

一种无线传感器网络可重用可切换路由协议框架

李文锋¹, 王汝传^{1,2}, 孙力娟¹

(1. 南京邮电大学 计算机科学与技术系, 江苏 南京 210003;
2. 南京大学 计算机软件新技术国家重点实验室, 江苏 南京 210093)

摘要:从无线传感器网络路由协议的数据结构重用出发,按照异协议同功能数据结构、异协议异功能数据结构及同协议异功能数据结构重用原则,提出一种无线传感器网络可重用可切换路由协议框架,包括重用结构模型、维护模型、控制模型、配置服务模型和其它服务模型5个模型,共同完成路由协议的结构重用、不同路由自主切换功能,既能够节省节点内存空间又方便路由设计的扩展。

关键词:无线传感器网络;可重用;路由协议;框架

中图分类号:TP393;TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2006)10-0017-03

A Reusable and Self-Configured Routing Protocol Framework for Wireless Sensor Network

LI Wen-feng¹, WANG Ru-chuan^{1,2}, SUN Li-juan¹

(1. Dept. of Computer Sci. and Techn., Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 21003, China;
2. State Key Laboratory for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: A reusable and self-configured routing framework for wireless sensor network was put forward. It is based on the reusable theory of data structure for wireless sensor network routing protocol, and in accordance with the reusable principle shared by the following data structures: same function with different protocol; different function with different protocol; and different function with same protocol. This framework includes 5 modules: reusable structure model, maintenance model, control model, configuration model, other functions model, which function together to fulfill reusable and self-configuration function and save node-memory space and make it easy for routing protocol design development.

Key words: wireless sensor networks; reusable; routing protocol; framework

0 引言

路由切换机制的引入可以使传感器网络能够适用于多种任务、多应用环境和网络条件。文献[1,2]提出了一种可编程的传感器网络框架,解决了路由协议的切换。

无线传感网络的应用从使用一个路由协议到使用多个路由协议切换使用,为无线传感器网络的应用提供了更强大的生命力,但是由于节点受价格、体积和功耗的限制,

以及计算能力、程序空间和内在空间等因素的影响,又为路由切换提出了更高的要求。存储空间小决定了路由协议的设计代码力求小。如 Crossbow 公司的 mica2/nica2dot 节点(使用 Atmel 公司的处理器 Atmega128L)提供的存储能力^[3]: 128kB 闪存/4kB 的 SRAM, 4kB 的 EEPROM。

另一方面,要实现路由的切换,每个路由算法的基本信息,包括路由使用的数据结构、算法、局部变量及全局变量等都要求占用最小空间。

因此,路由的切换与代码的最小化成为了相互制约的两个方面。如何从算法本身出发,考虑代码最小化^[4],使其能与路由切换一起达到路由可切换且代码量小。文中在路由切换框架基础上,从重用数据结构角度提出一个无线传感器网络的可重用可切换路由协议框架。

1 无线传感器网络路由协议的结构分析

针对不同的无线传感器网络应用,研究人员提出了不同的路由协议。根据不同的应用对传感器网络各种特性

收稿日期:2006-02-04

基金项目:国家自然科学基金(60573141, 70271050);江苏省自然科学基金(BK2005146);江苏省高新技术研究计划(BG2004004, BG2005038, BG2006001);国家高科技“八六三”项目(2005AA775050);南京市高科技项目(2006 软资 105);江苏省计算机信息处理技术重点实验室基金(kj050001, kj06);江苏省高校自然科学基金计划(04KJB520095)

作者简介:李文锋(1976-),男,江西赣州人,博士研究生,研究方向为计算机软件、计算机网络、无线传感器网络和通信协议等;王汝传,教授,博士生导师,研究方向为计算机软件、计算机网络和网络、信息安全、无线传感器网络、移动代理和虚拟现实技术等。

的敏感度不同,将主流路由协议分为 4 种类型^[3]。

文中从 3 类常用协议出发,抽取这 3 类协议共性的数据结构,以寻找数据结构的重用部分。表 1 为 3 种路由协议使用的相关数据结构。

表 1 3 种路由协议使用的数据结构

协议类型	协议名称	与路由相关的数据结构
查询路由	DD ^[5] Rumor-routing ^[6]	兴趣列表(梯度场,有效时间,兴趣名,数据) 邻居列表(节点号)、事件列表(事件名,到事件区域的跳数,到事件区域的下一跳)
地理位置路由	GEAR ^[7] GEM ^[8]	邻居列表(节点号,位置,剩余能量) 位置列表(父节点,子节点,到基站跳数,子节点总数,节点位置)
可靠性路由	ReInForm ^[9]	邻居列表(节点号,差错率,到汇聚节点跳数)

2 可重用协议框架分析

不同的路由协议在实现算法上有一些或者很大的差别。其中有的数据结构在不同的路由协议中都是一样的,有的则不然。以下将从 3 方面阐述如何将这有差异的数据结构统一起来。

2.1 异协议同功能数据结构的重用

每个路由协议都完成一些相同的功能,如确定下一跳、发送数据、转发数据等。可能受传统有线网络路由协议设计的影响,路由协议的设计往往引入路由表这种有特殊功能的部件。有了它,可以从中寻找本节点从源节点到达目的节点需要经过的下一跳。无线传感器网络路由协议也不例外,大部分会引用类似路由表的数据结构——邻居列表。象这种不同路由协议使用具有相似功能且相同的数据结构名称的数据结构,文中称不同路由协议同功能的数据结构为异协议同功能数据结构;称不同路由协议不同功能的数据结构为异协议异功能数据结构;称同路由协议不同功能的数据结构为同协议异功能数据结构。如下文提到的谣传、GEAR 及 ReInForm 协议中使用的邻居列表为异协议同功能数据结构,GEAR 协议的邻居列表与 GEM 路由协议的位置列表称为异协议异功能数据结构。

若两者形式上和功能上完全相同,则可直接定义其中的一个数据结构即可达到重用的要求。如:A 路由协议使用了邻居列表(邻居节点号,到基站的跳数),B 路由协议使用了邻居列表(邻居节点号,到基站的跳数),并且两者的参数意义完全一样,则在设计时,就只取其一数据结构供两者公用即可。

若两者形式上不完全相同,而功能却有相同的部分,则要先找其相同部分,再逐一处理不同的部分。下面以下文提到的谣传、GEAR 及 ReInForm 协议中使用的邻居列表为例,阐述如何重用。它们的邻居列表的形式:谣传——邻居列表(节点号);GEAR——邻居列表(节点号,位置,剩余能量);ReInForm——邻居列表(节点号,差错率,到汇聚节点的跳数)。从形式上看,三者有共同的地方:一是名称相同——邻居列表;二是第二个参数相同且意义相

同——邻居节点号;也有不相同的部分:虽然 GEAR 和 ReInForm 都是只有三个参数且第一个参数已经完全相同,但第二个,第三个参数已经不同且表达的意义也不同。其实,每个节点不可能每次同时运行两个路由协议,如果某个节点由于执行特定的任务由一种路由协议切换到另一种路由协议,则其所有的路由信息中的不同参数部分的值没有用途,所以没有必要保留。另外,如果两个路由协议都只使用一个数据结构,如 ReInForm 也使用 GEAR 的邻居列表,结果是读不到第二个、第三个参数的值,因为在设计路由协议时定义的邻居列表的第二个、第三个参数不是 GEAR 的邻居列表的第二个、第三个参数的名字。如果在设计路由协议时,先将两个邻居节点定义同一格式——A(X, Y, Z),则很好地解决了上面的问题。要注意的是,因为不是人工切换,而是自动切换,所以如果这样的话,虽然能正常读出参数,但是不知道其意义,很有可能导致数据紊乱,因此,在这里引入一个配置管理模块,即在路由切换时,自动配置这些参数,指定 A(X, Y, Z)对于当前路由时每个参数的意义。

另外一种情况是上文的谣传协议和 GEAR, ReInForm 邻居列表的重用。从上文可知,ReInForm 和 GEAR 的邻居列表可以定义格式为 A(X, Y, Z),而谣传路由协议的邻居列表只有一个参数。考虑到参数定义太多会浪费空间,参数定义太少又不能满足需求,所以这里要遵照“少数服从多数原则”,即定义成为 A(X, Y, Z),在路由切换时,由配置管理负责通知谣传协议只用邻居列表的第一个参数值。假设上面的谣传协议和 GEAR, ReInForm 协议的邻居列表格式分别为 A(X), A(X), A(X, Y, Z),则遵照“少数服从多数原则”,只能使用格式 A(X),那么对于路由协议使用 A(X, Y, Z)时就会出问题,因此,这里还需要配置管理能够负责动态地增加数据结构的参数,即只配置管理通知有几个参数及每个参数的含义即可。由结构本身根据结构的参数自动增加、减少。

2.2 异协议异功能数据结构的重用

实现异协议异功能数据结构重用的前提是已经完成异协议同功能数据结构的重用。因为重用的一个大原则是:具有相似结构且具有相似功能的数据结构先重用。这样不但可以避免形式上的偏差太大,而且还能最大限度地利用同一意义的参数。其次,在同一协议中的不同的数据结构中,其中一个参加过重用处理,则另外一个不能与其它任何协议中重用化后的数据结构再进行重用处理,如谣传协议中的事件列表不能与 GEAR, ReInForm 协议邻居列表、GEM 协议的位置列表和 DD 协议的列表再做重用处理。对于数量多的情况,可以考虑每个路由协议的第二次重用处理,以便将其它未重用的数据结构也重用处理。最后,如果协议中只有一个数据结构,其形式虽然与处理过的重用并不相同,但有一个参数是一样的意义,则将其视为异协议同功能结构处理。如 GEM 协议的位置列表和 DD 协议的列表可以看作异协议同功能结构处理。

2.3 同协议异功能数据结构重用

同协议异功能数据结构重用的处理是依次经过异协议同功能数据结构的重用、异协议异功能数据结构的重用后才执行。这样能很好地处理一些能够方便重用的结构,最后只是剩下一些没法重用处理或者不方便重用处理的数据结构,把它们单独最后处理是为了利用前面的重用信息,有的参数不多的,可以直接挂靠在那些结构的里面,只要配置管理在配置时注明哪几个参数开始是特殊用途即可。如谣传路由协议中的事件列表经过上面的两个重用处理后,谣传路由协议的邻居列表(邻居节点号)已经使用 $A(X, Y, Z)$ 形式了。如果把这里的 Y, Z 参数用于表示谣传事件列表的事件名、到事件区域的跳数,就可以很好地配合整个路由系列的重用。当然,这里还要使用配置管理在路由切换时指明 Y, Z 参数用于表示谣传事件列表的事件名、到事件区域的跳数,同时还要通知增加一个参数用于表示到事件区域的下一跳。

3 可重用可切换协议框架

可重用可切换的路由协议框架的提出是基于文献[1]提出的一种可编程的自动传感器网络的路由协议框架的思想之上,通过对无线传感器网络协议的研究,从重用路由协议的数据结构角度来建立可重用可切换协议框架。

3.1 相关研究

文献[1]提出的路由协议框架将路由协议分成 3 个部分:数据转发模型、状态收集模型、状态信息。数据转发模型和状态信息收集模型是可编程的,状态信息是用来连接这两个模型的枢纽。同时,在这里还提出了配置服务来切换路由协议。模型使用的信息包分为两种:数据包和控制包。数据转发模型用到数据包,而状态收集模型使用的是控制包。

3.2 体系结构

可重用可切换协议框架通过重用与路由协议相关的数据结构,从而在内存上节省大量的空间,同时为应用程序的开发提供了新的技术支持。使之不再是一种应用只能使用一种路由协议,而是一种应用可以对应多种路由协议,并且能尽量不浪费空间。这个可重用可切换框架就是为不仅能让更多协议能在同个应用中使用,而且还能节省内存空间,为路由协议的设计也提供了方便。整个框架重用部分由 5 个模型组成:重用结构模型、维护模型、控制模型、配置服务模型和其它服务模型。重用结构模型为维护模型和控制模型提供物理基础;控制模型为重用结构的操作提供了命令集;而维护模型为重用结构模型提供了最新的路由数据,保证路由信息的可靠性;配置服务模型为控制模型提供了控制重用结构的依据;其它服务模型为路由协议的扩展提供了接口,用户可以根据需要自定义服务于此,以完成其它额外的功能。可重用可切换协议框架的体

系结构如图 1 所示。

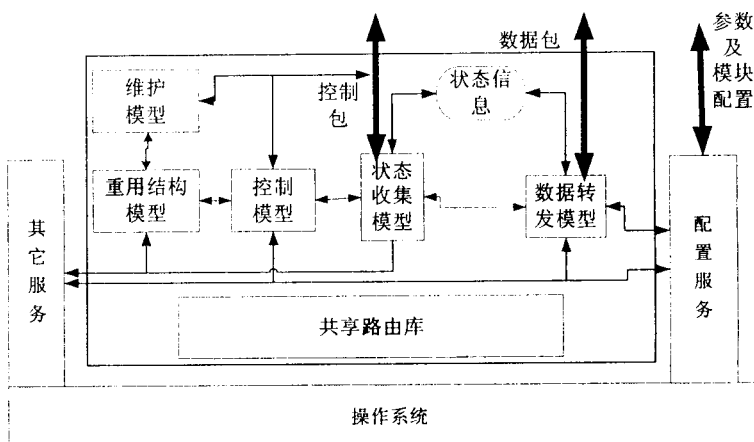


图 1 无线传感器网络可重用可切换路由协议框架

4 比较分析

利用传统意义的路由切换机制,只是将各种路由协议同时导入节点内存,由于给每个路由协议定义了惟一的标识号,在路由协议应用之前,通过网络发送特定的控制包,通知节点使用给定标识的协议。节点在运行过程中,每次都根据特定的路由算法调用特定的数据结构。在路由切换过程中,由于没有删除先前使用过的路由协议的数据结构,所以一直占用大量的内存。但是通过可重用可切换机制后,由于所有的重用数据结构定义为 $A(X, Y, Z, \dots)$ 的形式,其中的数据结构名和参数并不具体固定,而是在使用路由协议前,根据各个协议的要求再具体定义。这样很好地利用了原来的结构,节省大量的空间。如上文提到 5 种路由协议在使用重用结构前,假定每个参数定义为一个字节的长度,那么共有 20 个参数,使用 20 个字节,而使用重用后,共使用了 8 个字节。可重用可切换机制不但节省了空间,还为各种路由协议的数据结构重用提供了可行性。

5 总结

在研究多种路由协议的基础上,从各种路由协议的与路由协议相关的数据结构出发,将这些数据结构按照异协议同功能数据结构、异协议异功能数据结构及同协议异功能数据结构重用原则,提出了无线传感器网络的可重用可切换路由协议框架。可重用可切换路由协议框架的提出可以使路由协议的设计节省内存空间、方便重用、利于扩展,为无线传感器网络的应用提供了多协议支持。

参考文献:

- [1] He Y, Raghavendra C S, Berson S, et al. A Programmable routing framework for autonomic sensor networks[A]. In: Proc Autonomic Computing Workshop, 5th Annual Int'l Workshop on Active Middleware Services(AMS'03)[C].

(下转第 152 页)

(1)静态权限包括功能权限,即管理型用户对系统管理功能的使用权限,属于一种被动的权限控制策略,用户对功能或数据的使用权限按照“先设置后使用”的方式进行,静态权限管理可通过专门授权的方式进行管理。数据库的 ACL 是对系统静态数据权限的描述,由多个静态数据权限对象构成,实现不同角色的用户对数据库访问的基本权限。同时根据单位角色的配置情况,在人员数据库配置中给每个系统用户所分配的应用级权限。

(2)动态权限是指办公文档在办公流程中的状态所设定的权限,它依赖于办公文档在此时的状态,功能权限是用户根据文档的状态和用户角色动态地决定该角色的用户所应该进行的操作权限。数据权限是指对特定数据对象的某个操作,不同的角色的用户根据文档的状态和用户角色动态地决定该角色的用户所应该进行的数据操作的权限。动态权限是一种主动的权限控制策略,即权限的生效或失效是由应用系统自动控制的。在数据库的表单的设计中设置办公流的状态域、作者域,及与作者相关信息的域,从而实现该作者的用户在该文档状态下所具有的功能权限和数据权限。

在动态权限管理中,对数据的访问控制与数据所处的生命周期状态有关。动态权限的管理由权限规则和办公流程处理器组成,将访问控制要求以规则的形式定义在生命周期状态上,由规则处理器根据当前的情况进行权限鉴别,实现数据权限的自动控制。权限规则用于描述办公文档进入特定状态后,哪些角色的人员能对该对象进行什么样的操作。一条权限规则是由一个访问者对象和一个权限向量组成。权限向量描述访问者可以对数据对象进行哪些操作。对于数据对象生命周期中的每个状态,可以定义多条权限规则,这些权限规则共同构成对该状态下数据的动态权限控制。

因此通过角色的组合应用权限和 ACL 类型,以及文

档中的相关的状态域值和文档中数据信息的完成情况,共同决定不同角色用户对文档的实际操作的权限。用户访问文档过程如图 5 所示。

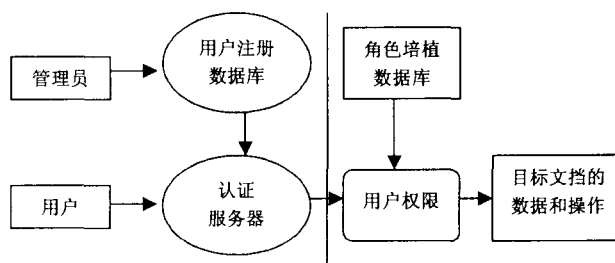


图 5 用户访问控制过程

4 展望

PKI 技术现在是一种比较成熟的技术,目前绝大多数的应用都集中在应用层上,如用户身份认证、数字签名、电子印章等,都是运用公钥体制的思想来解决安全保密问题。但事实上,PKI 技术的运用应该是没有明确限制的。PKI 提供的身份认证功能,同样能够应用在别的层,这种思路在理论上是可行的,但仍需进一步完善并加以实现。

参考文献:

- [1] 胡建伟. 网络安全与保密[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2003.
- [2] 聂元铭. 网络信息安全技术[M]. 北京: 科学出版社, 2001. 205-214.
- [3] 张世永. 网络安全原理与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2003. 17-45.
- [4] 陈伟, 丁秋林, 郑洪源, 等. 在 J2EE 平台上开发电子政务系统的建模方法研究[J]. 南京航空航天大学学报, 2003, 35(4): 1-4.
- [5] 胡河宁, 陆文冕. 信息孤岛与电子政务[J]. 价值工程, 2004(7): 16-39.

(上接第 19 页)

Seattle, WA: [s. n.], 2003.

- [2] 孙利民, 李建中, 陈渝, 等. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [3] Crossbow, Inc. Wireless sensor network MPR/MIB User's Manual, document 7430-0021-06 [EB/OL]. <http://www.tinyos.net/tinyos-1.x/doc>, 2005-04.
- [4] Bulusu N, Heidemann J, Estrin D. Self-configuring localization systems: Design and experiment evaluation[J]. Submitted to ACMTECS Special Issue on Networked Embedded Computing, 2002, 264(5): 168-180.
- [5] Intanagonwiwat C, Govindan R, Estrin D. Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks[A]. In: Proc 6th Annual Int'l Conf on Mobile Computing and Networks (MobiCOM2000) [C]. Boston, MA: [s. n.], 2000.
- [6] Braginsky D, Estrin D. Rumor routing algorithm for sensor

networks[A]. In: Proc 1st Workshop on sensor Networks and Applications (WSNA'02) [C]. Atlanta, GA: [s. n.], 2002.

- [7] Yu Y, Govindan R, Estrin D. Geographical and energy aware routing: A recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks[R]. UCLA Computer Science Department, Technical Report UCLA/CSD-TR-01-0023, Los Angeles: University of California, 2001. 231-236.
- [8] Newsome J, Song D. GEM: Graph Embedding for routing and data-centric storage in sensor networks geographic information[A]. In: Proc 1st ACM Conf on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys'03) [C]. Redwood, CA: [s. n.], 2003. 768-772.
- [9] Deb B, Bhatnager S, Nath B. RelnForM: Reliable Information Forwarding using Multiple paths in sensor networks[A]. In: Proc 28th Annual IEEE Conf on Local Computer Networks (LCN) [C]. Los Alamitos, USA: IEEE Computer Society, 2003.