



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105101233 A

(43) 申请公布日 2015. 11. 25

(21) 申请号 201510560399. 3

(22) 申请日 2015. 09. 02

(71) 申请人 武汉大学

地址 430072 湖北省武汉市武昌珞珈山

(72) 发明人 周怀北 邵珩 孔若杉 胡继承

(74) 专利代理机构 北京华沛德权律师事务所

11302

代理人 房德权

(51) Int. Cl.

H04W 16/18(2009. 01)

H04W 52/02(2009. 01)

H04W 84/18(2009. 01)

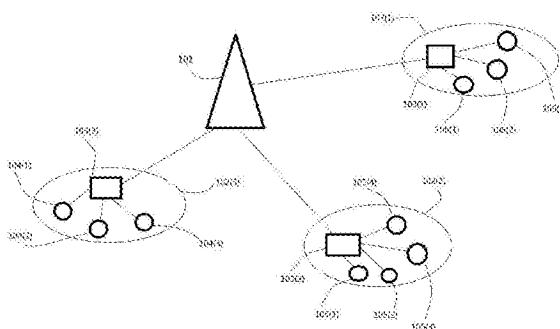
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种能量节约型无线传感器网络的构造和维护方法

(57) 摘要

本发明公开了一种能量节约型无线传感器网络的构造和维护方法,尤其是涉及一种利用超图理论的能量节约型无线传感器网络的构造方法。本方案包括图论、算法设计、统计学以及数学建模,为无线传感器网络的构造和优化提出了一种新技术。



1. 一种能量节约型无线传感器网络的构造和维护方法,其特征在於:

通过构建一个定位系统,监测每一个传感器节点的位置信息;

通过超图理论对无线传感器网络进行划分和成簇;

通过调整每个传感器节点的传输功率来达到功率控制的目的;

通过节点所属的簇头,对传感器节点的状态进行调度,从而达到节约能量的目的。

2. 根据权利要求 1 所述的能量节约型无线传感器网络的构造和维护方法,其特征在於:通过构建一个定位系统,监测每一个传感器节点的位置信息,

该定位系统为每一个传感器节点提供位置信息查询机制,所以基站、簇头节点和其他普通节点都可以随时获取网络中各个节点的位置信息。

3. 根据权利要求 1 所述的能量节约型无线传感器网络的构造和维护方法,其特征在於:

每个传感器节点均由四个部分组成,分别为传感模块、处理模块、能量模块以及通信模块;

传感器节点之间在处理速度和存储容量方面差异巨大,所以那些处理速度快,存储容量大的节点更有可能成为簇头节点。

4. 根据权利要求 1 所述的能量节约型无线传感器网络的构造和维护方法,其特征在於:

该无线传感器网络是异构的,节点之间在硬件方面以及工作环境方面都有可能差异巨大;

无线传感器网络在划分和成簇之后,其将由一个或者多个基站,一定数量的簇头节点和其他普通传感器节点组成。

5. 根据权利要求 1 所述的能量节约型无线传感器网络的构造和维护方法,其特征在於:通过调整每个传感器节点的传输功率来达到功率控制的目的,

缩小各个传感器节点的通信功率,直至其能够与离自己最远的邻居节点通信,因此在减小传感器节点通信功率的同时,也保证了网络的连通性和覆盖范围。

6. 根据权利要求 1 所述的能量节约型无线传感器网络的构造和维护方法,其特征在於:通过节点所属的簇头,对传感器节点的状态进行调度,从而达到节约能量的目的,

传感器节点的状态调度能够使节点状态在睡眠、工作和空闲之间周期性切换;

睡眠状态使节点能够避免因为空闲监听对于能量的浪费;

空闲状态作为一个缓冲,尤其是当多个节点同时作为一个将要切换为睡眠状态的节点的候补时,如此可以避免因多个节点重复工作所造成的能量损失。

7. 根据权利要求 4 所述的能量节约型无线传感器网络的构造和维护方法,其特征在於:基站和簇头节点,

它们都在网络架构中有着至关重要的作用,其中,基站保存所有传感器节点的位置信息,而簇头节点是从每个基于超图理论而被划分出的簇中选择出来的;

当传感器网络中出现多个基站时,只有一个基站充当生成网络架构的角色,而其他节点虽然也保存网络中节点的位置信息,但是它们只是作为该基站的候补。

8. 根据权利要求 7 所述的能量节约型无线传感器网络的构造和维护方法,其特征在於:基于超图理论的划分和成簇,

超图分割可以分为三个阶段,分别为粗化阶段,初始划分阶段和细化阶段;
超图分割被迭代执行,从而不断的对网络进行二分,直至达到模块度最优;
成簇在超图分割的粗化阶段中被执行,其通过 MHEC 算法将各个传感器节点融合到簇里面。

9. 根据权利要求 8 所述的能量节约型无线传感器网络的构造和维护方法,其特征在于:

模块度的大小表示了一个簇的内聚性;

通过寻找最优模块度,就可以自动的寻找到基于超图理论的最优划分数 k ,从而避免了人工计算最优划分数的工作。

10. 根据权利要求 8 所述的能量节约型无线传感器网络的构造和维护方法,其特征在于:基于超图理论的划分和成簇,

簇头的选择是基于传感器节点的权值 W_c 得到的, W_c 的表达式具体为:

$$W_c = C_t * \frac{E_r}{P_c} + C_p * P_a$$

其中, E_r 为传感器节点的剩余能量; P_c 为当该节点被选为簇头节点时,该节点的运行的功率; P_a 为当该节点被选为簇头节点时,所有节点的运行的功率总和; C_t 和 C_p 分别是 E_r/P_c 和 P_a 的因子。

11. 根据权利要求 8 所述的能量节约型无线传感器网络的构造和维护方法,其特征在于:超图划分的粗化阶段,

在粗化阶段会通过 MHEC 算法迭代地生成一个超图序列,在该序列中超图的粗化程度不断呈递增趋势。

12. 根据权利要求 8 所述的能量节约型无线传感器网络的构造和维护方法,其特征在于:超图划分的初始划分阶段,

初始划分阶段分为两个步骤完成,其一,按 BFS 算法随机从一个节点 v 开始搜索节点,直至搜索到的节点占整个超图的比率为 ρ ;

其二,保留十个划分效果最好的划分策略,以便在细化阶段选出最终的划分策略。

13. 根据权利要求 8 所述的能量节约型无线传感器网络的构造和维护方法,其特征在于:超图划分,

超图划分的细化阶段包含单一节点移动,其目的在于通过在分割线附近移动节点来增加模块度 Q 的值,从而达到获取最优模块度的目的。

14. 根据权利要求 12 所述的能量节约型无线传感器网络的构造和维护方法,其特征在于:超图划分的细化阶段,

细化阶段由三个部分组成,其一,计算每个分割线附近的节点的 ΔQ 值,此时这些节点的状态为未锁住的;

其二,移动 ΔQ 值最大的节点到分割线的另外一边,并设置该节点的状态为锁住的;

其三,更新所有分割线附近的节点的 ΔQ 值,然后重复第二步操作,直至所有分割线附近的节点的状态都为锁住的或者它们的 ΔQ 值都不大于 0。

一种能量节约型无线传感器网络的构造和维护方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种能量节约型无线传感器网络的构造和维护方法,尤其是涉及一种利用超图理论的能量节约型无线传感器网络的构造方法。本方案包括图论、算法设计、统计学以及数学建模,为无线传感器网络的构造和优化提出了一种新技术。

背景技术

[0002] 无线传感器网络 (WSN) :WSN 是一种分布式传感器网络,它的末梢是可以感知和检查外部世界的传感器。WSN 中的传感器通过无线方式通信,因此网络设置灵活,设备位置可以快速更改,还可以跟互联网进行有线方式或者无线方式的连接。

[0003] 超图理论 :超图是普通图的泛化,它的一条边(超边)可以包含的结点数不少于 2 个。超图的一般定义为 $H = (V, E)$,其中 V 为所有的节点的集合, E 为所有超边的集合,且 E 的元素均为 V 的非空子集;有权重的超图的定义为 $H = (V, E, w)$,新添加的参数 w 表示超图 H 中的每一条超边均被分配了权重 w 。此外,还有一种超图类型为 k 均值超图,其特征为超图中的每一条超边的大小(即所包含的结点数)均为 k 。超图划分的目的在于,将超图的节点划分为 k 个大致相等的部分,且出现同一个超图连接多个部分的节点的情况被最小化。

[0004] 模块度 :模块度被用来衡量网络的结构,一个网络的模块度越高说明该网络内部的节点联系越紧密。相应地,这些节点与其他模块的节点联系比较稀疏。模块度经常被用来寻找构造网络的最优化策略。

发明内容

[0005] 本发明主要是解决现有无线传感器网络构成方案所存在的不足 ;提供了一种以超图作为理论基础的能量节约型无线传感器网络构造方法,从全局统筹规划无线传感器网络的拓扑结构,对各个传感器节点进行调度,从而实现一种结构合理,能耗节约型的无线传感器网络拓扑结构。通过引用超图理论,弥补了传统的简单图在信息展示以及划分算法方面的缺陷,它将无线传感器网络划分为多个簇,使整个网络拓扑结构具有层次性,所得的无线传感器网络具有高内聚和低耦合的特性。

[0006] 本发明的技术解决方案是 :

[0007] 一种能量节约型无线传感器网络的构造和维护方法,

[0008] 通过将超图理论运用于全局网络的拓扑结构规划,将无线传感器网络的拓扑结构转化为超图,并对其进行超图划分和聚类,完成高内聚和低耦合的构造 ;

[0009] 通过定位系统来收集每个传感器节点的位置信息,在定位系统的作用下,每个节点会接受到一个时间点 T ,这意味着它们将在时间点 T 一齐向定位系统发送自己的位置信息,从而实现这些位置信息大致的同步 ;

[0010] 通过寻找最优模块度实现对分簇的优化,被划分出来的这些簇具有高内聚和低耦合的特性,因此执行一次随机游走,其活动范围很有可能局限一个簇内,而出现跨簇的可能性比较小 ;

[0011] 通过最小化由簇头节点和基站所组成的主干网络来控制整个网络,它们负责通信的同时,还负责维护网络的连通性、网络覆盖率以及减小整个无线传感器网络的能量消耗;

[0012] 通过对无线传感器网络中传感器节点的调度来减小网络的能量消耗。处于睡眠状态的节点能够避免因为你空闲监听而造成的不必要的能量消耗,它们之后将被其所属的簇头节点唤醒,从而进入工作状态。引入空闲状态的目的在于,使其作为睡眠状态向工作状态转换的过程的缓冲,即当一个处于工作状态的节点将要转换为睡眠状态时,所有的处于睡眠状态的候补节点将进入空闲状态,然后由它们所属的簇头节点来决定最终哪些候补节点进入工作状态,而那些没有被选中的节点将重新进入睡眠状态;

[0013] 通过基于 RNG 的功率控制来实现将所有的传感器节点的通信功率缩小到能够与它的最远邻居节点通信,从而在保证网络连通性的前提下,尽可能减小通信所造成的能量消耗。

[0014] 利用超图理论实现的一种能量节约型无线传感器网络的构造和维护方法,具体构造步骤为:

[0015] 步骤 1:一种能量节约型无线传感器网络的构造和维护方法的实现依赖于能够获取所有的传感器节点的位置信息,所以需要一个定位系统来收集所有的节点位置,并将这些信息存储在基站之中。基站的数目可能不止一个,但是只能在其中一个基站上运行构造方法,而其他的基站只是存储和主基站相同的信息,作为主基站的拷贝或者候补;

[0016] 步骤 2:主基站向每个节点发送一个时间点 T,这意味着所有的传感器节点将在时间点 T 一齐向定位系统发送自己的位置信息,从而实现这些位置信息大致的同步;

[0017] 步骤 3:通过基于 RNG 的功率控制来调节每一个节点的通信功率,将通信功率缩小到能够与它的最远邻居节点通信,从而在保证网络连通性和覆盖率的前提下,尽可能减小通信所造成的能量消耗;

[0018] 步骤 4:将传感器节点映射到超图中的顶点,然后根据传感器节点采集数据的类型形成超边,从而在一条超边中所有的节点采集的数据类型相同,且每个节点至少有一个邻居节点;

[0019] 步骤 5:根据超边内顶点的数量为每一条超边分配权值;

[0020] 步骤 6:基于超图理论对无线传感器网络的超图进行划分和成簇;

[0021] 步骤 7:通过 W_c 在每个簇中选择一个簇头, W_c 的表达式具体为:

$$[0022] \quad W_c = C_t * \frac{E_r}{P_c} + C_p * P_a$$

[0023] 其中, E_r 为传感器节点的剩余能量; P_c 为当该节点被选为簇头节点时,该节点的运行的功率; P_a 为当该节点被选为簇头节点时,所有节点的运行的功率总和; C_t 和 C_p 分别是 E_r/P_c 和 P_a 的因子。

[0024] 步骤 8:对传感器节点在睡眠、空闲和工作三个状态之间进行调度,从而避免不必要的能量消耗。初始化时,所有节点处于工作状态,节点由所属的簇头节点进行调度,并将网络覆盖冗余以及传感器节点的采集数据的频率考虑其中。所以,如果一个节点没必要一直工作或者对于目前的网络的覆盖率来说是冗余的,则这个节点将被调度至睡眠状态,并周期性的唤醒来采集数据;

[0025] 步骤 9: 当一个节点即将从工作状态转换为睡眠状态时, 该节点所属的簇头节点将会选择合适的替换节点, 将这些节点的状态从睡眠状态切换至空闲状态。一个节点最终被选择为替换节点需要根据权值 W 来判断, 权值 W 由节点自己来计算, 其表达式具体为:

$$[0026] \quad W = \frac{E_r}{P}$$

[0027] 其中, E_r 为传感器节点的剩余能量; P 为该节点的通信功率。

[0028] 利用超图理论实现的分割和成簇, 具体构造步骤为:

[0029] 步骤 1: 超图被迭代地二分, 每次二分都根据多层次的超图划分算法进行;

[0030] 步骤 2: 多层次的超图划分算法主要由三个部分组成, 分别为粗化阶段、初始划分阶段和细化阶段;

[0031] 步骤 3: 在粗化阶段, 初始超图基于 MHEC 算法进行, 该算法被应用与粗化阶段的整个过程, 所以超图在粗化阶段的各个层级上都会被进行分簇;

[0032] 步骤 4: 在初始划分阶段, 初始划分是在粗化程度最高的超图上进行的。其具体过程为, 根据 BFS 算法随机从一个节点 v 开始搜索节点, 直至搜索到的节点占整个超图的比率为 ρ , 而 ρ 的值则根据实际情况在 0 到 100 之间调整, 其默认值为 50;

[0033] 步骤 5: 由于初始划分阶段中节点 v 是随机选取的, 所以得出的结果不一定是最优的, 且随着超图的不断细化, 也会对最初的超图划分有影响, 所以在初始划分阶段保存十个效果最好的初始划分, 在细化阶段中根据它们各自的效果进行筛选;

[0034] 步骤 6: 在细化阶段将引用单个节点移动, 其具体含义为通过移动初始划分周围的节点来获取最优模块度 Q , 从而获得最优的划分策略。计算每个分割线附近的节点的 ΔQ 值, 此时这些节点的状态为未锁住的。移动 ΔQ 值最大的节点到分割线的另外一边, 并设置该节点的状态为锁住的。然后更新所有分割线附近的节点的 ΔQ 值, 重复执行上一个操作, 直至所有分割线附近的节点的状态都为锁住的或者它们的 ΔQ 值都不大于 0。

[0035] 在构建完能量节约型无线传感器网络之后, 节点可能离开、加入网络, 也有可能网络中移动, 因此节点参数是动态可变的。所以需要周期性的在主基站上运行超图划分和成簇, 使得网络的最优结构持续有效。

附图说明

[0036] 图 1 是无线传感器网络的拓扑结构示意图。

[0037] 图 2 是简化的网络划分流程示意图。

[0038] 图 3 是简化的超图二分流程示意图。

[0039] 图 4 是超图二分中细化阶段的伪代码示意图。

[0040] 图 5 是单个节点移动的示意图。

具体实施方式

[0041] 图 1 是无线传感器网络的拓扑结构示意图, 它包含一个基站 101 以及一些簇 102(1-3)。每一个簇 102(1-3) 由一个簇头 103(1-3) 和一定数量的传感器节点 104(1-3), 105(1-4), 106(1-3) 组成。

[0042] 其具体构造步骤为:

[0043] 步骤 1:一种能量节约型无线传感器网络的构造和维护方法的实现依赖于能够获取所有的传感器节点 103(1-3), 104(1-3), 105(1-4), 106(1-3) 的位置信息, 所以需要一个定位系统来收集所有的节点 103(1-3), 104(1-3), 105(1-4), 106(1-3) 位置, 并将这些信息存储在基站 101 之中。基站 101 的数量可能不止一个, 但是只能在其中一个基站 101 上运行构造方法, 而其他的基站 101 只是存储和主基站相同的信息, 作为主基站 101 的拷贝或者候补;

[0044] 步骤 2:主基站 101 向每个节点发送一个时间点 T, 这意味着所有的传感器节点 103(1-3), 104(1-3), 105(1-4), 106(1-3) 将在时间点 T 一齐向定位系统发送自己的位置信息, 从而实现这些位置信息大致的同步;

[0045] 步骤 3:通过基于 RNG 的功率控制来调节每一个节点 103(1-3), 104(1-3), 105(1-4), 106(1-3) 的通信功率, 将通信功率缩小到能够与它的最远邻居节点通信, 从而在保证网络连通性和覆盖率的前提下, 尽可能减小通信所造成的能量消耗;

[0046] 步骤 4:将传感器节点 103(1-3), 104(1-3), 105(1-4), 106(1-3) 映射到超图中的顶点, 然后根据节点 103(1-3), 104(1-3), 105(1-4), 106(1-3) 采集数据的类型形成超边, 从而在一条超边中所有的节点采集的数据类型相同, 且每个节点至少有一个邻居节点;

[0047] 步骤 5:根据超边内顶点的数量为每一条超边分配权值;

[0048] 步骤 6:基于超图理论对无线传感器网络的超图进行划分和成簇, 从而在网络中形成多个簇 102(1-3);

[0049] 步骤 7:通过 W_c 在每个簇 102(1-3) 中选择一个簇头 103(1-3), W_c 的表达式具体为:

$$[0050] \quad W_c = C_t * \frac{E_r}{P_c} + C_p * P_a$$

[0051] 其中, E_r 为传感器节点的剩余能量; P_c 为当该节点被选为簇头节点时, 该节点的运行的功率; P_a 为当该节点被选为簇头节点时, 所有节点的运行的功率总和; C_t 和 C_p 分别是 E_r/P_c 和 P_a 的因子。

[0052] 图 2 是简化的网络划分流程示意图, 它被以二叉树 201 的形式展示, 其中原始超图 202 被多层次的超图划分算法迭代地二分。原始超图 202 被二分为两个部分 203(1-2), 而这两个部分 203(1-2) 进一步的被分为四个部分 204(1-4)。如此, 划分被迭代地执行, 直至到达某个设定的条件。

[0053] 超图划分是基于模块度来实施的, 所以迭代在符合以下任意一个条件时停止:

[0054] 条件 1:最优的顶点被找到;

[0055] 条件 2:所有的顶点最终都属于一个簇。

[0056] 图 3 是简化的超图二分流程示意图, 它展示了超图划分的三个阶段 301, 302, 303。这三个阶段分别为:粗化阶段 301、初始划分阶段 302 以及细化阶段 303, 它们的具体执行过程如下:

[0057] 步骤 1:在粗化阶段 301, 初始超图基于 MHEC 算法进行, 该算法被应用与粗化阶段的整个过程, 所以超图在粗化阶段的各个层级上都会被进行分簇;

[0058] 步骤 2:在初始划分阶段 302, 初始划分 304(1) 是在粗化程度最高的超图上进行的。其具体过程为, 根据 BFS 算法随机从一个节点 v 开始搜索节点, 直至搜索到的节点占整

个超图的比率为 ρ ，而 ρ 的值则根据实际情况在 0 到 100 之间调整，其默认值为 50；

[0059] 步骤 3：由于初始划分阶段中节点 v 是随机选取的，所以得出的结果不一定是最优的，且随着超图的不断细化，也会对最初的超图划分有影响，所以在初始划分阶段保存十个效果最好的初始划分，在细化阶段 303 中根据它们各自的效果进行筛选；

[0060] 步骤 4：在细化阶段 303 将引用单个节点移动，其具体含义为通过移动初始划分周围的节点来获取最优模块度 Q ，从而获得最优的划分策略。计算每个分割线附近的节点的 ΔQ 值，此时这些节点的状态为未锁住的。移动 ΔQ 值最大的节点到分割线的另外一边，并设置该节点的状态为锁住的。然后更新所有分割线附近的节点的 ΔQ 值，重复执行上一个操作，直至所有分割线附近的节点的状态都为锁住的或者它们的 ΔQ 值都不大于 0。

[0061] 图 4 是超图二分中细化阶段的伪代码示意图，其中计算和更新 ΔQ 将在算法中起着至关重要的作用。实际上， ΔQ 是在局部范围内完成的，所以对单个节点的移动可能对 Q 的值并没有什么影响。给定一个节点 v ，则有表达式 $\Delta Q_v = \Delta T - \Delta ED$ ，其中 ΔED 可以通过属于同一个簇的超边的权值计算得到， ΔT 表示一个簇的耦合度。

[0062] 图 5 是单个节点移动的示意图。

[0063] 给定一个划分，它将超图分割为超边 $E1$ 501 和超边 $E2$ 502，顶点 B 503 属于第一个部分，而其他顶点 504, 505, 506 属于第二个部分。如果讲顶点 A 504 和顶点 B 505 移动到第一部分，超边 $E1$ 501 将不再被分割，而超边 $E2$ 502 将被分割。相应地， Q 值将会发生变化，但是如果只移动一个节点 A 504， Q 值将不会改变。

[0064] 一个在分割线周围的超边有两个可能的状态，分别为稳定状态和临界状态。在顶点 A 504 被移动之前，超边 $E1$ 501 属于稳定状态，而在移动了顶点 A 504 和顶点 C 505 之后，超边 $E2$ 502 属于连接状态。因此，可以通过计算处于临界状态的超边来获取 ΔQ 的值，通过对同一个超边内的顶点进行计算来更新 ΔQ 的值。

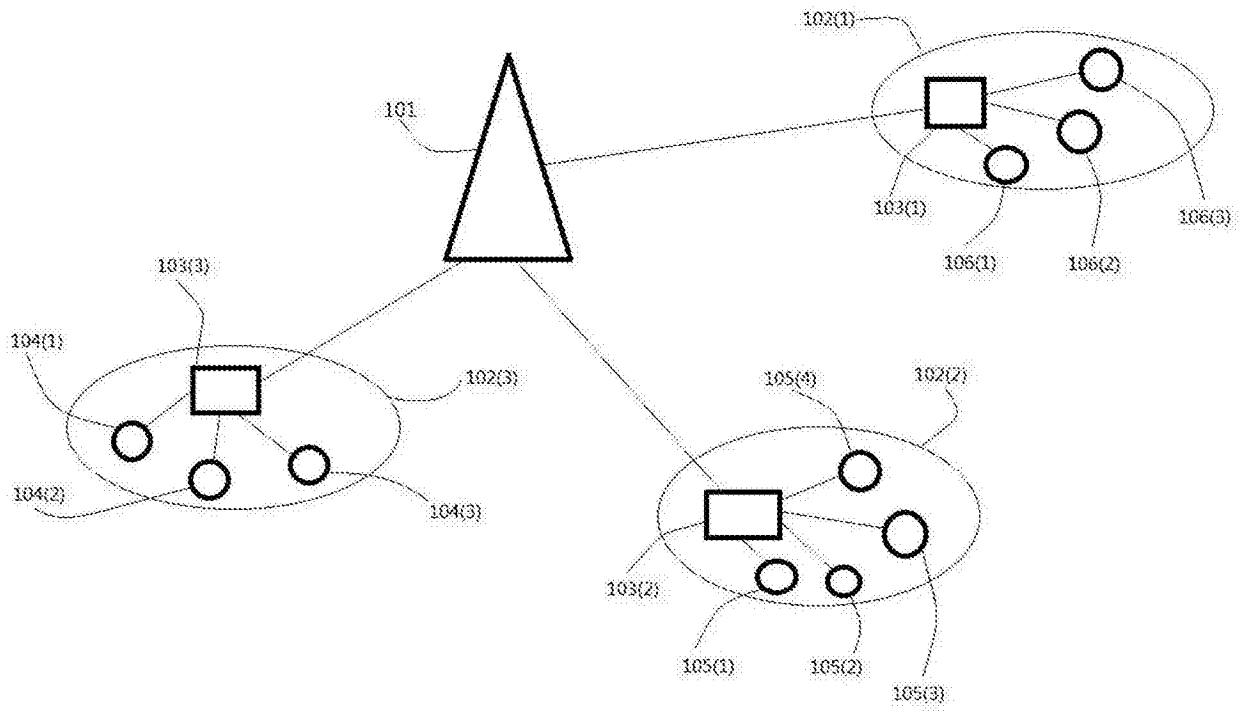


图 1

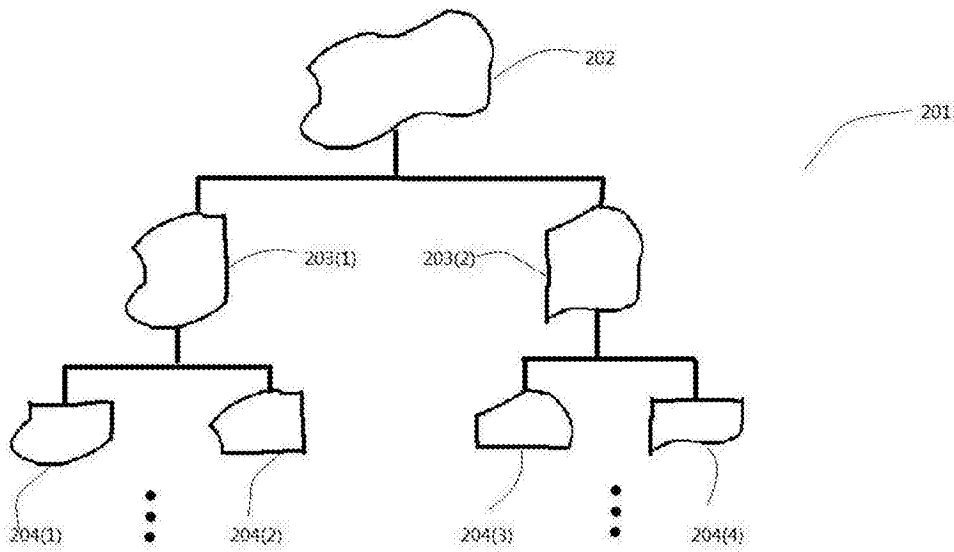


图 2

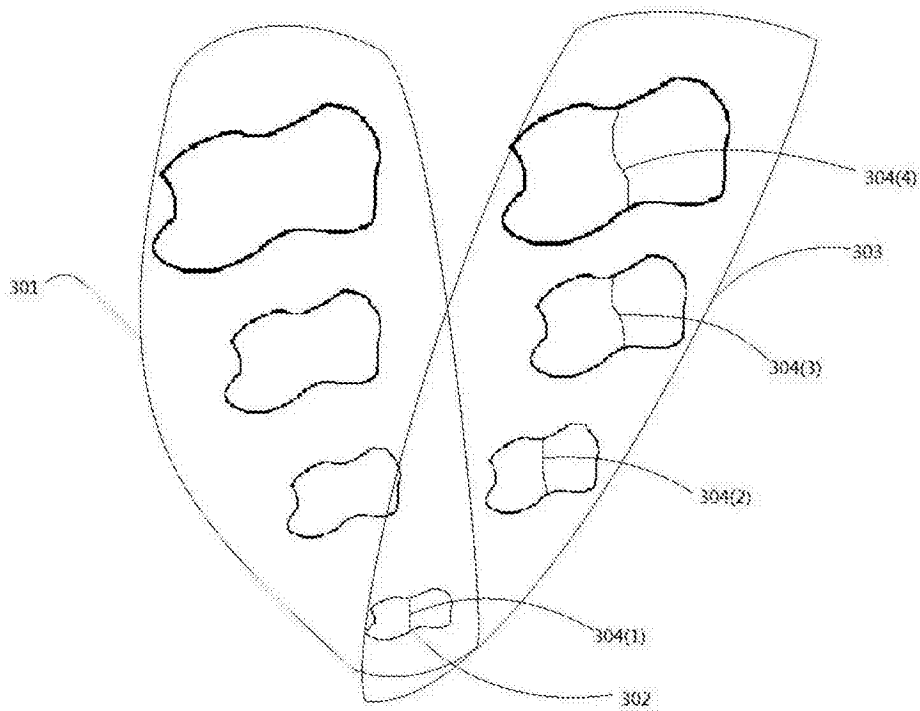


图 3

```

1 FM(hypergraph, partitionment);
2   do
3     initialize Qgain_container from partitionment;
4     FMpass(Qgain_container, partitionment);
5   while(solution quality improves);
6 FMpass (Qgain_container, partitionment)
7   solution_cost = partitionment.get_cost();
8   while(not all vertices locked)
9     move = choose_move(Qgain_container);
10    solution_cost += Qgain_container.get_gain(move);
11    Qgain_container.lock_vertex( move.vertex() );
12    Qgain_update(move);
13    partitionment.apply(move);
14  roll back partitionment to best seen solution;
15  Qgain_container.unlock_all();

```

图 4

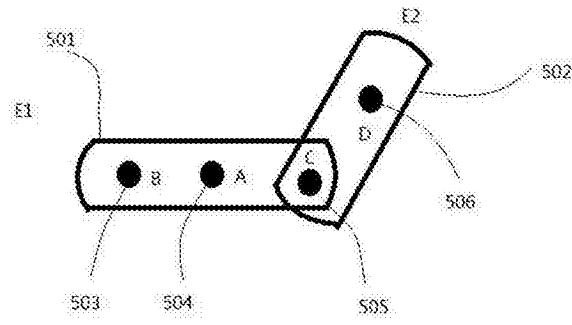


图 5