

# 群体机器人分布式任务分配策略研究

On the Distributed Task Allocation Strategy for Swarm Robots

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所) 杨永明 丁 策 李昕阳 朱明超

YANG Yong-ming DING Ce LI Xin-yang ZHU Ming-Chao

**摘要:** 群体机器人系统中,任务分配的主要目标是实现局部交互下的劳力分配与调整,是实现群体协同行为的重要方法。针对维持食物消耗的觅食任务,研究了基于反应阈值模型的分布式任务分配策略,实现了群体机器人系统的高效劳力分配与调整。

**关键词:** 群体机器人; 任务分配; 反应阈值模型

**中图分类号:** TP393; TP24 **文献标识码:** A

**Abstract:** The primary goal of task allocation for swarm robots is to realize labor division and regulation under local interaction. Aiming at foraging task, distributed task allocation strategy is studied based on response threshold model and efficient labor division and regulation is achieved for swarm robotic system.

**Key words:** swarm robots; task allocation; response threshold model

## 1 引言

随着应用场景的日益复杂,单个机器人在很多情况下已难以满足任务需求,通常需要大量机器人共同协作来完成任务。机器人群体共同协作可以完成单个机器人无法实现的任务,增强系统鲁棒性。机器人群体无论采用何种协作方式,都需要确定各机器人在运行过程中需要执行什么任务,以合作实现总体目标,即所谓任务分配问题。对于群体机器人而言,任务分配侧重于实现隐式协作。其主要目标是实现在无通信或仅存在局部通信情况下的劳力分配与调整,使群体涌现出期望的协作行为;实现任务集在大量具有相同能力的个体机器人间的分配,使得每项任务均有适量的机器人在执行,以满足系统的相关需求。对于群体机器人任务分配策略的研究尚处于起步阶段,相关研究成果很少。Michael 等人利用激活阈值机制维持觅食任务目的区域中的能量。Jones 等人提出了一种可实现任务动态变化场景下的任务分配策略。Thomas 等人给出了一种无需直接通信的调节觅食机器人数的劳力分工策略。

本文以群体机器人觅食任务为背景,以维持食物消耗为目标,研究了群体机器人自组织劳力分配与调整策略。实现了对处于工作状态机器人数量的高效调整,满足了食物消耗需求。为检验任务分配策略的适应性,针对多种食物消耗维持任务进行了仿真实验研究。

## 2 任务分配策略

任务分配策略以维持食物消耗的觅食任务为应用场景,在觅食过程中,Home 区域中的食物以一定速率被消耗;任务分配的目标是对工作状态机器人数量进行高效调整,以适应环境及需求的变化,满足食物消耗。在任务分配过程中,个体机器人的觅食行为由反应阈值及坡度两个参数控制,使得任务分配策略具有更强的可调节性,有助于多种群体协作行为的涌现,扩展其适

用范围。任务分配策略以反应阈值模型为基础,所有机器人都具有相同的不变阈值 $\theta$ 。用于控制响应概率曲线坡度的参数 $n$ 的取值为某一范围内的随机值,使得不同机器人对于相同的激活量产生不同的响应,有效地协调了群体觅食行为。设觅食任务开始执行时,Home 区域中食物数为 $N_0$ ;在 $t$ 时刻 Home 区域中食物数为 $n_t$ 。那么在 $t$ 时刻,处于等待态的个体机器人执行觅食行为的概率 $P_t$ 定义如下:

$$P_t = \begin{cases} 0 & n_t \geq N_0 \\ \frac{(N_0 - n_t)^n}{(N_0 - n_t)^n + \theta^n} & n_t < N_0 \end{cases} \quad (1)$$

任务分配策略基本流程如图 1 所示。任务分配过程包括四个基本状态:

(1)等待:在觅食任务开始执行时,所有机器人均处于等待状态。机器人将启动定时器,定时时间为某一确定区域内的随机值。设置定时器的主要目的在于控制机器人与激活量的相遇次数。定时器溢出后,机器人将感知当前 Home 区域中的食物量 $n_t$ ,并利用式(1) $P_t$ 计算。然后以概率 $P_t$ 产生觅食行为。如果觅食行为没有发生,机器人将重新启动定时器,再次进入等待状态。

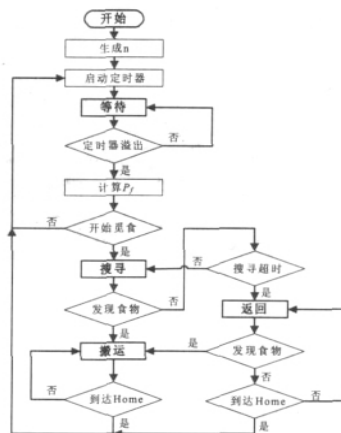


图 1 任务分配策略流程

(2) 搜寻: 机器人启动随机搜索策略寻找食物。如果发现食物, 机器人将收集该食物并转入到搬运状态。机器人具有搜索时间限制, 如果在时间限制内仍未发现食物, 那么该机器人进入返回状态。

(3) 返回: 机器人返回 Home 区域以补充能量。机器人到达 Home 区域后将启动定时器, 并进入等待状态。如果在返回过程中发现食物, 机器人将收集该食物并转入到搬运状态。

(4) 搬运: 机器人将食物搬运到 Home 区域, 然后启动定时器, 重新进入到等待状态。

### 3 性能评价

为便于对任务分配策略性能进行讨论, 引入平均工作态机器人数量作为任务分配策略性能指标。工作态是指除等待态以外的状态, 机器人处于工作态表明机器人正在消耗能量。令  $N_i$  表示机器人总数,  $t_i$  表示机器人  $i$  在这次觅食过程中处于工作态的时间,  $T_m$  表示觅食任务执行时间, 那么对应于这次觅食任务  $n_i$  可以利用式(2)求得。可见  $n_i$  越小, 为保持食物消耗所需能量越少, 任务分配策略性能越高。为便于下文讨论, 引入变量  $F$  表示觅食场景中食物总数,  $r$  表示食物消耗率,  $n_w$  表示  $t$  时刻处于工作态机器人数量。

$$n_w = \sum_{i=1}^{N_i} t_i / T_m \quad (2)$$

### 4 实验分析

实验利用多机器人仿真系统实现, 实验场景如图 2 所示。在图 2 中位于中心的正方形代表 Home 区域; 浅色圆环表示食物分布区域, 其内径为 10 米, 外径为 36 米; 外围圆形限制了觅食场景范围, 其半径为 40 米; 较大的浅灰色圆形表示障碍物; 深色圆点代表随机分布的食物。带有圆弧的深色圆形代表机器人, 该圆弧表示机器人感知范围: 圆弧半径为 2 米, 弧度为  $2\pi/3$ 。与觅食场景相比, 个体机器人的感知能力是十分有限的。

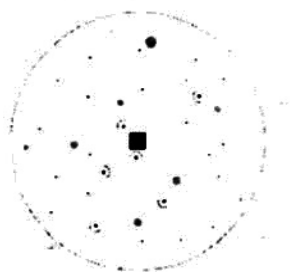


图 2 仿真实验示意图

#### 4.1 劳力调整过程

任务分配策略需要根据 Home 区域中食物数量对处于工作态的机器人数量进行调整, 以满足食物消耗的需要。为分析任务分配策略的劳力调整过程, 利用仿真实验得到了  $n_w$  与  $n_p$  之间的关系(图 3)。仿真实验相关参数设置为:  $N_i = 25$ ,  $F = 30$ ,  $N_p = 15$ ,  $\theta = 10$ ,  $r = 0.02/\text{秒}$ , 取值为 2 到 10 之间的整数。从图 3 中可以得出, 当  $n_p$  减小时  $n_w$  将增大, 将有更多处于等待状态的机器人转入搜索状态, 从而使  $n_w$  增加。 $n_w$  的增加将使更多的食物被搬运至 Home 区域。当  $n_p$  增大时  $n_w$  将减小, 从而使  $n_w$  减小, 使得收集的食物量减少。图 4 说明了在觅食过程中, 在  $t = 100$  秒至  $t = 390$  秒时间段内,  $N$  分别为 2 和 4 的两个机器人的觅食概率  $P_i$  的变化情况。可见,  $N$  取 2 机器人的觅食概率大于  $N$  取 4 机器人的觅食概率。这两个机器人分别在 A、B 时刻转入到搜寻状态。在  $t = 300$  秒之

后  $P_i$  经历了三次下降, 这是由于其他机器人将食物搬运至 Home 区域使得  $n_p$  增大导致的。在实验过程中,  $n_p$  的最小值为 9.31, 食物消耗得到了良好满足。仿真实验过程表明, 基于反应阈值模型的任务分配策略可以有效地调整劳力资源, 满足系统需求。

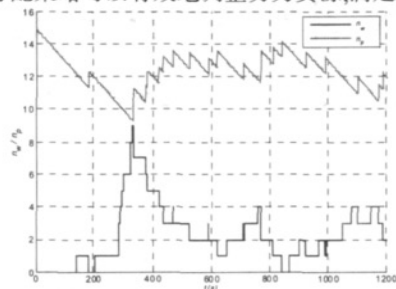


图 3 任务分配过程中  $n_w$  随  $n_p$  变化情况

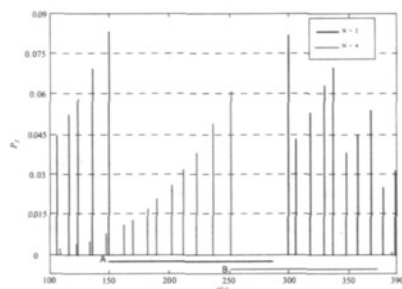


图 4 任务分配过程中  $P_i$  的变化情况

#### 4.2 适应性分析

该任务分配策略具有良好的适应性, 可实现对多种食物消耗的维持。上述实验中, 觅食任务只需满足一种食物消耗。当需要满足 Home 区域中的多种食物消耗时, 可以为每个机器人设置多个反应阈值, 每个反应阈值对应于一种食物, 然后根据前文给出的任务分配策略实现劳力的分配与调整。下面以存在两种食物消耗的觅食任务为例, 说明任务分配策略满足两种食物消耗时群体机器人的劳力调整过程。设这两种食物分别为食物 A 与食物 B, 食物 A 的数量为 25, 消耗率为 0.02/秒; 食物 B 的数量为 15, 消耗率为 0.015/秒。实验过程中机器人的数量为 35, 个体机器人对两种食物具有相同的搬运能力。图 5 中上侧曲线说明了 Home 区域中食物 A 及食物 B 的数量变化情况, 下侧曲线说明了处于工作态的搜寻食物 A 及食物 B 的机器人数的动态调整情况。图 5 说明基于反应阈值模型的任务分配策略具有良好的适应性, 当觅食任务需要满足多种食物消耗时, 仍然可以对群体机器人的劳力分配进行有效调整。

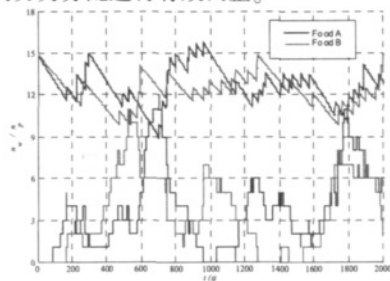


图 5 存在两种食物时  $n_w$  随  $n_p$  变化情况

### 5 结论

本文的创新点在于以反应阈值模型为基础, 设计了一种分

(下转第 33 页)

```
uartChan[0].regs = (UINT8 *)UART0_BASE; --uart 基
地址
uartChan[0].regDelta = 1;
uartChan[0].xtal = UART0_SIO_FREQ;
uartChan[0].baudRate = CONSOLE_BAUD_RATE; ---波
特率
uartChan[0].level = IV_UART0_NUM; ---uart 中
断号
```

xxDevInit (&uartChan[0]);  
}其中 xxDevInit()完成 VxWorks 串口结构体 SIO\_CHAN 和 Uart 设备驱动函数的挂接。

(3) 接着向内核注册中断程序和开启硬件使能。这是在 sysClkConnect 函数中完成的。函数调用路径如下:

```
usrRoot: sysClkConnect()->sysLib.c: sysHwInit2()->sysSerial.
c: sysSerialHwInit2()
```

sysSerialHwInit2 函数的实现: ①调用 intConnect 完成中断处理程序的注册。②调用 intEnable 使能该中断。

```
void sysSerialHwInit2 (void){
    intConnect (INUM_TO_IVEC (IV_UART0_NUM), uartInt,
(int)sysSerialChanGet(0));
    Enable(INT_UART0); /* Enable the UART0 Int*/
}
```

到此,所有串口相关准备工作完成,串口可进行正常的数  
据接收和发送。

BSP 开发中一般先实现一个 BSP 包最小系统,包括定时器和中断控制器以及串口,此时 VxWorks 已经可以启动了,再次基础上再继续添加其他设备的驱动即可完善整个 BSP 的开发。

## 4 结语

本文以龙芯 BSP 开发为例,对 VxWorks 操作系统中 BSP 的设计和实现进行了介绍。针对不同的 CPU 和主板,BSP 的实现也不同,需要根据硬件板的具体功能进行设计,但是各种目标板之间有一定的共性,希望本文可以对开发其它类型的目标板具有一定的参考价值。

本文作者创新点:在龙芯处理器上(新的体系结构)成功移植 VxWorks 操作系统,提出了通过串口下载压缩映像的方法。

### 参考文献

- [1]安军社,刘艳秋,孙辉先. VxWorks 操作系统板级支持包的设计与实现[J]. 计算机工程,2003,29(1)
- [2]周启平,张杨. VxWorks 下设备驱动程序及 BSP 开发指南[M]. 北京:中国电力出版社,2004
- [3]Wind River Systems Inc.BSP Developer Guide 5.5[Z].2002
- [4]Wind River Systems Inc.Tornado BSP Training Workshop[Z]
- [5] 邱坚. Tornado/VxWorks 入门与提高 [M]. 北京: 科学出版社, 2004
- [6]隋霞,许录平. 基于 VxWorks 的 BSP 技术分析[J]. 微计算机信息,2005,8-2:86-88.

作者简介:杨晔 (1986-), 男(汉族),中国科学院研究生院硕士研究生. 主要研究嵌入式软件开发。

**Biography:** Yang Ye(1986-), graduate student of Graduate University of Chinese Academy of Sciences, majored in embedded OS.

(100080 中国科学院空间科学与应用研究中心) 杨 晔 安军社

(100049 中国科学院研究生院) 杨 晔 安军社

通讯地址:(100080 北京中国科学院空间科学与应用研究中心) 杨 晔

(收稿日期:2010.04.27)(修稿日期:2010.07.27)

### (上接第 9 页)

布式任务分配策略;该策略能够有效地实现群体机器人系统的劳力分配与调整,满足系统需求;该策略不受机器人数量限制,具有良好的可扩展性。实验结果表明,该任务分配策略具有良好的适应性,通过设置与每种食物相对应的反应阈值,可以实现对多种食物消耗的维持。

### 参考文献

- [1]陈励华,张国良等.基于多智能体的多机器人控制研究[J].微计算机信息,2009,8-2:180-181
- [2]B. P. Gerkey, M. J. Mataric. A Formal Analysis and Taxonomy of Task Allocation in Multi-robot Systems [J]. International Journal of Robotics Research, 2004, 23(9):939-954.
- [3]Michael J.B. Krieger, Jean-Bernard Billeter. The Call of Duty: Self-organized Task Allocation in a Population of up to Twelve Mobile Robots [J]. Robotics and Autonomous Systems, vol. 30, 2000, pages:65-84.
- [4]Chris Jones, Maja J. Mataric. Adaptive Division of Labor in Large-Scale Minimalist Multi-Robot Systems [C]. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2003, pages:1969-1974.
- [5]Thomas H. Labella, Marco Dorigo, Jean-Louis Deneubourg. Division of Labor in a Group of Robots Inspired by Ants' Foraging Behavior [J]. ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems, 2006, 1(1):4-25.
- [6]Bonabeau, E., Theraulaz G. and Deneubourg J. -L.. Fixed Response Thresholds and the Regulation of Division of Labor in Insect Societies [J]. Bulletin of Mathematical Biology, vol.60, 1998, pages:753-807.

作者简介:杨永明,男,1980 年生,汉族,吉林省长春市人,中国科学院长春光学精密机械与物理研究所助理研究员,博士,主要研究复杂系统分析、建模与控制。

**Biography:**YANG Yong-ming (1980-), Han nationality, city of Changchun, Jilin Province, assistant researcher of Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, doctor, research topic is analyzing, modeling and control of complex system.

(130033 长春 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所)

杨永明 丁 策 李昕阳 朱明超

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Science, Changchun 130033, China)

YANG Yong-ming DING Ce LIXin-yang ZHUMing-chao

通讯地址:(130033 长春市东南湖大路 3888 号中国科学院长春光学精密机械与物理研究所航测部) 杨永明

(收稿日期:2010.03.25)(修稿日期:2010.06.25)

《现场总线技术应用 200 例》已出版,  
每册定价 55 元(含邮资),汇至

地址:北京市海淀区中关村南大街乙 12 号天作 1 号  
楼 B 座 812 室 微计算机信息 邮编:100081  
电话:010-62132436 010-82168297(T/F)