

Reguläre Ausdrücke

Reguläre Ausdrücke

Reguläre Ausdrücke

- sind eine Methode zur Beschreibung einfacher Sprachen
- werden z.B. eingesetzt, um die Menge möglicher Bezeichner in einer Programmiersprache zu definieren
- haben einen engen Zusammenhang mit Grammatiken (Typ 3) und endlichen Automaten (siehe nächstes Kapitel)

Reguläre Ausdrücke

Reguläre Ausdrücke

- sind eine Methode zur Beschreibung einfacher Sprachen
- werden z.B. eingesetzt, um die Menge möglicher Bezeichner in einer Programmiersprache zu definieren
- haben einen engen Zusammenhang mit Grammatiken (Typ 3) und endlichen Automaten (siehe nächstes Kapitel)

Grundbegriffe

- Eine endliche Menge Σ nennen wir ein **Alphabet**.
- Die Elemente von Σ nennen wir **Symbole** oder **Buchstaben**.
- Die Elemente von Σ^* nennen wir **Worte** (über Σ).
- Eine Teilmenge $L \subseteq \Sigma^*$ nennen wir eine **Sprache** (über Σ).

Definition regulärer Ausdrücke

Definition 9

Sei Σ ein Alphabet. R ist ein regulärer Ausdruck über Σ , wenn R einer der folgenden Ausdrücke ist:

- 1 \emptyset ,
- 2 a , wobei $a \in \Sigma \cup \{\epsilon\}$ ist,
- 3 $R_1 \mid R_2$, wobei R_1, R_2 reguläre Ausdrücke sind,
- 4 $R_1 \cdot R_2$, wobei R_1, R_2 reguläre Ausdrücke sind (häufig auch einfach $R_1 R_2$),
- 5 R_1^* , wobei R_1 ein regulärer Ausdruck ist,
- 6 (R_1) , wobei R_1 ein regulärer Ausdruck ist.

Notationen un Abkürzungen

Notation

- Ist $A = \{a_1, \dots, a_m\} \subseteq \Sigma$, so schreiben wir statt $(a_1 \mid a_2 \mid \dots \mid a_m)$ auch A und nennen A ebenfalls einen regulären Ausdruck.

Notationen un Abkürzungen

Notation

- Ist $A = \{a_1, \dots, a_m\} \subseteq \Sigma$, so schreiben wir statt $(a_1 \mid a_2 \mid \dots \mid a_m)$ auch A und nennen A ebenfalls einen regulären Ausdruck.
- Damit ist für $A \subseteq \Sigma$ der Ausdruck A^* ein regulärer Ausdruck. Insbesondere ist Σ^* ein regulärer Ausdruck.

Notationen un Abkürzungen

Notation

- Ist $A = \{a_1, \dots, a_m\} \subseteq \Sigma$, so schreiben wir statt $(a_1 \mid a_2 \mid \dots \mid a_m)$ auch A und nennen A ebenfalls einen regulären Ausdruck.
- Damit ist für $A \subseteq \Sigma$ der Ausdruck A^* ein regulärer Ausdruck. Insbesondere ist Σ^* ein regulärer Ausdruck.
- Ist R ein regulärer Ausdruck und $n \in \mathbb{N}$ fest, so schreiben wir statt $\underbrace{R \cdot R \cdot \dots \cdot R}_{n\text{-mal}}$ auch R^n und nennen R^n ebenfalls einen regulären Ausdruck.

Einfache Beispiele

Beispiele

Sei $\Sigma = \{0, 1, \dots, 9, a, b, \dots, y, z\}$. Dann sind die folgende Ausdrücke reguläre Ausdrücke über Σ .

- $1^2\{0, 1\}^*0^2 = 11(0 | 1)^*00$

Einfache Beispiele

Beispiele

Sei $\Sigma = \{0, 1, \dots, 9, a, b, \dots, y, z\}$. Dann sind die folgende Ausdrücke reguläre Ausdrücke über Σ .

- $1^2\{0, 1\}^*0^2 = 11(0 | 1)^*00$
- $(a | b | \dots | z) \cdot (a | b | \dots | z | 0 | 1 | \dots | 9)^*$

Einfache Beispiele

Beispiele

Sei $\Sigma = \{0, 1, \dots, 9, a, b, \dots, y, z\}$. Dann sind die folgende Ausdrücke reguläre Ausdrücke über Σ .

- $1^2\{0, 1\}^*0^2 = 11(0 | 1)^*00$
- $(a | b | \dots | z) \cdot (a | b | \dots | z | 0 | 1 | \dots | 9)^*$
- $0^{10}1^{10} | 0^{10}2^{10}$

Definition 10

Sei Σ ein Alphabet und R ein regulärer Ausdruck über Σ . Die durch R definierte oder beschriebene Sprache $L(R)$ ist folgendermaßen definiert.

- Ist $R = \emptyset$, so ist $L(R) = \emptyset$.

Definition 10

Sei Σ ein Alphabet und R ein regulärer Ausdruck über Σ . Die durch R definierte oder beschriebene Sprache $L(R)$ ist folgendermaßen definiert.

- 1 Ist $R = \emptyset$, so ist $L(R) = \emptyset$.
- 2 Ist $R = a$, $a \in \Sigma \cup \{\epsilon\}$, so ist $L(R) = \{a\}$.

Definition 10

Sei Σ ein Alphabet und R ein regulärer Ausdruck über Σ . Die durch R definierte oder beschriebene Sprache $L(R)$ ist folgendermaßen definiert.

- 1 Ist $R = \emptyset$, so ist $L(R) = \emptyset$.
- 2 Ist $R = a$, $a \in \Sigma \cup \{\epsilon\}$, so ist $L(R) = \{a\}$.
- 3 Ist $R = R_1 \mid R_2$, wobei R_1, R_2 reguläre Ausdrücke sind, so ist $L(R) = L(R_1) \cup L(R_2)$.

Definition 10

Sei Σ ein Alphabet und R ein regulärer Ausdruck über Σ . Die durch R definierte oder beschriebene Sprache $L(R)$ ist folgendermaßen definiert.

- 1 Ist $R = \emptyset$, so ist $L(R) = \emptyset$.
- 2 Ist $R = a$, $a \in \Sigma \cup \{\epsilon\}$, so ist $L(R) = \{a\}$.
- 3 Ist $R = R_1 \mid R_2$, wobei R_1, R_2 reguläre Ausdrücke sind, so ist $L(R) = L(R_1) \cup L(R_2)$.
- 4 Ist $R = R_1 R_2$, so ist $L(R) = \{uv \mid u \in L(R_1), v \in L(R_2)\}$.

Definition 10

Sei Σ ein Alphabet und R ein regulärer Ausdruck über Σ . Die durch R definierte oder beschriebene Sprache $L(R)$ ist folgendermaßen definiert.

- 1 Ist $R = \emptyset$, so ist $L(R) = \emptyset$.
- 2 Ist $R = a$, $a \in \Sigma \cup \{\epsilon\}$, so ist $L(R) = \{a\}$.
- 3 Ist $R = R_1 \mid R_2$, wobei R_1, R_2 reguläre Ausdrücke sind, so ist $L(R) = L(R_1) \cup L(R_2)$.
- 4 Ist $R = R_1 R_2$, so ist $L(R) = \{uv \mid u \in L(R_1), v \in L(R_2)\}$.
- 5 Ist $R = R_1^*$, so ist $L(R) = \{u_1 \dots u_n \mid n \geq 0, u_i \in L(R_1), i = 1, \dots, n\}$.

Definition 10

Sei Σ ein Alphabet und R ein regulärer Ausdruck über Σ . Die durch R definierte oder beschriebene Sprache $L(R)$ ist folgendermaßen definiert.

- 1 Ist $R = \emptyset$, so ist $L(R) = \emptyset$.
- 2 Ist $R = a$, $a \in \Sigma \cup \{\epsilon\}$, so ist $L(R) = \{a\}$.
- 3 Ist $R = R_1 \mid R_2$, wobei R_1, R_2 reguläre Ausdrücke sind, so ist $L(R) = L(R_1) \cup L(R_2)$.
- 4 Ist $R = R_1 R_2$, so ist $L(R) = \{uv \mid u \in L(R_1), v \in L(R_2)\}$.
- 5 Ist $R = R_1^*$, so ist $L(R) = \{u_1 \dots u_n \mid n \geq 0, u_i \in L(R_1), i = 1, \dots, n\}$.
- 6 Ist $R = (R_1)$, so ist $L(R) = L(R_1)$.

Auswertungsreihenfolge - Prioritäten der Operatoren

- Um einem regulären Ausdruck eine eindeutige Sprache zuzuordnen zu können, muss eine Auswertungsreihenfolge festgelegt werden.
- Dies geschieht, durch Festlegung von Prioritäten für die Operatoren \cdot , $|$, $*$ in Definition 9.

Auswertungsreihenfolge - Prioritäten der Operatoren

- Um einem regulären Ausdruck eine eindeutige Sprache zuzuordnen zu können, muss eine Auswertungsreihenfolge festgelegt werden.
- Dies geschieht, durch Festlegung von Prioritäten für die Operatoren \cdot , $|$, $*$ in Definition 9.

Prioritäten

- 1 $*$ hat die höchste Priorität. D.h., $*$ wird nur auf die kürzeste Folge von Symbolen auf der linken Seite von $*$ angewandt, die einen korrekt geformten regulären Ausdruck darstellt.
- 2 Die nächst höhere Priorität besitzt \cdot .
- 3 Die niedrigste Priorität besitzt $|$.
- 4 Durch Einfügen von Klammern kann die Ausführungsreihenfolge gemäß den Klammern geändert werden.
- 5 Wird die Abkürzung n , $n \in \mathbb{N}$ verwendet, so hat sie dieselbe Priorität wie \cdot .

Beispiele

Sei $\Sigma = \{0, 1, \dots, 9, a, b, \dots, y, z\}$ Dann sind

- $1^2\{0, 1\}^*0^2 = 11(0 | 1)^*00$
- $(a | b | \dots | z) \cdot (a | b | \dots | z | 0 | 1 | \dots | 9)^*$
- $0^{10}1^{10} | 0^{10}2^{10}$

reguläre Ausdrücke über Σ .

Beispiele

Sei $\Sigma = \{0, 1, \dots, 9, a, b, \dots, y, z\}$ Dann sind

- $1^2\{0, 1\}^*0^2 = 11(0 | 1)^*00$
- $(a | b | \dots | z) \cdot (a | b | \dots | z | 0 | 1 | \dots | 9)^*$
- $0^{10}1^{10} | 0^{10}2^{10}$

reguläre Ausdrücke über Σ .

- $L(1^2(0 | 1)^*0^2)$ besteht aus alle 0, 1-Folgen, die mit zwei Einsen beginnen und mit zwei Nullen enden.

Beispiele

Sei $\Sigma = \{0, 1, \dots, 9, a, b, \dots, y, z\}$ Dann sind

- $1^2\{0, 1\}^*0^2 = 11(0 | 1)^*00$
- $(a | b | \dots | z) \cdot (a | b | \dots | z | 0 | 1 | \dots | 9)^*$
- $0^{10}1^{10} | 0^{10}2^{10}$

reguläre Ausdrücke über Σ .

- $L(1^2(0 | 1)^*0^2)$ besteht aus alle 0, 1-Folgen, die mit zwei Einsen beginnen und mit zwei Nullen enden.
- $L((a | b | \dots | z) \cdot (a | b | \dots | z | 0 | 1 | \dots | 9)^*)$ besteht aus allen Folgen von Buchstaben und Ziffern, die mit einem Buchstaben beginnen.

Beispiele

Sei $\Sigma = \{0, 1, \dots, 9, a, b, \dots, y, z\}$ Dann sind

- $1^2\{0, 1\}^*0^2 = 11(0 | 1)^*00$
- $(a | b | \dots | z) \cdot (a | b | \dots | z | 0 | 1 | \dots | 9)^*$
- $0^{10}1^{10} | 0^{10}2^{10}$

reguläre Ausdrücke über Σ .

- $L(1^2(0 | 1)^*0^2)$ besteht aus alle 0, 1-Folgen, die mit zwei Einsen beginnen und mit zwei Nullen enden.
- $L((a | b | \dots | z) \cdot (a | b | \dots | z | 0 | 1 | \dots | 9)^*)$ besteht aus allen Folgen von Buchstaben und Ziffern, die mit einem Buchstaben beginnen.
- $L(0^{10}1^{10} | 0^{10}2^{10}) = \{0^{10}1^{10}, 0^{10}2^{10}\}$.

Regulärer Sprachen

Definition 11

Sei Σ eine Alphabet und $L \subseteq \Sigma^*$ eine Sprache. L heißt regulär, wenn es einen regulären Ausdruck R mit $L = L(R)$ gibt.

Regulärer Sprachen

Definition 11

Sei Σ eine Alphabet und $L \subseteq \Sigma^*$ eine Sprache. L heißt regulär, wenn es einen regulären Ausdruck R mit $L = L(R)$ gibt.

Satz 12

Sei Σ ein Alphabet und $L \subseteq \Sigma^*$ eine reguläre Sprache. Dann ist

$$L^+ := \{w \in \Sigma^* \mid \exists n \in \mathbb{N}, w_1, \dots, w_n \in L : w = w_1 \cdots w_n\}$$

ebenfalls eine reguläre Sprache.

Regulärer Sprachen

Definition 11

Sei Σ eine Alphabet und $L \subseteq \Sigma^*$ eine Sprache. L heißt regulär, wenn es einen regulären Ausdruck R mit $L = L(R)$ gibt.

Satz 12

Sei Σ ein Alphabet und $L \subseteq \Sigma^*$ eine reguläre Sprache. Dann ist

$$L^+ := \{w \in \Sigma^* \mid \exists n \in \mathbb{N}, w_1, \dots, w_n \in L : w = w_1 \cdots w_n\}$$

ebenfalls eine reguläre Sprache.

Korollar 13

$\Sigma^+ := \Sigma^* \setminus \{\epsilon\}$ ist eine reguläre Sprache.

Beispiele regulärer Sprachen (1)

Lemma 14

Die Sprache $L_1 = \{0, 1\}^ \setminus \{11\}$ ist regulär.*

Beispiele regulärer Sprachen (1)

Lemma 14

Die Sprache $L_1 = \{0, 1\}^* \setminus \{11\}$ ist regulär.

Beweis.

$L_1 = L(R_1)$, wobei

$$R_1 = 0\{0, 1\}^* | 10\{0, 1\}^* | 111\{0, 1\}^* | 110\{0, 1\}^* | 1|\epsilon.$$



Beispiele regulärer Sprachen (2)

Lemma 15

Die Sprache

$$L_2 = \{w \in \{0,1\}^* \mid w \text{ enthält nicht die Teilfolge } 101\}$$

ist regulär.

Beispiele regulärer Sprachen (2)

Lemma 15

Die Sprache

$$L_2 = \{w \in \{0,1\}^* \mid w \text{ enthält nicht die Teilfolge } 101\}$$

ist regulär.

Beweis.

$L_2 = L(R_2)$, wobei

$$R_2 = ((0^*1^*)100)^* 0^*1^*(10|\epsilon).$$



Die leere Menge und das leere Wort

Folgende Begriffe und Notationen müssen unterschieden werden:

- 1 das leere Wort ϵ
- 2 der reguläre Ausdruck ϵ , der die Menge $\{\epsilon\}$ definiert
- 3 $\{\epsilon\}$, die Menge, die nur das leere Wort enthält
- 4 \emptyset , die leere Menge.