

# WSN 中基于分簇路由的多维度数据压缩算法研究

尹震宇<sup>1,2,3</sup>, 赵海<sup>3</sup>, 徐久强<sup>3</sup>, 王金英<sup>1</sup>

- (1. 中国科学院沈阳计算技术研究所, 辽宁沈阳 110171;  
2. 辽宁省数控控制总线技术工程实验室, 辽宁沈阳 110171;  
3. 东北大学, 信息科学与工程学院, 辽宁沈阳 110004)

**摘要:** 本文在不减少基站获取传感信息量的前提下, 以最大程度减少传输数据量为目的, 提出一种在分簇路由协议支持下的时间、空间多维度的数据压缩算法。结合基于空间维度的数据压缩方式设计了一种改进的分簇路由。通过实例验证与仿真评测, 该数据压缩算法以及配合该算法设计的路由协议可以显著的减少整个无线传感器网络中数据发送量, 延长网络的生存周期。

**关键词:** 数据压缩; 分簇路由; 路由; 无线传感器网络

**中图分类号:** TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2009) 05-1109-06

## Research on Multi-Dimensional Data Compression Algorithm for Cluster-Based Routing in Wireless Sensor Network

YIN Zhen-yu<sup>1,2,3</sup>, ZHAO Hai<sup>3</sup>, XU Jiur-qiang<sup>3</sup>, WANG Jin-ying<sup>1</sup>

- (1. Shenyang Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang, Liaoning 110171, China;  
2. Liaoning CNC Fieldbus Technology Engineering Laboratory, Shenyang, Liaoning 110171, China;  
3. School of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang, Liaoning 110004, China)

**Abstract:** A kind of multi-dimensional data compression algorithm for cluster-based protocol is proposed. The purpose of algorithm is reducing the wireless traffic without decreasing the accuracy of sensing information in wireless sensor network. Furthermore; a kind of clustering routing strategy, based on multi-dimensional data compression algorithm, is achieved. The experiment and simulation results show that wireless traffic can be significantly reduced by using the routing strategy based on this data compression algorithm. And the life of wireless sensor network can be prolonged.

**Key words:** data compression; cluster-based routing; routing; wireless sensor network

## 1 引言

无线传感器网络(WSN)在医疗、军事、环境监测等领域中都有广泛应用<sup>[1,2]</sup>。WSN的大部分研究围绕节能问题展开<sup>[3]</sup>,其中减少网络数据传输量是降低能耗的有效方法之一。很多WSN路由协议都假定节点具备数据压缩或数据融合的能力,如PEGASIS<sup>[4]</sup>等。

本文在不减少WSN基站获取信息量的前提下,以最大限度缩减传输数据量为目的,提出一种在分簇路由协议支持下的基于时间、空间多维度数据压缩算法。通过实际测试,该算法可实现节能目的并保证原始传感信息在基站上得到较高还原率,满足对传感数据还原精度要求较高的应用需求。

## 2 无线传感器网络数据模型

在环境监测等应用领域中,WSN的传感数据在长时间内均保持相对稳定,且相邻区域中传感数据有较大的相似性。这些传感数据所具备的特点为传感数据的压缩提供了可行性的前提条件<sup>[5]</sup>。

设WSN的传感数据表示为函数 $G(\cdot)$ ,由于传感信息具有长期性,因此 $G(\cdot)$ 应包含对时间的敏感度即 $G(\cdot)$ 可改进为 $G^T(\cdot)$ ,其中 $T$ 为WSN的一个监测周期,该周期可被分成离散的监测时间点 $T_n(n=N)$ ,其离散程度 $n$ 由其应用需求决定,时间敏感度越高,离散度 $n$ 越大。同时这个离散度与网络的传输延迟也有一定的关联,一般传输延迟越大,离散度 $n$ 越小。

函数  $G^T(I) = S_I^T$  以各传感器节点的唯一标识信息为自变量  $I$ , 标识信息可以根据应用采用不同策略, 如位置信息、节点 ID 等. 其值域为每个节点所传感信息的集合.  $S_I^T$  表示标识为  $I$  的节点在  $T_j$  时刻的传感信息, 存在:  $S_I^T = (S_{I,0}^T, S_{I,1}^T, S_{I,2}^T, \dots, S_{I,m}^T)$ ,  $m = N$ ,  $S_{I,m}^T$  为表示  $S_I^T$  第  $m$  个分量.

此外, 定义相似度函数  $R(\cdot)$ , 其含义表示: 两种不同传感信息的相似程度. 本文针对基于时间、空间的两个维度, 其相似度函数  $R(\cdot)$  可表示为纵向相似度  $Rv(\cdot)$  与横向相似度  $Rh(\cdot)$ .

$$Rv(S_I^T, S_I^T) = \sum_{k=0}^m D_k(S_{I,k}^T, S_{I,k}^T) \cdot k + D_{m+1}(T_a, T_b) \cdot m+1 \quad (1)$$

$$Rh(S_I^T, S_I^T) = \sum_{k=0}^m D_k(S_{I,k}^T, S_{L,k}^T) \cdot k + D_{m+1}(I, L) \cdot m+1 \quad (2)$$

其中  $m$  为传感信息的维度,  $D_k(\cdot)$  为传感信息分量或时间、空间的相似度函数, 取值范围为  $[0, 1]$ , 如果对比元素相同则  $D_k(\cdot) = 1$ , 相似度函数可以是经过多次测量的经验取值函数, 也可以利用模糊数学等方法建立该函数.  $k$  是维度标记为  $k$  的传感信息分量相似度或时间、空间维度相似的权重, 这里  $\sum_{k=0}^{m+1} k = 1$ .

纵向相似度  $Rv(\cdot)$  衡量的是同一个节点上, 不同时间传感信息的相似度, 横向相似度  $Rh(\cdot)$  则是为不同节点在相同时间点上的传感信息相似度提供一个量化标准. 相似度函数的取值范围为  $(0, 1)$ , 传感信息来自不同节点或者是同一节点的不同检测时间, 因此存  $R(\cdot) < 1$ , 又因为两种传感信息均存在于同一检测区域内, 所以会存在相关性  $R(\cdot) > 0$ .

### 3 分层多维度数据压缩算法

本文所设计的数据压缩算法是结合分簇路由协议所设计, 算法分为三层, 第一层为减少节点原始数据量而进行的本地压缩处理  $C_1(\cdot)$ ; 第二层为缩减簇内节点间或节点到簇头传输数据量的簇内数据传输压缩处理  $C_2(\cdot)$ ; 第三层为减少簇头节点向基站传输数据量的传感数据汇聚压缩处理  $C_3(\cdot)$ . 处理后基站获得数据为  $Sc = C_3(C_2(C_1(Sr)))$ , 其中  $Sr$  为节点原始传感信息集合. 基站根据得到的压缩数据  $Sc$ , 经过解压数据后得出还原传感数据集  $Sd$ ,  $Sd = \hat{C}_1(\hat{C}_2(\hat{C}_3(Sc)))$ , 其中  $\hat{C}_1(\cdot)$ 、 $\hat{C}_2(\cdot)$ 、 $\hat{C}_3(\cdot)$  分别是  $C_1(\cdot)$ 、 $C_2(\cdot)$ 、 $C_3(\cdot)$  的逆运算.

#### 3.1 第一层数据压缩算法 $C_1(\cdot)$

第一层数据压缩是在传感器节点内部进行. 每个

节点首先计算出原始传感信息  $G^{T_0}(I) = S_I^{T_0}$ , 计算  $S_I^{T_0}$  与时刻  $T_i$  的传感信息  $G^T(I) = S_I^T$  对比纵向相似度, 并根据传感精度要求设定相似度阈值  $\tau_k$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots, m, m+1$ , 其中  $\tau_k$  为相似度  $Rv(S_I^T, S_I^{T_0})$  的阈值, 如果  $Rv(S_I^T, S_I^{T_0}) < \tau_k$ , 则记录相应传感信息  $S_I^T$  相对于原始传感数据  $S_I^{T_0}$  变化量  $\Delta S_I^T$ , 并修改原始传感信息  $S_I^T = S_I^{T_0} + \Delta S_I^T$ ;  $\tau_k$  对应一个传感信息分量的相似度阈值, 如果  $Rv(S_I^T, S_I^{T_0}) > \tau_k$ , 但  $D_k(\cdot) < \tau_k$ , 则记录相应传感信息分量  $S_{I,k}^T$  相对于原始传感数据分量  $S_{I,k}^{T_0}$  变化量  $\Delta S_{I,k}^T$ , 并修改原始传感信息分量  $S_{I,k}^T = S_{I,k}^{T_0} + \Delta S_{I,k}^T$ .

上述算法只记录超过传感精度的传感信息, 除  $T_0$  时刻外, 只记录传感信息变化量, 从而减少了传感信息数据的发送量.

#### 3.2 第二层数据压缩算法 $C_2(\cdot)$ 与数据传输的路由算法

该层算法以节点信息通过多跳方式传输为前提条件. 针对本文压缩算法需求所设计的基于多跳方式的路由算法, 其簇头选择处理类似于 LEACH<sup>[6]</sup> 协议, 亦以节点剩余能量为依据确定簇头, 并且在节点进行原始数据传输中, 邻居节点也将侦听并存储在本地, 形成邻居节点信息表, 该表包含节点邻居的原始传感信息、位置信息、能量信息、信号强度、传感信息发送时间等, 为第二层数据压缩提供了参数依据; 簇内进行 PEGASIS 链路建立, 首先随机产生一个传输链的发起节点, 寻找没加入到链中的最短传输距离节点作为下一跳节点, 直到所有簇内节点都加入到链中. 这个过程结束后, 开始第二层的数据压缩传输路由.

本文的数据压缩为了保证基站能够获得最大信息还原度, 改进了 PEGASIS 传输过程, 首先还是由链路的发起节点 (标识为  $I$ ) 传输数据, 这个节点把经过第一层压缩过的数据  $C_1(G^T(I))$  传输到它的下一跳节点 (标识为  $J$ ), 计算  $Rh(C_1(S_I^T), C_2(S_J^T))$  的值, 如果该  $Rh(C_1(S_I^T), C_2(S_J^T)) > \tau_k$ , 为横向相似度的阈值, 则节点  $I$  与节点  $J$  的传感数据变化量相似, 可以进一步认为其传感数据相似. 可把  $C_1(G^T(J))$  传输到下一跳节点. 如果  $Rh(C_1(S_I^T), C_2(S_J^T)) < \tau_k$ , 节点  $I$  与节点  $J$  的数据变化量并不相同, 无法进行无损数据等长度融合压缩. 节点  $J$  将把节点  $I$  的数据变化量直接传输到簇头节点, 把自身的数据变化量发送到下一跳节点, 其过程持续到簇头节点结束. 这样进行数据传输存在一个时间延迟的问题, 如果链中最后一跳节点发生传感信息突变, 其产生的延迟将是灾害性的. 为提高基站对传感

信息变化感知的实时性能,在上述数据传输过程中,加入一种发起节点的抢占机制.该抢占机制把簇内各节点的数据采集与数据传输的时隙分开进行,数据采集时隙为  $t_a$ ,数据传输时隙为  $t_b$ .若  $t_a$  时间段内某个节点的传感数据发生突变  $Rv(S_i^T, S_i^T) < \dots$ ,那么这个节点立刻向所有簇内节点发送一个广播,告知由它担任发起节点,将传感数据信息由这种广播的方式传送给簇头.当这个节点的上一跳与下一跳节点收到广播包后,从这两个节点分别开始链路传输.下一跳节点按照正常顺序进行,而上一跳节点则按照反转顺序进行,一条链路变成了两条链路.当簇头接收到一个链的全部数据后,即可把这些数据压缩后传到基站上.最坏情况是 PEGASIS 初始链路的发起节点是第一个传感数据变化的节点,延迟还最大.采用这种抢占式节点发起方式,平均延迟时间大为缩短.另一种情况是,如果在数据采集时隙  $t_a$  内没有发生传感数据的大幅度变化,在数据传输时隙  $t_b$  内则进行没有抢占的压缩数据传输.

### 3.3 第三层数据压缩算法 $C_3(\cdot)$

第三层的数据压缩在簇头节点上进行.假设一个簇内有  $n$  个节点,由传感信息相似度分成的组有  $x$  个,每个传感信息相似度的分组所需要表达信息的数据长度为  $l_x$ ,那么簇头节点共收到簇内节点的传感信息长度为  $\sum_{i=1}^x i \cdot l_i$ .文献[7]中提出一种基于区间小波变换的混合熵数据压缩方法.这种数据压缩方法很好地利用了小波在数据压缩方面的优势,并结合了信息熵的方式减少冗余信息.本文所设计的在簇头进行的第三层数据压缩也是一种数据汇聚后的数据压缩算法.与文献[7]相同,本文采用的也是快速 MALLAT 算法对数据流进行 3 次小波分解的算法.但与文献[7]不同的是,本文的数据汇聚数据压缩是在前两层原始传感数据压缩的基础上进行的,对于汇聚到簇头节点的数据并不需要获取其实际物理意义,即数据的信息熵,只要把簇头节点汇聚到的长度为  $\sum_{i=1}^x i \cdot l_i$  的数据看成一个数据大小可变,且阵发性的数据流即可.通过第一层与第二层的数据压缩把全局的数据压缩的计算量进行了分散,有利于节点能量消耗的平均分配,因此第三层数据压缩只需要采取小波变换进行数据流的压缩.每次数据压缩的程度会根据本次汇聚的数据流的差异有所不同.

## 4 基站的数据解压算法

本文中的设计通过三个层次的算法,把由原始传感数据  $G^T(I) = S_i^T$  组成的集合  $S_r$  压缩成  $S_c = C_3(C_2(C_1(S_r)))$ .那么在集站上就需要通过解压算法

$S_d = \dot{C}_1(\dot{C}_2(\dot{C}_3(S_c)))$  实现对原始传感数据的还原.

压缩算法逐层进行,解压算法作为压缩算法的逆运算也逐层展开.在基站上,先进行小波分析的逆运算[7],即  $\dot{C}_3(S_c)$ ,这层解压完全是数学上的运算,无需确定其物理意义.

第二层与第一层解压算法  $\dot{C}_2(\cdot)$ 、 $\dot{C}_1(\cdot)$  则与无线传感器网络的传感信息的物理意义密切相关.为了准确方便的记录此无线传感器网络中的传感信息数据,在基站上生成一个传感信息矩阵

$$= \begin{bmatrix} 1,1 & 1,2 & \dots & 1, nr1 & 1, n \\ 2,1 & 2,2 & \dots & 2, nr1 & 2, n \\ \dots & \dots & \ddots & \dots & \dots \\ nr1,1 & nr1,2 & \dots & nr1, nr1 & m, nr1 \\ m,1 & m,2 & \dots & m, nr1 & m, n \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中行标  $m$  标识整个网络被分成了  $m$  个簇,  $n$  标识为  $m$  个簇内包含节点最多的数量.矩阵里的元素  $i, j$  表示第  $i$  个簇内第  $j$  号节点的还原传感信息.矩阵的初始矩阵  $T_0$  在簇形成后即形成,矩阵中的元素初始值通过各个簇内第一轮基准数据采集得到.通过初始矩阵  $T_0$  作为基准,在后续时间内基站会陆续收到根据横向相似度与纵向相似度作为判据的压缩信息.那么  $T_d$  时刻的还原传感信息矩阵中的元素为  $T_{ij} = T_{ij}^0 + T_{ij}^d$ ,其中的  $T_{ij}^0$ 、 $T_{ij}^d$  都有  $k$  个分量,  $T_{ij}^d$  的分量即为通过第一层压缩  $C_1(\cdot)$  算法得出的相对于原始传感数据分量  $s_{T,k}^T$  变化量  $s_{T,k}^T$ .通过  $C_2(\cdot)$  算法压缩后,减少了  $T_{ij}^d$  的种类,即在经过  $C_2(\cdot)$  算法压缩前整个网络中传感数据变化存在  $u$  种变化方式,而经过  $C_2(\cdot)$  算法压缩后存在  $u$  种变化方式.把这种变化施加到前一个时间段的传感信息矩阵上,得到新的无线传感器网络的全局传感信息.

## 5 分层多维度数据压缩算法实例与仿真评测

### 5.1 分层多维度数据压缩算法的小范围实际测试

本部分讨论针对室内温度与光照度环境监测试验条件下算法的性能.

测试平台包括 MIB510 基站及 30 个 Micaz 节点,操作系统采用 TinyOS.为使实验数据变化更加明显有利于观测,采用白炽灯加热的方法改变每个节点周围的温度和光照(白炽灯根据实验需求独立控制),以此模拟环境变化. Micaz 节点搭载 MTS300 传感器板,其温度传感器型号为 ERTJ1VR103J,光照度传感器型号为 CL94L,温度采集频率 1Hz,光照度采集频率 0.5Hz. MIB510 通过串口向 PC 机传输所获得的数据,并在 PC 机上进行数据还原.实验环境为 100m<sup>2</sup> 的室内空间,为验证本文数据压缩方法,WSN 内部节点设定为分簇路由方式通信,

共分 3 个簇,每簇内节点数不固定,重新分簇周期设为 15 分钟,簇内 PEGASIS 链路的一轮传输周期为 10 秒. 温度与光照的权重  $w_0, w_1$  设定为 0.45,时间与空间分量的权重设定为 0.1.

Micaz 节点上的通讯芯片为 CC2420,采用 802.15.4 协议,载波监听过程中,无线信号冲突时会有避让产生,因此测量突变信息节点延迟时间会有向后的误差产生,这个误差通过传输层的路由协议是无法预知的,并且由于实验中通讯距离较短,PEGASIS 传输中调整通讯距离的节能效果不明显,但是这些问题并不影响对本文中数据压缩算法的检测.

实验中原始数据包长度为 12 字节,包括节点 ID、剩余能量、发射功率、发包时间、温度 AD 值、光照 AD 值,而经过时间纬度压缩后的数据包长度为 7 个字节,只有节点的 ID 无法压缩. 本文共做三组实验且均没在簇头采用小波压缩算法,旨在更明显观测空间和时间压缩的效果,因为小波压缩会把一些高频分量省略,不能很好的分析所得数据的准确性.

**实验 1** 该组实验目的是测量传感数据不发生变化时,数据压缩产生的效果. 在实验中保持测试的外部环境在一个相对稳定的状态,即白炽灯状态不变,分别进行如下设置:设  $w_0 = 0, w_1 = 0$ ,即不采用压缩算法;  $w_0 = 0.2, w_1 = 0$ ,即只采用时间压缩纬度;  $w_0 = 0, w_1 = 0.2$ ,即只采用空间压缩纬度;  $w_0 = 0.2, w_1 = 0.2$ ,即采用多维压缩.

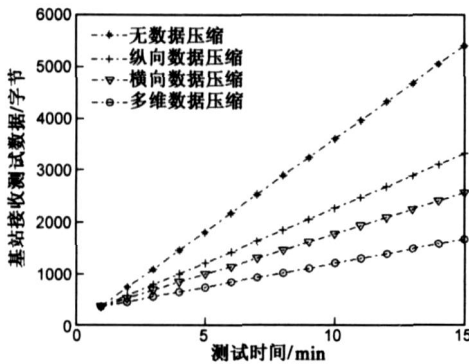


图1 接收数据字节数

试验结果如图 1 所示,可见多维数据压缩的数据包随时间增长的斜率最小,表明在相对稳定条件下该压缩算法是有效的. 由于实验中检测参数较少,只有温度和光照两种类型,纵向时间压缩采用只记录数据的变化量来减少数据的长度,因此纵向压缩的比率很小.

**实验 2** 为测量传感数据突变时数据的压缩效果变化,在簇形成后人为改变白炽灯状态,以达到使传感数据突变的效果. 实验中分别设置  $w_0 = 0, w_1 = 0$ ;  $w_0 = 0.2, w_1 = 0.2$ .

图 2 为测量环境变化情况下采用多维数据压缩与不采用数据压缩对比情况,可知在不采用数据压缩算

法条件下,基站接收到的数据总量与检测环境稳定所得到的传感数据总量相同,但在存在传感数据突变情况下,采用时间与空间上的数据压缩算法后接收到的数据总量比实验 1 所接收数据多,且随白炽灯发生状态改变数量的增加,基站接收数据也会随着增加,其原因为:当有传感数据突变时,相应的测量节点需要将此时的数据完整的传输到簇头节点;此外,数据突变后原本一条 PEGASIS 链路将分成两条,且空间上数据变化类型的划分也会增加,这种处理突发传感信息的方式,将减小紧急突变传感数据传输的延迟.

**实验 3** 测量相似度阈值变化对还原度的影响,用完整的信息与存储的还原矩阵值进行比较所得,还原度为:

$$1 - \sum_{n=0}^{29} (e_n / 30), e_n \text{ 为节点 } n \text{ 的还原误差.}$$

由图 3 可知还原率呈下降趋势,这与实际应用是相符的. 图中曲线在阈值为 0.3 处下降趋势变快,说明阈值超过 0.3 后,还原的效果急剧下降,因此,压缩的阈值建议取 0.2 到 0.3 之间,即保证了压缩的效果又保证了还原度.

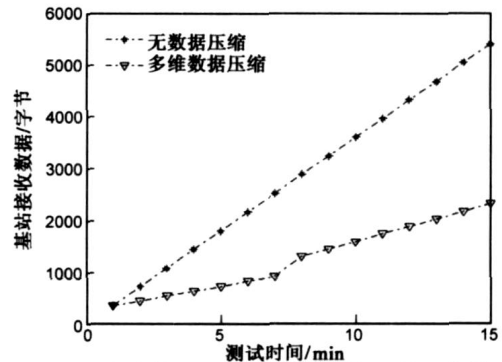


图2 多维数据压缩与不采用数据压缩对比图

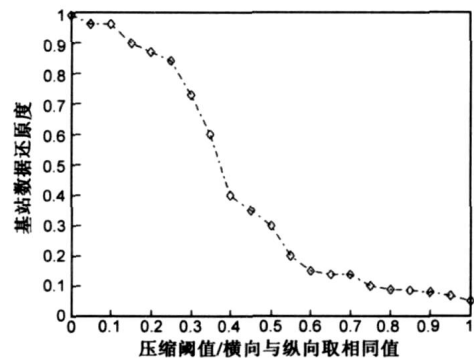


图3 压缩阈值与还原度关系曲线

### 5.2 分层多维数据压缩算法在大规模传感器网络中的仿真评测

由于实验条件与环境所限,只进行小规模 WSN 的实际测试,对大规模 WSN 测试借助仿真进行. 本文采用 TOSSIM 仿真环境,并对 TOSSIM 进行如下修改:加入了实现节点传感数据定时变化的程序;此外,由于 TOSSIM

的 LOSSY 模式下随机布点的方法中传输数据成功概率只与节点之间的距离有关,无法仿真在修改传输功率时的链路真实情况,因此,修改 TinyOS 底层通讯程序,加入在传输功率改变条件下传输数据的成功概率。

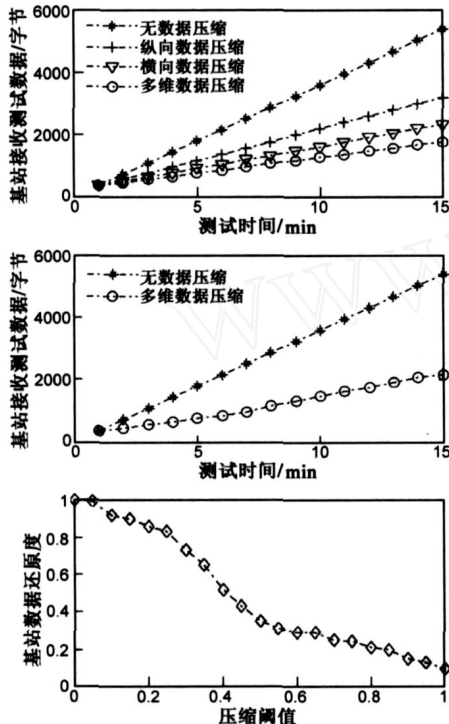


图4 小规模无线传感器网络仿真数据

**仿真 1** 仿真节点数为 30,仿真环境设定边长为 10 个通信距离单位的正方形区域,每节点的最大通讯距离为 30 个单位。用传感仿真数据定时变化程序模拟实验 1、2、3 的监测环境,得到的仿真数据如图 4 所示,仿真结果与实测结果吻合,因此小规模传感器网络

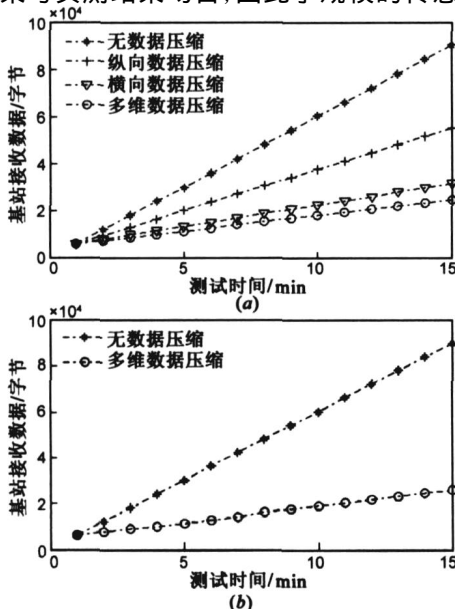


图5 大规模无线传感器网络仿真数据压缩

适合采用本数据压缩方法。

**仿真 2** 仿真节点数设为 200,网络中簇头节点数设定为 20,仿真区域设定边长为 100 个通信距离单位的正方形区域,最大通讯距离设为 30 个距离单位,节点之间数据传输需采用多跳传输方式,簇头在转发数据过程中不对数据做任何的修改。

仿真过程中同样先分别监测在传感数据不变的条件下,不采用数据压缩与采用多维数据压缩接收到的数据量,然后逐渐改变压缩阈值,得出多组数据。如图 6 示,数据压缩的程度优于小规模低密度的传感器网络,数据还原度与阈值之间的关系与小规模的趋势基本相同。可以得出,分层多维的数据压缩算法同样适用于较大规模的无线传感器网络的应用中。

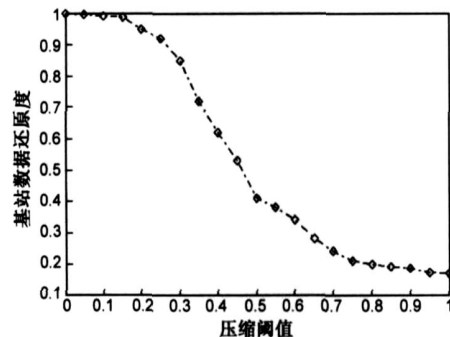


图6 大规模无线传感器网络仿真压缩阈值与还原度关系曲线

## 6 结束语

本文针对要求传感数据在基站具有较高传感数据还原率等应用环境中,采用时间、空间多维度进行原始传感数据压缩。根据实际试验与仿真评测,较为全面的分析了此压缩算法在无线传感器网络中的应用效果。但由于试验环境,仿真环境的局限性,对超大规模传感器网络的仿真没有实现。而且本文只是从传感数据压缩的程度来度量节能的效果,并未考虑 MCU 对压缩算法计算处理消耗能量,以及突变的传感数据传输延迟时间等方面带来的影响,这些都是今后需要继续进行的工作。

### 参考文献:

- [1] Edgar H C. Wireless Sensor Networks :Architecture and Protocol[M]. New York :Auerbach Publications ,2004. 21-110.
- [2] Shen Chien-chung ,Srisathapornphat C ,Jaikaeo C. Sensor information network architecture and applications[J]. IEEE Personal Communication ,2001 ,8(4) . 52-59.
- [3] I F Akyildiz , W Su , Y Sankarasubramaniam , E Cayirci. Wireless Sensor Networks : A urvey , Computer [M]. New York : auerbach Publications ,March 2002 :9 - 15.
- [4] Lindsay S ,Raghavenda C S. PEGASIS :Power efficient gathering in sensor information systems [A]. Proceeding of the IEEE

- Aerospace Conference 2002[C]. New York, 2002. 1125-1130.
- [5] P Rickenbach, R Wattenhofer. Gathering correlated data in sensor networks [A]. In DIALM-POMC Joint Workshop on Foundations of Mobile Computing [C]. Philadelphia, PA, USA, ACM, Oct. 2004. 60-66.
- [6] Heinzelman W R, Chandrakasan A P, Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless sensor networks [A]. Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences 2000 [C]. Hawaii, 2000. 175 - 187.
- [7] 谢志军, 王雷, 等. 无线传感器网络中基于数据压缩的汇聚算法研究[J]. 软件学报, 2006, 4(17): 860-867.  
Xie Zhi-jun, Wang Lei et al. An algorithm of data aggregation based on data compression for sensor networks [J]. Journal of Software, 2006, 4(17): 860 - 867. (in Chinese)

## 作者简介:



尹震宇 男, 1979 年生于辽宁沈阳, 博士, 中国科学院沈阳计算技术研究所副研究员. 主要研究方向: 嵌入式系统, 无线传感器网络, 实时以太网.

Email: congny@126.com



赵海 男, 1959 年生于辽宁沈阳, 东北大学教授, 博士生导师, 辽宁省嵌入式技术重点实验室主任; 主要研究方向: 嵌入式系统, 无线传感器网络, 普适计算, 信息融合.