

Proste grupe in drevesa

Jakob Pogačnik Souvent

Fakulteta za matematiko in fiziko
Oddelek za matematiko

22. maj 2022

Uvod

Definicija (Proste grupe)

Naj bo S množica. Za grupo F , ki vsebuje S Pravimo, da S **prosto generira** F , če velja:

Za vsako grupo G in vsako preslikavo $\varphi : S \rightarrow G$ obstaja enolično določen homomorfizem $\overline{\varphi} : F \rightarrow G$, ki razširi φ .

Definicija (Proste grupe)

Naj bo S množica. Za grupo F , ki vsebuje S Pravimo, da S **prosto generira** F , če velja:

Za vsako grupo G in vsako preslikavo $\varphi : S \rightarrow G$ obstaja enolično določen homomorfizem $\bar{\varphi} : F \rightarrow G$, ki razširi φ .

Zgled

- ① Trivialna grupa je prosto generirana s prazno množico.
- ② \mathbb{Z} je prosto generirana z $\{1\}$, vendar ne z $\{2, 3\}$ ali z $\{2\}$.
- ③ \mathbb{Z}_2 ni prosto generirana.

Motivacija

Izrek

Vsaka grupa je kvocientna grupa neke proste grupe.

Izrek

Vsaka grupa je kvocientna grupa neke proste grupe.

Izrek

Grupa je prosta natanko tedaj, ko ima neko prosto delovanje na nepraznem drevesu.

Osnovne lastnosti

Izrek (Enoličnost prostih grup)

Naj bo S množica. Potem do izomorfizma natančno obstaja največna grupa prosto generirana z S .

Izrek (Enoličnost prostih grup)

Naj bo S množica. Potem do izomorfizma natančno obstaja največna grupa prosto generirana z S .

Izrek (Eksistanca prostih grup)

Naj bo S množica. Potem obstaja grupa, prosto generirana z S .

Izrek (Enoličnost prostih grup)

Naj bo S množica. Potem do izomorfizma natančno obstaja največna grupa prosto generirana z S .

Izrek (Eksistanca prostih grup)

Naj bo S množica. Potem obstaja grupa, prosto generirana z S .

Izrek

Naj bo F grupa, prosto generirana z S . Potem je S generator grupe F .

Trditev

Naj bo S množica.

- ① Množica okrajšanih besed $F_{red}(S)$ nad $S \cup \widehat{S}$ tvori grupo za operacijo kompozicije
- ② Grupa $F_{red}(S)$ je prosto generirana z S .

Definicija (Cayleyev graf)

Naj bo S podmnožica, ki generira grupo G . **Cayleyjev graf** G glede na množico generatorjev S je graf $\text{Cay}(G, S)$, katerega množica vozlišč je množica G in katerega množica povezav je množica

$$\{\{g, g \cdot s\} \mid g \in G, s \in (S \cup S^{-1}) \setminus \{e\}\},$$

kjer je $s \cdot$ označeno množenje v grupi G .

Definicija (Cayleyev graf)

Naj bo S podmnožica, ki generira grupo G . **Cayleyjev graf** G glede na množico generatorjev S je graf $\text{Cay}(G, S)$, katerega množica vozlišč je množica G in katerega množica povezav je množica

$$\{\{g, g \cdot s\} \mid g \in G, s \in (S \cup S^{-1}) \setminus \{e\}\},$$

kjer je $s \cdot$ označeno množenje v grupi G .

Zgled

- ① $\text{Cay}(\mathbb{Z}, \{1\})$
- ② $\text{Cay}(\mathbb{Z}, \{2, 3\})$
- ③ $\text{Cay}(\mathbb{Z}^2, \{(1, 0), (0, 1)\})$
- ④ $\text{Cay}(\mathbb{Z}_6, \{1\})$

Zgled

$\text{Cay}(F_{red}(S), S)$ kjer $S = \{a, b\}$

Cayleyev graf prostih grup

Zgled

$$\text{Cay}(F_{\text{red}}(S), S) \text{ kjer } S = \{a, b\}$$

Izrek (Cayleyev graf prostih grup)

Naj bo F grupa, prosto generirana z množico $S \subset F$. Potem je graf $\text{Cay}(F, S)$ drevo (drevo je graf brez ciklov).

Cayleyev graf prostih grup

Zgled

$$\text{Cay}(F_{\text{red}}(S), S) \text{ kjer } S = \{a, b\}$$

Izrek (Cayleyev graf prostih grup)

Naj bo F grupa, prosto generirana z množico $S \subset F$. Potem je graf $\text{Cay}(F, S)$ drevo (drevo je graf brez ciklov).

Opomba

Obrat v splošnem ne velja. Protiprimer: $\text{Cay}(\mathbb{Z}_2, \{1\})$.

Izrek (Obrat)

Naj bo G grupa in naj $S \subset G$ generira G . Dodatno naj velja:

$$\forall s, t \in S : s \cdot t \neq e.$$

Če je Cayleyev graf $\text{Cay}(G, S)$ drevo, potem S prosto generira G .

Definicija (Delovanje na grafu)

Naj bo G grupa. Naj bo X graf. **Delovanje** grupe G na grafu X je homomorfizem grup $G \rightarrow \text{Aut}(X)$.

(Prosto) delovanje

Definicija (Delovanje na grafu)

Naj bo G grupa. Naj bo X graf. **Delovanje** grupe G na grafu X je homomorfizem grup $G \rightarrow \text{Aut}(X)$.

Definicija (Prosto delovanje na grafu)

Naj bo $\rho : G \rightarrow \text{Aut}(X)$ delovanje grupe G na grafu $X = (V, E)$.
Pravimo, da je to delovanje **prosto**, če velja:

$$\begin{aligned} & \forall v \in V : (\rho(g))(v) \neq v, \text{ in} \\ & \forall \{v, v'\} \in E : \{(\rho(g))(v), (\rho(g))(v')\} \neq \{v, v'\} \end{aligned}$$

za vsak $g \in G \setminus \{e\}$.

Zgled

- ① Delovanje \mathbb{Z} na $\{z \in \mathbb{C} \mid |z| = 1\}$ kot

$$n \cdot z = e^{2\pi i \alpha n} z$$

kjer $\alpha \in \mathbb{R}$.

- ② Delovanje \mathbb{Z} na $Cay(\mathbb{Z}, \{1\})$ z (levim) seštevanjem.

Izrek

Naj bo G grupa in S neka množica, ki generira G . Potem je delovanje G na $\text{Cay}(G, S)$ z levo translacijo

$$g \cdot v = gv$$

prosto natanko tedaj, ko S ne vsebuje nobenega elementa reda 2.

Definicija (Vpeto drevo delovanja)

Naj grupa G deluje na povezanem grafu X . **Vpeto drevo delovanja** G na X je podgraf grafa X , ki je drevo in vsebuje natanko eno vozlišče vsake orbite delovanja G na vozlišča grafa.

Izrek

Vsako delovanje grupe na povezanem grafu ima vpeto drevo delovanja.

Izrek

Grupa je prosta natanko tedaj, ko ima neko prosto delovanje na nepraznem drevesu.