# Dotazování do deskripčních logik

Petr Křemen

FEL ČVUT

# Co nás čeká

1. Konjunktivní dotazy
2. Vyhodnocování konjunktivních dotazů v jazyce $\mathcal{ALC}$

# Konjunktivní dotazy

# Typy dotazů

Konjunktivní (ABox) dotazy – dotazy parametrizující individuály.

# Typy dotazů

**Konjunktivní (ABox) dotazy** – dotazy parametrizující individuály.

**Metadotazy** – dotazy parametrizující navíc i koncepty a role. Existuje několik jazyků pro metadotazování, např. SPARQL-DL, OWL-SAIQL, apod.

# Typy dotazů

**Konjunktivní (ABox) dotazy** – dotazy parametrizující individuály.

**Metadotazy** – dotazy parametrizující navíc i koncepty a role. Existuje několik jazyků pro metadotazování, např. SPARQL-DL, OWL-SAIQL, apod.

**Příklad**

V jazyce SPARQL-DL lze formulovat dotaz “Nalezni všechny osoby spolu s jejich typem.” :

$$Type(?x, ?c), SubClassOf(?c, Person)$$

# Konjunktivní dotazy

Konjunktivní ABox dotazy jsou analogií databázových SELECT-PROJECT-JOIN dotazů. Konjunktivní dotaz uvažujeme ve tvaru

$$Q(?x_1, \ldots, ?x_D) \leftarrow t_1, \ldots t_T,$$

kde každý $t_i$ je buď tvaru $C(y_k)$, nebo $R(y_k, y_l)$. Každé $y_i$ jsou buď (i) individuály z dotazované ontologie, nebo (ii) proměnné z nové množiny $V$ (my odlišíme proměnné od individuálů prefixem "?") a $C$ označuje koncept a $R$ roli dotazované ontologie. Dále požadujeme, aby všechny $?x_i$ byly přítomny i v těle dotazu

## Příklad

Uvažujme dotaz "Nalezni všechny matky a jejich dcery, mají-li tyto dcery bratra ?" :

$$\begin{aligned} Q(?x, ?z) \quad \leftarrow \quad & Woman(?x), hasChild(?x, ?y), hasChild(?x, ?z), \\ & Man(?y), Woman(?z) \end{aligned}$$

# Konjunktivní dotazy – sémantika

- Konjunktivní dotazy tvaru $Q()$ nazýváme *booleovský* – ten ověřuje existenci dotazem popsané relační struktury v každém modelu $\mathcal{I}$ ontologie $\mathcal{K}$.

# Konjunktivní dotazy – sémantika

- Konjunktivní dotazy tvaru $Q()$ nazýváme *booleovský* – ten ověřuje existenci dotazem popsané relační struktury v každém modelu $\mathcal{I}$ ontologie $\mathcal{K}$.
- Uvažujme tedy libovolnou interpretaci $\mathcal{I} = (\Delta^{\mathcal{I}}, \cdot^{\mathcal{I}})$. *Ohodnocení* $\eta$ je funkce z množiny individuálů a proměnných do $\Delta^{\mathcal{I}}$, která se pro individuály shoduje s $\mathcal{I}$.

# Konjunktivní dotazy – sémantika

- Konjunktivní dotazy tvaru $Q()$ nazýváme *booleovský* – ten ověřuje existenci dotazem popsané relační struktury v každém modelu $\mathcal{I}$ ontologie $\mathcal{K}$.
- Uvažujme tedy libovolnou interpretaci $\mathcal{I} = (\Delta^{\mathcal{I}}, \cdot^{\mathcal{I}})$. *Ohodnocení* $\eta$ je funkce z množiny individuálů a proměnných do $\Delta^{\mathcal{I}}$, která se pro individuály shoduje s $\mathcal{I}$.
- Potom $\mathcal{I} \models_{\eta} Q()$, pokud

# Konjunktivní dotazy – sémantika

- Konjunktivní dotazy tvaru $Q()$ nazýváme *booleovský* – ten ověřuje existenci dotazem popsané relační struktury v každém modelu $\mathcal{I}$ ontologie $\mathcal{K}$.
- Uvažujme tedy libovolnou interpretaci $\mathcal{I} = (\Delta^{\mathcal{I}}, \cdot^{\mathcal{I}})$. *Ohodnocení* $\eta$ je funkce z množiny individuálů a proměnných do $\Delta^{\mathcal{I}}$, která se pro individuály shoduje s $\mathcal{I}$.
- Potom $\mathcal{I} \models_{\eta} Q()$, pokud
  - $\eta(y_k) \in C^{\mathcal{I}}$ pro každý atom $C(y_k)$ z $Q()$ a

# Konjunktivní dotazy – sémantika

- Konjunktivní dotazy tvaru $Q()$ nazýváme *booleovský* – ten ověřuje existenci dotazem popsané relační struktury v každém modelu $\mathcal{I}$ ontologie $\mathcal{K}$.
- Uvažujme tedy libovolnou interpretaci $\mathcal{I} = (\Delta^{\mathcal{I}}, \cdot^{\mathcal{I}})$. *Ohodnocení* $\eta$ je funkce z množiny individuálů a proměnných do $\Delta^{\mathcal{I}}$, která se pro individuály shoduje s $\mathcal{I}$.
- Potom $\mathcal{I} \models_{\eta} Q()$, pokud
  - $\eta(y_k) \in C^{\mathcal{I}}$ pro každý atom $C(y_k)$ z $Q()$ a
  - $\langle \eta(y_k), \eta(y_l) \rangle \in R^{\mathcal{I}}$ pro každý atom $R(y_k, y_l)$ z $Q()$

# Konjunktivní dotazy – sémantika

- Konjunktivní dotazy tvaru $Q()$ nazýváme *booleovský* – ten ověřuje existenci dotazem popsané relační struktury v každém modelu $\mathcal{I}$ ontologie $\mathcal{K}$.
- Uvažujme tedy libovolnou interpretaci $\mathcal{I} = (\Delta^{\mathcal{I}}, \cdot^{\mathcal{I}})$. *Ohodnocení* $\eta$ je funkce z množiny individuálů a proměnných do $\Delta^{\mathcal{I}}$, která se pro individuály shoduje s $\mathcal{I}$.
- Potom $\mathcal{I} \models_{\eta} Q()$, pokud
  - $\eta(y_k) \in C^{\mathcal{I}}$ pro každý atom $C(y_k)$ z $Q()$ a
  - $\langle \eta(y_k), \eta(y_l) \rangle \in R^{\mathcal{I}}$ pro každý atom $R(y_k, y_l)$ z $Q()$
- Řekneme, že interpretace $\mathcal{I}$ je modelem $Q()$, pokud $\mathcal{I} \models_{\eta} Q()$ pro nějaké $\eta$.

# Konjunktivní dotazy – sémantika

- Konjunktivní dotazy tvaru $Q()$ nazýváme *booleovský* – ten ověřuje existenci dotazem popsané relační struktury v každém modelu $\mathcal{I}$ ontologie $\mathcal{K}$.
- Uvažujme tedy libovolnou interpretaci $\mathcal{I} = (\Delta^{\mathcal{I}}, \cdot^{\mathcal{I}})$. *Ohodnocení* $\eta$ je funkce z množiny individuálů a proměnných do $\Delta^{\mathcal{I}}$, která se pro individuály shoduje s $\mathcal{I}$.
- Potom $\mathcal{I} \models_{\eta} Q()$, pokud
  - $\eta(y_k) \in C^{\mathcal{I}}$ pro každý atom $C(y_k)$ z $Q()$ a
  - $\langle \eta(y_k), \eta(y_l) \rangle \in R^{\mathcal{I}}$ pro každý atom $R(y_k, y_l)$ z $Q()$
- Řekneme, že interpretace $\mathcal{I}$ je modelem $Q()$, pokud $\mathcal{I} \models_{\eta} Q()$ pro nějaké $\eta$.
- Dále $\mathcal{K} \models Q()$ ($Q()$ je splnitelný v $\mathcal{K}$) iff $\mathcal{I} \models Q()$ kdykoliv $\mathcal{I} \models \mathcal{K}$

# Konjunktivní dotazy – proměnné

- Dotazy bez proměnných nejsou příliš prakticky zajímavé. Pro dotazy s proměnnými definujeme sémantiku již snadno. N-tice $\langle i_1, \ldots, i_n \rangle$ je *řešením dotazu* $Q(?x_1, \ldots, ?x_n)$ v ontologii $\mathcal{K}$, je-li $\mathcal{K} \models Q'()$, pro booleovský dotaz $Q'$ vzniklý z $Q$ nahrazením všech výskytů $?x_1$ v těle dotazu individuálem $i_1$, atd.

# Konjunktivní dotazy – proměnné

- Dotazy bez proměnných nejsou příliš prakticky zajímavé. Pro dotazy s proměnnými definujeme sémantiku již snadno. N-tice $\langle i_1, \ldots, i_n \rangle$ je *řešením dotazu* $Q(?x_1, \ldots, ?x_n)$ v ontologii $\mathcal{K}$, je-li $\mathcal{K} \models Q'()$, pro booleovský dotaz $Q'$ vzniklý z $Q$ nahrazením všech výskytů $?x_1$ v těle dotazu individuálem $i_1$, atd.
- V konjunktivním dotazu vystupují proměnné ve dvou situacích:

# Konjunktivní dotazy – proměnné

- Dotazy bez proměnných nejsou příliš prakticky zajímavé. Pro dotazy s proměnnými definujeme sémantiku již snadno. N-tice $\langle i_1, \ldots, i_n \rangle$ je *řešením dotazu* $Q(?x_1, \ldots, ?x_n)$ v ontologii $\mathcal{K}$, je-li $\mathcal{K} \models Q'()$, pro booleovský dotaz $Q'$ vzniklý z $Q$ nahrazením všech výskytů $?x_1$ v těle dotazu individuálem $i_1$, atd.
- V konjunktivním dotazu vystupují proměnné ve dvou situacích:

  rozlišené (distinguished) se vyskytují v těle i hlavě dotazu, např. $?x, ?z$ v předchozím příkladě. Ohodnocením těchto proměnných jsou doménové prvky, které jsou nutně interpretací některého individuálu z $\mathcal{K}$. Právě tento individuál je pak očekávaným vázáním rozlišené proměnné ve výsledku dotazu.

# Konjunktivní dotazy – proměnné

- Dotazy bez proměnných nejsou příliš prakticky zajímavé. Pro dotazy s proměnnými definujeme sémantiku již snadno. N-tice $\langle i_1, \ldots, i_n \rangle$ je *řešením dotazu* $Q(?x_1, \ldots, ?x_n)$ v ontologii $\mathcal{K}$, je-li $\mathcal{K} \models Q'()$, pro booleovský dotaz $Q'$ vzniklý z $Q$ nahrazením všech výskytů $?x_1$ v těle dotazu individuálem $i_1$, atd.
- V konjunktivním dotazu vystupují proměnné ve dvou situacích:

  rozlišené (distinguished) se vyskytují v těle i hlavě dotazu, např. $?x, ?z$ v předchozím příkladě. Ohodnocením těchto proměnných jsou doménové prvky, které jsou nutně interpretací některého individuálu z $\mathcal{K}$. Právě tento individuál je pak očekávaným vázáním rozlišené proměnné ve výsledku dotazu.

  nerozlišené (undistinguished) se vyskytují pouze v těle dotazu, např. $?y$ v předchozím příkladě. Jejich ohodnocením jsou libovolné doménové prvky.

# Konjunktivní dotazy – příklady

## Příklad

Mějme ontologii $\mathcal{K}_4 = (\emptyset, \{(\exists R_1 \cdot C_1)(i), R_2(i,j), C_2(j)\})$.

- Platí $\mathcal{K} \models Q_1()$ pro $Q_1() \leftarrow R_1(?x_1, ?x_2)$ ?
- Jaká jsou řešení dotazu $Q_2(?x_1) \leftarrow R_1(?x_1, ?x_2)$ pro $\mathcal{K}$ ?
- Jaká jsou řešení dotazu $Q_3(?x_1, ?x_2) \leftarrow R_1(?x_1, ?x_2)$ pro $\mathcal{K}$ ?

# Vyhodnocování konjunktivních dotazů v jazyce $\mathcal{ALC}$

# Splnitelnost booleovských dotazů v jazyce $\mathcal{ALC}$

- Splnitelnost booleovského dotazu $Q()$ ve tvaru kořenového stromu v $\mathcal{ALC}$ lze ověřit pomocí tzv. *zabalovací procedury* (rolling-up technique).

# Splnitelnost booleovských dotazů v jazyce $\mathcal{ALC}$

- Splnitelnost booleovského dotazu $Q()$ ve tvaru kořenového stromu v $\mathcal{ALC}$ lze ověřit pomocí tzv. *zabalovací procedury* (rolling-up technique).
    - Každý atom tvaru $R(y_k, y_l)$ lze nahradit termem $(\exists R \cdot X)(y_k)$, pokud se $y_k$ nevyskytuje v jiném atomu dotazu. $X$ je rovno

# Splnitelnost booleovských dotazů v jazyce $\mathcal{ALC}$

- Splnitelnost booleovského dotazu $Q()$ ve tvaru kořenového stromu v $\mathcal{ALC}$ lze ověřit pomocí tzv. *zabalovací procedury* (rolling-up technique).
  - Každý atom tvaru $R(y_k, y_l)$ lze nahradit termem $(\exists R \cdot X)(y_k)$, pokud se $y_k$ nevyskytuje v jiném atomu dotazu. $X$ je rovno
    - (i) $\top$, je-li $y_l$ proměnná,

# Splnitelnost booleovských dotazů v jazyce $\mathcal{ALC}$

- Splnitelnost booleovského dotazu $Q()$ ve tvaru kořenového stromu v $\mathcal{ALC}$ lze ověřit pomocí tzv. *zabalovací procedury* (rolling-up technique).
  - Každý atom tvaru $R(y_k, y_l)$ lze nahradit termem $(\exists R \cdot X)(y_k)$, pokud se $y_k$ nevyskytuje v jiném atomu dotazu. $X$ je rovno
    - (i) $\top$, je-li $y_l$ proměnná,
    - (ii) jinak $Y_l$, neboli tzv. *reprezentativní koncept* individuálu $y_l$. Jedná se o nový (v $\mathcal{K}$ ani $Q$ se dosud nevyskytující atomický koncept). Pro každý takový $y_l$ vložíme navíc do ABoxu ontologie $\mathcal{K}$ tvrzení $Y_l(y_l)$.

# Splnitelnost booleovských dotazů v jazyce $\mathcal{ALC}$

- Splnitelnost booleovského dotazu $Q()$ ve tvaru kořenového stromu v $\mathcal{ALC}$ lze ověřit pomocí tzv. *zabalovací procedury* (rolling-up technique).
  - Každý atom tvaru $R(y_k, y_l)$ lze nahradit termem $(\exists R \cdot X)(y_k)$, pokud se $y_k$ nevyskytuje v jiném atomu dotazu. $X$ je rovno
    - (i) $\top$, je-li $y_l$ proměnná,
    - (ii) jinak $Y_l$, neboli tzv. *reprezentativní koncept* individuálu $y_l$. Jedná se o nový (v $\mathcal{K}$ ani $Q$ se dosud nevyskytující atomický koncept). Pro každý takový $y_l$ vložíme navíc do ABoxu ontologie $\mathcal{K}$ tvrzení $Y_l(y_l)$.
  - Každý atom tvaru $R(y_k, y_l)$ lze nahradit termem $(\exists R \cdot C)(y_k)$, pokud se $y_k$ vyskytuje v dotazu v pouze jediném dalším atomu tvaru $C(y_k)$.

# Splnitelnost booleovských dotazů v jazyce $\mathcal{ALC}$

- Splnitelnost booleovského dotazu $Q()$ ve tvaru kořenového stromu v $\mathcal{ALC}$ lze ověřit pomocí tzv. *zabalovací procedury* (rolling-up technique).
  - Každý atom tvaru $R(y_k, y_l)$ lze nahradit termem $(\exists R \cdot X)(y_k)$, pokud se $y_k$ nevyskytuje v jiném atomu dotazu. $X$ je rovno
    - (i) $\top$, je-li $y_l$ proměnná,
    - (ii) jinak $Y_l$, neboli tzv. *reprezentativní koncept* individuálu $y_l$. Jedná se o nový (v $\mathcal{K}$ ani $Q$ se dosud nevyskytující atomický koncept). Pro každý takový $y_l$ vložíme navíc do ABoxu ontologie $\mathcal{K}$ tvrzení $Y_l(y_l)$.
  - Každý atom tvaru $R(y_k, y_l)$ lze nahradit termem $(\exists R \cdot C)(y_k)$, pokud se $y_k$ vyskytuje v dotazu v pouze jediném dalším atomu tvaru $C(y_k)$.
  - Každé dva atomy $C_1(y_k)$ a $C_2(y_k)$ atomem jediným tvaru $(C_1 \sqcap C_2)(y_k)$.

# Splnitelnost booleovských dotazů v jazyce $\mathcal{ALC}$

- Splnitelnost booleovského dotazu $Q()$ ve tvaru kořenového stromu v $\mathcal{ALC}$ lze ověřit pomocí tzv. *zabalovací procedury* (rolling-up technique).
  - Každý atom tvaru $R(y_k, y_l)$ lze nahradit termem $(\exists R \cdot X)(y_k)$, pokud se $y_k$ nevyskytuje v jiném atomu dotazu. $X$ je rovno
    - (i) $\top$, je-li $y_l$ proměnná,
    - (ii) jinak $Y_l$, neboli tzv. *reprezentativní koncept* individuálu $y_l$. Jedná se o nový (v $\mathcal{K}$ ani $Q$ se dosud nevyskytující atomický koncept). Pro každý takový $y_l$ vložíme navíc do ABoxu ontologie $\mathcal{K}$ tvrzení $Y_l(y_l)$.
  - Každý atom tvaru $R(y_k, y_l)$ lze nahradit termem $(\exists R \cdot C)(y_k)$, pokud se $y_k$ vyskytuje v dotazu v pouze jediném dalším atomu tvaru $C(y_k)$.
  - Každé dva atomy $C_1(y_k)$ a $C_2(y_k)$ atomem jediným tvaru $(C_1 \sqcap C_2)(y_k)$.
- Kontrolní otázka:*Napadá vás, pro jaké deskripční logiky nebudeme potřebovat reprezentativní koncept ?*

# Splnitelnost booleovských dotazů v jazyce $\mathcal{ALC}$ (2)

... po zabalení dotazu získáme dotaz $Q()' \leftarrow C(y)$, který je splněn v $\mathcal{K}$, iff $Q()$ je splněn v $\mathcal{K}$:

- Je-li $y$ individuál, potom je $Q'()$ splněn, platí-li $\mathcal{K} \models C(y)$, neboli je-li $\mathcal{K} \cup \{(\neg C)(y)\}$ nekonzistentní

## Příklad

Uvažujme dotaz $Q_4() \leftarrow R_1(?x_1, ?x_2), R_2(?x_1, ?x_3), C_2(?x_3)$. Tento dotaz lze zabalit do dotazu $Q_4' \leftarrow (\exists R_1 \cdot X_2 \sqcap \exists R_2 \cdot C_2)(?x_1)$. Tento dotaz je splnitelný v ontologii $\mathcal{K}_4$, neboť $\mathcal{K}_4 \cup \{(\exists R_1 \cdot X_2 \sqcap \exists R_2 \cdot C_2 \sqsubseteq \bot)\}$ je nekonzistentní.

# Splnitelnost booleovských dotazů v jazyce $\mathcal{ALC}$ (2)

... po zabalení dotazu získáme dotaz $Q()' \leftarrow C(y)$, který je splněn v $\mathcal{K}$, iff $Q()$ je splněn v $\mathcal{K}$:

- Je-li $y$ individuál, potom je $Q'()$ splněn, platí-li $\mathcal{K} \models C(y)$, neboli je-li $\mathcal{K} \cup \{(\neg C)(y)\}$ nekonzistentní
- Je-li $y$ proměnná, potom je $Q'()$ splněn, je-li $\mathcal{K} \cup \{C \sqsubseteq \bot\}$ je nekonzistentní. Proč ?

**Příklad**

Uvažujme dotaz $Q_4() \leftarrow R_1(?x_1, ?x_2), R_2(?x_1, ?x_3), C_2(?x_3)$. Tento dotaz lze zabalit do dotazu $Q_4' \leftarrow (\exists R_1 \cdot X_2 \sqcap \exists R_2 \cdot C_2)(?x_1)$. Tento dotaz je splnitelný v ontologii $\mathcal{K}_4$, neboť $\mathcal{K}_4 \cup \{(\exists R_1 \cdot X_2 \sqcap \exists R_2 \cdot C_2 \sqsubseteq \bot)\}$ je nekonzistentní.

# Splnitelnost booleovských dotazů v jazyce $\mathcal{ALC}$ (2)

... a co můžeme dělat s obecnými dotazy ?

- Uvažujme pouze dotazy, které tvoří "komponentu souvislosti" a obsahují pro nějakou proměnnou $y_k$, alespoň dva atomy tvaru $R_1(y_1, y_k)$ a $R_2(y_2, y_k)$.

# Splnitelnost booleovských dotazů v jazyce $\mathcal{ALC}$ (2)

... a co můžeme dělat s obecnými dotazy ?

- Uvažujme pouze dotazy, které tvoří "komponentu souvislosti" a obsahují pro nějakou proměnnou $y_k$, alespoň dva atomy tvaru $R_1(y_1, y_k)$ a $R_2(y_2, y_k)$.
- Kontrolní otázka: *Je to dostatečně obecný případ ? Proč nám stačí uvažování jedné komponenty souvislosti ? Proč nemusíme uvažovat stejný případ pro individuály ?*

# Splnitelnost booleovských dotazů v jazyce $\mathcal{ALC}$ (2)

... a co můžeme dělat s obecnými dotazy ?

- Uvažujme pouze dotazy, které tvoří "komponentu souvislosti" a obsahují pro nějakou proměnnou $y_k$, alespoň dva atomy tvaru $R_1(y_1, y_k)$ a $R_2(y_2, y_k)$.
- Kontrolní otázka: *Je to dostatečně obecný případ ? Proč nám stačí uvažování jedné komponenty souvislosti ? Proč nemusíme uvažovat stejný případ pro individuály ?*
- Využijeme TMP logiky $\mathcal{ALC}$. Každá dvojice atomů $R_1(y_1, y_k)$ a $R_2(y_2, y_k)$ může být splněna pouze tehdy, je-li $y_k$ ohodnocen doménovým prvkem, který je intepretací některého individuálu. Proč ? Stačí nám tedy, abychom $y_k$ postupně nahradili v našem dotazu každým individuálem vyskytujícím se v $\mathcal{K}$.

# Splnitelnost booleovských dotazů v jazyce $\mathcal{ALC}$ (2)

... a co můžeme dělat s obecnými dotazy ?

- Uvažujme pouze dotazy, které tvoří "komponentu souvislosti" a obsahují pro nějakou proměnnou $y_k$, alespoň dva atomy tvaru $R_1(y_1, y_k)$ a $R_2(y_2, y_k)$.
- Kontrolní otázka: *Je to dostatečně obecný případ ? Proč nám stačí uvažování jedné komponenty souvislosti ? Proč nemusíme uvažovat stejný případ pro individuály ?*
- Využijeme TMP logiky $\mathcal{ALC}$. Každá dvojice atomů $R_1(y_1, y_k)$ a $R_2(y_2, y_k)$ může být splněna pouze tehdy, je-li $y_k$ ohodnocen doménovým prvkem, který je intepretací některého individuálu. Proč ? Stačí nám tedy, abychom $y_k$ postupně nahradili v našem dotazu každým individuálem vyskytujícím se v $\mathcal{K}$.
- A jak je to v případě $\mathcal{SHOIN}$ a $\mathcal{SROIQ}$ ? Bohužel není známa rozhodovací procedura pro obecné booleovské dotazy ani pro $\mathcal{SHOIN}$.

# Dotazy s rozlišenými proměnnými

Mějme libovolný dotaz $Q(?x_1, \ldots, ?x_D)$. Jak jej vyhodnotit ?

- Naivně podle definice: Každou rozlišenou proměnnou $x_i$ se pokusíme postupně nahradit každým individuálem z $\mathcal{K}$. Řešením budou ty D-tice $\langle i_1, \ldots, i_D \rangle$, pro které je booleovský dotaz vzniklý nahrazením každé $x_k$ příslušným $i_k$ splnitelný.

# Dotazy s rozlišenými proměnnými

Mějme libovolný dotaz $Q(?x_1, \ldots, ?x_D)$. Jak jej vyhodnotit ?

- Naivně podle definice: Každou rozlišenou proměnnou $x_i$ se pokusíme postupně nahradit každým individuálem z $\mathcal{K}$. Řešením budou ty D-tice $\langle i_1, \ldots, i_D \rangle$, pro které je booleovský dotaz vzniklý nahrazením každé $x_k$ příslušným $i_k$ splnitelný.
- Trochu sofistikovaněji: Zkusíme nahradit nejprve první proměnnou $x_1$ každým individuálem z $\mathcal{K}$. Pokud potom alespoň jeden atom bez proměnných ve vzniklém dotazu není logickým důsledkem $\mathcal{K}$, potom nemusíme testovat vázání ostatních proměnných.

# Dotazy s rozlišenými proměnnými

Mějme libovolný dotaz $Q(?x_1, \ldots, ?x_D)$. Jak jej vyhodnotit ?

- Naivně podle definice: Každou rozlišenou proměnnou $x_i$ se pokusíme postupně nahradit každým individuálem z $\mathcal{K}$. Řešením budou ty D-tice $\langle i_1, \ldots, i_D \rangle$, pro které je booleovský dotaz vzniklý nahrazením každé $x_k$ příslušným $i_k$ splnitelný.
- Trochu sofistikovaněji: Zkusíme nahradit nejprve první proměnnou $x_1$ každým individuálem z $\mathcal{K}$. Pokud potom alespoň jeden atom bez proměnných ve vzniklém dotazu není logickým důsledkem $\mathcal{K}$, potom nemusíme testovat vázání ostatních proměnných.
- ... aj. V této oblasti je známo mnoho dalších heuristik a optimalizací.