

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G08B 25/00

G08B 25/10 H04L 12/56



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 02819089.0

[43] 公开日 2005 年 1 月 5 日

[11] 公开号 CN 1561509A

[22] 申请日 2002. 8. 1 [21] 申请号 02819089.0

[30] 优先权

[32] 2001. 8. 3 [33] US [31] 60/309,949

[32] 2002. 7. 30 [33] US [31] 10/208,666

[86] 国际申请 PCT/US2002/024547 2002. 8. 1

[87] 国际公布 WO2003/015452 英 2003. 2. 20

[85] 进入国家阶段日期 2004. 3. 29

[71] 申请人 霍尼韦尔国际公司

地址 美国新泽西州

[72] 发明人 M·F·尤尼斯 K·A·阿里斯哈

M·A·尤塞夫

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

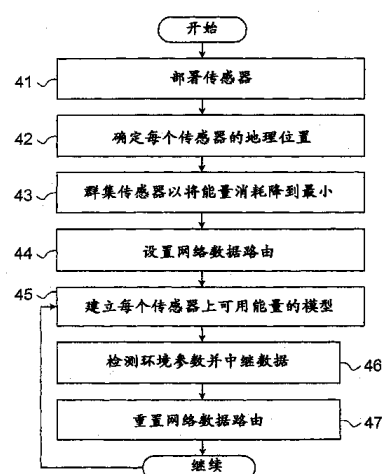
代理人 杨 凯 王 勇

权利要求书 3 页 说明书 18 页 附图 9 页

[54] 发明名称 能量感知网络管理

[57] 摘要

以能量感知方式管理传感器网络的方法包括以下步骤：将传感器群集以将能量消耗降到最小；对网络进行路由选择(步骤 44)；建立每个传感器上可用能量的模型(步骤 45)；以及在传感器电池电量低于预定值时，或者在能量模型由于偏离传感器的实际能量状态而进行调整时对网络重选路由(步骤 47)。



ISSN 1008-4274

1. 一种构建和管理包括无线传感器节点（100）的网络的方法，其中每个传感器能够检测环境参数，接收数字数据，传送数字数据以及中继从另一传感器接收的数字数据，所述方法包括以下步骤：
- a) 在预定地理区域上部署（步骤 41）传感器；
 - b) 确定（步骤 42）每个传感器的地理位置；
 - c) 将所述传感器群集（步骤 43）到多个组中，其中每个组还包括负责从所述组的每个传感器将数据中继到控制节点（11）的网关；
 - d) 在每个网关使用群集范围内的路由表和在所述传感器上的较小的本地转发表，设置（步骤 44）网络数据路由以将能量消耗降到最小，所述路由选择和转发表确定
 - i. 每个传感器是否将要直接从所述网关中的一个特定网关，或者经特定的多个其它所述传感器的中继间接利用一个所述网关来发送和接收数据；以及
 - ii. 每个传感器将何时发送和接收数据；
 - e) 通过使用数学等式对每个传感器上可用能量建模（步骤 45），其中，所述等式顾及了所述传感器执行不同功能的所需时间及每个功能消耗的能量；所述不同功能包括，
 - i. 检测环境参数；
 - ii. 接收数字数据；以及
 - iii. 发送数字数据；
 - f) 检测（步骤 46）环境参数并将数据中继到所述控制节点；以及
 - g) 重新设置（步骤 47）所述网络数据路由以补偿每个传感

器可用能量的改变。

2. 如权利要求 1 所述的方法, 其特征在于对所述网络进行路由选择的所述步骤(步骤 44)使所述网络的总成本函数最小, 其特征在于所述总成本函数还包括以下成本因数:

- 5 a) 通信成本因数(CF1);
- b) 可用剩余能量成本因数(CF2), 它有利于具有较多能量的网络节点或具有较少能量的那些节点;
- c) 能量消耗率成本因数(CF3), 即不利于将启用检测的节点用作中继节点的启用检测成本因数(CF3);
- 10 d) 启用成本因数(CF4), 它有利于使用当前启用的节点而不利于当前不活动的节点, 并且不利于将启用检测的节点用作中继节点; 以及
- e) 路由选择成本因数(CF5), 它避免添加成本超出预定最大值的通信路径。

15 3. 如权利要求 1 所述的方法, 其特征在于对所述网络重选路由的所述步骤(步骤 47)基于以下三个标准:

- a) 传感器重组, 当发生需要重新选择活动传感器的事件时;
- b) 传感器电池电量改变; 以及
- 20 c) 调整对传感器上能量建模的所述数学等式。

4. 一种管理包括无线传感器节点(100)的网络的方法, 其特征在于每个传感器能够检测环境参数, 接收数字数据, 发送数字数据以及中继从另一传感器接收的数字数据, 所述方法包括以下步骤:

- a) 通过创建详细说明所述网络互连性的表格, 设置(步骤
- 25 44)网络数据路由以将能量消耗降到最小, 其中, 所述互连性针对每个所述不同传感器定义,
- (i) 该传感器是否将要直接从所述网关节点中的一个特

定网关节点或经由特定的多个其它所述传感器中继而间接利用一个所述网关节点来发送和接收数据；以及

(ii) 该传感器将何时发送和接收数据；

5 b) 通过使用数学等式对每个传感器的可用能量建模（步骤45），其中，所述等式顾及了所述传感器执行不同功能的时间量及每种功能消耗的能量；所述不同功能包括，

i) 检测环境参数；

ii) 接收数字数据；以及

10 iii) 发送数字数据；

(c) 检测（步骤46）环境参数并将数据中继到所述控制节点；以及

(d) 重新设置（步骤47）所述网络数据路由以补偿每个传感器可用能量的改变。

15 5. 一种管理传感器网络的系统，所述系统包括：

b) 多个传感器，每个传感器能够检测环境参数，所述传感器安排在多个群集中；

c) 与每个所述群集相关联并从其群集中的所述传感器接收传感器数据的网关，所述网关包括详细说明其群集中所述传感器互连性的表格，对它的每个传感器的可用能量建模，以及向其传感器发送控制信号以根据所述传感器可用能量的改变而改变其传感器的连接；以及

20 d) 从每个网关接收传感器数据的控制处理器。

能量感知网络管理

5 发明背景

相关应用

本申请声明要求 2001 年 8 月 3 日提交的临时申请 60/309949 的利益。

10 技术领域

本发明涉及无线网络，更具体地说，涉及管理传感器网络中与数据处理和通信相关的能量消耗。

背景技术

15 将无人看管传感器连网预计会对诸如安全和灾难管理等许多军用和民用领域的效率产生重大影响。这些系统处理从多个传感器收集的数据以监控兴趣区中的事件。此类系统中的传感器一般是一次性产品，预计在其能量耗尽后便失效。因此，能量对于此类传感器系统是很稀有的资源，要合理管理以便延长传感器的寿命，从而满足特定任务的持续时间。

20 传感器通常配有数据处理和通信功能。检测电路测量传感器周围的环境参数，并将它们变换成电信号。处理此类信号可揭示有关传感器附近的对象和发生的事件的一些属性。传感器通常经无线电发送器将此类读出的数据直接或通过数据集中中心（网关）中继到命令中心。网关可将检测的数据合并以便过滤掉错误数据和异常，
25 并从一段时间内报告的数据作出结论。例如，在面向侦察的传感器网络中，传感器数据指示检测到目标，而合并的多个传感器报告用于跟踪和确定检测到的目标。

信号处理和通信活动是传感器能量的主要消耗部分。由于传感器是电池驱动的，因此，始终保持传感器在活动状态将限制电池可持续的时间。因此，要执行具有可接受质量级别的所需功能，并维持足够的传感器能量以便传感器在所需任务的持续时间内可操作，
5 优化组织和管理传感器网络变得至关重要。传感器网络面向任务的组织使得仅一部分经适当选择的传感器会打开，从而避免了浪费不必涉及的传感器的能量。

在有线网络中，重点一般放在最大限度地提高端对端吞吐量和将时延降到最小。通常要计算路径以将跳数或时延降到最小。虽然
10 无线网络从有线网络中继承了此类设计度量标准，但能量限制和信号干扰成了中心问题。由于无线消费装置受欢迎程度日益增加，因此，研究团体对信号干扰给予了最大的关注。

现在需要提高能量效率，特别是在网络由远程部署的无人看管传感器组成时。先有技术致力于提高无线通信的硬件相关的能量效率方面。
15 低功率电子器件、电源关闭模式和能量效率调制是这方面工作的示例。

能量感知路由（energy-aware routing）近年来已受到一定关注，并受到无线移动装置进展的推动。由于维护无线移动网络路由表的开销很高，因此，路由的稳定性成了主要关注的问题。在设计能源
20 有效路由选择协议时，要考虑的问题中包括了电池电容量、发送功率和路由稳定性，这已为人所熟知。已提出用以选择路由以最大限度延长节点电池的耗尽时间的算法。报告的结果显示，为了最大限度提高寿命期，应该对业务进行路由以便在各节点之间按其能量储备均衡能量消耗。

25 长期以来一直需要会确保数据传送具有所需服务质量（QoS）等级及维护网络寿命的能量感知网络管理方法。

发明概述

与提高能量效率的现有工作相反，本发明改进了与数据链路层和网络层协议相关的系统通信软件。具体地说，本发明根据数据收集中的传感器能量消耗和传感器在数据采集中的关联关系，管理多网关传感器网络的拓扑。以数学方式对每个传感器中的剩余电源寿命建模，并对模型加以更新以反应传感器的实际功率状态。有利的是，即使各个传感器一般不能进行持久通信，这种多网关结构也可扩展到覆盖很宽地理区域的大量传感器。为使系统能够处理其它负荷并能够覆盖大的兴趣区域而不会降低服务质量，本发明利用了多个网关的连网群集。在优选实施例中，假定传感器的传输范围受限并且由于需要节约能量，每个网关位于尽可能靠近传感器的位置。

根据本发明的一个方面，传感器按组编排，每个组是具有其单独网关的群集，并且每个群集中传感器的互连可重新予以安排或重选路由以节省各个传感器的能量。每个网关包括用于其群集传感器的群集范围路由表，并且每个传感器包括较小的转发表。因此，某些传感器可直接连接到其群集的网关，而其它传感器可通过其它传感器连接到网关，这些连接可重选路由以节省各个传感器的能量。此外，在某些情况下，重选路由可涉及从一个群集和网关将某个传感器转移到另一个群集和网关。每个群集的网关将根据任务和每个传感器中的可用能量负责传感器组织和网络管理。在知道信号处理中需要使用哪些传感器后，会动态调整网络拓扑以将通信消耗的能量降到最小，从而延长网络的寿命并同时确保数据传输的服务质量（QoS）。

本发明的一个目的是在任一传感器与网关之间提供多跳通信。本发明的另一目的是降低由于链路层上的冲突和重传而产生的时延。

附图简述

几个附图的简要说明

图 1 显示了根据本发明一个特定说明性实施例，包括群集组的分布式传感器网络的体系结构；

图 2 显示了图 1 所示传感器网络的另一视图和传感器正在跟踪的目标；

5 图 3 是适合在图 1 的传感器网络中使用的典型传感器的方框图；

图 4 是根据本发明管理网络的方法步骤的流程图；

图 5 显示了本发明一个说明性实施例中使用的总成本等式；

图 6 显示了构成图 5 中总成本等式的各个成本因数；

10 图 7 显示了确定了适用于本发明某些实施例的网络的最低成本路由的数学算法；

图 8 说明根据本发明特定说明性实施例的一个说明性协议，其中显示了中继给网关的数据传送序列；

图 9 显示了例如用于本发明特定说明性实施例的那些数据时隙分配。

15

图中主要元素的标号列表

下面是附图中按数字顺序显示的主要元素列表。

- | | |
|----|-------------------------------|
| 10 | 第一传感器群集 |
| 11 | 命令节点或处理器 |
| 20 | 15 网关节点（第一传感器群集） |
| 20 | 第二传感器群集 |
| 25 | 网关节点（第二传感器群集） |
| 30 | 第三传感器群集 |
| 35 | 网关节点（第三传感器群集） |
| 25 | 41 方法步骤 - 部署传感器 |
| | 42 方法步骤 - 确定每个传感器的地理位置 |
| | 43 方法步骤 - 将传感器群集在一起以将能量消耗降到最小 |
| | 44 方法步骤 - 形成数据路由 |

- 45 方法步骤 - (在网关)为每个传感器的可用能量建模
- 46 方法步骤 - 检测环境并中继数据
- 47 方法步骤 - 调整数据路由
- 100 无线传感器
- 5 101 接收器(传感器部件)
- 102 发送器(传感器部件)
- 103 处理电路(传感器部件)
- 104 检测电路(传感器部件)
- 105 时钟(传感器部件)

10

本发明详细说明

执行本发明的模式

参照图 1, 它显示了传感器网络的系统体系结构。在此体系结构中, 各个无线传感器 100 组合到由单个命令节点或处理器 11 控制的群集 10、20 和 30 中。这些无线传感器 100 负责探测环境以检测目标或事件。传感器 100 通常仅能够进行短程无线电通信。每个群集 10、20 和 30 具有相关联的网关节点 15、25 和 35, 用于管理群集中的传感器并包括其传感器的群集范围内的路由表。在一个实施例中, 传感器 100 根据通信范围进行群集。在其它实施例中, 传感器 100 根据各个传感器 100 的编号、类型和地理位置进行群集。

传感器从其网关节点接收命令并将读取值发送到其网关节点, 而由该节点处理这些读取值。网关节点可使用命令节点相信的任何群集中的传感器读取值跟踪事件或目标。但是, 属于特殊群集的传感器只可经该群集的网关访问。然而, 在其它实施例中, 每个网关将其群集的传感器数据路由到其它网关。

命令节点或处理器 11 部署在远离传感器之处。命令节点将整个处理器网络群集起来并仲裁网关之间的作业。与传感器相比受到较少能量限制的网关节点经远程通信链路使命令节点与传感器网络接

口。网关节点将通过合并传感器读取值（如检测到的目标的位置和方位）生成的报告发送到命令节点。命令节点向用户提供这些报告并对收集的报告执行系统级的合并以掌握整体情况。

5 现在参照图 3，每个传感器 100 可以工作在在活动模式或低功率备用模式，在低功率备用模式下，检测电路 104 和处理电路 103 的电源会关闭；与每个处理电路 103 相关联或其中包含的是该传感器的转发表。此外，每个传感器 100 的无线电发送器 102 和接收器 101 可单独打开和关闭，并且可根据所需传输距离编程设定发送功率。每个传感器 100 可充当无线电中继器以转发另一传感器的数据。这
10 些功能中的某些功能如低功率备用模式，可在现有技术的无线传感器上获得，例如 Sen Tech 公司的声弹道模块（Acoustic Ballistic Module）。

每个传感器 100 的板上时钟 105 与其相关网关 15、25 和 35 上的时钟同步。时钟同步可通过使用全球定位卫星（GPS）系统或通过
15 交换同步消息实现。有利的是，特定群集 10、20 和 30 的网关 15、25 和 35 根据其地理位置、最近的传感器读取值、剩余的传感器能量和当前任务来管理群集内的传感器。具体地说，网关 15、25 或 35 动态地重新配置其群集 10、20 或 30 内的传感器网络，并指示传感器打开和关闭其通信和处理电路。另外，网关收集群集中选定的部
20 分传感器的读取值，并在向命令节点或处理器 11 报告前将此类读取值合并。

将传感器网络群集考虑到了传感器组织和网络管理中网关作用已提高。组织传感器指选择要有效监控环境和处理检测信号的最小的一组传感器。传感器组织是应用特定的且取决于一段时间内检测
25 的数据。例如，组织传感器以精确地跟踪目标取决于目标的方向和速度。有助于实施此类面向任务的传感器组织的可用机制。

网关节点 15、25 或 35 将充当基于群集的集中式网络管理器，以设置传感器数据的路由，监控整个网络内的等待时间并在传感器

100 之间仲裁媒体访问。网关 15、25 或 35 跟踪每个传感器上的能量使用情况和任务与环境的变化。网关对传感器和网络进行配置以有效的方式操作以便延长网络的寿命。例如，网关 15、25 或 35 可指示在进行检测和信号处理的传感器 100，以便以仅覆盖很小范围的低功率进行发送，并通过指示附近的其它传感器转发数据而重新对网络作路由选择以建立多跳（multi-hop）路由。

媒体访问控制（MAC）机制允许传感器在不需要时可选择关闭其接收器。网关节点跟踪传感器上消耗的资源，并为传感器设置打开和关闭其无线电发送器和接收器的确定性调度。另外，控制发送和接收电路还减少了节点之间的无线电干扰（噪声），因而允许传感器使用低发送能量进行可靠通信，并降低出错率。

诸如 IEEE 802.11 等用于无线网络的存储转发方案具有休眠模式，在该模式下会关闭节点。为避免传感器在休眠模式时丢失数据分组，网关可充当缓冲接口。存储转发方案还虑及不涉及较高网络协议层的本地重传。

能量感知协议设置并维护在某个区域内随机部署的传感器之间的网络数据路由。基于功率感知时分多址（TDMA）的 MAC 协议协调到网关 15、25 或 35 控制下的接收器的数据传送。在本发明中，网关根据其路由选择决定执行时隙分配。有利的是，上行链路通信比下行链路通信更频繁，导致较少的控制开销，并因此产生较高的带宽效率。网关 15、25 或 35 通知每个传感器 100 其状态以设置适当的操作模式。

管理传感器网络的主要目的是延长特定群集中传感器的寿命。系统拓扑通过使用路由选择和媒体访问控制（MAC）来进行调整。传感器的能量是决定变更网络拓扑和设置路由的中心因素。消息路由通过多跳以节约传感器的发送能量。在进行路由选择决策时还会考虑数据传送延迟和其它 QoS 属性。另外，会对传感器与网关之间的消息流量及时作出仲裁，以避免冲突并允许在不需要时禁止传感

器无线电发送。

网关节点 15、25 和 35 负责根据分配给每个群集的任务组织传感器。因此，网关将控制群集内每个传感器 100 的数据处理电路的配置。有利的是，将群集内的网络管理责任分配到网关 15、25 和 35 提高了传感器资源的使用效率。网关 15、25 和 35 可根据当前任务中传感器的参与情况和每个传感器的可用能量而将能量感知度量标准应用于网络管理。由于网关 15、25 和 35 向传感器发送配置命令，所以网关 15、25 和 35 负责管理传输时间并建立输出消息的路由。因此，管理传感器消息流量的网络拓扑可视为网关 15、25 和 35 的逻辑扩展，特别是将所有传感器 100 读取值转发到网关 15、25 和 35 以实现合并且进行应用特定的处理。

每个传感器 100 及其相应网关节点 15、25 或 35 之间的传输路由用表格表示，该表格中指定了一个传感器或节点与另一传感器或节点之间的消息路径。在了解群集拓扑的网关 15、25 或 35 中为传感器数据设置路由。集中式和分布式路由选择都要求在每次网络拓扑改变时维护路由表。虽然分布式方案可扩展用于更大的网络，但更新路由表并确保局部版本之间的一致性导致传感器节点消耗大量计算和通信资源，从而限制了本已有限的传感器能量中可专用于应用的能量部分。另外，由于传感器的无线电接收器可无意中听到不是发送给它们的路由消息，因此，在传感器之间交换数据将产生过多的流量而不必要地消耗能量。

另一方面，基于群集的本集中式路由选择方案简单，适合传感器网络的特性。由于传感器负责数据处理和通信，因此，从资源受限的传感器节点不进行路由选择决策是有利的。另外，由于网关 15、25 或 35 具有网络群集范围的视图，因此，路由选择决策应比基于传感器级局部视图的决策更加有效。假定网关将传感器 100 组织到群集中，则在设置消息路由时可将用于数据处理的能量、剩余传感器能量、传感器位置、接收数据和链路流量可接受的等待时间有效地

一并纳入考虑。另外，了解群集范围内传感器状态可增强媒体访问控制的稳健性和效率，这是因为关闭节点接收器的决策将比基于本地 MAC 协议的决策更精确且更具确定性。虽然集中式路由选择的伸缩性受群集中传感器巨大数量的限制，但可部署更多的网关。系统
5 体系结构促进了确保可伸缩性的群集概念。

群集中的传感器节点可以处于下列四个主要状态之一：仅检测、仅中继、检测-中继和不活动。在检测状态，节点的检测电路开启，并且以恒定速率向网关发送数据。在中继状态，传感器不检测目标，但其通信电路会开启以中继其它活动节点的数据。当传感器既检测
10 目标又中继其它节点的消息时，则被视为处于检测-中继状态。否则，传感器被视为不活动传感器，并可关闭其检测和通信电路。节点状态是在网关根据当前传感器组织、传感器电池电量和期望的网络性能量度进行判断的。

在每个群集中，网关 15、25 或 35 利用数据处理器 103、无线电发送器 102 和接收器 101 的基于模型的能量消耗，跟踪传感器电池 106
15 的寿命，如图 3 所示。网关将通过查询所有活动传感器以获得实际的电池电量，定期调整其传感器剩余能量视图。网络的基本操作由两个交替周期组成：数据周期和路由选择周期。

图 2 显示了在目标跟踪任务期间传感器网络的典型的群集示例。
20 在数据周期期间，检测目标的节点将其数据发送到网关。在路由选择周期期间，网络中每个传感器的状态由网关确定，并且随后会通知节点其新分配的状态及如何对数据进行路由。

由于开销和数据分组丢失，网关的能量模型会有一些不精确。由于我们相信刷新更新及精细调整的路由选择参数可校正一定容限
25 内的偏差，因此，近似模型仍可接受，因为我们相信，不断进行的更新连同对路由参数的细调可以校正一定可容忍极限内的偏差。网关的高计算开销也是可接受的，因为它具有比传感器节点宽松得多的功率限制。源路由选择的可伸缩性问题通过使用网络群集方法

加以解决，其中，每个群集由其网关节点管理。

参照图 4 和图 5，可将网络进行路由选择 44 和对网络重选路由 47 的方法步骤概括为最低成本路由优化问题。对此最低成本路由选择问题加以扩展，增加对时延限制的考虑以保证端对端时延要求。

5 图 7 说明如何用扩展的 Dijkstra 算法来部分地表示本方法的路由选择功能（步骤 44 和 47）。此功能可视为一对多最短路径算法的变形。要优化路由，目的功能需要考虑许多其它因素，主要是节能和降低时延。对于路径受限路由选择问题，可使用扩展的 Dijkstra 算法方案，同时消除任何不能满足时延限制的不可行路径。

10 给定一个传感器网络的群集，假定它们通过具有与各方向相关的成本的双向无线链路连接。由于各端节点的能级不同，所以各链路可具有对应各方向的不同的成本。两个传感器之间的路径成本定义为所遍历的链路成本之和。对于每个启用检测的节点，路由算法应找出从此传感器到网关的最低成本路径。路由算法可使用转置属性找出从网关到启用检测的节点的最短路径。

15 至此，所采用的路由算法几乎都是典型的 Dijkstra 算法。我们对此算法作了扩展，以将节能、时延优化和其它传感器相关的属性纳入考虑。首先，重新定义每个链路的成本函数以便将传感器网络环境的特性纳入考虑。随后，我们将定义新的过程以针对传感器网络环境更多地定制路由。有利的是，我们的集中式自适应路由方案会对网络中的条件变化作出反应，在网络中，从集中控制之下的所有节点收集信息。

20 再参照图 5 和图 6，图中显示了无线网络的新链路成本函数。对网络进行路由选择的步骤 44 由构建将图 5 所示的成本函数降到最小的节点到节点的链路列表。成本函数是每两个节点 i 和 j 之间链路所需的成本因数总和。

25 通信成本因数 $CF1$ 是反应无线发送功率成本的功率相关因数，无线发送功率与取决于环境特性的距离的指数幂 L 成比例。发送传

感器越接近目的地网关，其通信成本因数 $CF1$ 将越小，从而使该节点到节点的链路对路由选择更具吸引力。距离 $C0$ 上发送功率的增量变化是发送电路所需的功率。只有一小部分发送的信号会被接收到，因此，实际的发送功率会随距离按指数 L 增加。

5 可用能量成本因数 $CF2$ 是功率相关的因数，该因数有利于在路由选择步骤 44 期间具有较多能量的节点。传感器具有的能量越多，则对路由选择而言越好。具有充足能量的节点预计持续时间长，因此提高了为路由而选定的路径的可靠性。函数 F 对每个传感器电池中的可用能量建模。

10 能量消耗率成本因数 $CF3$ 虑及当前能量消耗率 $C2$ 、传感器可作为检测传感器使用的最长时间 $MAXTIME$ 以及按现有消耗率预计的时间 Tj 。能量消耗率成本因数 $CF3$ 会在传感器电池能量耗尽时增加，且不喜欢过度使用的节点，即便它们剩有许多能量。

15 启用成本因数 $CF4$ 表示每个特定传感器的中继启用成本 $C3$ 和检测启用成本 $C4$ 之和。这些启用成本是启用传感器检测和数据中继功能所需的能量开销。启用成本因数 $CF4$ 因数有利于使用当前已启用的节点而非当前不活动的节点，并且不利于将启用检测的节点用作中继节点，这是因为这些节点中的每个节点已经在其检测电路中消耗了一定能量。有利的是，启用成本因数 $CF4$ 使传感器网络可消耗最少的功率并仍允许实现最大的目标覆盖范围。

20 路由选择成本因数 $CF5$ 限制与传感器的连接的最大数量。额外的成本 $C5$ 用于避免添加超出每条中继连接限制的路径。此因数有助于不选择过负荷且启用中继的节点，以便延长其寿命。有利的是，使用路由选择成本因数 $CF5$ 提高了总的系统可靠性，这是因为在不止一条传输路径上的节点比在单条传输路径上的节点更重要。

25 时延成本因数 $CF6$ 虑及了无线数据传输的速度成本 $C6$ 。传感器离网关越远，从其发送消息需要的无线通信时延就越长。比之于距离较远的节点，时延成本因数 $CF6$ 更有利于较近的节点。

排队成本因数 CF7 顾及了整体负荷成本 C7，例如，每个路由经过传感器的消息的存储转发进程。排队成本因数 CF7 因数还顾及了中继节点上的整体数据消息负荷，其中，整体负荷是一些启用检测节点的总数，这些启用检测的节点的数据消息经由通过此传感器的路由发送到网关 15、25 或 35。排队成本因数 CF7 不利于具有较长队列长度的中继节点，允许系统避免丢弃数据分组或使其延迟。

为了满足路由算法中的一些网络性能度量标准，网关应知道每个节点电池中的剩余容量。网关并不要求每个传感器通知网关其剩余电池容量（这可能会消耗大量的电池能量），而是维护每个节点的能量模型。网关利用因起始传感器节点至网关的路径上节点剩余电池容量改变而接收到的每个分组更新此模型。

由于模型不精确、通信错误导致的分组丢失或因节点缓冲区溢出而导致的分组丢失，能量模型可能与实际传感器电池电量有偏差。这种偏差会导致路由选择决策不准确，从而可能影响网络性能。为了补偿这种偏差，节点定期（以低频度）刷新网关能量模型。包括不活动节点在内的所有节点在预先指定的时间发送其刷新分组，随后在预定时间打开其接收器以便听取网关的路由选择决策。这要求节点和网关如前面假设的一样保持同步。

如果节点刷新分组因通信错误丢失，则网关假设传感器在下一周期不起作用，从而导致此节点关闭。但是，这种情况可在下一次刷新中校正。另一方面，如果从网关到节点的路由选择决策分组丢失，则有两种备选方案：

节点可自行关闭。其优点是减少冲突，但如果节点在检测或中继状态，则可能导致数据分组丢失。除非通过选择冗余传感器和/或使用特殊的数据合并技术而可以容忍，否则传感器数据丢失可能是个问题。

节点可维护其以前的状态。这可以保持数据分组，特别是如果节点的新状态碰巧与其旧状态相同。然而，如果情况不是这样，则

此节点传输与其它节点传输产生冲突的可能性会增加。

有利的是，本发明方法包括了可动态加以调整，以对传感器组织改变作出最优化响应的重选路由步骤 47。对于目标跟踪传感器网络，选择的传感器将随目标移动而变化。为了确保检测数据的传送和对目标的正确跟踪，路由算法必须适应活动传感器选择的变化。此外，网关 15、25 或 35 将持续监控在进行数据处理（检测）或转发数据分组（中继）的每个传感器的可用能级。重选路由基于下列三个标准：

1. 传感器重组：如果发生的事件要求重新选择活动传感器，则网关可重选路由。
2. 传感器电池能级：如果任一活动传感器的电池电量下降到某一能级，则网关可重选路由。
3. 能量模型调整：在从传感器收到更新状态后，也可重选路由。能量模型改变可能影响当前路由的最优性，因此要产生新的路由。

所有节点在预定时间打开其接收器 101 以便听取网关的路由选择决策及其本地路由表（如果节点的新状态为中继状态）。这意味着应在同一预定时间重新执行所有路由选择。为了节约节点的能量，特别是在刷新分组从节点不经中继直接传送到网关时，可以低频率执行刷新周期。

虽然新的路由由选择协议与 MAC 层协议无关，但选择特定的 MAC 层协议可增强性能。最新研究结果表明无线网络接口消耗了总功率中相当大的一部分。测量显示在诸如万维网浏览器或电子邮件等典型应用上，接口打开和闲置时消耗的能量多于接收分组的成本。这是因为接口闲置的时间通常长于实际接收分组的时间。此外，状态之间的切换（即，关闭、闲置、接收、发送）消耗了时间和能量。因此，在无线系统中，可改动并细调媒体访问协议以增强能量效率。

在一个实施例中，本发明的方法使用基于时分多址（TDMA）

的 MAC 层,在该层中,时隙分配由网关 15、25 或 35 管理。网关 15、25 或 35 通知各传感器应该使用什么时隙来接收其它节点的传输以及传感器本身可使用什么时隙来进行传输。

5 图 8 显示了典型的各阶段序列的示例。协议由四个主要阶段组成: 数据传送、刷新、事件触发的重选路由及基于刷新的重选路由阶段。在数据传送阶段,传感器在分配给它们的时隙中发送其数据。中继器使用其转发表,将此数据转发到网关。不活动的传感器节点保持关闭直至发送状态更新或接收路由广播消息时才打开。

10 刷新阶段用于更新网关的传感器模型。此阶段是周期性的,在多个数据传送阶段后发生。定期调整传感器状态增强了路由选择决策的质量并校正了假设传感器模型中的任何误差。在刷新阶段,网络中的每个传感器使用其预分配的时隙号将其状态(能级、状态、位置等)通知给网关。假设在此阶段未发送信息的任一传感器不起作用。如果传感器仍在起作用,但通信错误导致其分组丢失,则可
15 在下一刷新阶段中校正其状态。此阶段的时隙大小比数据传送阶段的时隙大小更小,这将在下面加以解释。

如前所述,在传感器能量低于某个门限时,在从传感器收到状态更新后,或者在传感器组织中有改变时,需要重选路由(步骤 47)。由于我们所用方法中的媒体访问是基于时间的,因此,必须使重选
20 路由保持为可预先安排的同步事件。为适应重选路由原因的变化速度,设计了两个阶段用于重选路由且按不同频度来调度。第一个阶段称为基于事件的重选路由,允许网关对传感器组织改变和一个传感器的可用能量低于预设可接受水平时做出反应。第二个路由选择阶段紧接在刷新阶段终止后发生。在两个阶段期间,网关运行路由
25 算法,在预分配给各传感器的时隙中将新路由发送给各传感器,并将各传感器的如表 1 所示的状态和时隙号通知给各传感器。假定事件可能在任一时间发生,并应在可接受的等待时间内予以处理,则以比基于刷新的重选路由高的频度调度基于事件的重选路由阶段。

如果不存在需要对消息重选路由的任何事件，则事件触发的重选路由阶段变成闲置期。

表 1: MAC 协议阶段的概括说明

阶段	启动方	时刻表	动作
数据发送	活动传感器	分配的时隙	发送或转发数据分组
刷新	所有传感器	预分配的时隙	通知网关传感器的状态（能级、状态、位置等）
基于刷新的重选路由	网关	刷新阶段后	根据更新的传感器模型设置路由
事件触发的重选路由	网关	定期	设置路由以处理传感器选择和能量使用情况的改变

5 由于为传感器网络中每个传感器分配了用于在刷新阶段用于发送而在重选路由阶段用于接收的时隙，因此刷新和重选路由阶段的长度是固定的。同样地，数据传送阶段的长度也是固定的。虽然活动节点的数量随重选路由阶段到另一阶段而改变，但数据传送阶段的长度应该与数据发送率相关，而不是与活动节点数量相关。如果

10 数据传送阶段的长度取决于活动节点的数量，则传感器空闲时会消耗功率。应注意，在系统设计期间，应确定数据传送阶段的长度，以便适应群集中可能处于活动状态的最大数量的传感器。由于所有阶段的长度是固定的，所以可以从开始就对刷新和重选路由阶段的周期达成一致，并且不必包括在路由选择分组中。

15 表 2 显示了相应阶段分组的说明。数据传送阶段所用的数据分组中包含始发传感器 ID，以便网关可调整发送方和中继传感器的能量模型。另外，传感器 ID 标识检测数据的位置和上下文，以便进行应用特定的处理。刷新分组包括最近的可用能量测量值。在优选实施例中，传感器 100 是移动的，并且可按特定任务的需要移动到新

20 地理位置。

表 2: 不同分组类型的说明

源	目的地	类型	内容
传感器	网关	数据	始发节点的 ID *数据净荷
传感器	网关	刷新	*始发节点的 ID 源节点的电池电量 *源传感器的坐标 (可选)
网关	“不活动”传感器	重选路由	*目的地节点的 ID
网关	“检测”传感器	重选路由	*目的地节点的 ID 数据发送率 传输范围 用于发送数据的时隙
网关	“中继”传感器	重选路由	*目的地节点的 ID *转发表 *用于发送数据的时隙

路由选择分组的内容取决于接收传感器节点的新状态。如果传感器 100 不活动，则分组只包括目的地节点的 ID。如果传感器 100 5 设为对环境进行检测，则分组包括数据发送率和要在其中发送这些数据的时隙。另外，要设为检测状态的节点将获悉传感器必须覆盖的传输范围。基本上，如路由算法所规定那样，发送功率应足够到达由此传感器到网关的路径上的下一中继器。中继传感器将接收确定数据分组的转发目的地以及要包括的传输的转发表。

10 转发表由如下形式的有序对组成：（时隙、数据始发节点和传输范围）。“时隙”项指定何时启用接收器以接收输入分组。“源节点”是最初发送此数据分组的传感器，以及“发送功率”是要用

于发送数据的发送功率。此发送功率应足够到达从始发传感器到网关的路径上的下一中继器。应注意，未指定数据路由上的中间传感器。因此，中继节点只要知道数据始发节点便足够了。传输范围确保亦被告知转发该数据分组的下一中继节点可清楚地接收数据分组，如此等等。由于要维护的路由表大小很小，并且路由改变将更快中继到传感器，因此，此类方案大大简化了实现，因为要维护的路由表大小非常小，且路由变化较迅速以与传感器进行通信。此类简化对传感器所具有的有限计算资源非常适合。通过分配冗余传感器和应用分析技术，依靠传感器组织和智能数据合并就可容忍数据分组丢失。

刷新和重选路由阶段的时隙大小是相同的，这是因为它们涉及群集中的所有传感器节点。这两个阶段的时隙均小于数据传送阶段的时隙。这有两个原因。首先，路由选择分组一般比数据分组小。其次，在数据传送阶段，许多节点已关闭，这促使采用更大的时隙。在其它阶段，所有节点必须开启并与网关进行通信。为避免分组在传输期间发生冲突，刷新和重选路由阶段的时隙大小应等于如网关所计算的，发送具有最大长度的路由选择分组所需时间加上在网络中的最大传播时间。数据传送阶段的时隙大小等于发送具有最大长度的数据分组所需时间加上在网络中的最大传播时间。

现在参照图 9，该图显示了根据本发明的时隙分配示例。时隙分配由网关执行并在重选路由阶段通知到节点。可采用不同的算法来进行时隙分配。目前，根据各传感器的当前负荷，为各传感器分配用于传输的多个时隙。此时隙分配是连续的。节点 1、4 和 5 充当传感器，因此为它们分配了一个用于传送其数据的时隙。传感器 2 用作传感器 1 和 4 的中继器，因此为它分配了两个时隙。传感器 3 充当传感器和中继器。为它分配了一个用于传送其自己的传感器数据的时隙和 3 个用于中继其它传感器分组的时隙。在此示例中，网关将如下信息通知给各传感器：即各传感器应从哪些时隙接收其他传

感器的分组，以及可将哪些时隙用于传送自己的分组。例如，网关通知传感器 3，它应在时隙 2-4 中启用其接收器（对应于节点 2 和 5 的发送时隙）以接收分组，以及它可以使用时隙 5-8 以发送其分组。

应注意的是此处连续的时隙分配算法可导致瞬间缓冲区溢出。

5 例如，如果图 9 中的传感器 3 仅具有用于两个分组的缓冲区，则它可能在时隙 2-4 中接收来自节点 2 和 5 的三个分组。这可能因缓冲区溢出而导致分组丢失。但是，如果发送和接收时隙是交错的，则此溢出不会发生。

10 **本发明详细说明中使用的首字母缩写词列表**

下面是按字母顺序排列的说明书中所用首字母缩写词的列表。

	GPS	全球定位卫星
	MAC	媒体访问控制
	QoS	服务质量
15	TDMA	时分多址

备选实施例

在不背离本发明精神或范围的情况下可设计各种备选实施例。

例如，各个传感器和网关可以是移动的而非固定的。

20

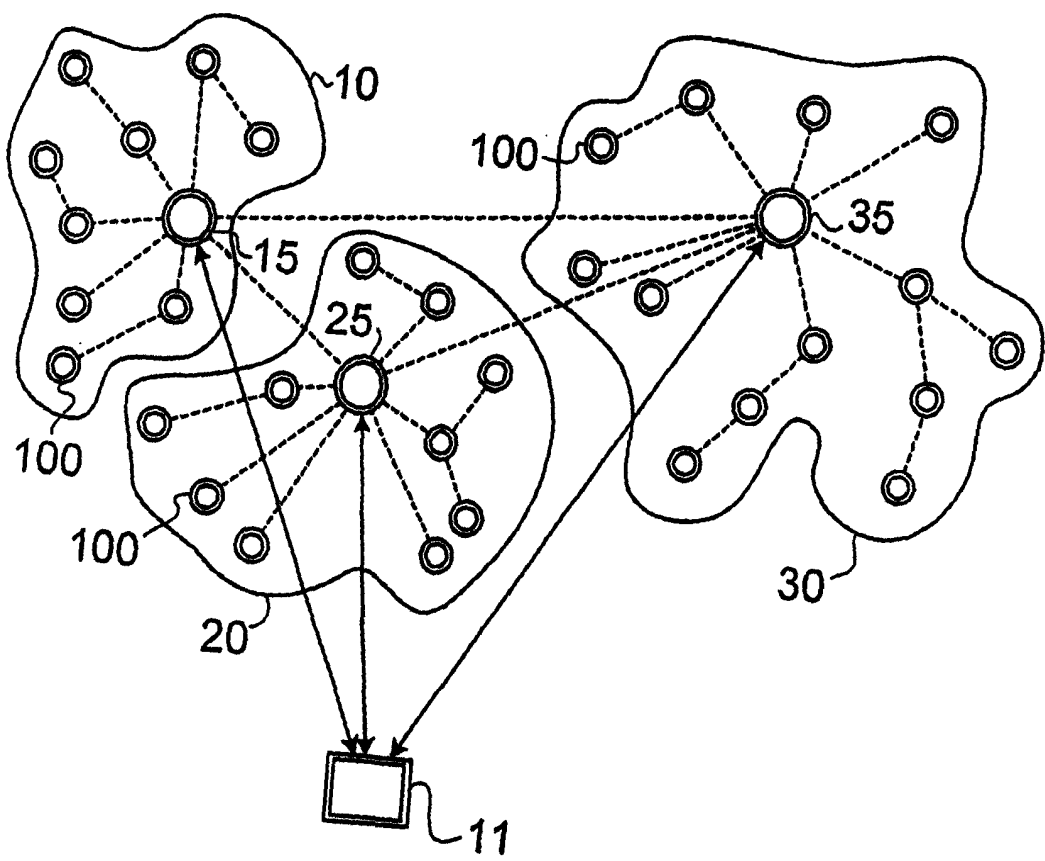


图 1

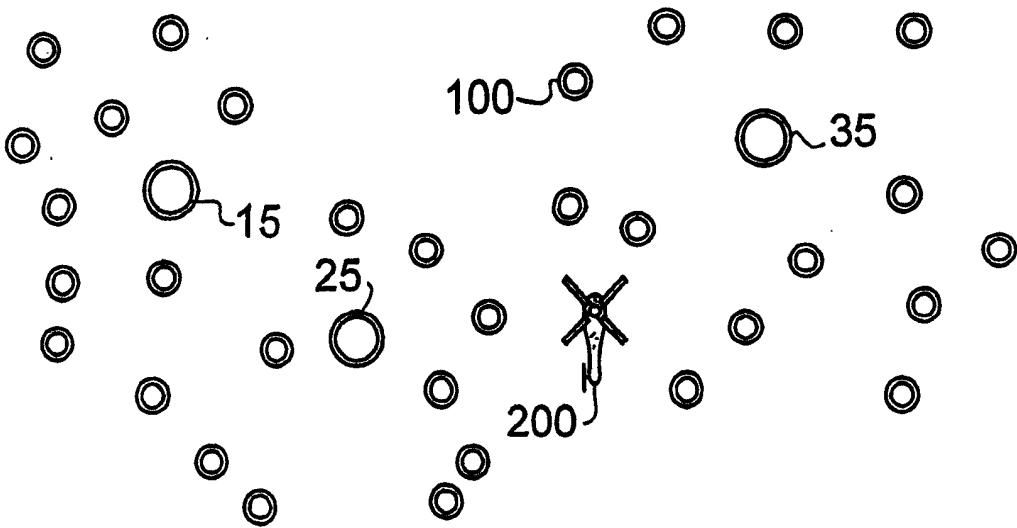
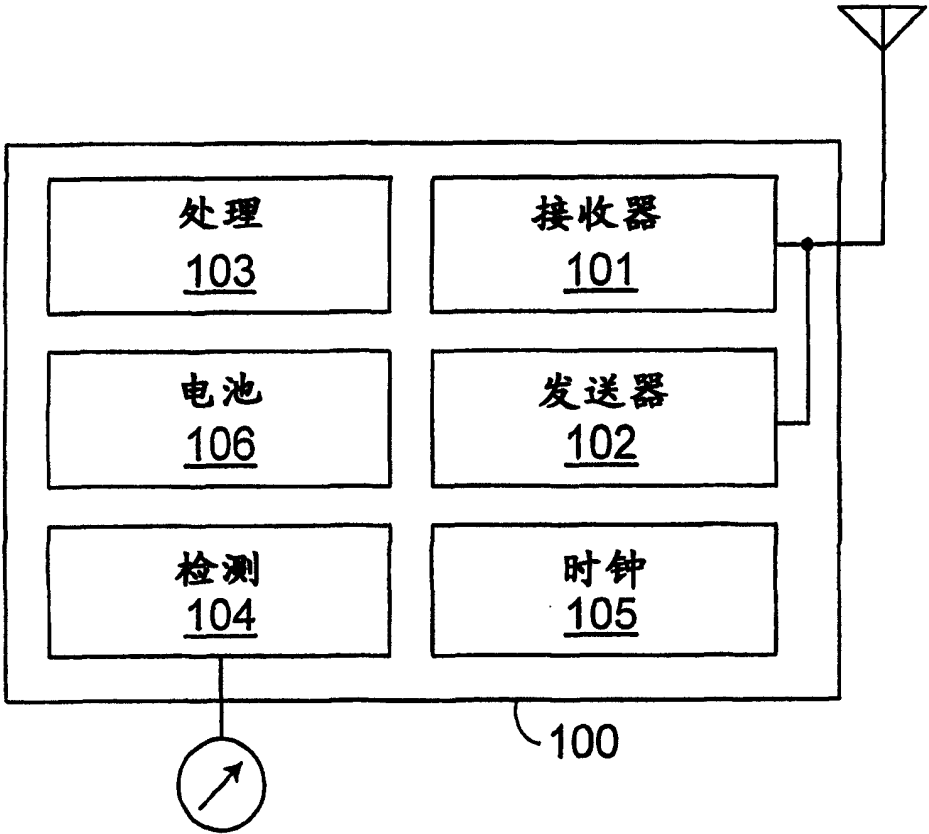


图 2

图 3



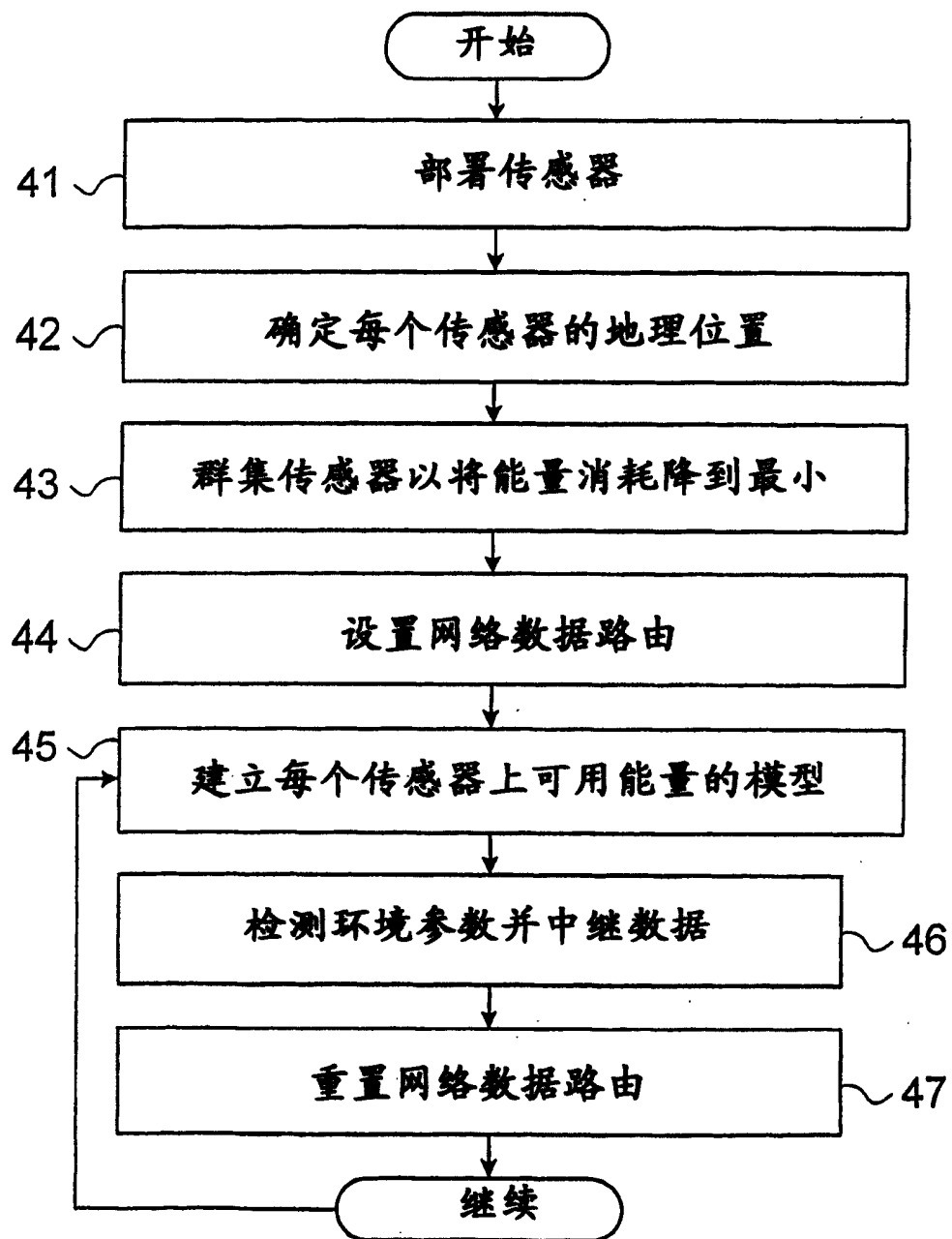


图 4

$$\begin{aligned} \text{COST}_{ij} = & C0 * (\text{DISTANCE}_{ij})^L + C1 * F(\text{ENERGY}_j) \\ & + C2 * (\text{MAXTIME} - T_j) + C3 + C4 + C5 \\ & + C6 * (\text{DISTANCE}_{ij}) + C7 * (\text{总负荷}) \end{aligned}$$

图 5

$$CF1 = C0 * (DISTANCE_{ij})^L$$

$$CF2 = C1 * F(ENERGY_j)$$

$$CF3 = C2 * (MAXTIME - T_j)$$

$$CF4 = C3 + C4$$

$$CF5 = C5$$

$$CF6 = C6 * (DISTANCE_{ij})$$

$$CF7 = C7 * (\text{总负荷})$$

图 6

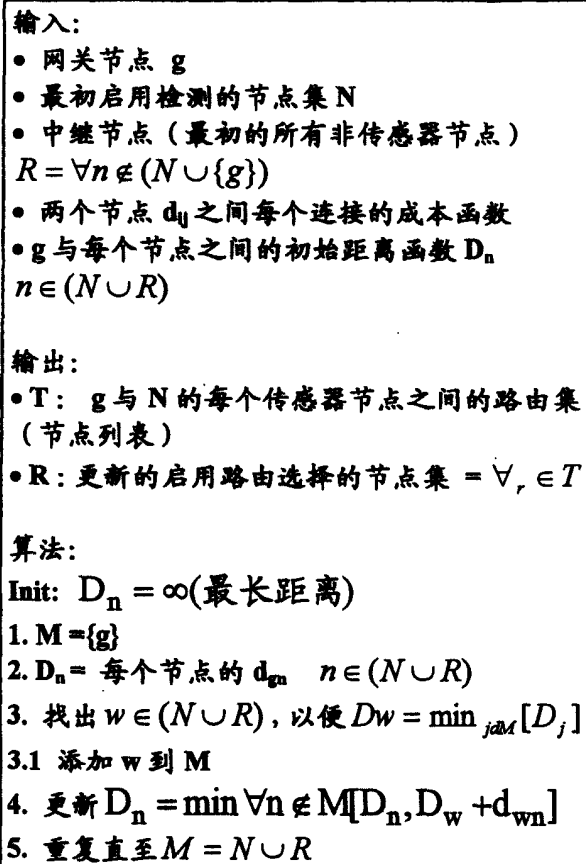


图 7

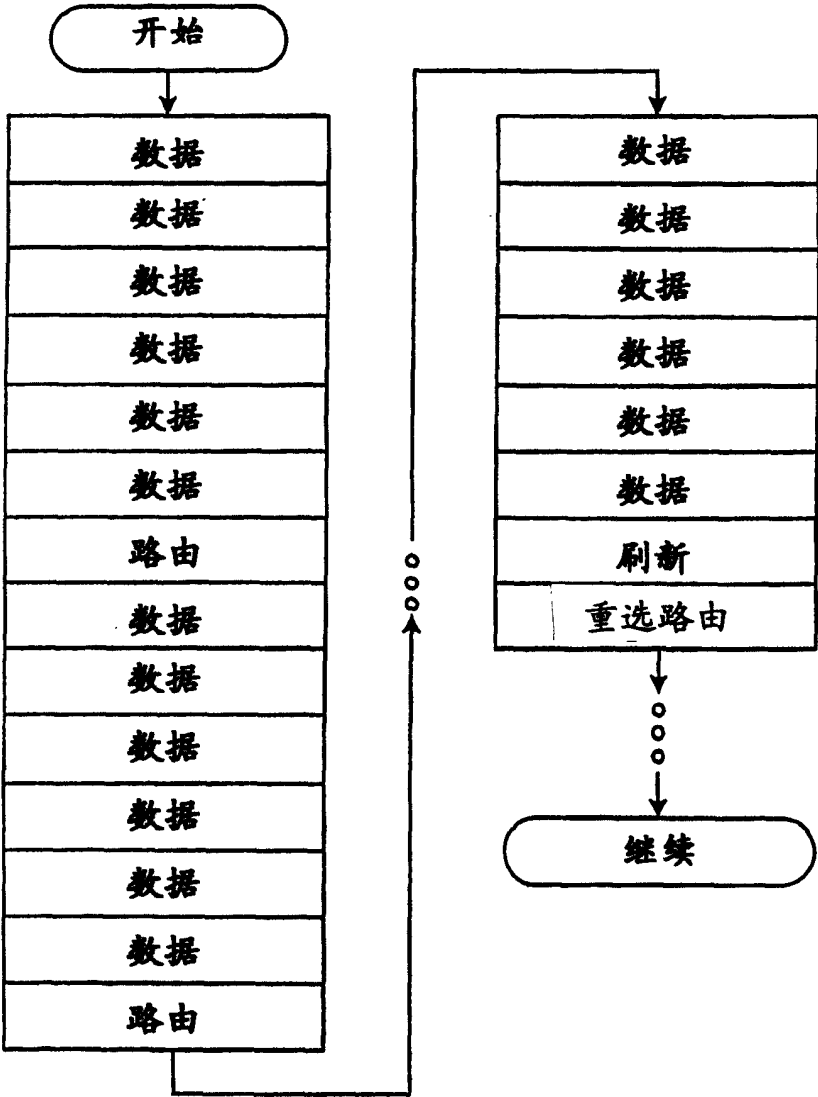
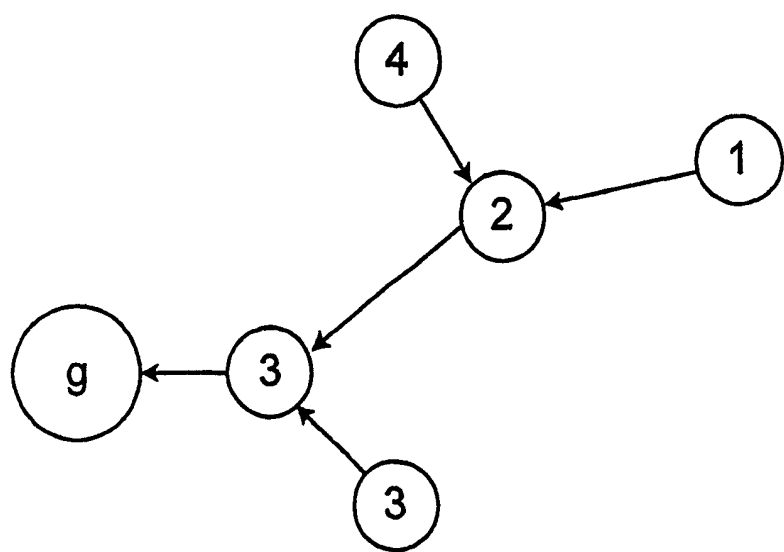


图 8



节点	分配的时隙
1	0 - 0
4	1 - 1
5	2 - 2
2	3 - 4
3	5 - 8
6	
...	

图 9