



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

基于遗忘的反应式系统最弱充分条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合类和神经网络

May 1, 2022

姓名: 冯仁艳

导师: 王以松

联合导师: Erman Acar¹

学科专业: 软件工程

研究方向: 软件工程技术与人工智能

¹LIACS, Leiden University, The Netherlands



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷积神经网络

- 1 研究背景和意义
- 2 研究现状
- 3 研究内容
- 4 背景知识
 - Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)
 - μ -演算
- 5 CTL 和 μ -演算遗忘理论
- 6 结合卷积神经网络的蒙特卡洛树搜索
- 7 总结与展望



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络



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> 在设计上存在严重的缺陷	动车脱节脱轨、多人失去生命



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络



图 1: 系统故障引起的系列灾难现场

系

统正确对国防、太空勘测和交通运输至关重要。



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

基于遗忘的反应式系统最弱充分条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特卡洛树搜索算法

实验比较结果

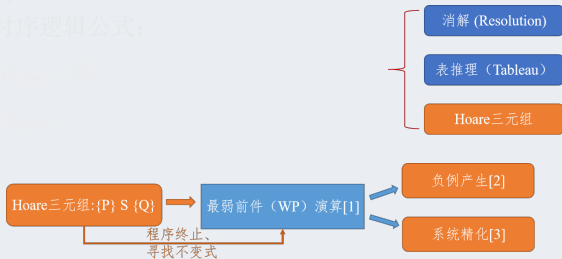
合作问题分析

算法缺点

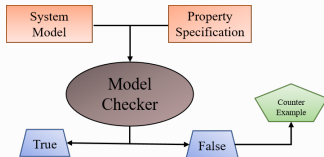
结合卷和神经网络

自动定理证明 (Automated theorem proving)

令 ϕ_{imp} 和 ϕ_{spec} 分别表示系统模型和规范对应的时序逻辑公式：



模型检测 (Model Checking)





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

基于遗忘的反应式系统最弱充分条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡罗搜索算法

基于手牌拆分的蒙特卡罗搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷神经网络

自动定理证明 (Automated theorem proving)

令 ϕ_{imp} 和 ϕ_{spec} 分别表示系统模型和规范对应的时序逻辑公式：

• $\phi_{imp} \rightarrow \phi_{spec}$ 或

• $\phi_{imp} \leftrightarrow \phi_{spec}$

消解 (Resolution)

表推理 (Tableau)

Hoare 三元组

Hoare三元组: $\{P\} S \{Q\}$

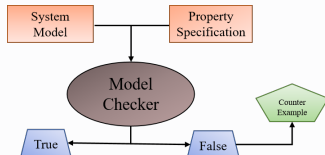
最弱前件 (WP) 演算[1]

负例产生[2]

系统精化[3]

程序终止、
寻找不变式

模型检测 (Model Checking)





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

基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡罗搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡罗搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

自动定理证明 (Automated theorem proving)

令 ϕ_{imp} 和 ϕ_{spec} 分别表示系统模型和
规范对应的时序逻辑公式：

- $\phi_{imp} \rightarrow \phi_{spec}$, 或
- $\phi_{imp} \leftrightarrow \phi_{spec}$.

消解 (Resolution)

表推理 (Tableau)

Hoare 三元组

Hoare 三元组: $\{P\} S \{Q\}$

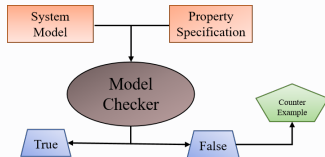
最弱前件 (WP) 演算[1]

负例产生[2]

系统精化[3]

程序终止、
寻找不变式

模型检测 (Model Checking)





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

基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡罗搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡罗搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷神经网络

自动定理证明 (Automated theorem proving)

令 ϕ_{imp} 和 ϕ_{spec} 分别表示系统模型和
规范对应的时序逻辑公式：

• $\phi_{imp} \rightarrow \phi_{spec}$, 或

• $\phi_{imp} \leftrightarrow \phi_{spec}$

消解 (Resolution)

表推理 (Tableau)

Hoare 三元组

Hoare 三元组: $\{P\} S \{Q\}$

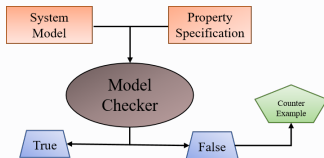
最弱前件 (WP) 演算[1]

负例产生[2]

系统精化[3]

程序终止、
寻找不变式

模型检测 (Model Checking)





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

基于遗忘的反应式系统最弱充分条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡罗搜索算法

基于手牌拆分的蒙特卡罗搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

自动定理证明 (Automated theorem proving)

令 ϕ_{imp} 和 ϕ_{spec} 分别表示系统模型和规范对应的时序逻辑公式：

- $\phi_{imp} \rightarrow \phi_{spec}$, 或
- $\phi_{imp} \leftrightarrow \phi_{spec}$.

消解 (Resolution)

表推理 (Tableau)

Hoare 三元组

Hoare 三元组: $\{P\} S \{Q\}$

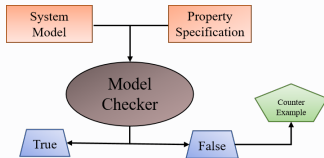
最弱前件 (WP) 演算[1]

负例产生[2]

系统精化[3]

程序终止、
寻找不变式

模型检测 (Model Checking)





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

基于遗忘的反应式系统最弱充分条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡罗搜索算法

基于手牌拆分的蒙特卡罗搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

自动定理证明 (Automated theorem proving)

令 ϕ_{imp} 和 ϕ_{spec} 分别表示系统模型和规范对应的时序逻辑公式：

- $\phi_{imp} \rightarrow \phi_{spec}$, 或
- $\phi_{imp} \leftrightarrow \phi_{spec}$.

消解 (Resolution)

表推理 (Tableau)

Hoare 三元组

Hoare 三元组: $\{P\} S \{Q\}$

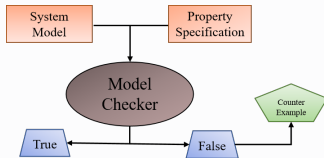
最弱前件 (WP) 演算[1]

负例产生[2]

系统精化[3]

程序终止、
寻找不变式

模型检测 (Model Checking)





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

基于遗忘的反应式系统最弱充分条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡罗搜索算法

基于手牌拆分的蒙特卡罗搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷神经网络

自动定理证明 (Automated theorem proving)

令 ϕ_{imp} 和 ϕ_{spec} 分别表示系统模型和规范对应的时序逻辑公式：

- $\phi_{imp} \rightarrow \phi_{spec}$, 或
- $\phi_{imp} \leftrightarrow \phi_{spec}$.

消解 (Resolution)

表推理 (Tableau)

Hoare 三元组

Hoare三元组: $\{P\} S \{Q\}$

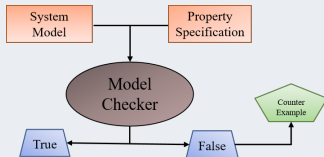
最弱前件 (WP) 演算[1]

负例产生[2]

系统精化[3]

程序终止、
寻找不变式

模型检测 (Model Checking)





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

基于遗忘的反应式系统最弱充分条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

自动定理证明 (Automated theorem proving)

令 ϕ_{imp} 和 ϕ_{spec} 分别表示系统模型和规范对应的时序逻辑公式：

- $\phi_{imp} \rightarrow \phi_{spec}$, 或
- $\phi_{imp} \leftrightarrow \phi_{spec}$.

消解 (Resolution)

表推理 (Tableau)

Hoare 三元组

Hoare三元组: $\{P\} S \{Q\}$

最弱前件 (WP) 演算[1]

负例产生[2]

系统精化[3]

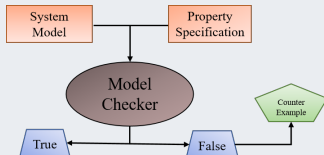
程序终止、
寻找不变式

模型检测 (Model Checking)

$$\mathcal{M} \models \phi_{spec}$$

• 反应式系统 (reactive system): 是指与环境有着持续不断交互的系统。

• 如何计算反应式系统的 WP?





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

基于遗忘的反应式系统最弱充分条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

自动定理证明 (Automated theorem proving)

令 ϕ_{imp} 和 ϕ_{spec} 分别表示系统模型和规范对应的时序逻辑公式：

- $\phi_{imp} \rightarrow \phi_{spec}$, 或
- $\phi_{imp} \leftrightarrow \phi_{spec}$.

消解 (Resolution)

表推理 (Tableau)

Hoare 三元组

Hoare三元组: $\{P\} S \{Q\}$

最弱前件 (WP) 演算[1]

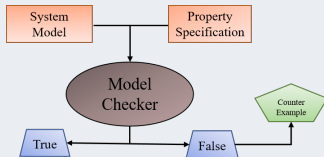
负例产生[2]

系统精化[3]

程序终止、
寻找不变式

模型检测 (Model Checking)

- $\mathcal{M} \models^? \phi_{spec}$.
- 反应式系统 (reactive system): 是指与环境有着持续不断交互的系统。
- 如何计算反应式系统的 WP?





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

基于遗忘的反应式系统最弱充分条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷神经网络

自动定理证明 (Automated theorem proving)

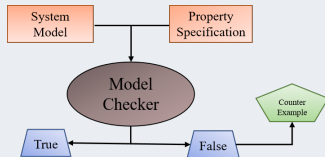
令 ϕ_{imp} 和 ϕ_{spec} 分别表示系统模型和规范对应的时序逻辑公式：

- $\phi_{imp} \rightarrow \phi_{spec}$, 或
- $\phi_{imp} \leftrightarrow \phi_{spec}$.



模型检测 (Model Checking)

- $\mathcal{M} \models \phi_{spec}$.
- 反应式系统 (reactive system): 是指与环境有着持续不断交互的系统。
- 如何计算反应式系统的 WP?





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

基于遗忘的反应式系统最弱充分条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷神经网络

自动定理证明 (Automated theorem proving)

令 ϕ_{imp} 和 ϕ_{spec} 分别表示系统模型和规范对应的时序逻辑公式：

- $\phi_{imp} \rightarrow \phi_{spec}$, 或
- $\phi_{imp} \leftrightarrow \phi_{spec}$.

消解 (Resolution)

表推理 (Tableau)

Hoare 三元组

Hoare三元组: $\{P\} S \{Q\}$

最弱前件 (WP) 演算[1]

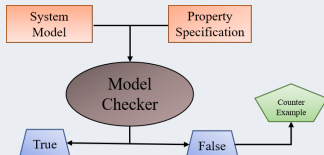
负例产生[2]

系统精化[3]

程序终止、
寻找不变式

模型检测 (Model Checking)

- $\mathcal{M} \models \phi_{spec}$.
- 反应式系统 (reactive system): 是指与环境有着持续不断交互的系统。
- 如何计算反应式系统的 WP?





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

基于遗忘的反应式系统最弱充分条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合类和神经网络

自动定理证明 (Automated theorem proving)

令 ϕ_{imp} 和 ϕ_{spec} 分别表示系统模型和规范对应的时序逻辑公式：

- $\phi_{imp} \rightarrow \phi_{spec}$, 或
- $\phi_{imp} \leftrightarrow \phi_{spec}$.

消解 (Resolution)

表推理 (Tableau)

Hoare 三元组

Hoare三元组: $\{P\} S \{Q\}$

最弱前件 (WP) 演算[1]

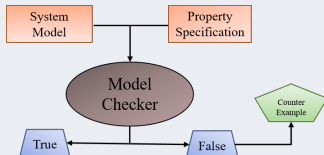
负例产生[2]

系统精化[3]

程序终止、
寻找不变式

模型检测 (Model Checking)

- $\mathcal{M} \models^? \phi_{spec}$.
- 反应式系统 (reactive system): 是指与环境有着持续不断交互的系统。
- 如何计算反应式系统的 WP?





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

基于遗忘的反应式系统最弱充分条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合类和神经网络

自动定理证明 (Automated theorem proving)

令 ϕ_{imp} 和 ϕ_{spec} 分别表示系统模型和规范对应的时序逻辑公式：

- $\phi_{imp} \rightarrow \phi_{spec}$, 或
- $\phi_{imp} \leftrightarrow \phi_{spec}$.

消解 (Resolution)

表推理 (Tableau)

Hoare 三元组

Hoare三元组: $\{P\} S \{Q\}$

最弱前件 (WP) 演算[1]

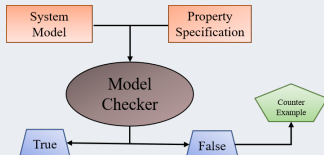
负例产生[2]

系统精化[3]

程序终止、
寻找不变式

模型检测 (Model Checking)

- $\mathcal{M} \models \phi_{spec}$.
- 反应式系统 (reactive system): 是指与环境有着持续不断交互的系统。
- 如何计算反应式系统的 WP?





基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑（CTL）

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡罗搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡罗搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合神经网络

最强必要条件（SNC）和最弱充分条件（WSC）

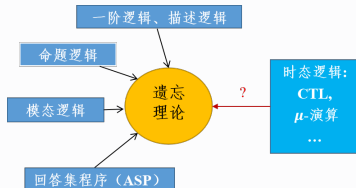
SNC 和 WSC 分别用于描述给定理论下的最一般的结果（consequence）和最一般的诱因（abduction）[4]。满足下面两个条件的 φ 称为 q 在理论 Σ 下的 SNC：

- (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）





基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑（CTL）

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡罗搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡罗搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷神经网络

最强必要条件（SNC）和最弱充分条件（WSC）

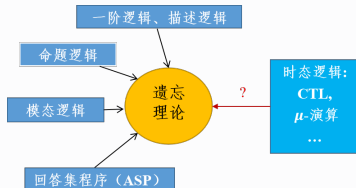
SNC 和 WSC 分别用于描述给定理论下的最一般的结果（consequence）和最一般的诱因（abduction）[4]。满足下面两个条件的 φ 称为 q 在理论 Σ 下的 SNC：

- (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）





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

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑（CTL）

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡罗搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡罗搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

最强必要条件（SNC）和最弱充分条件（WSC）

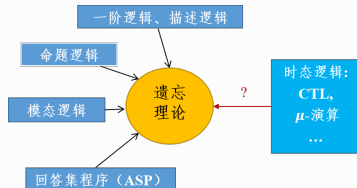
SNC 和 WSC 分别用于描述给定理论下的最一般的结果（consequence）和最一般的诱因（abduction）[4]。满足下面两个条件的 φ 称为 q 在理论 Σ 下的 SNC：

- (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）





基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑（CTL）

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡罗搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡罗搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷神经网络

最强必要条件（SNC）和最弱充分条件（WSC）

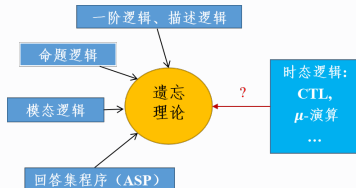
SNC 和 WSC 分别用于描述给定理论下的最一般的结果（consequence）和最一般的诱因（abduction）[4]。满足下面两个条件的 φ 称为 q 在理论 Σ 下的 SNC：

- (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）





基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑（CTL）

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡罗搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡罗搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷神经网络

最强必要条件（SNC）和最弱充分条件（WSC）

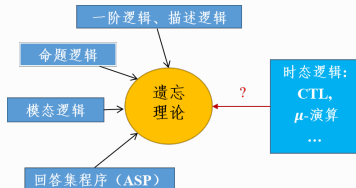
SNC 和 WSC 分别用于描述给定理论下的最一般的结果（consequence）和最一般的诱因（abduction）[4]。满足下面两个条件的 φ 称为 q 在理论 Σ 下的 SNC：

- (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）





基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑（CTL）

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

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：

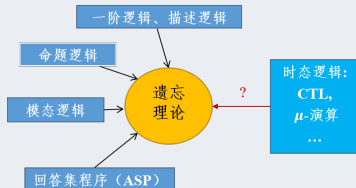
- (1) $\Sigma \models q \rightarrow \varphi$;
- (2) 对任意 φ' 且 $\Sigma \models q \rightarrow \varphi'$ ，有 $\Sigma \models \varphi \rightarrow \varphi'$ 。

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）

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。





基于遗忘的反应式系统最弱充分条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树逻辑（CTL）

μ -演算

CTL 和 μ -演算遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛搜索算法

基于手牌拆分的蒙特卡洛搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

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：

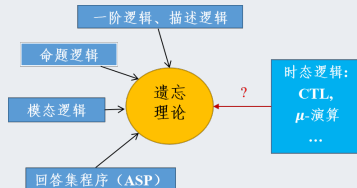
- (1) $\Sigma \models q \rightarrow \varphi$;
- (2) 对任意 φ' 且 $\Sigma \models q \rightarrow \varphi'$ ，有 $\Sigma \models \varphi \rightarrow \varphi'$ 。

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）

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。





基于遗忘的反应式系统最弱充分条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树逻辑（CTL）

μ -演算

CTL 和 μ -演算遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛搜索算法

基于手牌拆分的蒙特卡洛搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

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：

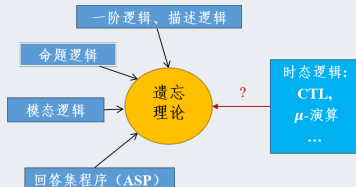
- (1) $\Sigma \models q \rightarrow \varphi$;
- (2) 对任意 φ' 且 $\Sigma \models q \rightarrow \varphi'$ ，有 $\Sigma \models \varphi \rightarrow \varphi'$ 。

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）

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。





基于遗忘的反应式系统最弱充分条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树逻辑（CTL）

μ -演算

CTL 和 μ -演算遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

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：

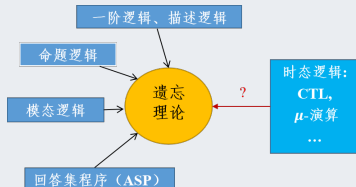
- (1) $\Sigma \models q \rightarrow \varphi$;
- (2) 对任意 φ' 且 $\Sigma \models q \rightarrow \varphi'$ ，有 $\Sigma \models \varphi \rightarrow \varphi'$ 。

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）

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。





目录

基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷积神经网络

- 1 研究背景和意义
- 2 研究现状
- 3 研究内容
- 4 背景知识
 - Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)
 - μ -演算
- 5 CTL 和 μ -演算遗忘理论
- 6 结合卷积神经网络的蒙特卡洛树搜索
- 7 总结与展望



● 完备信息博弈



非伝統品



异化歌点









- 2008 年, Zinkevich 等提出虚拟遗憾最小化算法, 并在 2009 年的世界年度扑克机器博弈大赛的三人限注德州扑克中取得冠军
- 2017 年卡内基梅隆大学的 Libratus, 在两人不限注的德州扑克中击败了人类顶级选手



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

● 完备信息博弈

- 2006 年, 东北大学的象棋程序“棋天大圣”战胜了有中国象棋第一人之称的许银川

● 不完备信息博弈

- 2013 年哈尔滨工业大学在 ACPC 大赛中的三人限注德州扑克项目上获得了第四名的成绩
- 2017 年世界计算机桥牌锦标赛中, 北京新睿桥科技有限公司的新睿桥牌程序取得了第二名的好成绩
- 2019 年, 上海交通大学的 You Y 等人针对“斗地主”博弈中每次出牌时, 存在可能组合牌型较多的情况, 提出一种处理组合动作的新方法组合 Q 学习 (CQL)



◀ ◻ ▶ ◀ ◻ ▶ ◀ ≡ ▶ ◀ ≡ ▶ ≡ ◻ ↺ 🔍 ↻



100



- 2013 年哈尔滨工业大学在 ACPC 大赛中的三人限注德州扑克项目上获得了第四名的成绩
- 2017 年世界计算机桥牌锦标赛中，北京新睿桥科技有限公司的新睿桥牌程序取得了第二名的好成绩
- 2019 年，上海交通大学的 You Y 等人针对“斗地主”博弈中每次出牌时，存在可能组合牌型较多的情况，提出一种处理组合动作的新方法组合 Q 学习（CQL）



国内研究现状

- 2006 年，东北大学的象棋程序“棋天大圣”战胜了有中国象棋第一人之称的许银川

- 2013 年哈尔滨工业大学在 ACPC 大赛中的三人限注德州扑克项目上获得了第四名的成绩
- 2017 年世界计算机桥牌锦标赛中，北京新睿桥科技有限公司的新睿桥牌程序取得了第二名的好成绩
- 2019 年，上海交通大学的 You Y 等人针对“斗地主”博弈中每次出牌时，存在可能组合牌型较多的情况，提出一种处理组合动作的新方法组合 Q 学习（CQL）



A set of small navigation icons typically found in Beamer presentations, including symbols for back, forward, search, and other slide controls.



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷积神经网络

- 1 研究背景和意义
- 2 研究现状
- 3 研究内容
- 4 背景知识
 - Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)
 - μ -演算
- 5 CTL 和 μ -演算遗忘理论
- 6 结合卷积神经网络的蒙特卡洛树搜索
- 7 总结与展望



基于遗忘的反应式系统最弱充分条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

研究内容

本论文研究反应式系统下, CTL 和 μ -演算的遗忘理论, 并使用遗忘计算 WSC。具体为:

- CTL 和 μ -演算的遗忘理论
 - CTL 的遗忘理论
 - μ -演算的遗忘理论
- 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
 - 定义知识更新
- 计算 CTL 遗忘的算法
 - 基于模型的计算方法
 - 基于消解 (resolution) 的计算方法
 - 实现与实验分析



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合类和神经网络

研究内容

本论文研究反应式系统下, CTL 和 μ -演算的遗忘理论, 并使用遗忘计算 WSC。具体为:

- CTL 和 μ -演算的遗忘理论
 - CTL 的遗忘理论
 - μ -演算的遗忘理论
- 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
 - 定义知识更新
- 计算 CTL 遗忘的算法
 - 基于模型的计算方法
 - 基于消解 (resolution) 的计算方法
 - 实现与实验分析



基于遗忘的反应式系统最弱充分条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合类和神经网络

研究内容

本论文研究反应式系统下, CTL 和 μ -演算的遗忘理论, 并使用遗忘计算 WSC。具体为:

- CTL 和 μ -演算的遗忘理论
 - CTL 的遗忘理论
 - μ -演算的遗忘理论
- 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
 - 定义知识更新
- 计算 CTL 遗忘的算法
 - 基于模型的计算方法
 - 基于消解 (resolution) 的计算方法
 - 实现与实验分析



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合类和神经网络

研究内容

本论文研究反应式系统下, CTL 和 μ -演算的遗忘理论, 并使用遗忘计算 WSC。具体为:

- CTL 和 μ -演算的遗忘理论
 - CTL 的遗忘理论
 - μ -演算的遗忘理论
- 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
 - 定义知识更新
- 计算 CTL 遗忘的算法
 - 基于模型的计算方法
 - 基于消解 (resolution) 的计算方法
 - 实现与实验分析



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合类和神经网络

研究内容

本论文研究反应式系统下, CTL 和 μ -演算的遗忘理论, 并使用遗忘计算 WSC。具体为:

- CTL 和 μ -演算的遗忘理论
 - CTL 的遗忘理论
 - μ -演算的遗忘理论
- 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
 - 定义知识更新
- 计算 CTL 遗忘的算法
 - 基于模型的计算方法
 - 基于消解 (resolution) 的计算方法
 - 实现与实验分析



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合类和神经网络

研究内容

本论文研究反应式系统下, CTL 和 μ -演算的遗忘理论, 并使用遗忘计算 WSC。具体为:

- CTL 和 μ -演算的遗忘理论
 - CTL 的遗忘理论
 - μ -演算的遗忘理论
- 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
 - 定义知识更新
- 计算 CTL 遗忘的算法
 - 基于模型的计算方法
 - 基于消解 (resolution) 的计算方法
 - 实现与实验分析



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合类和神经网络

研究内容

本论文研究反应式系统下, CTL 和 μ -演算的遗忘理论, 并使用遗忘计算 WSC。具体为:

- CTL 和 μ -演算的遗忘理论
 - CTL 的遗忘理论
 - μ -演算的遗忘理论
- 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
 - 定义知识更新
- 计算 CTL 遗忘的算法
 - 基于模型的计算方法
 - 基于消解 (resolution) 的计算方法
 - 实现与实验分析



研究内容

基于遗忘的反应式系统最弱充分条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡罗搜索算法

基于手牌拆分的蒙特卡罗搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

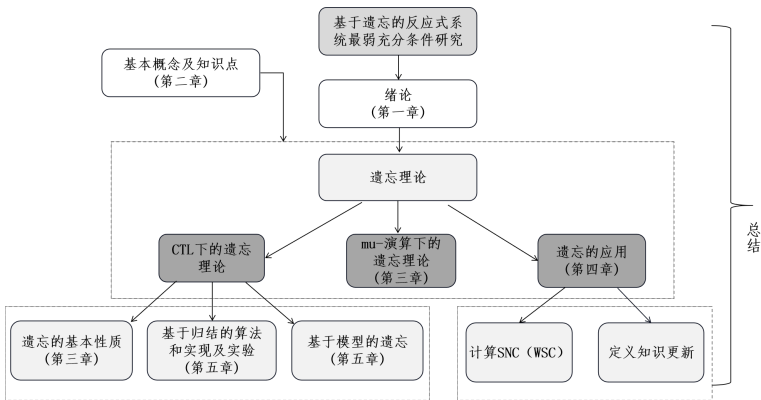


图 2: 文章组织结构示意图

- CTL 和 μ -演算的遗忘理论
- 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 CTL 遗忘的计算方法



研究内容

基于遗忘的反应式系统最弱充分条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡罗搜索算法

基于手牌拆分的蒙特卡罗搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

社会类和神经网络

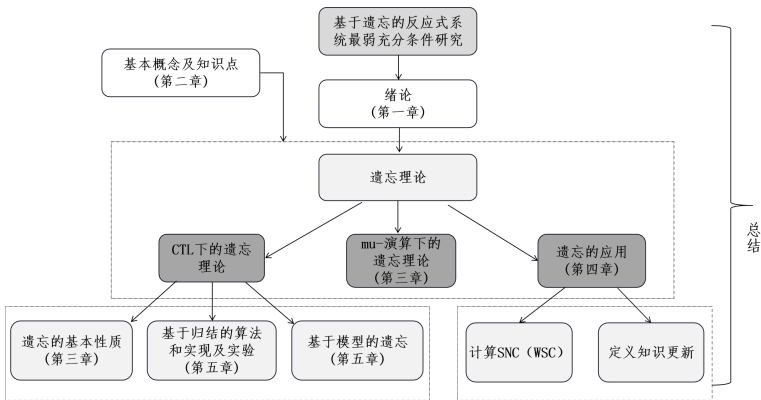


图 2: 文章组织结构示意图

- CTL 和 μ -演算的遗忘理论
- 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 CTL 遗忘的计算方法



研究内容

基于遗忘的反应式系统最弱充分条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡罗搜索算法

基于手牌拆分的蒙特卡罗搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

社会网络和神经网络

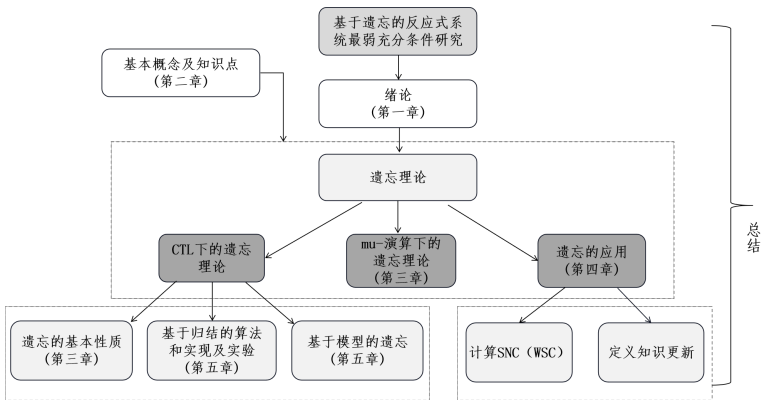


图 2: 文章组织结构示意图

- CTL 和 μ -演算的遗忘理论
- 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 CTL 遗忘的计算方法



1 研究背景和意义

2 研究现状

3 研究内容

4 背景知识

- Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)

● μ -演算

5 CTL 和 μ -演算遗忘理论

6 结合卷积神经网络的蒙特卡洛树搜索

7 总结与展望

◀ ◻ ▶ ◀ ◻ ▶ ◀ ≡ ▶ ◀ ≡ ▶ ≡ ▶ ↺ 🔍 ↻



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

● \mathcal{A} : 原子命题的集合

● Ind: 索引的集合



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

- \mathcal{A} : 原子命题的集合
- Ind: 索引的集合



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

content...



1 研究背景和意义

2 研究现状

3 研究内容

4 背景知识

- Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)

● μ -演算

5 CTL 和 mu-演算遗忘理论

6 结合卷积神经网络的蒙特卡洛树搜索

7 总结与展望

◀ ◻ ▶ ◀ ◻ ▶ ◀ ≡ ▶ ◀ ≡ ▶ ≡ 🔍 ↺





◀ ◻ ▶ ◀ ◻ ▶ ◀ ≡ ▶ ◀ ≡ ▶ ≡ ◻ ↺ 🔍 ↻





基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

基于“斗地主”规则的拆分 Split 算法

function Split(F,X)

if $X = \emptyset$

then return F;

else

令 $\Gamma(X) = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\} - \{\emptyset\}$;

Return $(\text{Split}(F + Y_1, X - Y_1) \cup \text{Split}(F + Y_2, X - Y_2) \cup \dots \cup \text{Split}(F + Y_n, X - Y_n))$

,其中 $F + Y_i = \{z \cup \{Y_i\} \mid z \in F\}$;



手牌拆分算法模块

基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

基于“斗地主”规则的手牌较小拆分算法 (**LessSplit**)

Input: handpoker X

Output: handpoker smaller split set MS

function LessSplit(X)

$F = \{\emptyset\}$, $MS = \emptyset$;

$S = \text{Split}(F, X)$;

$L_{min} = \text{Min}(\{\text{len}(z) \mid z \in S\})$;

for each s in S :

if $\text{len}(s) \leq (L_{min} + 3)$

then $MS = MS \cup s$;

return MS;

基于遗忘的反应式系统最弱充分条件研究

研究背景和意义

研究现状

研究内容

背景知识

CTL 和 mu-演算 遗忘理论

CTL 遗忘理论

- 玩家的手牌为：34556789LB。对玩家手牌进行拆分，所有拆分结果为：

- $s_1 = \{3, 4, 5, 5, 6, 7, 8, 9, L, B\}$

- $s_2 = \{3, 4, 5, 5, 6, 7, 8, 9, \text{LB}\}$

- $s_3 = \{3, 4, 55, 6, 7, 8, 9, L, B\}$

- $s_4 = \{3, 4, 55, 6, 7, 8, 9, \text{LB}\}$

- $s_5 = \{3, 4, 5, \text{LB}, 56789\}$

- $s_6 = \{3, 4, 5, L, B, 56789\}$

- $s_7 = \{3, 5, 9, \text{LB}, 45678\}$

- $s_8 = \{3, 5, 9, L, B, 45678\}$

- $s_9 = \{3, 5, LB, 456789\}$

- $s_{10} = \{3, 5, L, B, 456789\}$

- $s_{11} = \{5, 8, 9, \text{LB}, 34567\}$

- $s_{12} = \{5, 8, 9, L, B, 34567\}$

- $s_{13} = \{5, 9, \text{LB}, 345678\}$

- $s_{14} = \{5, 9, L, B, 345678\}$

- $s_{15} = \{5, \text{LB}, 3456789\}$

- $s_{16} = \{5, L, B, 3456789\}$



● 玩家的手牌为：34556789LB。对玩家手牌进行拆分，所有拆分结果为：

- $s_2 = \{3, 4, 5, 5, 6, 7, 8, 9, \text{LB}\}$

- $s_3 = \{3, 4, 55, 6, 7, 8, 9, L, B\}$

- $s_4 = \{3, 4, 55, 6, 7, 8, 9, \text{LB}\}$

- $s_5 = \{3, 4, 5, \text{LB}, 56789\}$

- $s_6 = \{3, 4, 5, L, B, 56789\}$

- $s_7 = \{3, 5, 9, \text{LB}, 45678\}$

- $s_8 = \{3, 5, 9, L, B, 45678\}$

- $s_9 = \{3, 5, LB, 456789\}$

- $s_{10} = \{3, 5, L, B, 456789\}$

- $s_{11} = \{5, 8, 9, \text{LB}, 34567\}$

- $s_{12} = \{5, 8, 9, L, B, 34567\}$

- $s_{13} = \{5, 9, \text{LB}, 345678\}$

- $s_{14} = \{5, 9, L, B, 345678\}$

- $s_{15} = \{5, \text{LB}, 3456789\}$

- $s_{16} = \{5, L, B, 3456789\}$



● 玩家的手牌为：34556789LB。对玩家手牌进行拆分，所有拆分结果为：

- $s_1 = \{3, 4, 5, 5, 6, 7, 8, 9, L, B\}$

- $s_2 = \{3, 4, 5, 5, 6, 7, 8, 9, \text{LB}\}$

- $s_3 = \{3, 4, 55, 6, 7, 8, 9, L, B\}$

- $s_4 = \{3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, \text{LB}\}$

- $s_5 = \{3, 4, 5, \text{LB}, 56789\}$

- $s_6 = \{3, 4, 5, L, B, 56789\}$

- $s_7 = \{3, 5, 9, \text{LB}, 45678\}$

- $s_8 = \{3, 5, 9, L, B, 45678\}$

- $s_9 = \{3, 5, LB, 456789\}$

- $s_{10} = \{3, 5, L, B, 456789\}$

- $s_{11} = \{5, 8, 9, \text{LB}, 34567\}$

- $s_{12} = \{5, 8, 9, L, B, 34567\}$

- $s_{13} = \{5, 9, \text{LB}, 345678\}$

- $s_{14} = \{5, 9, L, B, 345678\}$

- $s_{15} = \{5, \text{LB}, 3456789\}$

- $s_{16} = \{5, L, B, 3456789\}$



手牌拆分算法实例

基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

- 玩家的手牌为：34556789LB。对玩家手牌进行拆分，所有拆分结果为：

- $s_1 = \{3, 4, 5, 5, 6, 7, 8, 9, L, B\}$
- $s_2 = \{3, 4, 5, 5, 6, 7, 8, 9, LB\}$
- $s_3 = \{3, 4, 55, 6, 7, 8, 9, L, B\}$
- $s_4 = \{3, 4, 55, 6, 7, 8, 9, LB\}$
- $s_5 = \{3, 4, 5, LB, 56789\}$
- $s_6 = \{3, 4, 5, L, B, 56789\}$
- $s_7 = \{3, 5, 9, LB, 45678\}$
- $s_8 = \{3, 5, 9, L, B, 45678\}$
- $s_9 = \{3, 5, LB, 456789\}$
- $s_{10} = \{3, 5, L, B, 456789\}$
- $s_{11} = \{5, 8, 9, LB, 34567\}$
- $s_{12} = \{5, 8, 9, L, B, 34567\}$
- $s_{13} = \{5, 9, LB, 345678\}$
- $s_{14} = \{5, 9, L, B, 345678\}$
- $s_{15} = \{5, LB, 3456789\}$
- $s_{16} = \{5, L, B, 3456789\}$

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络



手牌拆分算法实例

基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

- 玩家的手牌为：34556789LB。对玩家手牌进行拆分，所有拆分结果为：

- $s_1 = \{3, 4, 5, 5, 6, 7, 8, 9, L, B\}$
- $s_2 = \{3, 4, 5, 5, 6, 7, 8, 9, LB\}$
- $s_3 = \{3, 4, 55, 6, 7, 8, 9, L, B\}$
- $s_4 = \{3, 4, 55, 6, 7, 8, 9, LB\}$
- $s_5 = \{3, 4, 5, LB, 56789\}$
- $s_6 = \{3, 4, 5, L, B, 56789\}$
- $s_7 = \{3, 5, 9, LB, 45678\}$
- $s_8 = \{3, 5, 9, L, B, 45678\}$
- $s_9 = \{3, 5, LB, 456789\}$
- $s_{10} = \{3, 5, L, B, 456789\}$
- $s_{11} = \{5, 8, 9, LB, 34567\}$
- $s_{12} = \{5, 8, 9, L, B, 34567\}$
- $s_{13} = \{5, 9, LB, 345678\}$
- $s_{14} = \{5, 9, L, B, 345678\}$
- $s_{15} = \{5, LB, 3456789\}$
- $s_{16} = \{5, L, B, 3456789\}$



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

蒙特卡洛抽样法

为了求解问题，首先建立一个概率模型或随机过程，使它的参数或数字特征等于问题的解，然后通过对模型、过程的观察或者抽样试验来计算这些参数、数字特征，最后给出所求解的近似值。

如:Buffon's needle problem





蒙特卡洛树搜索算法

基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

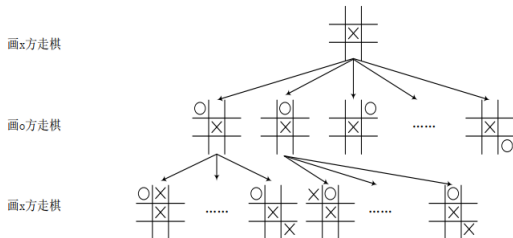
实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

博弈树搜索算法: 将初始状态和所有可能的后续状态通过直接先后关系连接在一起形成博弈树





蒙特卡洛树搜索算法

基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛搜索算法

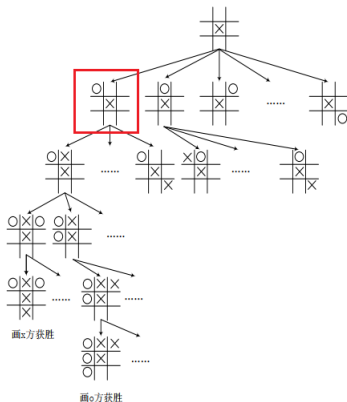
基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷神经网络



利用经验平均来代替随机变量的期望。如在博弈状态 s 时期望值为 $v_{\pi}(s)$ ，一般难以通过计算直接求出该值，但是可以通过蒙特卡洛方法获得一系列收益 $G_1(s), \dots, G_n(s)$ 。根据大数定律，当 n 趋于无穷大时，抽样收益的均值趋近于期望值。定义 $v(s)$ 为系列收益的平均值，即

$$v(s) = \frac{G_1(s) + \dots + G_n(s)}{n}$$

当 $n \rightarrow \infty$ 时， $v(s) \rightarrow v_{\pi}(s)$



蒙特卡洛树搜索算法

基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

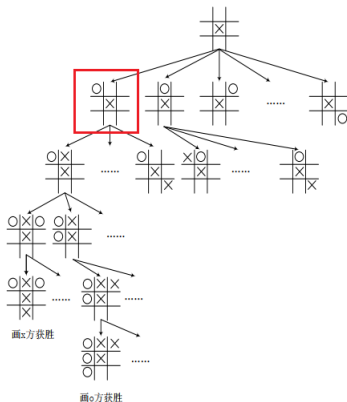
基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络



思想

利用经验平均来代替随机变量的期望。如在博弈状态 s 时期望值为 $v_{\pi}(s)$ ，一般难以通过计算直接求出该值，但是可以通过蒙特卡洛方法获得一系列收益 $G_1(s), \dots, G_n(s)$ 。根据大数定律，当 n 趋于无穷大时，抽样收益的均值趋近于期望值。定义 $v(s)$ 为系列收益的平均值，即

$$v(s) = \frac{G_1(s) + \dots + G_n(s)}{n}$$

当 $n \rightarrow \infty$ 时， $v(s) \rightarrow v_{\pi}(s)$



蒙特卡洛树搜索算法

基于遗忘的反应式系统最弱充分条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

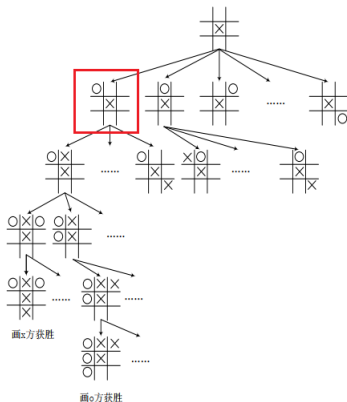
基于手牌拆分的蒙特卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络



思想

利用经验平均来代替随机变量的期望。如在博弈状态 s 时期望值为 $v_{\pi}(s)$, 一般难以通过计算直接求出该值, 但是可以通过蒙特卡洛方法获得一系列收益 $G_1(s), \dots, G_n(s)$. 根据大数定律, 当 n 趋于无穷大时, 抽样收益的均值趋近于期望值。定义 $v(s)$ 为系列收益的平均值, 即

$$v(s) = \frac{G_1(s) + \dots + G_n(s)}{n}$$

当 $n \rightarrow \infty$ 时, $v(s) \rightarrow v_{\pi}(s)$



蒙特卡洛树搜索算法

基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

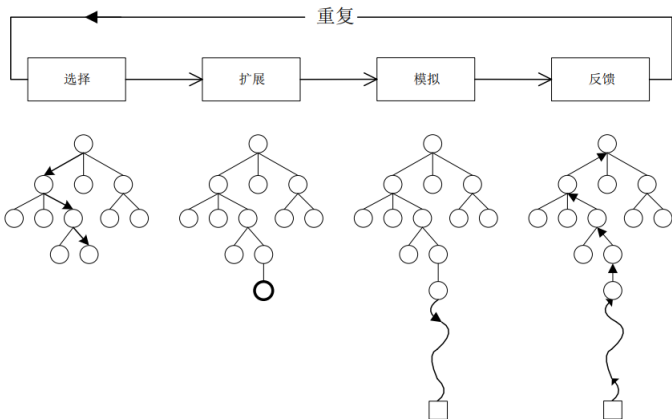
实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

蒙特卡洛树搜索算法过程





基于手牌拆分的蒙特卡洛树搜索算法 (MCTSHS)

基于遗忘的反应式系统最弱充分条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特卡洛树搜索算法

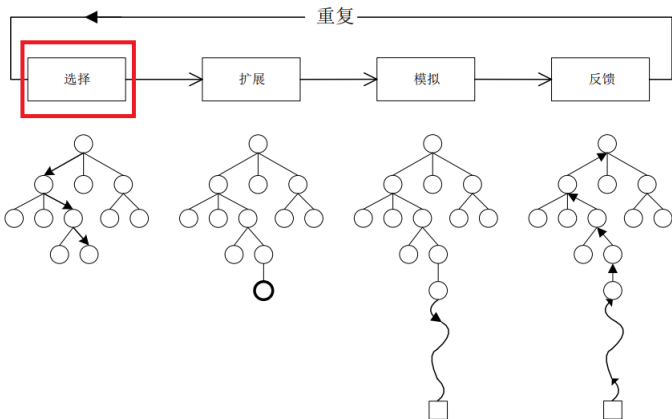
实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

基于手牌拆分的蒙特卡洛树搜索算法过程





与规则算法 (RB) 比较

基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合类和神经网络

规则算法 (RB)

该算法分为主动策略和被动策略两种。主动策略中若上轮玩家取得主动权，那本轮该玩家可根据自己手牌主动选择出牌类型，而不需要考虑其他玩家的出牌类型；被动策略中玩家需要考虑本轮其他玩家的出牌，被动选择跟牌类型。

不区分角色比较结果：



与规则算法 (RB) 比较

基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

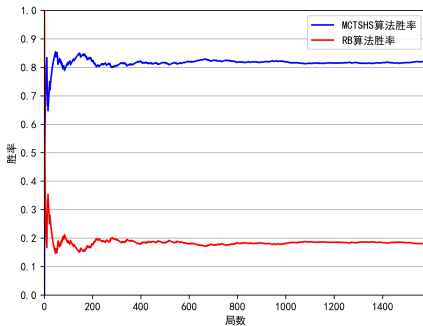
算法缺点

结合卷和神经网络

规则算法 (RB)

该算法分为主动策略和被动策略两种。主动策略中若上轮玩家取得主动权，那本轮该玩家可根据自己手牌主动选择出牌类型，而不需要考虑其他玩家的出牌类型；被动策略中玩家需要考虑本轮其他玩家的出牌，被动选择跟牌类型。

不区分角色比较结果：





与规则算法 (RB) 比较

基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

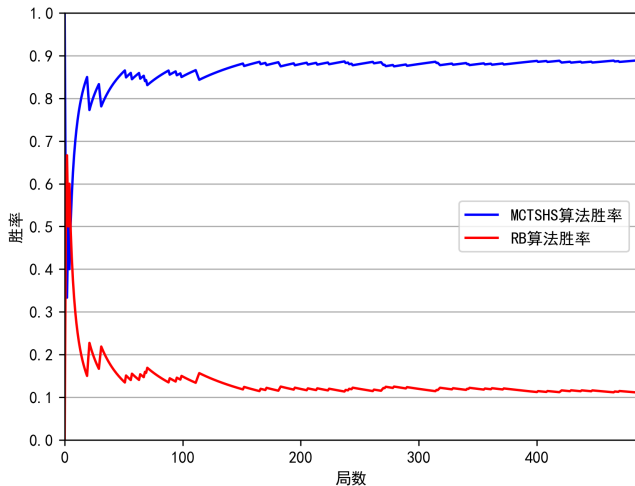
实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

地主 MCTSHS 对农民 RB:





与规则算法 (RB) 比较

基于遗忘的反应式系统最弱充分条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特卡洛树搜索算法

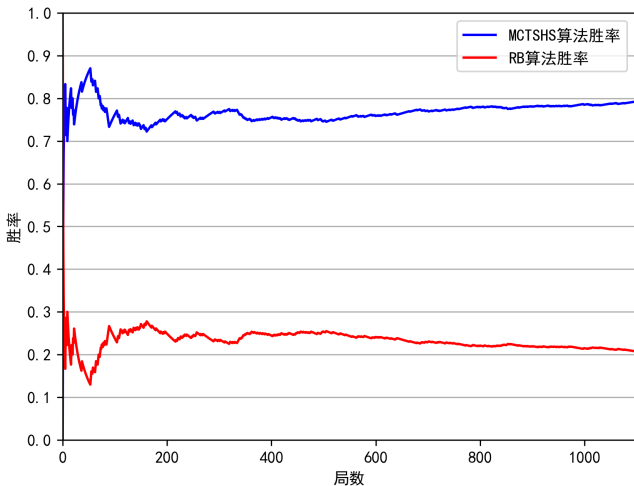
实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

农民 MCTSHS 对地主 RB:





与 7k7k 算法比较

基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

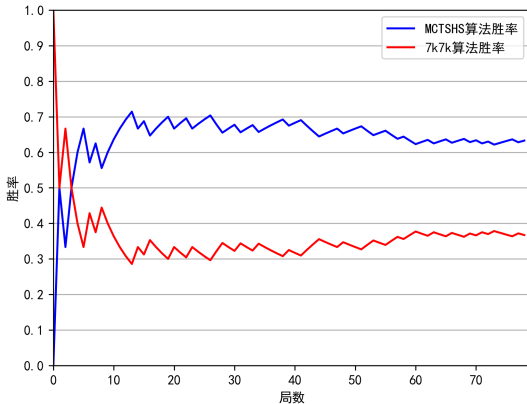
算法缺点

结合卷和神经网络

7k7k 算法

该算法为北京迦游网络科技有限公司开发的“斗地主”智能算法。

不区分角色比较结果：





基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

合作问题分析:

算法事例	合作问题算法事例
当前玩家手牌	334567QQKKA2B
当前玩家位置	1 (其中 0 表示地主, 1 表示农民一, 2 表示农民二)
当前玩家角色	农民一
地主已出牌	339922789JQK666JJL
当前玩家已出牌	55TTB
农民二已出牌	77AA89TJQKA44488
本轮中地主出牌	L
博弈过程	0 33, 1 55, 2 77; 0 99, 1 TT, 2 AA; 0 22, 1 pass, 2 pass; 0 7 89TJQK, 1 pass, 2 89TJQKA; 0 pass, 1 pass, 2 4448; 0 66 6JJ, 1 pass, 2 pass; 0 L, 1 B, 2 pass; 0 pass, 1 3, 2 2.



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

社会类和神经网络

算法缺点:

- 每次决策思考时间过长
- 已搜索到的决策未能充分利用



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

社会类和神经网络

算法缺点:

- 每次决策思考时间过长
- 已搜索到的决策未能充分利用



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

算法缺点:

- 每次决策思考时间过长
- 已搜索到的决策未能充分利用

改进算法!!



目录

基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷积神经网络

- 1 研究背景和意义
- 2 研究现状
- 3 研究内容
- 4 背景知识
 - Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)
 - μ -演算
- 5 CTL 和 μ -演算遗忘理论
- 6 结合卷积神经网络的蒙特卡洛树搜索
- 7 总结与展望



结合卷积神经网络的蒙特卡洛树搜索模型 MCM

基于遗忘的反应式系统最弱充分条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

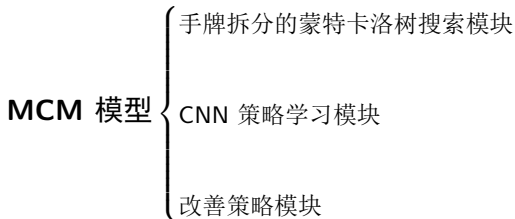
基于手牌拆分的蒙特卡洛树搜索算法

实验比较结果

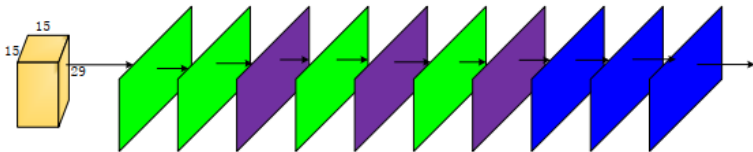
合作问题分析

算法缺点

结合卷积神经网络



CNN 策略学习模块:





结合卷积神经网络的蒙特卡洛树搜索模型 MCM

基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷积神经网络

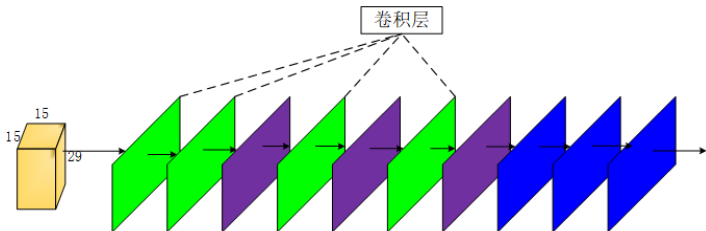
MCM 模型

手牌拆分的蒙特卡洛树搜索模块

CNN 策略学习模块

改善策略模块

CNN 策略学习模块:





结合卷积神经网络的蒙特卡洛树搜索模型 MCM

基于遗忘的反应式系统最弱充分条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

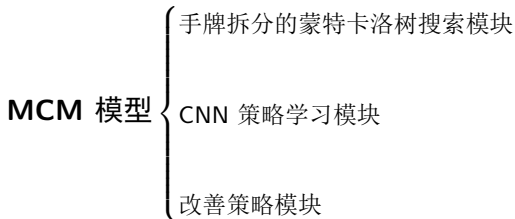
基于手牌拆分的蒙特卡洛树搜索算法

实验比较结果

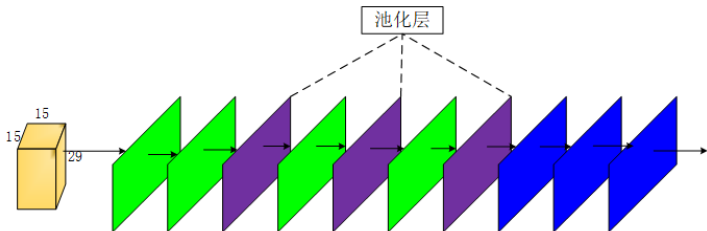
合作问题分析

算法缺点

结合卷积神经网络



CNN 策略学习模块:





结合卷积神经网络的蒙特卡洛树搜索模型 MCM

基于遗忘的反应式系统最弱充分条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛搜索算法

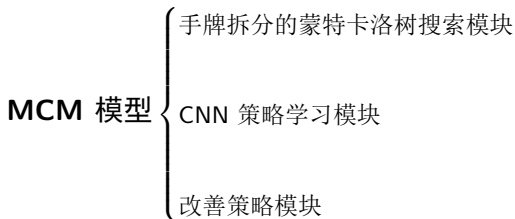
基于手牌拆分的蒙特卡洛搜索算法

实验比较结果

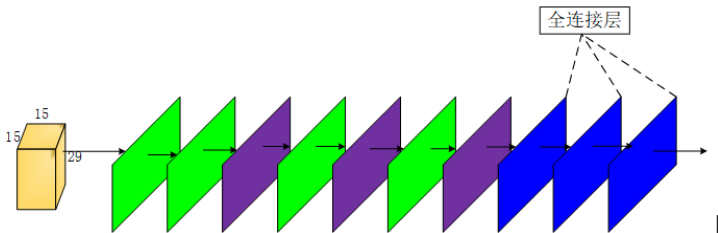
合作问题分析

算法缺点

结合卷积神经网络



CNN 策略学习模块:





结合卷积神经网络的蒙特卡洛树搜索模型 MCM

基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

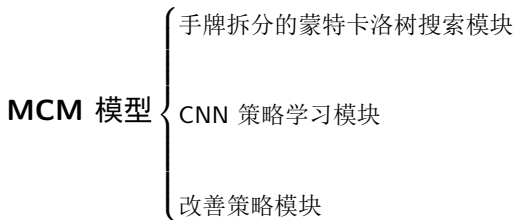
基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

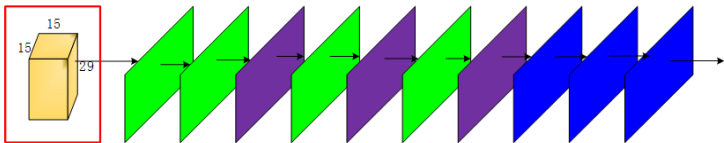
合作问题分析

算法缺点

结合卷积神经网络



CNN 策略学习模块:





基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

- X 维度: 表示 15 种扑克
- Y 维度:
 - 0-3(下标) 表示扑克的张数
 - 4-13(下标) 表示扑克是否参与组成出牌类型
 - 14(下标) 表示该出牌是否为地主玩家。
- Z 维度:



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

- X 维度: 表示 15 种扑克
- Y 维度:
 - 0-3(下标) 表示扑克的张数
 - 4-13(下标) 表示扑克是否参与组成出牌类型
 - 14(下标) 表示该出牌是否为地主玩家。
- Z 维度:



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

- X 维度: 表示 15 种扑克
- Y 维度:
 - 0-3(下标) 表示扑克的张数
 - 4-13(下标) 表示扑克是否参与组成出牌类型
 - 14(下标) 表示该出牌是否为地主玩家。
- Z 维度:



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

- X 维度: 表示 15 种扑克
- Y 维度:
 - 0-3(下标) 表示扑克的张数
 - 4-13(下标) 表示扑克是否参与组成出牌类型
 - 14(下标) 表示该出牌是否为地主玩家。
- Z 维度:



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

- X 维度: 表示 15 种扑克
- Y 维度:
 - 0-3(下标) 表示扑克的张数
 - 4-13(下标) 表示扑克是否参与组成出牌类型
 - 14(下标) 表示该出牌是否为地主玩家。
- Z 维度:



CNN 策略学习模块 —— 输入表示

基于遗忘的反应式系统最弱充分条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡罗搜索算法

基于手牌拆分的蒙特卡罗搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合类和神经网络

- X 维度: 表示 15 种扑克
- Y 维度:
 - 0-3(下标) 表示扑克的张数
 - 4-13(下标) 表示扑克是否参与组成出牌类型
 - 14(下标) 表示该出牌是否为地主玩家。
- Z 维度:

维度	意义
0-2	分别表示当前玩家、下家、上家 8 轮之前所有出牌的张数, 不区分每次出牌类型。
3-5	分别表示当前玩家、下家、上家前第 8 轮的出牌
6-8	分别表示当前玩家、下家、上家前第 7 轮的出牌
9-11	分别表示当前玩家、下家、上家前第 6 轮的出牌
12-14	分别表示当前玩家、下家、上家前第 5 轮的出牌
15-17	分别表示当前玩家、下家、上家前第 4 轮的出牌
18-20	分别表示当前玩家、下家、上家前第 3 轮的出牌
21-23	分别表示当前玩家、下家、上家前第 2 轮的出牌
24-26	分别表示当前玩家、下家、上家前第 1 轮的出牌
27	表示本轮玩家出牌
28	表示当前玩家的手牌, 只记录牌张数, 不区分牌型



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

● 学习样本处理

- 将 MCTSHS 决策结果的数据进行去重
- 随机打乱去重后的样本顺序，并从打乱的样本中，随机选择 90% 的样本组成训练集，10% 作为测试集



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

● 学习样本处理

- 将 MCTSHS 决策结果的数据进行去重
- 随机打乱去重后的样本顺序，并从打乱的样本中，随机选择 90% 的样本组成训练集，10% 作为测试集



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

● 学习样本处理

- 将 MCTSHS 决策结果的数据进行去重
- 随机打乱去重后的样本顺序，并从打乱的样本中，随机选择 90% 的样本组成训练集，10% 作为测试集



- 将 MCTSHS 决策结果的数据进行去重
- 随机打乱去重后的样本顺序，并从打乱的样本中，随机选择 90% 的样本组成训练集，10% 作为测试集

MCTSHS 学习的部分历史数据记录:

[illegible]

```
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 456789 789TJQ 9TJQKA 0 0 556677 JJQQKK  
46TTJJQQKAA2 2087 1393 0.667613
```

[illegible][illegible]



CNN 策略学习模块

基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

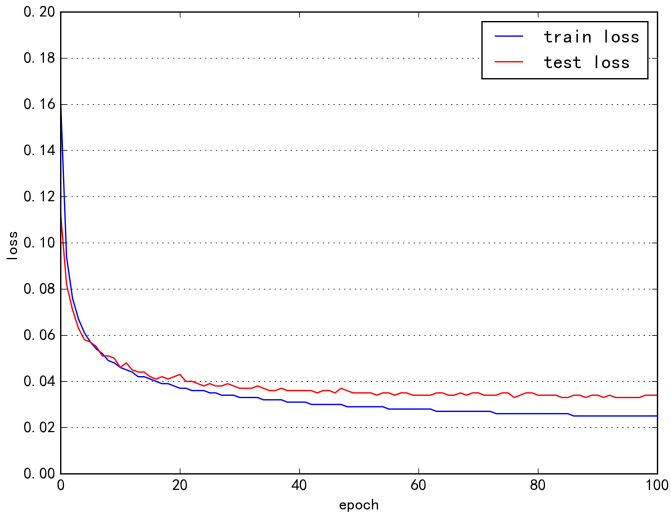
实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

CNN 网络学习策略损失变化图:





基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

实验比较设定

- 地主、农民使用不同的决策算法，其中农民一、农民二均使用农民的决策算法
- 地主、农民一、农民二使用不同的决策算法
- 地主、农民一、农民二使用不同的决策算法进行相同牌局比较



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

实验比较设定

- 地主、农民使用不同的决策算法，其中农民一、农民二均使用农民的决策算法
- 地主、农民一、农民二使用不同的决策算法
- 地主、农民一、农民二使用不同的决策算法进行相同牌局比较



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

社会类和神经网络

实验比较设定

- 地主、农民使用不同的决策算法，其中农民一、农民二均使用农民的决策算法
- 地主、农民一、农民二使用不同的决策算法
- 地主、农民一、农民二使用不同的决策算法进行相同牌局比较



实验结果 ——与随机算法 (Random) 比较

基于遗忘的反应式系统最弱充分条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

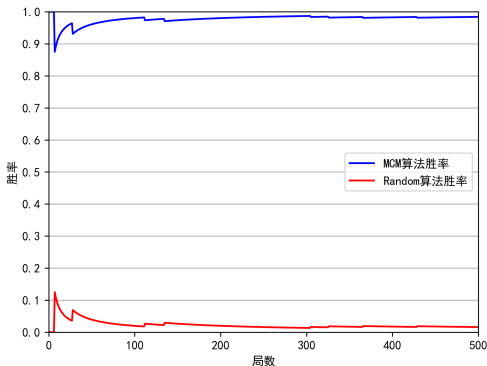
算法缺点

结合卷和神经网络

随机算法 (Random) 介绍

思路为：根据玩家的手牌、本轮其它玩家出牌等信息按照博弈规则计算出当前状态下玩家可能的所有出牌，并从中随机选择一种可能出牌作为本轮的最终出牌。

地主 MCM 对农民 Random 的胜率变化图：





实验结果 ——与随机算法 (Random) 比较

基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

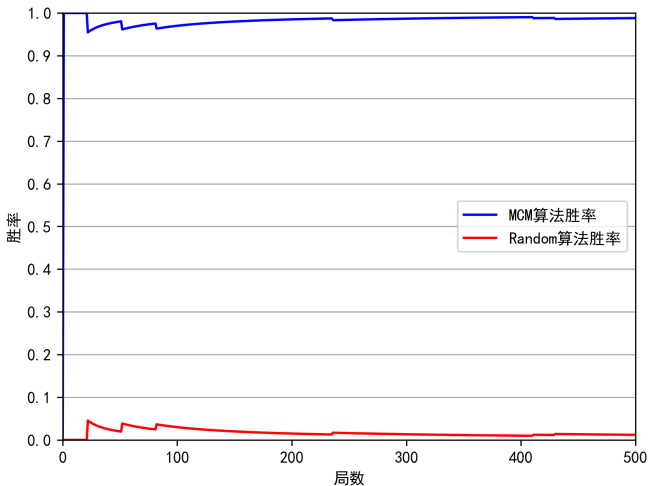
实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

农民 MCM 对地主 Random 的胜率变化图:





基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

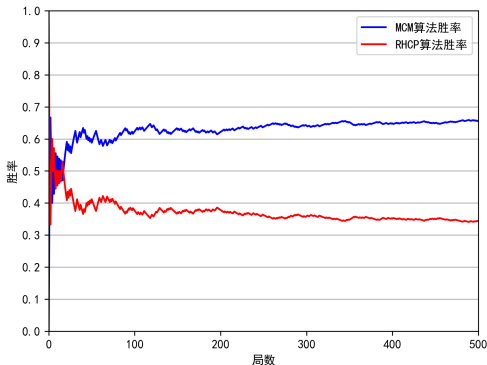
算法缺点

结合卷和神经网络

RHCP 算法介绍

该算法引入手牌剩余价值的概念，其总体思路是将手牌按照“斗地主”规则进行不同的组合，并选择使得出牌后手牌价值较高的出牌作为本轮最佳出牌。

地主 MCM 对农民 RHCP 的胜率变化图:





实验结果 ——与 RHCP 算法比较

基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

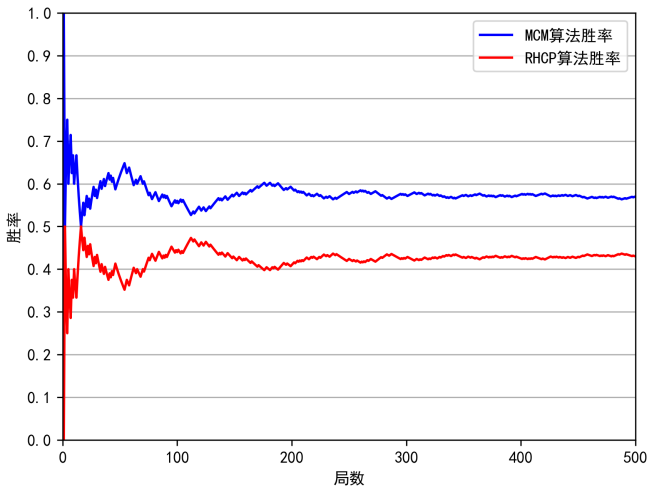
实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

农民 MCM 对地主 RHCP 的胜率变化图:





基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

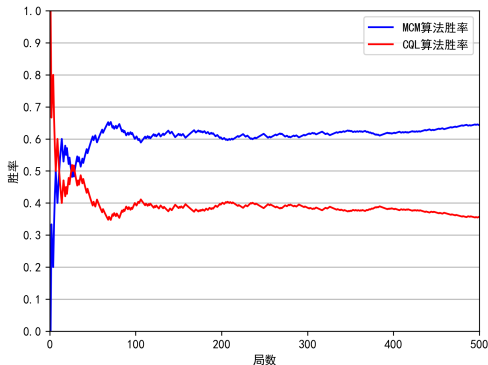
算法缺点

结合卷和神经网络

CQL 算法介绍

该算法由上海交通大学 You Y 等人提出。You Y 等人针对“斗地主”博弈中，每次出牌时存在较多可能组合牌型的情况，提出一种处理组合动作的新方法组合 Q 学习 (CQL)。

地主 MCM 对农民 CQL 的胜率变化图:





实验结果 ——与 CQL 算法比较

基于遗忘的反应式系统最弱充分条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡罗搜索算法

基于手牌拆分的蒙特卡罗搜索算法

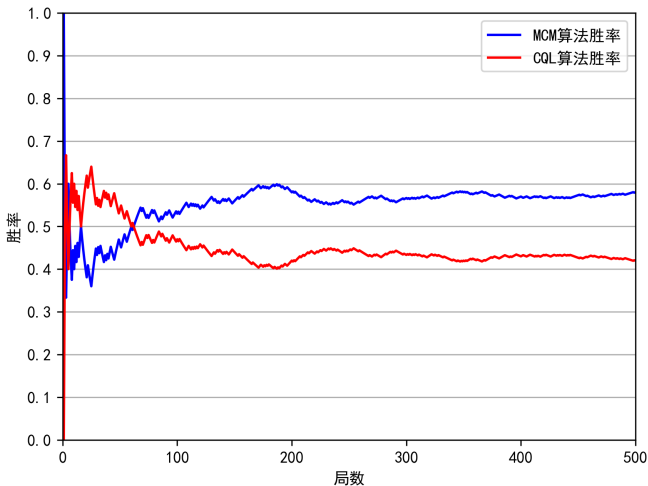
实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

农民 MCM 对地主 CQL 的胜率变化图:





CQL、RHCP 以及 MCM 算法相互比较:

地主		农民一		农民二	
决策算法	胜率	决策算法	胜率	决策算法	胜率
CQL	44.4%	RHCP	21.6%	MCM	34%
CQL	44.8%	MCM	21.6%	RHCP	33.6%
RHCP	52.6%	CQL	6.4%	MCM	41%
RHCP	46.4%	MCM	28%	CQL	25.6%
MCM	63%	CQL	6%	RHCP	31%
MCM	59.2%	RHCP	26.6%	CQL	14.2%
MCM	56%	MCM	22.4%	MCM	21.6%

实验结果 ——CQL、RHCP、MCM 相互比较

基于遗忘的反应式系统最弱充分条件研究

研究背景和意义

研究现状

研究内容

背景知识

CTL 和 mu-演算

遗忘理论

100%

CQL、RHCP 以及 MCM 算法相互比较:

地主		农民一		农民二	
决策算法	胜率	决策算法	胜率	决策算法	胜率
CQL	44.4%	RHCP	21.6%	MCM	34%
CQL	44.8%	MCM	21.6%	RHCP	33.6%
RHCP	52.6%	CQL	6.4%	MCM	41%
RHCP	46.4%	MCM	28%	CQL	25.6%
MCM	63%	CQL	6%	RHCP	31%
MCM	59.2%	RHCP	26.6%	CQL	14.2%
MCM	56%	MCM	22.4%	MCM	21.6%



实验结果 —— CQL、RHCP、MCM 相互比较

(相同牌局)

基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

CQL、RHCP 以及 MCM 算法相互比较:

地主		农民一		农民二	
决策算法	胜率	决策算法	胜率	决策算法	胜率
CQL	42%	RHCP	19%	MCM	40%
CQL	47%	MCM	19%	RHCP	34%
RHCP	57%	CQL	10%	MCM	32%
RHCP	52%	MCM	31%	CQL	17%
MCM	66%	CQL	8%	RHCP	36%
MCM	67%	RHCP	20%	CQL	13%

● 上述实验结果详见:

[https://github.com/StarrySky3/experimental-result-
/tree/master/experimental-result](https://github.com/StarrySky3/experimental-result-/tree/master/experimental-result)



目录

基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷积神经网络

- 1 研究背景和意义
- 2 研究现状
- 3 研究内容
- 4 背景知识
 - Kripke 结构和计算树逻辑 (CTL)
 - μ -演算
- 5 CTL 和 μ -演算遗忘理论
- 6 结合卷积神经网络的蒙特卡洛树搜索
- 7 总结与展望



总结

基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡罗搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡罗搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合类和神经网络

总结:

- 论文提出 MCTSHS 算法对“斗地主”进行研究。实验表明该算法针对“斗地主”博弈能做出不错的决策。
- 针对基于 MCTSHS 算法的思考时间过长且已搜索策略未能充分利用的缺点，论文提出 MCM 算法。实验表明，MCM 算法相较于其它智能决策算法具有一定优势。



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

总结:

- 论文提出 MCTSHS 算法对“斗地主”进行研究。实验表明该算法针对“斗地主”博弈能做出不错的决策。
- 针对基于 MCTSHS 算法的思考时间过长且已搜索策略未能充分利用的缺点，论文提出 MCM 算法。实验表明，MCM 算法相较于其它智能决策算法具有一定优势。



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

展望:

- 后续研究对玩家手牌信息进行预测处理。
- 在后续的工作中，可以对玩家进行对手建模。通过预测玩家手牌以实现对手当前状态下的可能决策，从而找到最佳的应对之策以取得游戏胜利。



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

展望:

- 后续研究对玩家手牌信息进行预测处理。
- 在后续的工作中，可以对玩家进行对手建模。通过预测玩家手牌以实现对手当前状态下的可能决策，从而找到最佳的应对之策以取得游戏胜利。



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

作者在攻读硕士学位期间参与项目及成果

- 发表了一篇中文核心
- 申请了一项国家发明专利 (在审)
- 参加国家自然科学基金 1 项



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

作者在攻读硕士学位期间参与项目及成果

- 发表了一篇中文核心
- 申请了一项国家发明专利 (在审)
- 参加国家自然科学基金 1 项



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

作者在攻读硕士学位期间参与项目及成果

- 发表了一篇中文核心
- 申请了一项国家发明专利 (在审)
- 参加国家自然科学基金 1 项



基于遗忘的反应
式系统最弱充分
条件研究

研究背景和意义

研究现状

国外研究现状

国内研究现状

研究内容

背景知识

Kripke 结构和计算树
逻辑 (CTL)

μ -演算

CTL 和 μ -演算
遗忘理论

CTL 遗忘理论

蒙特卡洛树搜索算法

基于手牌拆分的蒙特
卡洛树搜索算法

实验比较结果

合作问题分析

算法缺点

结合卷和神经网络

敬请各位老师批评指正 谢谢!