

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.12.044

设施环境中 WSN 执行器节点协作算法研究*

徐焕良 王兆敏 任守纲 王浩云

(南京农业大学信息科学与技术学院, 南京 210095)

摘要: 针对 WSN 技术应用于设施作物无法摆脱人力监控的局面, 提出将 WSN 技术应用于设施作物, 并针对应用中存在的执行器节点之间的协作问题提出了一种执行器节点协作算法。首先利用执行器节点重新部署算法将执行器节点部署到执行器节点执行区域的中间, 然后利用基于密封第一价的拍卖算法将事件区域发生的任务进行拍卖与求解。仿真试验结果表明所提协作算法可以实现设施作物应用中的控制任务被 WSN 网络中的执行器节点以协作的方式有效并快速地分配和执行。

关键词: 设施作物 无线传感器执行器网络 执行器协作 重新部署算法 密封第一价拍卖算法

中图分类号: TN925+.93 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)12-0262-07

Actors Cooperation Algorithms in WSN for Greenhouse Facilities

Xu Huanliang Wang Zhaomin Ren Shougang Wang Haoyun

(College of Information Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: The WSN technology used in greenhouse facilities cannot get rid of the situation of human monitoring, so the WSN technology was proposed to be applied in greenhouse facilities. A cooperative mechanism of actors in WSN applied in greenhouse facilities was discussed, which consisted of a redeployment algorithm of actor (RDAA) and a real-time tasks assignment algorithm based on the sealed first price auction (RTAA-SFPA). The RDAA algorithm was used to deploy the actors in the middle of the event region to achieve real-time response of the occurred events. RTAA-SFPA algorithm was used to take the occurred events as the tasks being assigned by method of sealed first price auction. The simulation results showed that the cooperative mechanism proposed had better performance on the assignment and solution of the tasks through actors cooperation for greenhouse facilities.

Key words: Greenhouse crop Wireless sensor and actor network Actor cooperation Redeployment algorithm Sealed first price auction algorithm

引言

在设施农业应用^[1]中, 无线传感器网络 (Wireless sensor networks, WSN) 能充分发挥自身的技术优势, 通过随机部署各类传感器节点感知设施作物生长情况的相关参数, 然后将各类参数通过网关上报给远程终端, 实现了设施环境实时、远程、自

动感知^[2]。但基于无线传感器网络的设施作物管理系统还不能对感知的结果进行自主地决策和控制, 因此无法满足大规模农业生产的要求。

无线传感器执行器网络 (Wireless sensor and actor networks, WSN)^[3] 在原有 WSN 中引入了执行器节点, 同时具备自主感知和控制的能力。将 WSN 技术应用于设施作物管理中, 可以实现设施

收稿日期: 2012-12-18 修回日期: 2013-01-26

* 国家科技部重大科技支撑计划资助项目 (2011BAK21B05)、国家农业科技成果转化资金资助项目 (2011GB2C100001)、江苏省工业和信息化产业转型升级专项引导资金项目 (2011C1)、中央高校基本科研业务费专项资金资助项目 (Y0201100080)、江苏省科技支撑计划资助项目 (BE2011398、BE2011339)、南京农业大学青年科技创新基金资助项目 (KJ2010022) 和南京农业大学国家大学生创新创业训练计划资助项目 (201310307049)

作者简介: 徐焕良, 教授, 博士, 主要从事农业物联网关键技术研究, E-mail: huanliangxu@njau.edu.cn

环境的自动检测和智能控制。

本文提出面向设施环境的 WSN 网络的执行器节点两层协作算法:执行器节点重新部署算法 (Redeployment algorithm of actors, RDAA) 和基于密封第一价拍卖的实时任务分配算法 (Real-time tasks assignment algorithm based on sealed first price auction, RTAA-SFPA)。前者将保证执行器节点尽量部署在执行区域的中间,后者将所发生事件的处理任务分配给合适的执行器节点或节点集合。

1 基于 WSN 的设施环境应用框架

WSAN 是由大量资源受限的传感器节点和少量资源丰富的执行器节点通过无线通信自主形成的。在 WSN 中,传感器节点负责收集外界的事件信息,然后上报给簇头 (Cluster-head, CLH) 节点,而执行器节点依据 CLH 节点上报的信息做出决策,并对事件区域做出响应。将 WSN 应用于设施环境中,需要按照 WSN 的部署要求在大棚中部署各类节点。在设施大棚中,感知作物参数的传感器节点主要包括两大类:作物生长环境参数传感器和作物生长状态参数传感器。前者主要感知设施环境的温度、湿度、土壤 pH 值和 CO₂ 浓度等参量;后者主要是通过视频传感器获取作物各生长周期的图像数据,通过特征提取,评估作物的生长状态^[4]。执行器节点主要是指各类控制设备,例如喷雾器、灌溉装置等,可以对作物生长环境参数进行调节,从而实现作物生长状态的精确控制^[5]。

WSAN 是以事件为中心的网络,当网络中发生事件时,才会触发传感器节点报告事件。在设施作物应用中,事件是指作物生长环境参数或作物生长状态参数出现异常的情况,例如温度低于或高于设定的监测温度或者作物出现枯萎等情况。事件数据直接由 CLH 节点报告给执行器节点,由执行器节点进行决策并执行。与基于 WSN 的设施作物管理系统相比,传感器节点直接与执行器节点通信,从而响应时延较短,且执行器节点能够自主决策,无需用户进行干预,能够实现设施作物管理对实时性和自主性的需求。同时,WSAN 需要满足低能耗的要求,均衡节点能耗,以延长网络寿命。

WSAN 中执行器节点之间需要协作。协作的主要目的是进行任务分配。在 WSN 中有两种类型任务:单执行器节点任务 (Single-actor task, SAT) 和多执行器节点任务 (Multi-actors task, MAT)^[3]。SAT 是指每项任务只需一个执行器节点就能完成,例如大棚中某株作物叶面温度过高就需要开启喷雾装置给这株作物降温。MAT 是指每项任务需要多

个执行器节点协同完成,例如大棚中温度高于设定的阈值,就需要启动所有喷雾器进行全局降温。

2 执行器节点协作的相关工作

在 WSN 网络初始部署阶段,传感器节点和执行器节点采用随机部署方式。目前国内外学者对于 WSN 网络中执行器节点的部署采用两种方式:静态部署和动态部署。文献[6]中执行器节点采用静态部署的方式,但会造成执行器节点负载的不均衡。文献[7]中执行器节点采用动态部署的方式,算法的精度虽高但算法的复杂度也较高,计算过程开销较大,适用性不高。本文假设 WSN 网络部署后,执行器节点采用泰森多边形^[8]划分自身的执行范围,如图 1 所示。从图 1 中可以看到,虽然整个网络区域被执行器节点划分,但是执行器节点并没有处于执行区域的中心,这会导致执行器节点对发生在自身执行区域内的事件响应时间不一致,距离执行器节点近的事件响应时间短,而距离执行器节点远的事件响应时间长。本文所提 RDAA 算法中的执行器节点在获得自身执行范围内的簇头节点报告后,可计算得出所在执行区域的中心并移动到该中心,以均衡执行器节点对自身执行区域内发生事件的处理时间,满足 WSN 网络的实时性要求。

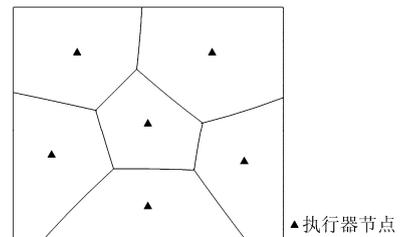


图 1 执行器节点利用泰森多边形图划分感知范围

Fig. 1 Voronoi structure of actors

当执行器节点收到传感器节点报告的事件,执行器节点就会进入协作阶段,进行任务分配和任务处理。目前国内外对于 WSN 网络中执行器节点协作的研究主要集中在对基于拍卖机制的 SAT,对于 MAT 的研究不足。文献[9]中对于执行器节点的协作从 2 个角度进行讨论:执行优先的机制和决策优先的机制,同时文献提出 2 种决策方法:集中式决策和分布式决策。文献[10]提出一种适用于 WSN 的分布式协作框架,将执行器节点的协作问题转换为混合整数非线性规划问题来解决。其中,执行器节点的任务分配通过一个简单拍卖协议 (Simple auction protocol, SAP) 完成,但每次只选出剩余能量最高的执行器节点执行任务。在事件频发的场合,该算法暴露出实时性不高的缺点。文献[11]考虑了执行器节点具有移动能力情况下的

协作机制,其主体思想是当事件发生后,由信息收集节点集中决策,选择一组合适的执行器节点移动到指定的区域完成相关操作。文献[12]提出了一个分布式、实时的拍卖协议(Distributed effective real-time auction protocol, DERAP)。该协议将多属性效用理论和拍卖机制相结合,实现了执行器节点任务的实时分配。但该协议对网络中不存在重叠区域的假设缺少理论支撑,同时由于算法需要建立任务广播树,降低了执行器节点的响应速度。本文在文献[12]基础上提出的 RTAA-SFPA 算法将考虑 WSA 网络中存在重叠区域的情况。同时,不同于文献[12]中采用建立任务广播树的方法,本文算法引入合同网协议,将多属性效用理论和基于密封第一价拍卖机制相结合,并在此基础上利用合同网络协议框架,提出一种新的分布式的实时任务分配机制。

3 Actor 节点两层协作算法

3.1 RDAA 算法

在面向设施作物应用的 WSA 中,传感器节点是静止的,而执行器节点可以移动,且 WSA 部署后传感器节点将自动分簇^[13]。CLH 节点都具有两级发射功率 P_L 和 P_H ,其中 P_L 用于簇内通信,而 P_H 用于簇间通信。同时,每个节点自身都有一个邻居节点表(Neighbor table, NT),用来记录节点周围邻居节点的信息。

在 WSA 初始部署阶段,执行器节点会广播自身的地理位置信息,同时设定一个定时器 T_w 以等待 CLH 节点报告自身的地理位置信息。CLH 节点和簇内传感器节点收到执行器节点的广播后,使用定位算法^[14]可以获得自身的地理位置信息。CLH 节点在获得自身地理位置信息后,会使用角度路由协议^[15]或者地理位置辅助路由协议^[16]将自身地理位置信息报告给执行器节点。执行器节点收到 CLH 节点的报告后,会将 CLH 节点的位置信息存储到自身的 NT 表中。当设定的定时器 T_w 时间到达后,执行器节点会利用 RDAA 算法计算出新的地理位置,然后移动到该位置。

在 RDAA 算法的初始阶段,执行器节点首先会记录自身此时的坐标,标记为 $P_o = (P_{ox}, P_{oy})$ 。通过执行器节点的绝对坐标和 CLH 节点的相对坐标位置的换算可以建立事件区域的全局坐标系,如图 2 所示。

执行器节点可通过全局坐标系下对所在执行区域内所有 CLH 节点间坐标的比较,获得坐标位置最小的 CLH 节点的位置和坐标位置最大的 CLH 节点的位置,分别记为 P_{min} 和 P_{max} 。在 RDAA 算法的运

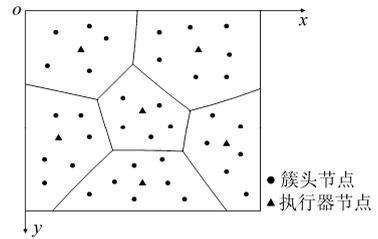


图2 执行器节点和 CLH 节点的坐标位置

Fig.2 Location of actors and CLHs

行阶段,执行器节点会从 NT 表中读取收到的每一个 CLH 节点的坐标 $P_{temp} = (P_{tempx}, P_{tempy})$,然后将该坐标值与 P_o 进行比较。如果 $P_{tempx} < P_{ox}$ 并且 $P_{tempy} < P_{oy}$,则将 P_{temp} 的值标记为 P_L ,反之标记为 P_H 。当比较完执行区域内所有 CLH 节点的坐标后,执行器节点计算出 P_L 和 P_H 的中点,作为执行器节点的新坐标,并移动到该位置。WSA 中所有的执行器节点可以并发执行 RDAA 算法,不需要顺序执行,保证了 WSA 对实时性的要求。图 3 是 RDAA 算法执行的示意图。

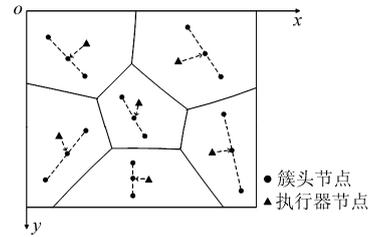


图3 执行器节点重新部署算法

Fig.3 Redeployment algorithm of actors

3.2 RTAA-SFPA 算法

RTAA-SFPA 算法中将执行器节点分为两类:主决策节点和竞标节点。由于 RTAA-SFPA 算法是分布式的,因此不存在专门充当决策中心的执行器节点。距离事件中心最近的执行器节点即为该事件的主决策节点。任何需对该事件执行操作的执行器节点都必须得到该事件的主决策节点的授权。

当事件的主决策节点收到事件报告后,将采用合同网协议进行任务的分配与求解。虽然现有的合同网协议^[17-19]可以实现任务的分配与求解,但由于其固有的“招-投-评-中标”机制,主决策执行器节点必须具有 WSA 的全局信息才能对所有标书进行统一评定,以找到最适合的执行器节点并分配任务。这种方式的系统开销较大,且在任务分配过程中,都采用的是单任务、单回合的协作策略。但在 WSA 中事件的复杂性和不可预测性使得经典的合同网协议不适合对 WSA 中的任务进行动态分配。RTAA-SFPA 算法引入经济学中的拍卖概念,提出一种基于密封第一价拍卖(First price sealed bid auction, FPSB)^[20]的合同网协商策略。FPSB 中,参

与拍卖其中的潜在买家向拍卖人递交密封的出价, 出价最高的买家将赢得拍卖品, 并支付他所出的价格。RTAA-SFPA 算法通过拍卖机制引发的自主竞争的行为, 能够弥补合同网协议中利用招投标机制进行任务分配存在的缺点。

RTAA-SFPA 算法中的主决策节点和竞标节点都有 4 种状态。主决策节点的状态分别为空闲态、初始态、等待态和决策态; 而竞标节点的状态分别为: 空闲态、启动态、等待态和执行态。主决策节点和竞标节点的状态转移图分别如图 4 和图 5 所示。

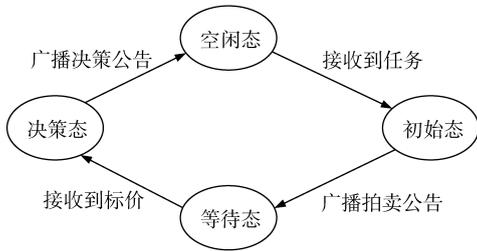


图 4 主决策节点状态转移图

Fig. 4 State transition diagram of main decision actor

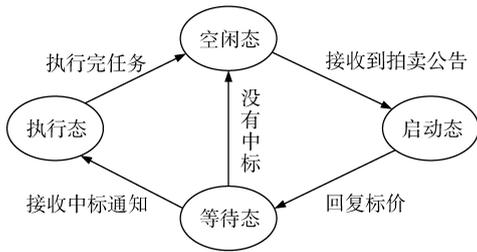


图 5 竞标节点状态转移图

Fig. 5 State transition diagram of auction actor

主决策节点在收到事件报告之前以及竞标节点在收到主决策节点的拍卖公告之前都处于空闲态。当某个执行器节点收到 CLH 节点报告的事件, 该节点会首先声明自身为主决策节点, 同时将收到的事件处理任务分解为多个单位子任务。然后, 主决策节点进入初始态, 采用密封第一价拍卖机制将任务进行拍卖。此时主决策节点向周围的执行器节点广播 JOIN_ACTION 报文, 将任务的 ID 号、位置等信息广播给周围的执行器节点, 同时启动一个计时器 T_w , 以避免竞拍时间过久而无法满足实时的要求。收到 JOIN_ACTION 报文的执行器节点会成为竞拍节点, 同时将自身的状态标记为启动态。

竞拍节点在启动态会根据效能函数 U_{a_i} 计算自身完成单位任务的开销, 然后将自身的开销作为标价发回给主决策节点以参与竞标, 然后将自身状态标记为等待态, 等待主决策节点的回复。主决策节点在计时器 T_w 超时后会将自身状态标记为决策态, 依据周围执行器节点提交的标价 U_{a_i} , 选择标价最小的执行器节点与主决策节点自身的标价进行比较。

主决策节点最终将选择拥有最小标价的执行器节点来执行, 同时广播决策报文。然后, 主决策节点将状态标记为空闲态, 等待竞标节点的执行结果。

竞标节点在收到主决策节点广播的决策报文后, 会判断自身是否为中标节点。如果自身中标, 竞标节点会将自身的状态标记为执行态, 并立即执行相应的任务。否则, 竞标节点会忽略主决策节点广播的决策报文, 同时将自身状态标记为空闲态。对于主决策节点周围的执行器节点, 只有执行器节点处于空闲态时, 才能参与竞标。

执行器节点计算效能值的方法为

$$U_{a_i} = \alpha E_{a_i} - \beta D_{a_i} - \gamma T_{a_i} \quad (1)$$

式中 U_{a_i} ——节点 a_i 的效能值

E_{a_i} ——节点 a_i 的剩余能量

D_{a_i} ——节点 a_i 与事件中心的距离

T_{a_i} ——节点 a_i 完成任务的时间

α, β, γ ——参量的比例因子

为了权衡式(1)中 3 个参量之间的关系, 设定比例因子 $\alpha = \beta = \gamma = 1/3$ 。

RTAA-SFPA 算法考虑了网络中存在重叠区域的情况, 对于网络中的重叠区域和非重叠区域的任务分配都采用基于密封第一价的拍卖机制。对于非重叠区域, 由于该区域中只有一个执行器节点, 因而收到事件报告的执行器节点自动成为主决策节点, 然后开始向周围执行器节点广播 JOIN_ACTION 报文。对于重叠区域, 由于该区域被多个执行器节点覆盖, 本文采用先到先得 (First received first obtained, FRFO) 的方法, 即先接收到事件报告的执行器节点自动当选主决策节点, 然后向其余覆盖的执行器节点广播自身的主决策节点身份。其余的执行器节点收到主决策节点身份广播报文后, 自动取消主决策节点身份的竞争, 等待主决策节点广播的 JOIN_ACTION 报文。

4 仿真

4.1 仿真环境

仿真试验以设施环境为应用场景, 仿真大棚中设施作物的生长环境。仿真试验中的传感器节点代表大棚中所部署的各类传感器, 且传感器在大棚中是随机部署的。当传感器发现大棚中设施作物的生长环境或生长状态发生变化时, 将此事件通知给执行器节点, 触发相应的控制策略, 并由执行器节点协作来完成。仿真试验中的执行器节点代表大棚中的控制设备集合, 可同时具备多种控制功能, 并且可以自动处理设施大棚中发生的事件。为了检验算法的性能, 采用 Java 语言编写代码实现多执行器节点协

作机制。

本文首先模拟了一个 800 m × 800 m 的仿真区域,并在该区域中随机部署 3 种类型的传感器节点,分别用来监测大棚温度、土壤湿度和叶子表面温度 3 种参数。在试验中传感器节点数量从 150 到 350,每次增加 50 个传感器节点,传感器节点数量从 4 个增加到 8 个,每次增加 1 个执行器节点。簇内通信半径 R_i 为 100 m,簇间通信半径 R_c 为 200 m,执行器节点通信半径 R_a 为 400 m。为了进一步分析协作机制的性能,本文同时实现了 DERAP 和 SAP 协议,并与本文提出的协作机制进行对比。仿真试验首先评估了 RDAA 算法的执行器节点平均响应时间和平均能耗性能,然后将 RTAA - SFPA 算法与 DERAP 协议和 SAP 协议进行对比,分析其在网络平均延迟和网络剩余能量方面的性能。

4.2 仿真结果

4.2.1 网络部署情形对比

仿真试验中对比了网络初始阶段节点的部署情形(图 6)和采用执行器节点重新部署算法后网络中节点的部署情形(图 7)。通过对比,可以发现采用执行器节点重新部署算法后,网络中的执行器节点几乎处于各自执行区域的中心。

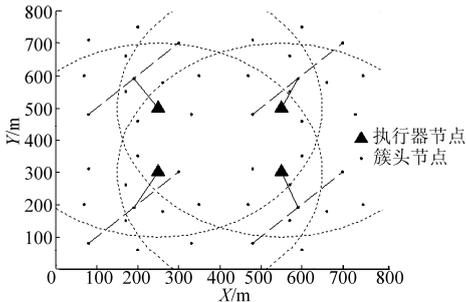


图 6 网络初始阶段节点部署情形

Fig. 6 Deployment situation of nodes in initial stage of network

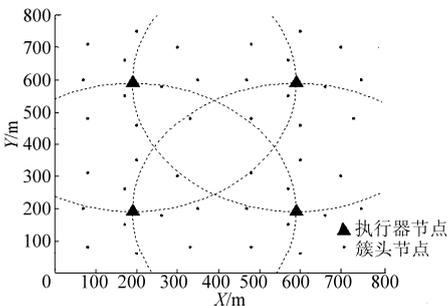


图 7 采用执行器节点重新部署算法后网络中节点的部署情形

Fig. 7 Deployment situation of network after adopting redeploying algorithm of actor

4.2.2 执行器节点平均响应时间

仿真试验对比了图 6 和图 7 所示情形中执行器

节点接收事件的响应时间,响应时间包括 2 部分:事件的传输时间和执行器节点移动到事件区域的时间。执行器节点接收事件的平均响应时间的仿真结果如图 8 所示。通过设定事件产生的间隔时间,仿真中所产生的事件不断增加。从图 8 可以看出,执行器节点采用重新部署算法后,平均响应延迟降低了 10%,而且随着事件数量的增加,平均响应延迟趋于平稳。表明该算法能够满足 WSAW 网络的实时性要求。同时,未使用重新部署算法的执行器节点的平均延迟不稳定,平均延迟在 [0.05 s, 0.1 s] 间浮动。这主要是由于事件发生的位置与执行器节点的距离不同引起的。

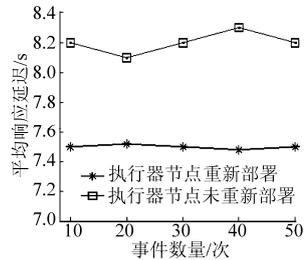


图 8 执行器节点平均响应延迟

Fig. 8 Average response delay of actor

4.2.3 执行器节点平均能耗

仿真试验对比了图 6 和图 7 所示情形中执行器节点接收事件报告并移动到事件区域过程中的节点平均能耗。执行器节点平均能耗结果如图 9 所示。仿真过程中所产生的事件不断增加。通过对比可以发现,执行器节点采用重新部署算法后,平均能耗相比未重新部署降低 10% 左右,随着执行器节点处理事件的增加,平均能耗增长幅度缩小。说明该算法满足 WSAW 网络的低能耗要求。

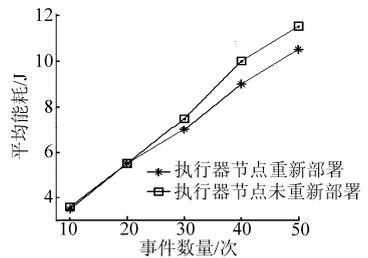


图 9 执行器节点平均能耗

Fig. 9 Average energy consumption of actor

4.2.4 网络平均时延

图 10 对比了 RTAA - SFPA 算法与 DERAP 和 SAP 协议在拍卖阶段的网络平均延迟。图 10 中,网络初始部署 4 个执行器节点,随着执行器节点数量的增加,RTAA - SFPA 算法在网络平均时延方面增长幅度最小,DERAP 算法的增长幅度最大,而 SAP 算法介于两者之间。从图中可以看出当执行器节点数量为 8 时,DERAP 算法的时延最高,达到 8.2 s,

RTAA-SFPA 算法的时延最小为 7.5 s,而 SAP 算法介于中间。这是由于 DERAP 算法在拍卖过程中需要建立拍卖广播树,随着执行器数量增多,拍卖广播树层次增多,造成网络延迟增大。而 SAP 算法需要在全网中拥有一个独立的拍卖节点,随着执行器数量的增加,各个执行器节点到拍卖节点的延迟增大。

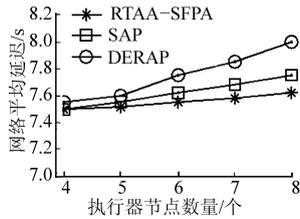


图 10 网络平均时延

Fig. 10 Average delay of network

4.2.5 网络单位时间平均能耗

图 11 为 RTAA-SFPA 算法与 DERAP 和 SAP 协议在拍卖阶段的网络单位时间平均能耗。图 11 中,网络初始部署 4 个执行器节点,随着执行器节点数量的增加,RTAA-SFPA 算法的平均能耗是最低的,而 SAP 算法和 DERAP 算法的平均能耗都会随着执行器节点数量的增加而增大,其中 DERAP 算法的增长幅度最明显。从图中可以发现,当执行器

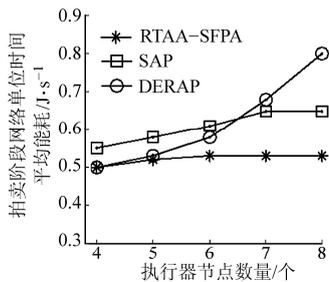


图 11 网络单位时间平均能耗

Fig. 11 Average energy consumption of network

节点数量为 8 时,DERAP 算法节点的平均能耗最大,达到 0.83 J/s,RTAA-SFPA 算法的平均能耗最小,为 0.52 J/s,而 SAP 算法介于两者之间。这是由于 DERAP 算法需要构建任务广播树,随着执行器节点增加,构建的任务广播树也就越复杂,所需的能耗也就越高。

5 结论

(1) 针对 WSN 网络应用于设施作物应用中存在的执行器节点如何实时高效协作的问题,提出了一种执行器节点两层协作算法:执行器节点重新部署算法 RDAA 和基于密封第一价拍卖的实时任务分配算法 RTAA-SFPA。通过仿真试验验证了本文所提协作算法可以实现基于 WSN 的农业设施作物应用中的控制任务被执行器节点以协作的方式有效且实时地分配和执行。

(2) RDAA 算法对已经划分好执行范围的执行器节点进行重新部署,保证执行器节点尽量部署在执行区域的中间,实现执行器节点对事件的实时响应。仿真结果显示 RDAA 算法能够降低执行器节点任务协作时的平均能耗和平均响应时间。

(3) RTAA-SFPA 算法采用拍卖机制和合同网络协议框架,解决了 WSN 网络中执行器节点协作的任务分配问题,提高了任务分配的实时性和灵活性。与传统的集中式控制方式相比,执行器协作算法实现了 WSN 节点间任务的自主分配,避免了上层管理节点的参与,有效减轻了管理节点的负载和能耗。仿真结果显示 RTAA-SFPA 算法相对 DERAP 和 SAP 算法在网络平均时延和单位时间平均能耗方面有所改善。

参 考 文 献

- 张乃明. 设施农业理论与实践[M]. 北京:化学工业出版社,2006.
- 张荣标,褚夫环,黄贤林,等. WSN 节点温室环境试验系统的预测解耦控制[J]. 农业机械学报,2012,43(1):192~196. Zhang Rongbiao, Chu Fuhuan, Huang Xianlin, et al. Predictive decoupled control of WSN nodes greenhouse environment simulation experimental system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(1): 192~196. (in Chinese)
- Akyildiz I F, Kasimoglu I H. Wireless sensor and actor networks: research challenges[J]. Ad Hoc Networks, 2004, 2(4): 351~367.
- 任守纲,马超,谢忠红,等. 基于分水岭和梯度的蝴蝶兰图像分割方法[J]. 农业工程学报,2012,28(9):125~129. Ren Shougang, Ma Chao, Xie Zhonghong, et al. Image segmentation algorithm for *Phalaenopsis amabilis* based on watershed algorithm and gradient[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(9): 125~129. (in Chinese)
- 岳学军,王叶夫,洪添胜,等. 基于信道测试的橘园 WSN 网络部署试验[J]. 农业机械学报,2013,44(5):213~218. Yue Xuejun, Wang Yefu, Hong Tiansheng, et al. WSN layout experiment based on radio frequency propagation tests in citrus orchard[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(5): 213~218. (in Chinese)
- Kemal A, Fatih S, Brian M. Clustering of wireless sensor and actor networks based on sensor distribution and connectivity[J]. Journal of Parallel and Distributed Computing, 2009, 69(9): 573~587.
- Kemal A, Mohamed Y. COLA: a coverage and latency aware actor placement for wireless sensor and actor networks[C]// 2006 IEEE 64th Vehicular Technology Conference, Montreal, Canada, 2006: 2 649~2 653.
- Srinivasara R D, Ramesh B B, Srikanth V. Energy efficient routing protocol for wireless sensor and actor networks[J].

- Communications in Computer and Information Science, 2010, 90(1): 114 ~ 123.
- 9 Yuan Haidong, Ma Huadong, Liao Hongyu. Coordination mechanism in wireless sensor and actor networks[C] // Proceedings of the First International Multi-symposiums on Computer and Computational Sciences, Washington DC, USA, 2006: 627 ~ 634.
 - 10 Melodia T, Pompili D, Gungor V C, et al. Communication and coordination in wireless sensor and actor networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2007, 6(10): 1 116 ~ 1 129.
 - 11 Melodia T, Pompili D, Akyildiz I F. A communication architecture for mobile wireless sensor and actor networks[C] // 2006 3rd Annual IEEE Communications Society on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, Reston, USA, 2006: 109 ~ 118.
 - 12 Hossein M, Mohsen S, Morteza O. Distributed assignment of real-time tasks in wireless sensor actor networks[J]. IEICE Electronics Express, 2011, 8(7): 429 ~ 435.
 - 13 Chao G, Jantti R. Link-state clustering based on IEEE 802.15.4 MAC for wireless ad-hoc/sensor networks[C] // 2006 IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Las Vegas, USA, 2006: 499 ~ 504.
 - 14 Dragos N, Badri N. Ad hoc positioning system (APS) using AOA[C] // 22nd Annual Joint Conference on the IEEE Computer and Communications Societies, San Francisco, USA, 2003: 1 734 ~ 1 743.
 - 15 Rakesh B K, Xue Guoliang. Angle routing protocol: location aided routing for mobile ad-hoc networks using dynamic angle selection [C] // 2002 MILCOM Proceedings: Global Information Grid-enabling Transformation through 21st Century Communications, Anaheim, USA, 2002: 501 ~ 506.
 - 16 Gilg M, Lorenz P, Rodrigues J. Location-aided routing using image representation for wireless sensor networks[C] // 2011 IEEE International Conference on Communications, Kyoto, Japan, 2011: 1 ~ 5.
 - 17 张文波,赵海,苏威积,等. 基于合同网模型的多代理协作研究[J]. 电子学报,2006,34(5):837 ~ 844.
Zhang Wenbo, Zhao Hai, Su Weiji, et al. Research on cooperation of multiple agent based on contract-net model[J]. Chinese Journal of Electronics, 2006, 34(5): 837 ~ 844. (in Chinese)
 - 18 刘宁,邵静楠,高飞. 多 Agent 协作中改进的合同网协议[J]. 广西师范大学学报:自然科学版,2008,26(3):125 ~ 128.
Liu Ning, Shao Jingnan, Gao Fei. Auction mechanism based contract net protocol in multi-agent cooperation [J]. Journal of Guangxi Normal University: Natural Science Edition, 2008, 26(3): 125 ~ 128. (in Chinese)
 - 19 潘刚,苏厚勤. 一种关于合同网协作改进模型的研究与实践[J]. 计算机应用与软件,2012,29(3):212 ~ 215.
Pan Gang, Su Houqin. One kind of research and practice about contract net cooperation improvement model[J]. Computer Applications and Software, 2012, 29(3): 212 ~ 215. (in Chinese)
 - 20 彭鸿广. 激励供应商创新投入的采购拍卖机制[J]. 计算机集成制造系统,2011,11(17):2 475 ~ 2 482.
Peng Hongguang. Auction mechanism to motivate suppliers' innovation investment [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2011, 11(17): 2 475 ~ 2 482. (in Chinese)

~~~~~

(上接第 279 页)

- 13 柯映林,范树迁. 基于点云的边界特征直接提取技术[J]. 机械工程学报,2004,40(9):116 ~ 120.  
Ke Yinglin, Fan Shuqian. Research on direct extraction of boundary from point clouds [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2004, 40(9): 116 ~ 120. (in Chinese)
- 14 孙殿柱,田中朝,李延瑞,等. 基于四维聚类的 R\* -树结点分裂算法[J]. 机械工程学报,2009,45(10):180 ~ 184.  
Sun Dianzhu, Tian Zhongchao, Li Yanrui, et al. Node splitting algorithm of R\* -tree based on four-dimensional clustering [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2009, 45(10): 180 ~ 184. (in Chinese)
- 15 孙殿柱,朱昌志,范志先,等. 散乱点云自适应滤波算法[J]. 北京航空航天大学学报,2011,37(1):76 ~ 80.  
Sun Dianzhu, Zhu Changzhi, Fan Zhixian, et al. Self-adaptive filtering algorithm for scattered points [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2011, 37(1): 76 ~ 80. (in Chinese)
- 16 邓飙,于传强,李天石,等. 基于估计点的双窗核密度估计算法[J]. 仪器仪表学报,2011,32(3):615 ~ 620.  
Deng Biao, Yu Chuanqiang, Li Tianshi, et al. Dual-bandwidth kernel density estimation algorithm based on estimate points [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2011, 32(3): 615 ~ 620. (in Chinese)
- 17 张保强,陈国平,郭勤涛. 结构动力学模型确认问题的核密度估计方法[J]. 机械工程学报,2011,47(17):29 ~ 36.  
Zhang Baoqiang, Chen Guoping, Guo Qintao. Structural dynamic model validation problem solution using kernel density estimation method [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2011, 47(17): 29 ~ 36. (in Chinese)
- 18 Vikas R, Ramani D. Fast optimal bandwidth selection for kernel density estimation [C] // Proceedings of the 6th SIAM International Conference on Data Mining, 2006: 524 ~ 528.
- 19 Wand M P, Jones M C. Kernel smoothing [M]. London: Chapman & Hall/CRC, 1994: 1 ~ 20.
- 20 Cheng Yizong. Mean shift, mode seeking, and clustering [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1995, 17(8): 790 ~ 799.