基于 IPv6 的无线传感器网络接入设计 *

罗 娟, 刘德翔, 李仁发
(湖南大学 计算机与通信学院, 长沙 410082)

摘 要: 无线传感器网络(WSN)与现有网络基础结合是 WSN 研究中必须解决的技术问题之一。在 IPv6 协议下,提出了一种大规模无线传感器网络接入国际互联网方式。本接入方式以数据应用为中心,按地理位置为无线传感器网络映射 IPv6 地址,由此设计了一种基于地理位置信息的顺时针逐格 CGRP 路由协议,并通过仿真实验分析协议的稳定性和路由分组传输成功率,最后阐述了以网关为路由接口的无线传感器网络与 Internet 通信机制。该接入方式既能根据 IP 对无线传感器网络寻址,又能降低无线传感器网络全 IP 化带来的高额开销,符合无线传感器应用本质。

关键词: 无线传感器网络; IPv6; 路由协议; 接入网关
中图分类号: TP393 **文献标志码**: A **文章编号**: 1001-3695(2009)11-4251-03
doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2009.11.071

Wireless sensor networks connecting design under IPv6 protocol

LUO Juan, LIU De-xiang, LI Ren-fa
(*College of Computer & Communication*, *Hunan University*, *Changsha* 410082, *China*)

Abstract: It is a key technique to combine wireless sensor network (WSN) with current network infrastructure in WSN research. This paper proposed a access method, which connected large-scale WSN and Internet under IPv6. The access method was geared to the needs of data application, mapped IPv6 address based on geography location in WSN, and designed a geography location routing protocol named as clockwise grid routing protocol (CGRP). Simulation results show that CGRP is stable and have a high transmission success rate of routing packet. At last, described a communication mechanism which used the access gateway to communicate between WSN and Internet. The access method can not only make WSN addressable by IPv6, but also reduce the high routing overhead, which satisfy the requirements of WSN.

Key words: wireless sensor network; Internet protocol version 6; routing protocol; access gateway

0 引言

无线传感器网络(wireless sensor network, WSN)是由大量的具有无线通信与计算能力的微小传感器节点布设在特定区域而形成的,能够完成指定任务的测控与通信网络系统[1]。对于许多应用而言,WSN 一般不以孤立网络的形式存在,其目的是协作地感知、收集和处理传感器网络所覆盖的地理区域中感知对象的信息,并传递给观察者[2]。因此,要求 WSN 能通过一定的方式与其他外部网络互连,以便通过外部网络上的设备方便地对其进行管理、控制与访问。目前,Internet 是世界上规模最大、覆盖最广的计算机互联网络。研究如何将各种 WSN 接入 Internet,使得 Internet 真正延伸到世界的各个物理角落,人们能够方便地了解到自己所关心的物理区域状态(温度、湿度、震动等),成为当前研究的一个热点问题之一。

TCP/IP 协议是 Internet 上网络互连通信的核心标准,研究 WSN 接入 Internet 的问题,关键就是研究 WSN 与 TCP/IP 协议的融合问题。当前,关于 TCP/IP 网络与 WSN 的融合主要有以下几种方式:

a)应用网关[3]。使用应用层网关作为网络接口实现 WSN 和 Internet 的互连,它能为 WSN 自由选择通信协议,但是 Internet 用户不能够直接访问特定传感器节点。

b)IPv4 NET(network address translation)网关[4]。在部署应用层网关的基础上,将传感器节点与网关的 IPv4 地址一一映射。但在监测应用中需要大量的 WSN 节点,由于 IPv4 地址的稀缺,难以为每个节点预留真正的 IPv4 地址,限制了其发展。

c)全 IP 化方式。该方式直接在 WSN 中使用 TCP/IP 协议栈,具体又分为全 IPv4 化和 IPv6 化两种方式。文献[5]设计的 WSN 中每个传感器节点均支持 TCP/IPv4 协议,但是没有涉及到网络的自组织以及路由问题。文献[6,7]通过移植、修改 IPv6 协议栈,使其适合在 WSN 中应用,但是移植后的协议栈对于 WSN 来说依然存在通信效率低下、能源消耗突出等问题。

d)基于覆盖的方法。将 WSN 接入 Internet 存在两种基于覆盖的方法:(a)Internet 覆盖 WSN。文献[8]提议一个在传感器节点上实现 IP 协议栈的解决方案 u-IP。此方法使得 Internet 用户能够直接访问拥有 IP 地址的传感器节点,但是 IP 协议栈仅仅能够被部署在具有较强能力的节点上。(b)WSN 覆盖 Internet[9]。WSN 协议栈被部署在 TCP/IP 之上,Internet 上的主机被看做是虚拟传感器节点。Internet 主机能够直接与传感器节点通信,并像传感器节点一样处理数据包;其缺点在于需要在 Internet 主机上部署额外的协议栈。

收稿日期: 2009-01-24; **修回日期**: 2009-02-27 **基金项目**: 国家教育部博士点基金资助项目(20060532024,200805321056);国家"十一五"科技支撑计划重点资助项目(2007BAK23B03)

作者简介:罗娟(1974-),女,湖南邵阳人,副教授,博士,主要研究方向为无线网络与通信;刘德翔(1984-),男,硕士研究生,主要研究方向为无线嵌入式系统(dexianglover@163.com);李仁发,男,教授,博导,主要研究方向为计算机系统结构、计算机应用技术.

e)延时容忍网络[10]。与基于网关方法相比,此方法在 TCP/IP 协议栈和 WSN 协议栈上部署 Bundle 层,但是在现有的网络协议栈上部署 Bundle 层需要花费较大代价。

目前,IPv6 作为下一代网络协议,地址资源丰富、支持地址自动配置、安全性高。它拥有巨大的地址空间,可以为大规模 WSN 部署提供丰富的地址资源,满足特定环境应用环境下对 WSN 节点全球惟一标志的需求,如医疗监控、智能家电等。将 IPv6 与 WSN 结合,符合未来网络发展方向,具有十分重要的意义。本文在 IPv6 协议下,提出了一种以数据应用为中心的无线传感器网络接入 Internet 方法。本方法主要分为三部分:a)将 WSN 栅格化成方格网络,并为每一方格映射 IPv6 地址;b)设计了一种顺时针逐格路由协议(clockwise grid routing protocol, CGRP),该协议根据边界效应绕开路由空洞,具有较高的路由分组传输成功率;c)WSN 与外网的通信机制。

1　IPv6 地址映射

本文主要研究在 IPv6 协议下,如何将 WSN 接入 Internet 问题。IPv6 地址本身可以为节点提供关于其结构的或多或少的信息,这主要根据是由谁来观察这个地址以及观察什么。假设 WSN 中存在网关节点,网关节点是 WSN 与外部网络通信的桥梁,同时连接着 WSN 和 Internet 网络。在 IPv6 协议下,网关节点可根据 RFC 2462[11] 文档所述配置可聚集全球单播地址(aggregatable global unicast address),但是这种配置方法生成的网络地址包含有两字节冗余信息“fffe”。假设网关节点的网络地址为 2001:da80:8001:1070:2010:02ff:fe82:8082,笔者以网关节点的网络地址为基础,根据地理位置信息为 WSN 映射 IPv6 网络地址。如图 1 所示,首先将 WSN 栅格化成方格网络,方格区域 A 的坐标(2,2)用十六进制表示为 0x0202,以此代替网关网络地址中冗余信息“fffe”,由此产生方格区域 A 对应的 IPv6 网络地址为 2001:da80:8001:1070:2010:0202:0282:8082。注意该地址中,除了冗余信息不同外,其余位均与网关的网络地址相同。同理,区域 B 的 IPv6 地址为 2001:da80:8001:1070:2010:0203:0482:8082。依此类推,每一个网关管理的区域内,最多可以为 WSN 网络映射 $2^{16}-1=65\ 535$ 个可聚集全局单播地址,这种方法很适合大规模的无线传感器网络应用。映射的可聚集全局单播地址在全球范围内具有惟一性,能永久保留为 WSN 所用。

按地理位置映射 IPv6 地址,而不为单个节点映射分配 IPv6 地址,主要是从两方面考虑:a)WSN 是一种以数据应用为主的监测网络,比起数据是由哪些节点所产生的,人们更加关心收集到的数据属于哪些位置,这是本文提出的接入方式与其他接入方式的最大区别;b)考虑到单个节点获得精确位置的成本较高,并且位置存在误差,会导致后续路由的不可靠。

2　CGRA 路由协议

针对上文提出的栅格化 WSN 网络环境,本章设计了一种基于地理位置的路由协议,即顺时针逐格路由协议 CGRP。在描述 CGRP 之前,先假设以下环境参数:

a)将 WSN 网络栅格化,每个方格均用平面坐标(X,Y)惟一表示。

b)每个节点均有一个惟一编号(node ID),并且知道自己所属方格。

c)每一个节点的发射功率是一样的,即若节点 A 能收到节点 B 的信息,节点 B 也能收到节点 A 的信息,且不考虑信号干扰而造成的信号衰减(fading)问题。

d)有一个有效的频宽管理方法,因此无须考虑碰撞或频宽分配的问题。

2.1　网络拓扑

为便于描述,本文定义了三种节点,即中心节点、连接节点和中间节点。中心节点是所属方格内通信价值最大的节点;能同时与两个或两个以上方格通信的节点,称为连接节点;其余均为中间节点。通信价值是指将节点的连接度和剩余能量作归一化处理后的值。设节点 n 的通信价值符号化表示 $V(n)$,连接度符号化表示 $D(n)$,剩余能量符号化表示为 $E(n)$,则 $V(n)$ 的归一化表示如下:

$$V(n)=\alpha\times D(n)+(1-\alpha)\times E(n) \tag{1}$$

其中 α 是比例参数。

首先,每个 WSN 节点广播一个邻居探索包(neighbor found packet, NF)给它的所有邻居,收到该包的节点便能知道它与哪些节点及方格相连,并可计算自己的连接度(邻居数)。如图 2 中,b 节点和方格(1,2)、方格(2,1)相连,是连接节点,连接度为 3。假设归一化公式中参数 a 为 1,则此处节点 b 的通信价值为 3。之后,每一节点向同一方格内的邻居节点广播其通信价值。当每一个节点都知道邻居节点的通信价值后,各连接节点通过中间节点将它的信息汇总到本方格内通信价值最大的节点处,如图 3 所示。最终,由方格内通信价值最大的中心节点维护一张记录有本方格所有连接节点和相连方格的路由表信息。

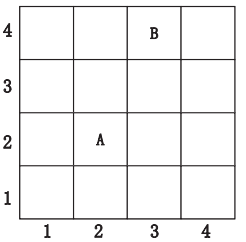

图1　WSN栅格化

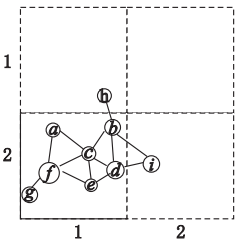

图2　方格内拓扑结构

2.2　路由与空洞

当一个节点收到数据包时,将数据包传输给同方格内通信价值最大的中心节点,如果中心节点发现数据包中的目的地址不是本方格时,则查找路由表,通过连接节点将数据包转发至邻居中距离目的地最近的方格。方格与方格之间的路由采用按需促发的原则,依靠每个方格中通信价值最大的中心节点协调转发数据包,逐格路由。当某一方格的中心节点发现无法在邻居中找到比自己更接近目的地的方格时,便遭遇到了路由空洞(void)问题。与 GPSR[12] 中解决路由空洞问题的右手规则类似,本文也定义了路由空洞时选择下一跳方格的顺时针选择规则。当路由空洞时,以一个空洞方格为中心,如图 4 所示。

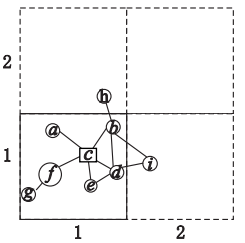

图3　中心节点维护的拓扑结构

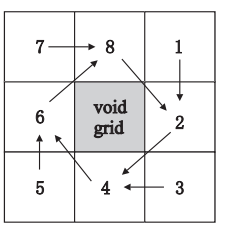

图4　顺时针选择规则

a)如果当前路由方格在 1、8 位置,选择 2 作为下一路由方格;

b)如果当前路由方格在 2、3 位置,选择 4 作为下一路由方格;

c)如果当前路由方格在 4、5 位置,选择 6 作为下一路由方格;

d)如果当前路由方格在6、7位置,选择8作为下一路由方格。

CGRP 的路由步骤如下:

a)当未出现路由空洞时,当前路由方格(X current,Y current)从邻居方格中选出距离目的地最短路径的方格作为下一路由方格,方格进步后转 a)继续,直到目的地为止。当遇到路由空洞转 b)。

b)当当前路由方格(X current,Y current)遇到路由空洞时,即找不到邻居中有比自己更接近目的地的方格,此时记下八个邻居方格中距离目的地最近的方格坐标(X latest,Y latest),转 c)。

c)以最近方格(X latest,Y latest)为中心,按照顺时针规则选择下一路由方格(X next,Y next),转 d)。

d)若计算出的下一路由方格(X next,Y next)是空洞方格,即当前方格(X current,Y current)无法与它通信,则将此方格(X next,Y next)作为中心,按照顺时针规则重新选择下一步路由,直到下一路由方格(X next,Y next)可到达为止,转 e)。

e)当下一路由方格(X next,Y next)可通信,方格进步后,原先的方格(X next,Y next)即成为当前方格(X current,Y current),转 f)。

f)若此时当前方格(X current,Y current)发现自己比 b)中的最近方格(X latest,Y latest)更接近目的地,则表示已经逃逸空洞区域,这时返回到 a)继续路由;否则继续按照顺时针规则选择下一路由方格。

CGRP 比 GPSR 协议更能有效地规划和绕开路由空洞区域。GPSR 协议是以单个节点作为通信基本单元,按照右手规则规划和绕开路由空洞。但是随着节点数量增多,GPSR 对路由空洞的误判也会显著增多,导致分组传输成功率明显下降。而本文提出的 CGRP,以方格作为通信单元,每个方格内有通信价值最大的中心节点维护方格信息,不会出现随着节点数量的增多而出现路由空洞误判的情况,从而保证了分组传输成功率。

2.3　仿真分析

本节采用网络仿真软件 OMNET++ 作为仿真平台,对 CGPA和 GPSR 路由协议的分组传输成功率进行比较。仿真环境在 800 m×800 m 的正方形区域中以 50 个节点的增量变化来进行实验。假设节点在所有场景中都是静止的,通信半价为 80 m,仿真结果如图 5 所示。

从图 5 中可以看出,在节点数目为 150 左右时,GPRS 协议的分组成功传输率达到最大,之后开始呈现下降趋势。那是因为随着节点数量的不断增多,GPRS 协议产生路由空洞的可能性也就越大。而 CGRA 协议中每个方格内由传输价值最大的节点负责维护本区域的路由信息,不会出现空洞误判的情况。因此,CGRA 协议在节点数量到一定程度后,依然能维持较高的分组成功传输率。

3　通信机制

网关节点作为 WSN 与 Internet 网络通信的桥梁,是内外网通信的路由交汇点。WSN 与 Internet 交互数据的过程如下:Internet 用户根据目的地的 IPv6 地址向 WSN 发起请求,当 WSN 网关节点监听到请求时,即从目的地 IPv6 地址中解析出相应的 WSN 网络方格坐标,接着在 WSN 网络内根据 CGRA 协议路由;当目的地方格区域的中心节点收到该请求,调动本方格的相应节点采集数据之后,再由它完成数据融合,并传回网关,网关节点则将数据打包成完整的 IPv6 数据包格式,传输给请求用户。通信过程如图 6 所示。

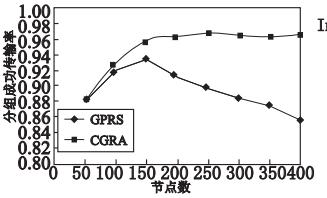

图5　分组成功传输率对比

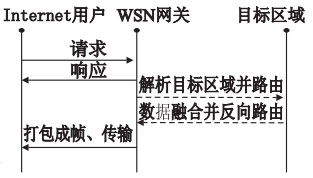

图6　通信机制

4　结束语

目前,WSN 与 Internet 的接入设计还处于探索阶段,IPv6 协议与 WSN 网络的融合是国内外讨论的热点问题。本文在 IPv6 协议下提出了一种以数据为中心的 WSN 接入 Internet 方法,与以节点为中心的接入方法相比,侧重于从数据应用的角度解决接入问题。本接入方式能根据 IPv6 地址对 WSN 网络寻址,且无须压缩 TCP/IP 协议栈,具有低路由开销、高分组传输成功率的特点,符合 WSN 监测网络应用的本质,为 WSN 接入 Internet 提供了一种新的思路。

参考文献:

[1] AKYILDIZ I F,SU W,SANKARASUBRAMANIAM Y,*et al*. A survey on sensor networks[J]. IEEE Communication Magazine, 2002, 40(8):102-114.

[2] TILAK S. A taxonomy of wireless micro-sensor network models[J]. Mobile Computing and Communications Review, 2002, 1(2):1-8.

[3] MARCO Z Z, BHASKAR K. Integrating future large-scale wireless sensor networks with the Internet, USC computer science technical report CS 03-792[R]. Los Angeles: University of Southern California, 2003.

[4] DUNKELS A, VOIGT T, ALONSO J. Making TCP/IP viable for wireless sensor networks[C]//Proc of the 1st European Workshop on Wireless Sensor Networks. Berlin: [s. n.], 2004.

[5] DUNKELS A, VOIGT T. The design and Implementation of an IP-based sensor network for intrusion monitoring[C]//Proc of Swedish National Computer Networking Workshop(SNCNW 2004). Karlstad, Sweden: [s. n.], 2004.

[6] 宋树彬,王能. 无线传感器网络上超轻量化的 IPv6 协议栈[J]. 计算机应用,2007, 27(9): 2556-2558,2562.

[7] 霍宏伟, 张宏科. 一种 IPv6 无线传感器网络节点的设计与实现[J]. 计算机应用, 2006, 26(2): 303-306.

[8] DUNKELS A, ALONSO J, VOIGT T, *et al*. Connecting wireless sensornets with TCP/IP networks[C]//Proc of 2nd International Conference on Wired/Wireless Internet Communications. Berlin: Springer, 2004: 143-152.

[9] HUI D, RICHARD H. Unifying micro sensor networks with the Internet via overlay networking[C]//Proc of the 29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2004: 571-572.

[10] FALL K. A delay-tolerant network architecture for challenged Internets[C]//Proc of Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communication. New York: ACM Press, 2003: 27-34.

[11] THOMSON S, NARTEN T. RFC 2462, IPv6 stateless address autoconfiguration[S]. 1998.

[12] KARP B, KUNG H T. GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks[C]//Proc of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. Boston: ACM Press, 2000: 243-254.