人工知能

第14回 言語と論理(3)
証明と質問応答

立命館大学 情報理工学部 知能情報学科
萩原良信

STORY 言語と論理(3)

- ホイールダック2号は単純な論理を理解できるようになった.
- スフィンクスに対峙するホイールダック2号. スフィンクスが語りだす. 「貴子は洋子の娘」「子供の子供は孫」「娘ならば子供である」「洋子は豪太郎の娘だ」「靖は洋子のいとこだ」そして, スフィンクスは問う. 「さて, 豪太郎の孫は誰だ?」
- はたして, ホイールダック2号はこの問いに答えられるのか.

仮定　言語と論理(3)

- ホイールダック2号に文法に関する知識，語彙に関する知識は事前に与えてよいものとする.
- ホイールダック2号は誤りのない音声認識が可能であるとする.
- ホイールダック2号は与えられた自然言語文を論理式に変換する処理系を備えているものとする.

Contents

14.1.1 導出原理と証明

- 与えられた文から得られた一階述語論理式が恒真式(正しい)かどうか，判断するためにはどうすればよいか？
- **証明**：対象となる式が恒真式であるということを示すこと

無理！

∀xP(x)が真であるかどうかを直接しらべるには，全てのxについて考えないといけない．

導出原理 + 反駁(反論)による証明

14.1.2 導出とは何か？

- 節$C_i \equiv P \vee Q$と，節$C_j \equiv \neg Q \vee R$の二つの節から新たな節$C_{ij} \equiv P \vee R$を導く事．また，節$C_i \equiv Q$と節$C_j \equiv \neg Q \vee R$の二つの節から新たな節$C_{ij} \equiv R$を導く事を**導出**(resolution)という.

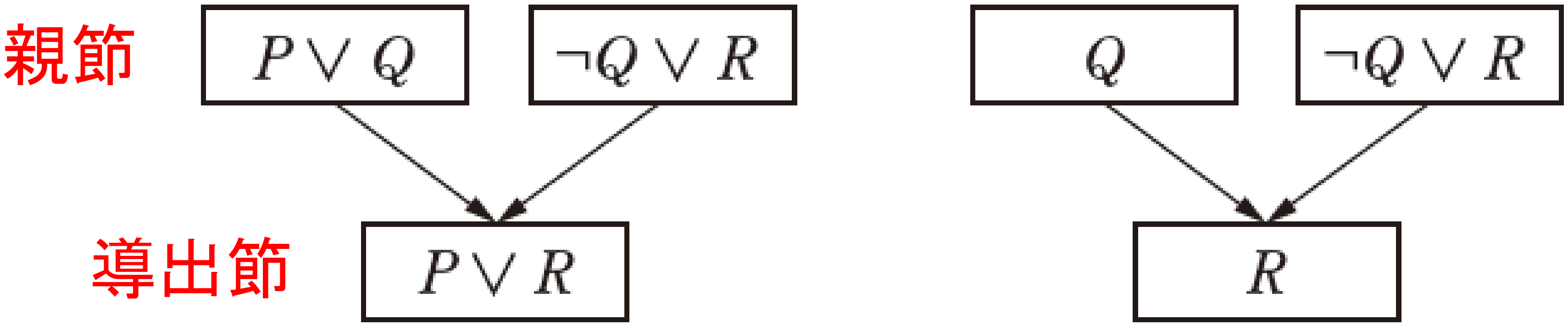


図 14.2　導出の様子

三段論法と等価

14.1.3 単一化置換

- 述語論理式に対する導出では，述語論理式に含まれる個体変数の違いが問題になる．
- 例えば下式について
  - $C_i \equiv P(x_1) \vee Q(x_2)$
  - $C_j \equiv \neg P(a) \vee R(b)$
- $P(x_1)$は任意の定数に対して成り立つので，$P(a)$についても成り立つ．x_1をaに置換(a/x_1)する事で以下の導出が行える．$C_i \equiv R(b) \vee Q(x_2)$
- このように，個体変数を別の項に置き換える操作を<u>単一化(unification)</u>という．
- それ以降の置換の自由度を確保するために，必要最小限の置換が望ましい．

14.1.4 反駁による証明

- 人手によって証明するのではなく，何らかのアルゴリズムによって自動的に証明したい．

- 前提Xと結論Yに対して，$X \to Y$「XならばY」を証明したい．

- $Z \equiv (X \to Y)$として，Zが常に真，反駁による証明ではZの否定が常に偽であることを示せばよい．

$$Z\text{が恒真式} \quad \Leftrightarrow \quad \neg Z\text{が恒偽式}$$

14.1.4 反駁による証明

- 前提Xと結論Yに対して，$X \rightarrow Y$「XならばY」を証明するという事は以下の論理式が常に偽である事を示せばよい.

$$
\begin{aligned}
\neg Z &\equiv \neg(X \rightarrow Y) \\
&\equiv \neg(\neg X \vee Y) \\
&\equiv X \wedge \neg Y
\end{aligned}
$$

前提X の節集合に，**結論の否定¬Y** を節として加えた節集合に対して導出を繰り返すことで，空節 を導けばよいことがわかる.

14.1.5 反駁による証明の例

前提　$P \to Q,\ P \land R$

結論　$Q \land R$

前提に結論の否定を加えた節集合

$$\{\underbrace{\neg P \lor Q, P, R,}_{\text{前提部}} \underbrace{\neg Q \lor \neg R}_{\text{結論部}}\}$$

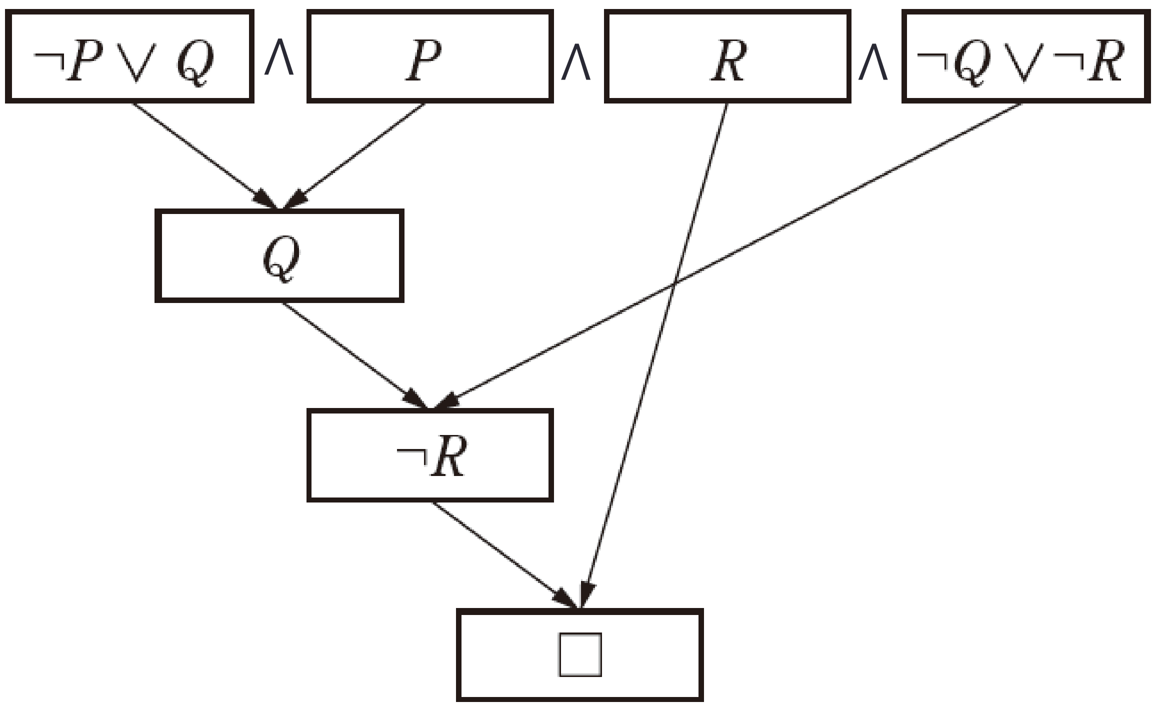


図 14.3　導出グラフ

演習14-1

- 前提$(P \wedge Q) \rightarrow R$, $P \rightarrow Q$, P から結論$Q \wedge R$が導けることを，導出原理と反駁木を用いて証明せよ.
- $([(P \wedge Q) \rightarrow R] \wedge [P \rightarrow Q] \wedge [P]) \rightarrow Q \wedge R$

導出制御戦略

- 親節内の特定の二つの節を具体的にどう選んだら良いかが決まらない.

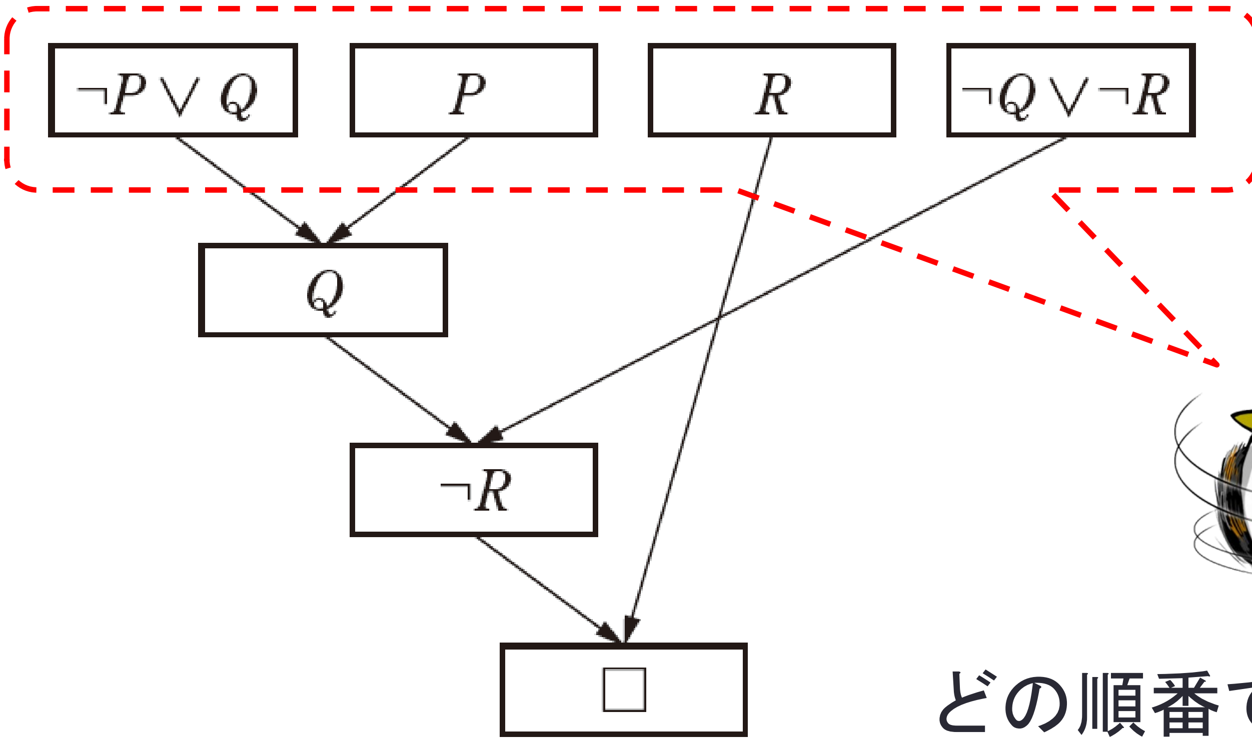


図 14.3　導出グラフ

どの順番で
どれとどれをくっつける？

導出制御戦略

- 機械的な制御戦略
  - 幅優先戦略(breadth-first strategy)
  - 線形導出(linear resolution)
- 意味的な制御戦略
  - **支持集合戦略**(set-of-support strategy)
  - 意味導出 (semantic resolution)
  - などなど

基本的な探索

前提X
結論¬Y

前提Xからの節と結論¬Yからの節を優先的に組み合わせる事で探索を行う方法

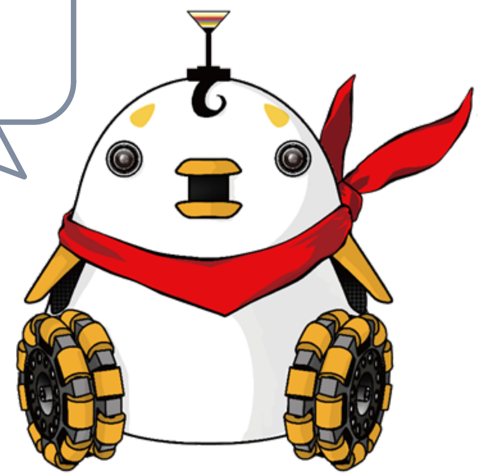
Contents

- 14.1 導出原理
- 14.2 述語論理による質問応答
- 14.3 スフィンクスの謎かけ

14.2.1 質問応答システム

ゴジラは
大きいですか？

はい



これができるか？

前提知識

- monster(x) → big(x)
- monster(ゴジラ)

14.2.2 一般疑問文に対する質問応答

- 一般疑問文
  - 「Do you～?」「Is this～?」→はい，いいえ　で回答
  - （事前知識）→（疑問文中で問われている事実)という述語論理式を構成し，これが恒真式であることを示せばよい．
  - (monster(x) → big(x)) ∧ monster(ゴジラ) → big(ゴジラ)

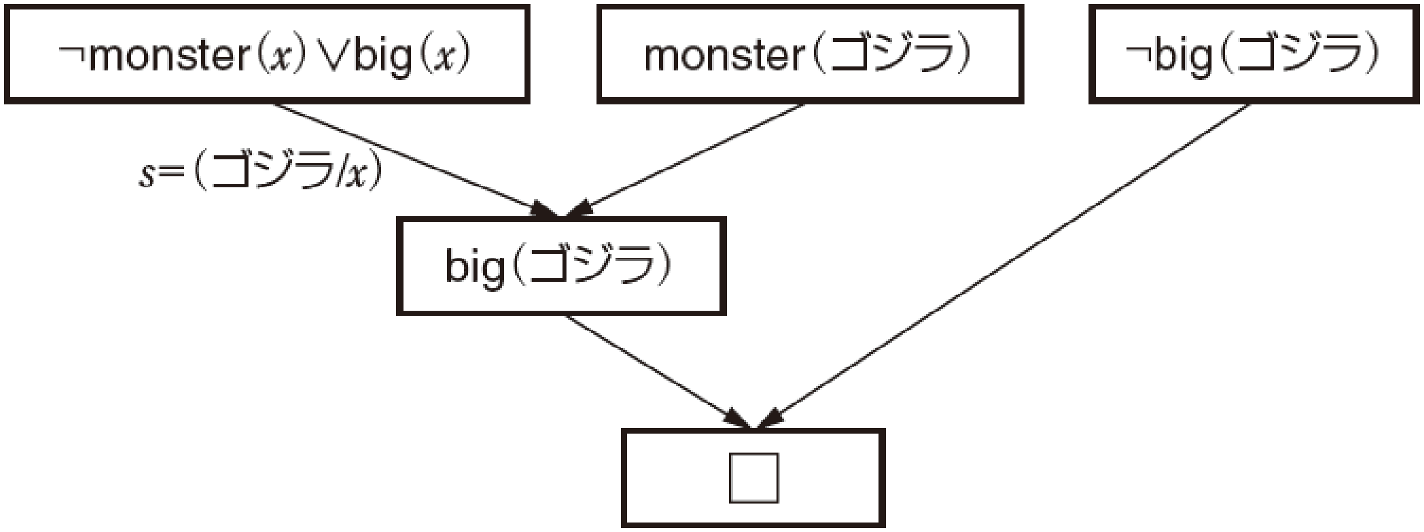


図 14.4　一般疑問文に対する導出グラフ

演習14-2 一般疑問文

- 「ネズミは動物だ」
- 「あらゆる動物は生き物だ」
- 「山田は人間だ」

という知識をロボットに述語論理式で持たせた上で

- 「ネズミは生き物か？」

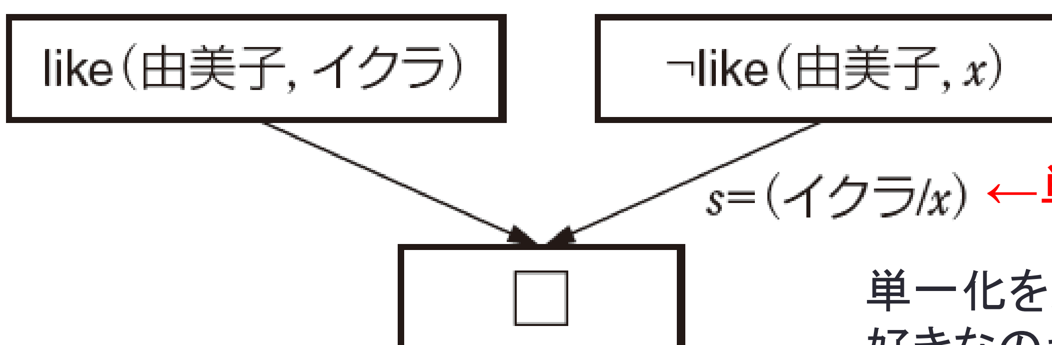
という一般疑問文に対する答えを反駁による証明を用いて求めさせよ.

14.2.3 特殊疑問文に対する質問応答

- 特殊疑問文
  - What, When, Where, Why, Who, How といった5W1H を問われる疑問文
  - 「由美子さんは何の食べ物が好きですか？」⇒
  「何かx が存在して，由美子さんはそのx が好きである」

$$\exists x \ \mathrm{like}(由美子, x)$$

  - 前提知識 like(由美子，イクラ) があったとすると，



単一化を逆にたどれば由美子さんが好きなのがイクラだとわかる．

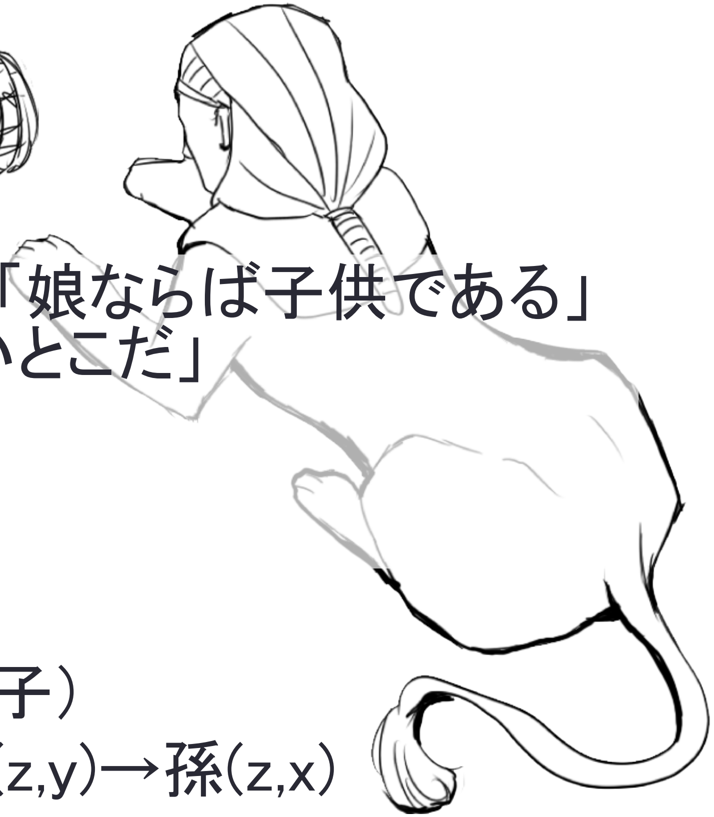
図 14.5 特殊疑問文に対する導出グラフ

Contents

スフィンクスの謎かけ


スフィンクスの謎かけ
「貴子は洋子の娘」「子供の子供は孫」「娘ならば子供である」「洋子は豪太郎の娘だ」「靖は洋子のいとこだ」そしてスフィンクスは問う.「さて，豪太郎の孫は誰だ？」

スフィンクスの問い



- 「貴子は洋子の娘」「子供の子供は孫」「娘ならば子供である」「洋子は豪太郎の娘だ」「靖は洋子のいとこだ」
- そしてスフィンクスは問う
- 「さて，豪太郎の孫は誰だ？」

1. 「貴子は洋子の娘」-> 娘（貴子，洋子）
2. 「子供の子供は孫」 -> 子(y,x)∧子(z,y)→孫(z,x)
3. 「娘ならば子供である」-> 娘(x,y)→子(x,y)
4. 「洋子は豪太郎の娘だ」-> 娘(洋子，豪太郎)
5. 「靖は洋子のいとこだ」-> いとこ（靖，洋子）

6. 「さて，豪太郎の孫は誰だ？」-> ヨw 孫(w,豪太郎)

演習14-3　スフィンクスの問い

節集合形式

C1: 娘(貴子, 洋子)

C2: ¬子(y,x)∨¬子(z,y)∨孫(z,x)

C3: ¬娘(x,y)∨子(x,y)

C4: 娘(洋子, 豪太郎)

C5: いとこ(靖, 洋子)

C6: ¬孫(w,豪太郎)

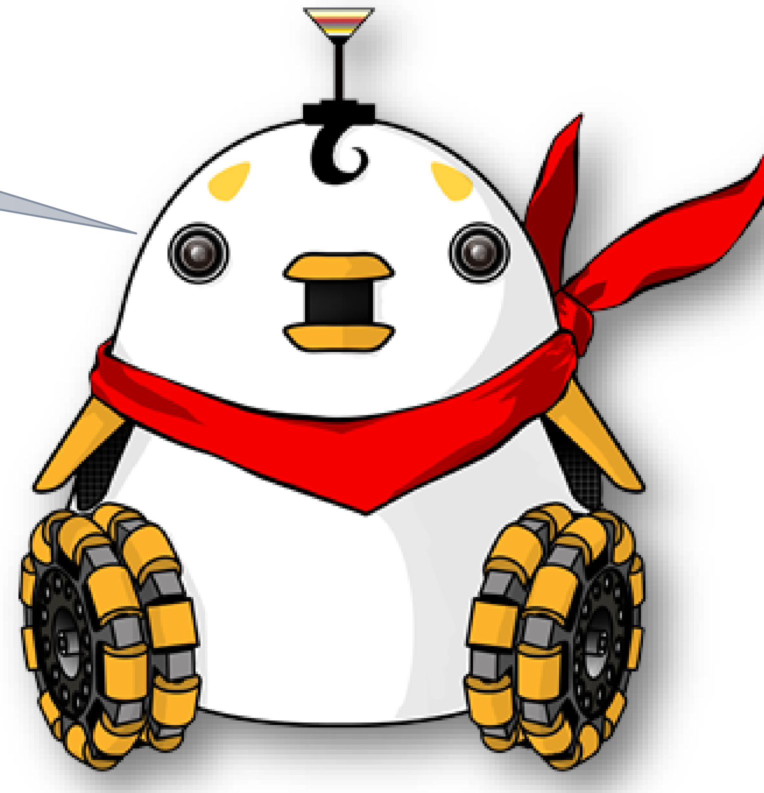
上記の節集合形式にもとづいて,
反駁による証明を用いてスフィンクスの問の答えを導け.

スフィンクス
「さて，豪太郎の孫は誰だ？」

ホイールダック2 号
「豪太郎の孫は『貴子』だ！」

孫は貴子

テヘペロ～
(･ω<)

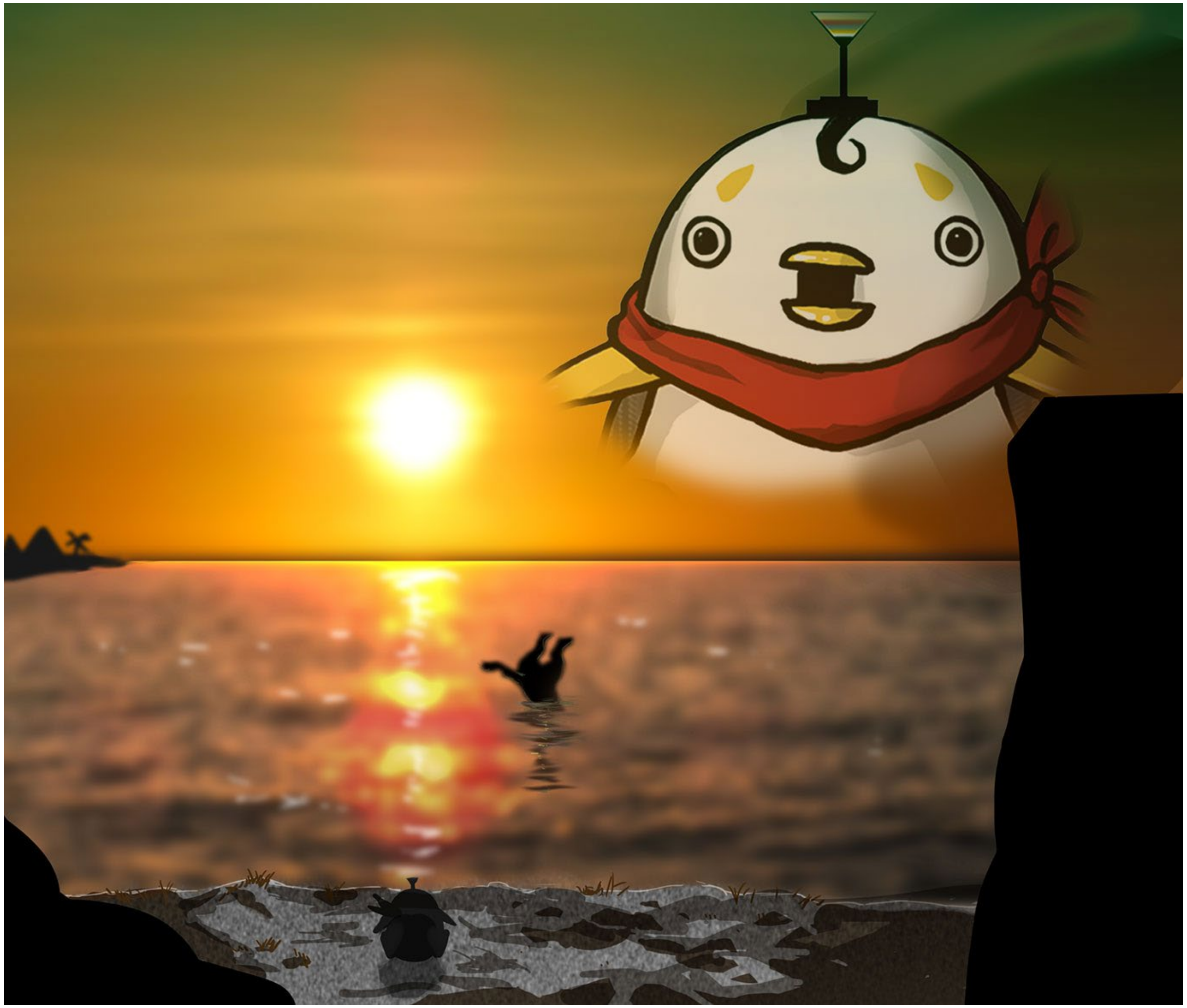


な･ん･だ･と･････!!!!!???


ドーン！

スフィンクスは驚き，岩の台座から飛び降りて，海に落ちて死んだ

おめでとうホイールダック2 号！



まとめ

- 導出原理について学んだ.
- 述語論理による質問応答システムを反駁による証明に基づいて実現する仕組みについて学んだ.
- 導出原理に基づいた質問応答の実行事例を学んだ.