T-79.1001 **Kevät 2006**
Tietojenkäsittelyteorian perusteet T
Harjoitus 6
Demonstraatiotehtävien ratkaisut

4 **Tehtävä**: Laadi yhteydetön kielioppi kielelle

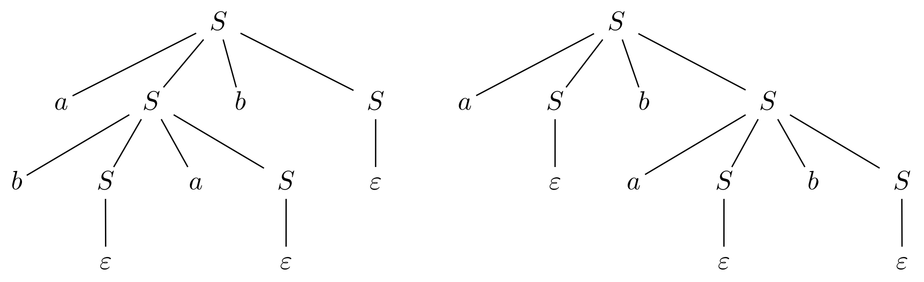
$$\{w \in \{a,b\}^* \mid w\text{:ssä on yhtä monta } a\text{:ta kuin } b\text{:tä}\}.$$

Vastaus: Kieliopin voi laatia parillakin eri tapaa. Yksinkertaisinta on laatia moniselitteinen kielioppi:

$$S \to aSbS \mid bSaS \mid \varepsilon \ .$$

Kieliopin ensimmäinen sääntö esittää ehdon: "Jos sana alkaa a:lla, niin jossain kohtaa sanassa esiintyy myös vastaava b. Tätä ennen ja jälkeen voi esiintyä mitä tahansa tasapainoisia merkkijonoja."

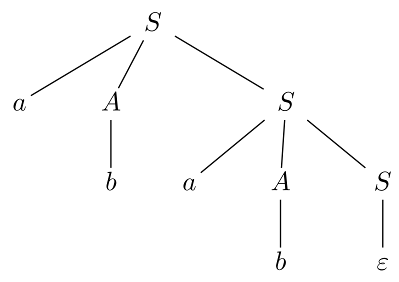
Esimerkiksi merkkijonolle $abab$ on kaksi eri jäsennyspuuta:



Mikäli kielelle halutaan laatia yksiselitteinen kielioppi, täytyy varmistaa, että sanan alussa oleva a liitetään ensimmäiseen mahdolliseen b:hen:

$$\begin{aligned} S &\to aAS \mid bBS \mid \varepsilon \\ A &\to aAb \mid b \\ B &\to bBb \mid a \end{aligned}$$

Nyt jonolla $abab$ on vain yksi jäsennyspuu:



5. **Tehtävä**:

(a) Osoita, että seuraava yhteydetön kielioppi on moniselitteinen:

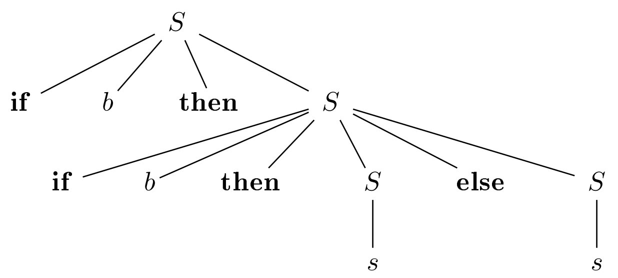
$$\begin{aligned} S &\to \textbf{if } b \textbf{ then } S \\ S &\to \textbf{if } b \textbf{ then } S \textbf{ else } S \\ S &\to s. \end{aligned}$$

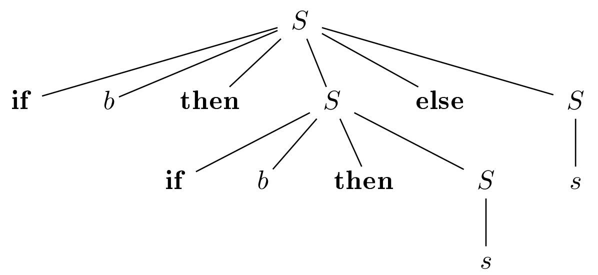
(b) Muodosta (a)-kohdan kieliopin kanssa ekvivalentti, so. saman kielen tuottava yksiselitteinen kielioppi.

Vastaus: Yhteydetön kielioppi G on moniselitteinen, mikäli on olemassa sana $w \in L(G)$ siten, että w:llä on ainakin kaksi erilaista jäsennyspuuta. Tehtävän kieliopille yksinkertaisin tällainen sana on:

$$\textbf{if } b \textbf{ then if } b \textbf{ then } s \textbf{ else } s,$$

joka voidaan jäsentää kahdella tapaa:





Yleensä ohjelmointikielissä halutaan **else**-lause liittää lähinpään mahdolliseen **if**-lauseeseen. Ylläolevista puista ensimmäinen vastaa tätä käytäntöä.

Määritellään kielioppi seuraavasti:

$$
\begin{aligned}
G &= (V, \Sigma, P, S) \\
V &= \{S, B, U, s, b, \textbf{if}, \textbf{then}, \textbf{else}\} \\
\Sigma &= \{s, b, \textbf{if}, \textbf{then}, \textbf{else}\} \\
P &= \{S \to B \mid U \\
&\qquad B \to \textbf{if } b \textbf{ then } B \textbf{ else } B \ \mid s \\
&\qquad U \to \textbf{if } b \textbf{ then } S \mid \textbf{if } b \textbf{ then } B \textbf{ else } U\}
\end{aligned}
$$

Tässä välikeellä B saadaan johdettua vain ohjelmia, joissa kaikilla **if**-lauseilla on sekä **then**- että **else**-haarat. Välikkeellä U johdetaan sitten **if**-lauseet, joista puuttuu **else**-haara.

6. **Tehtävä**:Laadi rekursiivisesti etenevä jäsentäjä edellisten harjoitusten tehtävän 5 kieliopille.

   Vastaus: Alla oleva C-ohjelma toteuttaa rekursiivisen jäsentäjän kieliopille:

$$
\begin{aligned}
&C \to S \mid S; C \\
&S \to a \mid \textbf{begin } C \textbf{ end} \mid \textbf{for } n \textbf{ times do } S
\end{aligned}
$$

Tässä on yksinkertaistettu hieman edellisen laskuharjoituskerran 6. tehtävän kielioppia korvaamalla erilliset numerot terminaalilla n, joka tarkoittaa mitä tahansa numeroa.

Tärkeimmät ohjelmassa esiintyvät funktiot ovat:

- `C()`, `S()` — toteuttavat kieliopin varsinaiset säännöt
- `lex()` — lukee syötteestä seuraavan lekseemin ja tallettaa sen globaaliin muuttujaan `current_tok`.
- `expect(int token)` — yrittää lukea syötteestä lekseemin *token*. Mikäli lukeminen epäonnistuu annetaan virheilmoitus.
- `consume_token()` — merkitään tämänhetkinen lekseemi käytetyksi. Tämä (tai jokin muu vastaava funktio) tarvitaan siksi, että joissain tapauksissa täytyy syötettä lukea yksi lekseemi eteenpäin ennen kuin tiedetään, mitä sääntöä täytyy käyttää.

Käytännössä ohjelmointikielten jäsentäjät toteutetaan yleensä käyttäen *lex*- ja *yacc*-työkaluja[1]. Näistä *lex* muodostaa tilakonepohjaisen selaajan, joka tunnistaa säännöllisillä lausekkeilla määritellyt lekseemit, ja *yacc* tekee pinoautomaattipohjaisen jäsentimen annetulle yhteydettömälle kieliopille.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <ctype.h>

/* Define the alphabet */
enum TOKEN  { DO, FOR, END, BEGIN, TIMES, OP, SC, NUMBER, ERROR };
const char* tokens[] = { "do", "for", "end", "begin", "times", "a",
                         ";", "NUMBER", NULL };

/* A global variable holding the current token */
int current_tok = ERROR;

/* Maximum length of a token */
#define TOKEN_LEN 128

/* declare functions corresponding to nonterminals */
void S(void);
void C(void);

int lex(void);
void consume_token(void);
void error(char *st);
void expect(int token);

void C(void)
{
  S();
  lex();
  if (current_tok == SC) {
    consume_token();
    C();
    printf("C => S ; C\n");
  } else {
    printf("C => S\n");
  }
}

void S(void)
```

[1] Tai niiden johdannaisia.

```
{
  lex();
  switch (current_tok) {
  case OP:
    consume_token();
    printf("S => a\n");
    break;
  case BEGIN:
    consume_token();
    C();
    expect(END);
    printf("S => begin C end\n");
    break;
  case FOR:
    consume_token();
    expect(NUMBER);
    expect(TIMES);
    expect(DO);
    S();
    printf("S => for N times do S\n");
    break;
  default:
    error("Parse error");
  }
}

/* int lex(void) returns the next token of the input. */
int lex(void)
{
  static char token_text[TOKEN_LEN];
  int pos = 0, c, i, next_token = ERROR;

  /* Is there an existing token already? */
  if (current_tok != ERROR)
    return current_tok;

  /* skip whitespace */
  do {
    c = getchar();
  } while (c != EOF && isspace(c));
  if (c != EOF) ungetc(c, stdin);

  /* read token */
  c = getchar();
  while (c != EOF && c != ';' && !isspace(c) && pos < TOKEN_LEN) {
    token_text[pos++] = c;
    c = getchar();
  }
  if (c == ';') {
    if (pos == 0) /* semicolon as token */
      next_token = SC;
    else { /* trailing semicolon, leave it for future */
      ungetc(';', stdin);
    }
```

```
  }
  token_text[pos] = '\0'; /* trailing zero */

  /* identify token */
  if (isdigit(token_text[0])) { /* number? */
    next_token = NUMBER;
  } else { /* not a number */
    for (i = DO; i < NUMBER; i++) {
      if (!strcmp(tokens[i], token_text)) {
        next_token = i;
        break;
      }
    }
  }
  current_tok = next_token;
  return next_token;
}

void consume_token(void)
{
  current_tok = ERROR;
}

void error(char *st)
{
  printf(st);
  exit(1);
}

/* try to read a 'token' from input */
void expect(int token)
{
  int next_tok = lex();
  if (next_tok == token) {
    consume_token();
    return;
  } else
    error("Parse error");
}

int main(void)
{
  int i;
  C();
  return 0;
}
```