

基于混沌并行遗传算法的多目标无线传感器网络跨层资源分配*

周杰[†] 刘元安 吴帆 张洪光 俎云霄

(北京邮电大学电子工程学院, 北京 100876)

(2010年11月16日收到; 2010年12月13日收到修改稿)

提出了一种基于混沌并行遗传算法的多目标无线传感器网络跨层资源分配方法, 该方法运用混沌序列和并行遗传算法来动态调整传感器网络节点的探测目标及通信时隙等参数, 对资源分配方式进行跨层整体优化. 在多目标无线传感器网络环境下, 将本文方法与传统的随机分配方法、动态规划方法、T-MAC协议及S-MAC协议等资源分配算法进行了仿真比较. 仿真结果表明, 本文提出的混沌并行遗传算法具有通信时延小, 目标检测成功率高等优点, 在降低了无线传感器网络功率消耗的同时提高了对目标检测的实时性.

关键词: 无线传感器网络, 无线资源管理, Henon映射, 并行遗传算法

PACS: 05.45.Pq, 05.65.+b

1. 引言

近年来, 随着无线传感器网络 (wireless sensor networks) 技术的迅速发展, 多目标多任务环境下的传感器网络资源分配问题越来越受到人们的重视^[1]. 在这些研究中, 如何针对感知任务来动态调整传感器网络节点的探测目标、通信时隙等参数, 对传感器网络的资源分配方式进行整体优化; 同时在节点能量有限、分布式控制的条件下完成对多个任务目标的探测任务^[2], 是无线传感器网络研究中的一个关键问题.

当前国内外研究成果中关于无线传感器网络资源的分配方法主要有: 文献[3]提出了一种S-MAC协议进行通信时隙分配, 该协议采用周期性侦听、邻居节点协商及消息分割机理, 减少了消息开销和节点能量消耗, 但未结合应用层考虑针对多个任务目标的探测需求. 文献[4]在文献[3]的基础上对数据发送方式进行了改进, 提出了一种基于突发通信方式的T-MAC协议, 该协议减少了无线传感器网络中节点的侦听能量消耗, 但是通信时延较大.

文献[5]提出了一种区分业务发送优先级的SSMAC协议, 优先发送节点缓冲区内高优先级的实时业务, 而对普通业务采取排队的方式进行发送. 该方法提升了传感器网络的实时性, 但未能结合应用层的目标探测任务减少物理层的能量消耗, 导致节点能量消耗较大, 缩短了无线传感器网络的工作寿命. 在任务目标分配方面, 文献[6]给出了一种随机分配方法, 该方法随机为传感器指定任务目标, 算法复杂度较低, 但能够成功检测出的目标数较少, 目标检测成功率较低. 文献[7]给出了一种根据探测节点与目标节点距离远近进行自适应分配的动态规划算法, 该方法相比随机分配算法提高了节点的目标检测成功率, 降低了能量消耗, 但由于该算法未对传感器距离探测目标的距离进行优化, 导致在多目标条件下节点能量消耗较大, 降低了感知节点的使用寿命.

针对以上算法的优缺点, 本文提出了一种基于混沌并行遗传算法的多目标跨层无线传感器网络资源分配方法 (chaotic parallel genetic algorithm, CPGA算法) 对无线传感器网络的任务目标和通信时隙进行统一分配. 该方法利用混沌序列的遍历性

* 国家高技术研究发展计划 (863 计划) (批准号: 2008AA012211), 国家自然科学基金青年科学基金项目 (批准号: 61003279) 和国家自然科学基金面上项目 (批准号: 60973111) 资助的课题.

[†] E-mail: zhoujie-1115@163.com

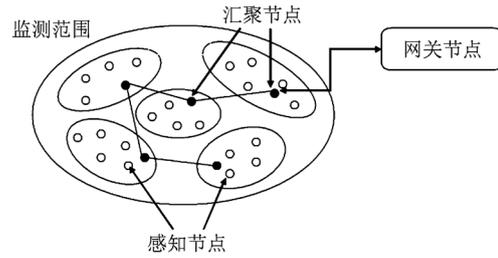
和对初值的敏感性^[8-11],采用启发式的并行遗传算法对节点通信时隙、任务目标分配等参数进行跨层统一分配和管理. CPGA 算法通过动态调整无线传感器网络参数,对无线传感器网络 MAC 层和应用层的参数进行统一配置,在合理利用传感器网络资源的同时满足了对多个任务目标进行实时探测的任务需求,实现了对无线传感器网络全网资源的跨层整体优化.通过仿真平台测试比较了 CPGA 算法与几种经典资源分配算法的性能,仿真结果表明,CPGA 算法在目标检测成功率方面比传统的动态规划及随机分配算法有明显的提高,在降低通信冲突概率方面优于传统的 T-MAC 协议及 S-MAC 协议,在提高了对任务目标的检测效果的同时增强了对目标检测的实时性.

2. 无线传感器网络资源分配的系统模型

无线传感器网络具有节点数量大、节点可用能量十分有限、探测范围有限、自组织及分布式管理等特点^[12-16],这些特点决定了无线传感器网络资源管理的目标与传统的无线网络存在差别,即必须考虑如何在完成目标探测任务的同时尽量节省节点能量,完成通信任务,并确保每个节点与相邻区域的节点不使用同一通信时隙,以避免通信冲突的发生.

典型的无线传感器网络是一个分层结构,主要由感知节点、汇聚节点、网关节点三部分构成.如图 1 所示,其中,感知节点即大量部署在网络中的具有感知能力、处理能力、存储能力和通信能力的微型嵌入式系统,它通过数据采集模块获取任务目标的温度、热、红外、压力等信息,在存储和处理完需要传送的关于感知目标的有效数据后,在合适的时间将数据传送给汇聚节点.汇聚节点为拥有较强处理能力、存储能力和通信能力的中心节点,它主要用于汇集感知节点传来的信息并将信息上传至网关节点,同时向感知节点发布具体观测任务.网关节点收集汇聚节点传回的任务目标相关数据,并向汇聚节点发布目标监测任务,对传感器网络进行统一配置和管理.

由于无线传感器网络由大量的高密度分布的无线传感器构成,对于多目标多优先级监测任务,资源分配需要充分考虑感知节点的剩余能量、感知节点与目标的距离、目标的重要程度、任



务的优先级等参数.但是,同时兼顾传感器数量、目标数量及任务优先级将带来无线传感网络资源分配问题复杂度的指数级提高,使得传统的集中式分配算法无法满足资源受限的传感器网络的需求.为了解决此问题,本文在无线传感器网络中引入基于混沌并行遗传算法的 CPGA 算法,通过自适应调节探测任务目标和通信时隙分配,利用无线传感器网络节点数量上的优势对资源分配问题进行并行计算,从而对无线传感器网络高复杂度的监测目标和通信时隙分配问题进行实时性求解.

3. 基于混沌并行遗传算法的无线传感器网络资源分配

在无线传感器网络中,由于感知节点众多且采用分布式控制,多个节点常常共用一个通信时隙或同时集中探测一个任务目标,因此互相间的干扰和通信冲突在所难免. CPGA 算法中引入了启发式的并行遗传算法,通过跨层自适应调节通信时隙、任务目标等参数,降低了相邻感知节点竞争同一个时隙从而引发的通信冲突的概率.由于无线传感器网络一般都具有较高的节点密度和数目众多的节点数,且计算资源和能量又十分有限,而通信时隙及任务目标分配等复杂问题一般为高复杂度 NP 难问题.为了确保资源分配的实时性,本文采用低复杂度的分布式并行遗传算法,将上述资源分配问题进行并行化转换,然后进行分布式计算,从而能降低计算的复杂度,并在较短时间内得出较优的结果. CPGA 算法的关键步骤主要有:节点分簇,效用函数的建立,个体编码及种群混沌初始化,种群的交叉和变异,节点簇间个体的迁移,适应度计算等.

3.1. 节点分簇

在无线传感器网络中,监测范围中的节点可分为两类,一类是通信距离较短、能量较少、主要负责感知任务的感知节点;另一类是能量供应相对充足、计算处理能力较强、通信能力较远、主要负责通信任务的汇聚节点.如图2所示,整个网络采用分层结构,全网的节点被划分为相对独立的节点簇.在每个节点簇内,数据从感知节点汇集到汇聚节点后,通过直接或多跳通信被传送到监测环境外的网关节点.由于汇聚节点负责本地节点簇内所有感知节点的数据汇聚和转发,因此本地节点簇内所有感知节点的数据覆盖范围可以被设为较小值,只覆盖所在节点簇的范围,从而节约了能量,延长了节点的使用寿命.采用资源分配算法解决节点间通信干扰问题,必须保证每个节点簇内的所有节点不同时使用同一通信频段的相同时隙.簇间的信息交互通过汇聚节点进行,每个汇聚节点定期和相邻簇的汇聚节点交换频谱使用信息及监测目标分配信息,以保证通信时隙分配和监测目标分配的合理性,避免通信冲突.

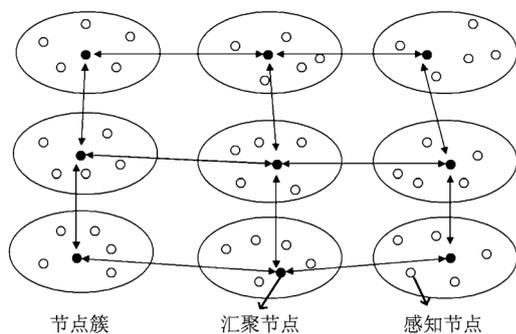


图2 节点簇通过汇聚节点相互交互

3.2. 效用函数的建立

在无线传感器网络资源分配问题中,效用函数表征了网络对感知任务的完成效果.一般而言,无线传感器网络中感知节点的数目要远大于任务目标数,因此需要根据节点的剩余能量情况、被探测目标的重要程度、传感器与被探测目标的距离及传感器的探测范围等情况来建立效用函数.

针对拥有 M 个被探测目标和 N 个感知节点的传感器网络 ($N \gg M$),算法首先对被探测目标的重

要程度进行量化.当被探测的 M 个目标的重要程度依次被量化为 $\mathbf{G} = \{g_1, g_2, \dots, g_M\} (g_m \geq 0)$ 后,算法对被探测目标的重要性进行如下式的归一化:

$$\mathbf{T} = \frac{1}{g_{\max}} \cdot \mathbf{G}, \quad (1)$$

得到被探测目标重要程度归一化向量为

$$\mathbf{T} = \{t_1, t_2, \dots, t_M\} \quad (0 \leq t_m \leq 1). \quad (2)$$

根据感知节点感知范围的大小及节点与任务目标间的距离,算法将对感知距离的有利程度进行量化.设感知节点 i 对任务目标 j 的有利程度为 $c_{m,n}$,当目标超出了感知节点的探测范围时,有利程度将被置为 0;而当感知节点与被探测任务目标距离越近时, $c_{m,n}$ 越大.根据如上原则,算法将感知节点对

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} c_{1,1} & c_{1,2} & \dots & c_{1,N-1} & c_{1,N} \\ c_{2,1} & c_{2,2} & \dots & c_{2,N-1} & c_{2,N} \\ \vdots & & c_{m,n} & & \vdots \\ c_{M-1,1} & c_{M-1,2} & \dots & c_{M-1,N-1} & c_{M-1,N} \\ c_{M,1} & c_{M,2} & \dots & c_{M,N-1} & c_{M,N} \end{bmatrix} \quad (c_{m,n} \geq 0). \quad (3)$$

同样,感知节点的有利程度矩阵可以进行如下归一化:

$$\mathbf{P} = \frac{1}{c_{\max}} \cdot \mathbf{C}. \quad (4)$$

归一化后的感知节点有利程度矩阵如下:

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & \dots & p_{1,N-1} & p_{1,N} \\ p_{2,1} & p_{2,2} & \dots & p_{2,N-1} & p_{2,N} \\ \vdots & & p_{m,n} & & \vdots \\ p_{M-1,1} & p_{M-1,2} & \dots & p_{M-1,N-1} & p_{M-1,N} \\ p_{M,1} & p_{M,2} & \dots & p_{M,N-1} & p_{M,N} \end{bmatrix} \quad (0 \leq p_{m,n} \leq 1). \quad (5)$$

考虑到感知节点能量的有限性,算法根据感知节点的剩余能量对有利程度矩阵进行修正,将节点的剩余能量量化并归一化为

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} q_1 \\ \vdots \\ q_n \\ \vdots \\ q_N \end{bmatrix} \quad (0 \leq q_n \leq 1). \quad (6)$$

为完成目标探测任务,需要将网络中的 N 个感知节点分配到 M 个探测目标上,从而得到目标分配矩阵

$$A = \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \cdots & a_{1,N-1} & a_{1,N} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \cdots & a_{2,N-1} & a_{2,N} \\ \vdots & & a_{m,n} & & \vdots \\ a_{M-1,1} & a_{M-1,2} & \cdots & a_{M-1,N-1} & a_{M-1,N} \\ a_{M,1} & a_{M,2} & \cdots & a_{M,N-1} & a_{M,N} \end{bmatrix} \quad (a_{m,n} \in \{0,1\}). \quad (7)$$

矩阵中对应元素 $a_{m,n}$ 取 1 代表将探测第 m 个目标的任务分配给第 n 个传感器完成, 取 0 则表示对应位置传感器不对该目标进行探测. 在部分无线传感器网络中, 每个感知节点每次只能对一个任务目标进行探测, 即矩阵的每列只能有一个非零元素, 如下所示:

$$\sum_{m=1}^M a_{m,n} = 1 \quad (n \in \{1,2,\dots,N\}). \quad (8)$$

在部分无线传感器网络中, 根据被探测目标的重要程度和任务的具体需求, 规定第 m 个被探测目

标必须有至少有 d_m 个传感器探测, 以确保探测任务的完成, 则探测目标 m 的传感器数目约束为

$$\sum_{n=1}^N a_{m,n} \geq d_m \quad (m \in \{1,2,\dots,M\}). \quad (9)$$

综上所述, 在 CPGA 算法中效用函数为

$$E = T \times (A \cdot P) \times Q = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N t_m(a_{m,n} \cdot p_{m,n}) q_n, \quad (10)$$

式中 E 代表传感器网络经过配置后的效用函数, T 是目标的重要性向量, A 为感知节点的目标分配矩阵, P 为感知节点有利程度矩阵, Q 为感知节点的剩余能量矩阵. 资源分配算法的目的即适当地配置感知目标矩阵, 将任务目标分配给合适的感知节点以保证该函数的值达到最大.

考虑到部分无线传感器网络存在如 (8) 式和 (9) 式所示的限制条件, 算法对效用函数做如下修正:

$$E = \begin{cases} T \times (A \cdot P) \times Q = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N t_m(a_{m,n} \cdot p_{m,n}) q_n & (\sum_{m=1}^M a_{m,n} = 1 \text{ 且 } \sum_{n=1}^N a_{m,n} \geq d_m), \\ 0 & (\sum_{m=1}^M a_{m,n} \neq 1 \text{ 或 } \sum_{n=1}^N a_{m,n} < d_m). \end{cases} \quad (11)$$

修正时加入了对效用函数的限制条件, 以保证每个感知节点只探测一个任务目标, 同时每个任务目标均有 d_m 个传感器探测.

3.3. 个体编码及种群混沌初始化

CPGA 算法首先利用混沌序列生成一定数量的初始资源分配方案, 然后将初始的资源分配方案的集合作为混沌并行遗传算法中的初始种群. 算法将初始种群划分为多个子种群, 并将每个子种群分配给网络中的不同节点簇上的处理器. 所有节点簇并行完成遗传算法选择, 重组, 交叉, 变异以及适应度的计算运算, 不同节点簇之间通过汇聚节点进行定期通信, 以交换适应度较好的资源分配方案个体 (以下简称个体). 这样, 通过不同节点簇的并行计算, 资源分配问题能在较短的时间内得到有效解, 保证了问题求解的实时性.

设无线传感器网络中有 M 个待探测的任务目标, N 个活动的感知节点, 每个节点簇中有 L 个感知节点, K 个可用的通信时隙, 则 CPGA 资源分配算法在无线传感器网络中的目标分配个体矩阵及通信

时隙分配个体矩阵分别可表示为

$$A = \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \cdots & a_{1,N-1} & a_{1,N} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \cdots & a_{2,N-1} & a_{2,N} \\ \vdots & & a_{m,n} & & \vdots \\ a_{M-1,1} & a_{M-1,2} & \cdots & a_{M-1,N-1} & a_{M-1,N} \\ a_{M,1} & a_{M,2} & \cdots & a_{M,N-1} & a_{M,N} \end{bmatrix} \quad (a_{m,n} \in \{0,1\}), \quad (12)$$

$$M = \begin{bmatrix} m_{1,1} & m_{1,2} & \cdots & m_{1,L-1} & m_{1,L} \\ m_{2,1} & m_{2,2} & \cdots & m_{2,L-1} & m_{2,L} \\ \vdots & & m_{k,l} & & \vdots \\ m_{K-1,1} & m_{K-1,2} & \cdots & m_{K-1,L-1} & m_{K-1,L} \\ m_{K,1} & m_{K,2} & \cdots & m_{K,L-1} & m_{K,L} \end{bmatrix} \quad (m_{k,l} \in \{0,1\}). \quad (13)$$

在目标分配矩阵 A 中 $a_{m,n} = 1$ 代表无线传感器网络中第 m 个任务目标被分配给第 n 个感知节点, m 和 n 分别为待探测目标和感知节点的序号. 在时隙分配矩阵 M 中 $m_{k,l} = 1$ 表示第 L 个感知节点使用了第 k 个可用的通信时隙, (12) 式和 (13) 式两矩阵

代表了资源分配算法中的个体编码方式. CPGA 资源分配算法的目标即根据监测范围内的监测任务和空闲时隙, 分配给网络中的感知节点最优的任务目标及通信时隙.

为了保证初始种群的随机性, 算法在迭代前采用混沌序列对初始个体进行初始化^[17-21]. CPGA 算法采用二维离散 Henon 映射系统^[22-29]如下:

$$\begin{aligned} x_{n+1} &= a - x_n^2 + by_n, \\ y_{n+1} &= x_n. \end{aligned} \quad (14)$$

该混沌系统的 Jacobian 矩阵行列式为

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial x_{n+1}}{\partial x_n} & \frac{\partial x_{n+1}}{\partial y_n} \\ \frac{\partial y_{n+1}}{\partial x_n} & \frac{\partial y_{n+1}}{\partial y_n} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -2ax_n & b \\ 1 & 0 \end{vmatrix} = -b. \quad (15)$$

初始种群中目标分配个体矩阵 A 与通信时隙分配 M 中的元素分别由二维离散 Henon 映射生成的序列进行混沌初始化, 分别为

$$a_{m,n} = \lceil |x_{m \times N + n}| \rceil - 1 \quad (m \in [1, M], n \in [1, N]), \quad (16)$$

$$m_{k,l} = \lceil |y_{k \times L + l}| \rceil - 1 \quad (k \in [1, K], l \in [1, L]), \quad (17)$$

式中 $\lceil \cdot \rceil$ 符号代表上取整. 在初始化过程中, 混沌序列的遍历性和对初值的敏感性保证了初始种群中个体的均匀随机性^[30-37], 从而提高了搜索进度, 加快了算法的收敛速度.

3.4. 种群的交叉和变异

CPGA 算法中的交叉运算采用均匀交叉的方式, 将个体矩阵的每列都作为潜在的交叉点, 对左右部分按列进行互换. 如图 3 所示, 根据随机产生的掩码样本, 两个父代个体矩阵间进行交叉运算. 如果对应列位置上的掩码为 1, 则 1 号子代个体采用 1 号父代个体的列, 如果掩码为 0, 则采用 2 号父代个体的列. 这样, 交叉运算产生了两个新的资源分配矩阵, 如图 3 所示.

CPGA 算法中变异运算采取随机移位变换的方式, 如图 4 所示, 由于个体每列中只有一个非零元素存在, 算法将以一定概率将个体矩阵中的随机位置的非零元素移至其他行, 由此来产生新的基因, 以防止算法陷入进化停滞并加快收敛速度.

3.5. 节点簇间个体的迁移

在 CPGA 算法中, 每个子种群中的优秀个体通

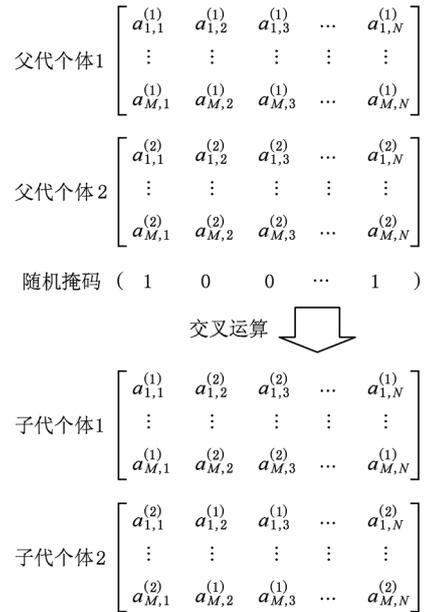


图3 个体的交叉运算

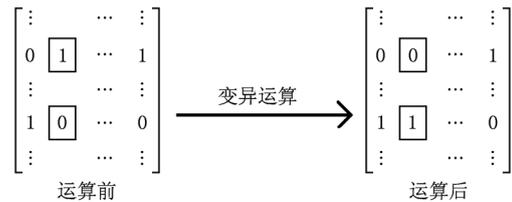


图4 个体的变异运算

过汇聚节点间通信分发给相邻的节点簇, 完成个体的迁移. 通过个体迁移, 适应度高的优秀个体会进入其他节点簇的子种群, 加快了优秀资源分配方案在种群中的传播, 提高了算法的收敛速度.

在迁移过程中, 每次参加迁移的优秀个体的个数占子种群中个体总数的比例被称为迁移率. 当迁移率较高时, 优秀个体在整个群体中传播和扩散速度增加, 提高了算法的收敛速度; 但同时汇聚节点间的通信开销增加, 并导致子种群间多样性下降, 不利于算法同时在多个方向进行搜索, 容易使算法收敛于局部最优值.

相邻两次个体迁移的时间间隔被称为迁移间隔. 较小的迁移间隔会使子种群之间融合速度提高, 使得优良个体被加快传播至其他节点簇, 对群体的进化方向起到良好的指导作用, 有利于提高解的精度和群体的收敛速度. 但通信开销会随迁移间隔的减小而增大. 如果迁移间隔较大, 则汇聚节点间的通信开销会减少, 但是各个节点簇间的子种群

会比较隔绝,导致优良个体不能迅速传播,不利于提高解的精度和收敛速度.

CPGA 算法根据种群适应度自适应地改变迁移率,当种群中个体的适应度较高时,提高种群的迁移率并降低迁移间隔,促进算法向多个方向同时搜索求解;当种群中个体的适应度较低时,增加种群的迁移率并提高迁移间隔,加快算法的收敛速度.这样,拥有优秀个体的节点簇就能将优秀个体及时传播到所有子种群中,对群体的进化方向起到良好

的导向性作用,带动其他节点簇中适应度较低的群体加速进化.

3.6. 适应度计算

适应度函数用于评价个体的优劣程度,适应度函数的选择是决定算法性能的关键因素. CPGA 算法中,定义探测目标分配个体矩阵的适应度函数为如(11)式所示的效用函数,如下式所示:

$$\text{fitness}(A) = \begin{cases} T \times (A \cdot P) \times Q & (\text{矩阵 } A \text{ 中 } \sum_{m=1}^M a_{m,n} = 1 \text{ 且 } \sum_{n=1}^N a_{m,n} \geq d_m), \\ 0 & (\text{矩阵 } A \text{ 中 } \sum_{m=1}^M a_{m,n} \neq 1 \text{ 或 } \sum_{n=1}^N a_{m,n} < d_m). \end{cases} \quad (18)$$

经过适应度函数的评价,拥有较高适应度的资源分配个体被选择参与交叉运算并产生下一代的概率较高,从而产生更优秀的资源分配方案.

算法必须降低在同一的节点簇内使用相同时隙的感知节点数目,以降低在通信过程中节点间产生通信冲突的概率.对于通信时隙分配个体矩阵 CPGA 算法设定适应度函数为

$$\text{fitness}(M) = - \sum_{k=1}^K [(\sum_{l=1}^L m_{k,l}) - 1]. \quad (19)$$

这样,当节点的冲突时隙越多时,对应通信时隙分配个体矩阵的适应度就越低,即被选择参与产生下一代个体的概率就越小.随着算法的迭代,资源分配方案中时隙冲突的概率将逐渐降低,最终得到满足性能要求的通信时隙分配方案.

3.7. CPGA 算法的基本流程

CPGA 算法的基本流程如图 5 所示,首先由混沌序列随机生成初始种群,并根据节点簇的数量将初始种群划分成子种群,随后利用启发式算法对时隙分配进行动态调整,降低节点间的通信冲突概率.通过并行遗传算法中的选择、交叉、变异过程,及汇聚节点间的相互交流,不断提高种群中资源分配方案的优秀程度,并动态地调整迁移率和迁移间隔,最终运用算法得到的资源分配方案来进行无线传感器网络的资源分配.

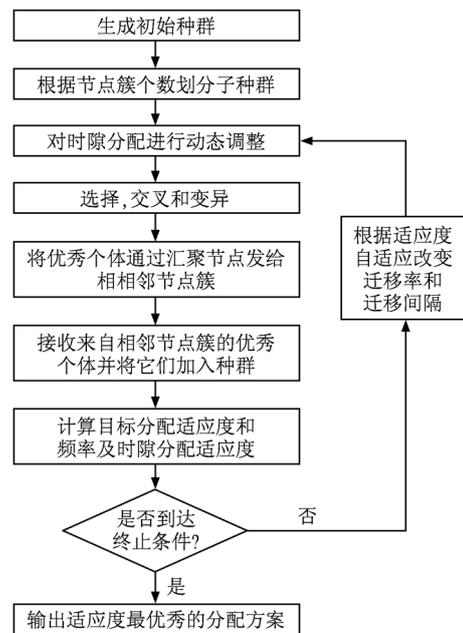


图 5 CPGA 算法的基本流程

4. 仿真及结果分析

仿真时,设监测范围为 500 m × 500 m,待探测目标及感知节点在场地内随机位置分布,感知节点有效感知半径为 50 m,簇半径为 120 m,忽略簇间边缘节点的相互干扰,每个感知节点只能探测一个任务目标,探测每个任务目标需要 3 个或 3 个以上的感知节点. CPGA 算法中个体数目取 80,交叉概率取

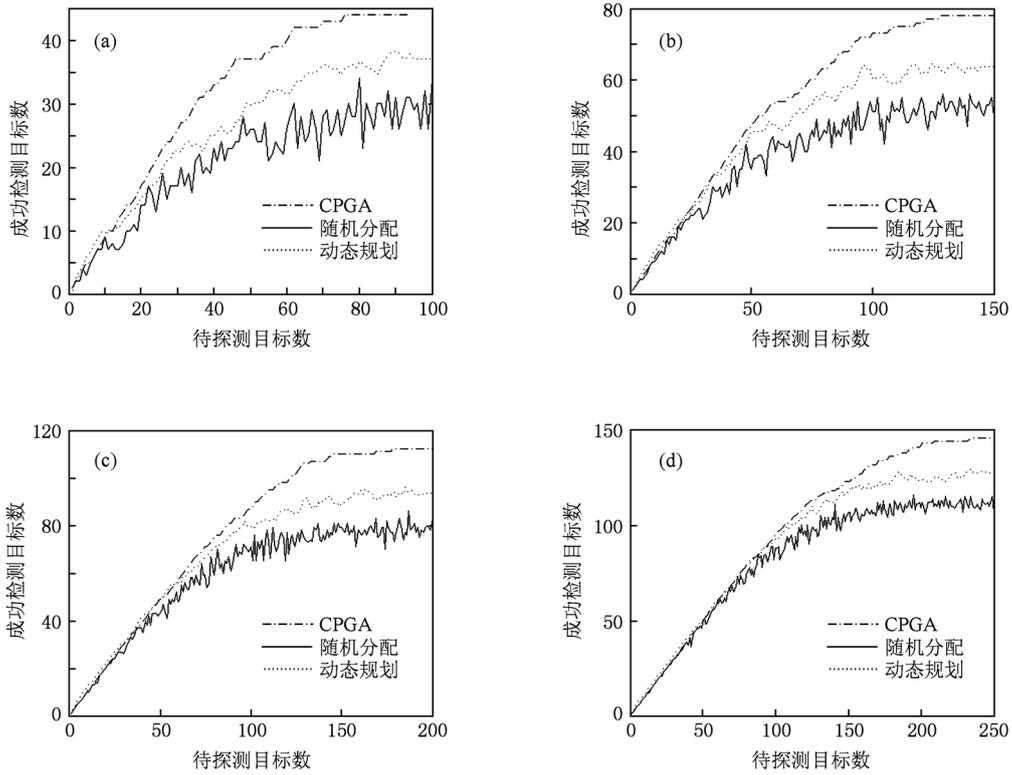


图6 不同感知节点数目条件下成功检测到的目标数 (a) 200个感知节点;(b) 300个感知节点;(c) 400个感知节点;(d) 500个感知节点

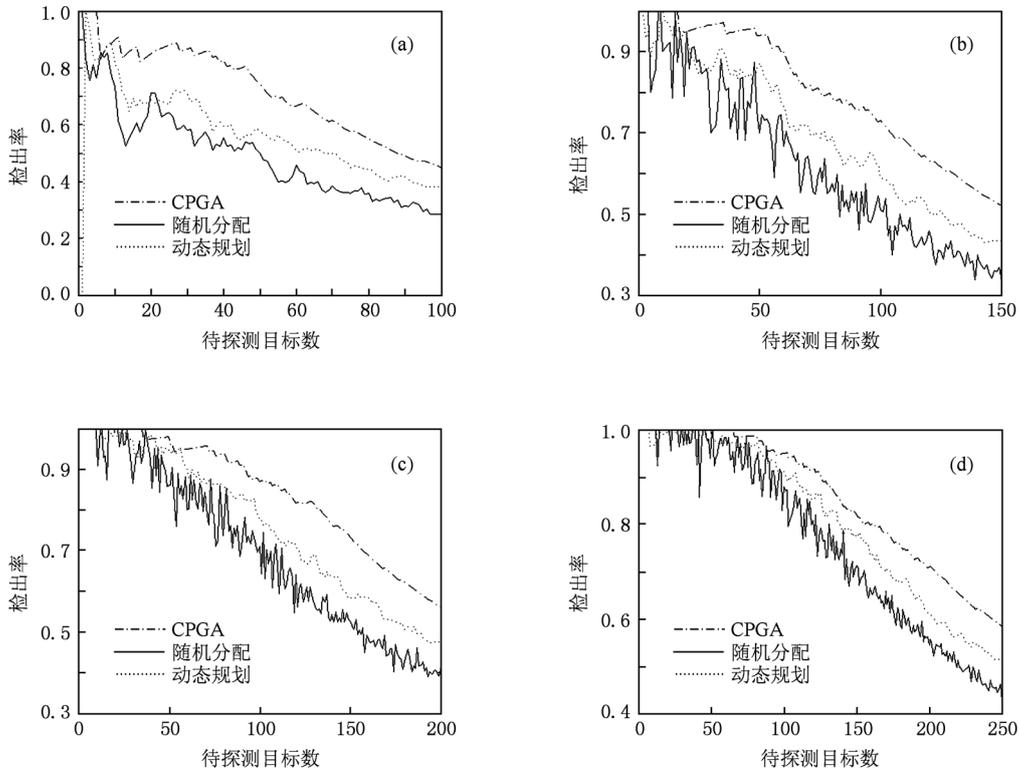


图7 不同感知节点数目条件下的检出率 (a) 200个感知节点;(b) 300个感知节点;(c) 400个感知节点;(d) 500个感知节点

0.8, 变异概率取 0.06, 最大迭代次数取 120 代.

图 6 和图 7 分别为不同感知节点数目条件下分别采用 CPGA 资源分配方法、随机分配算法、动态规划算法进行目标分配所成功检测到的目标数和检出率随待检测目标数的变化结果. 由仿真结果可以看出, 随机分配算法性能较差, 很容易出现一个区域内的大多数传感器集中探测一个目标而忽略了其他目标, 造成了探测区域的空白, 成功检测到的目标数较少, 目标检出率较低. 动态规划算法在节点数较少时可以起到良好的检测效果, 检出率比随机分配算法有所提高, 但当待探测目标数较多时容易出现探测目标的传感器数量少于 3 个的情况, 检出率随目标数增加下降较快. CPGA 算法通过节点簇间的相互交互及自适应改变算法参数, 有效提高了算法的性能, 成功检测到的目标数较多, 在目标数较少时检出率较高, 且检出率随待检测目标数的增加下降缓慢, 达到了较好的检测效果.

图 8 为不同待探测目标数条件下分别使用

CPGA 资源分配方法、T-MAC 协议及 S-MAC 协议进行资源分配时产生通信冲突的概率随感知节点数目的变化图. 由图 8 可以看出, 由于 S-MAC 协议假定节点间通信数据量较少且通信冲突可以由节点间协商解决, 当传感器网络中需要进行通信的感知节点数较多时, 各个节点集中通信所产生的突发数据流使得通信冲突的概率很快上升. T-MAC 协议采用动态可调的活动状态时间进行通信, 减少了空闲侦听的功耗, 适用于突发数据流的情况. 但随着感知节点数的增加, T-MAC 协议存在早睡问题, 使得通信吞吐量较低, 延迟较高等问题逐渐暴露, 通信冲突概率随之上升. CPGA 算法由于采用了并行遗传算法对时隙进行自适应分配, 有效的避免节点间的通信冲突, 能够在感知节点数较多的情况下将通信冲突的概率保持在较低的水平, 有效的减小了通信时延并降低了感知节点的能量消耗, 提高了对目标检测的实时性.

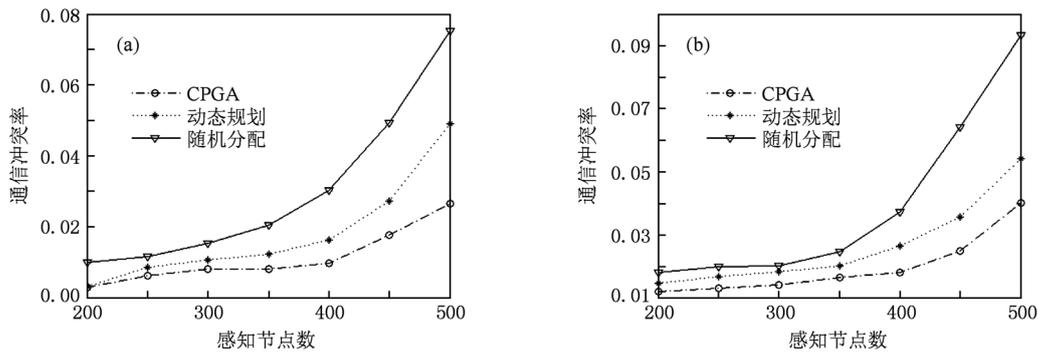


图 8 不同待探测目标数条件下的通信冲突概率 (a) 100 个待探测目标; (b) 150 个待探测目标

5. 结 论

随着无线传感器网络技术的不断发展, 多目标多任务环境下的资源分配问题已经成为传感器网络中的一个关键问题. 本文提出了一种基于混沌并

行遗传算法的多目标无线传感器网络跨层资源分配方法, 对无线传感器网络的资源分配方式进行跨层整体优化. 仿真结果表明, 该方法具有目标检测成功率高, 能量消耗少等优点, 在降低了无线传感器网络功率消耗的同时提高了对目标检测的实时性.

[1] Mukhopadhyay S, Schurgers C, Panigrahi D, Dey S 2009 *IEEE Transactions on Mobile Computing* **8** 528
 [2] Boukerche A, Samarah S 2009 *IEEE Transactions on Vehicular Technology* **58** 4426
 [3] Du J Z, Shi W S 2008 *IEEE Transactions on Vehicular Technology* **57** 3723

[4] Raymond D R, Marchany R C, Brownfield M I, Midkiff S F 2009 *IEEE Transactions on Vehicular Technology* **58** 367
 [5] Woonsik L, Minh N, Verma A, Hwang L 2009 *IEEE Transactions on Wireless Communications* **8** 4375
 [6] Merhi Z, Elgamel M, Bayoumi M 2009 *IEEE Transactions on Mobile Computing* **8** 1690

- [7] Boukerche A, Samarah S 2008 *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems* **19** 865
- [8] Chen F X, Zhang W D 2007 *Chin. Phys.* **16** 937
- [9] Wang F Q, Liu C X 2007 *Chin. Phys.* **16** 946
- [10] Xiao Y Z, Xu W 2007 *Chin. Phys.* **16** 1597
- [11] Wu W, Cui B T 2007 *Chin. Phys.* **16** 1889
- [12] Kwan-Wu C 2009 *IEEE Transactions on Consumer Electronics* **55** 1898
- [13] Akyildiz I F, Melodia T, Chowdhury K R 2008 *Proceedings of the IEEE* **96** 1588
- [14] Kulkarni S, Iyer A, Rosenberg C 2006 *IEEE/ACM Transactions on Networking* **14** 793
- [15] Shah-Mansouri V, Wong V 2009 *IEEE Transactions on Wireless Communications* **9** 1924
- [16] Wang Xin, Wang Di, Zhuang H Q, Morgera S D 2010 *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* **28** 1063
- [17] Yan H, Wei P, Xiao X C 2009 *Chin. Phys. B* **18** 3287
- [18] Luo X H 2009 *Chin. Phys. B* **18** 3304
- [19] Peng J H, Yu H J 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 4353 (in Chinese) [彭建华、于洪洁 2007 物理学报 **56** 4353]
- [20] Liu X W, Huang Q Z, Gao X, Shao S Q 2007 *Chin. Phys.* **16** 2272
- [21] Sun Z K, Xu W, Yang X L 2007 *Chin. Phys.* **16** 3226
- [22] Zhang J S 2007 *Chin. Phys.* **16** 352
- [23] Wang G Y, Zheng Y, Liu J B 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 3113 (in Chinese) [王光义、郑艳、刘敬彪 2007 物理学报 **56** 3113]
- [24] Liu Y Z, Jiang C S, Lin C S, Jiang Y M 2007 *Chin. Phys.* **16** 660
- [25] Gao B J, Lu J A 2007 *Chin. Phys.* **16** 666
- [26] Wang X Y, Meng J 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 3780 (in Chinese) [王兴元、孟娟 2009 物理学报 **58** 3780]
- [27] Wang G Y, Liu J B, Zheng X 2007 *Chin. Phys.* **16** 2278
- [28] Xu Y, Zhang J X, Xu X, Zhou H 2007 *Chin. Phys.* **16** 2285
- [29] Fan L, Xia G Q, Wu Z M 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 989 (in Chinese) [樊利、夏光琼、吴正茂 2009 物理学报 **58** 989]
- [30] Zhou P 2007 *Chin. Phys.* **16** 1263
- [31] Lu J J, Liu C X 2007 *Chin. Phys.* **16** 1586
- [32] Hu J B, Han Y, Zhao L D 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 2235 (in Chinese) [胡建兵、韩焱、赵灵冬 2009 物理学报 **58** 2235]
- [33] Li G H 2007 *Chin. Phys.* **16** 2608
- [34] Wang S, Cai L, Li Q, Wu G 2007 *Chin. Phys.* **16** 2631
- [35] Gao J H, Xie L L, Peng J H 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 5218 (in Chinese) [高继华、谢玲玲、彭建华 2009 物理学报 **58** 5218]
- [36] Wu Z M, Xie J Y 2007 *Chin. Phys.* **16** 1901
- [37] Song Y Z 2007 *Chin. Phys.* **16** 1918

Allocation of multi-objective cross-layer wireless sensor network resource based on chaotic parallel genetic algorithm*

Zhou Jie[†] Liu Yuan-An Wu Fan Zhang Hong-Guang Zu Yun-Xiao

(School of Electronic Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

(Received 16 November 2010; revised manuscript received 13 December 2010)

Abstract

A chaotic parallel genetic algorithm for the allocation of a multi-objective cross-layer wireless sensor network resource is provided, in which chaotic sequence and parallel genetic algorithm are used to dynamically adjust target selection, communication time slots and other parameters for optimizing the global cross-layer resource allocation. Simulations are conducted to compare the chaotic parallel genetic algorithm method with random allocation algorithm, dynamic programming algorithm, T-MAC protocol and the S-MAC protocol separately. The simulation results show that the chaotic parallel genetic algorithm has a small communication delay and high success rate of target detection, which reduces the power consumption and improves the real-time characteristic of wireless sensor network.

Keywords: wireless sensor network, radio resource management, Henon map, parallel genetic algorithm

PACS: 05. 45. Pq, 05. 65.+ b

* Project supported by the National High Technology Research and Development Program of China (Grant No. 2008AA012211), the Young Scientists Fund of the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 61003279) and the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 60973111).

[†] E-mail: zhoujie-1115@163.com