

物联网中基于无线能量传输的能量均衡路由算法

陈志奎, 邱一腾, 程 晨, 孙英泽, 贾一洋

(大连理工大学 软件学院, 辽宁 大连 116621)

摘 要: 本文提出了一种基于无线能量传输的能量均衡路由算法(WPTRA). 该算法结合传统的分簇路由协议, 采用基于剩余能量级别的簇头选取策略进行分簇. 在数据传输阶段, 当网络中某一节点能量低于预设的临界能量值 TE_MIN 时, 通过计算无线能量传输效率和传输距离之间的关系, 选择其附近能量较高的节点, 通过无线能量传输技术对其进行能量补充.

关键词: 物联网; 能量均衡; 无线能量传输; 网络生存时间

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)01-0045-04

Wireless Power Transfer-Based Energy-Balanced Routing Algorithm for Internet of Things

CHEN Zhi-kui, QIU Yi-teng, CHENG Chen, SUN Ying-ze, JIA Yi-yang

(College of Software, Dalian University of Technology, Dalian 116621, China)

Abstract: In this paper, the researchers present an energy-balanced routing algorithm based on wireless power transfer(WPTRA). Combined with the traditional routing protocols, this algorithm uses the cluster head selection strategy based on residual energy level. In data transfer phase, when the energy of the nodes is below the pre-set value TE_MIN , the nodes will choose the higher energy node nearby, according to the relationship between energy transmission efficiency and distance. Then, the nodes can get refueled from higher energy nodes by wireless power transfer technology.

Key words: internet of things; energy-balance; wireless power transfer; lifetime of network

1 引言

在物联网大规模组网的应用中, 节点一般采用容量有限的电池供电, 不仅数目庞大而且电池不便替换. 另外, 物联网节点一般采用随机部署的方式, 网络结构不具有对称性, 导致网络中某些节点的能量消耗过快, 从而使网络出现了分割, 严重降低了网络的生命周期. 同时, 某些造价昂贵的节点也经常由于供电原因废弃. 因此如何均衡的利用网络的能量, 延长单个节点和整体网络的寿命, 成为物联网研究中的一个关键问题.

传统的物联网路由的能量均衡策略主要集中在能量高效的路由协议的设计, 算法复杂而且效率有

限. 本文提出的改进算法基于无线能量传输技术, 是能量均衡问题新的研究方向. 可实现只对某一节点充电, 就可对整个网络进行能量补充, 更好地解决物联网的能量受限问题^[1-2].

2 分布式无线能量传输网络

分布式无线能量传输网络中的每个节点都具有无线能量的接收、发送和路径选择的功能. 根据任务需要, 节点可以分别执行三种职能, 即源节点、受电节点和中继节点. 源节点作为电源对外发射能量, 受电节点作为负载接收能量, 中继节点完成能量传输中继任务^[3-7].

在物联网中具有分布式无线能量传输功能的节

收稿日期: 2012-05-10; 修回日期: 2012-06-08

基金项目: 国家科技重大专项课题(2011ZX03003-002-01); 大连市科技局项目(2011A17GX076)

点由 4 部分组成:

- (1) 无线能量收、发模块.
- (2) 电能存储模块.
- (3) 节点控制器.
- (4) 无线通信模块.

在分布式无线能量传输网中,节点间能量传递是依靠共振中继传递方式来进行,根据共振传递特性,共振体的能量可通过邻近共振体向更远的共振体传递,形成共振链路.而在共振链路内能量传递过程中,无需各中继节点完成二次能量转换.故在传递过程中各中继节点消耗能量极小,从而保证了高效率的能量中继传递^[8].

3 基于无线能量传输的路由算法

假设 N 个传感器节点随机地分布在一个边长为 LS 的正方形区域内,基站位于传感器区域外,其应用场景为在分布式无线能量传输网络中周期性地收集数据.该网络还具有如下性质:

- (1) 传感器节点与基站的位置部署后不再移动.
- (2) 网络拓扑结构已知,且可更新.
- (3) 所有传感器节点的初始能量相同;基站的能量充足.
- (4) 传感器节点可以通过基站发射的测试信号强度计算出自己到基站的距离.
- (5) 各传感器节点同构,即节点具有相同通信能力、处理能力及数据融合的能力和能量传输能力.

3.1 簇的建立

本算法的分簇过程采用文献[9]中提出的基于剩余能量级别的簇头选取策略,它根据节点的剩余能量级别确定节点竞选簇头的时延,保证了局部区域内剩余能量级别较高的节点成为簇头节点.通过约束簇头竞选通告的广播半径缩短了簇内间距,并使簇头节点较为均匀地分布在整个网络中.具体的分簇过程如图 1 所示.

其中,Timer_election 计时器用于控制节点竞选簇头需等待的时延,剩余能量级别越高,Timer_election 的值越小. Timer_termination 用于控制整个网络的簇头选取阶段的时间.

3.2 无线能量传输过程

在数据传输阶段,当数据传输模式采用单跳模式时,距离基站较远的簇消耗较多的能耗;而当采用多跳模式时,距离基站越近的簇头需要承担越多的数据转发任务,其能耗也就越大.这就导致某些核心

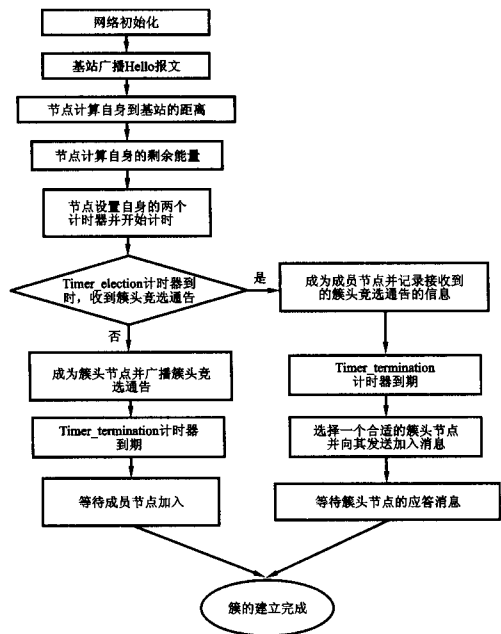


图 1 算法分簇流程图

节点能量消耗过大,容易过早死亡,从而出现“热点”问题.

物联网节点设计为体积微小、携带有限能量的智能终端,因此某些造价昂贵的节点也经常由于供电的原因失效或废弃.

为了解决这种能量不均衡的问题,本文基于磁耦合谐振式无线能量传输技术,提出了一种基于无线能量传输的路由算法.若节点的剩余能量低于预设的临界能量值 TE_MIN 时,节点进入无线能量传输阶段.

3.2.1 发送报文

当某一节点 N_0 能量低于预设的临界能量值 TE_MIN 时,该节点作为能量接收节点,以半径 r 在该网络区域内广播一个能量传输的报文 MSG_ENERGY_TRANS .该消息中包含其节点 ID、节点类型、报文类型、节点剩余能量等信息.

3.2.2 返回报文

其他节点接收到该报文信息后,首先判断其是否为簇头节点.若同时收到多份能量传输报文,则簇头节点具有最高的优先级,优先向簇头节点返回报文.然后,该节点向能量接收节点 N_0 返回一个报文,包含节点 ID、节点类型、报文类型、节点间距离、节点剩余能量等信息.若接收能量传输报文的节点为簇头节点,则不返回报文.

3.2.3 选择能量发射节点 N_i

设网络中有 N 个节点,每个节点的初始能量均为 E_0 ,节点 N_i 在某时刻 t 的剩余能量为 E_i .

能量传输的效率与收发节点间的距离成反比,同时,无线发射节点应选取能量较高的节点,因此发射节点 N_i 的选取函数定义为:

$$N_i = N_{sel}(\text{MAX}(\frac{E_r^i}{L_i^2}))$$

其中, L_i 为接收节点 N_0 到发射节点 N_i 的距离,且 $L_i < r$, N_i 不为簇头节点。

3.2.4 选择能量传输中继节点

文中第 2 节中指出,在分布式无线能量传输网中,节点间能量传递是依靠共振中继传递方式来形成共振链路,在能量传递过程中,各中继节点可直接传递能量,无需完成二次能量转换。实验数据显示,当传输距离越近时,无线传输效率会指数级的提高^[8]。因此中继传输模式可有效的提高无线能量传输的效率,如图 2 所示。

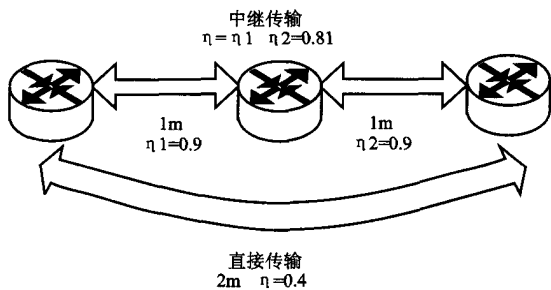


图 2 中继传输模式与直接传输模式比较

由此看来,在一定距离范围(米级),中继传输模式效率将会远高于直接传输模式。

因此选定能量发射节点后,根据已知的网络拓扑结构,通过最短路径算法,选出能量发射节点 N_i 和能量接收节点 N_0 之间的最短路径,即选择中继节点。这里我们运用 Dijkstra 算法求解最短路径问题,在网络中,建立一个子网图,图中的每个节点代表一个传感器节点,每条弧代表一条通信线路。为在一对给定节点之间选择一条传输路径,只需在图中找到这对节点之间的最短路径即可。在最短传输路径上的节点,即为本次能量传输的中继节点。

3.2.5 计算能量传输总量 E_r^i

设以节点 N_0 为中心,半径 r 的区域内节点个数为 k ,其第 n 个相邻节点在某时刻的剩余能量为 E_r^n ,则此节点的区域节点平均能量为:

$$\overline{E_r^0} = (E_r^i + \sum_{k=1}^{k=n} E_r^k) / (n+1)$$

当发生能量传输时,传输能量的总量 E_r^i 与发射节点剩余的电量 E_r^N 、区域内节点剩余能量平均值 $\overline{E_r^0}$ 相关,关系如下:

$$E_r^i = E_r^N - \overline{E_r^0}$$

3.2.6 建立能量传输通道

能量接收节点 N_0 向发射节点 N_i 和中继节点分别发送开始无线能量传输的消息,包括能量传输总量、节点执行功能等信息,节点收到消息后,建立能量传输通道,开始无线传输能量。若传输功率恒定,设为 w ,那么能量传输时间为:

$$t = (E_r^N - \overline{E_r^0}) / w$$

然后本次能量传输结束,取消能量传输通道。

4 仿真实验与结果分析

文中用 MATLAB 对 LEACH、RELCRP^[9]、WPTRA 进行了仿真,并对算法性能做出了比较。实验用的传感器网络包括 100 个传感器节点,随机地分布在面积为 100m×100 m 的正方形区域内,基站位置为(50 m,175 m)。簇头竞选半径 R 为 40 m,能量传输报文广播半径 r 为 20 m,节点初始能量 E_0 为 0.5 J,节点失效能量 E_m 为 0.0001 J,电路能耗 E_{elec} 为 50 nJ/bit,数据融合耗能为 5 nJ/bit/signal,数据包大小为 4000 bit,控制包大小为 100 bit。目前磁耦合谐振无线能量传输技术应用方面还存在很多限制,因此实验中假设无线能量传输效率和传输距离之间的关系如图 3 所示。

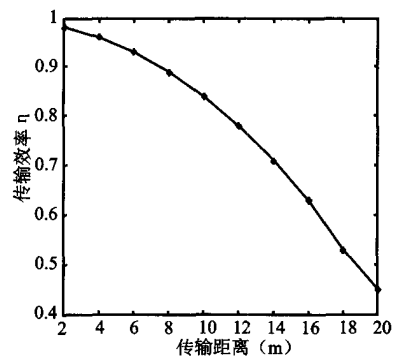


图 3 无线能量传输效率与距离关系

本文主要从网络生存时间和能量均衡因子,来对 LEACH、RELCRP、WPTRA 三种算法进行性能比较。

大量实验表明,当临界能量值为 0.025J 左右时,网络生存时间最长。

为了更准确的实验结果,本文在相同的实验参数下将 WPTRA、RELCRP 和 LEACH 算法分别独立运行 100 次,由此得到的平均网络生存时间分别为 947 轮、927 轮、668 轮。由此可知,相比于 LEACH,WPTRA 的生存时间提高了约 41.8%;相比于 RELCRP,WPTRA 的生存时间提高了约 2.16%。

为了衡量三种算法对能耗均衡性的影响,本文抽取了三种算法在第 700 轮时各节点的剩余能量。

实验结果表明,WPTRA 算法利用无线能量传输技术平衡了节点之间的能量,从而达到了网络负载均衡和生命周期延长的目的。

5 结束语

本文提出的基于无线能量传输的能量均衡路由算法,在物联网路由技术的发展过程中具备一定的前瞻性和指导意义。仿真实验表明:该算法一方面可实现网内所有节点的能量均衡,延长整体网络的生命周期;另一方面还可延长单个“重要”节点的生存时间。其具备充分的改进空间和发展余地,可以作为基础协议框架供理论界不断改进、不断提高。目前,该算法只能应用在一定范围内、节点相对密集的应用领域中,但是随着无线能量传输技术在传输距离以及传输效率等方面的突破,该算法具有非常好的应用前景,可实现只对某一节点充电,就可达到整个网络能量补充的效果。

参考文献:

- [1] Cao L, Wang H T, Li G. A new high voltage high frequency power supply using tesla transformer[C]//Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2010. Asia-Pacific, 2010:1-4.
- [2] Karalis A, Joannopoulos J D, M Soljač ić. Efficient wireless non-radiative mid-range energy transfer[J]. Annals of Pphysics, 2007(4):45-56.
- [3] Kurs A, Karalis A, Moffatt R. Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances[J]. Science, 2007(317):83-86.
- [4] Hamam R E, Karalis A, Joannopoulos J D. Efficient weakly-radiative wireless energy transfer; an EIT-like approach[J]. Annals of Physics, 2009(324):34-44.
- [5] Kurs A, Moffatt R, Soljač ić. Simultaneous mid-range power transfer to multiple devices[J]. Applied Physics Letters, 2010(96):23-30.
- [6] Leyh G, Kennan M. Efficient wireless transmission of power using resonators with coupled electric fields [C]//Power Symposium, 2008. NAPS'08. 40th North Amercian Canda; Calgary, 2008:1-4.
- [7] Imura T, Okabe H, Hori Y. Basic experimental study on helical antennas of wireless power transfer for Electric Vehicles by using magnetic resonant couplings [C]//Vehicle Power and Propulsion Conference 2009 IEEE, USA; Michigan, 2009:936-940.
- [8] 孙跃,戴欣. 分布式无线电能传输网[J]. 应用系统, 2010(3):59-61.
- [9] 陈志奎,倪晶晶,姜国海,等. WSN 中一种基于剩余能量级别的负载均衡路由协议[J]. 微电子学与计算机, 2010,27(12):83-86.

作者简介:



陈志奎 男,(1968—),博士,教授,博士生导师。研究方向为物联网、云计算、无线通信与数据库等。



邱一腾 男,(1987—),硕士。研究方向为物联网。



程晨 男,(1989—)。研究方向为物联网。



孙英泽 男,(1990—)。研究方向为物联网。



贾一洋 女,(1991—)。研究方向为物联网。