

6836

研究背景和建

国内外研究现

研究目标研究内容

研究内容 (一): CT

和 μ-演算的遗忘理论

研究内容(二)遗忘思 论在反应式系统中的应

研究内容(二)遗忘理论 在反应式系统中的应用

研究内容(三)CTL

研究内容(三)简介 研究内容(三)(1)基于 模型的计算方法 研究内容(三)(2)基于

归结的算法 CTL-forget 研究内容 (三)(3)算法 CTL-forget 实现及实验

总结与展望

念老文献

基于遗忘的反应式系统最弱充分条件研究

二〇二二年六月

姓名: 冯仁艳

导师: 王以松

联合导师: Erman Acar¹

研究方向: 软件工程技术与人工智能

¹LIACS, Leiden University, The Netherlands



目录

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

绪论

研究背景和意

研究目标

研究内容

研究内容 (一): CT 和 μ-演算的遗忘理证 研究内容 (二) 遗忘

研究内容(二)遺忘理论 在反应式系统中的应用

研究内容(三)CTL 遗忘计算方法

研究内容(三)(1)基于 模型的计算方法 研究内容(三)(2)基于 归结的算法 CTL-forget 研究内容(三)(3)基于

总结与展望 总结

- 绪论
 - 研究背景和意义
 - 国内外研究现状
 - 研究目标
 - 研究内容
- ② 研究内容 (一): CTL 和 μ-演算的遗忘理论
- 研究内容(二)遗忘理论在反应式系统中的应用 ● 研究内容(二)遗忘理论在反应式系统中的应用
 - 研究内容(二)遗忘理论在反应式系统中的应用
- 4 研究内容 (三) CTL 遗忘计算方法
 - 研究内容(三)简介
 - 研究内容 (三)(1) 基于模型的计算方法
 - 研究内容 (三)(2) 基于归结的算法 CTL-forget
 - 研究内容 (三) (3) 算法 CTL-forget 实现及实验
- 5 总结与展望



研究背景和意义——系统正确对国防、太空勘测和交通运输至关重要

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

绪论

研究背景和i

国内外研究现制

研究目标研究内容

研究内容 (一): CTL

和 μ-演算的遗忘理论

论在反应式系统中的应 用

研究内容(三)CTL 遺忘计質方法

研究内容 (三) (1) 基 模型的计算方法 研究内容 (三) (2) 基 归结的算法 CTL-forget 研究内容 (三) (3) 算

总结与展望 ^{总结}

参考文献







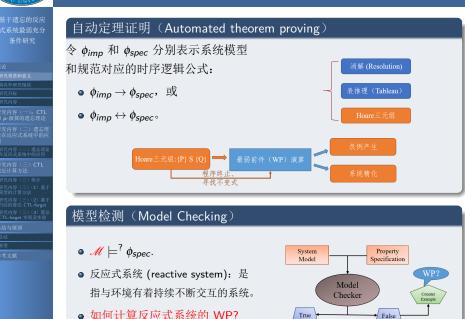
图 1: 系统故障引起的系列灾难现场

表 1: 由系统故障引起的重大事件概览

| 时间 | 事故原因 | 损失 |
|--------|----------------------------|-----------------------|
| 1991 年 | 美国爱国者导弹系统舍入错误 | 28 名士兵死亡、100 人受伤等 |
| 1996年 | 阿丽亚娜 5 火箭代码重用 | 火箭与其它卫星毁灭 |
| 1999 年 | 火星探测器用错度量单位 | 探测器坠毁并造成了 3.27 亿美元的损失 |
| 2011年 | 温州 7.23 动车 <u>信号设备</u> 在设计 | 动车脱节脱轨、多人失去生命 |
| | 上存在严重的缺陷 | |



研究背景和意义: 形式化验证为系统的正确提供了有力依据



绪论

研究背景和意义 国内外研究现状

研究目标 研究内容

研究内容 (一): CT 和 μ-演算的遗忘理证 研究内容 (一) 遗亡

用 研究内容(二)请定理

研究内容(三)CTL 遗忘计算方法

研究内容 (三) 同开 研究内容 (三) (1) 基于 模型的计算方法 研究内容 (三) (2) 基于 归结的算法 CTL-forget 研究内容 (三) (3) 算法

总结与展望 ^{总结}

参考文献

例 1 (汽车制造企业模型)

一个汽车制造企业能够生产两种汽车: 小轿车 (se) 和跑车 (sp)。每隔一段时间,该企业都会做一个生产决策 (d),即: 合理的生产计划。刚开始的时候,该企业做出了具有三个选择 (s) 的方案:

- (1) 先生产足够的 se, 然后在再生产 sp;
- (2) 先生产足够的 sp, 然后再生产 se;
- (3) 同时生产 se 和 sp。

这一过程可以由图 2中的 Kripke 结构(带标签的状态转换图) $\mathcal{M} = (S, R, L)$ 形式化地展现出来,其中:

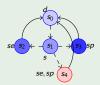


图 2: 汽车制造企业模型

假定,由于经济危机或者战略调整,导致该企业不能再生产跑车。这意味着所有规范和 Kripke 结构都不再需要考虑 sp 的,因此应该"移除"。



研究背景和意义:知识表示与推理(KR)中的SNC和WSC

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

绪论 研究背景和意义

国内外研究现状研究目标

研究内容 (一): CTL 和 μ-演算的遗忘理论 研究内容 (二)遗忘理

研究内容(二)遺忘理说 在反应式系统中的应用

研究内容(三)CTL 遗忘计算方法

研究内容 (三) (1) 基于 模型的计算方法 研究内容 (三) (2) 基于 归结的算法 CTL-forget 研究内容 (三) (3) 算法 CTL-forget 李现及李脸

总结与展望 ^{总结}

参考文献

最强必要条件(SNC)和最弱充分条件(WSC)

SNC 和 WSC 分别用于描述给定理论下的最一般的结果(consequence)和最一般的诱因(abduction)[4]。满足下面两个条件的 φ 称为 q 在理论 Σ 下的 SNC:

- (1) $\Sigma \models q \rightarrow \varphi$;
- (2) 对任意 φ' 且 $\Sigma \models q \rightarrow \varphi'$,有 $\Sigma \models \varphi \rightarrow \varphi'$ 。

满足下面两个条件的 ψ 称为 q 在理论 Σ 下的 (WSC):

- (1) $\Sigma \models \psi \rightarrow q$;
- (2) 对任意 ψ' 且 $\Sigma \models \psi' \rightarrow q$,有 $\Sigma \models \psi' \rightarrow \psi$ 。

遗忘理论(Forgetting)

<u>遗忘</u>是一种从理论中抽取知识的技术 [5], 被用于规划[2, 3] 和知识更新 中 [9]。

在一阶逻辑中,从公式 φ 中遗忘掉一个n元谓词P的结果是 $\exists R.\varphi[P/R]$,即将公式 φ 中的所有P的出现都用一个新的n元谓词R来替代。





绪论

研究背景和意义 国内外研究现状

研究目标研究内容

和 μ-演算的遗忘理论 研究内容 (二)遗忘: 论在反应式系统中的。

研究内容(三)CTL 研究内容(三)CTL

研究内容 (三) 简介 研究内容 (三) (1) 基于 模型的计算方法 研究内容 (三) (2) 基于 归结的算法 CTL-forget 研究内容 (三) (3) 算法 CTL-forget 实现及实验

总结与展望 总结 展望

参考文献

研究背景和意义: 知识表示与推理(KR)中的 SNC 和 WSC

- CTL (Computation tree logic): 计算树逻辑,是一种分支时序逻辑
 - 其模型检测(MC)问题能在多项时间内完成;
 - 能很好的表达系统要求的各种属性:
 - ullet 安全属性(Safety properties): something bad never happens. (AG $\neg \phi$)
 - 活性属性 (Liveness properties): something good will eventually happen.
 (AGAFφ)
 - 持续属性(Persistence properties): eventually for ever a certain proposition holds. (AFAG ϕ)
 - 公平属性(Fairness properties): does, under certain conditions, an event occur repeatedly? (一种约束: 在约束 fair = GFa 下 AG(a→AFb) 是否成立?)
- μ-演算 (μ-calculus): 是其他形式体系的机械基础
 - LTL、CTL、L_w 等时态逻辑都能用 μ-演算表示;
 - S1S 表达能力严格不如 μ-演算;
 - μ-演算与 S2S 有相同的表达能力;
 -

形成时序逻辑系统遗忘理论的框架,架起形式化验证(verification)和知识表示与推理(KR)



基于遗忘的反应 式系统最弱充分

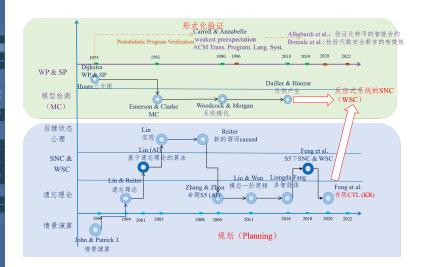
络论
研允背景和意义
国内外研究现状
研允目标
研究内容
研究内容
研究内容
研究内容
研究内容
(一): CTI
和 μ· 孤寡的遗忘理论
论在反应式系统中的
用
《预入内容(二)遗忘理
在反应式系统中的应用

研究内容 (三) CTL 遗忘计算方法 研究内容 (三) 简介

CTL-forget 实现及 总结与展望 总结

展型 参考文献

国内外研究现状



研究目标



研究内容(三)CTL 遺忘计算方法 研究内容(三)简为 研究内容(三)(1)基于 概型的计算方法 研究内容(三)(2)基于 归结的算法CTL-forget 研究内容(三)(3)第法 CTL-forget 实现及实验

总结与展望 总结 展望 参考文献



通过人工智能的知识表示与推理 (KR) 技术,从遗忘理论出发,研究<u>反应式系统</u>(在某个符号集上)SNC 和 WSC 的表示与计算,具体为:

- CTL 和 μ-演算遗忘理论框架;
- 使用遗忘计算反应式系统的 SNC 和 WSC。



绪论 研究背景和意义 国内外研究现状

研究目标 研究内容

研究内容 (一): CTL 和 μ-演算的遗忘理论 研究内容 (二) 遗忘题 论在反应式系统中的应

研究内容(二)短短程的 在反应式系统中的应用 研究内容(三)CTL 遗忘计管方法

研究内容 (三) (1) 基于 模型的计算方法 研究内容 (三) (2) 基于 归结的算法 CTL-forget 研究内容 (三) (3) 第2

研究内容

- 研究内容 (一): CTL 和 μ-演算的遗忘理论
- 研究内容(二): 遗忘理论在反应式系统的形式化验证和知识更新中的应用
- 研究内容 (三): CTL 遗忘的计算方法

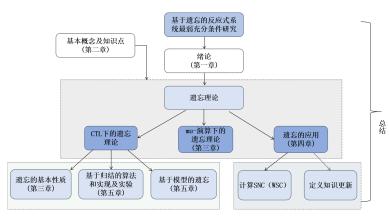


图 3: 文章组织结构示意图



目录

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

绪论

研究背景和意

研究目标

研究内容

和 μ-演算的遗忘理证 研究内容(二)遗忘 论在反应式系统中的

在反应式系统中的应用 研究内容(三)CTL

研究内容 (三) 简介 研究内容 (三) (1) 基于 模型的计算方法 研究内容 (三) (2) 基于 明结的算法 CTL-forget 研究内容 (三) (3) 管法

总结与展望 ^{总结}

- 绪的
 - 研究背景和意义
 - 国内外研究现状
 - 研究目标
 - 研究内容
- ② 研究内容 (一): CTL 和 μ-演算的遗忘理论
- 研究内容(二)遗忘理论在反应式系统中的应用
 - 研究内容(二)遗忘理论在反应式系统中的应用
- 4 研究内容 (三) CTI 遗忘计算方法
 - 研究内容(三)简介
 - 研究内容 (三)(1) 基于模型的计算方法
 - 研究内容 (三)(2) 基于归结的算法 CTL-forget
 - 研究内容 (三)(3) 算法 CTL-forget 实现及实验
- 5 总结与展望



研究内容 (-): CTL 和 μ -演算的遗忘理论

1.2 μ-演算的遗忘理论 1.1 CTL的遗忘理论 V-互模拟 互模拟不变性 互模拟等价 $\psi' = forget(\psi, V)$ $\varphi' = forget(\varphi, V)$ μ-演算下推理问题的复杂性: 基本性质: Var-weak Var-strong $\varphi' \models ? \psi$ Exptime Var-independence Var-match 溃忘存在性 $\varphi' \equiv ? \varphi$ $\omega' \equiv ?\psi$ 负仞 u-句子和X-类中的公 CTL遗忘不总是存在的 式遗忘总是存在的

图 4: CTL 和 μ-演算遗忘理论

- 互模拟不变性: 相互互模拟的结构满足相同的公式:
- (W)、(PP)、(NP) 和 (IR): 为遗忘理论公设:

遗忘存在性,遗忘结果总是同一逻辑语言可表达的;

■命題-变元-互模拟

Model checking

 $M = ?\psi'$

Var-entailment

 $\omega' \models ?\psi'$

Var-equivalence

 $\omega' \equiv ?\psi'$

φ |= ? ψ:表示 "φ 是否逻辑蕴涵 ψ"。



研究内容 (-): CTL 和 μ -演算的遗忘理论

1.2 μ-演算的遗忘理论 1.1 CTL的遗忘理论 V-互模拟 ■命題-变元-互模拟 互模拟不变性 互模拟等价 $\psi' = forget(\psi, V)$ $\varphi' = forget(\varphi, V)$ μ-演算下推理问题的复杂性: Model checking 基本性质: $M = ?\psi'$ Var-weak Var-strong Var-entailment $\varphi' \models ? \psi$ Exptime $\omega' \models ?\psi'$ Var-independence Var-equivalence Var-match 溃忘存在性 $\varphi' \equiv ? \varphi$ $\omega' \equiv ?\psi$ $\omega' \equiv ?\psi'$ 负仞 u-句子和X-类中的公 CTL遗忘不总是存在的 式遗忘总是存在的

图 4: CTL 和 μ-演算遗忘理论

- 互模拟不变性:相互互模拟的结构满足相同的公式:
- (W)、(PP)、(NP) 和 (IR): 为遗忘理论公设:

- 遗忘存在性:遗忘结果总是同一逻辑语言可表达的;
- φ |= ? ψ:表示 "φ 是否逻辑蕴涵 ψ"。

形成了时序逻辑遗忘理论的框架!

4 D > 4 A > 4 B > 4 B > 9 C



目录

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

绪论

研究背景和意

研究目标

研究内容

研究内容 (一): CTI 和 μ-演算的遗忘理论

研究内容 (二)遗忘理 论在反应式系统中的应 用

研究内容(三)CTL 遺忘计質方法

研究内容 (三) 简介 研究内容 (三) (1) 基于 模型的计算方法 研究内容 (三) (2) 基于 归结的算法 CTL-forget 研究内容 (三) (3) 算法

总结与展望 ^{总结}

- 新拉
 - 研究背景和意义
 - 国内外研究现状
 - 研究目标
 - 研究内容
- 型 研究内容 (一): CTL 和 μ-演算的遗忘理论
- 3 研究内容(二)遗忘理论在反应式系统中的应用
 - 研究内容 (二) 遗忘理论在反应式系统中的应用
- 4 研究内容(三)CTL 遗忘计算方法
 - 研究内容(三)简介
 - 研究内容 (三)(1) 基于模型的计算方法
 - 研究内容(三)(2)基于归结的算法 CTL-forget
 - 研究内容 (三)(3) 算法 CTL-forget 实现及实验
- 5 总结与展望



研究内容(二)遗忘理论在反应式系统中的应用

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

绪论 研究背景和意义 国内外研究现状 研究目标

研究内容 (一): CT 和 μ-演算的遗忘理证 研究内容 (二) 遗忘

研究内容(二)遗忘理证 在反应式系统中的应用

研究内容(三)CTL 遗忘计算方法

研究内容 (三) (1) 基于 模型的计算方法 研究内容 (三) (2) 基于 归结的算法 CTL-forget 研究内容 (三) (3) 算法

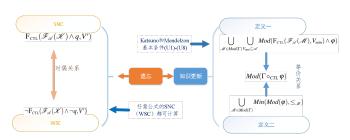
总结与展望 总结

参考文献

- 反应式系统被表示成 Kripke 结构;
- 初始 Kripke 结构的特征公式看作 CTL 公式──ℱℳ(ℳ);



图 5: 进程的三种基本状态及其转换



从而为系统正确性和系统更新提供了理论依据



研究内容(二)遗忘理论在反应式系统中的应用

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

绪论 研究背景和意义 国内外研究现状 研究目标

研究内容 (一): CTI 和 μ-演算的遗忘理论 研究内容 (二) 遗忘

研究内容(二)遗忘理证 在反应式系统中的应用

研究内容(三)CTL 遗忘计算方法

研究内容 (三) (1) 基于 模型的计算方法 研究内容 (三) (2) 基于 归结的算法 CTL-forget 研究内容 (三) (3) 算法

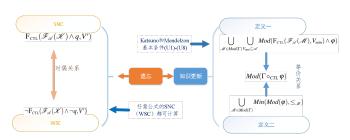
CTL-forget 实现及 总结与展望 总结

参考文献

- 反应式系统被表示成 Kripke 结构;
- 初始 Kripke 结构的特征公式看作 CTL 公式──ℱℳ(ℳ);



图 5: 进程的三种基本状态及其转换



从而为系统正确性和系统更新提供了理论依据!



目录

- - 研究背景和意义
 - 国内外研究现状
 - 研究目标 ● 研究内容
- 研究内容(二)遗忘理论在反应式系统中的应用
- 研究内容(三)CTL 遗忘计算方法
 - 研究内容(三)简介
 - 研究内容 (三) (1) 基于模型的计算方法
 - 研究内容(三)(2) 基于归结的算法 CTL-forget
 - 研究内容 (三)(3) 算法 CTL-forget 实现及实验



基于遗忘的反应 式系统最弱充分

绪论 研究背景和意义 国内外研究现状 研究目标

研究内容 (一): CTI 和 μ-演算的遗忘理论 研究内容 (二) 遗忘

研究内容(二) 遺忘理论 在反应式系统中的应用 研究内容(三)CTL 速度计算方法

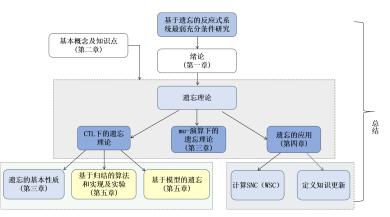
研究内容 (三) (1) 基于模型的计算方法 研究内容 (三) (2) 基于 归结的算法 CTL-forget

归结的算法 CTL-forget 研究内容 (三) (3) 算法 CTL-forget 实现及实验 总结与展望

展型 参考文献

研究内容(三)简介

- 基于模型的计算方法;
- 基于归结的计算方法(CTL-forget 算法);
- 基于 Prolog 的 CTL-forget 算法实现。





研究内容(三)(1)基于模型的计算方法

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

绪论 研究背景和意义

国内外研究现状 研究目标 研究内容

研究内容 (一): CTL 和 μ-演算的遗忘理论 研究内容 (二)遗忘理

用 研究内容(二)遗忘理论 在反应式系统中的应用

研究内容 (三) CTL 遺忘计算方法 研究内容 (三) 简介

模型的计算方法 研究内容(三)(2)基 归结的算法 CTL-forge

研究内容 (三) (3) (CTL-forget 实现及实 总结与展望

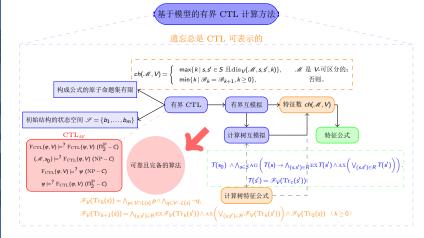


图 6: 基于模型的有界 CTL 遗忘方法

研究内容(三)(1)基于模型的遗忘算法

```
基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究
```

绪论 研究背景和道

国内外研究现状研究目标

研究内容 (一): CTI 和 μ-演算的遗忘理论

研究内容(二)遗忘 论在反应式系统中的 用

在反应式系统中的应用

遗忘计算方法 研究内容 (三)简介

研究内容 (三) (2) 基 归结的算法 CTL-forget 研究内容 (三) (3) 算 CTL-forget 实现及实验

总结与展望 ^{总结}

参考文献

算法 5.1 基于模型的CTL遗忘过程

Input: CTL公式φ和原子命题集V

Output: $F_{CTL}(\varphi, V)$

 $\psi \leftarrow \bot$ for each \mathscr{A} 和 \mathscr{S} 上的 初始结构 \mathscr{K} do

if $\mathscr{K} \not\models \varphi$ then continue

foreach 满足 $\mathcal{X} \leftrightarrow_{V} \mathcal{K}'$ 的初始结构 \mathcal{K}' do

 $\psi \leftarrow \psi \vee \mathscr{F}_{\overline{V}}(\mathscr{K}')$

end

end

return ψ

命题 1

令 φ 为 CTL 公式, $V \subseteq \mathscr{A}$ 为原子命题集,状态空间大小为 $|\mathscr{S}| = m$, $|\mathscr{A}| = n$, |V| = x。使用算法 5.1 计算从 φ 中遗忘 V 中原子的空间复杂度为 $O((n-x)m^{2(m+2)}2^{nm}\log m)$,且时间复杂性至少与空间复杂性相同。

研究内容(三)(2)基于归结的算法 CTL-forget

```
基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究
```

绪论

```
明九月京和忠文
国内外研究现状
研究目标
研究内容
```

研究内容 (一): CTL 和 μ-演算的遗忘理论 研究内容 (二)遗忘理 公在反应式系统中的原

```
研究内容(二)遗忘理
在反应式系统中的应用
```

```
研究内容(三)CTL
遗忘计算方法
```

研究内容(三)简介 研究内容(三)(1)基 模型的计算方法

研究内容 (三) (2) a 归结的算法 CTL-forg 研究内容 (三) (3) 3

总结与展望 ^{总结}

参考文献

```
算法 5.3 CTL-forget(\varphi, V)
Input: CTL公式φ和原子命题集V
Output: 公式集
if \varphi \equiv \bot then return \bot ;
                                                         // 若公式不可满足,则遗忘结果为|
                                                           // 若遗忘所有原子命题,则结果为T
if V = Var(\varphi) then return \top;
                                                                           // 将φ转换为SNFg 子句
T_{\varphi} \leftarrow \text{SNF}_{\text{CTL}}^{g}(\varphi);
\Sigma \leftarrow \text{UF}(T_{\varphi}, V \cup U), \quad \text{ } \sharp \text{ } \forall U = Var(T_{\varphi}) - Var(\varphi);
\Sigma \leftarrow ERes(\Sigma, V);
                                                                        // 移除包含V中元素的子句
\Sigma \leftarrow \text{RM-index}(\Sigma);
                                                                                      // 从Σ移除索引
\Sigma \leftarrow \text{GAL}(\Sigma, Var(\Sigma) - Var(\varphi));
                                                                       // 移除留存的新的原子命题
用\phi替换Σ中的初始子句 "AG(start \rightarrow \phi)";
                                                                                        // 去除start
return Σ
```

定理 2 (可靠性)

```
 若 \phi 为一个 CTL 公式、V \subseteq \mathscr{A} 、\Sigma = \text{CTL-forget}(\varphi, V) 且 U = Var(\Sigma) - Var(\varphi),则:
```

- (i) $\Sigma \equiv_{V \cup U} \varphi$,
- (ii) 若 $U = \emptyset$, 则 $\Sigma \equiv F_{CTL}(\varphi, V)$ 。

命题 2

给定 CTL 公式 φ 和原子命題集 $V \subseteq \mathscr{A}$ 。算法 5.3 的时间和空间复杂性为 $O((m+1)2^{4(n+n')})$,其中 $n = |Var(\varphi)|$ 、n' = |V| 为新引入的原子命題的个數、m 为引入的索引个数。



基于遗忘的反应 式系统最弱充分

绪论

研究背景和意义 国内外研究现状

研究目标 研究内容

研究内容 (一): CT 和 μ-演算的遗忘理证 研究内容 (二) 遗忘 公在反应式系统中的

研究内容(二)遺忘理证 在反应式系统中的应用

研究内容(三)CTL 遗忘计算方法

研究內容(三)(1)基模型的计算方法 研究內容(三)(2)基 归结的算法 CTL-forge

研究内容 (三) (3) 氦 CTL-forget 实现及实现 总结与展谢

总结 展塑

参考文献

研究内容(三)(3)算法 CTL-forget 实现

系统主要模块

此系统主要包括五个模块*:

- 转换模块(transCTL2SNF/6):
- 归结模块 (两个过程: step_resolution/3 和 temp_resolution/8)
- "移除"原子命题模块(removeAtom/3)
- "移除"索引 (pro6/3)
- "移除"新引入的原子命题(ackerM/3)

 $^{{\}it "https://github.com/fengrenyan/forgetting-in-CTL/tree/main/Appendix}$

研究内容 (三) (3) 算法 CTL-forget 实验——实验 1: 计算遗忘

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

绪论 研究背景和意义 国内外研究现状 研究目标

研究内容 (一): CTL 和 μ-演算的遗忘理论 研究内容 (二)遗忘 论在反应式系统中的

研究内容(二)遗忘理 在反应式系统中的应用 研究内容(三)CTL

研究内容 (三) 简介 研究内容 (三) (1) 基于 模型的计算方法 研究内容 (三) (2) 基于 归结的算法 CTL-forget 研究内容 (三) (3) 算法

总结与展望 ^{总结}

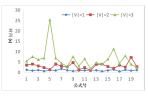
参考文献

(1) 标准数据集来源于 CTL-RP: https://sourceforge.net/projects/ctlrp/

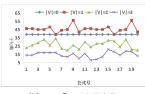
表 5.1: 计算CTL-forget(φ ,V)所使用的CPU时间(单位: 秒(s))

| φ $ V $ | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|
| s001 | 0.0505 | 0.1053 | 0.2259 | 0.3680 |
| s002 | 0.3645 | 1.0416 | 5.6372 | 10.0184 |
| s003 | 97.5341 | 71.5396 | 190.1157 | 423.5793 |
| s004 | 77.5086 | 77.4246 | 101.1284 | 118.7461 |
| s001-3 | 681.2883 | 613.1859 | 1617.047 | 2356.949 |

(2) 计算 CTL-forget(φ , V) 使用的时间和在"移除原子命题"步骤后 SNF $_{\text{CTL}}^g$ 子句的个数,其中 $\varphi = \varphi_1 \land AX\varphi_2 \land EX\varphi_3$, $\varphi_i = 12$ (i = 1, 2, 3)。



(a) 计算遗忘需要的 CUP 时间

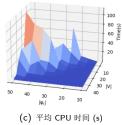


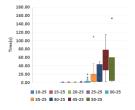
(b) SNFg 子句的个数

研究内容(三)(3) 算法 CTL-forget 实验——实验 2: 计算 SNC

计算 q 在 V 和 $\phi \land q$ 上的 SNC $(F_{CTL}(\phi \land q, Var(\phi) - V \cup \{q\}))$,其中 $V \subseteq Var(\phi)$ 、 $g \in Var(\phi \wedge g) - V_{\circ}$

(1) 随机 3-CNF, | Ø | = 50, 每组 20 个公式。





(d) | VI = 25 时所使用 CPU 时间 箱线图

图 7: 计算 3-CNF 公式 SNC 的 CPU 时间



研究内容(三)(3)算法 CTL-forget 实验——实验 2: 计算 SNC

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

绪论

研究育景和意义 国内外研究现状 研究日标

研究内容 研究内容(一): C

研究内容(二)遗忘理 论在反应式系统中的应 田

研究内容(二)短忘程 在反应式系统中的应用 研究内容(三)CTL

研究内容(三)简介 研究内容(三)(1)基于 模型的计算方法

研究内容 (三) (2) 基于 归结的算法 CTL-forget 研究内容 (三) (3) 算法 CTL-forget 实现及实验

总结与展望总结展望

参考文献

计算 q 在 V 和 $\varphi \land q$ 上的 SNC $(F_{CTL}(\varphi \land q, Var(\varphi) - V \cup \{q\}))$,其中 $V \subseteq Var(\varphi)$ 、 $q \in Var(\varphi \land q) - V_{\circ}$

(2) CTL 公式 $\varphi = \varphi_1 \land AX \varphi_2 \land EX \varphi_3$, $\varphi_i = 12$ (i = 1, 2, 3) 为 $|\mathscr{A}| = 50$ 上的 3-CNF 且 $|\varphi_1| = |\varphi_2| = |\varphi_3|$,每组 40 个公式。

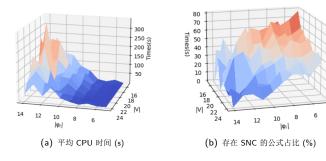


图 7: 计算 CTLSNC 的平均时间和存在 SNC 的公式占比

总结:基于归结的算法大多数情况下能计算出 SNC (WSC),且当需要遗忘的原子个数很少或公式长度较小时计算效率较高。



目录

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

绪论

研究背景和意

研究目标

研究内容 (一

和 μ-演算的遗忘理证 研究内容 (二)遗忘 论在反应式系统中的

在反应式系统中的应用 研究内容(三)CTL 遗产计算方法

研究内容 (三) 简介 研究内容 (三) (1) 基于 模型的计算方法 研究内容 (三) (2) 基于 归结的算法 CTL-forget 研究内容 (三) (3) 算法

总结与展望 总结

- 26 N
 - 研究背景和意义
 - 国内外研究现状
 - 研究目标
 - 研究内容
- ② 研究内容 (一): CTL 和 μ-演算的遗忘理论
- 研究内容(二)遗忘理论在反应式系统中的应用
 - 研究内容(二)遗忘理论在反应式系统中的应用
- 4 研究内容(三)CTL 遗忘计算方法
 - 研究内容(三)简介
 - 研究内容 (三)(1) 基于模型的计算方法
 - 研究内容(三)(2)基于归结的算法 CTL-forget
 - 研究内容 (三)(3) 算法 CTL-forget 实现及实验
- 5 总结与展望



式系统最弱充 条件研究

绪论

研究背景和意.国内外研究现2

国内外研究现2 研究目标 研究内容

研究内容 (一): CTI 和 μ-演算的遗忘理论 研究内容 (二) 遗忘:

研究内容(二)遗忘理证 在反应式系统中的应用

研究内容(三)CTL 遗忘计算方法 研究内容(三)简介

研究内容 (三) (1) 基于 模型的计算方法 研究内容 (三) (2) 基于 归结的算法 CTL-forget 研究内容 (三) (3) 算法 CTL-forget 实现及实验

总结与展 总结

参考文献

• CTL 和 μ -演算的遗忘理论

- CTL 的遗忘理论:基本性质(表达性理论、代数属性和封闭性等)
- μ-演算的遗忘理论:基本性质、复杂性和互模拟不变性等
- 遗忘理论在反应式系统的形式化验证和知识更新中的应用
 - 计算 WSC 和 SNC: 定义、基本性质和基于遗忘的计算方法等
 - 定义知识更新: 两种知识更新定义和基本性质

• 计算 CTL 遗忘的算法

- 基于模型的计算方法:有界互模拟、特征值、特征公式、封闭性、复杂 性和算法等
- 基于消解(resolution)的计算方法: 算法及其可靠性、遗忘存在的子类
- 实现与实验分析



式系统最弱充 条件研究

绪论

研究背景和意义 国内外研究现状 研究目标

研究内容 (一): CTL 和 μ-演算的遗忘理论 研究内容 (二)遗忘遗 论在反应式系统中的应

研究内容(二)遗忘理: 在反应式系统中的应用 研究内容(三)CTL 速度计算方法

研究内容 (二) (1) 基-模型的计算方法 研究内容 (三) (2) 基-归结的算法 CTL-forget 研究内容 (三) (3) 算法 CTL-forget 实现及实验

总结与展望 总结

参考文献

• CTL 和 μ -演算的遗忘理论

- CTL 的遗忘理论: 基本性质 (表达性理论、代数属性和封闭性等)
- μ-演算的遗忘理论:基本性质、复杂性和互模拟不变性等
- 遗忘理论在反应式系统的形式化验证和知识更新中的应用
 - 。 计算 WSC 和 SNC: 定义、基本性质和基于遗忘的计算方法等 。 定义知识更新: 两种知识更新定义和基本性质
- 计算 CTL 遗忘的算法
 - 基于模型的计算方法:有界互模拟、特征值、特征公式、封闭性、复杂性和算法等
 - 基于消解(resolution)的计算方法: 算法及其可靠性、遗忘存在的子类
 - 实现与实验分析

绪论

研究背景和意义 国内外研究现状 研究目标

研究内容 (一): CTL 和 μ-演算的遗忘理论 研究内容 (二)遗忘理论 论在反应式系统中的原

研究内容(二)遗忘理证 在反应式系统中的应用 研究内容(三)CTL 独立计算方法

研究内容 (三) 向介 研究内容 (三) (1) 基刊 模型的计算方法 研究内容 (三) (2) 基刊 归結的算容 (三) (2) 基刊 归新内容 (三) (2) 基刊 日本の理解 (三) (2) 基刊 日本の理解 (三) (2) 基刊 日本の理解 (三) (2) 基刊

总结与展望 总结

参老文献

- CTL 和 μ -演算的遗忘理论
 - CTL 的遗忘理论:基本性质(表达性理论、代数属性和封闭性等)
 - μ-演算的遗忘理论:基本性质、复杂性和互模拟不变性等
- 遗忘理论在反应式系统的形式化验证和知识更新中的应用 ● 计算 WSC 和 SNC: 定义、基本性质和基于遗忘的计算方法等
- 计算 CTL 遗忘的算法
 - 基于模型的计算方法:有界互模拟、特征值、特征公式、封闭性、复杂 件和算法等
 - 基于消解 (resolution) 的计算方法:算法及其可靠性、遗忘存在的子类。实现与实验分析。

绪论

研究背景和意义 国内外研究现状 研究目标

研究内容 (一): CTL 和 μ-演算的遗忘理论 研究内容 (二) 遗忘现 论在反应式系统中的原理

研究内容(二) 遺忘理: 在反应式系统中的应用 研究内容(三) CTL

研究内容 (三) (a) 基于 研究内容 (三) (2) 基于 模型的计算方法 研究内容 (三) (2) 基于 归结的算法 CTL-forget 研究内容 (三) (3) 算法 CTL-forget 实现及实验

总结与展望 总结 展型

- CTL 和 μ -演算的遗忘理论
 - CTL 的遗忘理论:基本性质(表达性理论、代数属性和封闭性等)
 - μ-演算的遗忘理论:基本性质、复杂性和互模拟不变性等
- 遗忘理论在反应式系统的形式化验证和知识更新中的应用
 - 计算 WSC 和 SNC: 定义、基本性质和基于遗忘的计算方法等
 - 定义知识更新: 两种知识更新定义和基本性质
 - 计算 CTL 遗忘的算法
 - 基于模型的计算方法:有界互模拟、特征值、特征公式、封闭性、复杂 性和算法等
 - 基于消解(resolution)的计算方法: 算法及其可靠性、遗忘存在的子类
 - 实现与实验分析



绪论

研究背景和意义 国内外研究现状 研究目标

研究内容 (一): CTL 和 μ-演算的遗忘理论 研究内容 (二)遗忘理论 论在反应式系统中的/

研究内容(二)遗忘理证 在反应式系统中的应用 研究内容(三)CTL

研究内容 (三) 简介 研究内容 (三) (1) 基于 模型的计算方法 研究内容 (三) (2) 基于 归结的算法 CTL-forget 研究内容 (三) (3) 算形 CTL-forget 企用及企业

总结与展望 总结 展型

- CTL 和 μ -演算的遗忘理论
 - CTL 的遗忘理论:基本性质(表达性理论、代数属性和封闭性等)
 - μ-演算的遗忘理论:基本性质、复杂性和互模拟不变性等
- 遗忘理论在反应式系统的形式化验证和知识更新中的应用
 - 计算 WSC 和 SNC: 定义、基本性质和基于遗忘的计算方法等
 - 定义知识更新: 两种知识更新定义和基本性质
 - 计算 CTL 遗忘的算法
 - 基于模型的计算方法:有界互模拟、特征值、特征公式、封闭性、复杂 件和算法等
 - 基于消解(resolution)的计算方法: 算法及其可靠性、遗忘存在的子类
 - 实现与实验分析

绪论 研究背景和意》

国内外研究现状 研究目标 研究内容

研究内容(一): CTI 和 μ-演算的遗忘理论 研究内容(二)遗忘; 论在反应式系统中的

研究内容(二)遺忘理 在反应式系统中的应用 研究内容(三)CTL

研究内容 (三) 简介 研究内容 (三) (1) 基于 模型的计算方法 研究内容 (三) (2) 基于 归结的算法 CTL-forget 研究内容 (三) (3) 算法

总结与展望 总结

- CTL 和 μ -演算的遗忘理论
 - CTL 的遗忘理论:基本性质(表达性理论、代数属性和封闭性等)
 - μ-演算的遗忘理论:基本性质、复杂性和互模拟不变性等
- 遗忘理论在反应式系统的形式化验证和知识更新中的应用
 - 计算 WSC 和 SNC: 定义、基本性质和基于遗忘的计算方法等
 - 定义知识更新: 两种知识更新定义和基本性质
 - 计算 CTL 遗忘的算法
 - 基于模型的计算方法:有界互模拟、特征值、特征公式、封闭性、复杂性和算法等
 - 。基于消解 (resolution) 的计算方法: 算法及其可靠性、遗忘存在的子类。 实现与实验分析



绪论

研究背景和意义 国内外研究现状 研究目标 研究内容

研究内容 (一): CTI 和 μ-演算的遗忘理论 研究内容 (二)遗忘 论在反应式系统中的

研究内容(二)遺忘理说 在反应式系统中的应用 研究内容(三)CTL 速度计算方法

研究内容 (三) 简介 研究内容 (三) (1) 基于 模型的计算方法 研究内容 (三) (2) 基于 研究内容 (三) (3) 算法 CTL-forget 实现及实验

总结与展望 总结 展型

- CTL 和 μ -演算的遗忘理论
 - CTL 的遗忘理论:基本性质(表达性理论、代数属性和封闭性等)
 - μ-演算的遗忘理论:基本性质、复杂性和互模拟不变性等
- 遗忘理论在反应式系统的形式化验证和知识更新中的应用
 - 计算 WSC 和 SNC: 定义、基本性质和基于遗忘的计算方法等
 - 定义知识更新: 两种知识更新定义和基本性质
- 计算 CTL 遗忘的算法
 - 基于模型的计算方法:有界互模拟、特征值、特征公式、封闭性、复杂性和算法等
 - 基于消解(resolution)的计算方法: 算法及其可靠性、遗忘存在的子类
 - 实现与实验分析

绪论

研究背景和意义 国内外研究现状 研究目标

研究内容 (一): CTL 和 μ-演算的遗忘理论 研究内容 (二) 遗忘理 论在反应式系统中的原

研究内容 (二) 遺忘理说 在反应式系统中的应用 研究内容 (三) CTL

研究内容 (三) 简介 研究内容 (三) (1) 基于 模型的计算方法 研究内容 (三) (2) 基于 归结的算容 (三) (3) 算法 CTL-forget 实现及实验

总结与展望 总结 展望

- CTL 和 μ -演算的遗忘理论
 - CTL 的遗忘理论:基本性质(表达性理论、代数属性和封闭性等)
 - μ-演算的遗忘理论:基本性质、复杂性和互模拟不变性等
- 遗忘理论在反应式系统的形式化验证和知识更新中的应用
 - 计算 WSC 和 SNC: 定义、基本性质和基于遗忘的计算方法等
 - 定义知识更新: 两种知识更新定义和基本性质
- 计算 CTL 遗忘的算法
 - 基于模型的计算方法:有界互模拟、特征值、特征公式、封闭性、复杂性和算法等
 - 基于消解(resolution)的计算方法: 算法及其可靠性、遗忘存在的子类
 - 实现与实验分析

绪论 研究费品和查

研究背景和意义 国内外研究现状 研究目标 研究由宏

研究内容 (一): CTL 和 μ-演算的遗忘理论 研究内容 (二) 遗忘现 论在反应式系统中的原

研究内容 (二) 遺忘理论 在反应式系统中的应用 研究内容 (三) CTL

研究内容 (三) 简介 研究内容 (三) (1) 基于 模型的计算方法 研究内容 (三) (2) 基于 归结的算法 CTL-forget 研究内容 (三) (3) 算法

总结与展望

- CTL 和 μ -演算的遗忘理论
 - CTL 的遗忘理论:基本性质(表达性理论、代数属性和封闭性等)
 - μ-演算的遗忘理论:基本性质、复杂性和互模拟不变性等
- 遗忘理论在反应式系统的形式化验证和知识更新中的应用
 - 计算 WSC 和 SNC: 定义、基本性质和基于遗忘的计算方法等
 - 定义知识更新: 两种知识更新定义和基本性质
- 计算 CTL 遗忘的算法
 - 基于模型的计算方法:有界互模拟、特征值、特征公式、封闭性、复杂性和算法等
 - 基于消解(resolution)的计算方法: 算法及其可靠性、遗忘存在的子类
 - 实现与实验分析

绪论

研究背景和意义 国内外研究现状 研究目标 研究由宛

研究内容 (一): CTL 和 μ-演算的遗忘理论 研究内容 (二) 遗忘 论在反应式系统中的

研究内容(二)遗忘理证 在反应式系统中的应用 研究内容(三)CTL

研究内容 (三) 简介 研究内容 (三) (1) 基于 模型的计算方法 研究内容 (三) (2) 基于 归结的算法 CTL-forget 研究内容 (三) (3) 算法 CTL-forget 实现及实验

总结与展望 总结

- CTL 和 μ -演算的遗忘理论
 - CTL 的遗忘理论:基本性质(表达性理论、代数属性和封闭性等)
 - μ-演算的遗忘理论:基本性质、复杂性和互模拟不变性等
- 遗忘理论在反应式系统的形式化验证和知识更新中的应用
 - 计算 WSC 和 SNC: 定义、基本性质和基于遗忘的计算方法等
 - 定义知识更新: 两种知识更新定义和基本性质
- 计算 CTL 遗忘的算法
 - 基于模型的计算方法:有界互模拟、特征值、特征公式、封闭性、复杂性和算法等
 - 基于消解(resolution)的计算方法: 算法及其可靠性、遗忘存在的子类
 - 实现与实验分析

绪论 研究背景和意义 国内外研究现状

国内外研究现状 研究目标 研究内容

研究内容 (一): CTI 和 μ-演算的遗忘理论 研究内容 (二)遗忘; 论在反应式系统中的 用

研究内容(二) 遺忘理版 在反应式系统中的应用 研究内容(三) CTL

研究内容 (三) 簡介 研究内容 (三) (1) 基于 模型的计算方法 研究内容 (三) (2) 基于 归结的算法 CTL-forget 研究内容 (三) (3) 繁狞 CTL-forget 实现及实验

总结与展望 ^{总结} 展望

展望 参考文献

- CTL 和 μ-演算的遗忘
 - 遗忘结果总是存在的子类;
 - 遗忘相关问题复杂性分析;
 - CTL 和 μ -演算遗忘之间的关系。
- "CTL 和 μ -演算公式的遗忘结果是否分别是 CTL 和 μ -演算可表示" 这一问题的可判定性研究
- 遗忘与 WSC (SNC) 之间的相互关系与应用

研究内容 (一): CTL 和 μ-演算的遗忘理论 研究内容 (二)遗忘理论 论在反应式系统中的原

研究内容(三)短5度 在反应式系统中的应用 研究内容(三)CTL 遗忘计算方法 研究内容(三)简介

研究内容 (三) 何介 研究内容 (三) (1) 基于 核型的计算方法 研究内容 (三) (2) 基于 归结的算法 CTL-forget 研究内容 (三) (3) 算分 CTL-forget 实现及实验

总结与展望 总结 展望

参考文献

参与项目及成果

作者在攻读博士学位期间参与项目及成果

- 发表文章
 - 发表了一篇 CCF B 类会议;
 - 两篇 SCI 论文在审。
- 参与项目
 - 国家自然科学基金重点项目:数据共享应用的块数据融合分析理论与安全管控模型研究,项目基金号 U1836205;
 - 国家自然科学基金: 析取逻辑程序归纳学习研究及应用,项目基金号 61976065。



敬请各位专家批评指正

谢谢!

- Michael C. Browne, Edmund M. Clarke, and Orna Grümberg.
 "Characterizing finite Kripke structures in propositional temporal logic". In: <u>Theoretical Computer Science</u> 59.1-2 (1988), pp. 115–131.
- [2] Patrick Doherty, Witold Lukaszewicz, and Andrzej Szalas. "Computing Strongest Necessary and Weakest Sufficient Conditions of First-Order Formulas". In: <u>Proceedings of IJCAI'01</u>. Ed. by Bernhard Nebel. Morgan Kaufmann, 2001, pp. 145–154. ISBN: 1-55860-777-3.
- [3] Fangzhen Lin. "Compiling causal theories to successor state axioms and STRIPS-like systems". In: Journal of Artificial Intelligence Research 19 (2003), pp. 279–314.

[4] Fangzhen Lin. "On strongest necessary and weakest sufficient conditions". In: <u>Artificial Intelligence</u> 128.1-2 (2001), pp. 143–159. DOI: 10.1016/S0004-3702(01)00070-4. URL: https://doi.org/10.1016/S0004-3702(01)00070-4.

- [5] Fangzhen Lin and Ray Reiter. "Forget It!" In: In Proceedings of the AAAI Fall Symposium on Relevance. New Orleans, US, 1994, pp. 154–159.
- [6] Larisa Maksimova. "Temporal logics of "the next" do not have the beth property". In: <u>Journal of Applied Non-Classical Logics</u> 1 (1991), pp. 73–76.
- [7] Lan Zhang, Ullrich Hustadt, and Clare Dixon. "A resolution calculus for the branching-time temporal logic CTL". In: <u>ACM Transactions on Computational Logic (TOCL)</u> 15.1 (2014), pp. 1–38.

绪论 研究背景和意义 国内外研究现状

国内外研究现状研究目标研究内容研究内容 (一): C和 μ-演算的遗忘理

研究内容(二)遗忘選 论在反应式系统中的原用 研究内容(二)遗忘理证 在反应式系统中的应用

研究内容(三)CTL 遗忘计算方法 研究内容(三)简介 研究内容(三)(1)基刊 模型的计算方法 研究内容(三)(2)基刊 归结的算法 CTL-forget

总结与展望 总结 展望

展望 参考文献

- [8] Lan Zhang, Ullrich Hustadt, and Clare Dixon.
 <u>First-order Resolution for CTL</u>. Tech. rep. Technical Report ULCS-08-010, Department of Computer Science, University of Liverpool, 2008.
- [9] Yan Zhang and Yi Zhou. "Knowledge forgetting: Properties and applications". In: <u>Artificial Intelligence</u> 173.16-17 (2009), pp. 1525–1537.



目录

基于遗忘的反应 式系统最弱充定 条件研究

背景知识

Kripke 结构

μ-演算 研究内窓 (一).

研究内容 (一): 和 μ-演算的遗忘:

CTL 遗忘理论

μ-演算遺忘埋论 西線由線 / 一)

论在反应式系统中的/ 用

研究内容(二)最弱充分 条件

研究内容(二)知识更新

简介 基于模型的有界 CTL

基于归结的遗忘计算方法

- 6 背景知识
 - Kripke 结构
 - CTL 的语法和语义
 - μ-演算
- 研究内容 (一): CTL 和 μ-演算的遗忘理证
 - CTL 遗忘理论
 - μ-演算遗忘理论
- 6 研究内容(二)遗忘理论在反应式系统中的应用
 - 研究内容(二)简介
 - 研究内容 (二) 最弱充分条件
 - 研究内容(二)知识更新
- 9 CTL 溃忘计算方法
 - 简介
 - 基于模型的有界 CTL 遗忘计算
 - 基于归结的遗忘计算方法



基于遗忘的反应 式系统最弱充分

背景知识

Kripke 结构

CTL 的语法和语义 μ-演算

研究内容 (一): CT 和 μ-演算的遗忘理

CTL 遗忘理论 μ-演算遗忘理论

研究内容(二)遗忘理 论在反应式系统中的应

论在反应式系统中的应 用

研究内容(二)最弱充分 条件

研究内容 (二) 知识更新

简介 基于模型的有界 CT

基于归结的遗忘计算方

Kripke 结构

A: 原子命题的集合

Ind:索引的集合

定义 3 (初始 Ind-Kripke 结构)

一个初始 Ind-Kripke 结构是一个五元组 $\mathcal{M} = (S, R, L, [_], s_0)$,其中:

- S 是状态的非空集合, s_0 是 \mathcal{M} 的初始状态 (参见下文);
- $R \subseteq S \times S$ 是状态转换函数,且对任意 $s \in S$,存在 $s' \in S$ 使得 $(s,s') \in R$;
- L:S→2^A 是一个标签函数;
- [_]: $\operatorname{Ind} \to 2^{S \times S}$ 是一个函数,其使得对任意 $\operatorname{ind} \in \operatorname{Ind}$,若 $s \in S$,则存在唯一一个 $s \in S$ 使得 $(s,s') \in [\operatorname{ind}] \cap R$ 。

相关概念

- (Ind-) 结构: 初始 (Ind-)Kripke 结构 ℳ 和是 ℳ 中的状态 s 构成的二元组 ℋ = (ℳ,s):
- 初始 (Ind-) 结构: (Ind-) 结构 $\mathcal{K} = (\mathcal{M}, s)$ 中 s 为初始状态的情形。



CTL 的语法

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

背景知识

Kripke 结构

CTL 的语法和语义

μ-演算

CTL 遗忘理论

μ-演算遗忘理论

研究内容(二)遗忘理 论在反应式系统中的应 田

研究内容(二)简介 研究内容(二)最弱充分

研究内容 (二) 知识更制

CTL 遗忘计算方法

基于模型的有界 CTL 忘计算

基于归结的遗忘计算方

CTL 的语言符号

- 原子命题集 Ø; 可数无限索引集合 Ind; 命题常量 start;
- 常量符号: ⊤和 ⊥,分别表示"真"和"假";
- 联结符号: ∨和 ¬,分别表示"析取"和"否定";
- 时序操作符: X、F、G、U 和 W, 分别表示"下一个状态"、"将来某一个状态"、"将来 所有状态"、"直到"和"除非";
- 标点符号: "("和")"。

定义 4 (带索引的 CTL)

带索引的 CTL 公式的存在范式 (existential normal form, ENF)可以用巴科斯范式递归定义如下:

 $\phi ::= \textbf{start} \mid \bot \mid \rho \mid \neg \phi \mid \phi \lor \phi \mid \texttt{EX}\phi \mid \texttt{EG}\phi \mid \texttt{E}(\phi \ \texttt{U} \ \phi) \mid \texttt{E}_{(\textit{ind})}\texttt{X}\phi \mid \texttt{E}_{(\textit{ind})}\texttt{G}\phi \mid \texttt{E}_{(\textit{ind})}(\phi \texttt{U}\phi)$

其中, $p \in \mathcal{A}$, $ind \in Ind$ 。

没有索引和 start 的公式称为 CTL 公式。



CTL 的语义

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

背景知识

Kripke 结构

CTL 的语法和语义

· 研究内容 (一): CTI

和 μ-演算的遗忘理论

CTL 遗忘理论

研究内容(二)遗忘理 论在反应式系统中的应

研究内容(二)简介

条件

研究内容(二)知识更新

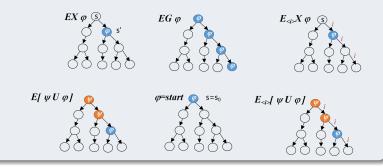
CTL 遗忘计算方法

基于模型的有界 CTL 忘计算

基于归结的遗忘计算方

定义 5 (带索引的 CTL 的语义)

给定公式 φ ,初始 Ind-Kripke 结构 $\mathcal{M}=(S,R,L,[_],s_0)$ 和状态 $s\in S$ 。(\mathcal{M},s) 与 φ 之间的可满足关系 (\mathcal{M},s) ⊨ φ 定义如下:



小贴士

- Φ 模型: 满足公式 φ 的初始 Ind-结构称为 φ 的一个模型; Mod(φ): 公式 φ 的所有模型构成的集合;
- IR(φ, V): 如果存在一个公式 ψ 使得 Var(ψ) ∩ V = Ø 且 φ ≡ ψ,则说 φ 与 V 中的原子命题无关,简称为V-无关; Var(φ): 出现在 φ 中的原子命题集;
- 可满足、逻辑蕴涵、逻辑等值、文字、子句等跟经典命题情形中的定义一样。



CTL 的标准形式

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

背景知识

Kripke 结构

CTL 的语法和语义

μ-泱ຸ京 研究内容 (一):

CTL 遗忘理论

μ-演算遗忘理论

研究内容(二)遗忘理 论在反应式系统中的应

用 研究内容(二)简介 研究内容(二)局別方/

条件

研究内容(二)知识更

简介

基于模型的有界 CTL 忘计算

基于归结的遗忘计算方:

SNFg_{CTL} 子句

具有下面几种形式的公式称为 CTL 全局子句分离范式(separated normal form with global clauses for CTL, SNF_{CTL}^g 子句)[8, 7]:

AG(start
$$\rightarrow \bigvee_{j=1}^k m_j$$
) (初始句,initial clause)
AG($\top \rightarrow \bigvee_{j=1}^k m_j$) (全局子句,global clause)
AG($\bigwedge_{i=1}^n l_i \rightarrow AX\bigvee_{j=1}^k m_j$) (A-步子句,A-step clause)
AG($\bigwedge_{i=1}^n l_i \rightarrow E_{(ind)}X\bigvee_{j=1}^k m_j$) (E-步子句,E-step clause)
AG($\bigwedge_{i=1}^n l_i \rightarrow AFI$) (A-莱时子句,A-sometime clause)
AG($\bigwedge_{i=1}^n l_i \rightarrow E_{(ind)}FI$) (E-莱时子句,E-sometime clause)

其中 k 和 n 都是大于 0 的常量, I_i $(1 \le i \le n)$ 、 m_j $(1 \le j \le k)$ 和 I 都是文字且 $ind \in Ind$ 。

CTL 的标准形式

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

背景知识

Kripke 结构

CTL 的语法和语义

研究内容 (一): CTI

CTL 遗忘理论

μ-演算遺忘理论 πεφιαφ (-) (a the

论在反应式系统中的应 用

研究内容(二)同介 研究内容(二)最弱充分 条件

研究内容(二)知识更新

研究内容(二)知识更

简介 基于模型的有界 CTI

基于归结的遗忘计算方法

转换规则

一个 CTL 公式 φ 可以通过下表中的规则转换为一个 SNF $_{\scriptscriptstyle \mathrm{CTL}}^{g}$ 子句集,记为 T_{φ} 。

表 2: 转换规则

其中, $T \in \{X, G, F\}$, ind 是规则中引入的新索引且 $Q \in \{A, E_{(ind)}\}$; q 是一个原子命题, I 是一个文字, D 是文字的析取(即子句), p 是新的原子命题; φ , φ_1 , 和 φ_2 都是 CTL 公式。



CTL 的标准形式

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

背景知识

Kripke 结构

CTL 的语法和语义

研究内容 (一), **CT**

和 μ-演算的遗忘理论

CTL 遗忘理论

μ-演算遺忘理论 研究内容(二)遗漏

论在反应式系统中的应 用

研究内容(二)最弱充分 条件

CONT. TRANSPORT AND ADDRESS.

简介 基于模型的有界 CTI

売り快生的行列でした。 忘计算

基于自结的遗忘计算方法

例 6

 $\phi = \neg AFp \land AF(p \land \top)$, 下面给出将 ϕ 转换为 SNF_{CTL}^g 子句集的详细步骤。

- (1) 将公式 φ 转换为其 NNF 形式: EG¬p∧ AF(p∧⊤);
- (2) 化简 (1) 中的公式为: EG¬p∧AFp;
- (3) 使用转换规则转换 $\{AG(\mathbf{start} \to z), AG(z \to (EG \neg p \land AFp))\}$,详细步骤如下:

$1. \ \text{start} \to \textit{z}$

2. $z \rightarrow \text{EG} \neg p \land \text{AF} p$

3. $z \rightarrow \text{EG} \neg p$

(2, Trans(3)) (2, Trans(3))

4. $z \rightarrow AFp$

5. $z \rightarrow \mathrm{E}_{\left\langle 1 \right\rangle} \mathrm{G}^{\neg} p$

(3, Trans(1))

6. *z* → *x*

(5, Trans(10))

7. $x \rightarrow \neg I$

(5, Trans(10))

8. $x \to E_{\langle 1 \rangle} G x$

(5, Trans(10))

9. ⊤ → ¬z∨x

(6, Trans(5))

10. $\top \rightarrow \neg x \lor \neg p$

(7, Trans(5))

因此,得到的 φ 对应的 SNF_{CTL}^g 子句集为:

1. start $\rightarrow z$

2. $z \rightarrow AFp$

3. $x \to E_{\langle 1 \rangle} Gx$

4. $\top \rightarrow \neg z \lor x$

5. $\top \rightarrow \neg x \lor \neg p$.



μ-演算的语法和语义

基丁题总的及应 式系统最弱充分 条件研究

育隶知识

Kripke Eg

CTL 的语法和语义

μ-演算

和 μ-演算的遗忘

CIL 遊忘理论

μ-(M) 39-151-257Ξ N

研究内容(二) 短志 论在反应式系统中的 用

研究内容(二)最弱充分 条件

研究内容(二)知识更新

简介 非工場別的有果で

基于模型的有界 CTL i 总计算

基于归结的遗忘计算方法

不动点符号: μ 和 ν ; ψ : 变元符号的可数集。

定义 7 (μ-演算公式)

μ-演算公式(简称为 μ-公式或公式)递归定义如下:

$$\varphi ::= \rho \mid X \mid \neg \varphi \mid \varphi \lor \varphi \mid \mathsf{AX}\varphi \mid \nu X.\varphi$$

其中 $p \in \mathcal{A}$ 且 $X \in \mathcal{V}$ 。

定义8

给定 μ -演算公式 φ 、Kripke 结构 $\underline{\mathcal{M}}=(S,R,L,r)$ 和一个从 $\mathcal V$ 中的变量到 $\underline{\mathcal{M}}$ 中状态的赋值函数 $v:\mathcal V\to 2^S$ 。公式在 $\underline{\mathcal{M}}$ 和 v 上的解释是 \underline{S} 的一个子集 $\|\varphi\|_v^{\mathcal M}$ (如果在上下文中 $\underline{\mathcal{M}}$ 是明确的,则可以省去上标):

$$||p||_{v}^{\mathscr{M}} = \{s \mid p \in L(s)\},\$$

$$||X||_{\mathcal{V}}^{\mathscr{M}} = \mathcal{V}(X),$$

$$\|\varphi_1 \lor \varphi_2\|_{v}^{\mathscr{M}} = \|\varphi_1\|_{v}^{\mathscr{M}} \cup \|\varphi_2\|_{v}^{\mathscr{M}},$$

$$\|\operatorname{Ax}\varphi\|_{v}^{\mathscr{M}} = \{s \mid \forall s'.(s,s') \in R \Rightarrow s' \in \|\varphi\|_{v}^{\mathscr{M}}\},\$$

$$\|vX.\phi\|_{v}^{\mathscr{M}} = \bigcup \{S' \subseteq S \mid S' \subseteq \|\phi\|_{v[X:=S']}^{\mathscr{M}}\}.$$

其中,
$$v[X:=S']$$
 是一个赋值函数,它除了 $v[X:=S'](X)=S'$ 之外,和 v 完全相同。

小贴土

- 赋值: (ℳ,s,v), (ℳ,v):
- 若 s ∈ ||φ||_V, 则称 s "满足" φ, 记为 (ℳ,s,v) ⊨ φ;
- 这里的 Kripke 结构不要求其二元关系是完全的:
- 当公式 φ 为 μ-句子时,可以将赋值函数 ν 省略;
- 范式: 析取 μ-公式。



目录

Kripke 结构 ● CTL 的语法和语义

■ u-演算

研究内容 (一): CTL 和 μ-演算的遗忘理论

● CTL 遗忘理论

μ-油算溃忘理论

● 研究内容(二)简介

● 研究内容 (二) 最弱充分条件

● 研究内容 (二) 知识更新

简介

● 基于模型的有界 CTL 遗忘计算

● 基于归结的遗忘计算方法



1.2μ-演算的遗忘理论 1.1 CTL的遗忘理论 V-互模拟 命题-变元-互模拟 互模拟不变性 互模拟等价 $\varphi' = forget(\varphi, V)$ $\psi' = forget(\psi, V)$ u-演算下推理问题的复杂性: Model checking 基本性质: $M = ?\psi'$ Var-weak Var-entailment Var-strong $\varphi' \models ? \psi$ Exptime $\omega' \models ?\psi'$

Var-independence

 $\varphi' \equiv ? \varphi$

Var-match

 $\omega' \equiv ?\psi$

总体框架

CTL 和 µ 遗忘理论·

溃忘存在性

负例

CTL遗忘不总是存在的

图 8: CTL 和 μ-演算遗忘理论

u-句子和X-类中的公

式遗忘总是存在的

Var-equivalence

 $\varphi' \equiv ?\psi'$



CTL 遗忘理论——互模拟

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

背景知识

Kripke 结核

CTL 的语法和语义

μ-演算

和 μ-碘异的现态系 CTL 溃疡理论

U-海管管定理论

研究内容(二)遺忘

论在反应式系统中的! 用

研究内容(二)最弱充分 条件

研究内容(二)知识更

CTI 遗忘

基于模型的有界 CTL

其工自然的遗亡计算士

定义 9 (V-互模拟)

给定原子命题集 $V\subseteq\mathcal{A}$ 、索引集合 $I\subseteq\mathrm{Ind}$ 和初始 Ind -结构 $\mathcal{M}_i=(S_i,R_i,L_i,\bigsqcup_j,s_0^i)$ (i=1,2)。 $\mathcal{B}_V\subseteq S_1\times S_2$ 为二元关系,对任意 $s_1\in S_1$ 和 $s_2\in S_2$,若 $(s_1,s_2)\in\mathcal{B}_V$,则:

(i) $L_1(s_1) - V = L_2(s_2) - V$;

(ii) $\forall_{\Omega} \in S_1$, 若 $(s_1, \eta_1) \in R_1$, 则 $\exists_{\Omega} \in S_2$ 使得 $(s_2, \eta_2) \in R_2$ 和 $(\eta_1, \eta_2) \in \mathcal{B}_{V}$:
(iii) $\forall_{\Omega} \in S_2$, 若 $(s_2, \eta_2) \in R_2$, 则 $\exists_{\Omega} \in S_1$ 使得 $(s_1, \eta_1) \in R_1$ 和 $(\eta_1, \eta_2) \in \mathcal{B}_{V}$.

那么,称 \mathcal{B}_V 是 \mathcal{M}_1 和 \mathcal{M}_2 之间的一个 V-互模拟关系。

- 结构互模拟: 若 ℳ₁ 和 ℳ₂ 之间存在一个 V-互 模拟关系 ℛ_V 使得 (s₁,s₂)∈ ℛ_V, 则称两个 Ind-结构 ℋ₁ = (ℳ₁,s₁) 和 ℋ₂ = (ℳ₂,s₂) 是 V-互模拟的,记为 ℋ₁ ↔_V ℋ₂;
- 路径互模拟: 令 $i \in \{1,2\}$, $\pi_i = (s_{i,1}, s_{i,2},...)$ 为 \mathcal{M}_i 上的路径,若对任意 $j \ge 1$ 都有 $\mathcal{X}_{1,j} \leftrightarrow_V \mathcal{X}_{2,j}$,则称这两条路径是 V-互模拟的,记为 $\pi_1 \leftrightarrow_V \pi_2$,其中 $\mathcal{X}_{i,j} = (\mathcal{M}_i, s_{i,j})$ 。

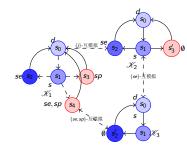


图 9: 汽车制造企业模型
◆ロ▶ ◆□▶ ◆ 壹▶ ◆ 壹▶ ◆ 壹|► ◆ ○ ○ ○

CTL 遗忘理论——互模拟

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

背景知识

Kripke 结构

CTL 的语法和语义

μ-演算

CTL 遗忘理论

CTL 遗忘理论

研究内容(二)遗忘 论在反应式系统中的

砂在反应式系统甲的原用 研究内容(二)简介

研究内容(二)最弱充分 条件

研究内容(二)知识更

CTL 遗忘

简介 基于模型的有界 CT

差寸模型的有非 CTL 忘计算

定义 9 (V-互模拟)

给定原子命题集 $V\subseteq\mathcal{A}$ 、索引集合 $I\subseteq \mathrm{Ind}$ 和初始 Ind -结构 $\mathcal{M}_i=(S_i,R_i,L_i,\bigsqcup_i,s_0^i)$ (i=1,2)。 $\mathcal{B}_V\subseteq S_1\times S_2$ 为二元关系,对任意 $s_1\in S_1$ 和 $s_2\in S_2$,若 $(s_1,s_2)\in\mathcal{B}_V$,则:

- (i) $L_1(s_1) V = L_2(s_2) V$;
- (ii) $\forall r_1 \in S_1$,若 $(s_1, r_1) \in R_1$,则 $\exists r_2 \in S_2$ 使得 $(s_2, r_2) \in R_2$ 和 $(r_1, r_2) \in \mathcal{B}_V$;

(iii) $\forall r_2 \in S_2$, \ddot{A} $(s_2, r_2) \in R_2$, y $\exists r_1 \in S_1$ \dot{A} \ddot{A} $(s_1, r_1) \in R_1$ \ddot{A} $(r_1, r_2) \in \mathscr{B}_{V^\circ}$

那么,称 \mathcal{B}_V 是 \mathcal{M}_1 和 \mathcal{M}_2 之间的一个 V-互模拟关系。

- 结构互模拟: 若 ℳ₁ 和 ℳ₂ 之间存在一个 V-互 模拟关系 ℛ_V 使得 (s₁,s₂)∈ ℛ_V, 则称两个 Ind-结构 ℋ₁ = (ℳ₁,s₁) 和 ℋ₂ = (ℳ₂,s₂) 是 V-互模拟的,记为 ℋ₁ ↔_V ℋ₂;
- 路径互模拟: 令 $i \in \{1,2\}$, $\pi_i = (s_{i,1}, s_{i,2},...)$ 为 \mathcal{M}_i 上的路径,若对任意 $j \ge 1$ 都有 $\mathcal{X}_{1,j} \leftrightarrow_V \mathcal{X}_{2,j}$,则称这两条路径是 $V \underline{\Pi}_i \notin \mathcal{M}_i$ 的,记为 $\pi_1 \leftrightarrow_V \pi_2$,其中 $\mathcal{X}_{i,j} = (\mathcal{M}_i, s_{i,j})$ 。

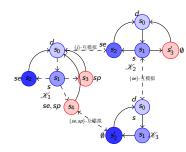


图 9: 汽车制造企业模型 ◆□▶◆□▶◆臺▶◆臺▶ 臺|≡ ����



CTL 遗忘理论——互模拟

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

背景知识

Kripke 结构

CTL 的语法和语义

μ-演算

CTL 遗忘理论

μ-演算遺忘理论

研究内容(二)遗忘; 论在反应式系统中的;

研究内容(二)简介

明九内谷 (二) 取羽元7 条件

研究内容(二)知识更

CTL 遗忘

基于模型的有界 CT

其工自然的遗亡计算士

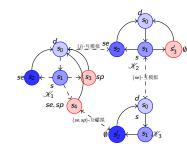
定义 9 (V-互模拟)

给定原子命题集 $V\subseteq\mathscr{A}$ 、索引集合 $I\subseteq \mathrm{Ind}$ 和初始 Ind -结构 $\mathscr{M}_i=(S_i,R_i,L_i,\bigsqcup_j,s_0^i)$ (i=1,2)。 $\mathscr{B}_V\subseteq S_1\times S_2$ 为二元关系,对任意 $s_1\in S_1$ 和 $s_2\in S_2$,若 $(s_1,s_2)\in\mathscr{B}_V$,则:

- (i) $L_1(s_1) V = L_2(s_2) V$;
- (ii) $\forall r_1 \in S_1$, \ddot{A} $(s_1, r_1) \in R_1$, $y_1 \exists r_2 \in S_2$ 使得 $(s_2, r_2) \in R_2$ 和 $(r_1, r_2) \in \mathscr{B}_V$;
- (iii) $\forall r_2 \in S_2$,若 $(s_2, r_2) \in R_2$,则 $\exists r_1 \in S_1$ 使得 $(s_1, r_1) \in R_1$ 和 $(r_1, r_2) \in \mathcal{B}_{V^{\circ}}$

那么,称 \mathcal{B}_V 是 \mathcal{M}_1 和 \mathcal{M}_2 之间的一个 V-互模拟关系。

- 结构互模拟: 若 ℳ₁ 和 ℳ₂ 之间存在一个 V互 模拟关系 ℋℊ 使得 (s₁,s₂) ∈ ℋℊ, 则称两个 Ind-结构 ℋ₁ = (ℳ₁,s₁) 和 ℋ₂ = (ℳ₂,s₂) 是
 V-互模拟的, 记为 ℋ₁ ↔ ℋ₂:
- 路径互模拟: 令 $i \in \{1,2\}$, $\pi_i = (s_{i,1}, s_{i,2},...)$ 为 \mathcal{M}_i 上的路径,若对任意 $j \ge 1$ 都有 $\mathcal{X}_{1,j} \leftrightarrow_V \mathcal{X}_{2,j}$,则称这两条路径是 V-互模拟的,记为 $\pi_1 \leftrightarrow_V \pi_2$,其中 $\mathcal{X}_{i,j} = (\mathcal{M}_i, s_{i,j})$ 。





CTL 遗忘理论——互模拟等

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

背景知识

Kripke 结

CIL INTE

研究内容(一):

和 μ-演算的遗忘 CTL 溃疡理论

μ-演算遗忘理论

研究内容(二)遗忘; 论在反应式系统中的/

研究内容(二)简介 研究内容(二)局部容4

条件

CTL 遗忘计算方法

简介 基于模型的有界 CT

基于归结的遗忘计算方法

|定义 10 (互模拟等价,bisimilar equivalence)

给定原子命题集 $V\subseteq \mathscr{U}$,公式 φ 和 ψ 。若对任意 $\mathscr{K}\models \varphi$,都存在一个 $\mathscr{K}'\models \psi$,使得 $\mathscr{K}\leftrightarrow_{\mathsf{V}}\mathscr{K}'$; 且对任意 $\mathscr{K}'\models \psi$,都存在一个 $\mathscr{K}\models \varphi$,使得 $\mathscr{K}\leftrightarrow_{\mathsf{V}}\mathscr{K}'$,则称公式 φ 和 ψ 是V-互模拟等价的(bisimilar equivalence),记为 $\varphi \equiv_{\mathsf{V}} \psi$ 。

命题 3

 ϕ ϕ 为一个 CTL 公式。则 $\phi \equiv_U T_{\phi}$,其中 $T_{\phi} = \mathrm{SNF}_{\mathrm{CTL}}^g(\phi)$ 和 $U = Var(T_{\phi}) - Var(\phi)$ 。



CTL 遗忘理论——互模拟等价

式系统最弱充 条件研究

背景知识

Kripke 结

u_海曾

μ-iggs 研究内容 (一):

CTL 遗忘理论

μ-演算遺忘理论

研究内容(二)遗忘 论在反应式系统中的 用

研究内容(二)最弱充分 条件

条件 研究内容(二)知识更新

CTL 遗忘计算方法 简介

基于模型的有界 CTL 忘计算

基于归结的遗忘计算方法

定义 10 (互模拟等价,bisimilar equivalence)

给定原子命题集 $V \subseteq \mathcal{A}$,公式 φ 和 ψ 。若对任意 $\mathscr{X} \models \varphi$,都存在一个 $\mathscr{X}' \models \psi$,使得 $\mathscr{X} \leftrightarrow_{\mathsf{V}} \mathscr{X}'$; 且对任意 $\mathscr{X}' \models \psi$,都存在一个 $\mathscr{X} \models \varphi$,使得 $\mathscr{X} \leftrightarrow_{\mathsf{V}} \mathscr{X}'$,则称公式 φ 和 ψ 是V-互模拟等价的(bisimilar equivalence),记为 $\varphi \equiv_{\mathsf{V}} \psi$ 。

命题 3

令 φ 为一个 CTL 公式。则 $\varphi \equiv_U T_{\varphi}$,其中 $T_{\varphi} = \mathrm{SNF}_{\mathrm{CTL}}^g(\varphi)$ 和 $U = Var(T_{\varphi}) - Var(\varphi)$ 。



CTL 遗忘理论——定义

定义 11 (遗忘, forgetting)

- ψ 与 V 中的原子命题无关(即: IR(ψ, V));
- $Mod(\psi) = \{ \mathcal{K} \mid \mathcal{K}$ 是一个初始 Ind-结构, $\exists \mathcal{K}' \in Mod(\phi)$ 使得 $\mathcal{K}' \leftrightarrow_V \mathcal{K} \}$ 。

那么, 称 ψ 为从 Φ 中遗忘 V 后得到的结果, 记为 $F_{crr.}(\phi, V)$ 。

遗忘理论公设

给定 CTL 公式 φ 、 $\varphi' = F_{CTL}(\varphi, V)$ 、原子命题集 $V \subseteq \mathscr{A}$ 和 $\varphi' = F_{CTL}(\varphi, V)$,CTL 下遗忘理 论公设如下:

- (W) 削弱: φ ⊨ φ′;
- (PP) 正支持: 对任意与 V 无关的公式 η , 若 $\varphi \models \eta$ 则 $\varphi' \models \eta$;
- (NP) 负支持:对任意与 V 无关的公式 η , 若 $\varphi \not\models \eta$ 则 $\varphi' \not\models \eta$;
 - (IR) 无关性: $IR(\varphi', V)$ 。

CTL 遗忘理论——相关性质

式系统最弱充分 条件研究

育隶知识

Kripke 结构

μ-演算

研究内容 (一): CTL 和 μ-演算的遗忘理论

CTL 遗忘理论

μ-演算遺忘理论

μ-演算遺忘理论 研究内容 (一) H

研究内容(二)简介 研究内容(二)最弱充 条件

研究内容 (二) 知识更新

CTL 遗忘计算方

简介 基于模型的有界 CTI 忘计算

基于归结的遗忘计算方法

定理 12 (表达性定理,Representation Theorem)

给定 CTL 公式 φ 和 φ' , $V\subseteq \mathscr{A}$ 为原子命题集。下面的陈述是等价的:

- (i) $\varphi' \equiv F_{CTL}(\varphi, V)$,
- (ii) $\varphi' \equiv \{ \phi \mid \varphi \models \phi \not \approx IR(\phi, V) \},$
- (iii) 若 φ 、 φ' 和V与(i) 和(ii) 中提到的符号相同,则公设(W)、(PP)、(NP) 和(IR) 成立。

CTL 遗忘理论——相关性质

例 12

令 p 和 x 为两个不同的原子命题, $\varphi(p,x)$ ³为下面公式合取 [6]:

$$AG(\neg x \land \neg AGp \to \neg AX \neg x), \qquad AG(\neg AX \neg x \to AXx),$$

$$\mathrm{AG}\big(\mathrm{AX} x \to \neg x \wedge \neg \mathrm{AG} p\big), \qquad \mathrm{AG}\big(x \to \neg \mathrm{AG} p\big), \qquad \mathrm{AG}\big(\mathrm{AFAG} p\big).$$

Maksimova 证明了 $\varphi(p,x) \land \varphi(p,y) \models x \leftrightarrow y$,且不存在 CTL 公式 ψ 使得 $Var(\psi) = \{p\}$ 且 $\varphi(p,x) \models x \leftrightarrow \psi$,即 CTL 不具有 Beth 性质。

 $^{a}\varphi(p,x)$ 表示具有原子命题集 $Var(\varphi) = \{p,x\}$ 的公式。

命题 4

 $F_{CTL}(x \wedge \varphi(p,x), \{x\})$ 在 CTL 中是不可表示的。

定理 13

给定一个命题公式 ϕ 和原子命题集 $V \subset \mathcal{A}$,则下面逻辑等式成立。

$$F_{CTL}(\varphi, V) \equiv Forget(\varphi, V).$$

CTL 遗忘理论——相关性质

至了 返忘的及 // 式系统最弱充分 条件研究

背景知识 Krinka 结构

Kripke 结构 CTL 的语法和语义

μ-演算

和 μ-演算的遗忘理

CTL 遗忘理论

研究内容(二)遗忘理 论在反应式系统中的应

明究内容(二)简介

研究内容 (二) 最弱充 条件

研究内容(二)知识更新

简介

基于模型的有界 CTL 忘计算

基于归结的遗忘计算方法

命题 4 (分解性,Decomposition)

对于给定的公式 φ , 原子命题集 V, 和原子命题 p ($p \notin V$), 下面的结论成立:

- $F_{CTL}(\varphi, \{p\} \cup V) \equiv F_{CTL}(F_{CTL}(\varphi, p), V);$
- $F_{CTL}(\varphi, V_1 \cup V_2) \equiv F_{CTL}(F_{CTL}(\varphi, V_1), V_2).$

命题 5 (同质性)

令 $\mathcal{T} \in \{X,F,G\}$ 、 $\mathcal{P} \in \{A,E\}$, ϕ 为 CTL 公式, 且 $P \subseteq \mathcal{A}$ 为原子命题集,则:

$$\mathbf{F}_{\text{\tiny CTL}}(\mathcal{PT}\phi,P) \equiv \mathcal{PT}\mathbf{F}_{\text{\tiny CTL}}(\phi,P).$$



μ-演算遗忘理论——变元 -命题 -互模拟

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

背景知识

Kripke 结构 CTL 的语法和语义

研究内容 (一): C 和 μ-演算的遗忘理

CTL 遗忘理论 μ-演算遗忘理论

研究内容(二)遗忘理 论在反应式系统中的应

研究内容(二)简介

研究内容 (二) 知识更新

简介 基于模型的有界 CTL 忘计算

基于归结的遗忘计算方

定义 12 (V-互模拟)

给定原子命题集 $V\subseteq \mathscr{A}$ 和两个 Kripke 结构 \mathscr{M}_1 和 \mathscr{M}_2 ,其中 $\mathscr{M}_i=(S_i,R_i,L_i,r_i)$ (i=1,2)。若 $\mathscr{B}\subseteq S_1\times S_2$ 满足下面几个条件:

- \bullet $r_1 \mathcal{B} r_2$,
- 对任意 $s\in S_1$ 和 $t\in S_2$,若 $s\mathscr{B}t$,则对任意 $p\in \mathscr{A}-V$,有 $p\in L_1(s)$ 当且仅当 $p\in L_2(t)$,
- 若 $(s,s') \in R_1$ 和 $s\mathcal{B}t$,则存在一个 t',使得 $s'\mathcal{B}t'$ 和 $(t,t') \in R_2$,且
- 若 $s\mathcal{B}t$ 和 $(t,t') \in R_2$,则存在一个 s',使得 $(s,s') \in R_1$ 和 $t'\mathcal{B}s'$ 。

则称 \mathcal{B} 是 \mathcal{M}_1 和 \mathcal{M}_2 的 V-互模拟关系。

 $\mathcal{M}_1 \leftrightarrow_V \mathcal{M}_2$ 、 $(\mathcal{M}_1, r_1) \leftrightarrow_V (\mathcal{M}_2, r_2)$: 如果 \mathcal{M}_1 和 \mathcal{M}_2 之间存在一个 V-互模拟关系。

μ-演算遗忘理论——变元 -命题 -互模拟

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

背景知识

Kripke 结构

U-演算

研究内容 (-): CTL 和 μ -演算的遗忘理论

CTL 遗忘理论

μ-減界超忠程能
研究内容(二)遗忘理

论在反应式系统中的应 用

研究内容(二)简介 研究内容(二)最弱充分

条件 研究内容(二)知识更新

研究内容 (二) 知识更新

简介

基于模型的有界 CTL 忘计算

基于归结的遗忘计算方法

例 12 (不变性反例)

 $\phi = AX \neg X \lor AXX$, (\mathcal{M}, v) 和 (\mathcal{M}', v') 为赋值, 其中 $\mathcal{M} = (S, r, R, L)$ 、 $\mathcal{M}' = (S', r', R', L')$ 且

$$S = \{r, r_1\}, R = \{(r, r_1)\}, L(r) = L(r_1) = \emptyset, v(X) = \{r_1\},\$$

$$S' = \{r', r'_1, r'_2\}, R' = \{(r', r'_1), (r', r'_2)\}, L(r') = L(r'_1) = L(r'_2) = \emptyset, v'(X) = \{r'_1\}.$$

$$\mathcal{B} = \{(\underline{r},\underline{r}'),(\underline{r}_1,\underline{r}'_1),(\underline{r}_1,\underline{r}'_2)\}$$
 是 \mathcal{M} 和 \mathcal{M}' 之间的一个 0 -互模拟。

但是, $(\mathcal{M}, \mathbf{v}) \models \varphi$ 而 $(\mathcal{M}', \mathbf{v}) \not\models \varphi$ 。





μ-演算遗忘理论——变元-命题-互模拟

定义 12 (变元 -命题 -互模拟)

给定 $V \subseteq \mathcal{A} \setminus \mathcal{Y}_1 \subseteq \mathcal{V} \setminus \mathcal{M}_i = (S_i, r_i, R_i, L_i)$ 为 Kripke 结构、 $s_i \in S_i \perp v_i : \mathcal{V} \to 2^{S_i}$,其中 $i \in \{1,2\}$ 。若关系 $\mathcal{B} \subseteq S_1 \times S_2$ 满足:

- **●** $(s_1, s_2) \in \mathcal{B}$,
- 38 是 M₁ 和 M₂ 之间的 V-互模拟,且
- 对任意 $(t_1,t_2) \in \mathcal{B}$ 和 $X \in \mathcal{V} \mathcal{V}_1$, $t_2 \in v_2(X)$ 当且仅当 $t_1 \in v_1(X)$ 。

则称 \mathcal{B} 是 $(\mathcal{M}_1, s_1, v_1)$ 和 $(\mathcal{M}_2, s_2, v_2)$ 之间的一个 $\langle \mathcal{V}_1, V \rangle$ -互模拟。

命题 6 (不变性)

令 ϕ 为 μ -公式、 $\mathcal{V}_1 \subseteq \mathcal{V}$ 且 $V \subseteq \mathcal{A}$ 。若 $(\mathcal{M}, s, v) \leftrightarrow_{(\mathcal{V}_1, V)} (\mathcal{M}', s', v')$ 且 $IR(\phi, V \cup \mathcal{V}_1)$,则 $(\mathcal{M}, s, v) \models \varphi$ 当且仅当 $(\mathcal{M}', s', v') \models \varphi$ 。



μ-演算遗忘理论——定义及相关性质

表于 题 忘 时 反 应 式 系 统 最 弱 充 分 条 件 研 究

背景知识

Kripke 结

CTL 的语

研究内容 (一): **(**

和 μ-演算的遗忘理 CTI 读完理论

μ-演算遺忘理论

研究内容(二)遗忘理 论在反应式系统中的应

研究内容(二) 最弱充 条件

研究内容(二)知识更

CTL 遗忘计算方法 简介

基于模型的有界 CTL 说 忘计算

基于归结的遗忘计算方法

定义 13 (μ-演算遗忘)

令 $V\subseteq M$ 和 φ 为 μ -公式。若 $Var(\psi)\cap V=\emptyset$ 且下面等式成立,则称 ψ 是从 φ 中遗忘 V 后得到的结果:

 $Mod(\psi) = \{(\mathcal{M}, v) \mid \exists (\mathcal{M}', v') \in Mod(\varphi) \ \bot (\mathcal{M}', v') \leftrightarrow_{V} (\mathcal{M}, v)\}.$

与 CTL 共同性质

表达性定理、分解性、同质性等。

定理 14 (存在性)

给定原子命題 $q\in\mathscr{A}$ 和 μ -句子 φ ,則存在一个 μ -句子 ψ 使得 $Var(\psi)\cap\{q\}=\emptyset$ 上 $\psi\equiv F_{\mu}(\varphi,\{q\})$ 。

命题 7 (同质性)

给定原子命题集 $V \subseteq \mathscr{A}$ 和 μ -公式 φ , 则

- (iii) 如果 $vX.\varphi$ 为 μ -句子, $F_{\mu}(vX.\varphi, V) \equiv vX.F_{\mu}(\varphi, V)$
- (iv) 如果 $\mu X.\phi$ 为 μ -句子, $F_{\mu}(\mu X.\phi, V) \equiv \mu X.F_{\mu}(\phi, V)$ 。

μ -演算遗忘理论——定义及相关性质

定义 13 (μ-演算遗忘)

令 $V \subseteq \mathcal{M}$ 和 φ 为 μ -公式。若 $Var(\psi) \cap V = \emptyset$ 且下面等式成立,则称 ψ 是从 φ 中遗忘 V 后 得到的结果:

 $Mod(\psi) = \{(\mathcal{M}, v) \mid \exists (\mathcal{M}', v') \in Mod(\varphi) \ \exists (\mathcal{M}', v') \leftrightarrow_{V} (\mathcal{M}, v) \}.$

与 CTL 共同性质

表达性定理、分解性、同质性等。

定理 14 (存在性)

给定原子命题 $q \in \mathcal{A}$ 和 μ -句子 φ , 则存在一个 μ -句子 ψ 使得 $Var(\psi) \cap \{q\} = \emptyset$ 且 $\psi \equiv F_{\mu}(\varphi, \{q\}).$

命题 7 (同质性)

给定原子命题集 $V \subseteq \mathcal{A}$ 和 μ -公式 φ , 则:

- (iii) 如果 $vX.\varphi$ 为 μ -句子, $F_{\mu}(vX.\varphi, V) \equiv vX.F_{\mu}(\varphi, V)$;
 - (iv) 如果 $\mu X.\phi$ 为 μ -句子, $F_{\mu}(\mu X.\phi, V) \equiv \mu X.F_{\mu}(\phi, V)$ 。

μ-演算遗忘理论——不含不动点算子的子类

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

背景知识

Kripke 结

X-类 不含有不

μ-演算 研究内容 (一): CT

CTL 遗忘理论

μ-演算遺忘理论 研究内容(二)遗忘

论在反应式系统中的应 用

研究内容(二)简介 研究内容(二)最弱充分 条件

条件 研究内突 (一) 知识面:

CTL 遗忘计算方法

基于模型的有界 CTL 忘计算

基于归结的遗忘计算方

不含有不定点操作的 μ -公式集,记为 \mathbf{x} -类。通过等值式:

- $AX\varphi_1 \wedge AX\varphi_2 \equiv AX(\varphi_1 \wedge \varphi_2); \quad \text{fl}$
- $\text{EX} \varphi_1 \vee \text{EX} \varphi_2 \equiv \text{EX} (\varphi_1 \vee \varphi_2);$

可以将 x-类中的任意公式转换为具有下面形式的公式的析取:

$$\varphi_0 \wedge AX \varphi_1 \wedge EX \varphi_2 \wedge \cdots \wedge EX \varphi_n$$
,

(1)

其中 φ_0 是不含有时序算子的 x-类中的公式, φ_i $(1 \le i \le n)$ 为 x-类中的公式,且任意 φ_i $(0 \le i \le n)$ 都有可能缺失。

命题 8

μ-演算遗忘理论——_{复杂性结果}

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

背景知识

Kripke 结柱

CTL 的证

μ-演算

研究内容(一): C

CTL 遗忘理论

μ-演算遺忘理论

がた日本 (二) 返ぶた 论在反应式系统中的反 用

研究内容(二)简介 研究内容(二)最弱充分

条件

研究内容 (二) 知识更新

CTL 遗忘计算方法 简介

基于模型的有界 CTL i 忘计算

基于归结的遗忘计算方法

命题 9 (模型检测)

给定一个有限的 Kripke 结构 \mathcal{M} 、一个 μ -句子 φ 和原子命题集 $V\subseteq \mathcal{A}$ 。有:

- (i) 判定 ℳ ⊨ F_μ(φ, V) 在 EXPTIME 中;
- (ii) 若 φ 是一个析取 μ -公式,则判定 $\mathcal{M} \models^{?} F_{\mu}(\varphi, V)$ 在 NP \cap co-NP 中。

定理 15 (Entailment)

给定 μ -句子 φ 和 ψ , V 为原子命题集, 则:

- (i) 判定 $F_{\mu}(\varphi, V) \models^{?} \psi$ 是 EXPTIME-完全的,
- (ii) 判定 ψ ⊨ F_μ(φ, V) 在 EXPTIME 里,
- (iii) 判定 $F_{\mu}(\varphi, V) \models^{?} F_{\mu}(\psi, V)$ 在 EXPTIME 里。



目录

- - Kripke 结构
 - CTL 的语法和语义
 - u-演算
- - CTL 遗忘理论
 - μ-油算溃忘理论
- 研究内容 (二) 遗忘理论在反应式系统中的应用
 - 研究内容 (二) 简介
 - 研究内容 (二) 最弱充分条件
 - 研究内容 (二) 知识更新
- - 简介
 - 基于模型的有界 CTL 遗忘计算
 - 基于归结的遗忘计算方法



基于遗忘的反应 式系统最弱充分

背景知识

Kripke 结构

CTL 的语法和语义 μ-演算

研究内容(一): CT

和 μ-演算的遺忘理: CTL 遗忘理论

μ-演算遺忘理论

研究内容(二)遗忘理 论在反应式系统中的应

用

明光内谷(二) 取約允分 条件

研究内容(二)知识更新

CTL 遗忘计

基于模型的有界 CTL 完计算

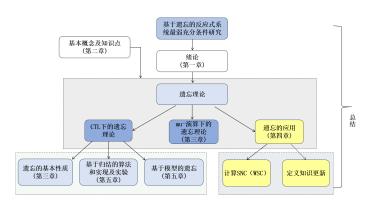
基于归结的遗忘计算方

研究内容(二)简介

- 反应式系统被表示成 Kripke 结构;
- ◆ 初始 Kripke 结构的特征公式看作 CTL 公式——ℱℳℳ);



图 10: 进程的三种基本状态及其转换





基于遗忘的反应 式系统最弱充分 各件研究

背景知识

Kripke 结构

CTL 的语法和语义 μ-演算

μ-演算 研究内容 (一): **(**

CTL 遗忘理论

μ-演算遺忘理论

论在反应式系统中的 用

研究内容(二)同介 研究内容(二)最弱充分 条件

条件 研究内容(二)知识更

简介

基于模型的有界 CTI 忘计算

基于归结的遗忘计算方

定义 16 (充分和必要条件)

给定两个公式 φ 和 ψ , $V \subseteq Var(\varphi)$, $q \in Var(\varphi) - V$ 和 $Var(\psi) \subseteq V$.

研究内容(二)最弱充分条件——定义

- 若 $\varphi \models q \rightarrow \psi$,则称 ψ 是 q 在 V 和 φ 上的<u>必要条件(necessary condition,NC)</u>;
- 若 $\varphi \models \psi \rightarrow q$, 则称 ψ 是 q 在 V 和 φ 上的<u>充分条件</u> (sufficient condition, SC);
- 若 ψ 是 q 在 V 和 φ 上的必要条件,且对于任意 q 在 V 和 φ 上的必要条件 ψ',都有 φ ⊨ ψ → ψ',则称 ψ 是 q 在 V 和 φ 上的最强必要条件 (strongest necessary condition, SNC);
- 若 ψ 是 q 在 V 和 φ 上的充分条件,且对于任意 q 在 V 和 φ 上的充分条件 ψ',都有 φ ⊨ ψ' → ψ,则称 ψ 是 q 在 V 和 φ 上的最弱充分条件 (weakest sufficient condition, WSC)。

定理 17

给定公式 φ 、原子命题集 $V \subseteq Var(\varphi)$ 和原子命题 $q \in Var(\varphi) - V$ 。

- (i) F_{CTL}(φ∧q, (Var(φ)∪{q}) V) 是 q 在 V 和 φ 上的 SNC;
- (ii) ¬F_{CTL}(φ∧¬q, (Var(φ)∪{q}) V) 是 q 在 V 和 φ 上的 WSC。



研究内容(二)知识更新——定义1

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

背景知识

Kripke 结构

CTL 的语法和语义 μ-演算

研究内容 (一): C

CTL 遗忘理论

μ-演算遺忘理论

研究内容(二)遗忘 近在反应式系统中的应 田

研究内容(二)简介 研究内容(二)最弱充分

条件 研究内容(二)知识更多

研究内容 (二) 知识更

简介 基于模型的有界 CTI 完计算

基于归结的遗忘计算方法

约定

- ◆ 本小节假设所有初始结构都是有限的,即:状态来源于有限状态空间且 ⋈ 为有限原子命题集;
- 任意 ৶ 上的有限初始结构 ℳ (为了简化符号,用初始 Kripke 结构 ℳ 代替初始结构 (ℳ,s₀)) 都能用一个 CTL 公式—— 特征公式 ℱℴ(ℳ) 来表示;
- 给定公式 φ 和 ψ , $V_{min} \subseteq \mathscr{A}$ 为使得 $F_{CTL}(\varphi, V_{min}) \wedge \psi$ 可满足的极小子集。
- 记

$$\bigcup_{V_{min}\subseteq\mathscr{A}} \mathit{Mod}(\mathrm{F}_{\scriptscriptstyle\mathrm{CTL}}(\mathscr{F}_{\mathscr{A}}(\mathscr{M}),V_{min})\wedge\psi)$$

为所有 $F_{CTL}(\mathscr{F}_{\mathscr{A}}(\mathscr{M}), V_{min}) \wedge \psi$ 的模型集合的并集。

定义 18

给定公式 Γ 和 φ 。知识更新操作 \diamond_{CTL} 定义如下:

$$\mathit{Mod}(\Gamma \diamond_{\mathrm{CTL}} \phi) = \bigcup_{\mathscr{M} \in \mathit{Mod}(\Gamma)} \bigcup_{V_{\mathit{min}} \subseteq \mathscr{A}} \mathit{Mod}(\mathrm{F}_{\scriptscriptstyle{\mathrm{CTL}}}(\mathscr{F}_{\mathscr{A}}(\mathscr{M}), V_{\mathit{min}}) \wedge \phi),$$

其中, $\mathscr{F}_{\mathscr{A}}(\mathcal{M})$ 是 \mathcal{M} 在 \mathscr{A} 上的特征公式, $V_{min}\subseteq\mathscr{A}$ 是使得 $\mathrm{F}_{\mathrm{CTL}}(\mathscr{F}_{\mathscr{A}}(\mathcal{M}),V_{min})$ 可满足的极小子集。



研究内容(二)知识更新——定义 2 及相关性质

基于 题 忘 的 反 应 式 系 统 最 弱 充 分 条 件 研 究

背景知识

Kripke 结构

μ-演算

研究内容 (一): CT 和 μ-演算的遗忘理i

CTL 遗忘理论

研究内容(二)遗忘 形在反应式系统中的应

研究内容(二)简介

条件

研究内容(二)知识更制

简介 基于模型的有界 CTL

基于归结的遗忘计算方法

定义 19

给定三个有限初始结构 \mathcal{M} 、 \mathcal{M}_1 和 \mathcal{M}_2 , \mathcal{M}_1 比 \mathcal{M}_2 更接近 \mathcal{M} (记为 $\mathcal{M}_1 \leq_{\mathcal{M}} \mathcal{M}_2$),当且仅 当对任意 $V_2 \subseteq_{\mathcal{M}}$,若 $\mathcal{M}_2 \leftrightarrow_{V_2} \mathcal{M}$,则存在 $V_1 \subseteq V_2$ 使得 $\mathcal{M}_1 \leftrightarrow_{V_1} \mathcal{M}$ 。 $\mathcal{M}_1 <_{\mathcal{M}} \mathcal{M}_2$ 当且仅 当 $\mathcal{M}_1 \leq_{\mathcal{M}} \mathcal{M}_2$ 且 $\mathcal{M}_2 \not\leq_{\mathcal{M}} \mathcal{M}_1$ 。

例 20

如图 11中的三个初始结构。

可以检查 $M \leftrightarrow_{\{j\}} M_1$, $M \leftrightarrow_{\{j,ch\}} M_2$, $\{j\} \subseteq \{j,ch\}$, 且对任意原子命题集 $V \subset \{j\}$ (或 $V \subset \{j,ch\}$), 有 $M \nleftrightarrow_V M_1$ (或 $M \nleftrightarrow_V M_2$)。因此, $M_1 \leq_M M_2$ 。

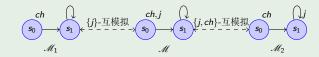


图 11: 初始结构间的 < //>
《关系。

从而为系统正确性和系统更新提供了理论依据。



研究内容(二)知识更新——定义 2 及相关性质

基于 题 忌 的 反 凡 式 系 统 最 弱 充 分 条 件 研 究

背景知识

Kripke 结核

μ-演算

研究内容 (一): CT 和 u-滴氮的遗忘理;

CTL 遗忘理论

μ-演算遗忘理论

研究内容(二)遗忘 论在反应式系统中的

研究内容(二)同介 研究内容(二)最弱充分 条件

研究内容(二)知识更制

CTL 遗忘计算方法

基于模型的有界 CTL 忘计算

基于归结的遗忘计算方法

定义 19

给定三个有限初始结构 \mathcal{M} 、 \mathcal{M}_1 和 \mathcal{M}_2 , \mathcal{M}_1 比 \mathcal{M}_2 更接近 \mathcal{M} (记为 $\mathcal{M}_1 \leq_{\mathcal{M}} \mathcal{M}_2$),当且仅 当对任意 $V_2 \subseteq \mathcal{A}$,若 $\mathcal{M}_2 \leftrightarrow_{V_2} \mathcal{M}$,则存在 $V_1 \subseteq V_2$ 使得 $\mathcal{M}_1 \leftrightarrow_{V_1} \mathcal{M}$ 。 $\mathcal{M}_1 <_{\mathcal{M}} \mathcal{M}_2$ 当且仅 当 $\mathcal{M}_1 \leq_{\mathcal{M}} \mathcal{M}_2$ 且 $\mathcal{M}_2 \leq_{\mathcal{M}} \mathcal{M}_1$ 。

定理 20

给定 μ-句子 Γ 和 φ, 则:

$$\mathit{Mod}(\Gamma \diamond_{\operatorname{CTL}} \phi) = \bigcup_{\mathscr{M} \in \mathit{Mod}(\Gamma)} \mathit{Min}(\mathit{Mod}(\phi), \leq_{\mathscr{M}}).$$

其中, $Min(Mod(\varphi), \leq_{\mathscr{U}})$ 是 φ 的关于偏序关系 $\leq_{\mathscr{U}}$ 的极小模型集。

定理 21

知识更新操作 ◇CTL 满足 Katsuno 和 Mendelzon 提出的基本条件 (U1)-(U8)。

从而为系统正确性和系统更新提供了理论依据。



目录

- - Kripke 结构
 - CTL 的语法和语义
 - μ-演算
- - CTL 遗忘理论
 - μ-油算溃忘理论
- - 研究内容(二)简介
 - 研究内容 (二) 最弱充分条件
 - 研究内容 (二) 知识更新
- CTL 遗忘计算方法
 - 简介
 - 基于模型的有界 CTL 遗忘计算
 - 基于归结的遗忘计算方法

简介

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

背景知识 Kripke 结构

CTL 的语法和语义 μ-演算

研究内容 (一): **(** 和 μ-演算的遗忘思

CTL 遗忘理论

研究内容(二)遗忘理 论在反应式系统中的应

论在反应式系统中的应 用

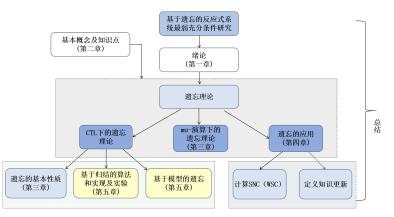
研究内容(二)最弱充分 条件

研究内容 (二) 知识更新

简介 基于模型的有界 CTL 逐

基于模型的有界 CTL 忘计算

- 基于模型的计算方法;
- 基于归结的计算方法(CTL-forget 算法);
- 基于 Prolog 的 CTL-forget 算法实现。





基于模型的计算方法总体框架

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

背景知识

Kripke 结构 CTL 的语法和证

μ-演算 研究由密 (一). C

和 μ-演算的遗忘理 CTL 遗忘理论

μ-演算遺忘理论

研究內容(二) 適心理 论在反应式系统中的应 用

研究内容(二)简介 研究内容(二)最弱充分 条件

条件 研究内容(二)知识更新

CTL 遗忘计算方法

基于模型的有界 CTL 忘计算

基于归结的遗忘计算方法

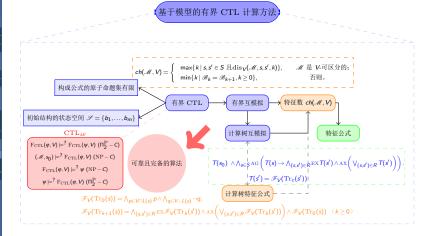


图 11: 基于模型的有界 CTL 遗忘方法



基于模型的有界 CTL 遗忘计算——描述初始结构: 有界 V-互模拟

基于模型的有界 CTL 远 忘计算

 $\mathscr{B}_{\mathbf{p}}^{V}$

令 $V \subseteq \mathcal{A}$ 是原子命题集, $i \in \{1,2\}$, $\mathcal{M}_i = (S_i, R_i, L_i, s_i')$ 是初始 Kripke 结构, $\mathcal{K}_i = (\mathcal{M}_i, s_i)$ 是 结构。 \mathscr{B}_{n}^{V} 递归定义如下:

- **●** 若 $L_1(s_1) V = L_2(s_2)$, 则 $(\mathcal{K}_1, \mathcal{K}_2) \in \mathcal{B}_0^V$;
- 对任意 n≥0,若满足下面几个条件(光1,光2)∈ BN 成立:
 - $(\mathcal{K}_1, \mathcal{K}_2) \in \mathcal{B}_0^V$;
 - 对任意 $(s_1, s_1') \in R_1$,存在 $(s_2, s_2') \in R_2$,使得 $(\mathcal{K}_1', \mathcal{K}_2') \in \mathcal{B}_n^V$;
 - 对任意 (s₂, s₂) ∈ R₂,存在 (s₁, s₁) ∈ R₁,使得(ℋ₁,ℋ₂) ∈ ℬ^V_n。

其中 $\mathcal{K}'_i = (\mathcal{M}_i, s'_i)$ 。

定义 22 (有界 V-互模拟)

令 V 是 \mathscr{A} 的一个子集, $i \in \{1,2\}$, \mathscr{K}_1 和 \mathscr{K}_2 是结构。

- \mathcal{K}_1 和 \mathcal{K}_2 是有界 V-互模拟的, 当且仅当对所有 $n \ge 0$, 都有 $(\mathcal{K}_1, \mathcal{K}_2) \in \mathcal{B}_n$ 。若 \mathcal{K}_1 和 \mathcal{X}_2 是有界 V-互模拟的,则记为 $\mathcal{X}_1 \stackrel{\beta}{\mapsto}_V \mathcal{X}_2$ 。
- 对 \mathcal{M}_i 上的路径 $\pi_i = (s_{i,1}, s_{i,2}, \dots)$,若对于任意 $j \in \mathbb{N}_{>1}^a$,都有 $\mathcal{K}_{1,i} \stackrel{\beta}{\mapsto}_V \mathcal{K}_{2,i}$,则 $\pi_1 \stackrel{B}{\leftrightarrow}_V \pi_2$. $\sharp \Psi \mathscr{K}_{i,i} = (\mathscr{M}_i, s_{i,i})$.

³N 为整数集, N>1 是大于等于 1 的整数集。

基于模型的有界 CTL 遗忘计算——描述初始结构: 有界 V-互模拟

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

背景知识

Kripke 结构 CTL 的语法和语义

μ-演算

和 μ-演算的遗忘理i
CTL 读忘理论

μ-演算遺忘理论

研究内容(二)遗忘理 论在反应式系统中的应 用

研究内容(二) 最弱充分 条件

研究内容 (二) 知识更新

CTL 遗忘计算方法

简介 基于模型的有界 CTL 证 忘计算

基于归结的遗忘计算方法

\mathscr{B}_n^V

令 $V \subseteq \mathscr{A}$ 是原子命题集, $i \in \{1,2\}$, $\mathscr{M}_i = (S_i, R_i, L_i, s_0')$ 是初始 Kripke 结构, $\mathscr{K}_i = (\mathscr{M}_i, s_i)$ 是结构。 \mathscr{B}_n^V 递归定义如下:

- 若 $L_1(s_1) V = L_2(s_2)$, 则 $(\mathcal{K}_1, \mathcal{K}_2) \in \mathcal{B}_0^V$;
- 对任意 $n \ge 0$,若满足下面几个条件 $(\mathcal{K}_1, \mathcal{K}_2) \in \mathcal{B}_{n+1}^V$ 成立:
 - $(\mathcal{K}_1, \mathcal{K}_2) \in \mathcal{B}_0^V$;
 - 对任意 $(s_1,s_1') \in R_1$,存在 $(s_2,s_2') \in R_2$,使得 $(\mathcal{K}_1',\mathcal{K}_2') \in \mathcal{B}_n^V$;
 - 对任意 $(s_2, s_2') \in R_2$,存在 $(s_1, s_1') \in R_1$,使得 $(\mathcal{K}_1', \mathcal{K}_2') \in \mathcal{B}_n^V$ 。

其中 $\mathscr{K}_i' = (\mathscr{M}_i, s_i')$ 。

定理 22

令 $V \subseteq \mathcal{A}$ 和 $\mathcal{X}_i = (\mathcal{M}_i, s_i)$ $(i \in \{1, 2\})$ 。若 $\mathcal{M}_i = (S_i, R_i, L_i, s_0^i)$ 是有限的初始 Kripke 结构,则 s_1 和 s_2 是有界 V-互模拟的,当且仅当 $s_1 \leftrightarrow_V s_2$ 。



基于遗忘的反应 式系统最弱充分

背景知识

Kripke 结柱

CTL 的语法和语义

研究内容 (一): CTL

和 μ-- 與外的過志達 ii CTL 遗忘理论

μ-演算遺忘理论 III - 演算遺忘理论

研究内容 (二) 遗忘理 论在反应式系统中的应 用

研究内容(二)最弱充分 条件

研究内容 (二) 知识更

CTL 遗忘计算方法

基于模型的有界 CTL 近 完计算

基于归结的遗忘计算方法

基于模型的有界 CTL 遗忘计算——描述初始结构: 计算树

计算树

给定一个初始 Kripke 结构 $\mathcal{M} = (S, R, L, s_0)$ 和一个状态 $s \in S$, \mathcal{M} 上以 s 为根节点、深度为 n $(n \geq 0)$ 的<u>计算树Tr</u> $_n^{\mathcal{M}}(s)$ 递归定义如下 [1]:

- $\operatorname{Tr}_0^{\mathscr{M}}(s)$ 是只有一个节点 s (其标签为 L(s)) 的树。
- Tr_{n+1}ⁿ(s) 是以 s 为根节点(标签为 L(s))的树,并且若(s,s')∈R,则 s 有一棵子树 Tr_nⁿ(s')。

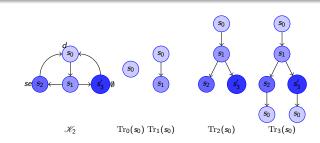


图 12: 初始结构 % 及其计算树示意图

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

背景知识

Kripke 结核

CTL 的语法和语义

研究内容 (一): C

和 μ-演界的速志理1 CTL 遗忘理论

μ-演算遺忘理论

研究内容(二) 短志 论在反应式系统中的原用

研究内容(二)最弱充 条件

研究内容(二)知识更

研光内谷(二)刈

简介

基于模型的有界 CTL 追忘计算

基于归结的遗忘计算方法

定义 23

给定原子命题集 $V\subseteq \mathscr{A}$ 、初始 Kripke 结构 $\mathscr{M}=(S,R,L,s_0)$ 和状态 $s\in S$ 。定义在 V 上的计算 树 $\mathrm{Tr}_n(s)$ 的特征公式(记为 $\mathscr{F}_V(\mathrm{Tr}_n(s)),\ n\geq 0$)递归定义如下:

$$\mathscr{F}_{V}(\operatorname{Tr}_{0}(s)) = \bigwedge_{p \in V \cap L(s)} p \wedge \bigwedge_{q \in V - L(s)} \neg q,$$

$$\mathscr{F}_V(\mathrm{Tr}_{k+1}(s)) = \bigwedge_{(s,s') \in R} \underbrace{\mathrm{Ex}\mathscr{F}_V(\mathrm{Tr}_k(s')) \wedge \mathrm{Ax}}_{(s,s') \in R} \left(\bigvee_{(s,s') \in R} \mathscr{F}_V(\mathrm{Tr}_k(s'))\right) \wedge \mathscr{F}_V(\mathrm{Tr}_0(s)) \quad (k \ge 0) \ .$$

含义

由定义23可知, 计算树的特征公式从三个方面展示了计算树的信息:

- (1) 只考虑 V 中的原子命题;
- (2) 突出了树节点的内容,即:对于任意原子命题 $p \in V$,若 p 在节点的标签中,则其正出现在特征公式中,否则负出现在特征公式中:
- (3) 公式中的时序算子表示了状态之间的转换关系。

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

背景知识

Kripke 结构

CTL 的语法和语义 μ-演算

研究内容 (一): C 和 μ-演算的遗忘理

CTL 遗忘理论

研究内容(二)遗忘理 论在反应式系统中的应

用 研究内容(二)简介 研究内容(二)目型を八

条件 研究内容 (一) 知识面等

研究内容 (二) 知识更

简介

基于模型的有界 CTL 近 忘计算

基于归结的遗忘计算力

计算树互模拟

给定原子命题集 $V \subseteq \mathscr{A}$ 和初始 Kripke 结构 \mathscr{M}_i (i=1,2)。如果下面条件同时满足:

- $L_1(s_1) V = L_2(s_2) V,$
- 对 $\operatorname{Tr}_n(s_1)$ 的任意子树 $\operatorname{Tr}_{n-1}(s_1')$,都存在 $\operatorname{Tr}_n(s_2)$ 的子树 $\operatorname{Tr}_{n-1}(s_2')$,使得 $\operatorname{Tr}_{n-1}(s_1') \leftrightarrow_V \operatorname{Tr}_{n-1}(s_2')$,且
- 对任意 $\operatorname{Tr}_n(s_2)$ 的子树 $\operatorname{Tr}_{n-1}(s_2')$,都存在 $\operatorname{Tr}_n(s_1)$ 的子树 $\operatorname{Tr}_{n-1}(s_1')$,使得 $\operatorname{Tr}_{n-1}(s_1') \leftrightarrow_V \operatorname{Tr}_{n-1}(s_2')$;

则称 M_1 的计算树 $\mathrm{Tr}_n(s_1)$ 和 M_2 的计算树 $\mathrm{Tr}_n(s_2)$ 是 V-互模拟的(记为 $(M_1,\mathrm{Tr}_n(s_1))\leftrightarrow_V(M_2,\mathrm{Tr}_n(s_2))$,简写为 $\mathrm{Tr}_n(s_1)\leftrightarrow_V\mathrm{Tr}_n(s_2)$)。

命题 10

给定原子命题集 $V\subseteq \mathscr{A}$ 、初始 Kripke 结构 \mathscr{M} 和两个状态 $s,s'\in S$ 。若 $s\not\mapsto_V s'$,则存在一个最小整数 k,使得 $\mathrm{Tr}_k(s')$ 和 $\mathrm{Tr}_k(s')$ 不是 V-互模拟的。



素于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

育隶知识

Kripke 缉

CTL 的i

μ-颁β 研究内容 (一): CT

和 μ-演算的遗忘理

CTL 遺忘理论

μ-演算遺忘理论

研究内容(二)遗忘 论在反应式系统中的 用

研究内容(二)简介 研究内容(二)最弱充分 各性

条件 研究内容(二)知识更新

CTL 遗忘计算方法

基于模型的有界 CTL 近 忘计算

基于自结的遗忘计算方法

V-可区分

若初始 Kripke 结构 M 的两个状态 s 和 s' 不是 \overline{V} -互模拟的(即: $s \not \mapsto_{\overline{V}} s'$),则称 s 和 s' 是 \overline{V} -可区分的。用 $\mathrm{dis}_V(M,s,s',k)$ 表示状态 s 和 s' 在命题10中所说的最小数 k 下是 V-可区分的。

特征数

 \mathcal{M} 关于原子命题集 V 的特征数,记为 $ch(\mathcal{M},V)$ 定义如下:

$$\mathit{ch}(\mathscr{M}, V) = \left\{ egin{array}{ll} \max\{k \,|\, s, s' \in S \; \mathrm{Hdis}_V(\mathscr{M}, s, s', k)\}, & \mathscr{M} \; \not\in \; V \text{-} 可区分的; \\ \min\{k \,|\, \mathscr{B}_k = \mathscr{B}_{k+1}, k \geq 0\}, & \mathrm{否则} \; . \end{array} \right.$$

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

背景知识

Kripke 结构

CTL 的语法和语义

μ-演算 研究内容 (—),

CTL 遗忘理论

μ-演算遗忘理论

研究内容(二)遗忘理 论在反应式系统中的原

用 研究内容(二)简介 研究内容(二)品型本公

条件

研究内容 (二) 知证

CTL 遗忘

基于模型的有界 CTL i

基于归结的遗忘计算方法

定义 24 (特征公式)

给定原子命题集 $V\subseteq\mathscr{A}$ 和初始结构 $\mathscr{K}=(\mathscr{M},s_0)$,其中 $c=ch(\mathscr{M},V)$ 。对任意 \mathscr{M} 上的状态 $s'\in S$,记 $T(s')=\mathscr{F}_V(\mathrm{Tr}_c(s'))$ 。 \mathscr{K} 关于 V 的<u>特征公式</u> $\mathscr{F}_V(\mathscr{K})$ 定义为:

$$\mathcal{T}(s_0) \ \land \bigwedge_{s \in S} \mathrm{AG} \left(\mathcal{T}(s) \to \bigwedge_{(s,s') \in \mathcal{R}} \mathrm{EX} \, \mathcal{T}(s') \land \mathrm{AX} \left(\bigvee_{(s,s') \in \mathcal{R}} \mathcal{T}(s') \right) \right).$$

定理 25

 $\diamondsuit V \subseteq \mathscr{A}$ 、 $\mathscr{M} = (S, R, L, s_0)$ 且 $\mathscr{M}' = (S', R', L', s_0')$, 则:

- (i) $(\mathcal{M}', s'_0) \models \mathcal{F}_V(\mathcal{M}, s_0)$ 当且仅当 $(\mathcal{M}, s_0) \leftrightarrow_{\overline{V}} (\mathcal{M}', s'_0)$;
- (ii) 若 $s_0 \leftrightarrow_{\nabla} s_0$ 则 $\mathscr{F}_V(\mathcal{M}, s_0) \equiv \mathscr{F}_V(\mathcal{M}', s_0')$ 。

相互互模拟的结构的特征公式等价。



基于模型的有界 CTL 遗忘计算

例 24

考虑右下图中左边的初始结构 $\mathcal{K}_2 = (\mathcal{M}, s_0)$ 。左边的为 \mathcal{M} 上的四棵计算树: 从左到右表示以 s_0 为根、深度分别为 0.1.2 和 3的计算树 (为简化图, 计算树的标签没有给出, 但是每个树节点的标签可从 \mathscr{X}_{3} 找到)。令 $V = \{d\}$, 则 $\overline{V} = \{s, se\}$ 。 因为 $L(s_1) - \overline{V} = L(s_2) - \overline{V}$,所以有 $\mathrm{Tr}_0(s_1) \leftrightarrow_{\overline{V}} \mathrm{Tr}_0(s_2)$ 。由于存在 $(s_1, s_2) \in R$,使得对任意 $(s_2, s') \in R$,都有 $L(s_2) - \overline{V} \neq L(s') - \overline{V}$,所以, $\operatorname{Tr}_1(s_1) \leftrightarrow_{\overline{V}} \operatorname{Tr}_1(s_2)$ 。由此可知, s_1 和 s_2 是 V-可区分的,且 $\operatorname{dis}_V(\mathcal{M}, s_1, s_2, 1)$ 。 同理可得: $\operatorname{dis}_{V}(\mathcal{M}, s_{0}, s_{1}, 0)$ 、 $\operatorname{dis}_{V}(\mathcal{M}, s_{1}, s_{3}', 1)$ 、 $\operatorname{dis}_{V}(\mathcal{M}, s_{0}, s_{2}, 0)$ 和 $\operatorname{dis}_{V}(\mathcal{M}, s_{0}, s_{3}', 0)$ 。此外, $s_{2} \leftrightarrow_{\mathcal{V}} s_{3}'$ 。因此,可以计 算 M 关于 V 的特征数为:

$$\mathit{ch}(\mathscr{M}, V) = \max\{k \mid s, s' \in S \ \text{$\underline{\,\,$}$} \ \mathrm{dis}_{V}(\mathscr{M}, s, s', k)\} = 1.$$

所以,可以由以下步骤计算 光3 关于 V 的特征公式:

 $\mathscr{F}_V(\operatorname{Tr}_0(s_0)) = d$ $\mathscr{F}_V(\operatorname{Tr}_0(s_1)) = \neg d$

 $\mathscr{F}_V(\operatorname{Tr}_0(s_2)) = \neg d$, $\mathscr{F}_V(\operatorname{Tr}_0(s_2')) = \neg d$,

 $\mathscr{F}_V(\operatorname{Tr}_1(s_0)) = \operatorname{EX} \neg d \wedge \operatorname{AX} \neg d \wedge d \equiv \operatorname{AX} \neg d \wedge d$

 $\mathscr{F}_{V}(\operatorname{Tr}_{1}(s_{1})) = \operatorname{EX} \neg d \wedge \operatorname{EX} \neg d \wedge \operatorname{AX}(\neg d \vee \neg d) \wedge \neg d \equiv \operatorname{AX} \neg d \wedge \neg d$

 $\mathscr{F}_{V}(\operatorname{Tr}_{1}(s_{2})) = \operatorname{EX} d \wedge \operatorname{AX} d \wedge \neg d \equiv \operatorname{AX} d \wedge \neg d,$

 $\mathscr{F}_{\mathcal{N}}(\operatorname{Tr}_1(s_2')) \equiv \mathscr{F}_{\mathcal{N}}(\operatorname{Tr}_1(s_2)),$

 $\mathcal{F}_V(\mathcal{M}, s_0) \equiv AX \neg d \wedge d \wedge$

 $AG(AX \neg d \land d \rightarrow AX(AX \neg d \land \neg d)) \land$

 $AG(AX \neg d \land \neg d \rightarrow AX(AXd \land \neg d)) \land$

 $AG(AXd \land \neg d \rightarrow AX(AX \neg d \land d)).$







 $Tr_2(s_0)$

13: 初始结构 光2 及其计算树示意图

 $Tr_0(s_0) Tr_1(s_0)$



基于模型的有界 CTL 遗忘计算——计算 wsc

基于模型的有界 CTL 遗忘计算

例 25 (例 ??的延续)

令 $\mathscr{A} = \{d, se, sp, s\}$ 和 $V = \{d, se\}$,求 s 在 V 和初始结构 $\mathscr{K} = (\mathscr{M}, s_0)$ 上的 WSC,其中 \mathscr{M} 为例 1中初始状态为 sn 的汽车制造企业模型结构。

s 在 V 和初始结构 $\mathscr{K} = (\mathscr{M}, s_0)$ 上的 WSC 为 $\neg F_{CTL}(\mathscr{F}_{\mathscr{A}}(\mathscr{K}) \land \neg s, \{s\} \cup \{sp\})$ 。

$$\begin{split} & \operatorname{F}_{\operatorname{CTL}}(\mathscr{F}_{\mathscr{A}}(\mathscr{K}) \wedge \neg s, \{s\} \cup \{sp\}) \\ & \equiv \operatorname{F}_{\operatorname{CTL}}(\operatorname{F}_{\operatorname{CTL}}(\mathscr{F}_{\mathscr{A}}(\mathscr{K}) \wedge \neg s, \{sp\}), \{s\}) \\ & \equiv \operatorname{F}_{\operatorname{CTL}}(\operatorname{F}_{\operatorname{CTL}}(\mathscr{F}_{\mathscr{A}}(\mathscr{K}), \{sp\}) \wedge \neg s, \{s\}). \end{split}$$

 $F_{CTL}(\mathscr{F}_{\mathscr{A}}(\mathscr{K}), \{sp\}) \equiv \mathscr{F}_{V \cup \{s\}}(\mathscr{K})$ 所以要计算 $\neg F_{CTL}(\mathscr{F}_{\mathscr{A}}(\mathscr{K}) \land \neg s, \{s\} \cup \{sp\})$, 只需计算 $\neg F_{CTL}(\mathscr{F}_{V\cup\{s\}}(\mathscr{K}) \land \neg s, \{s\})$ 。

 $\neg F_{CTL}(\mathscr{F}_{V \cup \{s\}}(\mathscr{K}) \land \neg s, \{s\})$ $\equiv \neg F_{\text{CTL}}(\mathscr{F}_{N \cup \{s\}}(\mathscr{K}), \{s\})$ $\equiv \neg F_{CTL}(\psi \wedge AG(\varphi_1 \wedge \varphi_2 \wedge \varphi_3 \wedge \varphi_4), \{s\})$ $\equiv \neg (F_{CTL}(\psi \land \varphi_1 \land \varphi_2 \land \varphi_3 \land \varphi_4, \{s\}) \land AGF_{CTL}(\varphi_1 \land \varphi_2 \land \varphi_3 \land \varphi_4, \{s\}))$ $\equiv \neg \Big(\Big(d \lor ((d \lor se) \land AX(d \land \neg se)) \lor ((d \lor se \lor AX \neg d) \land AX(d \land \neg se)) \lor ((d \lor se \lor AX \neg d) \land AX(d \land \neg se)) \lor ((d \lor se \lor AX \neg d) \land AX(d \land \neg se)) \lor ((d \lor se \lor AX \neg d) \land AX(d \land \neg se)) \lor ((d \lor se \lor AX \neg d) \land AX(d \land \neg se)) \lor ((d \lor se \lor AX \neg d) \land AX(d \land \neg se)) \lor ((d \lor se \lor AX \neg d) \land AX(d \land \neg se)) \lor ((d \lor se \lor AX \neg d) \land AX(d \land \neg se)) \lor ((d \lor se \lor AX \neg d) \land AX(d \land \neg se)) \lor ((d \lor se \lor AX \neg d) \land AX(d \land \neg se)) \lor ((d \lor se \lor AX \neg d) \land AX(d \land \neg se)) \lor ((d \lor se \lor AX \neg d) \land AX(d \land \neg se)) \lor ((d \lor se \lor AX \neg d) \land AX(d \land \neg se)) \lor ((d \lor se \lor AX \neg d) \land AX(d \land \neg se)) \lor ((d \lor se \lor AX \neg d) \land AX(d \land \neg se)) \lor ((d \lor se \lor AX \neg d) \land AX(d \land \neg se)) \lor ((d \lor se \lor AX \neg d) \land AX(d \land \neg se)) \lor ((d \lor se \lor AX \neg d) \land AX(d \land \neg se)) \lor ((d \lor se \lor AX \neg d) \land AX(d \land \neg se)) \lor ((d \lor se \lor AX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d) \lor ((d \lor se \lor AX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor se \lor AX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor se \lor AX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor se \lor AX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor se \lor AX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor se \lor AX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor se \lor AX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor se \lor AX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor aX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor aX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor aX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor aX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor AX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor AX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor AX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor AX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor AX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor AX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor AX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor AX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor AX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor AX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor AX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor AX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor AX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor AX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor AX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor AX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor AX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor AX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor AX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor AX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor AX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor AX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor AX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d)) \lor ((d \lor AX \neg d) \land AX(d \lor AX \neg d))$ $\text{EX}(\neg d \land se) \land \text{EX}(\neg d \land \neg se))$ $\lor (d \land AX(\neg d \land \neg se)) \lor ((d \lor \neg se) \land EX \neg d)) \land$ $AG(((d \lor se) \land AX(d \land \neg se)) \lor (AX \neg d \land EX(\neg d \land se) \land AX(d \land \neg se))$

遗忘封闭性

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

育景知识

Kripke 结朴

CTL 的语法和语义 μ-演算

研究内容 (一): (和 μ-演算的遗忘³

CTL 遗忘理论

μ-演算遺忘埋论

研究内容(二)遗忘理 论在反应式系统中的应 用

研究内容(二)简介 研究内容(二)最弱充分 各性

条件

WIDERS (--)

简介

基于模型的有界 CTL 遗忘计算

基于自结的遗忘计算:

引理 26

给定 CTL 公式 φ, 下面等式成立:

$$arphi \equiv igvee_{(\mathscr{M}, \mathsf{s}_0) \in \mathit{Mod}(arphi)} \mathscr{F}_{\mathscr{A}}(\mathscr{M}, \mathsf{s}_0).$$

遗忘封闭性

从 φ 中遗忘 V 中的元素得到的结果为:

$$\bigvee_{\mathscr{K}\in\{\mathscr{K}'|\exists\mathscr{K}''\in\mathsf{Mod}(\phi),\ \mathscr{K}''\leftrightarrow_{V}\mathscr{K}'\}}\mathscr{F}_{\overline{V}}(\mathscr{K}).$$

基于模型的遗忘算法

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

```
背景知识
```

Kripke 结构

μ-演算

研究内容(一):

CTL 遗忘理论

μ-演算遺忘理论 研究内容(二)遗

论在反应式系统中的应 用

研究内容(二)同介 研究内容(二)最弱充分 条件

研究内容 (二) 知识更

CTL 遗忘计算万法 简介

基于模型的有界 CTL 遗忘计算

基于归结的遗忘计算方

```
算法 5.1 基于模型的CTL遗忘过程
```

Input: CTL公式φ和原子命题集V

Output: $F_{CTL}(\varphi, V)$

 $\psi \leftarrow \bot$ for each \mathscr{A} 和 \mathscr{S} 上的初始结构 \mathscr{K} do

if $\mathscr{K} \not\models \varphi$ then continue

foreach 满足 $\mathcal{K} \leftrightarrow_{V} \mathcal{K}'$ 的初始结构 \mathcal{K}' do

 $\psi \leftarrow \psi \lor \mathscr{F}_{\overline{V}}(\mathscr{K}')$

end

end

return ψ

命题 10

令 φ 为 CTL 公式, $V\subseteq \mathscr{A}$ 为原子命题集,状态空间大小为 $|\mathscr{S}|=m$, $|\mathscr{A}|=n$,|V|=x。使用算法 5.1 计算从 φ 中遗忘 V 中原子的空间复杂度为 $O((n-x)m^{2(m+2)}2^{nm}\log m)$,且时间复杂性至少与空间复杂性相同。



遗忘的反应 容量弱充分

至了 返忘的 及应 式系统最弱充分 条件研究

背景知识

Kripke 结朴

CTI MORE

μ-演算

研究内容 (一): CT

CTL 遗忘理论

и-演算遺忘理论

TIT sty oh sty / -- >

研究内容 (□) 週志理 论在反应式系统中的应 用

研究内容(二)简介 研究内容(二)最弱充分

条件 研究内突 (一) 知识更多

CTL MARK ILMARK

筒介

基于模型的有界 CTL 遗忘计算

基于归结的遗忘计算方法

遗忘复杂性

CTL_{AF}:表示 CTL 公式只包含时序算子 AF 的子类。

命题 11 (模型检测)

给定一个结构 (\mathcal{M},s_0) 、原子命题集 $V\subseteq \mathcal{M}$ 和公式 $\varphi\in\mathrm{CTL}_{\mathrm{AF}}$,判定 (\mathcal{M},s_0) 是否为 $\mathrm{F}_{\mathrm{CTL}}(\varphi,V)$ 的模型是 NP-完全的。

定理 27 (Entailment)

令 φ 和 ψ 为 CTL_{AF} 中的两个公式, V 为原子命题集。则:

- (i) 判定 $F_{CTL}(\varphi, V) \models^? \psi$ 是 co-NP-完全的,
- (ii) 判定 $\psi \models$? $F_{CTL}(\varphi, V)$ 是 Π_2^P -完全的,
- (iii) 判定 $F_{CTL}(\varphi, V) \models^? F_{CTL}(\psi, V)$ 是 Π_2^P -完全的。

推论 28

令 φ 和 ψ 为 CTL_{as} 中的两个公式, V 原子公式集。则

- (i) 判定 $\psi \equiv F_{CTL}(\varphi, V)$ 是 Π_2^P -完全的,
- (ii) 判定 $F_{CTL}(\varphi, V) \equiv {}^{?} \varphi$ 是 co-NP-完全的,
- (iii) 判定 $F_{CTL}(\varphi, V) \equiv F_{CTL}(\psi, V)$ 是 Π_2^P -完全的。



基于归结的算法 CTL-forget——总体框架

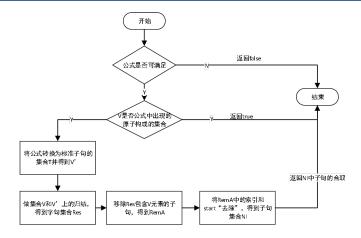


图 14: 基于归结的遗忘的主要流程图

- 如何表示 CTL 公式和带索引的 CTL 公式之间的关系'
- 如何"移除"无关的原子命题(包括需要遗忘的原子命题和转换过程中引入的新的原子 命题)以及如何"消除"索引。



基于归结的算法 CTL-forget——总体框架

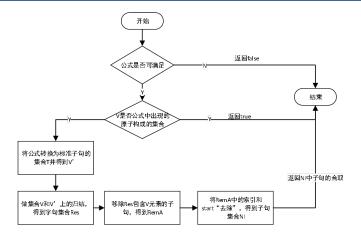


图 14: 基于归结的遗忘的主要流程图

- 如何表示 CTL 公式和带索引的 CTL 公式之间的关系?
- 如何"移除"无关的原子命题(包括需要遗忘的原子命题和转换过程中引入的新的原子 命题),以及如何"消除"索引?

基于归结的算法 CTL-forget——ctl 归结 UF

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

背景知识

Kripke 结构

CTL 的语法和语义 μ-演算

研究内容(一): C 和 u-海鯨的遗忘班

CTL 遗忘理论

μ-演算遺忘理论

研究内容(二)遗忘 论在反应式系统中的

研究内容 (二) 简介

研究内容(二) 取約元元 条件

研究内容(二)知识更新

CTL 遗忘计算方法 简介

回介 基于模型的有界 CTL 忘计算

基于归结的遗忘计算力

表 3: R_{CTL} 归结系统

$$\begin{aligned} & (\mathsf{SRES1}) \frac{P \to \mathsf{AX}(C \lor I), Q \to \mathsf{AX}(D \lor \neg I)}{P \land Q \to \mathsf{AX}(C \lor D)}; & (\mathsf{SRES2}) \frac{P \to \mathsf{E}_{(ind)} \mathsf{X}(C \lor I), Q \to \mathsf{AX}(D \lor \neg I)}{P \land Q \to \mathsf{E}_{(ind)} \mathsf{X}(C \lor D)}; \\ & (\mathsf{SRES3}) \frac{P \to \mathsf{E}_{(ind)} \mathsf{X}(C \lor I), Q \to \mathsf{E}_{(ind)} \mathsf{X}(D \lor \neg I)}{P \land Q \to \mathsf{E}_{(ind)} \mathsf{X}(C \lor D)}; & (\mathsf{SRES4}) \frac{\mathsf{start} \to C \lor I, \mathsf{start} \to D \lor \neg I}{\mathsf{start} \to C \lor D}; \\ & (\mathsf{SRES5}) \frac{\top \to C \lor I, \mathsf{start} \to D \lor \neg I}{\mathsf{start} \to C \lor D}; & (\mathsf{SRES6}) \frac{\top \to C \lor I, Q \to \mathsf{AX}(D \lor \neg I)}{Q \to \mathsf{AX}(C \lor D)}; \\ & (\mathsf{SRES7}) \frac{\top \to C \lor I, Q \to \mathsf{E}_{(ind)} \mathsf{X}(D \lor \neg I)}{Q \to \mathsf{E}_{(ind)} \mathsf{X}(C \lor D)}; & (\mathsf{SRES8}) \frac{\top \to C \lor I, \top \to D \lor \neg I}{T \to C \lor D}; \\ & (\mathsf{RW1}) \frac{\bigwedge_{i=1}^n m_i \to \mathsf{AX} \bot}{T \to \bigvee_{i=1}^n \neg m}; & (\mathsf{RW2}) \frac{\bigwedge_{i=1}^n m_i \to \mathsf{E}_{(ind)} \mathsf{X} \bot}{T \to \bigvee_{i=1}^n \neg m}; \\ & (\mathsf{ERES1}) \frac{\Lambda \to \mathsf{EXEGI}, Q \to \mathsf{AF} \neg I}{Q \to \mathsf{E}_{(ind)} (\neg \Lambda \mathsf{W} \neg I)}; & (\mathsf{ERES2}) \frac{\Lambda \to \mathsf{E}_{(ind)} \mathsf{XE}_{(ind)} \mathsf{GI}, Q \to \mathsf{E}_{(ind)} \mathsf{F} \neg I}{Q \to \mathsf{E}_{(ind)} (\neg \Lambda \mathsf{W} \neg I)}. \end{aligned}$$

其中 P 和 Q 是文字的合取,C 和 D 是文字的析取,I 是一个文字,称每条规则横线下面的公式为横线上面的公式关于文字 I 的归结结果。此外, $\Lambda = \bigvee_{i=1}^m \bigwedge_{i=1}^{m_i} P_j^i$ 、 P_j^i 是文字的析取,其中 1 < i < m 和 1 < i < m。



基于归结的算法 CTL-forget——ctl 归结 UF

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

背景知识 Vainto (th)

Kripke 结构 CTL 的语法和语义

μ-演算 研究内容 (一): **C**

CTL 遗忘理论

μ-演算遺忘理论

研究内容(二)遗忘理 论在反应式系统中的应 用

研究内容(二)简介 研究内容(二)最弱充分 条件

研究内容 (二) 知识更新

简介 基于模型的有界 CT

基于归结的遗忘计算方法

记号

• 令 T为 $SNF_{cr..}^g$ 子句集,p 为原子命题。T 在 p 上的 \overline{RT} (记为 uF(T,p)) 是集合 T 和如下集合的并集:

 $\{\alpha \mid \alpha \$ 是 T 中的公式关于文字 $I \in \{p, \neg p\}$ 的归结结果 $\}$.

- $\bullet \ \operatorname{uf}(\textit{T},\emptyset) = \textit{T} \ \bot \ \operatorname{uf}(\textit{T},\{\textit{p}\} \cup \textit{V}) = \operatorname{uf}(\operatorname{uf}(\textit{T},\textit{p}),\textit{V});$
- $ERes(\varphi, V) = \{\alpha \in UF(T_{\varphi}, V) \mid Var(\alpha) \cap V = \emptyset\}.$

命题 12

令 φ 为一个 CTL 公式, $V\subseteq \mathscr{A}$ 为原子命题集。则 $T_{\varphi}\equiv_{U}$ <u>ERes</u>(φ , V),其中 $U=Var(\mathrm{UF}(T_{\varphi},V))-(Var(\varphi)-V)$ 。



基于归结的算法 CTL-forget——CTL 归结 UF

例 29

令 $\varphi = A((p \land q) \cup (f \lor m)) \land r$, $V = \{p,r\}$, 则 $\cup F(T_{\emptyset}, V \cup \{x,y,z\})$ 除了 T_{\emptyset} 中的子句,

1 : start \rightarrow z, $2: \top \rightarrow \neg z \lor r$ $5: \top \rightarrow p \vee \neg y$

 $6: \top \rightarrow \neg v \lor q$

 $3: \top \rightarrow \neg x \lor f \lor m$,

 $4: \top \rightarrow y \lor x \lor \neg z$, $8: y \rightarrow AX(y \lor x).$

 $7: z \rightarrow AFx$

(2) start $\rightarrow x \lor y$

还包含如下子句:

(1) start $\rightarrow r$ (3) $\top \rightarrow \neg z \lor y \lor f \lor m$ (1,2,SRES5) (3, 4, SRES8)

(4) $y \rightarrow AX(f \lor m \lor y)$

(1,4,SRES5) (3,8,SRES6)

(5) $\top \rightarrow \neg z \lor x \lor p$ (4.5.SRES8) (5.8.SRES6) (6) $\top \rightarrow \neg z \lor x \lor q$ (8) $v \rightarrow AX(x \lor a)$

(4.6. SRES8) (6.8. SRES6)

(7) $V \to AX(X \lor D)$ (9) start $\rightarrow f \lor m \lor y$ (3,(2),SRES5)

(10) start $\rightarrow x \lor p$

(5,(2), SRES5)

(11) start $\rightarrow x \lor q$ (13) $\top \rightarrow a \lor \neg z \lor f \lor m$ (6, (2), SRES5) (6, (3), SRES8) (12) $\top \rightarrow p \lor \neg z \lor f \lor m$ (14) $v \rightarrow AX(p \lor f \lor m)$

(5,(3), SRES8) (5, (4), SRES6)

(15) $y \rightarrow AX(q \lor f \lor m)$

(6, (4), SRES6)

(16) start $\rightarrow f \lor m \lor p$

(5, (9), SRES5)

(17) start $\rightarrow f \lor m \lor q$ (6, (9), SRES5)

在从 UF(T_{ω} , $V \cup \{x, y, z\}$) 中移除包含 V 中元素的子句后, 得到 $ERes(\varphi, V)$, 其包含如下子句:

 $\operatorname{start} \to z$, $\operatorname{start} \to f \lor m \lor q$, $\operatorname{start} \to x \lor y$, $\operatorname{start} \to q \lor x$, $\operatorname{start} \to f \lor m \lor y$,

 $\top \to f \lor m \lor \neg x$, $\top \to g \lor f \lor m \lor \neg z$, $\top \to f \lor m \lor \neg z \lor y$,

 $\top \rightarrow q \lor x \lor \neg z$, $\top \rightarrow x \lor y \lor \neg z$, $\top \rightarrow q \lor \neg y$, $z \rightarrow AFx$, $y \to AX(q \lor f \lor m), y \to AX(x \lor q), y \to AX(x \lor y), y \to AX(f \lor m \lor y).$

可以看出,尽管 $ERes(\varphi, V)$ 中不包含具有索引的公式,但有的子句包含出现在 T_{φ} 中的新原子命题。

基于归结的算法 CTL-forget——转子句为 CTL 公式

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

背景知识

Kripke 结

CTL 的语法和语义 μ-演算

研究内容 (-): C 和 μ -演算的遗忘理

CTL 遗忘理论

μ-演算遺忘理论

研究内容(二)遗忘理 论在反应式系统中的应 用

研究内容(二)简介 研究内容(二)最弱充分

条件 研究内容(二)知识更多

研究内容 (二) 知识更

简介 基于模型的有界 CTL

基于归结的遗忘计算方法

两个主要过程

- 消除索引;
- 移除新引入的原子命题。

引理 30

如果 $j \in \mathcal{I}$, ψ_i, φ_i ($1 \le i \le n$) 为 CTL 公式, 那么:

$$\text{(i)} \ \ \{\psi_i \to \mathop{\mathrm{E}}_{\langle j \rangle} \mathop{\mathrm{X}} \phi_i \mid 1 \leq i \leq n\} \equiv \{(\bigwedge_{i \in \mathcal{S}} \psi_i) \to \mathop{\mathrm{E}}_{\langle j \rangle} \mathop{\mathrm{X}} \left(\bigwedge_{i \in \mathcal{S}} \phi_i\right) \mid \mathcal{S} \subseteq \{1, \dots, n\}\},$$

(ii)
$$\{\psi_i \to \mathbb{E}_{(\hat{I})} \times \varphi_i \mid 1 \le i \le n\} \equiv_{\emptyset} \{(\bigwedge_{i \in S} \psi_i) \to \mathbb{E} \times (\bigwedge_{i \in S} \varphi_i) \mid S \subseteq \{1, \dots, n\}\},$$

(iii)
$$\{(\psi_1 \to \operatorname{E}_{\langle \hat{I} \rangle} \operatorname{F} \varphi_1), (\psi_2 \to \operatorname{E}_{\langle \hat{I} \rangle} \operatorname{X} \varphi_2)\} \equiv_{\emptyset}$$

$$(\psi_1 \to \varphi_1 \lor \texttt{EXEF} \varphi_1) \land (\psi_2 \to \texttt{EX} \varphi_2) \land (\psi_1 \land \psi_2 \to ((\varphi_1 \land \texttt{EX} \varphi_2) \lor \texttt{EX} (\varphi_2 \land \texttt{EF} \varphi_1))).$$



基于归结的算法 CTL-forget——转子句为 CTL 公式

```
算法 5.2 RM-index(\Sigma)
```

Input: 有限SNFg 子句集Σ

Output: CTL公式集

foreach Σ 中拥有相同索引 $\langle i \rangle$ 的E-子句构成的极大子集 Δ do

if 存在索引为 $\langle i \rangle$ 的E-某时子句 $\alpha \in \Sigma$ then **foreach** $\beta \in rei(\Delta)$ **do** $\Sigma \leftarrow \Sigma \cup rfi(\alpha, \beta)$ $\Sigma \leftarrow \Sigma - \{\alpha\}$

end

 $\Sigma \leftarrow \Sigma - \Delta \cup rxi(\Delta)$

end return Σ

推论 30

如果 φ 为一个 CTL 公式、 $U = Var(T_{\varphi}) - Var(\varphi)$, $V \subseteq \mathscr{A}$ 为原子命题集、 $\Sigma = ERes(UF(\varphi, V \cup U), V)$, 那么 RM-index(Σ) $\equiv_{\emptyset} \Sigma$.

引理 31 (一般化的 Ackermann 引理)

令 x 为一个原子命题、 $\Delta = \{AG(\top \rightarrow \neg x \lor C_1), ...,$

 $AG(T \to \neg x \lor C_n), AG(x \to B_1), ..., AG(x \to B_m)$ 为只包含一个 x 的 CTL 公式集 $(n, m \ge 1)$ 、 Γ 为 x 正出现在其中的有限个 CTL 公式集。下面式子成立:

$$\Gamma \cup \Delta \equiv_{\{x\}} \Gamma \left[x / \bigwedge \left(\{ C_i \mid 1 \le i \le n \} \cup \{ B_i \mid 1 \le i \le m \} \right) \right]. \tag{2}$$

$$rei(\{\alpha_i \mid 1 \le i \le n\})$$
、
 $roi(\{\alpha_i \mid 1 \le i \le n\})$ 、 $rfi(\{\beta_1, \alpha_2\})$ 分别
表示引理 30 中 (i)、 (ii)、 (iii) 等号 $\equiv *$
(* $\in \{$ 空字符串、 \emptyset })的右边、
 $\alpha_i = \psi_i \to E_{(j)} \times \varphi_i$ ($1 \le i \le n$) 且



基于归结的算法 CTL-forget——转子句为 CTL 公式

基于遗忘的反应 式系统最弱充分 条件研究

背景知识

Kripke 结

CTL 的语法

μ-ισ.17 研究内容 (一): **(**

CTL 遗忘理论

μ-演算遺忘理论

论在反应式系统中的E 用

研究内容(二)简介 研究内容(二)最弱充

研究内容(二)知识更知

简介 基于模型的有界 CTI

基于归结的遗忘计算方法

例 30 (例 30 的延续)

首先考虑原子命题 x、 $\Delta = \{ T \to f \lor m \lor \neg x \}$ 和 $\Gamma = \underline{ERes}(\varphi, V) - \Delta$ 。 Γ 中包含 x 的公式关于 x 都为正的,因此 $\Gamma[x/(f \lor m)]$ 包含如下公式:

 $\mathsf{start} \to \mathsf{z}, \quad \mathsf{start} \to \mathsf{f} \vee \mathsf{m} \vee \mathsf{q}, \quad \mathsf{start} \to \mathsf{f} \vee \mathsf{m} \vee \mathsf{y},$

 $\top \to q \lor f \lor m \lor \neg z, \quad \top \to f \lor m \lor y \lor \neg z, \quad \top \to q \lor \neg y, \quad z \to \mathsf{AF}(f \lor m),$

 $y \to AX(q \lor f \lor m), \quad y \to AX(f \lor m \lor y).$

第二步考虑原子命题z、 $\Delta' = \{ \top \to q \lor f \lor m \lor \neg z, \top \to f \lor m \lor y \lor \neg z, z \to \mathsf{AF}(f \lor m) \}$ 和 $\Gamma' = \Gamma[x/(f \lor m)] - \Delta'$,其中 z 正出现在 Γ' 中。因此,

 $\Gamma'' = \Gamma'[z/(q \lor f \lor m) \land (f \lor m \lor y) \land AF(f \lor m)]$ 包含如下公式:

 $\mathsf{start} \to \big(\mathit{q} \lor \mathit{f} \lor \mathit{m} \big) \land \big(\mathit{f} \lor \mathit{m} \lor \mathit{y} \big) \land \mathsf{AF} \big(\mathit{f} \lor \mathit{m} \big), \quad \mathsf{start} \to \mathit{f} \lor \mathit{m} \lor \mathit{q}, \quad \mathsf{start} \to \mathit{f} \lor \mathit{m} \lor \mathit{y},$

 $\top \to q \lor \neg y, \quad y \to AX(q \lor f \lor m), \quad y \to AX(f \lor m \lor y).$

不难证明 $ERes(\phi, V) \equiv_{\{x,z\}} \Gamma''$ 。因为 Γ'' 包含一个公式,其关于 y 既不是正的也不是负的。因此,这里不能对 Γ'' 和 y 使用上述过程。



```
算法 5.3 CTL-forget(\varphi, V)
```

```
Input: CTL公式φ和原子命题集V
```

// 若公式不可满足 // 若遗忘所有原子

// 将φ

// 移除包

// 移除留

Output: 公式集

if $\varphi \equiv \bot$ then return \bot ;

if $V = Var(\varphi)$ then return \top ;

 $T_{\boldsymbol{\varphi}} \leftarrow \mathrm{SNF}_{\scriptscriptstyle\mathrm{CTL}}^g(\boldsymbol{\varphi}) \; ;$

 $\Sigma \leftarrow \text{UF}(T_{\varphi}, V \cup U), \quad \text{$\not= Var}(T_{\varphi}) - Var(\varphi);$

 $\Sigma \leftarrow ERes(\Sigma, V)$;

 $\Sigma \leftarrow \text{RM-index}(\Sigma)$;

 $\Sigma \leftarrow \text{GAL}(\Sigma, Var(\Sigma) - Var(\varphi));$ 用 φ 替换 Σ 中的初始子句 " $AG(\mathbf{start} \rightarrow \varphi)$ ";

return Σ

定理 31 (可靠性)

(, , , ,

(i) $\Sigma \equiv_{V \cup U} \varphi$, (ii) 若 $U = \emptyset$, 则 $\Sigma \equiv \mathcal{F}_{CTL}(\varphi, V)$ 。

若 φ 为一个 CTL 公式、 $V \subseteq \mathcal{A}$ 、 $\Sigma = \text{CTL-forget}(\varphi, V)$ 且 $U = Var(\Sigma) - Var(\varphi)$,则:



基于归结的算法 CTL-forget 及其复杂性

至了 应忘的及应 式系统最弱充分 条件研究

背景知识 Kainka 结构

CTL 的语法和语义 μ-演算

和 μ-演算的遗忘

μ-演算遺忘理论

研究内容(二)遗忘理 论在反应式系统中的应

研究内容(二)简介

条件

研究内容(二)知识更

CTL 遗忘计算: 简介

基于模型的有界 CTL 忘计算

忘 计算 基于归结的遗忘计算方法

例 31 (例 31 的延续)

容易看出 CTL-forget $(\varphi, \{p, r\})$ 包含下面的公式

 $(q \lor f \lor m) \land (f \lor m \lor y) \land AF(f \lor m), \quad AG(\top \to q \lor \neg y),$

 $\mathrm{AG}(y \to \mathrm{AX}(q \vee f \vee m)), \quad \mathrm{AG}(y \to \mathrm{AX}(f \vee m \vee y)).$

命题 12 (遗忘存在的子类)

给定 CTL 公式 φ , 若 φ 满足下面约束: (1) φ 中不包括操作符 $Pt\mathscr{T}$ (其中 $Pt\in\{A,E\}$ 且 $\mathscr{T}\in\{U,G\}$); (2) 对于任意原子命题 $p\in V$, 若 p 和 $\neg p$ 出现在同一时序算子的范围内。那 么, $CTL-forget(\varphi,V)\equiv F_{CTL}(\varphi,V)$ 。