仿真机器人足球赛中团队协作方法的研究^{*})

Research on Teamwork in the RoboCup Simulator

李 静 陈兆乾 陈世福

(南京大学计算机软件国家重点实验室 南京 210093)

Abstract Some problems can be effectively solved only by multi-agent teams. In this paper we specify the concept and research ideas of teamwork in the RoboCup simulator and indicate some issues for exploration.

Keywords RoboCup, Teamwork, Multi-agent system

1. 引言

团队协作(teamwork)的研究跨越商业管理和心理学等不同学科,成为许多领域研究的焦点^[1]。目前许多人工智能研究者正在致力于构建复杂、动态的多智能体系统,在这些多智能体系统中,比如交互式的训练和教育,机器人足球赛,虚拟剧院以及基于 Internet 的信息集成中,团队协作和团队训练有着举足轻重的地位^[2]。这些领域中不仅需要多个智能体的参加来完成的任务,而且需要团队中的智能体共同协作来有效地完成任务^[3]。团队协作不单纯是一些同时发生活动的简单协调,Cohen 对团队协作有一经典的形象说明^[4]：“普通交通协调虽然是同时发生、并且由交通信号自动协调,但仍然不能看作是团队协作。”在这里我们引用美国 Heritage 词典对团队协作(teamwork)的定义:团队协作是指团队成员之间协作去完成一个共同的目标的过程^[5,6]。团队协作比仅通过协调方式行动的团队更具鲁棒性,因为它可以在计划失败后进行团队的重组^[7]。

训练和制造机器人进行足球比赛,是当前人工智能和机器人领域的研究热点之一,创立 RoboCup(机器人世界杯足球赛)的目的是促进人工智能和机器人学的研究,通过足球这个具有普遍意义的平台,来评价各种理论、算法和智能体的体系结构。研究目标是计划经过 50 年左右的研究,使机器人足球队能战胜人类足球冠军队。目前 RoboCup 的比赛分为仿真组、小型机器人组、中型机器人组和 SONY 有腿机器人组。

在仿真组比赛中,采用 Soccer Server 作为比赛平台,系统按照 100 毫秒的周期运转,每个队员的传感信息都是局部的,体力有限,传感和动作都带有噪音信息,而且,球员之间的通讯是单信道,体现了通信的不可靠性。这个平台提供了一个很好的实时环境。本文的主要目的是对这个多智能体系统平台中的团队协作问题进行研究和探讨。

目前团队协作研究的方法主要分为两类:基于知识的方法和基于进化的方法。CMUnited、ISIS 等团队都具有特定行为规则,以此来决定队员的行为以何种方式依赖于它的结构以及彼此间如何协作,而 Darwin United 和马里兰的 GP Soccer Team 两个团队则是应用遗传编程来进化团队协作,其共同特点是应用进化技术来对特定环境中的符号函数和算法进行学习。

下面详细讨论团队协作的研究方法在机器人仿真足球赛

中的应用,首先介绍仿真机器人足球比赛中团队协作的技术挑战,然后详细介绍团队协作的两种研究方法以及相应典型团队,最后根据过去研究中存在的缺陷提出团队协作技术未来发展的一些看法。

2. 仿真机器人足球赛中团队协作需要解决的问题

Soccer Server 是一个典型的多智能体系统^[8],仿真机器人足球赛中复杂、动态等特点也要求队员间高度灵活的协调和通讯以克服一些动态环境所带来的不确定性,比如团队目标的突然改变,未曾预料到的队员失职或者突然发现机会等。但是目前的团队协作模型很大程度上不具有这种灵活性,团队协作在这个领域中还没有真正意义上的体现^[9]。

1997 年 Kitano 等学者提出了该领域的三项技术挑战^[10]:(1)在多智能体合作和对抗环境中机器学习的挑战;(2)团队协作的挑战;(3)对手建模的挑战。

团队协作挑战重点强调团队的实时计划、重新计划以及在动态对抗环境中多智能体团队协作的执行能力,同时,仿真足球赛中团队协作模型是否能够应用到其他非机器人足球赛领域,也被作为衡量团队质量的一个因素。因此,灵活的团队协作应具有容错性、可靠性和适应性三个主要特点。容错性是指能够检测到突发错误以及能够弥补此项错误带来的损失;可靠性是指在每一个特定的时间,分配给队员的任务都应该及时准确完成;适应性是指随着团队和外界环境的不断变化,队员应该能够不断自动修正自己的行动。

在团队协作的实现过程中,众多学者都同意 Searle 的观点:构建灵活高效的团队协作必须从一开始的设计中就考虑进去,而不应该象打补丁一样把团队协作贴上去^[11,12]。

3. 基于知识的方法

基于知识的方法是当前仿真机器人足球赛团队协作中绝大多数团队所采用的方法,总的来说,这种方法遵循一种统一的模式,都是利用先验知识来设计适合团队协作的队员结构,然后应用不同的机器学习方法实现队员的基本技能(如踢,转,带球等)和高层的合作行为(如传球,截球等)。实际上团队的设计是为了获得两个目标,第一,通过设计团队结构和团队协作过程来构建有效的团队协作。一个好的团队结构是以详细说明预先定义的角色和与之对应的职责为前提的;一个好

^{*})本文得到国家自然科学基金资助(项目号:60103012)。李 静 博士研究生,主要研究方向为智能 Agent,人工智能。陈兆乾 教授,博士生导师,主要研究领域为机器学习、知识工程、神经网络。陈世福 教授,博士生导师,主要研究领域为人工智能、机器学习、图像处理。

的团队协作过程详细描述了为完成团队的整体目标所采取的子目标、策略以及计划等。但是这就导致了团队在动态处理环境中缺乏灵活性,因而产生了第二个目标,希望队员能够在动态变化的环境中具有灵活性,根据不断变化的环境状态和团队状态把角色分配给合适的队员,这两个目标是我们所向往的,同时二者之间也存在冲突,如果重点放在预先定义的团队结构和团队协作过程上就会降低团队的灵活性,如果很强调团队的灵活性就需要制作出共享的、冗余的甚至是模糊的角色分配。为了平衡这两个目标的冲突,我们需要设计一个实际且灵活的计算框架来表示和推理队员间的交叉共享心理模型。这样的框架应能够使队员自动推理出团队的状态以及作出自动的行为调整,这也是今天众多学者们致力于研究的目标。下面将介绍两个典型的基于知识方法设计的团队:CMU-nited 和 ISIS。

3.1 CMUnited

卡耐基—梅隆大学的 P. Stone 等学者针对 RoboCup 这一领域的动态、实时和通信不可靠的特点,建立了适合于 PTS(Periodic Team Synchronization)领域的 Agent 体系结构,构建了 CMUnited 队,该队分别夺取了 98 年和 99 年的冠军^[13]。队员通过感知外界环境,在一系列复杂的行为集合中,根据目前的环境状态选择相应的行动。队员具有三种状态:外界环境状态,合作协议和内部状态,同时,具有内部和外部两种行为。团队结构,即阵形和角色,建立在团队成员结构基础之上,外界环境状态是队员对外界目前状态的感知,合作协议是为团队协作而预先制定的规则集,内部状态存储队员的内部变量(比如队员目前在阵形中的角色),内部行为更新队员的内部状态,外部行为选择合适的行动发送给 Sever。在此结构基础上,通过机器学习实现队员的底层和高层技巧。Stone 等学者为 RoboCup 研究作出了开创性贡献,他们的模型为后来 RoboCup 研究者们提供了很好的向导,证明了该模型在机器人足球赛中的有效性,但是,这个模型受限于事先预定的规则集,不能够灵活处理动态环境中意外发生的事件,同时也不能应用到非机器人足球赛领域。

3.2 ISIS

南部加利福尼亚大学的 Tambe 等学者基于联合意图理论(Cohen)和共享计划(Grosz)理论提出了一种灵活的队工作模型 STEAM^[6]。并将其应用到机器人足球赛中,建立了 ISIS 队,该队获得 97 年机器人仿真组季军。经过调查表明,在机器人足球赛中 ISIS 是目前唯一的一个不依赖特定领域的团队模型^[14], ISIS 采用的是两层结构^[15],底层用 C 语言开发,存储从 Server 接收到的输入信息,同时对队员转身和踢球方向进行计算,并把信息传送到上层,底层不作任何的决策,所有的决策都位于高层,由集成的人工智能结构 Soar 来完成。一旦以 Soar 为基础的高层作出一个决定,它会同底层进行通讯,底层然后再把相关的行动信息传给 Server。Soar 的操作包括动态执行一个层次算子(反应式计划),在一个队员的层次树中某一时间只有唯一一条路径被激活,层次树中包括两种类型的算子:个体算子和队算子,个体算子代表队员作为独立个体所要执行的目标和计划;队算子构成了一个队员作为一个团队或者子团队所要参与的活动。该模型可以使队员自动推理出彼此间的协调和通讯,提高了团队协作的灵活性。STEAM 在 Soar 结构上由队状态和队算子组成,其中队状态是关于队组成情况的描述,队算子是对一个联合行动的联合承诺,既表示了该队目前采取的联合活动,又制定了每

一个队员所扮演的角色。该模型主要引入了:(1)建立联合意图的同步器,基于请求-确认协议描述了联合意图的建立过程;(2)队工作的监控和修改方法,在联合行动中队员要保证行动的一致性,通过监控发现出错的角色,进而启动相应的队修改活动,另外研究了基于社会诊断的错误发现和修复的方法;(3)为了降低通讯开销,给出结合决策理论的通讯选择机制,这样为了保证联合意图的实现可以在不通讯的情况下进行。适于通讯资源有限的环境。该模型的突出优点体现在它不依赖于机器人足球赛这个特定领域,可以应用到其他领域,是目前比较成功的团队协作模型。

4. 基于进化的方法

上面提及的基于知识的方法中,都是在已构建团队结构的基础上根据事先设定的规则通过机器学习的方法实现团队协作的,因而,需要设计者们的不断努力来设计和编码这些规则和过程以创建一个可靠灵活的团队,因而,一个重要的研究问题随之产生,是否存在这样的技术能够自动构建出这种结构呢,以往大家认为在机器人足球赛中,这种技术是不存在的,Stone 和 Veloso 两位学者也曾经提出^[16]:“由于 Soccer Server 领域固有的复杂性,导致了尝试通过 Server 提供的原语直接进行智能行为学习的研究是不可能的。”但是 Andre^[16]等人认为,这种说法过于武断,遗传编程可以作为一项成功的技术应用到仿真机器人足球赛中,可以通过 Server 提供的基本的感知和动作来进化一个团队。1997 年 Luke 等人率领的马里兰的 GP Soccer Team,一个完全采用遗传编程方法进化的团队在比赛中有很多令人惊讶的表现,因其证明了即使有“很多原因使进化计算很难同像机器人足球赛这样的实时环境结合起来”,但机器人足球赛中的团队协作完全可以通过遗传编程来进化,因而获得了 97 年度的科学挑战奖^[17]。

遗传编程(Genetic Programming)作为一种进化计算方法是遗传算法(Genetic Algorithm)的变异^[18]。它的目标是通过伪进化来优化函数和算法(“个体”)以解决一些任务。在遗传编程中,我们从随机程序开始,并运用那些能使程序对感兴趣的问题域有效的函数,这些初始程序构成 0 代,每一代程序均接受评估,而且直到有一个程序的表现十分令人满意时才通过繁殖、交叉、变异等操作产生新的一代程序,具有最优个体的团队随之而出现。Koza 认为应用遗传编程来解决一个问题的时候,必须进行五个方面的准备^[19]:定义初始函数集;定义终止条件集;定义适应度评价方式;定义控制运行的参数和变量;指定结果的方法和决定运行的规范。

4.1 马里兰的 GP Soccer Team

该队应用 Koza 标准的遗传编程的模式,用 LISP 语言来实现,Luke 等人考虑到进化计算和像机器人足球赛这样的实时环境结合起来的难度,因此,最初他们定义了非常适度的目标^[18]:进化一个能踢球的团队就可以。但是马里兰的 GP Soccer Team 却有非常令人惊奇的表现:比赛时队员分散在场地上,可以传球、进攻和防守,具有一定的协调性,并在比赛中击败了两个团队。设计过程中,首先为每个队员建立底层基本行为函数集,这些基本函数集包括向量算子和 if-then 控制方式,这些基本行为部分来自从 Server 感知的信息,遗传编程在这些基本函数集基础上进行进化,考虑到进化的目的是团队协作,而不仅仅是进化一个队员,采用了两种策略:同构方法和异构方法。同构方法中,队员采取相同的算法,为每个队员定义了两种不同的决策树:如果球在视力范围内则“踢”

(“kick-tree”),如果球在视力范围外队员应该采取其他行动(“move-tree”),默认的状态下,当球不在视力范围内的时候是“找”;在异构方法中,每一个队员有自己的算法,在机器人足球赛中,团队将具有 22 个算法(每个队员都有“kick-tree”和“move-tree”),Luke 等人采取了伪进化(apseudo-heterogeneous)的方法来解决异构方法中耗时长长的特点,把队员分组(squad),每组包含一个或者两个队员,每组内算法相同,这样可以大大节约时间。团队的适应度由竞争适应度(competitive fitness)方法来评价。

目前机器人足球赛中,进化团队协作的方法并不多见,1999 年 Jessica^[19]曾经做过统计,在仿真机器人足球赛中采用进化计算方法的只有 Darwin United 和马里兰的 GP Soccer Team, Darwin United 也采用了进化计算方法,只是在具体实现上和马里兰的 GP Soccer Team 有很多不同之处^[16,19]。进化团队协作的下一步发展目标是进化混合式团队结构,另外 Jessica 指出,完全由计算机进化的团队在近期还不能达到机器人足球队战胜人类足球冠军队这个理想,科学家们为达到该目标还需作坚持不懈的努力,我们共同期待五十年之后,这个宏伟目标能够得以实现。

结论 团队协作是多智能体系统研究的关键技术,因其应用前景广泛且具有较大的难度,引起了研究者的广泛关注,近些年来,研究者在仿真机器人足球赛团队协作方面也取得了许多成绩,除了本文上述提及的几个团队外,仿真组还有其他一些比较有代表性的团队,比如 PaSoTeam^[20]采用刺激响应式结构,是基于行为的无通讯团队协作的代表。AIRG^[21]把工业中全息(holonic)生产系统(HMS)中的全息模式引入到队员结构的设计中,建立了适合团队协作的混合式结构等等。但是,从目前来看要设计并实现一个健壮的团队协作系统,是一项艰巨而富有挑战性的课题,它依赖多种学科、多种技术的共同发展。同时如何提高整个团队的灵活性、容错性、适应性也是需要继续深入研究的问题,我们开展该领域的研究工作已有多多年,目前正在设计和实现 ND Soccer Team,有望在 2002 年底实现。衷心希望我们的工作能对今后团队协作的研究有所帮助。

参 考 文 献

- 1 Yen J, Yin J. CAST: Collaborative Agents for Simulating Teamwork. In: Proc. of Intl. Joint Conf. on Artificial Intelligence, IJCAI-2001
- 2 Tambe M, Zhang Weixiong. Towards Flexible Teamwork in Persistent Teams. <http://www.isi.edu/teamcore/tambe/agent.html>
- 3 Luke S, Spector L. Evolving Teamwork and Coordination with Genetic Programming. <http://helios.hampshire.edu/lspector/pubs/cooperation.pdf>
- 4 Cohen P R, Levesque H J. Teamwork. *Nous* 25(4), Special Issue on Cognitive Science and Artificial Intelligence, 1991. 487~512
- 5 Tambe M. Implementing Agent Teams in Dynamic Multi-agent Environments. In: Proc. of AAAI Fall Symposium on plan Execution, problems and Issues, 1994
- 6 Tambe M. Towards Flexible Teamwork. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 1997, 7: 83~124
- 7 Teamwork based approach for the OGI CoABS project. <http://www.cse.ogi.edu/CHCC/Agents/teamwork.html>
- 8 <http://jmvidal.cse.sc.edu/papers/stonebook/>
- 9 Veloso M, Stone P, Anticipation M B. A Key for Collaboration in a Team of Agents. <http://www.research.att.com/~pstone/papers.html>
- 10 Kitano H, Tambe M, Stone P. The RoboCup Synthetic Agent Challenge'97. In: proc. of the Intl. Joint Conf. on Artificial Intelligence (IJCAI-97) Nagoya, Japan
- 11 Tambe M. Agent Architectures for Flexible, Practical Teamwork. In: Proc. of the 14th National Conf. on Artificial Intelligence, Providence, Rhode Island, 1997. 22~28
- 12 Grosz B J. Collaborative Plans for Complex Group Actions. *Artificial Intelligence*, 1996, 86: 269~358
- 13 Stone P, Veloso M. Task decomposition, dynamic role assignment, and low-bandwidth communication for real-time strategic teamwork. *Artificial Intelligence*, 1999, 110(2): 241~273
- 14 Marsella S, Tambe M. Experiences Acquired in the Design of RoboCup Teams: A Comparison of Two Fielded Teams Autonomous Agents and Multi-agent Systems, 4. 115~129
- 15 Tambe M, et al. ISIS: Using an Explicit Model of Teamwork in Robocup'97. http://www-user.tu-chemnitz.de/~hla/soccer/resources/soccer_resources.html
- 16 Andre D, Teller A. Evolving Team. <http://www-2.cs.cmu.edu/~astro/astro-paper-page-frame.html>
- 17 Luke S. Evolving SoccerBots: A Restrospective. <http://www.cs.umd.edu/~seanl>
- 18 Luke S, Hohn C. Co-Evolving Soccer Softbot Team Coordination with Genetic Programming. In: Proc. of The First International Workshop on Robocup (IJCAI-97)
- 19 Lundberg J. Survey over Genetic Programming Approaches to RoboCup. <http://www.dsv.su.se/~johank/courses/int4/robocup/papers/1999/int7/lundberg.pdf>
- 20 Pagello E, Antonio D'Angelo. Cooperative behaviors in multi-robot systems through implicit communication. *Robotics and Autonomous Systems*, 1999, 29: 65~77
- 21 Candea C, Hu Huosheng. Coordination in multi-agent RoboCup teams. *Robotics and Autonomous Systems*, 2001, 36: 67~86
- 22 <http://202.112.108.158/>
- 23 Tambe M. Agent Architectures for flexible, practical teamwork. In: proc. of the National Conf. on Artificial Intelligence (AAAI), August 1990, 39(4)
- 6 Dahlin M, et al. A Quantitative Analysis of Cache Policies for Scalable Network File Systems. In SIGMETRICS, 1994
- 7 Ismail L, Hagimont D. A Performance Evaluation of the Mobile Agent Paradigm. *ACM SIGPLAN Notices*, 1999, 34(10): 306~313
- 8 Karjoth G, Lange D B, Oshima M. A Security Model for Aglets. *IEEE Internet Computing*, 1997, 1(4)
- 9 Necula G C, Lee P. Safe, untrusted agents using proof-carrying code. In *Mobile Agent Security*, volume 1419 of Lecture Notes in Computer Science. Springer-Verlag, 1998

(上接第 45 页)

- 2 Blaze M, Alonso R. Toward Massive Distributed Systems. In: Proc. of the 3rd Workshop on Workstation Operating Systems, April 1992. 48~51
- 3 Ousterhout J, et al. The Sprite network operating system. *IEEE Computer*, 1988, 21(2): 23~36
- 4 Dube R, Rais C D, Tripathi S K. Improving NFS Performance over Wireless Links. *IEEE Transactions on Computers*, Feb. 1997
- 5 Satyanarayanan M, et al. A Highly Available File System for a Distributed Workstation. *IEEE Transactions on Computers*,