

基于压缩感知的动态区域划分 GAF 算法

梁 青, 沈雅萌

(西安邮电大学 电子工程学院, 陕西 西安 710061)

摘 要: 针对无线传感器网络在传输大数据量时因节点能耗过大、死亡过快, 而出现网络生存周期较短的问题, 提出了在对无线传感器网络区域动态划分的情况下, 通过压缩感知在簇头处对数据量进行压缩的 GAF 算法. 一方面由于压缩感知具有在压缩端计算简单, 在构端计算复杂的特点, 通过对信号的稀疏变换与观测降维, 可以有效地减少簇头需要发送的数据量, 降低网络耗能; 另一方面, 根据节点分布的稀疏度合理划分可变的动态区域, 可均衡整个网络的能量消耗. 仿真结果显示, 基于压缩感知的无线传感器网络动态区域划分 GAF 算法能在输出信号效果优良的情况下节省了节点耗能, 延长了网络生存期.

关键词: 无线传感器网络; 改进 GAF 算法; 压缩感知; 动态区域划分; 网络生存周期

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2016)07-0024-04

The Dynamic Region Division GAF Algorithm Based on Compressed Sensing

LIANG Qing, SHEN Ya-meng

(School of Electronic Engineering, Xi'an University of Posts & Telecommunications, Xi'an 710061, China)

Abstract: Wireless sensor network node energy consumption when there is a large amount of data is too large, death too fast, cause the network of the problem of short lifetime, this paper put forward a GAF algorithm by compressed sensing in the cluster heads to compresses data under the condition of dynamic network area in wireless sensor network. On the one hand, compressed sensing on the compression side simple calculation, construction side computing complex characteristic, through to the signal sparse transform and observation dimension reduction, effectively reduce the cluster heads need to send the amount of data, reduce the network energy consumption. On the other hand, according to the sparse degree of node distribution to rationally divided variable dynamic area, can balance the network energy consumption. The simulation results show that the dynamic region division GAF algorithm based on compressed sensing in wireless sensor network can save the energy consumption and extend the network lifetime in the case of the output good result signal.

Key words: wireless sensor network; improved GAF algorithm; compressed sensing; dynamic region division; the network lifetime

1 引言

无线传感器网络是将传感器技术、无线通信技术、分布式信息处理技术以及嵌入式计算技术综合与一体化, 实现对客观物理世界的感知. 可应用于军

事领域, 环境的检测与保护, 医疗护理等方面. 由于传感器节点具有体积小、价格低、能量和计算能力有限的特点, 一般只能做计算较为简单的工作, 在部署完成后, 不能通过大规模更换传感器节点的电池来延长使用时间^[1]. 因此, 降低网络能耗、延长网络生

收稿日期: 2015-09-23; 修回日期: 2015-11-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(61202490); 陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2014JM2-6117); 陕西省教育厅专项科研计划项目(15JK1654)

存期显得尤为重要。

在无线传感器网络中,一方面,通过对传感器网络中需要传输的大数据的压缩,有效地降低传输数据时节点的耗能,可以实现延长网络生存周期的目的;另一方面,合理的拓扑控制能够有效的减少网络的能量消耗,也可达到提高网络整体性能的目的。其中,文献[2]对 GAF 拓扑控制算法进行了最优簇首数划分单元格的改进。本文针对以上两种方法,首先提出了将压缩感知理论应用于无线传感器网络的改进 GAF 算法,对传输数据量进行减少,减少节点死亡数,其次,对改进 GAF 算法中簇头区域划分固定,网络能耗不均衡的问题提出了动态区域划分的方法,实现了减少节点能耗,延长网络生存期的目的。

2 压缩感知理论

压缩感知是一种新兴的数字信号处理方法^[3],是以对信息的稀疏变换,观测矩阵的降维,最后通过适合的重构算法对输入信息来进行精确的重构,比之传统的压缩方法,改变了原有限制条件(奈奎斯特采样定理)和难易复杂度。其框架如图 1 所示。

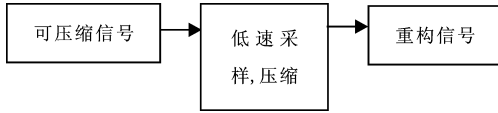


图 1 压缩感知框架

设存在一个一维有限实长信号 $x \in R^N$, x 可看作 $N \times 1$ 维列向量,且能用某个特定满足正交条件的向量基 $\Psi = [\Psi_1, \Psi_2, \dots, \Psi_N] \in R^{N \times N}$ 的线性组合来表示,故:

$$x = \Psi \alpha = \sum_{i=1}^N \alpha_i \psi_i \quad (\alpha = \Psi^T x) \quad (1)$$

式中, $\alpha = [\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N]^T$ 为 x 在向量基 Ψ 下的稀疏向量。设稀疏向量 α 是 k 稀疏的,即非零元素 k 的个数远远小于 N ,则 x 在稀疏域 Ψ 中是 k -稀疏的。

观测矩阵是对稀疏向量的进一步变换,就是用—个 $M \times N (M \ll N)$ 维的观测矩阵的 M 个行向量对 x 进行投影,实际上即降维处理,得到不相关的观测值。但观测矩阵必须满足约束等距性(Restricted Isometry Property, RIP)^[4] 条件,其提供的是一个系统可以进行压缩感知的充分条件,且要求 Φ 与 Ψ 不相关,常用的观测矩阵有高斯随机矩阵、贝努力随机矩阵、部分正交矩阵等^[5]。在满足以上条件的前提

下,可得到:

$$y = \Phi x \quad (2)$$

式中, $\Phi^{M \times N}$ 为观测矩阵, y 为 $M \times 1$ 维投影值。

最后需要对数据进行重构,可把对稀疏信号的重构转换为求解最小 l_0 范数,求解:

$$\min ||\Psi^T x||_0 \quad \text{s. t.} \quad \Phi \Psi^T x = y \quad (3)$$

重构的方法主要有组合算法、凸松弛法、贪婪追踪法等^[6]。凸松弛法可以得到高概率的精确信号重构,通过对 l_1 优化问题的解决,逼近目标函数;贪婪追踪法是通过迭代更新残差来计算 x 的支撑,组合算法要求对信号高度结构化的采样,经由群测试快速恢复支撑^[7]。压缩感知实质是将原信号转换到低维空间上,实现减少无线传感器中传输的数据量,是优化无线传感器网络的一种途径。

3 基于压缩感知的改进 GAF 算法

设有一个由 m 个节点和一个固定 sink 组成的传感器网络。对于向量 $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$,假设 x 是稀疏度为 k 的信号,首先对 x 在某一基上进行稀疏变换,将数据通过改进 GAF 算法传至簇头时,再用 $M \times N$ 维测量矩阵进行观测,本文中采用随机高斯矩阵,其中 M 的取值需满足:

$$M \geq ck \log(N/k) \quad (4)$$

得到的压缩后的结果为

$$\begin{aligned} y &= \Phi x \\ &= (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_N) (x_1, x_2, \dots, x_N)^T \\ &= \sum_{i=1}^N \varphi_i x_i \end{aligned} \quad (5)$$

式中, φ_i 为 $M \times 1$ 维列向量。

即在传感器网络中每个簇头发送的数据量为 $M \times \text{Size}$ 。最后,由于 sink 处处理能力与能量较强,采用重构算法在 sink 处接收到的 M 个测量值即可重构出原始信号 x 。与原有的数据传输相比较,如果传感器网络中的子节点传输的数据的长度比 $M-1$ 值大,那么就可以减少数据量的传输。

由上述可知,获取长度为 N 的字节数据,使用改进 GAF 算法采集数据在整个网络内需要接发的字节数即为 N 个,使用基于压缩感知的改进 GAF 算法采集数据则只需要在簇头处发送 M 个字节的观测值,而 $M \ll N$,因此,大大减少了网络内需要接发的数据量,优化了网络结构。

采用 MATLAB 对基于压缩感知的改进 GAF 算法进行仿真分析,改进算法为文献[2]所述算法,对信号恢复效果及网络生存期进行了比较。网络生

存期定义为传感器网络中存活节点的个数与网络中所覆盖节点的比值. 使用 Matlab 产生长度 $N=256$ 的稀疏信号, 其稀疏度为 23, 且这 23 个非零值随机分布于信号的 256 个位置, 重构算法选择 MP 算法, 仿真数据均经过大量实验产生. 其他参数如表 1 所示, 其中, E_{elec} 为接收或发送电路在收发数据所用能耗; E_{DA} 为簇首在进行融合时的耗能; ϵ_{fs} 为自由空间模型的功率放大损耗; ϵ_{amp} 为多路径衰减模型的功率放大损耗.

表 1 参数

类型	参数名称	参数值
能耗模型	E_{elec}	50 nJ/bit
	E_{DA}	5 pJ · bit ⁻¹ · signal ⁻¹
	ϵ_{fs}	10 pJ · bit ⁻¹ · m ⁻²
	ϵ_{amp}	0.001 3 pJ · bit ⁻¹ · m ⁻⁴
网络模型	节点初始能量	0.5 J
	节点通信半径	150 m
	监测区域	从(0,0)到(200,200)
	节点个数	400 个
	基站位置	(100,100)

(1) 重构信号效果比较

对于传输信号而言, 信号能否精确的恢复是衡量整个结构的重要条件之一, 将长度 N 为 256 的信号压缩为长度 $N=128$ 的信号后在传感器网络传输, 其恢复效果如图 2 所示.

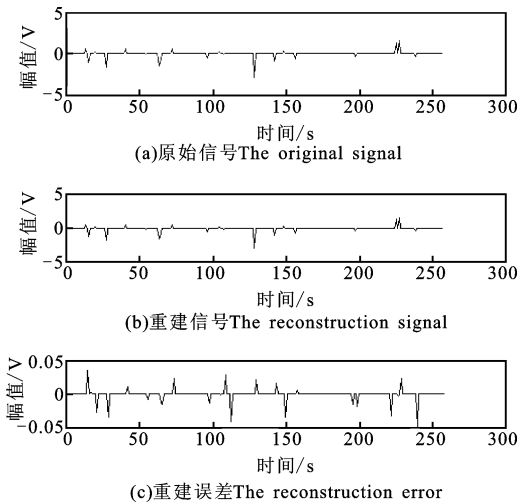


图 2 $M=128$ 压缩比为 0.5 的仿真

可以明显看到, 当压缩比为 0.5 时, 信号在终端重构的效果很好, 重建误差仅处于 10^{-2} 级别. 由此验证了在应用压缩感知理论的前提下, 降低了网络中的传输数据也能够恢复出精确的信号.

(2) 网络生存期比较

图 3 所示为对于压缩比为 0.5 的情况和在不压缩的情况下无线传感器网络传输信号的网络生存周期进行仿真对比.

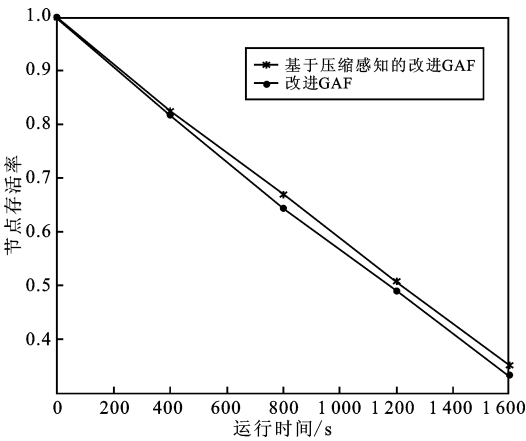


图 3 网络生存周期

在应用压缩感知算法, 压缩比为 0.5 时, 所需传输的数据量减少一半, 数据量为 1 024 bit. 在网络运行前 400 s 时, 两种算法的死亡节点数目基本持平, 在网络运行到 800 s 时, 原改进 GAF 算法平均死亡节点数目为 143 个, 节点存活比例为 64%, 本文中采用的基于压缩感知的改进 GAF 算法的平均死亡节点数目为 132, 节点存活比例为 67%. 由此验证了压缩感知算法在一定程度上提高了存活节点的比例, 延长了无线传感器网络的网络生存周期.

4 基于压缩感知的动态区域划分 GAF 算法

在无线传感器网络中, 簇头区域划分不合理也是无线传感器网络需要面临的一大问题. 当簇头数量确定后, 若用固定的图形进行感应区域的划分, 就会出现节点稀疏区域能量消耗较快, 节点密集区域能量消耗较慢的情况, 造成整个网络能量消耗不均匀性. 因此, 需要合理划分动态簇头区域, 均衡整个网络的能量消耗, 延长网络生存周期.

考虑到抛洒的节点分布疏密有别, 会产生某些簇的区域内节点过少, 能量消耗过快的情况, 所以针对该区域的传输有可能中断的问题, 提出了对节点数目较少的区域进行合并的方法, 再选取簇头. 其中, 将上下邻接的小区域两两分为一组, 确定合并区域的条件为两区域内节点数之和小于平均每个区域内抛洒节点数目的二倍, 这样既保证了两区域内在至少有一个区域内出现节点数目低于平均值时实现合并, 同时避免了节点较多时合并造成节点浪费的

情况. 因此,即可实现根据节点分布的实际情况来对区域动态合理的划分.

在基于压缩感知的改进 GAF 算法的基础上进行动态区域仿真分析,其中压缩比为 0.5. 对于 180×180 区域内较大的单元格内每个区域理论上约放置节点数目为 9 个,两两分组,当其节点数和小于 18 时合并为一个区域,否则保持原有划分. 其中每行多出的一个单元格,即序号为 7,14,21,28,35,42,49 的单元格在分组时与相邻单元格为一组,如单元格 7,14 为一组,49 单独为一组. 对于划分出 180×180 的区域,位于边界面积较小的单元格,根据其面积为其他单元格的 $2/3$,将其合并的节点数定为 12.

(1)网络生存期比较

由图 4 可以看到,同一时刻的改进 GAF 算法存活节点所占比例低于基于压缩感知的动态区域划分 GAF 算法,在网络运行到 800 s 时,改进 GAF 算法平均死亡节点数目为 143 个,节点存活比例为 64%,本节采用的算法的平均死亡节点数目为 101,节点存活比例为 75%. 较大幅度地减少了节点死亡数.

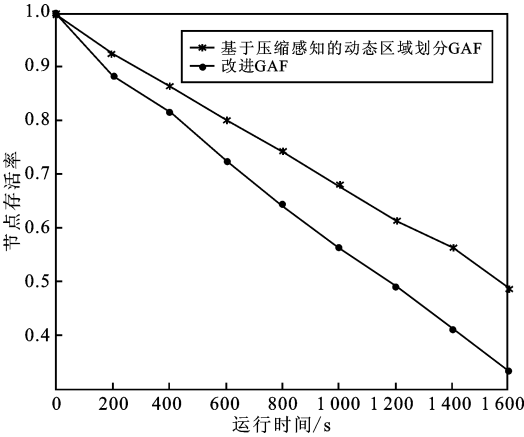


图 4 网络生存周期

(2)节点平均剩余能量

由于所传输的数据量减少,节点的平均能量损耗也将减少,仿真结果如图 5 所示.

根据仿真结果可以明显得到,基于压缩感知的动态区域划分 GAF 算法延长了节点的使用时间,本文算法实行动态可变的网格区域划分且应用压缩感知对数据进行观测,在改进 GAF 算法的基础上,减少了网络节点所需要消耗的能量,在可精确重构的条件下对整个网络实现了优化.

5 结束语

本文研究了如何应用压缩感知与动态区域划分

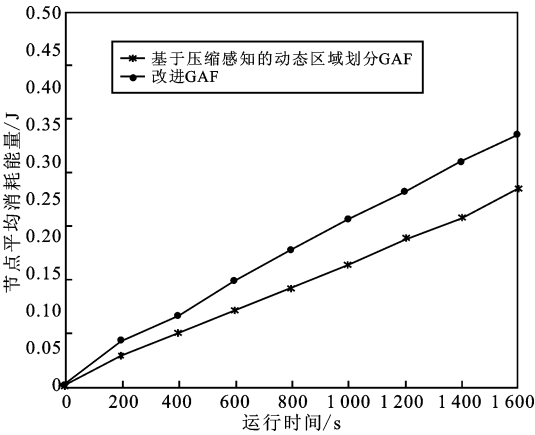


图 5 节点平均剩余能量

来优化无线传感器网络. 基于压缩感知提出了新的应用方案,通过理论分析与实验验证是合理有效的. 今后的研究重点如下:

- (1)在此基础上,无线传感器网络簇头处可否再进行数据融合,消除冗余,降低能耗;
- (2)将压缩感知理论应用于传感器节点,研究大信息量采集的数据融合问题.

参考文献:

[1] 司海飞,杨忠,王珏. 无线传感器网络研究现状与应用[J]. 机电工程,2011,28(1):16-20.

[2] 梁青,李卓冉,韩昊澎,等. 基于最优簇首数划分单元格的改进 GAF 算法[J]. 计算机应用研究,2013,30(12):3622-3624.

[3] 汪鲁才,赵延昇,林海军,等. 基于分布式压缩感知的能量收集 WSNs[J]. 传感器与微系统,2014,33(7):45-48.

[4] Candes E J, Romberg J, Tao T. Robust uncertainty principles; exact signal reconstruction from highly incomplete frequency information[J]. IEEE Transactions on Information Theory,2006,52(2):489-509.

[5] 焦李成,杨淑媛,刘芳,等. 压缩感知回顾与展望[J]. 电子学报,2011,39(7):1651-1662.

[6] 杨海蓉,张成,丁大为,等. 压缩传感理论与重构算法[J]. 电子学报,2011,39(1):142-148.

[7] 石光明,刘丹华,高大化,等. 压缩感知理论及其研究进展[J]. 电子学报,2009,37(5):1070-1081.

作者简介:

梁 青 女,(1966-),硕士,教授. 研究方向为无线传感器网络.

沈雅萌(通讯作者) 女,(1991-),硕士研究生. 研究方向为无线传感器网络. E-mail:541587115@qq.com.