

基于智慧协同网络的传感网络安全备份方法

苗笛^{1,2}, 黄斌³, 李杰⁴

- (1. 天津职业技术师范大学电子工程学院, 天津 300000;
2. 天津市光电传感器与传感网络技术重点实验室(南开大学), 天津 300000;
3. 天津职业技术师范大学教务处, 天津 300000;
4. 天津工业大学电子与信息工程学院, 天津 300387)

摘要: 为解决传感器节点路由可靠性问题, 提出了基于智慧协同网络的传感网络备份方法。该方法采用 Leach 算法选举簇首传感器节点信息进行备份, 给出了传感器节点信息备份更新和启用备份传感器节点的方法。通过 Mini-Net 仿真实验对该方法进行了验证, 结果表明, 采用传感器节点备份方法可以有效解决传感器节点失效带来的网络中断问题, 具有切换速度快、时延小等优势。

关键词: 智慧协同网络; 传感网络; 备份; Leach 算法

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-109x.2017.00151

Approach of sensor network backup based on smart and cooperative network

MIAO Di^{1,2}, HUANG Bin³, LI Jie⁴

- (1. Department of Electronic Engineering, Tianjin University of Technology and Education, Tianjin 300000, China;
2. Tianjin Key Laboratory of Optoelectronic Sensor and Sensing Network Technology (Nankai University), Tianjin 300000, China;
3. Academic Affairs Office, Tianjin University of Technology and Education, Tianjin 300000, China;
4. Department of Electronic and Information Engineering, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China)

Abstract: In order to solve the problem of routing reliability in sensor nodes, a kind of sensor network backup mechanism based on smart and cooperative network was studied. The Leach algorithm was used to carry out the backup of the cluster sensor, and the method of the sensor backup and starting the backup sensor was presented. The tests on Mini-Net show that sensor backup mechanism can effectively solve the sensor failure network outages, with the advantage of fast handoff and low delay.

Key words: smart and cooperative, sensor network, backup, Leach algorithm

1 引言

随着信息技术的发展, 越来越多的智能可穿戴

设备、智能探测设备通过接口设备接入网络, 使网络能够智能感知终端需求。现有互联网具有“三重绑定”的特点, 即“资源和位置”绑定、

收稿日期: 2016-12-13; 修回日期: 2017-02-03。通信作者: 李杰, lijie@tjpu.edu.cn

基金项目: 天津职业技术师范大学人才启动基金资助项目(No.KYQD1614); 天津市科学技术普及基金资助项目(No.16KPHDSF00050); 天津市光电传感器与传感网络技术重点实验室开放课题基金资助项目(No.TJSGDCG2016008); 天津市科技计划基金资助项目(No.16ZXHLSF00200)

Foundation Items: Talent Start Fund Project of Tianjin University of Technology and Education (No.KYQD1614), Tianjin Science and Technology Popularization Project (No.16KPHDSF00050), Open Fund Project of Tianjin Key Laboratory of Optoelectronic Sensor and Sensing Network Technology (No.TJSGDCG2016008), Tianjin Science and Technology Program Fund (No.16ZXHLSF00200)

“控制和数据”绑定和“身份与位置”绑定，导致了网络机制的静态和僵化，不利于对传感器节点的控制和管理。为此，智慧协同网络采用“三层”“两域”的体系结构将上述3种绑定进行分离，采用标识映射体系可以有效地在网络组件层支持传感器节点的异构接入。

现有传感器节点网络具有数据量大、种类多、结构复杂、来源广、应用广等特点。传感器节点与路由器相比，节点功能单一，运算速度和路由算法相对简单，极易出现数据丢失、节点故障和电池没电等问题，造成巨大的网络损失。当传感器节点网络中某传感器节点失效后，到达该节点的报文可能丢弃或不断重传，产生暂态的流量中断或流量回环现象，直到网络重新收敛计算出新的拓扑和路由。这样的中断根据设备的不同通常会持续几秒到几十秒。国内外学者纷纷研究采用备份的方案来提高网络的路由可靠性，保证通信不中断。

在IP路由中，思科公司提出了著名的热备份路由协议^[1]（HSRP, hot standby routing protocol），提供了一种在主路由器和热备份路由器之间进行透明切换的备份方法，主路由器和热备份路由器之间切换速度快，不影响用户的体验。定义一组路由器共用一个虚拟的IP地址，组内路由器有优先级，优先级最高的是该组中的主路由器，其他路由器均为备份服务器。当主路由器出故障时，优先级高的路由器就切换成主路由器。虚拟路由冗余协议（VRRP, virtual router redundancy protocol）是由IETF提出的解决局域网中配置静态网关出现单点失效现象的路由协议，1997年提出的工作组草案RFC2338^[2]协议标准给出了协议的基本架构，允许主机使用单个路由器进行备份，在路由器失效的情况下能维护路由器间的连通性。2004年提出的RFC3768^[3]添加了VRRP新的安全验证方法。2010年提出的RFC5798^[4]提供了一种通过负载共享可以提高备份路由器利用率的方法，还提供了对IPv6的支持。Higginson等^[5]提出的IP备份协议（IPSTB, IP standby protocol）采用备份机制给出了一种迅速排除节点故障的方法。IP快速重路由^[6]（IPFRR, IP fast reroute）技术提供了一种应对网络故障的方法，提供网络冗

余路径以改善主路径中间的某些节点失效。

本文在深入研究了国内外路由备份机制的基础上结合智慧协同网络的结构特点，针对传感器节点的可靠性问题，提出了一种基于智慧协同网络的传感器节点备份方法。该方法通过备份传感器节点对簇首传感器节点进行备份，当簇首传感器节点故障或失效时，完成从簇首传感器节点到备份传感器节点之间的透明切换，保持网络路径畅通。通过Mini-Net仿真实验，对该方法进行了验证，结果表明，采用该传感器节点备份方法可以有效解决传感器节点失效带来的网络中断问题，具有切换速度快、时延小等优势。

2 网络结构模型

智慧协同网络^[7~9]采用“三层”“两域”的网络体系结构模型。“三层”包括智慧服务层、资源适配层和网络组件层；“两域”包括行为域和实体域。在实体域内采用服务标识（SID, service ID）来标记一次智慧服务，采用族群标识（FID, family ID）来标记一个族群功能模块，采用组件标识（NID, node ID）来标记一个网络组件设备；在“行为域”内采用服务行为描述（SBD, service behavior description）来描述实体域中SID的特征行为，采用族群行为描述（FBD, family behavior description）来描述FID的特征行为，采用组件行为描述（NBD, node behavior description）来描述组NID的行为特征。如图1所示，在智慧协同网络组件层部署传感器节点网络，采用NID作为传感器节点标识进行路由。

3 传感节点备份

本文采用的传感器节点备份方法主要是利用备份传感器节点对簇首传感器节点的硬件特性、软件和存储数据进行备份，在簇首节点产生故障而导致网络瘫痪和数据传输中断时，能够通过备份传感器节点智能地支持网络恢复正常。

该方法定义了2种传感器节点，一种是簇首传感器节点，在网络中实际参与和资源适配层有接口的接口传感器节点；另一种是备份传感器节点，由备份传感器节点对簇首传感器节点上的资源、路由表、接口等信息进行备份。传感器节点

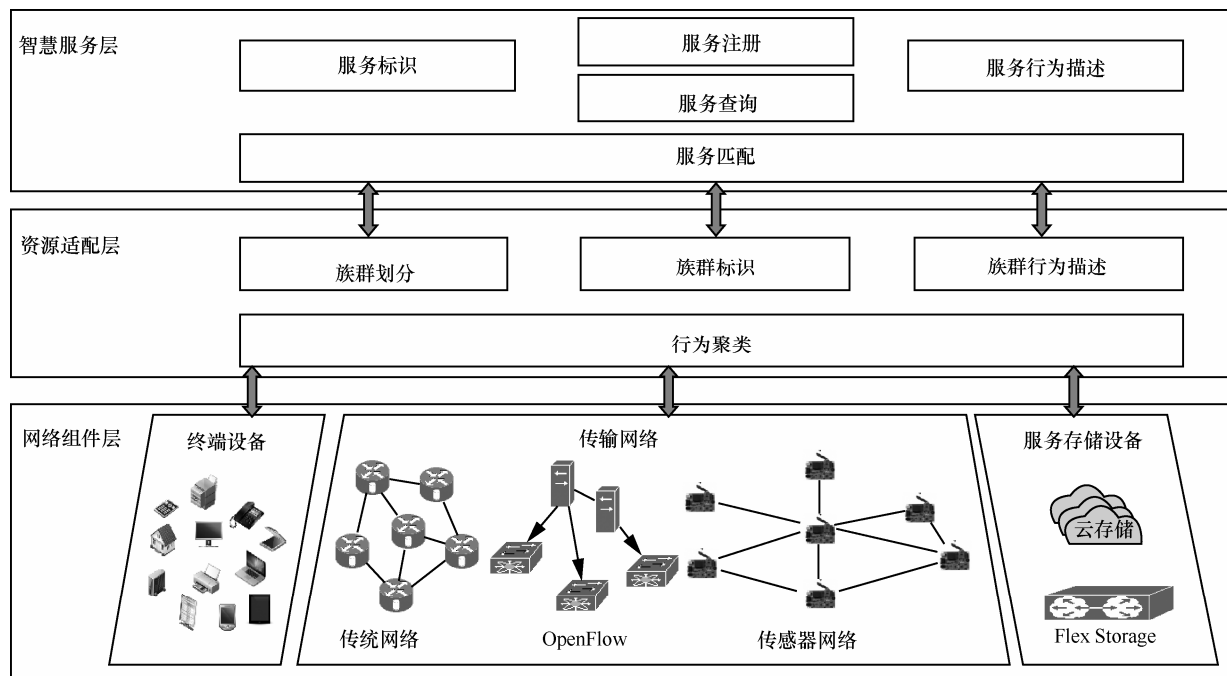


图1 支持传感器节点网络的智慧协同网络结构模型

备份是为了解决传感器节点由于自身硬件设施或软件系统某种故障而不影响网络正常使用的一种方法。备份传感器节点要求至少有一台与正在工作的簇首传感器节点相连，且可以完成簇首传感器节点的功能。在簇首传感器节点失效的情况下，代替簇首传感器节点为传感器节点网络提供服务。

3.1 簇首传感节点的选举

选举传感器节点网络的簇首传感器节点采用 Leach^[10]算法。Leach 算法在各个智慧协同网络传感器节点之间，随机分配一个(0,1)之间的随机数，设定的阈值 $T(n)$ ，该范围内选出传感器节点进行备份的比例为 P 。

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P \left(r \bmod \frac{1}{p} \right)}, & n \in G \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

其中, p 为成为簇首的期望百分比, r 为当前轮数; G 为在最后 $\frac{1}{p}$ 轮中还没有成为过簇首传感器节点的传感器节点集合。如果这个随机数小于该“轮”^[11]所设定的阈值 $T(n)$ ，且该节点在前 $\frac{1}{p}$ 轮内未被选举为簇首传感器节点，那么该传感器节

点被确定为簇首传感器节点。

具体算法流程如图2所示。

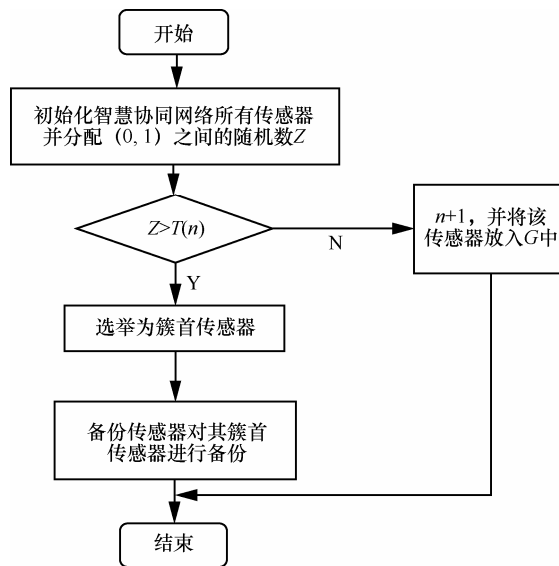


图2 簇首传感器节点 Leach 算法流程

3.2 备份流程

簇首传感器节点确定后，为保证簇首传感器节点的信息可靠性，由备份传感器节点向其采用“拉”的方式进行备份，具体备份过程如图3所示。

簇首传感器节点备份的具体步骤如下：

- 1) 备份传感器节点向簇首传感器节点发送

备份注册消息，进行备份注册；

2) 簇首传感器节点启用 Leach 算法判定自己是否是簇首传感器节点，如果是就进行备份注册应答，如果不是则直接将注册消息丢弃；

3) 备份传感器节点向簇首传感器节点请求存储资源；

4) 簇首传感器节点判定是否需要备份存储资源，如果需要就返回请求存储资源应答消息，如果不需要则直接将该数据分组丢弃；

5) 备份传感器节点请求其他信息，如邻居链路、转发表等过程同步步骤 3) 和步骤 4)；

6) 备份信息结束后，备份传感器节点向簇首传感器节点请求组件标识；

7) 收到备份传感器节点请求虚拟组件标识的消息后，簇首传感器节点根据自己的标识空间分配给其一个可聚合的组件标识，并发送给备份传感器节点。

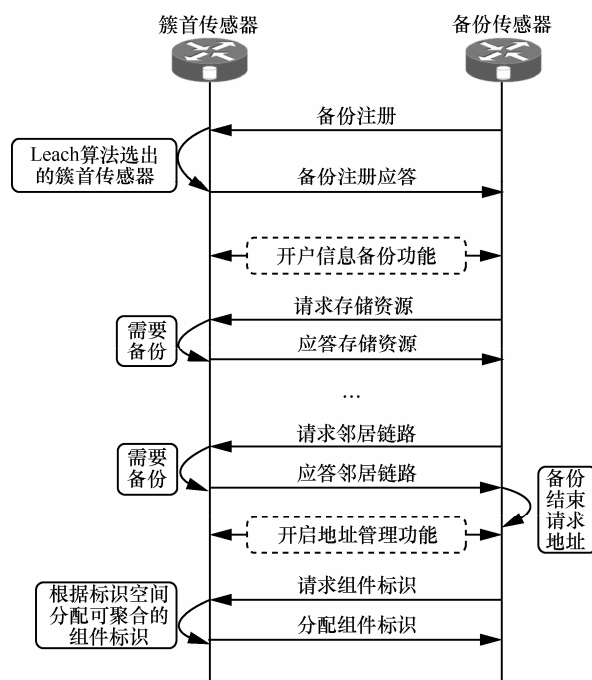


图3 传感器节点备份过程

簇首传感器节点可以将其中重要信息备份在备份传感器节点上，在信息不慎丢失或链路失效等情况下，可以向备份传感器节点进行数据请求。

3.3 备份传感器节点的更新

备份传感器节点的创建采用了“拉”的方式，而备份传感器节点的更新采用了“推”的方式。在完成路由信息备份的过程中，簇首传感器节点采用记录备份条目（PBT, pending backup table）来

记录备份的内容，启用更新定时器对备份资源更新进行检查，并向备份传感器节点进行推送。其中，PBT 条目的数据结构如表 1 所示。

表 1 PBT 数据结构

备份内容	更新定时期周期
接口列表	T0
SID1	T1
路由表	T2
SID2	T3

更新定时器到期后进行由簇首传感器节点检测该资源（包括服务、路由等）是否更新，若更新则向备份传感器节点发送更新报文进行更新。

3.4 备份传感器节点的启用

备份传感器节点采用备份路由启用定时器，定时向簇首传感器节点发送备份传感器节点启用请求报文，若簇首传感器节点回复备份传感器节点启用应答报文，则不启用备份传感器节点；若不响应，则启用备份传感器节点进行路由。

4 仿真实验

本文采用 Mini-Net 实验平台，设计了智慧协同网络传感器节点备份方法，并实现了协议交互和开启备份的功能。Mini-Net 是由斯坦福大学 Nick McKeown 研究小组基于 Linux Container 架构开发出的一套进程虚拟化的仿真测试平台。利用 Mini-Net 可轻松搭建任意拓扑的网络环境，可以完成基于 Openflow、ccnx、Open vSwitch 等各种协议进行开发实验，灵活地进行相关测试，并对测得的网络数据进行验证。其编辑代码可无缝迁移到真实的硬件环境中，使学术界和产业界进行无缝切换。可以仿真每个用户的具体行为，在网络性能上接近真实网络。

采用图 4 拓扑对传感器节点备份方法进行实验。拓扑中有一个簇首传感器节点和一个备份传感器节点，通过备份传感器节点对簇首传感器节点进行备份。簇首传感器节点的 NID1 和备份传感器节点的 NID1' 进行聚合生成聚合 NID1，簇首传感器节点的 NID2 和备份传感器节点的 NID2' 进行聚合生成聚合 NID2。其中 NID1 为 /iplab/bjtu/chain，NID1' 为 /iplab/bjtu/backup，NID2 为 /sever/bjtu/chain，NID2' 为 /sever/bjtu/chain。聚

合 NID1 为 /iplab/bjtu, 聚合 NID2 为 /server/bjtu。通过 NID1 与网络组件层的传感器节点网络相连, 通过 NID2 和传感器节点网络接口与智慧协同网络的上层服务器相连。

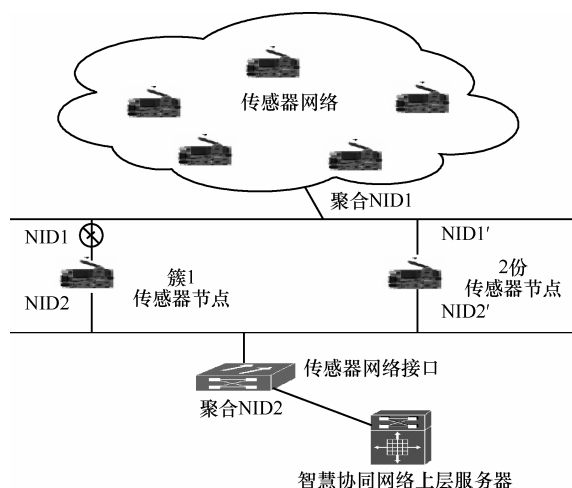


图4 路由器备份拓扑

设定传感器节点网络到簇首传感器节点往返时延为 20 ms, 传感器节点网络到备份传感器节点的往返时延为 100 ms。通过传感器节点网络向智慧协同网络上层服务器进行 ping 操作验证链路连通性, ping 包的时间间隔为 0.1s, 实验进行 100 s。每 10 s 将簇首传感器节点进行 down (传感器节点失效) 或 up (传感器节点启用) 操作, 在采用传感器节点备份机制, 和不采用传感器节点备份机制 2 种情况下, 测得往返时延如图 5 所示。

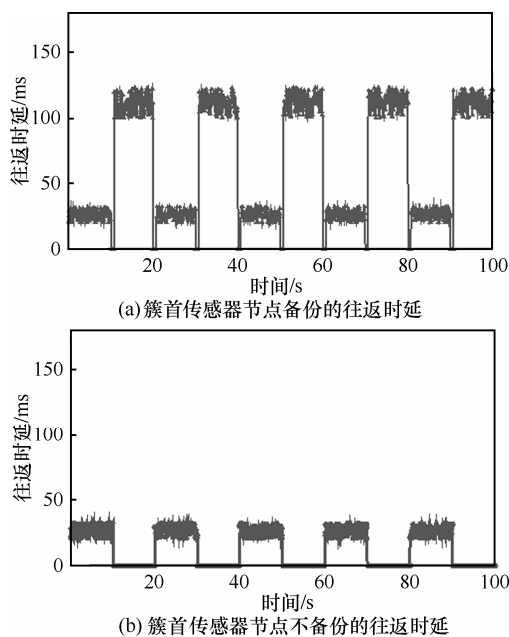


图5 往返时延

在进行 down 和 up 操作的前期出现切换中断, 切换时延如图 6 所示, 计算得到平均切换时延为 0.701 s。

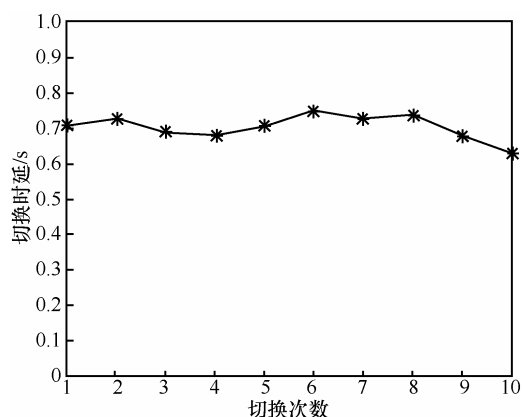


图6 簇首传感器备份的切换时延

5 结束语

本文针对智慧协同网络传感器节点的可靠性问题和传感器节点失效的网络问题, 研究了一种对簇首传感器节点进行备份的方法。采用 Leach 算法选举簇首传感器节点, 利用备份传感器节点对簇首传感器节点进行备份。当簇首传感器节点功能缺失或链路失效时, 启用备份传感器节点, 通过组件标识聚合实现簇首传感器节点和备份传感器节点对网络的透明。通过 Mini-Net 仿真实验, 分别对该方法进行了验证, 结果表明, 采用传感器节点备份机制可以有效解决传感器节点失效带来的网络中断问题, 具有切换速度快和时延小等优势。

参考文献:

- [1] LI D, MORTON P, LI T, et al. Cisco hot standby router protocol (HSRP)[J]. Heise Zeitschriften Verlag, 1998.
- [2] KNIGHT S, WEAVER D, WHIPPLE D, et al. Virtual router redundancy protocol[S]. IETF RFC 2338, 1998.
- [3] HINDEN R. Virtual router redundancy protocol (VRRP)[S]. IETF RFC 3768, 2004.
- [4] NADAS S. Virtual router redundancy protocol (VRRP) Version 3 for IPv4 and IPv6[S]. IETF RFC 5798, 2010.
- [5] HIGGINSON P L, SHAND M C. Development of router clusters to provide fast failover in IP networks[J]. Digital Technical Journal, 1997, 9: 32-41.
- [6] SHAND M, BRYANT S. IP fast reroute framework[S]. IETF RFC 5714, 2010.

- [7] 郇帅, 王洪超, 王凯, 等. 智慧网络组件协同机制研究[J]. 电子学报, 2013, 41(7): 1261-1267.
GAO S, WANG H C, WANG K, et al. Study of Intelligent network components synergy mechanism[J]. Chinese Journal of Electronics, 2013, 41(7): 1261-1267.
- [8] 张宏科, 罗洪斌. 智慧协同网络体系基础研究[J]. 电子学报, 2013, 41(7): 1249-1254.
ZHANG H K, LUO H B. Study of wisdom collaborative network system basis[J]. Chinese Journal of Electronics, 2013, 41(7): 1249-1254.
- [9] 苏伟, 陈佳, 周华春, 等. 智慧协同网络中的服务机理研究[J]. 电子学报, 2013, 41(7): 1255-1260.
SU W, CHEN J, ZHOU H C, et al. Study of wisdom collaborative network service mechanism[J]. Chinese Journal of Electronics, 2013, 41(7): 1255-1260.
- [10] TAO L, QING-XIN Z, LUQIAO Z. An improvement for LEACH algorithm in wireless sensor network[C]//The 5th IEEE Conference on IEEE Industrial Electronics and Applications (ICIEA). 2010: 1811-1814.
- [11] QIAN L, WU B, ZHANG R, et al. Characterization of 3G data-plane traffic and application towards centralized control and management for software defined networking[C]//The 2013 IEEE International Congress on Big Data IEEE Computer Society. 2013:278-285.

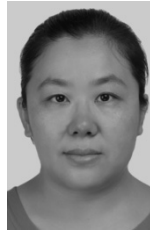
作者简介:



苗笛 (1986-) 女, 天津人, 博士, 天津职业技术师范大学讲师, 主要研究方向为新一代信息网络关键理论与技术。



黄斌 (1983-) 男, 江西赣州人, 硕士, 天津职业技术师范大学讲师, 主要研究方向为金融数学、数据挖掘。



李杰 (1979-) , 女, 天津人, 博士, 天津工业大学副教授, 主要研究方向为通信与信息系统。