

基于 Multi-Agent 分层协作的数据采集系统*

康明明, 姚明海*, 陈涵深, 黄金金, 瞿心昱
(浙江工业大学 计算机科学与技术学院, 浙江 杭州 310023)

摘要: 为解决数据采集系统协议解析并发度不高、多接口设计、软件灵活性不佳等问题, 将 Multi-Agent 技术应用到数据采集系统的设计实现中。在对软件业务需求以及 Multi-Agent 通信协作技术进行研究的基础上, 提出了基于 Multi-Agent 分层协作的软件框架; 按照该模型设计并实现了数据采集系统。最后, 在该系统上进行了运行试验。运行结果表明, 该模型的设计原理与思想正确, 提升了数据采集系统的业务处理能力和灵活性。

关键词: Multi-Agent 分层协作; 数据采集系统; 通信协作

中图分类号: TP277; TP391

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)08-0978-04

Data acquisition system based on Multi-Agent layered cooperation

KANG Ming-ming, YAO Ming-hai, CHEN Han-shen, HUANG Jin-jin, QU Xin-yu

(College of Computer Science and Technology, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: In order to solve the problems of low concurrence rate, multi-interface design, and low level of flexibility in data acquisition system, the Multi-Agent technology was investigated. After the analysis of business needs in data acquisition system and the technology of Multi-Agent communicate, the software framework of Multi-Agent layered cooperation was established. The data acquisition system was implemented according to the framework, and the system was tested. The experimental results show that the principle and idea of Multi-Agent layered cooperation framework are correct, the processing capacity and the flexibility of system are advanced.

Key words: Multi-Agent layered cooperation; data acquisition system; communicate

0 引 言

数据采集系统是污染源应急监测监管支撑平台的一个子系统。污染源应急监测监管支撑平台是一套主要针对环境保护领域的突发事故而提供的综合应急解决方案支撑系统。该系统平台充分利用先进的计算机技术及网络技术等信息技术手段来辅助人们更好地完成环境污染突发事故的综合治理水平。整个系统分为3个部分:最底层部分由多个无线传感器网络组成,各个无线传感器节点接有不同的设备,这个部分主要为设备提供数据传输网络;第二部分就是数据采集子系统,主要作用是数据采集、分析、存储、传输、设备控制,起到上位机与无线传感器网络的桥梁作用,为服务器端提供统一的传输接口;第三部

分是服务器端,起到信息总揽的作用。

很多研究者试图将 Agent 的特性应用于自己的软件或者算法中,以提高效率。文献[1]提出了一种基于多移动 Agent 的动态协作模型,用以提高 P2P 计算中协作的灵活性和鲁棒性,在实现中笔者基于协作愿望建立了 Agent 协作模型。这种模型虽然能稳定地分派并完成计算任务,但是因为移动 Agent 需要时间就位的原因,协作过程实时性不高。文献[2]基于 Agent 主动感知提出一种新的合同网协议,用于解决系统集成问题,基于这种合同网协议的多 Agent 协作模型并没有解决传统合作网协议带来的广播问题,设计者需要为自己的模块设计与所有其他模块的通信过程,导致系统变得复杂,不够通用。

本研究根据数据采集系统的特点,并借鉴合同网

收稿日期:2012-03-12

基金项目:浙江省重大科技专项资助项目(2008C13017-2)

作者简介:康明明(1987-),男,浙江余姚人,主要从事人工智能、模式识别方面的研究。E-mail:zwykmm@163.com

通信联系人:姚明海,男,教授。E-mail:yymh@zjut.edu.cn

协议,提出一种基于多 Agent 分层协作的模型。该模型的主要思想是将合同网协议的构造简单、可扩充性好等优点与分层模型相结合,使多对多通信转变为一对多通信,以克服传统合同网协议的广播通信量大、通信效率不高的问题。最后,本研究将该模型应用于数据采集系统中,使该系统能兼容各种通讯接口,提高系统的实用性与灵活性,方便将来扩展,以实现协议的动态并行解析,避免传统串行解析的低效、实时性差等问题。

1 关键技术

1.1 MAS 方案

MAS (Multi-Agent system) 是多个智能体组成的集合,它的目标是将大而复杂的系统建设成小的、彼此互相通信和协调的、易于管理的系统。MAS 可定义为由多个解决问题的 Agent 构成一个松散耦合的问题解决网络,这些 Agent 一起工作,可以解决超出单个 Agent 能力或知识的问题^[3]。

MAS 具有很强的自主性、协调性、分布性,并具有一定的自组织能力、学习和推理能力。采用 MAS 作为软件解决方案,可以使软件具有很强的鲁棒性、可扩展性、可靠性,提高了问题的求解效率^[4]。因此该系统采用了多 Agent 设计,利用 Agent 的自主性、交互性、反应性、主动性等特性提高事务处理效率。

1.2 合同网协议

合同网协议 (Contract net protocol)^[5] 类似于市场中的“招标—投标—中标”机制,多个 Agent 之间通过合同网协议互相协商并合作完成一个任务。招标者接收到一个任务之后,将任务分解,然后将分解后的子任务向其他 Agent 广播,这个过程称为招标。其他 Agent 接收到广播之后,根据自己的兴趣向招标者投标,招标者收到投标后,根据定义的标准进行评价,选出中标 Agent,并把子任务分配给它。

合同网协议适合于解决能分解成为有限个独立子问题的一类问题^[6]。在任务到来之前,该系统中的 Agent 可以是离散的或者分类聚集成一些联盟。等到任务到来时,这些 Agent 能通过协商或者通过一个管理者 Agent 动态地组织在一起,合作完成这个任务,并向管理者 Agent 反馈任务完成情况。

2 采集系统分层协作建模

2.1 分层协作建模

系统整体设计分为 3 层 (中央控制层、联盟控制层、功能 Agent 层),其分层协作模型如图 1 所示。下面分别介绍各层的功能:

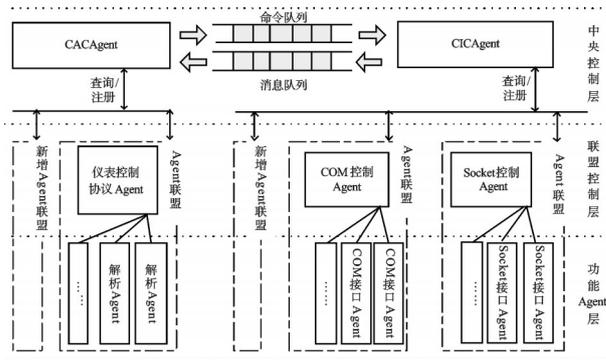


图 1 Multi-Agent 分层协作模型

(1) 中央控制层。数据采集系统的主要任务是数据采集、传输、存储与底层设备控制,该系统需要通过各种接口控制不同的仪表设备,发出控制指令,接收信息。其中涉及到的任务可以分为两个方面:通信协议解析与接口控制。因此本研究在中央控制层设计两个 Agent: CACA Agent (中央解析控制 Agent) 和 CICA Agent (中央接口控制 Agent), 两个 Agent 之间通过消息与命令队列传递信息。

CACA Agent: 用于接收各种消息,然后交由它管理的解析联盟解析,包括用户在用户界面中的各种操作、消息队列中的消息等。

CICA Agent: 用于接口控制,将从接口接收到的数据包放入消息队列等待解析,从命令队列中接收命令,并将命令分布到各个接口中执行。

(2) 联盟控制层。这一层的 Agent 作为各个 Agent 联盟的控制 Agent,主要用于控制各功能 Agent 联盟^[7],定时将自己注册到中央控制层的 Agent,并派生同联盟下层的功能 Agent,注册到自己的功能列表中,协调同联盟的功能 Agent。控制 Agent 分为两类:协议解析控制类与接口控制类,分别对应于上层的两个中央 Agent。协议解析类对应各类终端的指令,如仪表指令、服务器传输指令、存储指令等。该系统定义的终端是一种广义终端,即将除控制器与界面之外的所有连接全部定义为终端,数据库也定义为终端,所以以上的存储指令即为 sql 命令,并直接交由数据库处理。控制 Agent 之间无法直接通信,需要通过中央控制层 Agent 协调运作,也即分层协作,这样就有效避免了控制 Agent 之间的多对多通信。

(3) 功能 Agent 层。该层是系统的最底层,是各功能 Agent 聚合,用于代理各个功能终端和接口。功能 Agent 的生成和撤销由当前联盟控制 Agent 管理。同上层 Agent 一样,功能 Agent 之间也无法直接通信,理由同(2)所述。

分层模型的优点在于:任务层层分派之后,将任务分配给可以合作的几个功能 Agent,这些功能 Agent

可以在不同的联盟,只需由上层 Agent 协调合作完成。从本质上讲,上层 Agent 是下层 Agent 交流协作的场所。所以,这种协作模型不需要基于单 Agent 由于无法完成给定任务而产生协作愿望,再将这种愿望广播给其他 Agent,再根据回馈建立协作关系。分层协作是一种主动协作模型,上层 Agent 会将任务主动分配到下层 Agent,分配协商过程也在上层 Agent 内完成。这样就解决了传统 MAS 中的广播通信量大、协商过程复杂等问题。

2.2 协作模型

该系统^[8]建立了与 Agent 行为相关的模拟算子的协作框架,本研究在此基础上添加了分层协作的逻辑框架。其中模拟算子包含了:

- (1) 能力算子 Can。Can:a 表示 Agent i 具有实现目标 a 的能力;
- (2) 动作算子 Act。Act:b 表示 Agent i 可采取动作 b;
- (3) 达成算子 Ach。Ach:ba 表示 Agent i 可采取动作 b 实现目标 a;
- (4) 查询算子 Sch。Sch:a 表示查询哪些 Agent 能实现目标 a。

在控制 Agent 中协商时,如果用 G 表示该任务的目标,用 T 表示完成该任务的时间约束,用 R 表示该任务的资源约束,那么控制 Agent 发出的协作任务可以表示为 $Sch:(G_1 \wedge T \wedge R) \vee (G_2 \wedge T \wedge R)$;表示这个控制 Agent 发出了一个查询,查询可以在时间 T 内用 R 资源完成目标 G_1 或者 G_2 的所有 Agent。在上、下层 Agent 之间的协作通信遵循这套表示规则。

为有效地完成任务的分配和执行,本研究利用合同网协议的思想设计了任务分配和执行流程,上层 Agent 从接受任务开始到签订契约的流程如图 2 所示。

分层协作模型的运作机制如下:

- (1) 当中央控制层的 Agent 接收到一个任务,该 Agent 根据这个任务确定需要完成的目标集,向注册的下层 Agent 广播招标,招标书需注明接收投标的时限。
- (2) 联盟控制层的控制 Agent 收到招标书之后,将任务进一步分解,分析这些任务是否跟自身联盟的功能类别相关,再查看自己联盟的功能 Agent 队列,同样将这些任务广播给下层 Agent。
- (3) 功能 Agent 接收到当前联盟控制 Agent 的招标书,根据自身状态对收到的任务进行评估,并向当前的控制 Agent 反馈投标信息。
- (4) 联盟控制 Agent 在时限内会接收当前联盟中所有功能 Agent 的反馈信息,根据这些信息进行评估,筛选出完成任务的所有 Agent。在时限内有两种情况:能完

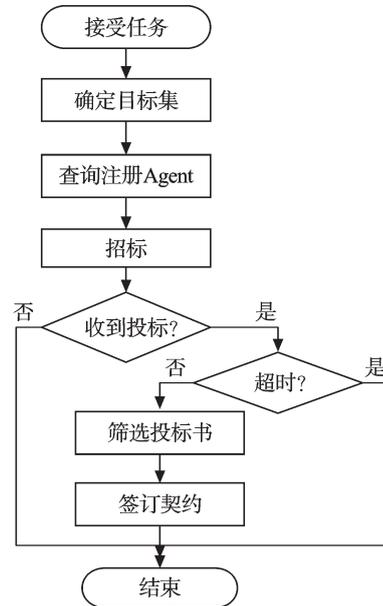


图 2 合同网协议流程

成全部子任务,或者只有部分子任务响应,不论哪种情况,控制 Agent 会将所有信息反馈给中央控制 Agent。

(5) 中央控制 Agent 在时限内接收到投标书之后将所有投标书按任务分类计算可行性估值,按该估值筛选出可行的下层 Agent。为了增加任务执行的成功率,筛选的 Agent 数量有小于 1 倍的冗余量,即每个子任务最多是两个联盟控制 Agent,它们的任务相同。中央控制 Agent 向所有筛选出的 Agent 广播订阅信息。

(6) 联盟控制 Agent 接收到订阅信息后,按照步骤(5),筛选功能 Agent 并达成协作契约,该过程中联盟控制 Agent 会将需要报告的信息传递给上层 Agent。

2.3 目标集与可行性估值

设目标集为: $G_{Group} = \{G_1, G_2, G_3, \dots, G_n\}$ 。本研究在此假定没有无用任务,即目标集中的每个目标都需要实现。那么目标集可以用目标相与表示:

$$G_{Group} = \{G_1\} \wedge \{G_2\} \wedge \{G_3\} \wedge \dots \wedge \{G_n\}.$$

为了表示目标执行的时间、空间约束,本研究用括号和箭头符号分别表示子任务和先后顺序: $G_{Group} = \{(G_1 \rightarrow G_2) \wedge (G_3 \rightarrow G_4)\} \rightarrow G_5$,这是 G_{Group} 的合法表示。

文献[9]提供了一种计算可行性估值的方法,本研究在此基础上做了修改,计算方法如下:

本研究设有 n 个属性 K_1, K_2, \dots, K_n 来刻画任务 P 执行的可行性,因为各属性的重要性或者权值不同,用 D_i 表示 K_i 的权值,那么对于任务 P 执行的可行性估值为:

$$M(P) = u(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n D_i \cdot u_i(x_i) \quad (1)$$

式中: $u_i(x) = |x - x_i w| / |x_i b - x_i w|$; $x_i b$ —属性 K_i 的最佳属性值; $x_i w$ —属性 K_i 的最差属性值, $u_i(x) \in [0, 1]$ 。

3 软件设计

3.1 主要 Agent 设计

联盟控制 Agent 的实现模型如图 3 所示,参考 Agent 通用模型^[10]设计。其中决策模块用于计算可行性估值并筛选 Agent。通信模块设计符合 Agent 通信模型,所有 Agent 中通信模块是相同的。动作实现模块按 Agent 的功能实现有所不同,如控制 Agent 中的动作模块主要是负责协调,而功能 Agent 的功能模块则主要负责数据库操作、串口操作、socket 数据传输等。这里要注意,用串口、socket 等接口进行通信不是由通信模块负责,而是由动作实现模块负责。

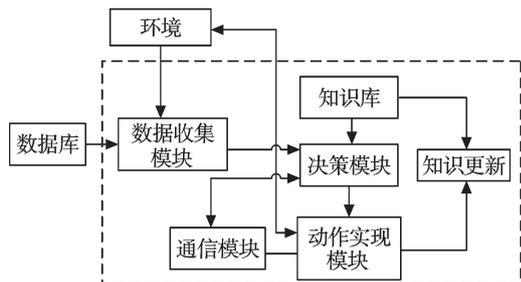


图 3 联盟控制 Agent 模型

3.2 多线程设计

系统中所有 Agent 都要并行运作,所以必须采用多线程设计,在系统初始化时本研究将每个 Agent 都用一个线程包裹,所有线程的引用放在 hashtable 中,方便管理。每个 Agent 中都设有一个起始函数,用以激活该 Agent,以下是核心代码:

```

.....
//创建串口控制 Agent ccagent
ComCtlAgent ccagent = new ComCtlAgent();
//创建用于包裹 ccagent 的线程 ccathrd,并将
//ccathrd 的起始函数作为委托传入线程,让线程
//从这个入口开始运行,激活 Agent
Thread ccathrd = new Thread(new
TreadStart(ccagent.Start));
//将创建的线程加入哈希表 agentht
agentht.Add(ccathrd.GetHashCode(), ccathrd);
.....

```

3.3 系统运行结果

采集系统的运行时界面如图 4 所示。图 4 左上部分是系统连接的所有仪表节点,对每个仪表使用唯一的编号标识。图 4 左下部分是采集系统从仪表采集的数据,包括采集时间、污染物参数与浓度大小。右侧是控制按钮,包括连接、断开某个仪表等操作。

从系统运行结果可以看出,基于 Multi-Agent 分层协作模型思想是正确的且可实现的。

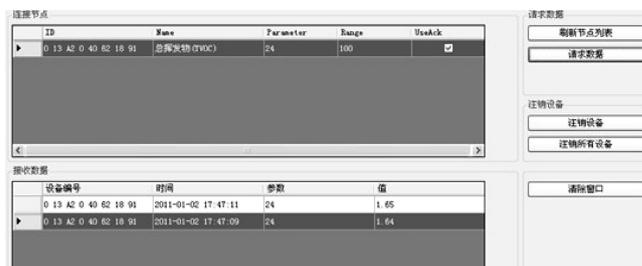


图 4 数据采集运行界面

4 结束语

本研究采用多 Agent 技术设计并实现了数据采集系统,用各种传输方式采集终端的数据。本研究详细分析了 MAS 的各个技术要点,如任务分配、通信模型、协作模型等。在此基础上结合合同网协议的思想提出了多 Agent 分层协作框架,并详细论述了分层协作模型的运作机制、模拟协作算子的表达、目标集的表示、可行性估值的计算等问题。最后探讨了数据采集系统软件的设计,主要包括 Agent 设计与多线程的设计。

数据采集系统作为整个污染源监测平台的核心部分,对它的优化显得非常有必要。从系统运行状态来看,本研究用多 Agent 技术重构数据采集系统,使系统在灵活性、智能性、可扩展性等方面都有了很大提高。

参考文献 (References):

- [1] 徐小龙,王汝传. 一种基于多移动 Agent 的对等计算动态协作模型[J]. 计算机学报,2008,31(7):56-72.
- [2] WANG Mei-sheng, LI Qing-shan. A contract net model based on agent active perception[J]. IEEE COMPSAC, 2008,10(11):127-132.
- [3] 张秋花,薛惠锋,吴介军,等. 多智能体系统 MAS 及其应用[J]. 计算机仿真,2007,133(5):69-75.
- [4] 高斐,邱雪松,高志鹏,等. 基于多代理协作的 IT 复杂应用管理任务分解算法[J]. 软件学报,2011,22(9):2049-2058.
- [5] 何炎祥. 基于 Agent 的分布开放计算环境若干基本问题研究[D]. 武汉:武汉大学计算机学院,1999.
- [6] YUN Hai-shun, LI Qing-shan, Jiang Dan. A ContractNet protocol based on information intermediary service in multi-agent system [J]. International Interdisciplinary Journal,2009,7(2):19-23.
- [7] 张新良,石纯一. 多 Agent 联盟结构动态生成算法[J]. 软件学报,2007,18(3):574-581.
- [8] 盛秋戩,赵志崑,刘少辉,等. 多主体团队交互协议[J]. 软件学报,2004,15(5):689-696.
- [9] 刘弘,林宗楷. 一种支持动态任务分配的协同设计方法[J]. 软件学报,2001,12(12):2079-2087.
- [10] BALAJI P G, SRINIVASAN D. Distributed geometric fuzzy multi-agent urban traffic signal control[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2010, 11(10):714-727.

[编辑:李辉]