratów Thue wymyślił następujący algorytm.
Mając alfabet $A = \{a, b, c\}$ należy zastąpić każde wystąpienie litery a przez $abac$, b przez $babc$ oraz c przez $bcac$, jeśli jest poprzedzone przez a lub $acbc$, jeśli jest poprzedzone przez b. Zaczynając od litery a otrzymujemy nieskończone słowo które nie zawiera kwadratów.

$$abacbabcabacbcacbabcabacbabcacbcabacbabc...$$

W 1912 roku Axel Thue wymyślił inny sposób na generowanie nieskończonego słowa bez kwadratów na trzech literach z użyciem następującego morfizmu.

- $a \to abcab$
- $b \to acabcb$
- $c \to acbcacb$

Po raz kolejny zastępujemy każde wystąpienie z naszych liter przez zdefiniowane sekwencje. Jest to dość skomplikowana struktura, zsumowana długość łańcuchów wynosi 18. A Carpi [7] dowiódł, że morfizm na alfabecie składającym się z trzech liter tworzący słowa wolne od kwadratów musi mieć długość równą co najmniej 18.

1.4. Thue online

Praca J. Grytczuka, P. Szafrugi i M. Zmarza pod tytułem Online version of theorem of Thue[8] opisuje wersję online teorii Thuego. Jest to gra dla dwóch graczy Boba oraz Alicji. Podczas rozgrywki Alicja i Bob naprzemiennie wykonując swoje ruchy tworzą ciąg bez kwadratów. Celem Boba jest jak najszybsze skończenie rozgrywki poprzez utworzenie kwadratu, Alicja natomiast musi tego unikać.

Wartym wspomnienia jest uproszczony tryb gry, podczas którego mamy dwóch graczy - Alicję i Boba, tak jak zostało wspomniane, tylko Alicji zależy na tym by uniknąć kwadratów. Rozgrywka polega na tym, że Alicja i Bob wybierają na przemian symbole z ustalonego zbioru A, oraz dopisują je na końcu istniejącego ciągu. W momencie, gdy pojawia się kwadrat aa, jego druga część, czyli w naszym przypadku prawe a, zostaje usunięte. Zostało udowodnione w [9] J. Grytczuk, J. Kozik, P. Micek, New approach to nonrepetitive sequences. Random Structures Algorithms, DOI 10.1002/rsa.20411. , że Alicja jest wstanie stworzyć dowolnie długi ciąg bez kwadratów, nie zważając na ruchy Boba. Powyższe jest jednak możliwe pod warunkiem, że moc zbioru A wynosi conajmniej 8.

Innym typem gry przedstawionym w pracy[8] jest Online Thue game. Po raz kolejny gracze wykonują swoje ruchy na przemian. W swojej rundzie Bob wybiera indeks w istniejącym ciągu S, który jest sprecyzowany przez liczbę $i \in \{0, 1, ..., n\}$, następnie Alicja wybiera symbol $x \in A$, który jest wstawiany jedną pozycję w prawo od s_i, dając nam nową sekwencję $S' = s_1, ..., s_i, x, s_{i+1}, ..., s_n$ w momencie gdy $i = 0$, x jest ustawiany na początku S. Celem Boba jest zmuszenie Alicji do stworzenia kwadratu, podczas

gdy Alicja unika tego najdłużej jak to możliwe. Na przykład, jeśli ustalimy, że $A = \{a, b, c\}$ i $S = acbc$, wtedy Bob wybierając indeks $i = 1$ nie daje Alicji możliwości wybrania symbolu, który nie stworzyłby kwadratu. Rzeczywiście wybierając jakikolwiek $x \in A$ doprowadza do utworzenia kwadratu w S': **aa**cb, a**bcbc**$, a$**cc**bc. W przypadku gdy Bob obierze dobrą strategię, rozgrywka na 3 symbolach skończy się na ciągu o długości ≤ 5, nie ważne jak dobrą strategię obierze Alicja. Oczywiście im większą moc ma zbiór A, tym więcej ruchów, będzie potrzebował Bob, by zakończyć rozgrywkę.

[9] A. Ku¨ndgen and M. J. Pelsmajer, Nonrepetitive colorings of graphs of bounded treewidth, Discrete Math. 308 (2008), 4473–4478. [10] J. Bara´t, P. P. Varju´. On square-free vertex colorings of graphs. Studia Sci. Math. Hungar. 44 (2007) 411–422.

Grytczuk, Szafruga i Zmarza[8] wysnuli teorię, że istnieje strategia dla Alicji gwarantująca jej utworzenie dowolnie długiej gry w online Thue game na zbiorze o 12 symboli. Teorię swoją oparli o prace Ku¨ndegena i Pelsmajera[9], oraz Baráta and Varju[10], na temat niepowtarzalnych kolorowań grafów planarnych (outerplanar graphs?).

Autorzy [8] nie zamkneli do końca problemu i zauważyli, że może istnieć strategia dla Alicji, która pozwoliłaby jej na dowolnie długą rozgrywkę nawet przy mocy zbioru A równej 9.

1.5. Komputerowa implementacja Online Thue Game

Komputerowa implementacja gry Thuego opiera się na pomyśle gry z pracy [8]. W grze dostępnych jest kilka trybów zarówno dla jednego oraz dwóch graczy jak i komputerowa symulacja, czyli gra komputera przeciwko niemu samemu.

Implementacja gry Online Thue Game nazywana będzie **Longest Square-Free word**. Zasady pozostają niemal identyczne. Na początku gry, gracze ustalają moc zbioru symboli, oraz otrzymują swoje role. Jeden z nich sta-

je się architektem, drugi malarzem. Rola architekta polega na wybieraniu odpowiedniego indeksu w ciągu tworzonym przez graczy, pod którym powstanie nowy element. Malarz natomiast określa symbol wstawianego elementu. Gra kończy się w momencie, gdy w ciągu tworzonym przez graczy pojawia się **kwadrat**. Indeks i podawany przez architekta nie może być mniejszy od zera oraz większy niż n, gdzie n jest równe liczbie elementów w ciągu. Na początku gry ciąg S zawiera tylko jeden symbol równy 0. Grę rozpoczyna architekt. Gracze wykonują swoje ruchy na przemian. Malarz otrzymuje punkt za każdy pomalowany element, który nie tworzy **kwadratu** wewnątrz ciągu. By wyłonić zwycięzcę potrzebne są dwie rundy. Każdy z graczy musi sprawdzić się zarówno jako malarz i architekt. Wygrywa osoba, która zdobyła więcej punktów jako malarz.

Tryb ten dostępny jest również dla jednego gracza, rolę przeciwnika otrzymuje wtedy komputer, który działa według algorytmu przewidującego określoną przez poziom trudności liczbę ruchów do przodu. Algorytm może pełnić zarówno rolę budowniczego jak i malarza.

Bliźniaczym trybem gry, opierającym się na tych samych zasadach z niewielką różnicą jest **Longest Overlap-Free word**. Różnica polega na tym, że malarz w tworzonym ciągu musi unikać **nasunięcia**.

Podobnie jak w **Longest Square-Free word** jest możliwość gry przeciwko algorytmowi, który jest w stanie przewidywać określoną ilość ruchów do przodu.

ROZDZIAŁ 2

Longest free word jako wykonywalny program

Aplikacja, która powstała na bazie gier Longest Square-free word oraz Longest Overlap-free word, została napisana w Javie. Program umożliwia rozgrywkę w obu wersjach gry, zarówno z drugim graczem, jak i z komputerem, oraz jest w stanie zasymulować rozgrywkę dwóch graczy komputerowych, grających przeciwko sobie z ustawionymi przez nas poziomami inteligencji. Dodatkową opcją jest uruchomienie obszernego testu, który zasymuluje rozgrywkę komputerowych graczy na wszystkich poziomach trudności, mniejszych od sprecyzowanego przez nas n. Komunikacja z aplikacją odbywa się poprzez wspomniany plik konfiguracyjny - przed uruchomieniem aplikacji, oraz konsolę aplikacji - po jej uruchomieniu. W programie zostało użyte narzędzie automatyzujące budowę aplikacji - Maven. Dzięki niemu, po pobraniu kodu źródłowego aplikacji jesteśmy w stanie uruchomić ją z poziomu konsoli dzięki dwóm linijkom wpisanym do terminala. Okazało się ono niezwykle pomocne podczas przeprowadzania czasochłonnych testów na maszynie zdalnej, której sterowanie odbywało się właśnie poprzez terminal.

2.1. Plik konfiguracyjny

Opcje dostępne wewnątrz pliku konfiguracyjnego to:

- **gameType** - wartości, jakie możemy wprowadzić to Square oraz Overlap. Jest to typ gry, którego zamierzamy użyć i precyzuje, czy zagramy w Longest Square-free word czy Longest Overlap-free word.
- **gameMode** - tryb gry wartości wpisywane w tym polu mają wpływ na

to, czy gra odbywać się będzie z drugim człowiekiem - *humanHuman*, komputerem z tym warunkiem, że to my jesteśmy budowniczym - *humanBuilder*, ponownie z komputerem, jednak tym razem to on jest budowniczym - *pcBuilder*, oraz walka dwóch komputerów - *pcPc*.

- **setPower** - jest to moc zbioru elementów, do których dostęp będzie miał malarz podczas rozgrywki. Zbiór ten wypełniany jest liczbami $\in \{0, ..., n-1\}$
- **builderNestingLevel** i **painterNestingLevel** - poziom zagnieżdżenia na jaki komputer sobie pozwoli jako budowniczy i malarz. Zasada działania zagnieżdżeń zostanie omówiona w dalszej części pracy.
- **maxThinkTime** - podczas przeprowadzania testów z udziałem komputerowych graczy, czasami nie chcemy by przeciwnik myślał nad swoim ruchem 17 godzin. Właśnie dlatego została wprowadzona ta opcja konfiguracyjna. Jeśli czas jaki komputer spędził nad wyliczeniem kolejnej pozycji lub symbolu, będzie większy niż ustalona przez nas liczba nanosekund rozgrywka zostaje przerwana.
- **makeOverallTest** - gdy opcja ta zostanie ustawiona na true, po uruchomieniu aplikacji zostanie przeprowadzony obszerny test, zawierający w sobie kombinacje rozgrywek komputerów o wszystkich poziomach zagnieżdżeń ≤ 6 na wszystkich mocach zbiorów > 0 i ≤ 7. Czyli zostanie wykonanych $6 * 6 * 6$ rozgrywek. Warto wspomnieć, że podczas tego testu opcja maxThinkTime okazała się niezwykle pomocna.

2.2. Algorytm szukający powtórzeń wewnątrz ciągu

```
1 List<Integer> findSquare(List<Integer> sequence) {
2   List<Integer> squareSeq = null;
```

```
3   int maxSeqSize = sequence.size()/2;
4   int minSeqSize = 1;
5   for(int qsubSeSize=minSeqSize; subSeqSize<=maxSeqSize;subSeqSize++) {
6     squareSeq = compareSubSeq(subSeqSize, sequence);
7     if(squareSeq != null) {
8       return squareSeq;
9     }
10  }
11  return null;
12 }
```

Powyższy algorytm ma za zadanie znalezienie kwadratu w sekwencji, którą reprezentuje lista Integerów przekazana w parametrze. Zmienna **maxSeqSize** jest to długość najdłuższego podciągu jaki się zmieści w sekwencji, jeśli dostawimy za nim podciąg o identycznej długości.

Natomiast zmienna **minSeqSize** jest to minimalna długość podciągu, który może składać się na kwadrat, naturalnie wynosi ona 1.

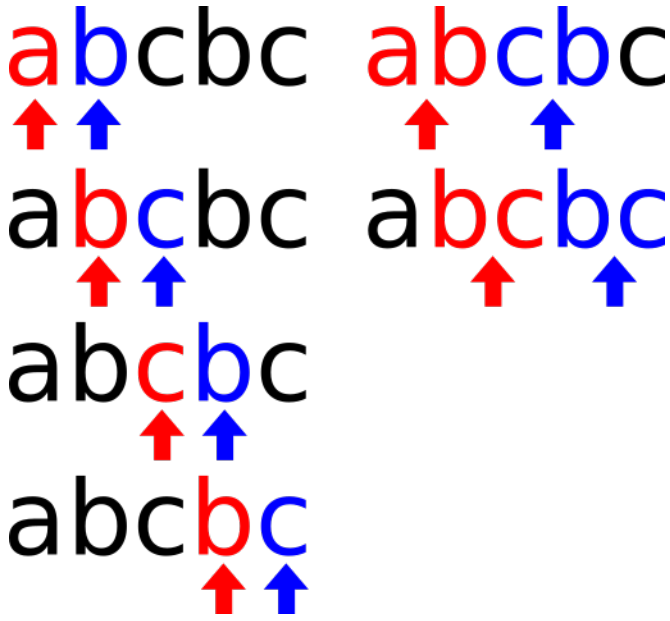
W linii 5 wykonujemy pętlę, wewnątrz, której do metody **compareSubSeq** przekazywana jest długość podciągu, który składać się będzie na kwadrat, oraz naszą sekwencję. Metoda **compareSubSeq** zwróci nam lewą część znalezionego kwadratu, lub null w przypadku, gdy taki kwadrat w sekwencji nie istnieje.

```
1  Subsequence compareSubSeq(int subSeqSize, List<Integer> sequence) {
2    List<Integer> left = new ArrayList<>();
3    List<Integer> right = new ArrayList<>();
4    int comparesFitInSequence = (sequence.size() + 1) - (subSeqSize*2) ;
5    for(int i=0; i<comparesFitInSequence; i++) {
6      for(int j =0;j<subSeqSize;j++) {
7        left.add(sequence.get(i+j));
8        right.add(sequence.get(i+j+subSeqSize));
9      }
10     if(listsAreEqual(left, right)) {
11       return new Subsequence(left, i, subSeqSize);
12     }
```

```
13      left.clear();
14      right.clear();
15    }
16    return null;
17  }
```

Zmienne **left** i **right** są to podciągi, które reprezentują lewą i prawą część kwadratu aa. Zmienna **comparesFitInSequence** jest to ilość porównań jaka zmieści się wewnątrz naszej sekwencji. Dla przykładu, gdy nasz ciąg, jest reprezentowany przez $S = abcabaca$, a wcześniej sprecyzowana długość podciągu, składającego się na kwadrat wynosi 2, to zmienna **comparesFitInSequence** zostanie ustawiona na $(8+1)-(2*2)$ czyli 5, ponieważ możliwe są następujące porównania: **abca**$baca$, a**bcab**aca, ab**caba**ca, abc**abac**a, $abca$**baca** W pętli znajdującej się w linii 5 do listy **left** oraz **right** dodawane są podciągi odpowiedniej długości, natomiast w linii 10 następuje sprawdzenie czy podciągi są identyczne. Jeśli - tak oznacza to, że w naszej sekwencji, rozpoczynając od indeksu i występuje kwadrat długości $2*$**subSeqSize**. Jeśli listy są różne to w linii 13 następuje ich wyczyszczenie, po to by pętla mogła porównać dwa kolejne podciągi.

Działanie algorytmu ilustruje grafika:



Dla typu gry w którym unikamy nasunięć powstały osobne metody.

```
Subsequence findOverlap(List<Integer> sequence) {
  Subsequence repeatedSequence = null;
  int maxSeqSize = (sequence.size()/2)+1;
  int minSeqSize = 3;
  for(int subSeqSize=minSeqSize; subSeqSize<=maxSeqSize; subSeqSize++) {
    repeatedSequence = compareSubSeqOverlap(subSeqSize, sequence);
    if(repeatedSequence != null) {
      return repeatedSequence;
    }
  }
  return null;
}
```

Metoda **findOverlap**, działa w sposób podobny do metody **findSquare**. Różnice to inne wartości zmiennych **maxSeqSize**, **minSeqSize** oraz metoda wywoływana w pętli.

Do zmiennej **maxSeqSize** przypisywana jest liczba o jeden większa niż długość sekwencji, ponieważ szukamy nasunięcia, a więc podciągi będą ze sobą dzieliły jeden znak. Wobec tego dla ciągu $S = \{abcabcb\}$, najdłuższy porównywany ciąg będzie długości 4, ponieważ w ostatniej iteracji pętli będziemy ze sobą porównywali podciągi $abca$ oraz $abcb$, które dzielą ze sobą literę a.

Wartość zmiennej **minSeqSize** wynosi 3, ponieważ jest to warunkiem stworzenia nasunięcia.

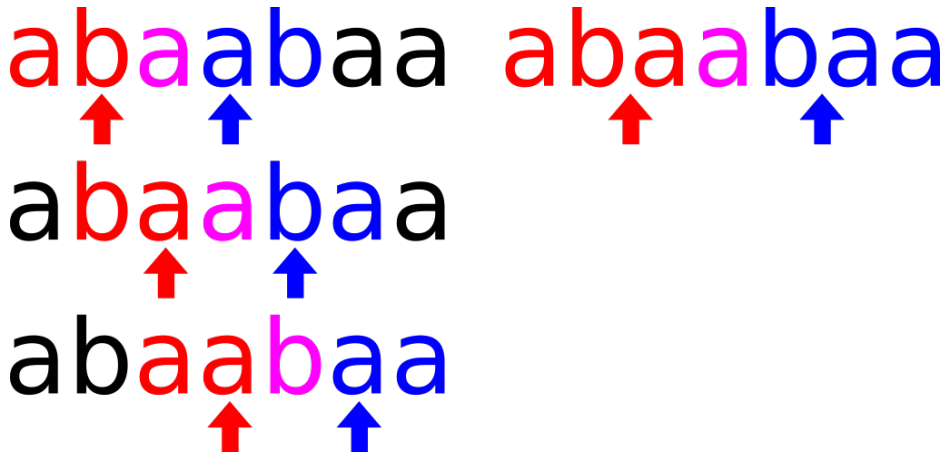
```

Subsequence compareSubSeqOverlap(int subSeqSize, List<Integer> sequence) {
  List<Integer> left = new ArrayList<>();
  List<Integer> right = new ArrayList<>();
  int comparesFitInSequence = (sequence.size() + 2) - (subSeqSize*2);
  for(int i=0; i<comparesFitInSequence; i++) {
    for(int j =0;j<subSeqSize;j++) {
      left.add(sequence.get(i+j));
```

```
9         right.add(sequence.get(i+j+subSeqSize-1));
10      }
11      if(listsAreEqual(left, right)) {
12        return new Subsequence(left, i, subSeqSize);
13      }
14      left.clear();
15      right.clear();
16    }
17    return null;
18  }
```

Metoda **compareSubSeqOverlap** również jest analogiczna do metody **compareSubSeq**. Różni się tutaj wartość zmiennej **comparesFitInSequence**, jest ona większa o 1, z takiego samego powodu, co zmienna **maxSeqSize** z metody **findOverlap**. Różni się również podciąg zapisywany do zmiennej **right**, w pętli z 6 linii. Pierwszy indeks owego podciągu jest równy indeksowi ostatniego elementu, lewego podciągu, po to by stworzyć nasunięcie.

Działanie algorytmu ilustruje grafika:



2.3. Komunikacja z użytkownikiem

Plik konfiguracyjny nie jest wystarczającym środkiem komunikacji z aplikacją. W związku z tym, po uruchomieniu programu mamy dostęp do konsoli, służy do wyświetlania jak i wprowadzania treści.

Po uruchomieniu aplikacji wypisywane w konsoli wypisywane są najważniejsze opcje konfiguracyjne, takie jak poziom budowniczego, poziom malarza oraz lista dostępnych symboli. Jeśli uruchomiliśmy grę w trybie **humanHuman**, to aplikacja w pierwszej kolejności poprosi nas o indeks. Po wpisaniu indeksu mieszczącego się w przedziale $\in \{0, ..., n\}$, gdy to zrobimy zostaniemy poproszeni o podanie symbolu ≥ 0 i $< setPower$. W momencie gdy podaliśmy prawidłowe wartości na ekran konsoli wyświetlany zostaje ciąg S', który został utworzony poprzez dodanie do istniejącego ciągu odpowiedniego symbolu. Jeśli w ciągu S' pojawi się kwadrat, na ekran zostanie wyświetlony czas rozgrywki, ilość ruchów jaka została do tej pory wykonana oraz indeksy wraz z symbolami, wspomnianego powtórzenia.

Oto przykład prostej rozgrywki:

```
#> W grze ędostpne ąs ęąnastpujce liczby:
0
1
2
 0: { 0 } 1: { }
## ============================================================ ##
#> Podaj indeks:
1
#> Podaj ęliczb:
2
 0: { 0 } 1: { 2 } 2: { }
## ============================================================ ##
#> Podaj indeks:
1
#> Podaj ęliczb:
```

```
1
 0: { 0 } 1: { 1 } 2: { 2 } 3: { }
## ============================================================ ##
#> Podaj indeks:
3
#> Podaj ęliczb:
1
 0: { 0 } 1: { 1 } 2: { 2 } 3: { 1 } 4: { }
## ============================================================ ##
#> Podaj indeks:
4
#> Podaj ęliczb:
2
 0: { 0 } 1: { 1 } 2: { 2 } 3: { 1 } 4: { 2 } 5: { }
## ============================================================ ##

#> Znaleziono kwadrat:
 1: { 1 } 2: { 2 } <-> 3: { 1 } 4: { 2 }

## ============================================================ ##

#> Rozrgrywka łtrwaa 5 óruchw i 20.339 sekund.
```

Jeśli uruchomimy rozgrywkę z komputerem, obok wybranego indeksu lub symbolu pojawia się również czas jaki był mu potrzebny na podjęcie decyzji.

```
#> Komputer łwybra indeks: 1  | Czas trwania ńoblicze: 24.127 s
#> Komputer łwybra ęliczb: 4  | Czas trwania ńoblicze: 0.012 s
```

By ułatwić późniejszą analizę wszystkie informacje zawarte w konsoli, zapisywane są do nowo utworzonego pliku w katalogu output.

2.4. Algorytmy wyszukiwania optymalnych ruchów

Jak zostało wcześniej wspomniane można sterować poziomem inteligencji komputerowych oponentów za pomocą zmiennych konfiguracyjnych. Jeśli ustawimy poziom zagnieżdżeń na 0, algorytm będzie działał zachłannie, wybierając opcje, która jest najatrakcyjniejsza w danym momencie, nie zważając na to, co może wydarzyć się w kolejnej turze.

ROZDZIAŁ 3

Narzędzia i standardy pokrewne

Systemy SGML, ze względu na mnogość funkcji jakie spełniają i ich kompleksowe podejście do oznakowywania i przetwarzania dokumentów tekstowych, są bardzo skomplikowane. Możemy wyróżnić dwa podejścia do budowy takich systemów. Z jednej strony, buduje się systemy zindywidualizowane, oparte o specyficzne narzędzia tworzone w takich językach, jak: C, C++, Perl czy Python. Edytory strukturalne, filtry do transformacji formatów czy parsery i biblioteki przydatne do konstrukcji dalszych narzędzi, tworzone są według potrzeb określonych, pojedynczych systemów.

Z drugiej strony, twórcy oprogramowania postanowili pójść krok dalej i połączyć te różne narzędzia w jedną całość. Tą całość miał stanowić DSSSL lub jego XML-owy odpowiednik – standard XSL. Ze względu na oferowane możliwości można twierdzić, że tworzenie i używanie narzędzi implementujących standard DSSSL/XSL, jest najwłaściwszym podejściem. Przemawiają za tym różne argumenty, ale najważniejszym z nich jest to, że mamy tu możliwość stworzenia niezależnego od platformy programowej i narzędziowej zbioru szablonów – przepisów jak przetwarzać dokumenty SGML.

3.1. Przetwarzanie dokumentów SGML – standard DSSSL

DSSSL (*Document Style Semantics and Specification Language*) – to międzynarodowy standard ściśle związany ze standardem SGML. Standard ten, można podzielić na następujące części:

- język transformacji (*transformation language*). To definicja języka słu-

żącego do transformacji dokumentu oznaczonego znacznikami zgodnie z pewnym DTD na dokument oznaczony zgodnie z innym DTD.

- język stylu (*style language*) opisujący sposób formatowania dokumentów SGML.
- język zapytań (*query language*) służy do identyfikowania poszczególnych fragmentów dokumentu SGML.

Opisane główne części składowe standardu DSSSL dają obraz tego, jak wiele aspektów przetwarzania zostało zdefiniowanych i jak skomplikowany jest to problem. Jest to głównym powodem tego, że mimo upływu kilku lat od zdefiniowania standardu nie powstały ani komercyjne ani wolnodostępne aplikacje wspierające go w całości. Istnieją natomiast *nieliczne* narzędzia realizujące DSSSL w ograniczonym zakresie, głównie w części definiującej język stylu, który odpowiada za opatrzenie dokumentu czysto strukturalnego w informacje formatujące. Daje to możliwość publikacji dokumentów SGML zarówno w postaci elektronicznej, hipertekstowej czy też drukowanej.

3.2. Przetwarzanie dokumentów XML – standard XSL

Tak jak XML jest *uproszczoną* wersją standardu SGML, tak XSL jest uproszczonym odpowiednikiem standardu DSSSL. W szczególności, wyróżnić można w tym standardzie następujące części składowe:

- język transformacji (XSLT) To definicja języka służącego do transformacji dokumentu.
- język zapytań (XPath) służy do identyfikowania poszczególnych fragmentów dokumentu.
- język stylu deefiniujący sposób formatowania dokumentów XML.

ROZDZIAŁ 4

Przegląd dostępnych narzędzi

W celu wykorzystania standardu SGML do przetwarzania dokumentów, niezbędne jest zebranie odpowiedniego zestawu narzędzi. Narzędzi do przetwarzania dokumentów SGML jest wiele. Są to zarówno całe systemy zintegrowane, jak i poszczególne programy, biblioteki czy skrypty wspomagające.

4.1. Narzędzia do przeglądania dokumentów SGML

Do tej kategorii oprogramowania zaliczamy przeglądarki dokumentów SGML oraz serwery sieciowe wspomagające standard SGML, przy czym rozwiązań wspierających standard XML jest już w chwili obecnej dużo więcej i są dużo powszechniejsze.

Jeżeli chodzi o przeglądarki to zarówno Internet Explorer jak i Netscape umożliwiają bezpośrednie wyświetlenie dokumentów XML; ponieważ jednak nie wspierają w całości standardu XML, prowadzi to ciągle do wielu problemów[1].

[1] Z innych mniej popularnych rozwiązań można wymienić takie aplikacje, jak: HyBrick SGML Browser firmy Fujitsu Limited, Panorama Publisher firmy InterLeaf Inc, DynaText firmy Inso Corporation czy darmowy QWeb. W przypadku serwerów zwykle dokonują one transformacji „w locie" żądanych dokumentów na format HTML (rzadziej bezpośrednio wyświetlają dokumenty XML). Ta kategoria oprogramowania ma, z punktu widzenia projektu, znaczenie drugorzędne.

4.2. Parsery SGML

Program `nsgmls` (z pakietu `SP` Jamesa Clarka) jest doskonałym parserem dokumentów SGML, dostępnym publicznie. Parser `nsgmls` jest dostępny w postaci źródłowej oraz w postaci programów wykonywalnych przygotowanych na platformę MS Windows, Linux/Unix i inne. Oprócz analizy poprawności dokumentu parser ten umożliwia również konwersję danych do formatu ESIS, który wykorzystywany jest jako dane wejściowe przez wiele narzędzi do przetwarzania i formatowania dokumentów SGML. Dodatkowymi, bardzo przydatnymi elementami pakietu `SP` są: program `sgmlnorm` do normalizacji, program `sx` służący do konwersji dokumentu SGML na XML oraz biblioteki programistyczne, przydatne przy tworzeniu specjalistycznych aplikacji służących do przetwarzania dokumentów SGML.

W przypadku dokumentów XML publicznie dostępnych, parserów jest w chwili obecnej kilkadziesiąt. Do popularniejszych zaliczyć można Microsoft Java XML Parser firmy Microsoft, LT XML firmy Language Technology Group, Exapt oraz XP (James Clark)

4.3. Wykorzystanie języków skryptowych

4.4. Wykorzystanie szablonów XSL

Stosując wersję XML typu DocBook można wykorzystać szablony stylów przygotowane w standardzie XSL (autor N. Walsh). W chwili obecnej są dostępne narzędzia umożliwiające przetworzenie dokumentów XML do postaci drukowanej (Adobe PDF) oraz hipertekstowej (HTML).

Podobnie jak w przypadku szablonów DSSSL, szablony stylów XSL są sparametryzowane i udokumentowane i dzięki temu łatwe w adaptacji. Do zamiany dokumentu XML na postać prezentacyjną można wykorzystać jeden z dostępnych publicznie procesorów XSLT (por. tabela 4.1).

XSL:FO jest skomplikowanym językiem o dużych możliwościach, zawierającym ponad 50 różnych „obiektów formatujących”, począwszy od

Nazwa	Autor	Adres URL
sablotron	Ginger Alliance	http://www.gingerall.com
Xt	J. Clark	http://www.jclark.com
4XSLT	FourThought	http://www.fourthought.com
Saxon	Michael Kay	http://users.iclway.co.uk/mhkay/saxon
Xalan	Apache XML Project	http://xml.apache.org

Tabela 4.1. Publicznie dostępne procesory XLST

Źródło: Opracowanie własne

najprostszych, takich jak prostokątne bloki tekstu poprzez wyliczenia, tabele i odsyłacze. Obiekty te można formatować wykorzystując przeszło 200 różnych właściwości (*properties*), takich jak: kroje, odmiany i wielkości pisma, odstępy, kolory itp. W tym dokumencie przedstawione jest absolutne miniumum informacji na temat standardu XSL:FO.

Cały dokument XSL:FO zawarty jest wewnątrz elementu `fo:root`. Element ten zawiera (w podanej niżej kolejności):

- dokładnie jeden element `fo:layout-master-set` zawierający szablony określające wygląd poszczególnych stron oraz sekwencji stron (te ostatnie są opcjonalne, ale typowo są definiowane);
- zero lub więcej elementów `fo:declarations`;
- jeden lub więcej elementów `fo:page-sequance` zawierających treść formatowanego dokumentu wraz z opisem jego sformatowania i podziału na strony.

Zakończenie

Możliwości, jakie stoją przed archiwum prac magisterskich opartych na XML-u, są ograniczone jedynie czasem, jaki należy poświęcić na pełną implementację systemu. Nie ma przeszkód technologicznych do stworzenia co najmniej równie doskonałego repozytorium, jak ma to miejsce w przypadku ETD. Jeżeli chcemy w pełni uczestniczyć w rozwoju nowej ery informacji, musimy szczególną uwagę przykładać do odpowiedniej klasyfikacji i archiwizacji danych. Sądzę, że język XML znacznie to upraszcza.

DODATEK A

Tytuł załącznika jeden

Treść załącznika jeden.

DODATEK B

Tytuł załącznika dwa

Treść załącznika dwa.

Spis tabel

Spis rysunków

Oświadczenie

Ja, niżej podpisany(a) oświadczam, iż przedłożona praca dyplomowa została wykonana przeze mnie samodzielnie, nie narusza praw autorskich, interesów prawnych i materialnych innych osób.

.....	.....
data	podpis