一份在实时策略游戏星际争霸里有关AI研究和竞赛的调查

摘要—这篇论文概述了AI在RTS游戏领域中的现有工作。我们特别关注围绕游戏星际争霸的工作因为它是这几年相关研究的统一测试平台。我们描述了RTS游戏给AI带来的具体挑战，概述了已有的解决方案。另外，我们也汇总了近年星际争霸AI竞赛的成果，讲述了参与者使用的架构。最后，我们进行了一次讨论，强调在RTS游戏中AI已经解决的问题和有待讨论的问题

索引项：Game AI, real-time strategy, review1, StarCraft.

1.介绍

自从Michael Buro’s call研究RTS游戏AI后，这个领域就有了显著进步。特别的，像ORTS AI竞赛，AIIDE星际争霸AI竞赛（2010年开始举办）和CIG星际争霸RTS AI 竞赛（2011年开始举办）激发了许多在RTS AI中对AI方法的探索。我们会列出这些方法并进行分类，解释它们有优劣性，总结一下要达到人类级别的RTS AI还需要些什么。

这类游戏十分复杂，可用的实时信息或战场环境既不完美也不完整，这些都是摆在AI面前的重大挑战。探路，控制经济或是形势预测都需要在这样巨大，复杂，像现实生活般的动态环境中完成。

由于把动态因素限制在一个有限的小世界中，RTS游戏可以当做一个简化的现实环境，虽然这对研究一些关键的有趣问题来说已经足够复杂了，像是在不确定和实时的情况下制定对抗计划。找到高效技术解决这些在RTS游戏中的问题不但有利于其他AI学科和应用领域的发展，还能直接并且具体地应用于不断发展的电子游戏产业。这篇文章旨在提供RTS AI最新技术的一站式指南，特别强调在星际争霸中完成的工作。它的组织方式如下：第二节介绍RTS游戏特别是星际争霸和其中的主要AI挑战。第三节回顾了解决这些RTS问题的现有工作。第四节选择了一些在全年星际争霸AI比赛中参与者使用的最新RTS对抗机器进行分析。第五节展示了近年在AIIDE 和 CIG会议上的成果和一个机器人进行星际争霸游戏的梯形图。第六节汇总了RTS游戏AI的开放性问题。最后，本文以这些讨论和观点作为结尾。

2.实时策略游戏

RTS是一种策略游戏的子类型，玩家需要在其中组织经济（收集资源和建立基地）和军事力量（训练单位和研究科技）来与对手抗衡（摧毁他们的军队和基地）。从理论的角度来看，RTS游戏和国际象棋那样的传统棋盘游戏的主要区别如下：

* 它们都是同时博弈，多个玩家可以同时并且持续行动。行为不是瞬间的，但需要花一些时间来思考。
* RTS游戏是“实时的”，这并不意味着每个玩家只有一点时间来决定下一步的操作。比起国际象棋，在星际争霸里玩家有好几分钟来进行下一个操作的规划，游戏以24帧/秒的速度运行，意味着玩家可以在下个游戏状态前的42毫秒内完成一个操作。
* 大多RTS游戏是部分可观察的：玩家只能看到地图中已经探测的部分，这被称为战争迷雾。
* 大多RTS游戏是不确定的。一些行动有成功的可能

最后，这些游戏的复杂度无论是在状态空间的大小还是在决策周期的可用行动都是很大的。举例来说，国际象棋的状态空间一般被限制在在10左右，无限制的德州扑克在10左右，而星际争霸一个常规地图的状态空间估计比它们大几个数量级，第二节A中详细讨论。由于这些原因，用于传统棋盘游戏的技术，像游戏树搜索，在没有某种抽象层次的定义或者其他简化的情况下不能直接应用于解决RTS游戏。有趣的是人类似乎可以解决RTS游戏的复杂度，并且在这些类型的游戏中，人类仍远远优于计算机。出于这些原因人们已经使用了大量的技术去解决这个领域，我们之后会进行描述。本节的其余部分将把星际争霸做为研究测试平台，并详细说明RTS游戏AI中的开放性挑战。

A． 星际争霸

星际争霸：母巢之战是暴雪娱乐于1998年发布的极受欢迎的RTS游戏。 星际争霸设置在一个以科幻为基础的宇宙中，玩家需要选择三个种族中的一个：人族，神族或虫族。星际争霸的一个亮点在于三个种族非常平衡。

•Terrans提供多功能和灵活的单位，在Protoss和Zergs之间提供平衡选择。

•Protoss的单位昂贵且制造时间很长，但它们强大而且耐用。这些条件使玩家需要以足够的质量取胜。

•Zerg，昆虫种族，单位便宜且生命值较低。它们可以快速生产，鼓励玩家用数量碾压对手。



图一展示了一张玩家在人族比赛中的游戏截图。为了赢得游戏的胜利，玩家必须先采集资源（晶体矿和高能瓦斯）当资源可用时，玩家需要收集它们以建造更多建筑（巩固经济，允许玩家生产单位或解锁更强的单位），研究新科技（为了使用新单位的能力或提升旧单位），训练进攻单位。单位需要被分到不同的任务如侦查，防御和进攻。当完成这些任务后，玩家也要策略性的理解地图的几何形状，为了决定在哪里放置新建筑（集中在单个区域或扩张到不同的区域）或者放置防御塔。最后当两个玩家的进攻单位相遇时，为了赢得胜利每个玩家必须快速反应和控制每个单位

一张典型的星际地图是由矩形网格定义的，以32x32的网格衡量地图大小，称为构建图块。然而可以行走的区域在8x8的方块中，称为行走图块。典型的地图范围有64x54到256x256个构建图块。每个玩家最多控制200个单位（加上不限数量的建筑）。还有，每个不同种族包含30到35个不同类型的单位和建筑，其中多数都有特殊能力。所有这些因素让星际争霸变成了一项重大挑战，其中人类仍比计算机的表现好很多。举例来说，在天梯赛iCCup中用户按当前总分排名（E是最低的等级，A+和Olympic分别是第二高和最高等级），最好的星际争霸AI机器人被排在D和D+之间，一般的业余玩家都会排在C+和B之间。而星际争霸职业选手通常定在A-到A+之间。

理论上说，星际争霸中每个地图的状态空间都是巨大的。比如一张128x128的地图。在每一时刻，地图上可能有50到400个单位，每个单位都有复杂的内部状态（剩余能量，击杀数，将要执行的动作等）这很快就会产生数量巨大的可能状态（远超出小游戏的规模，像是国际象棋和围棋）。例如只考虑每个单位的位置（128x128的可能位置），400个单位就有10的1685次方个位置。如果我们加入其他因素，会得到更大的数字。另一种衡量游戏复杂度的方法是看看分支因素和游戏的深度。如在3中提出，游戏的总复杂度为b的d次方。在国际象棋中，b约等于35，d约等于80.更复杂的游戏如围棋，b在30到300之间，d在150到200之间。为了决定AI玩星际争霸的分支因子，我们需要记住AI可以同时向多个单位发出指令。因此，考虑到在典型的游戏中玩家控制50到200个单位，分支因子将介于u的50次方和u的200次方之间，u是每个单位执行指令的平均数。

评估这个值并不容易，因为单元可以执行的动作的数量很大程度上依赖于具体情况。我们来做下列假设：

1. 最多会有16个敌方单位在一个友方单位周围（可能会有更多的敌军，但可能性很小）
2. 当AI玩星际争霸时，只考虑每个单位在八个主要方向的移动（而不是假设玩家

可以向地图中的任何位置发出“移动”命令。

1. 对于建造命令，我们考虑SCV（人族工人单位）只在他们当前的位置进行建造（另外如果他们需要移动，我们考虑先执行移动再执行建造。）
2. 我们只考虑人族竞赛。基于这些假设，星际争霸的单位能执行1（像补给站这种单位，唯一的行动是“闲置”）到24个命令（人族“幽灵”），典型的数值为20-30。现在如果我们考虑这些指令有冷却时间，那么不是所有单位都能在每帧内完成所有动作，保守估计每一个游戏帧大约有10个可能的动作。

现在我们可以进行在只考虑单位的情况下（忽略可执行命令的建筑）对分支因子的保守估计了。我们考虑典型的持续25min的游戏，得出d约等于36000（25 min x 60 s x 24 frames/s）

B.RTS游戏AI的挑战

对RTS游戏AI的早期研究定义了下面六个挑战：

资源管理

不确定情况下的决策

空间和时间的感知

协作（多AI的情况下）

对抗建模和学习

实时性对抗计划

虽然做过很多重要工作，还是有一些方面没有进展（例如，协作）。 而且最近这块领域的研究已经定义了其他额外的挑战，比如如何利用大量现有的领域知识（策略，构建顺序，回放等）。下面我们描述了当前RTS游戏AI的挑战，分为六个主要不同的领域。

1）计划：如上所述， RTS游戏的状态空间比国际象棋或围棋等传统棋盘游戏大得多。另外，某个瞬间可执行的行动数量也要大得多。因此标准的对抗性规划方法，例如游戏树搜索，不直接适用。我们之后会详细说明，RTS游戏中的计划可以被视为具有多个层次的抽象：在高层次上，为了在游戏中发展强大的经济，玩家需要长期规划能力;在低层次上，需要考虑到地形和对手并协调移动个别单位去战斗。可以解决这些大型规划问题或层次分解的技术尚不存在。

2）学习：因为直接使用对抗性规划技术来进行RTS游戏有很大困难，许多研究小组将注意力转向了学习技巧。我们可以区分RTS游戏中的三种学习问题。

提前学习：我们如何利用现有的数据，例如游戏回放，或有关特定地图的信息来提前学习适当的策略？ 很多工作都在朝这个方向发展。

游戏中学习：机器人如何进行在线学习，能让它们在游戏中提升游戏技巧？ 这些技术可能包括强化学习（RL），也是对手的建模。主要问题又是状态空间太以及RTS游戏是部分可观测的事实。

互动游戏学习：从一场比赛中可以学到什么来增加下次比赛胜利的机会？有些工作使用了简单的游戏理论用来在预定义的策略池中选择解决方案，但主要的问题仍未解决。

3）不确定性：在RTS游戏这么大的领域下进行不确定性的对抗规划仍然是一个有待解决的挑战。RTS游戏中有两种主要的不确定性。第一，游戏是部分可观测的，玩家无法观察到

整个游戏地图（如国际象棋），但需要侦察才能看到对手在做什么。这种不确定性可以

通过优秀的侦察和知识推演来降低。（根据看到的东西推断测出一些可能性）第二是由于游戏的对抗性而引起的不确定性，因为玩家无法预测对手的行为。对于这种类型的不确定性，AI就像人类玩家，只能建立一个对手可能会这样做的合理模型。

4）时空推理：空间推理与地形开发的各个方面有关。它涉及如建筑物摆放或基地扩建的任务。对于前者，玩家需要仔细考虑自己基地中建筑的位置，通过创造一个防止入侵的墙来保护它们，并避免可能卡住大型单位的错误放置。在基地扩张时，玩家需要选择一个合适的落脚点建造新基地，根据自身位置和对手的基地而定。最后，空间推理是战术的关键：玩家需要规划如何布置战斗单位使其更有利于作战。比如当对手的单位陷入狭小空间的交战。

星际争霸中空间推理的另一个例子就是当敌人在低处时，拥有位于高地的单位总是一种优势因为在低处的单位没有视野。

类似的，时间推理是战略的关键。例如，定时的攻击和撤退会获得一种优势。在更高的战略层面，玩家需要决定什么时候进行长期影响经济行动，如升级，进行建筑，策略转换等等，所有这些决策的影响不是立竿见影的，而是长期的。

5）领域知识开发：在传统的像国际象棋这样的棋盘游戏，研究人员已经开发了大量现有的领域知识来创建良好的评估功能供alpha-beta搜索算法，大量的开放书籍或残局表使用。但在RTS游戏这边，仍然无法让机器人利用大量的领域知识（以战略指南，回放等形式）。