

传感器网络信息处理支撑服务测试研究

王彦哲¹, 汪 歆², 邱依昕¹, 潘 强²

(1. 中国科学院上海微系统与信息技术研究所, 上海 200050; 2. 无锡物联网产业研究院, 江苏 无锡 214135)

摘要: 研究传感器网络信息处理支撑服务的测试方法, 在此基础上, 提出一种测试验证平台的解决方案。分析主动和被动测试方法。由服务器向激励节点发送测试激励, 并由汇聚节点反馈测试结果, 根据该主动测试原理, 给出各服务请求、指示、确认操作的测试流程。设计并实现具有较强可重用性的测试验证平台。应用结果表明, 该测试方法是有效合理的。

关键词: 传感器网络; 信息处理; 信息处理支撑服务; 协议验证; 协议测试

Test Study on Services Supporting Information Processing in Sensor Networks

WANG Yan-zhe¹, WANG Xin², QIU Yi-xin¹, PAN Qiang²

(1. Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050, China;

2. Wuxi SensingNet Industrialization Research Institute, Wuxi 214135, China)

【Abstract】 The article studies the test method of Services Supporting Information Processing(SSIP) in sensor networks. On basis of which, it also presents a solution of validation and test platform. It analyzes both active and passive test method. Using active test method, in which the server sends test stimulus to the stimulating node, and the sink node sends back test results. It gives out test flows and contents of request indication and confirm in each services. It designs and implements a validation and test platform of strong reusability. Relevant applications show the test methods are effective.

【Key words】 sensor networks; information processing; Services Supporting Information Processing(SSIP); protocol validation; protocol test

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2012.02.038

1 概述

随着传感器网络的广泛应用, 传感器与传感器节点之间的信息处理需求逐渐增多, 而在各项应用中存在大量共性的信息处理需求^[1], 并且由于传感器网络的特点, 网络中必然存在大量、异构的传感器节点^[2]。为规范网络中各节点的信息处理操作以及加强节点间在信息处理方面的互操作性, 有必要提出相应的标准予以规范。为此, 我国已由全国信息标准化技术委员会批准成立了传感器网络标准工作组, 并在该工作组下设了协同信息处理项目组(WGSN PG4), 用以研究制定传感器网络协同信息处理支撑服务协议国内标准^[3]。我国已向相关国际标准组织提交了“传感器网络信息处理支撑服务和接口规范”标准提案且获国际立项^[4]。

在协议制定过程中, 为验证和评估标准草案所述方法及协议规范的可行性, 需要实现对信息处理支撑服务协议的验证和测试。此外, 在协议实施过程中, 对待测网络或系统需要进行信息处理支撑服务协议一致性和互操作性的测试。其他一些标准如 IEEE802 系列、Zigbee 系列、ISA100、EPA 等均制定了相应的测试规范^[5]。这是因为, 协议说明一般采用自然语言撰写, 由于人的主观性以及协议可能具有的有意或无意的模糊性, 使得协议模型具有一定的不确定性, 同时协议可能存在内在兼容性问题^[6], 因此, 本文研究针对信息处理支撑服务(Services Supporting Information Processing, SSIP)协议的测试标准, 并建设测试平台, 以对 SSIP 协议的实现进行验证与测试。

2 SSIP 协议描述

SSIP 协议是在传统网络结构的基础上, 为解决传感器网

络在应用中面临的各种信息处理问题, 在网络层和应用层之间设置的支撑服务子层, 利用底层的网络资源向上层应用层提供相关信息处理支撑服务^[4]。SSIP 协议层级结构如图 1 所示。

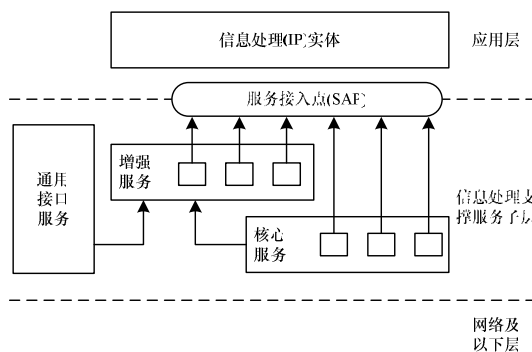


图 1 SSIP 协议层级结构

SSIP 协议中包含了诸多子功能协议内容, 各增强服务协议和具体应用场景相关。SSIP 核心服务主要包括事件服务、逻辑分组服务、数据同步与配准服务、信息描述服务、节点互激活服务、参数调整服务等共 7 项服务。每项服务内均有多项功能, 例如事件服务包含事件订阅、事件取消订阅、事

基金项目: 国家“973”计划基金资助项目(2011CB302901); 国家科技重大专项基金资助项目(2009ZX03006-002)

作者简介: 王彦哲(1986—), 男, 硕士研究生, 主研方向: 信号处理, 无线传感器网络; 汪 歆, 博士; 邱依昕, 学士; 潘 强, 博士

收稿日期: 2011-04-15 **E-mail:** wangyz828@gmail.com

件注册 3 项功能。每项功能的实现又需要请求、确认、指示等操作来完成。本文主要研究对 SSIP 核心服务协议中的各项功能进行实现与测试验证。

3 SSIP 协议测试平台设计

3.1 协议测试方法设计

传感器网络 SSIP 协议的测试方法可分为被动测试方式和主动测试方式。

被动测试方式是指测试节点在不介入待测网络内在行为的条件下,通过侦听、捕获等手段采集在网络内传输的部分或全部数据信息,对网络数据信息传输机制进行分析,进而评估系统行为的测试方法,被动测试方法流程如图 2 所示。

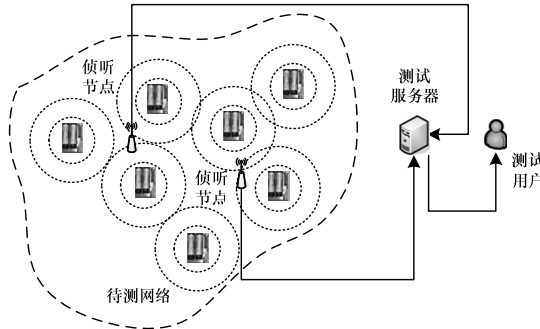


图 2 被动测试方法流程

可以看出,被动测试方式通过在待测网络中布设多个侦听节点,捕获待测网络内部的实时交互信息,并将捕获的信息在测试服务器端进行汇聚,结合捕获的历史交互信息,最终向测试用户提供测试结果。

主动测试方式指由测试平台主动发起的、通过对待测网络的响应及反馈信息进行分析以评估系统行为的测试方法。主动测试方法流程如图 3 所示。

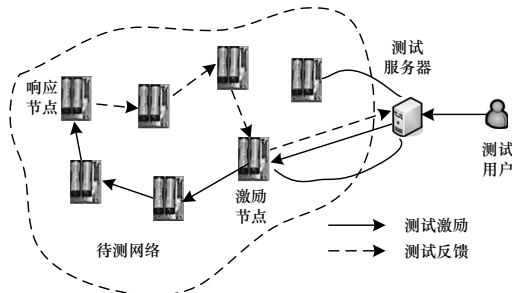


图 3 主动测试方法流程

可以看出,主动测试方式由测试激励节点发起,对于多个预置的激励内容,待测网络中的响应节点自下而上给出相应的响应,通过对响应节点的响应内容和方式进行分析实现对系统进行测试的目的。主动测试还可以由测试用户主动发起,以自上而下的方式在待测网络中完成特定的测试内容和任务。

比较被动测试方式和主动测试方式,可以看出两者主要有以下不同:(1)测试激励产生方式不同。被动测试方式的测试激励往往由测试系统自身产生;主动测试方式的测试激励一般由测试平台通过测试激励节点从外部给出。(2)测试内容不同。被动测试方式测试内容需完全预置;主动测试方式可以由测试用户随时通过测试激励节点对测试网络加入新的激励以实现特定的测试内容。(3)测试信息采集方式不同。被动测试方式主要采用侦听方式;主动测试方式主要依赖测试节点进行主动反馈。(4)测试结果不同。被动测试方式能得到全

网各个节点间传输的过程及结果信息,其中可能还包含一些网络建立及维护信息;主动测试方式只能得到特定节点的结果信息。

由于以上不同,2 种测试方法各有利弊。被动测试方式可获知的信息全面,但测试较复杂,且侦听节点网络层需单独设计,适用于协议故障诊断;主动测试方式测试内容灵活可控,但测试信息有限,适用于协议验证和测试。

3.2 测试平台设计原理

根据上节的分析,本文为验证协议的有效性及其协议实现与标准的一致性,主要关注协议实现呈现于外部的性能,即对待测节点对给定激励的反馈信息,对中间的通信过程不十分关注;同时为了屏蔽网络及以下层实现方式对本文系统设计的影响,保证测试内容的灵活性和可控性,测试平台拟采用主动测试方式,利用服务器端通过测试激励节点产生测试激励,分析测试响应节点的反馈信息,对待测网络进行黑盒测试。通过对某项特定服务协议的测试,验证服务本身的有效性和可行性,并通过一些测试例的执行来测试 SSIP 协议的实现是否符合标准及其兼容性,从而实现协议验证和测试任务。

在测试中,对协议请求、确认操作的测试流程如图 4 所示,对于指示操作的测试流程如图 5 所示。

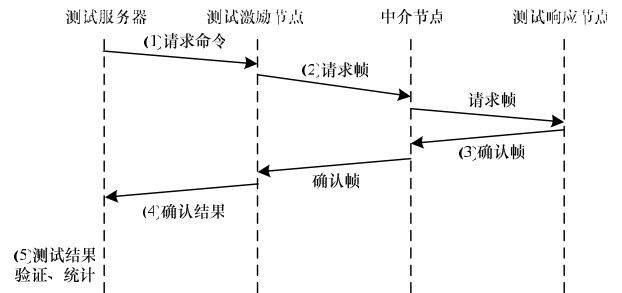


图 4 协议请求-确认操作测试流程

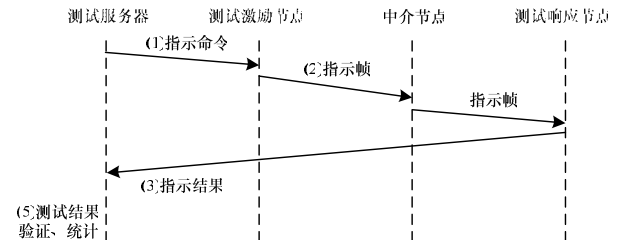


图 5 协议指示操作测试流程

具体测试流程为:

(1)以测试服务器为激励源,模拟信息处理实体所在的应用层,按照测试例集库或测试用户需求,向选取的测试激励节点发送某项服务的请求(或为指示)命令。

(2)测试激励节点解析命令后,按照该项服务协议格式要求,通过网络中其他中继节点,向测试响应节点转发请求(或为指示)帧。

(3)测试响应节点解析接收到的其他中继节点转发的请求帧,在完成相应信息处理操作后,按照协议格式向测试激励节点返回确认帧。

(4)测试激励(或为响应)节点解析接收到的确认(或为指示)帧,向服务器反馈结果信息(指示操作没有此步骤)。

(5)服务器对激励(或为响应)节点返回的确认(或为指示)结果进行验证、统计。

根据以上测试流程,协议测试平台由服务器和测试节点组成。服务器需根据测试例集库产生测试激励并对测试结果

进行分析统计。测试节点分为两类, 一般节点可以通过无线信道和其他网络节点交换数据报文, 部分节点除具有一般节点功能外, 还可以通过串口与测试服务器相连接, 接收测试服务器命令并向测试服务器反馈结果信息, 这部分节点称为汇聚节点。在测试中, 对于协议请求、确认操作, 测试激励节点只能选择为汇聚节点, 测试响应节点和中继节点可任选; 对于协议指示操作, 测试响应节点只能选择为汇聚节点。考虑到一个完整的协议测试循环中, 可能同时出现请求、指示、确认操作, 因此建议测试激励节点和测试响应节点选则为汇聚节点, 其余中继节点可任选。

4 SSIP 测试平台节点端设计与实现

协议测试平台节点端所有测试节点均需安装待测协议功能模块, 汇聚节点在此基础上还需安装服务器命令解析模块和服务器结果反馈模块。除应用模块外, 为实现节点间的无线通信等功能, 还应有相应的网络模块及基础(驱动)模块。

为相对屏蔽底层网络模块、基础模块, 实现应用模块的相对独立, 增强程序可重用性, 该平台拟采用多任务实时操作系统, 利用系统模块及任务调度方式对各模块进行管理^[7]。

节点端系统各功能模块及关系如图 6 所示。节点端系统可分为系统模块、基础模块、网络模块、应用模块 4 个部分。

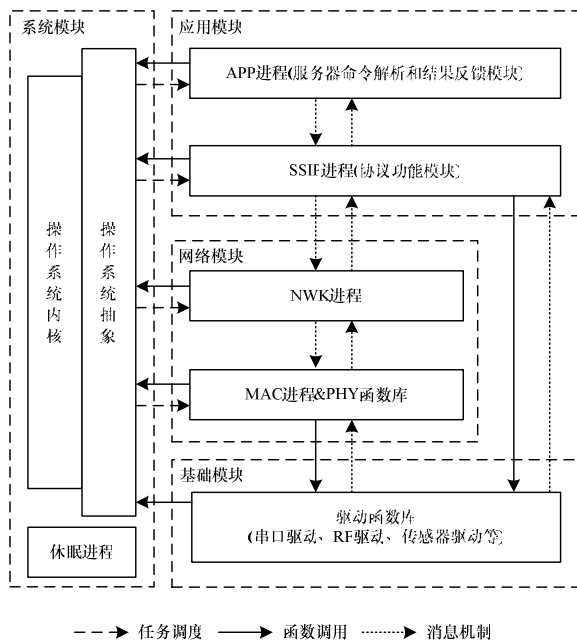


图 6 节点端系统功能模块及关系

在图 6 中, 基础模块提供节点所需的 RF 驱动、UART 驱动、传感器驱动等驱动程序, 并提供相应的功能服务。基础模块以函数库形式实现。系统模块实现对各进程进行管理、维护进程消息队列等。网络模块实现无线组网及通信功能, 包括 PHY 层、MAC 层、NWK 层, 其中, PHY 层以函数库形式实现, MAC 层与 NWK 层分别设计一个进程。应用模块利用网络模块提供的无线通信功能和基础模块提供的串口通信等功能, 实现服务器命令解析、按照协议格式组帧与解帧、结果反馈至服务器等操作, 并根据功能划分, 将协议组帧、解帧等功能模块设计在 SSIF 进程, 将服务器命令解析及结果反馈功能模块设计在 APP 进程。

应用模块特别是 SSIF 进程内容涉及 SSIP 协议的实现方法, 是本平台节点端软件主体。SSIF 进程以消息驱动的方式工作。节点端系统主循环状态如图 7 所示。

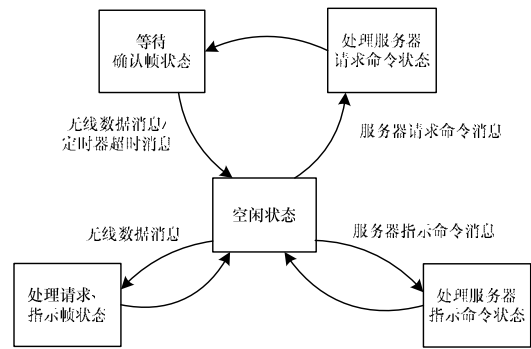


图 7 节点端系统主循环状态

4.1 节点接收到串口消息时的处理情况

节点在空闲状态接收到服务器传来的串口命令时, 首先由 APP 进程解析服务器命令, 之后发送服务器命令消息给 SSIP 进程。SSIP 进程接收后随即进入服务器请求命令处理状态, 按照对应服务协议格式编写请求帧, 通知 NWK 进程经无线信道向指定节点发送请求帧数据包。发送成功后, 开启定时器, 进入等待确认帧状态。在此状态收到由 NWK 进程发来的确认帧或定时器超时, 则向 APP 进程发送相应的结果反馈消息, 通知 APP 进程向服务器端反馈测试结果, 之后 SSIP 进程返回空闲状态。SSIP 进程若接收到服务器指示命令消息, 则进入服务器指示命令处理状态, 同样按照对应服务协议格式编写指示帧, 通知 NWK 进程经无线信道向指定节点发送指示帧数据包。发送成功后, 返回空闲状态。具体流程如图 8 所示。

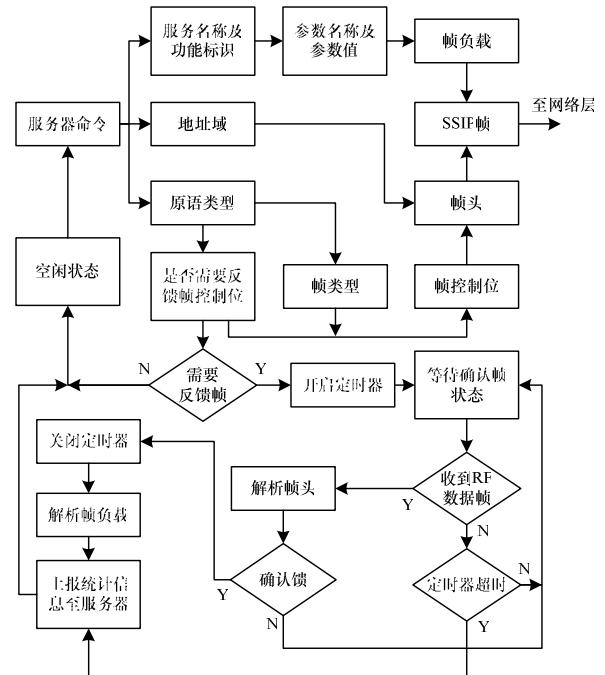


图 8 节点接收到服务器命令流程

4.2 节点接收到无线数据时的处理情况

当节点收到无线数据时, NWK 进程向 SSIP 进程发送无线数据消息, SSIP 收到后进入处理请求、指示帧状态, 从缓冲区读取该消息并解析数据帧。如该数据帧是请求帧, 则执行相应的信息处理操作, 并根据信息处理操作的结果及相关参数编写相应的确认帧, 通知 NWK 进程经无线信道发送确认帧数据包至请求帧来源节点。发送成功后返回空闲状态。如该数据帧是指示帧, 则通知 APP 进程上报服务器进行统

计。这一过程的处理流程如图9所示。

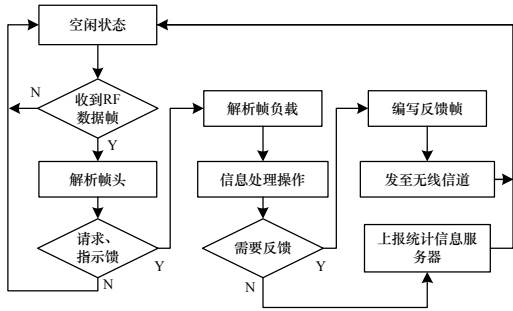


图9 节点接收到无线数据处理流程

在本次测试中，节点采用低功耗的 MSP430 单片机并移植 $\mu\text{C}/\text{OS II}$ 操作系统实现了以上设计内容。并利用 10 个节点组成的网络作为待测网络，其中，6 个节点作为汇聚节点与服务器通过串口连接。

5 SSIP 测试平台服务器端设计与实现

服务器端软件可划分为协议验证和协议测试两部分。每部分均包括测试激励模块和测试验证统计模块。测试激励模块负责根据验证和测试的需要组建服务器命令帧并通过串口向测试激励节点发送；测试验证统计模块负责分析节点返回数据帧的有效性，对结果进行统计并显示和记录统计结果。图10给出了服务器端软件各功能模块的具体框图。

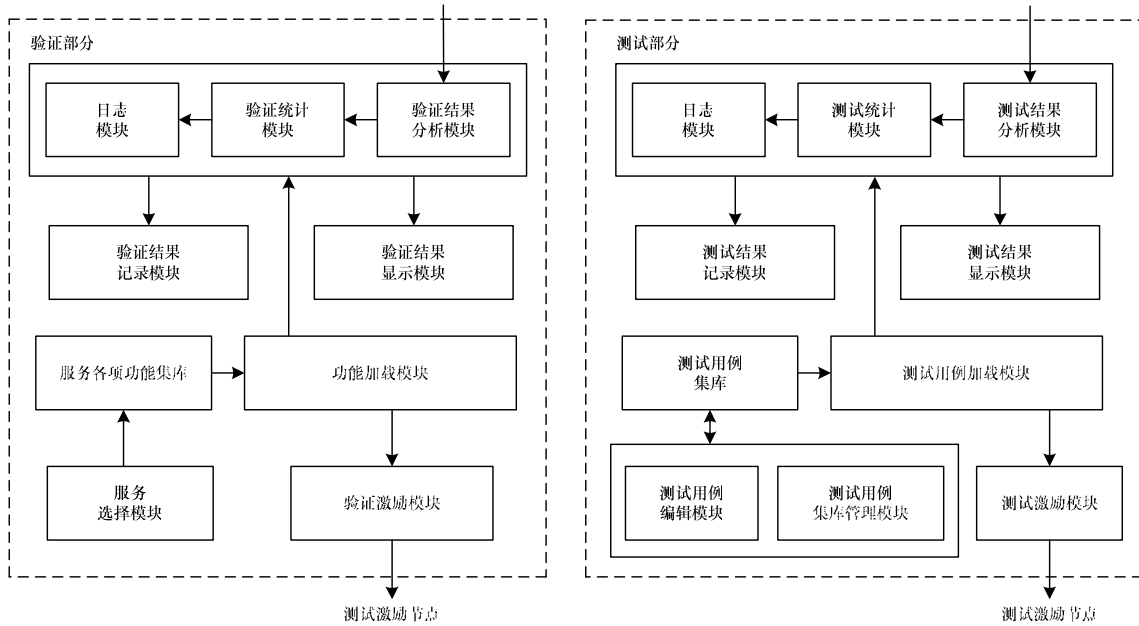


图10 服务器端功能模块框图

5.1 协议验证

协议验证是任意选择节点对某项选定服务进行有效性及实现符合性的验证。在完成硬件参数设置后，可以选择某项服务，对该服务的各项功能进行单次或多次重复测试，并最终给出验证统计结果。参与测试的激励节点可在之前设置的汇聚节点之中任选，除事件服务外响应节点可任意设置。协议验证界面效果如图11所示。

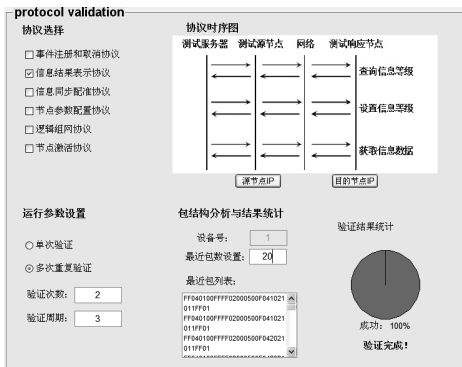


图11 协议验证界面

可以看出，本次验证选取了信息描述服务进行验证，每个统计周期内验证2次，共验证3个周期。界面右侧上方为信息描述服务的3种功能操作的验证时序图，下方左侧为服务器收到的最近20个包的内容，右侧为验证统计结果。本次

验证全部成功，故成功率为100%。

5.2 协议测试

协议测试是根据事先约定的测试样例，对特定节点组的几项服务进行一致性和兼容性的测试。同样，在完成系统基本配置之后，可任意选择参与测试的激励和响应节点，对选定的测试例进行单次或多次重复测试。一个测试例通常包含了数项服务中的功能，可测试节点对这些服务的支持状况及节点间的兼容性情况。软件内部集成的测试例集库中有6个基本测试例，对于实际测试，可根据需求创建编辑新的测试例。协议测试界面效果如图12所示。

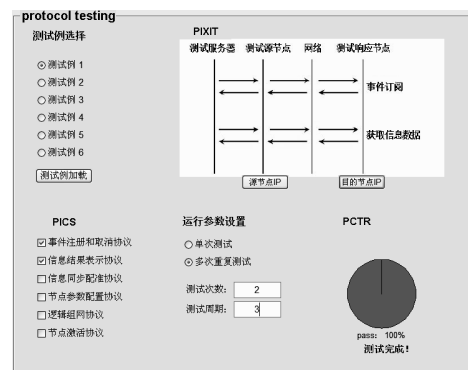


图12 协议测试界面